



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN MANUAL INSTRUKSI
PROSEDUR PENGUJIAN KESELAMATAN KELISTRIKAN
RUMAH SAKIT BERDASARKAN UJI KONDISIONALITAS
SISTEM KELISTRIKAN TERINSTALASI**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains

**MUHAMAD URIP MAULUDDIN
0806451220**

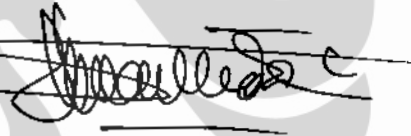
**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI BIOMEDIS
SALEMBA
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber, baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Muhamad Urip Mauluddin
NPM : 0806451220

Tanda Tangan :



Tanggal : 19 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis yang diajukan oleh :

nama : Muhamad Urip Mauluddin
NPM : 0806451220
Program Studi : Teknologi Biomedis
judul : Perancangan Dan Pembuatan Manual Instruksi Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit Berdasarkan Uji Kondisionalitas Kelistrikan Terinstalasi

Ini telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Teknologi Biomedis, Program Pascasarjana Universitas Indonesia.

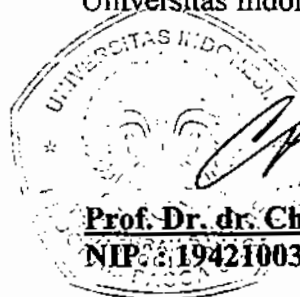
DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. dr. H. Boy S. Sabarguna, MARS. (.....)
Penguji : 1. Dr. Sastra Kusuma Wijaya (.....)
2. Ir. Supardjo, Dipl.IM, M.Kes. (.....)

Ditetapkan di : Jakarta
tanggal : 19 Juni 2010

oleh

Ketua
Program Studi Teknologi Biomedis
Program Pascasarjana
Universitas Indonesia



Prof. Dr. dr. Cholid Badri, SP.Rad(K)Onk.Rad
NIP: 194210031970031001

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhamad Urip Mauluddin
NPM : 0806451220
Program Studi : Teknologi Biomedis
Departemen :
Fakultas : Program Pascasarjana
Jenis karya : Tesis

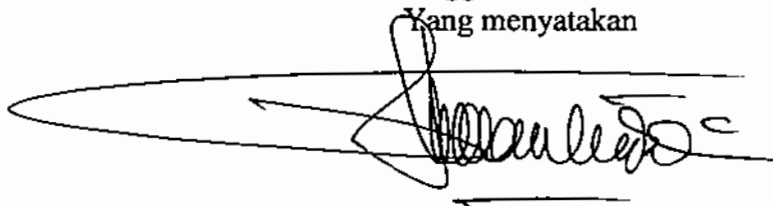
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royal Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN MANUAL INSTRUKSI
PROSEDUR PENGUJIAN KESELAMATAN KELISTRIKAN
RUMAH SAKIT BERDASARKAN UJI KONDISIONALITAS
SISTEM KELISTRIKAN TERINSTALASI**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkaldata (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada Tanggal : 19 Juni 2010
Yang menyatakan



(Muhamad Urip Mauluddin)

ABSTRAK

Nama : Muhamad Urip Mauluddin
Program Studi : Magister Teknologi Biomedis PPS UI
Judul : Perancangan dan Pembuatan Manual Instruksi Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit Berdasarkan Uji Kondisionalitas Sistem Kelistrikan Terinstalasi

Permasalahan: Tesis ini merupakan dokumentasi ilmiah kegiatan perancangan dan pembuatan, serta implementasi manual instruksi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit yang didasarkan riset terhadap sistem kelistrikan terinstalasinya. **Tujuan:** Penelitian bertujuan memperoleh pengujian yang lengkap yang merekomendasi nilai ambang-keselamatan kelistrikan untuk tegangan, arus, dan tahanan berdasarkan standar internasional *National Electrical Code* (NEC) dan beberapa standar negara maju, seperti: publikasi *National Fire Protection Association* (NFPA), dan standar *Association For Advancement of Medical Instrumentation* (AAMI) yang diadaptasi dengan kondisi kelistrikan Indonesia. **Metode Penelitian:** Menggunakan penelitian kuantitatif yang didukung studi literatur dan pengujian laboratorium, kemudian dilakukan penelitian kualitatif untuk menguji implementasinya. **Hasil:** Hasil penelitian ini berupa langkah-langkah pengujian, disain rangkaian-bantu uji, saran tentang instrumen-bantu uji yang dibutuhkan, pedoman nilai-nilai ambang keselamatan kelistrikan untuk sebuah penyelenggaraan pengujian keselamatan kelistrikan di RS, tersusun dalam sebuah manual instruksi yang kompak. **Kesimpulan/Saran:** Prosedur pengujian keselamatan kelistrikan yang didasarkan pada elaborasi standar internasional dengan kondisi kelistrikan di Indonesia hasil penelitian ini memiliki kriteria: handal, lengkap, luas cakupannya, mampu-terap di unit yankes di Indonesia. Penelitian lebih lanjutnya, penulis berencana membuat prosedur dan hasil pengujian dalam bentuk virtual dengan menggunakan perangkat lunak **LabView®** agar dapat berintegrasi dengan sistem informatika medis rumah sakit.

Kata kunci:

Prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit, nilai ambang-keselamatan kelistrikan, elaborasi standar internasional, perangkat lunak **LabView®**.

ABSTRACT

Name : Muhamad Urip Mauluddin
Study Programs : Master Program of Biomedical Engineering PPS UI
Title : Design and Build: Instruction Manual of the Electrical Safety Test Procedures for Hospitals which Based on Conditionality Test of Electrical System Installed.

Problem statement: This thesis is intended as a scientific documentation of activity in designing, realizing and implementing of the instruction manual of the Electrical Safety Test Procedures for Hospitals which based on conditionality research of electrical system installed. **Purpose:** this study is to invent the comprehensive testing that recommended safety limits of voltage, current, and resistance which based on international standard: National Electrical Code (NEC) and several standard that used by developed countries, such: National Fire Protection Association (NFPA) publications, and Association for Advancement of Medical Instrumentation (AAMI) which adapted with condition of electrical system in Indonesia. **Research Methodology:** is quantitative, supported by literature study and laboratory test, afterward qualitative methodology being conducted to test their implementation. **Results:** The results of the study are: testing steps, design of circuit-tests, suggestion of instrumentations for testing-aid and recommendation of safety-limit for conducting electrical safety test in hospitals. Their arranged be in the form of compaq instruction manual. **Conclusion/Recommendations:** The electrical safety test procedures for hospitals wich based on elaborated international standard with Indonesian electrical system conditions that be produced by this research become established having criteria: reliable, comprehensive and aplicable on healthcare units all around Indonesia. The extensive research, author have plan to make test procedures and results in virtual form by using LabView® software with purpose to integration with hospital medical informatics system.

Key words:

Electrical safety test procedures for hospitals, safety-limits of electrical safety, international standard elaboration, LabView® software.

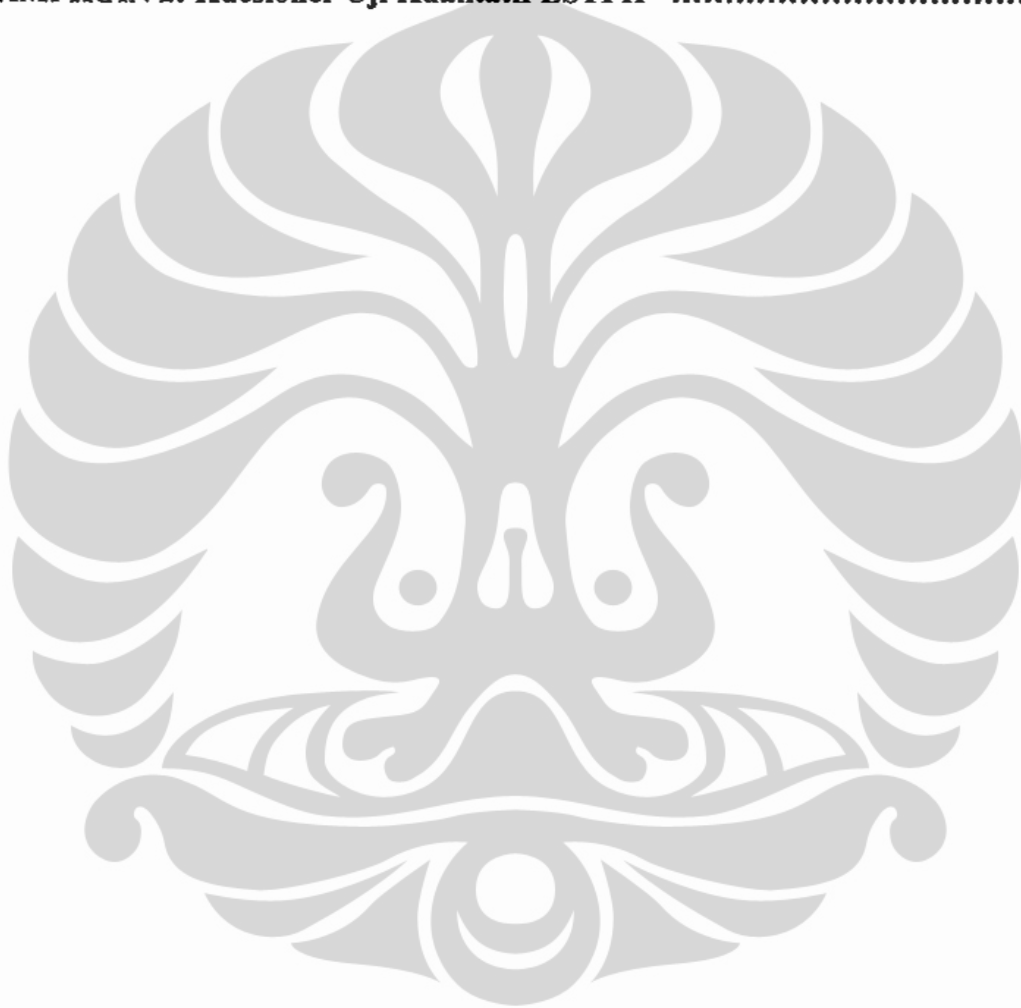
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Perumusan Masalah	6
1.5 Tujuan Penelitian	7
1.6 Manfaat Penelitian	7
2. TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA TEORI DAN HIPOTESIS PENELITIAN	11
2.1 Tinjauan Pustaka	11
2.1.1 Efek-efek Fisiologis Kelistrikan	11
2.1.1.1 Nilai-ambang Persepsi (<i>Threshold Perception</i>)	13
2.1.1.2 Arus Tumpang-lepas (<i>Let-Go Current</i>)	13
2.1.1.3 Kelumpuhan Pernapasan, Cedera, dan Keletihan (<i>Respiratory Paralysis, Pain, and Fatigue</i>)	13
2.1.1.4 Fibrilasi Ventrikuler	14
2.1.1.5 Konstraksi Miokardial Berkelanjutan (<i>Sustained Myocardial Contraction</i>)	14
2.1.1.6 Terbakar dan Cedera Fisik (<i>Burns and Physical Injury</i>)	15
2.1.2 Parameter Kerentanan	15
2.1.2.1 Variabel Nilai-ambang Persepsi dan Arus Tumpang-lepas (<i>Threshold and Let-Go Variability</i>)	15
2.1.2.2 Frekuensi	16
2.1.2.3 Durasi	16
2.1.2.4 Berat Badan	18
2.1.2.5 Titik Masukan (<i>Point of Entry</i>)	18
2.1.3 Distribusi Daya Listrik	20
2.1.3.1 Lingkungan Kelistrikan Pasien	21
2.1.3.2 Sistem Daya-Terisolasi	23
2.1.3.3 Sistem Daya Darurat	25
2.1.4 Risiko Kejutan Listrik Makro (<i>Macroshock Hazards</i>)	25
2.1.4.1 Tahanan Kulit dan Badan	28

2.1.4.2	Gangguan Kelistrikan pada Peralatan Listrik	29
2.1.5	Risiko Kejutan Listrik Mikro (<i>Microshock Hazards</i>)	32
2.1.5.1	Arus Bocor (<i>Leakage Current</i>)	34
2.1.5.2	Permukaan Konduktif	35
2.1.5.3	Jalur Konduktif ke Jantung.....	35
2.1.5.4	Kejutan Listrik Mikro Melalui Perbedaan Potensial Pentanahan	37
2.1.6	Standar-standar dan Kode-kode Keselamatan Kelistrikan	39
2.2	Kerangka Teori	41
2.3	Hipotesis Penelitian	44
2.4	Pertanyaan Penelitian	44
3.	METODE PENELITIAN	46
3.1	Metode Penelitian	46
3.1.1	Metode Penelitian Kuantitatif	47
3.1.2	Metode Penelitian Kualitatif	47
3.2	Populasi dan Sampel Penelitian Kuantitatif	48
3.2.1	Populasi dan Sampel Penelitian Kuantitatif	48
3.2.2	Populasi dan Sampel Penelitian Kualitatif	48
3.3	Metode Pengumpulan Data	49
3.3.1	Metode Pengumpulan Data Penelitian Kuantitatif	49
3.3.2	Metode Pengumpulan Data Penelitian Kualitatif	50
3.4	Instrumen Penelitian	51
3.4.1	Instrumen Penelitian Kuantitatif	51
3.4.2	Instrumen Penelitian Kualitatif	51
3.5	Rancangan Penelitian	54
3.6	Definisi Operasional	55
3.6.1	Definisi Operasional Penelitian Kuantitatif	55
3.6.1.1	Definisi Operasional Konseptual	55
3.6.1.2	Definisi Operasional Praktisional	58
3.6.2	Definisi Operasional Penelitian Kualitatif	62
3.7	Metoda Analisis Data	66
3.7.1	Metoda Analisis Data Penelitian Kuantitatif	66
3.7.2	Metoda Analisis Data Penelitian Kualitatif	66
3.8	Tempat dan Waktu Penelitian	69
4.	TEKNIK PENGUJIAN KESELAMATAN KELISTRIKAN	70
4.1	Pendekatan Dasar Bagi Perlindungan Terhadap Kejutan Listrik	70
4.2	Perlindungan pada Distribusi Daya Listrik	70
4.2.1	Sistem Pentanahan	70
4.2.2	Sistem Distribusi Daya Terisolasi.....	72
4.2.3	Rangkaian Pemutus Gangguan-Tanah (<i>Ground-Fault Circuit Interuptor</i> – <i>GFCI</i>)	72
4.3	Perlindungan pada Disain Peralatan	74
4.3.1	Pentanahan Yang Handal Untuk Peralatan	74
4.3.2	Mereduksi Arus Bocor	75
4.3.3	Peralatan Dengan Isolasi Ganda.....	75
4.3.4	Pengoperasian Pada Tegangan Rendah.....	76

4.3.5	Isolasi Kelistrikan	76
4.3.6	Pengisolasian Hubungan ke Jantung.....	79
4.4	Alat Analisa Keselamatan Kelistrikan (<i>Electrical Safety Analyzer</i>)	80
5.	PENYAJIAN DAN ANALISIS DATA	81
5.1	Penyajian Data	81
5.1.1	Penyajian Data Hasil Penelitian Kuantitatif	81
5.1.1.1	Data Pengukuran Besaran Utama	81
5.1.1.2	Data Pengukuran Kelistrikan Sampel Peralatan Medis <i>Line-operated</i>	82
A.	Data Pengujian Pengaruh Alat Medis Sinar Ronsen Terhadap Kelistrikan	84
B.	Data Pengujian Pengaruh Alat Medis Penindai <i>Computerized axial Tomography (C_aT Scan)</i> Terhadap Kelistrikan	85
C.	Data Pengujian Pengaruh Alat Medis <i>Magnetic Resonance Imaging (MRI)</i> Terhadap Kelistrikan	86
D.	Data Pengujian Pengaruh Alat Medis Portabel Terhadap Kelistrikan	87
E.	Data Pengujian Pengaruh Alat Medis Ventilator Pulmonari Terhadap Kelistrikan	89
F.	Data Pengujian Pengaruh Alat Medis Oksimeter Pulsa Terhadap Kelistrikan	90
5.1.2	Penyajian Data Hasil Penelitian Kualitatif	90
5.1.2.1	Penyajian Data Sampel Informan Utama (2 sampel)	91
5.1.2.2	Penyajian Data Sampel Informan Pembantu (1 sampel)	94
5.2	Analisis Data	97
5.2.1	Analisis Data Penelitian Kuantitatif	97
5.2.2	Analisis Data Penelitian Kualitatif	97
6.	DISAIN DAN KONSTRUKSI	100
6.1	Disain	100
6.1.1	Disain Pengujian Sistem Kelistrikan	100
6.1.1.1	Pengujian Kotak-Catuan Daya (<i>Receptacles</i>)	100
6.1.1.2	Pengujian Sistem Pentanahan Pada Area Pelayanan Pasien	102
6.1.1.3	Pengujian Sistem Daya Terisolasi	102
6.1.2	Disain Pengujian Peralatan Kelistrikan	102
6.1.2.1	Pengujian Resistensi Kontak-Tusuk ke Sangkar	102
6.1.2.2	Pengujian Arus Bocor Sangkar	103
6.1.2.3	Pengujian Arus Bocor pada Lid Pasien	104
6.2	Konstruksi	106
6.2.1	Konstruksi Rangkaian Pengujian Tahanan Pentanahan	107
6.2.2	Konstruksi Rangkaian Pengujian Arus Bocor	108
6.2.3	Konstruksi Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi	111
6.2.4	Konstruksi Rangkaian Pengujian Arus Frekuensi Tinggi	113
7.	PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN	117
7.1	Pembahasan Umum Hasil Penelitian	117

7.2. Pembahasan Hasil Penelitian Kuantitatif	118
7.3. Pembahasan Hasil Penelitian Kualitatif	122
8. Kesimpulan dan Saran	126
8.1 Kesimpulan	126
8.2 Saran	127
DAFTAR REFERENSI	129
LAMPIRAN 1: <i>Booklet</i> Manual Instruksi ESTPH[©]	131
LAMPIRAN 2: Kuesioner Uji Kualitatif ESTPH[©]	183



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Atlas Penelitian Perancangan dan Realisasi Manual Instruksi Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit	9
Gambar 1.2.	<i>lanjutan</i> Gambar 1.1	10
Gambar 2.1.	Efek Fisiologi Kelistrikan	12
Gambar 2.2.	Distribusi nilai persepsi ambang-rangsang (<i>perception threshold</i>) dan arus tumpang-lepas (<i>let-go currents</i>)	16
Gambar 2.3.	Arus tumpang-lepas (<i>let-go currents</i>) versus Frekuensi	17
Gambar 2.4.	Arus fibrilisasi versus durasi guncangan (<i>shock duration</i>)	18
Gambar 2.5.	Efek dari titik-titik masukan pada distribusi arus	19
Gambar 2.6.	Penyederhanaan distribusi daya listrik rangkaian 220 V	21
Gambar 2.7.	Sistem transformator daya terisolasi dengan... ..	23
Gambar 2.8.	Risiko akibat buruknya sistem pentanahan, baik... ..	26
Gambar 2.9.	Jalur-jalur <i>macroshock hazard</i> yang terbentuk	27
Gambar 2.10.	<i>Macroshock hazard</i> akibat kesalahan pengawatan pada... ..	28
Gambar 2.11.	<i>Macroshock</i> akibat gangguan tanah (<i>ground fault</i>) dari... ..	30
Gambar 2.12.	Situasi yang memungkinkan <i>microshock hazard</i> terjadi	32
Gambar 2.13.	Kemungkinan <i>hazard</i> pada penggunaan monitor... ..	33
Gambar 2.14.	Jalan-alir arus bocor.....	34
Gambar 2.15.	Nilai ambang fibrilisasi ventrikular dan gagal pemompaan versus... ..	36
Gambar 2.16.	(a) Arus gangguan-tanah yang... (b) Rangkaian ekivalen... ..	37
Gambar 2.17.	Bagan konstelasi hubungan antar variabel	44
Gambar 3.1.	Atlas Rancangan Penelitian	54
Gambar 3.2.	Skema Definisi Operasional Penelitian Kuantitatif	61
Gambar 3.2.	Skema Definisi Operasional Penelitian Kualitatif	65
Gambar 4.1.	Sketsa Pentanahan (<i>Grounding System</i>)	71
Gambar 4.2.	Rangkaian Pencegah Gangguan-tanah (<i>Ground-fault circuit...</i>)	73
Gambar 4.3.	Contoh isolasi kelistrikan antara lid pasien dengan penguat... ..	78
Gambar 4.4.	(<i>lanjutan</i>)	79
Gambar 4.5.	Isolasi pada sebuah sensor tekanan-darah	80
Gambar 5.1.	Grafik Kondisi Sistem Kelistrikan	82
Gambar 5.2.	Grafik Kondisi Sistem Kelistrikan Akibat Pengoperasian Alat Sinar Ronsen	84
Gambar 5.3.	Grafik Kondisi Sistem Kelistrikan Akibat Pengoperasian Alat C_aT Scan	85
Gambar 5.4.	Grafik Kondisi Sistem Kelistrikan Akibat Pengoperasian Alat MRI ..	86
Gambar 5.5.	Grafik Barisan Tegangan-Lengkung	88
Gambar 5.6.	Grafik Tegangan Lengkung Pengoperasian Alat Ventilator Pulmonari	89
Gambar 6.1.	Alat uji kotak-catuan daya model LED	100
Gambar 6.2.	Pengujian tahanan Tanah-Tusukan-Sangkar	101
Gambar 6.3.	(a) Alat uji arus-bocor sangkar, (b) rangkaian pengukur-arus... ..	103
Gambar 6.4.	Rangkaian uji arus-bocor antara lid pasien dengan tanah	104
Gambar 6.5.	Rangkaian uji arus-bocor antar lid pasien	105
Gambar 6.6.	Rangkaian arus-bocor ac isolasi	106

Gambar 6.7.	Rangkaian Pengujian Tahanan Pentanahan	107
Gambar 6.8.	Rangkaian Pengujian Arus Bocor Sangkar: Sisi Daya	108
Gambar 6.9.	Rangkaian Pengujian Arus Bocor Sangkar: Sisi Pasien	109
Gambar 6.10.	Rangkaian Pengujian Arus Kalang: Sisi Pasien	110
Gambar 6.11.	Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi: Sisi Daya	111
Gambar 6.12.	Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi: Sisi Pasien	113
Gambar 6.13.	Rangkaian Pengujian Arus Frekuensi Tinggi Area Pelayanan Pasien Sensitif (<i>Sensitive Patient – Sp</i>).....	114
Gambar 6.14.	Kurva Arus Frekuensi Tinggi yang disebut Arus Berisiko (<i>Risk Current</i>) untuk area yankes Sp	114
Gambar 6.15.	Rangkaian Pengujian Arus Frekuensi Tinggi Area Pelayanan Pasien Umum (<i>General Patient – Gp</i>).....	115
Gambar 6.16.	Kurva Arus Frekuensi Tinggi yang disebut Arus Berisiko (<i>Risk Current</i>) untuk area yankes Gp.....	116
Gambar 7.1.	Atlas Proses Penelitian Perancangan dan Pembuatan Manual Instruksi Pengujian Keselamatan Kelistrikan RS	117
Gambar 7.2.	Proses Perancangan Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit	121
Gambar 7.3.	Detail Perancangan Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit	122



DAFTAR TABEL

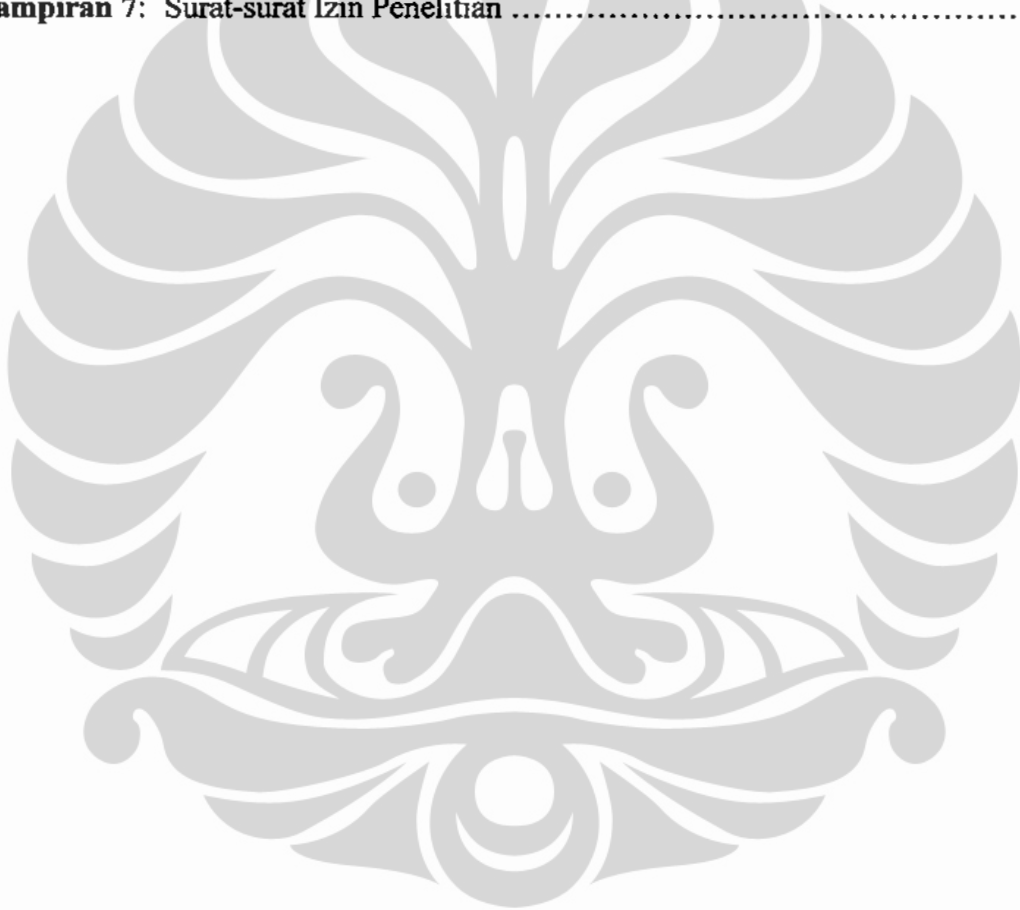
Tabel 3.1.	Besaran Kelistrikan Utama Penyebab <i>Hazard</i> dan...	55
Tabel 3.2.	Tabelaris Nilai Batas Keselamatan (<i>Safety Limits</i>) Kelistrikan	57
Tabel 3.3.	Tabelaris Kelompok Pengujian Lingkungan Kelistrikan Tanpa Alat...	59
Tabel 3.4.	Tabelaris Kelompok Pengujian Kelistrikan Dengan Alat...	60
Tabel 3.5.	Kisi-kisi Instrumen Keandalan Teknik Pengujian (Reliabilitas)	62
Tabel 3.6.	Kisi-kisi Instrumen Kelengkapan Teknik Pengujian	63
Tabel 3.7.	Kisi-kisi Instrumen Keluasan Cakupan Teknik Pengujian	63
Tabel 3.8.	Kisi-kisi Instrumen Kemampuserapan Teknik Pengujian	64
Tabel 3.9.	Koefisien Pengali Bobot Jawaban Informan	66
Tabel 3.10.	Contoh Pembobotan Jawaban Pertanyaan Kelompok Informasi Penelitian (contoh diambilkan ...)	67
Tabel 3.11.	Penskoran Bobot Total dan Predikasisasinya (contoh diambilkan...)	68
Tabel 5.1.	Hasil Pengujian Distorsi Tegangan Harmonis Pengaruh Alat Medis Portabel Pada Kelistrikan	87
Tabel 5.2.	Hasil Pengujian Tegangan Lengkung Pengaruh Alat Medis Portabel Pada Kelistrikan	87
Tabel 5.3.	Hasil Pengujian Tegangan Lengkung Standar IEC 61000-4-11	88
Tabel 5.4.	Hasil Pengujian Tegangan Lengkung Pada Alat Ventilator Pulmonari	89
Tabel 5.5.	Hasil Pengujian Tegangan Lengkung Pada Alat Oksimeter Pulsa	90
Tabel 5.6.	Hasil Pengujian Tegangan Lengkung Pada Alat Oksimeter Pulsa Didasarkan Standar IEC 61000-4-11	90
Tabel 5.7.	Hasil Kuesioner Sampel Informan Utama 1 (IU ₁) Kelompok Data Penelitian: Keandalan Teknik Pengujian (KIP-1)	91
Tabel 5.8.	Hasil Kuesioner Sampel Informan Utama 2 (IU ₂) Kelompok Data Penelitian: Keandalan Teknik Pengujian (KIP-1)	91
Tabel 5.9.	Hasil Kuesioner Sampel Informan Utama 1 (IU ₁) Kelompok Data Penelitian: Kelengkapan Teknik Pengujian (KIP-2)	92
Tabel 5.10.	Hasil Kuesioner Sampel Informan Utama 2 (IU ₂) Kelompok Data Penelitian: Kelengkapan Teknik Pengujian (KIP-2)	92
Tabel 5.11.	Hasil Kuesioner Sampel Informan Utama 1 (IU ₁) Kelompok Data Penelitian: Keluasan Cakupan Teknik Pengujian (KIP-3)	93
Tabel 5.12.	Hasil Kuesioner Sampel Informan Utama 2 (IU ₂) Kelompok Data Penelitian: Keluasan Cakupan Teknik Pengujian (KIP-3)	93
Tabel 5.13.	Hasil Kuesioner Sampel Informan Utama 1 (IU ₁) Kelompok Data Penelitian: Kemampuserapan Teknik Pengujian (KIP-4)	94
Tabel 5.14.	Hasil Kuesioner Sampel Informan Utama 2 (IU ₂) Kelompok Data Penelitian: Kemampuserapan Teknik Pengujian (KIP-1)	94
Tabel 5.15.	Hasil Kuesioner Sampel Informan Pembantu (IP) Kelompok Data Penelitian: Keandalan Teknik Pengujian (KIP-1)	95
Tabel 5.16.	Hasil Kuesioner Sampel Informan Pembantu (IP) Kelompok Data Penelitian Kelengkapan Teknik Pengujian (KIP-2)	95
Tabel 5.17.	Hasil Kuesioner Sampel Informan Pembantu (IP) Kelompok Data Penelitian Keluasan Cakupan Teknik Pengujian (KIP-3)	96

Tabel 5.18.	Hasil Kuesioner Sampel Informan Pembantu (IP) Kelompok Data Penelitian Kemampuserapan Teknik Pengujian (KIP-4)	96
Tabel 5.19.	Hasil Perhitungan Total Skor Kuesioner Pengujian Kualitatif Produk Penelitian Manual Instruksi Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit	98
Tabel 6.1.	Beberapa Posisi Saklar Pembalik Saat Pengujian Arus Bocor..	108
Tabel 7.1.	Sadur Ulang Tabel 5.19 untuk keperluan pembahasan data	124
Tabel 7.2.	Sadur Ulang Tabel 3.11 untuk keperluan pembahasan data	124



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: <i>Booklet</i> Manual Instruksi Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit (<i>Electrical Safety Test Procedures for Hospitals - ESTPH®</i>)	131
Lampiran 2: Kuesioner Uji Kualitatif ESTPH®	183
Lampiran 3: Lembar Persetujuan Pembimbing Tesis	198
Lampiran 5: Berita Acara Seminar Proposal Tesis	199
Lampiran 6: Persetujuan Pembimbing Untuk Ujian Tesis	200
Lampiran 7: Surat-surat Izin Penelitian	201



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Keberhasilan operasional industri jasa pelayanan kesehatan (yankes) moderen sangat ditentukan oleh kualitas sumber daya peralatan medis dan kedokteran yang dimiliki. Hal ini disebabkan industri ini sebagai tuntutan pelayanan moderen, banyak tergantung pada peralatan medis dan kedokteran berteknologi elektronika dan komputer. Teknologi yang dimanfaatkan oleh peralatan tersebut memanfaatkan listrik sebagai enerjinya. Konsekuensi dari pemanfaatan energi jenis ini adalah bahaya (*hazard*) kelistrikan bagi pengguna dan lingkungannya, yaitu: operator, staf medis, dan terutama sekali pasien. Dalam teknologi klinis, *hazard* kelistrikan dikelompokkan dua kelompok besar, yaitu:

- 1) bahaya kejutan arus makro (*macroshock hazard*),
- 2) bahaya kejutan arus mikro (*microshock hazard*).

Bahaya kejutan arus makro adalah bahaya yang disebabkan oleh rangsangan aliran energi (arus listrik) ini terhadap fisiologi manusia, yang ditanggap respon sadarnya. Rangsangan ini sedemikian rupa, dengan efek fisiologis negatif masing-masing, yang bersesuaian dengan besarnya aliran energi ini (lihat pembahasan efek-efek fisiologis kelistrikan dalam Bagian 2.1.1). **Bahaya kejutan arus mikro** adalah bahaya yang disebabkan oleh rangsangan aliran energi ini dalam nilai yang relatif kecil tetapi karena berkenaan dengan jaringan yang sensitif dapat berakibat fatal [bahaya ini terutama terjadi pada pasien dalam kondisi sensitif listrik – *an electrically sensitive patient* (ESP) atau disingkat *sensitive patient* (SP) saja, yaitu pasien yang sedang dalam penanganan medis dengan peralatan listrik medis terhubung ke bagian tubuh yang sensitifnya misalnya jantung (lihat penjelasan lebih jauh di Bagian 2.1.5)]. Banyak faktor yang menimbulkan *hazard* ini, antara lain:

- 1) kelalaian penggunaan alat,
- 2) alat listrik medis/kedokteran yang tidak memenuhi persyaratan teknis,
- 3) infra struktur kelistrikan tempat alat listrik medis/kedokteran diinstalasi, tidak memenuhi persyaratan teknis.

Hal pertama lebih disebabkan karena kurang pengalaman dan pelatihan operator, atau kurangnya standar prosedur operasional pemakaian alat yang baik, atau operator sering mengabaikan standar prosedur operasional yang ada sampai akhirnya kecelakaan terlanjur terjadi¹. **Hal kedua** lebih disebabkan karena kurang cermatnya teknik penapisan (*assesment*) yang diterapkan dalam proses pengadaan alat sehingga terbeli alat-alat listrik medis/kedokteran yang tidak memenuhi syarat teknis keamanan dan keselamatan yang disyaratkan secara nasional maupun internasional oleh badan serfitikasi yang berkompeten, penyebab lainnya adalah: alat listrik medis/kedokteran yang dimiliki berkualitas baik (tersertifikasi), tetapi tidak terawat dan jarang dikalibrasi. **Hal ketiga** disebabkan oleh faktor yang lebih rumit lagi, disebabkan oleh banyak faktor: persyaratan teknis instalasi kelistrikan yang tidak dipenuhi (misalnya: sistem pengkabelan yang buruk, sistem isolasi kelistrikan yang kurang baik, sistem pentanahan yang buruk/bahkan tidak ada). Penanggulangan masalah-masalah bahaya kelistrikan tersebut di unit pelayanan kesehatan umumnya dimasukkan dalam ruang lingkup keselamatan pasien (*patient safety*).

Di Amerika Serikat (AS), kematian dan cedera pasien selama mengikuti pelayanan kesehatan dilaporkan merupakan sumber kematian yang lebih tinggi daripada kecelakaan pesawat terbang dan bencana alam badai Katrina.² Dalam laporan tersebut digambarkan kematian pasien selama mengikuti pelayanan kesehatan sebagai *silent disaster* (bencana yang luput dari perhatian). Penyebabnya antara lain disebutkan secara berurutan mulai dari yang sering terjadi, adalah: (1) kesalahan pengobatan, (2) infeksi, (3) kecelakaan terjatuh, dan (4) kecelakaan listrik medis. Dari beberapa penyebab kematian dan cedera pasien tersebut, kecelakaan listrik medis menyumbang angka 10.000 kasus setiap tahun.

Beberapa langkah telah dilakukan untuk mengatasi bahaya kelistrikan ini, salah satunya adalah melakukan pengawasan yang ketat terhadap penggunaan alat listrik medis dan kedokteran di sarana yankes, mulai dari izin peredaran sampai pengawasan selama penggunaannya, dengan menerapkan berbagai standar acuan, yaitu:

¹ Edward J. Bukstein, *An Electrical Safety* (Indiana: Howard W. Sams & Co., Inc, Indianapolis, 2003), p. 113.

² Sanjaya Kumar, *Survive in the US Health System* (New York: IGI Publishing, 2007), p. 12.

- 1) mengikuti standar internasional, atau
- 2) mengikuti salah satu standar negara maju yang diacu banyak negara, atau
- 3) merancang sendiri suatu standar dengan memodifikasi standar-standar yang ada, disesuaikan dengan kondisi di negaranya, menjadi standar nasionalnya.

Pemeriksaan penggunaan dilakukan mulai dari alat diinstalasi sampai pemeriksaan berkala kondisinya selama alat dioperasikan. Pemeriksaan berkala alat dilakukan dalam bentuk uji-kondisionalitas dan kalibrasi.

Lembaga (baik pemerintah maupun swasta) yang menangani bidang ini, berupa lembaga pengujian dan kalibrasi alat-alat medis/kedokteran. Pengawasan alat medis dan kedokteran, khususnya yang elektris, dalam kaitannya dengan keselamatan kelistrikan secara total, tidak cukup dengan pemeriksaan uji-kondisionalitas dan kalibrasi saja. Badan atau lembaga tersebut menguji peralatan medis secara *stand alone* di laboratoriumnya masing-masing. Pengujian jenis ini menghasilkan laporan uji-kinerja alat (layak kerja atau tidak layak kerja). Pelayanan kalibrasi bertujuan memastikan alat yang lulus uji-kondisionalitas sebelumnya, memberikan keluaran (berupa penunjukan jarum skala misalnya) yang sesuai dengan skala ukur kalibrator. Bahaya kelistrikan (seperti kejutan makro dan mikro) tidak dihasilkan oleh alat yang sedang *stand alone*, tetapi justru disumbangkan oleh alat yang sedang beroperasi (*line operated-equipment* - alat saat sedang berintegrasi dengan instalasi daya listrik), tidak peduli apakah alat tersebut dalam kondisi baik atau rusak, terkalibrasi atau tidak terkalibrasi (lihat pembahasan *microshock hazard* dan *macroshock hazard* di Bab 2). Badan atau lembaga pengujian swasta ada juga yang menawarkan pengujian di tempat alat terpasang (pengujian secara *in situ*) dan sekaligus melakukan pengujian sistem kelistrikan, tetapi biaya yang tinggi dan kapasitas pelayanan yang terbatas terutama untuk unit yankes yang berada di daerah pelosok, menjadi kendalanya.

Penelitian ini dalam rangka melengkapi langkah-langkah pencegahan bahaya kelistrikan tersebut di atas, dengan mendedikasikan kegiatannya untuk merancang dan membuat teknik pengujian kelistrikan rumah sakit (atau unit yankes lainnya) untuk mencegah timbulnya bahaya kelistrikan akibat pemanfaatan alat listrik medis/kedokteran. Sasaran utamanya adalah pencapaian keselamatan kelistrikan

(*electrical safety*) secara total. Kegiatan perancangannya ditujukan untuk menghasilkan teknik pengujian yang handal, lengkap, luas cakupannya dan mampu-terap, sesuai dengan kondisi sistem kelistrikan tempat di mana semua peralatan medis diinstalasi. Hal lain yang tidak kalah pentingnya adalah teknik pengujian ini dapat dilakukan oleh teknisi internal Rumah Sakit (R.S.) atau dengan bantuan *third party*.

Standar *International Electrotechnical Commission* (IEC) untuk keselamatan kelistrikan medis melalui *joint commission* yang dimulai pada tahun 1976 telah dijadikan syarat wajib bagi unit yankes dalam akreditasi internasionalnya. Sekarang ini telah banyak negara meratifikasi himbauan tersebut, salah satunya dengan mengadopsi standar nasional negara maju yang telah lebih dahulu melaksanakannya. Standar negara maju yang banyak diadopsi secara lokal oleh negara didunia adalah publikasi yang dikeluarkan *National Fire Protection Association* (NFPA) untuk standar kelistrikan sarana yankes, dan publikasi *Association for Advancement of Medical Instrumentation* (AAMI) untuk standar alat medis listrik. Kedua publikasi tersebut milik negara Amerika Serikat.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dapat diidentifikasi masalah-masalah yang relevan dengan penelitian, seperti di bawah ini.

1. Bagaimana kondisi sistem kelistrikan di Rumah Sakit di Indonesia dengan sampel R.S. XYZ, berdasarkan pengujian arus bocor (*leakage current*), tegangan dan tahanan pentanahannya, serta pengaruh arus frekuensi tinggi dalam kaitannya dengan standar keselamatan kelistrikan rumah sakit?
2. Bagaimana kondisi peralatan-peralatan utama sistem kelistrikan di Rumah Sakit di Indonesia dengan sampel R.S. XYZ berdasarkan pengujian peralatan sistem kelistrikan, baik uji-listrik maupun uji-mekanik dalam kaitannya dengan standar keselamatan kelistrikan rumah sakit ?
3. Bagaimana kondisi peralatan listrik medis dan kedokteran yang terhubung dengan sistem kelistrikan di rumah sakit di Indonesia berdasarkan pengamatan dan pengujian di sampel R.S. XYZ dalam kaitannya dengan standar keselamatan kelistrikan rumah sakit?

4. Bagaimana hasil pengujian kondisi sistem kelistrikan, kondisi peralatan-peralatan utama sistem kelistrikan dan kondisi peralatan listrik medis dan kedokteran di R.S. XYZ dijadikan acuan dalam perancangan dan realisasi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit di Indonesia?
5. Bagaimana prosedur pengujian keselamatan kelistrikan hasil rancang bangun tersebut yang disesuaikan dengan kondisionalitas sistem kelistrikan di Indonesia dengan mengambil sampel R.S. XYZ, dilakukan uji kesesuaian (*compliant test*) dengan standar internasional yang kredibel yang dipilih sebagai acuan?
6. Bagaimana prosedur pengujian keselamatan kelistrikan hasil rancang bangun ini dibuat dalam bentuk yang praktis, kompak tetapi lengkap?
7. Bagaimana prosedur pengujian keselamatan kelistrikan hasil rancang bangun ini diuji kualitatif (dengan beberapa kriteria kualitas) implementasinya di lapangan untuk melihat kinerja dan performanya?

1.3. Batasan Masalah

Keterbatasan peneliti dalam hal waktu, tenaga dan biaya, serta untuk menjaga agar penelitian lebih terarah dan fokus, maka diperlukan adanya batasan masalah. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka penelitian ini dibatasi pada upaya mengungkap informasi untuk merancang suatu prosedur standar pengujian kelistrikan rumah sakit yang handal dan sesuai dengan kondisi kelistrikan yang terinstalasi di rumah sakit tersebut.

Secara lebih spesifik, masalah-masalah dalam penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut ini.

1. Hubungan antara kondisi sistem kelistrikan R.S. dengan nilai arus bocor, tegangan dan tahanan pentanahannya, arus frekuensi tinggi.
2. Hubungan antara kondisi peralatan-peralatan utama sistem kelistrikan R.S. dengan nilai arus bocor, tegangan dan tahanan pentanahan.
3. Hubungan antara kondisi peralatan medis dan kedokteran yang terhubung pada sistem kelistrikan R.S. dengan nilai arus bocor, tegangan dan tahanan pentanahan, serta arus frekuensi tinggi.

4. Hubungan antara nilai-nilai arus bocor, tegangan dan tahanan pentanahan, serta arus frekuensi tinggi yang dihasilkan oleh ketiga kondisi tersebut di atas dengan standar keselamatan kelistrikan R.S. dalam kaitannya dengan *patient safety*.
5. Hubungan antara nilai-nilai arus bocor, tegangan dan tahanan pentanahan, serta arus frekuensi tinggi yang dihasilkan dari uji kondisionalitas tersebut di atas dengan ide dan disain sebuah prosedur pengujian keselamatan kelistrikan R.S. yang sesuai.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi dan batasan masalah di atas, maka permasalahan penelitian ini dirumuskan sebagai berikut ini.

1. Bagaimana merancang dan merealisasikan sebuah pengujian kondisi sistem kelistrikan dan peralatan-peralatan utamanya (misalnya: pengkabelan - *wiring*, kotak-catuan daya - *receptacles*, perkakas/furnitur konduktif), yang dalam tulisan selanjutnya disebut Pengujian Lingkungan Kelistrikan Tanpa Peralatan Terhubung Jaringan (*Testing the Electrical Environment-No Equipment*) yang sesuai dengan kondisi sistem kelistrikan di Indonesia?
2. Bagaimana merancang dan merealisasikan sebuah pengujian kondisi peralatan listrik medis dan kedokteran yang terhubung dengan sistem kelistrikan, yang dalam tulisan selanjutnya disebut Pengujian Peralatan Terhubung Jaringan (*Testing the Line-Operated Equipment*) yang sesuai dengan kondisi sistem kelistrikan di Indonesia?
3. Sebagai tambahan dari dua pengujian di atas adalah: pengamatan arus frekuensi tinggi. Arus ini dapat mencetus terjadinya arus bocor. Arus frekuensi tinggi ini biasanya dihasilkan oleh alat listrik semacam: alat listrik untuk bedah (*electrosurgical equipment*), unit diatermis, perangkat hiburan (televisi, dll.) dan beberapa peralatan moderen berteknologi non linier di rumah sakit (Sinar Ronsen, CT Scan, MRI, dll.). Bagaimana merancang dan merealisasikan sebuah pengujian pengaruh arus frekuensi tinggi ini terhadap kondisi kelistrikan tempat peralatan listrik medis/kedokteran terhubung, dalam kaitannya dengan keselamatan pasien?

4. Bagaimana hasil rancang bangun pengujian-pengujian di atas dibuat langkah-langkah (prosedur) pengujiannya, yang terdokumentasi dengan kompak dalam bentuk manual instruksi, yang secara fisik misalnya berbentuk *booklet*?

1.5. Tujuan Penelitian

Merujuk pada rumusan masalah tersebut, maka tujuan yang ingin dicapai melalui penelitian ini:

- 1) merancang jenis-jenis pengujian keselamatan kelistrikan yang sesuai dengan spesifikasi kelistrikan di Indonesia, dengan sampel R.S. XYZ,
- 2) merancang jenis-jenis pengujian keselamatan kelistrikan yang tepat berdasarkan pengetahuan tentang kondisi:
 - a. kelistrikan R.S. di Indonesia dengan sampel sistem kelistrikan di R.S. XYZ,
 - b. peralatan listrik medis/kedokteran terinstalasi sistem kelistrikan R.S. di Indonesia dengan sampel peralatan kelistrikan di R.S. XYZ,
 - c. pengaruh bekerjanya peralatan listrik medis/kedokteran tersebut terhadap sistem kelistrikan dalam kaitannya dengan penanggulangan pengaruh negatif arus frekuensi tinggi,
- 3) menyusun jenis-jenis pengujian tersebut dalam bentuk manual instruksi pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit yang terstruktur langkah demi langkah,
- 4) menguji manual instruksi tersebut dalam bentuk uji kesesuaian (*compliance test*) dengan standar internasional yang menjadi acuan,
- 5) menguji implementasi manual instruksi tersebut secara kualitatif di sampel R.S. XYZ untuk menilai kualitas kinerjanya,
- 6) Mengajukan hak cipta (*copyright*) buku manual instruksi ini ke Direktorat Jenderal Hak Kekayaan Intelektual (Ditjen HaKI) Departemen Hukum dan Hak Asasi Manusia.

1.6. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian, berupa prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit yang baik, menyeluruh, terpadu dan mampu-terap, yang perancangannya dilandaskan oleh penelitian terhadap hubungan antara kondisi kelistrikan rumah sakit terinstalasi dan

keberadaan standar internasional pengujian kelistrikan rumah sakit yang dirujuk, dengan kondisi nyata alat listrik medis dan kedokteran di Indonesia yang mengambil sampel penelitian di R.S. XYZ ini diharapkan memberikan sejumlah manfaat, sebagai berikut.

1. Secara teoritis akademis, hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khasanah kepustakaan bidang teknologi klinis, khususnya mengenai keselamatan pasien yakni tentang standar pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit, serta menjadi pemicu bagi penelitian yang lebih mendalam dan perancangan yang lebih baik di kemudian hari.
2. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan pedoman para teknisi listrik medis dalam melaksanakan program perawatan sarana teknis khususnya kelistrikan rumah sakit dalam rangka mendukung program manajemen rumah sakit untuk memberikan layanan yang lebih baik bagi pasien terutama dalam kaitannya dengan keselamatan pasien (*patient safety*).
3. Menjadi bahan masukan bagi para pembuat kebijakan (pemerintah) dalam rangka membuat suatu standar keselamatan kelistrikan medis nasional.
4. Menambah karya Bangsa Indonesia di bidang Hak atas Kekayaan Intelektual (HaKI).

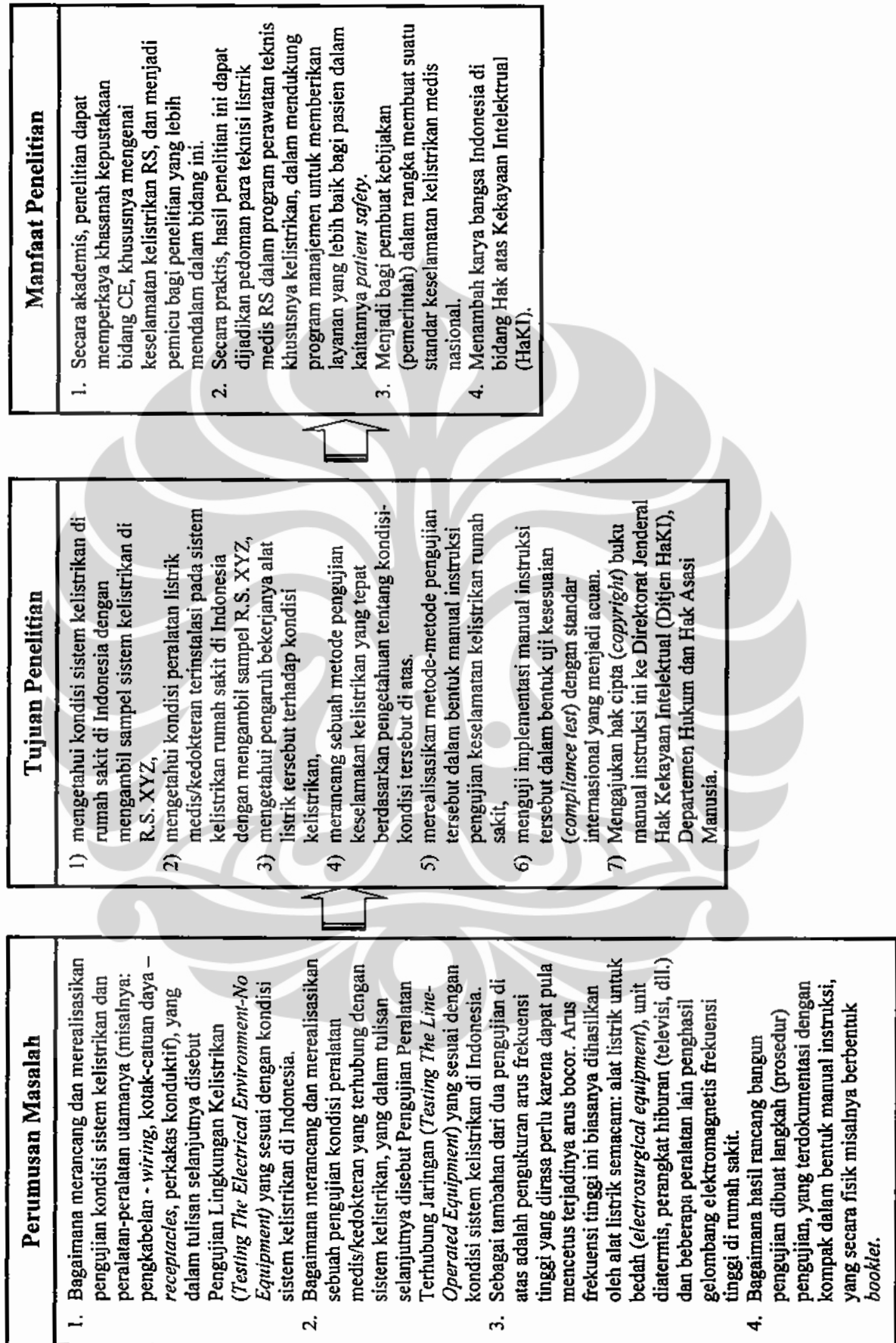
KEGIATAN PERANCANGAN DAN PEMBUATAN
Manual Instruksi Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit
(Electrical Safety Test Procedures for Hospitals - ESTPH®)

Latar Belakang Masalah
<ul style="list-style-type: none"> - Teknologi yang mepertinggi Yankes moderen terhadap <i>human healthcare</i>. - Teknologi Yankes moderen tergantung terhadap alat listrik medis <i>advanced electronics tech. dan completely computerized</i>. - Teknologi tersebut memanfaatkan listrik sebagai sumber energi. - Konsekuensi pemanfaatan energi ini adalah <i>hazard</i> kelistrikan bagi pasien, staf dan pengunjung. - <i>Hazard</i> kelistrikan menempati urutan ke-4 kematian pasien selama menjalani <i>healthcare</i> (contoh kasus di AS). - Kematian pasien akibat hazard kelistrikan menyumbang 10.000 kasus/tahun (data di AS). - Uji keselamatan kelistrikan (<i>electrical safety test - EST</i>) sangat diperlukan. - Sudah ada standar prosedur EST tetapi belum ada yang komprehensif dan sesuai dengan kondisi kelistrikan Indonesia. - Prosedur EST yang handal, lengkap, luas cakupannya dan mampu terap berdasarkan uji kualitatif secara riil.

Identifikasi Masalah
<ul style="list-style-type: none"> - kondisi sistem kelistrikan di RS di Indonesia berdasarkan pengujian arus bocor (<i>leakage current</i>), tegangan dan tahanan pentanahannya, serta arus frekuensi tinggi dalam kaitannya dengan standar keselamatan kelistrikan RS.? - kondisi peralatan utama sistem kelistrikan di RS di Indonesia berdasarkan pengujian uji-listrik dan uji-mekanik dalam kaitannya dengan standar keselamatan kelistrikan RS. ? - kondisi peralatan listrik medis dan kedokteran yang terhubung dengan sistem kelistrikan di RS di Indonesia dalam kaitannya dengan standar keselamatan kelistrikan RS.? - hasil pengujian tersebut di atas dijadikan acuan dalam perancangan dan realisasi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan RS di Indonesia? - prosedur pengujian hasil rancang bangun tersebut diuji kesesuaian (<i>compliant test</i>) dengan standar internasional yang kredibel yang dipilih sebagai acuan?

Batasan Masalah
<ul style="list-style-type: none"> - Hubungan antara kondisi sistem kelistrikan R.S. XYZ dengan nilai arus bocor, tegangan dan tahanan pentanahannya, arus frekuensi tinggi. - Hubungan antara kondisi peralatan-peralatan utama sistem kelistrikan rumah sakit dengan nilai arus bocor, tegangan dan tahanan pentanahan. - Hubungan antara kondisi peralatan medis dan kedokteran yang terhubung pada sistem kelistrikan R.S. XYZ dengan nilai arus bocor, tegangan dan tahanan pentanahan. - Hubungan antara nilai-nilai arus bocor, tegangan dan tahanan pentanahan yang dihasilkan oleh ketiga kondisi tersebut di atas dengan standar keselamatan kelistrikan rumah sakit dalam kaitannya dengan <i>patient safety</i>. - Hubungan antara nilai-nilai arus bocor, tegangan dan tahanan pentanahan yang dihasilkan dari uji kondisionalitas tersebut di atas dengan ide dan disain sebuah prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit yang sesuai.

Gambar 1.1. Atlas Penelitian Perancangan dan Pembuatan Manual Instruksi Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit



Gambar 1.2. lanjutan

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA, KERANGKA TEORI DAN HIPOTESIS PENELITIAN

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Efek-efek Fisiologis Kelistrikan

Efek fisiologis kelistrikan terjadi ketika tubuh manusia menjadi bagian dari rangkaian tertutup aliran listrik. Arus memasuki tubuh pada suatu titik dan meninggalkannya pada titik yang lainnya. Besarnya arus ini sebanding dengan tegangan yang dialami tubuh dibagi dengan jumlah aljabar impedansi seri jaringan-jaringan tubuh dan impedansi dua antar muka: titik masukan dan keluaran. Impedansi terbesar pada umumnya disumbangkan oleh tahanan kulit pada permukaan kontak. Tiga fenomena dapat terjadi ketika arus listrik mengalir melalui jaringan biologis tubuh manusia:

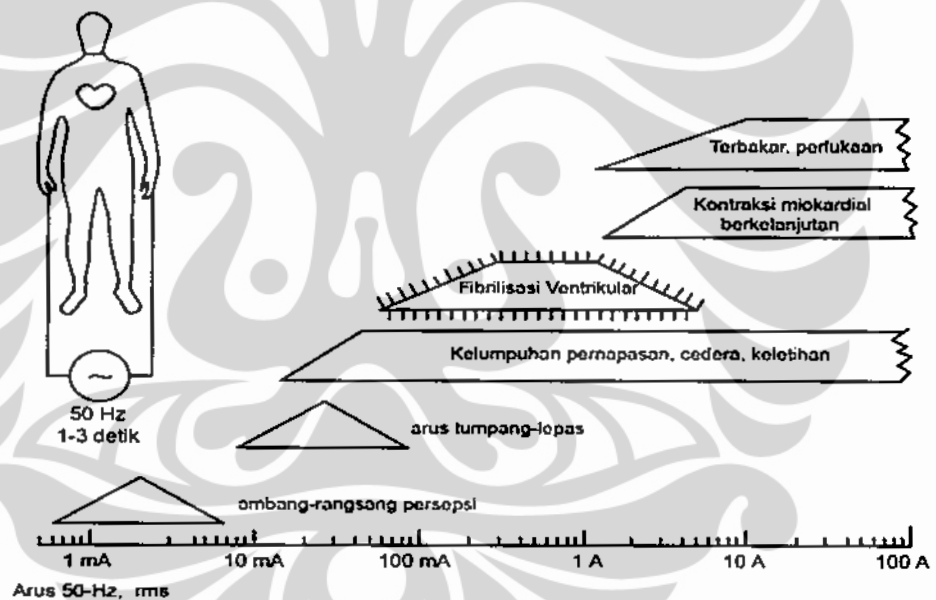
- 1) rangsangan listrik pada jaringan dapat-hasut (*excitable tissue*), saraf, otot,
- 2) pemanasan resistif jaringan,
- 3) pembakaran elektrokimia dan kerusakan jaringan karena arus searah dan tegangan yang sangat tinggi.

Salah satu teknik untuk memperoleh gambaran tentang efek psiko-fisikal dan fisiologikal yang terjadi pada tubuh manusia tampak pada sebuah percobaan dengan mengukur arus listrik yang dialami/diterapkan pada tubuh manusia, dengan mengalirkan arus listrik yang ditingkatkan secara bertahap. Gambar 2.1 adalah diagram-gambar hasil percobaan yang menunjukkan beberapa rentang efek psiko-fisikal dan fisiologikal tubuh manusia *versus* nilai- pendekatan besaran arus energi listrik yang menyebabkannya saat arus AC 50 Hz diterapkan selama selang waktu 1-3 detik, melalui konduktor kabel tembaga AWG 8 pada tubuh orang yang berbobot 70 kg yang menggenggam kedua ujung elektrodanya pada masing-masing tangan.¹ Efek-efek tersebut adalah sebagai berikut.

¹ Sastra K. Wijaya, "Pengantar Bioelektrik", *Kuliah MK Bioelektrik*, Program Studi Teknologi Biomedis, Pascasarjana UI, Term. 1/September 2008.

1. Nilai-ambang persepsi (*Threshold perception*), 0,5 mA AC 50 Hz, 2-10 mA DC.
2. Arus tumpang-lepas (*Let-go current*), 6 mA.
3. Kelumpuhan pernapasan, Cedera, dan Kelelahan (*Respiratory paralysis, Pain, and Fatigue*), 18-22 mA.
4. Fibrilisasi ventrikuler, 75-400 mA.
5. Kontraksi miokardial berkelanjutan (*Sustained myocardial contraction*), 1-6 A.
6. Terbakar dan cedera fisik (*Burns and Physical Injury*), > 10 A.

Penjelasan ringkas tentang efek-efek ini tertulis dalam bagian berikut ini.



Gambar 2.1 Efek Fisiologi Kelistrikan Nilai Ambang (*threshold*) rangsang atau nilai rata-rata perkiraannya diberikan untuk setiap rentang-efek pada tubuh manusia berbobot 70 kg yang dialiri arus AC 50 Hz selama 1-3 detik melalui kawat konduktor tembaga yang digenggam di kedua tangan.

2.1.1.1. Nilai-ambang Persepsi (*Threshold Perception*)

Arus pada nilai-ambang persepsi adalah nilai arus terkecil yang dapat dideteksi oleh individu. Nilai ini sangat bervariasi sekali untuk setiap individu dan kondisi pengukuran. Ketika seseorang dengan telapak tangan yang basah menggenggam kawat tembaga, nilai terendah ambang persepsinya kira-kira 0,5 mA pada 50 Hz. Nilai-ambang persepsi arus searah (DC) berkisar antara 2 sampai 10 mA, berupa rasa agak hangat yang dirasakan oleh kulit.

2.1.1.2. Arus Tumpang-lepas (*Let-Go Current*)

Ketika level arus semakin tinggi, saraf dan otot terangsang dengan lebih hebat dan rasa sakit bahkan letih mungkin terjadi. Peregangan terpaksa (*involuntary contractions*) dari otot-otot atau reflek berulang-ulang dari subyek yang mengalami aliran arus di atas nilai-ambang rangsang ini dapat menyebabkan cedera fisik sekunder yang setara dengan jatuh dari sebuah tangga. Saat arus semakin meningkat, peregangan terpaksa dari otot-otot dapat menghalangi subyek mengontrol gerakan-gerakan sadarnya (*voluntarily withdrawing*). Rentang *let-go current* didefinisikan sebagai arus maksimal yang diterapkan pada tubuh dengan subyek masih dapat melakukan gerakan-gerakan sadarnya. Harga minimal nilai-ambang rangsang pada rentang *let-go current* adalah 6 mA.

2.1.1.3. Kelumpuhan Pernapasan, Cedera, dan Keletihan (*Respiratory Paralysis, Pain, and Fatigue*)

Ketika arus semakin tinggi maka akan sampailah pada tahap kondisi di mana peregangan terpaksa pada otot-otot pernapasan menjadi semakin kuat, sehingga dapat menimbulkan sesak napas (*asphyxiation*) bila aliran arus tidak dihentikan. Percobaan lebih lanjut selama rentang *let-go current* yang dilakukan oleh **Datziel** pada 1973, penghambatan pernapasan sudah muncul pada rentang arus 18 sampai 22 mA.² Peregangan terpaksa otot-otot dan rangsangan saraf-saraf yang kuat ini dapat menimbulkan rasa nyeri dan keletihan bila diterapkan dalam waktu yang relatif lama.

² C.F. Dalziel, "Electric Shock", in *Advances in J.H.U. Brown and J. F. Dickson III (ed.), Biomedical Engineering*, (New York: McGraw Hill, 1973), pp. 223-248.

2.1.1.4. Fibrilisasi Ventrikuler

Jantung adalah organ tubuh yang sangat terpengaruh efek aliran listrik dengan caranya yang khas, di mana sejumlah arus dalam besaran tertentu dapat membahayakannya. Sebagian arus yang melintasi bagian dada saat tubuh manusia menerima sengatan listrik juga akan menuju ke jantung. Jika arus tersebut cukup kuat maka dapat mengganggu aktifitas kelistrikan di sana. Jika aktifitas kelistrikan jantung sedemikian terganggu, frekuensi detak jantung (*heart rate*) meningkat sampai 300 detakan per menit saat terjadinya depolarisasi gelombang muka yang berulang-ulang dan secara acak menyapu ventrikel. Aksi pemompaan jantung terhenti dan kematian dapat terjadi dalam hitungan menit. Kejadian yang cepat ini, peristiwa di mana irama jantung tidak terorganisir ini, disebut fibrilisasi ventrikular (*ventricular fibrillation*), yang tidak menguntungkan adalah kenyataan bahwa kejadian ini tidak berhenti walaupun aliran arus yang menjadi pemicunya tadi sudah diputuskan. Fibrilisasi ventrikular adalah penyebab utama kematian korban akibat sengatan listrik. Nilai ambang-rangsang terjadinya fibrilisasi ventrikular pada rata-rata ukuran tubuh manusia adalah 75 sampai 400 mA. Aktifitas irama jantung dapat kembali dinormalkan dengan memberikan sengatan pulsa arus-tinggi dari sebuah alat defibrilator, yang tujuannya mendepolarisasi semua sel-sel dalam otot jantung secara simultan. Setelah semua sel secara bersamaan santai, maka irama jantung kembali normal. Di Amerika Serikat tercatat kira-kira 1.000 kematian per tahun akibat kecelakaan sengatan listrik akibat buruknya kontak-hubung peralatan listrik rumah tangga.

2.1.1.5. Kontraksi Miokardial Berkelanjutan (*Sustained Myocardial Contraction*)

Ketika arus yang mengalir ke tubuh manusia semakin tinggi, seluruh otot jantung mengerut (berkontraksi). Walaupun jantung berhenti berdetak selama arus ini mengalir, irama normal kembali terjadi ketika arus dihentikan, sama seperti proses defibrilisasi. Data dari percobaan dengan alat *defibrilator* AC pada binatang menunjukkan bahwa arus minimal bagi terjadinya kontraksi miokardial lengkap adalah rentang nilai arus 1 sampai 6 A. Tidak ada kerusakan permanen jaringan jantung yang diketahui akibat sengatan arus sebesar ini.

2.1.1.6. Terbakar dan Cedera Fisik (*Burns and Physical Injury*)

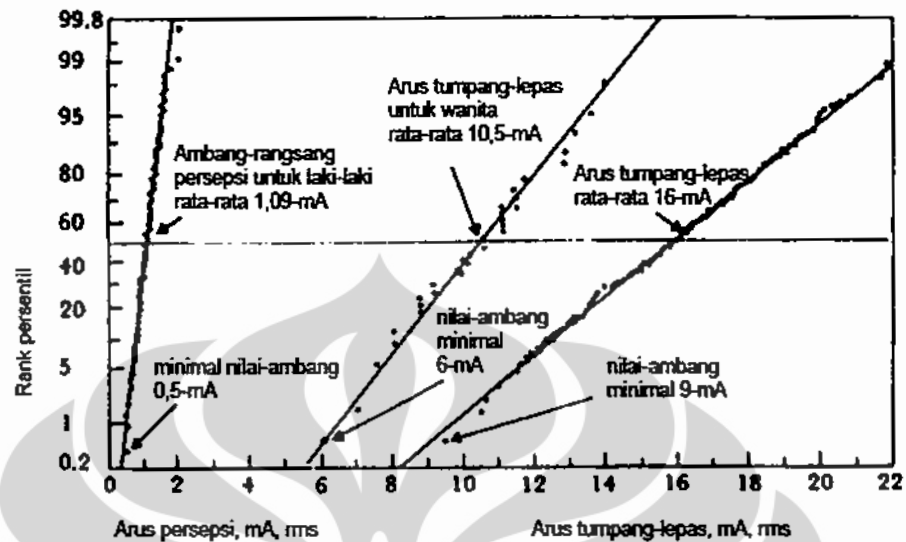
Sangatlah sedikit yang diketahui tentang efek sengatan arus listrik dengan nilai di atas 10 A, khususnya yang berdurasi singkat. Pemanasan akibat resistifitas (*resistive heating*) menyebabkan kebakaran, terutama terjadi pada kulit di titik sengatan, karena kulit adalah jaringan yang beresistifitas tinggi. Tegangan lebih 240 V dapat membocorkan kulit. Otak dan jaringan saraf lainnya kehilangan fungsi rangsangannya ketika aliran arus tinggi tersebut melintasinya. Dan arus yang tinggi ini dapat pula merangsang kontraksi muskular yang sedemikian kuat sehingga otot-otot dapat terlepas dari tulang.

2.1.2. Parameter Kerentanan

Efek-efek fisiologi seperti diterangkan di atas adalah mengambil contoh pada manusia yang berbobot 70 kg, dengan menerapkan arus listrik AC 50 Hz selama durasi waktu 1-3 detik, dengan tangannya yang sengaja dibasahkan menggenggam elektroda logam yang dihubungkan kawat tembaga AWG 8 ke sumber listrik tersebut. Arus yang diperlukan untuk memperlihatkan rentang-rentang efek fisiologis itu tergantung dari beberapa kondisi yang akan diterangkan di bawah ini. Kebijakan keamanan yang diambil mengacu pada nilai minimum dari kondisi yang diberikan, bukan nilai rata-ratanya.

2.1.2.1. Variabel Nilai-ambang Persepsi dan Arus Tumpang-lepas (*Threshold and Let-Go Variability*)

Gambar 2.2 adalah grafik yang menunjukkan nilai-ambang rangsang persepsi dan arus tumpang-lepas untuk pria dan wanita. Pada penandaan (*plot*) derajat persentil (*percentile rank*), sebagai fungsi arus **rms** (dalam mA), data-data ditunjukkan oleh garis lurus yang merupakan perwakilan dari distribusi Gaussian yang ada. Untuk laki-laki, rata-rata nilai-ambang rangsang persepinya adalah 1,1 mA, sedangkan untuk wanita, perkiraannya 0,7 mA. Angka minimal nilai-ambang rangsang persepsi adalah 500 μ A. Ketika arus listrik diterapkan pada elektroda berjeli alat EKG, angka rata-rata nilai-ambang rangsang persepinya hanya 83 μ A dalam rentangan nilai arus 30 sampai 200 μ A.



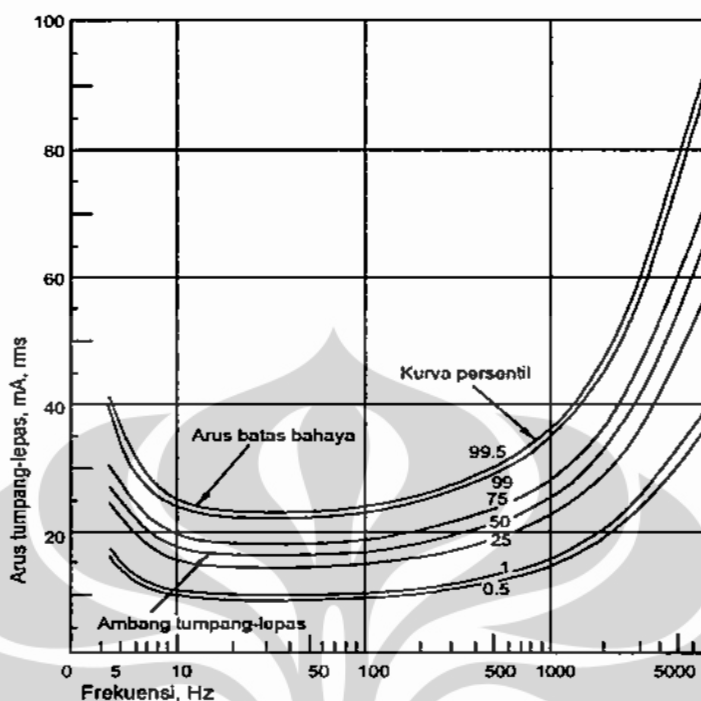
Gambar 2.2. Distribusi nilai persepsi ambang-rangsang (*perception threshold*) dan arus tumpang-lepas (*let-go currents*) Data-data ini tergantung pada kondisi kontak area permukaan titik masuk aliran arus (pada percobaan ini kontak adalah genggaman tangan manusia yang basah, menggenggam kawat

2.1.2.2. Frekuensi

Gambar 2.3 memperlihatkan grafik penandaan arus tumpang-lepas *versus* frekuensi arus. Tidak beruntung, ternyata arus tumpang-lepas minimum terjadi pada frekuensi 50-60 Hz, yang merupakan frekuensi ideal bagi jaringan distribusi listrik komersial yang diterapkan oleh banyak negara. Untuk frekuensi di bawah 10 Hz, arus tumpang-lepas meningkat, kemungkinan disebabkan otot-otot dapat relaks sejenak selama bagian-bagian siklus gelombang arus tersebut. Dan pada frekuensi di atas beberapa ratus hertz, arus tumpang-lepas kembali meningkat.

2.1.2.3. Durasi

Pulsa rangsangan listrik tunggal dapat menimbulkan fibrilisasi ventrikular jika diterapkan selama perioda rentan repolarisasi kardiak yang berkaitan dengan gelombang T pada grafik EKG. Untuk transien-transien listrik amplitudo-besar



Gambar 2.3. Arus tumpang-lepas (*let-go currents*) versus Frekuensi Nilai persentil mengindikasikan variabilitas arus tumpang-lepas di antar gender individu. Arus tumpang-lewat wanita kira-kira dua per tiga nilai pria.

dengan durasi kurang dari 100 μ detik yang diterapkan langsung menuju jantung, nilai ambang rangsangannya mendekati kerapatan transfer muatan $3,5 \mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$.

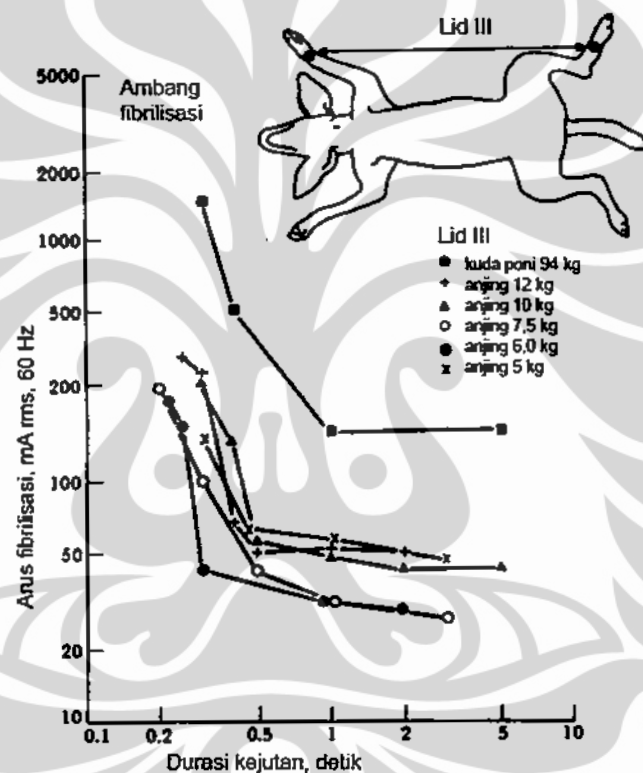
Nilai ambang arus rangsangan (I_t) berhubungan terbalik dengan durasi pulsa t , seperti diperlihatkan persamaan berikut:

$$I_t = I_r \left(1 + \frac{\tau}{t} \right) \quad (2.1)$$

di mana I_r adalah konstanta arus *rheobase* dan τ adalah konstanta waktu *chronaxie*. Untuk jantung normal, perbandingan nilai ambang rangsangan fibrilisasi untuk nilai ambang rangsangan detak-tunggal (*single beat*) adalah 20:1 sampai 30:1 untuk elektroda pada jantung dan 10:1 sampai 15:1 untuk elektroda pada permukaan dada. Untuk arus berfrekuensi 60 Hz yang diterapkan secara ekstrim, nilai ambang fibrilisasi meningkat tajam sampai mengguncang selama paling sedikit 1 detik, seperti terlihat pada Gambar 2.4. Guncangan harus cukup lama untuk mengambil tempat selama perioda rentan yang terjadi selama perioda gelombang T dalam setiap siklus kardiak.

2.1.2.4. Berat Badan

Beberapa studi menggunakan hewan, dengan berbagai bobot, memperlihatkan bahwa nilai-ambang fibrilisasi meningkat dengan bertambahnya bobot. Arus fibrilisasi meningkat dari 50 mA_(rms) untuk anjing dengan bobot 6 kg dan 130 mA_(rms) untuk anjing dengan bobot 24 kg. Penemuan ini memerlukan studi lebih lanjut, karena kemungkinan akan digunakan untuk meramalkan arus fibrilisasi pada manusia.

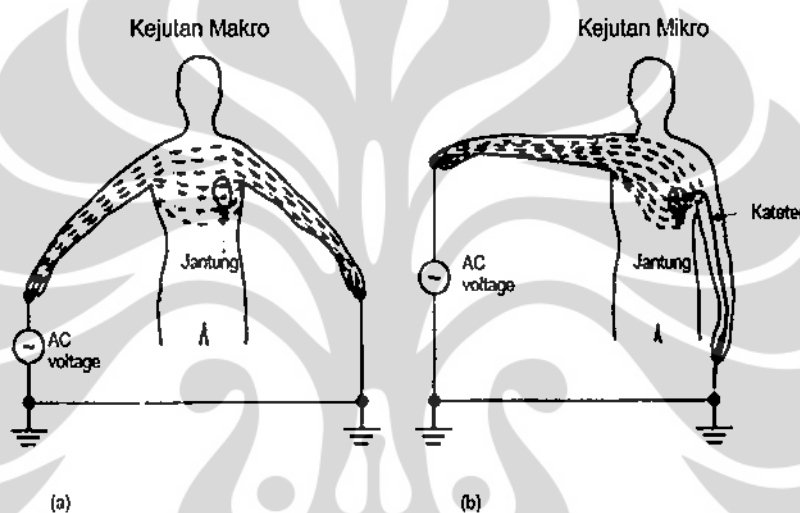


Gambar 2.4. Arus Fibrilisasi versus durasi guncangan (*shock duration*). Nilai ambang fibrilisasi ventrikular pada hewan-hewan dengan arus AC 60 Hz. Durasi dari arus (0,2 sampai 5 detik) dan berat badan binatang yang bervariasi.

2.1.2.5. Titik Masukan (*Point of Entry*)

Ketika arus diterapkan di dua titik pada permukaan tubuh manusia, hanya sebagian kecil saja dari keseluruhan arus yang mengalir di tubuh menuju jantung, seperti yang ditunjukkan gambar 2.5.(a). Besaran ini, adalah arus listrik dari luar yang dikenal dengan istilah *macroshock*. Besarnya arus listrik yang dapat

menimbulkan fibrilisasi jantung adalah jauh lebih besar bila melalui permukaan tubuh dibandingkan bila arus listrik melalui bagian dalam tubuh dekat posisi jantung. Lokasi dua titik masukan *macroshock* juga sangat menentukan. Jika dua titik tersebut kedudukannya secara ekstrim tidak terlalu jauh, resiko fibrilisasi kecil, sekalipun arusnya besar. Untuk hewan anjing, arus yang dibutuhkan untuk fibrilisasi lebih besar untuk elektroda EKG lid I (LA-RA) dari pada untuk EKG lid II (LL-RA) dan EKG lid III (LL-LA).



Gambar 2.5. Efek dari titik-titik masukan pada distribusi arus (a) *Macroshock*, Arus listrik dari luar yang masuk menyebar ke seluruh tubuh, (b) *Microshock*, semua arus yang masuk dan mengalir melalui kateter intrakardio, mengalir menuju jantung.

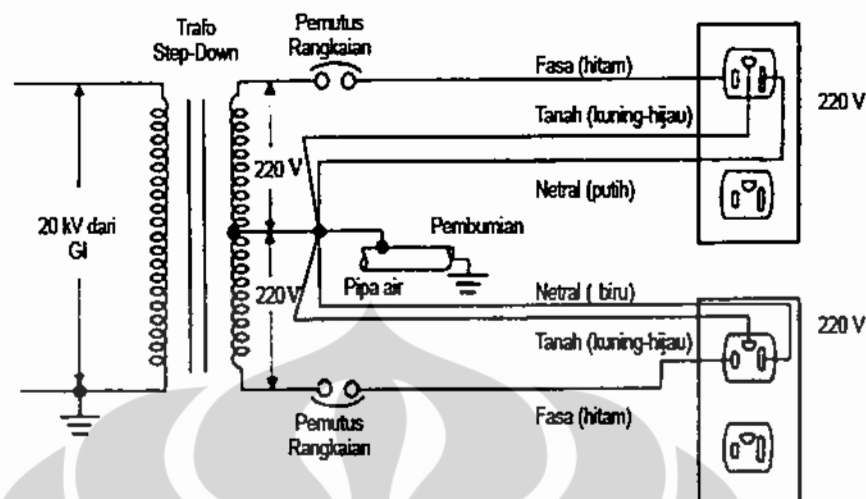
Perlindungan yang mampu diadakan oleh tahanan kulit ($15 \text{ k}\Omega$ sampai $1 \text{ M}\Omega$ untuk 1 cm^2) tereliminasi oleh prosedur medis yang melakukan penyisipan alat konduktif ke dalam permukaan terbuka atau irisan ke dalam kulit. Dibypassnya tahanan ini berarti: sedikit saja tegangan sudah cukup untuk menghasilkan arus listrik yang dapat memberikan efek yang berarti secara fisiologis.

Para pasien yang secara khusus rentan terhadap sengatan listrik (*an electrically sensitive patient – ESP*) adalah pasien yang sedang diterapkan peralatan infasif yang elektrodanya ditempatkan secara kontak langsung dengan otot jantungnya. Peralatan ini berarti membuat jalur konduktif ke jantung (walaupun elektroda ini

secara fisik disolasi sepanjang tangkainya, namun tidak pada ujungnya yang bertemu dengan otot jantung), karenanya arus yang sangat lemah sekalipun dapat mencetus terjadinya fibrilisasi ventrikular, arus ini disebut *microshock*. Seperti yang ditunjukkan gambar 2.5.(b)., hampir semua arus yang mengalir melintasi elektroda konduktif peralatan infasif ini mengalir menuju jantung. Ujung elektroda yang merupakan titik kontak akan memiliki kerapatan arus yang cukup tinggi, dan percobaan pada hewan anjing, fibrilisasi dapat ditimbulkan hanya dengan sejumlah total arus serendah 20 μA . Dari data sebaran yang terhimpun terlihat bahwa fibrilisasi jantung manusia akibat arus *microshock* dari sebuah kateter interkardiak, berada dalam rentang 80 sampai 600 μA . Rentang nilai ini merupakan nilai arus pencetus fibrilisasi dari beberapa hubungan kontak pada tubuh manusia. Batasan keamanan yang secara luas diterima adalah menjaga *microshock* dalam batas nilai 10 μA .

2.1.3. Distribusi Daya Listrik

Daya listrik dibutuhkan pada fasilitas pelayanan kesehatan tidak hanya untuk beroperasinya peralatan medis tetapi juga untuk penerangan, alat listrik perawatan, fasilitas kenyamanan pasien (semacam televisi, pemanas air, dan sikat gigi elektrik), jam dinding digital, alat panggil darurat perawat, dan daftar panjang dari berbagai peralatan listrik lainnya. Langkah awal dalam menjaga keselamatan kelistrikan adalah mengendalikan ketersediaan daya listrik dan pentanahan dalam lingkungan pasien. Tulisan ini berkonsentrasi pada metode mendistribusikan daya listrik secara aman dalam fasilitas pelayanan kesehatan.



Gambar 2.6. Penyederhanaan distribusi daya listrik rangkaian 220 V. Frekuensi daya 50 Hz.

Sebuah diagram penyederhanaan dari sebuah sistem distribusi daya listrik diperlihatkan dalam Gambar 2.6. Tegangan medium (20 kV) memasuki bangunan – biasanya melalui kabel bawah tanah. Sebuah sekunder transformator penurunan tegangan menghasilkan tegangan 380 V. Sekunder ini memiliki catuan-tengah yang tertanahkan yang menghasilkan tegangan-bagi 220 V antara tanah dengan masing-masing lilitan sekunder. Beberapa alat listrik beban tinggi (seperti pengkondisi ruangan pusat, pemanas listrik pusat, dan mesin medis 3 fasa) yang memerlukan tegangan yang lebih besar mencatu dari kedua titik tak tertanahkan dari lilitan sekunder (teknisi listrik melakukannya dengan membuat hubungan antara dua titik tak tertanahkan tersebut). Kotak-catuan daya biasa dan lampu penerangan hanya beroperasi pada tegangan kerja 220 V, yang diperoleh dari salah satu titik tak tertanahkan terminal fasa transformator (hitam) dan titik-catu pusat terminal netral transformator (biru) yang tertanahkan.

2.1.3.1. Lingkungan Kelistrikan Pasien

Tentu saja bahaya kejutan listrik dapat terjadi antar dua konduktor yang mensuplai daya listrik bagi alat baik yang bertegangan kerja 220 V maupun 380 V. Karena kawat netral pada rangkaian 120 V dihubungkan ke tanah, terhubungannya antara konduktor fasa dan obyek apapun yang kontak dengan tanah menimbulkan bahaya kejutan. Kejutan arus mikro dapat terjadi jika potensial listrik yang cukup timbul

antara dua permukaan konduktif yang dekat dengan lingkungan pasien. Potensial listrik maksimum yang diizinkan antara dua permukaan konduktif pada area sekeliling pasien berdasarkan spesifikasi yang sampai saat ini masih dijadikan acuan adalah spesifikasi dari *National Electrotechnical Commission (NEC)*, Tahun 1996, Artikel 517-15 menyebutkan hal berikut.

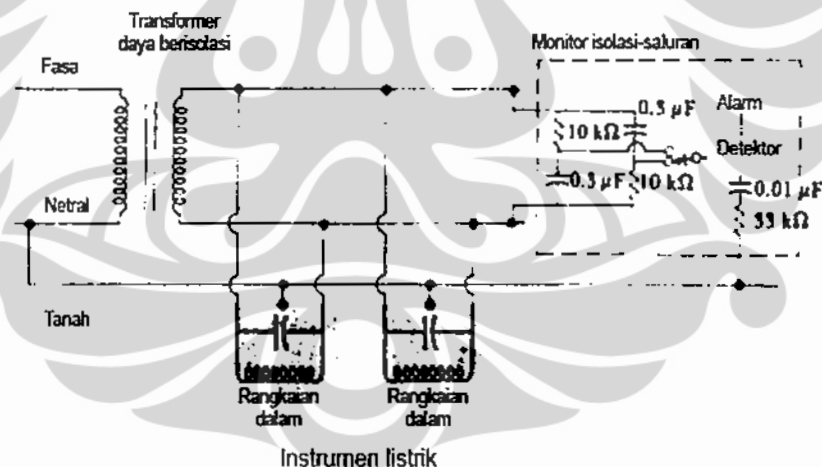
1. Area pelayanan umum, 500 mV di bawah standar operasi normal.
2. Area pelayanan kritis, 40 mV di bawah standar operasi normal.

Pada area pelayanan umum, pasien kemungkinan pasien melakukan kontak dengan alat listrik medis hanya bersifat insidental. Pada area pelayanan kritis, pasien rumah sakit memang secara sengaja dikontakkan dengan alat medis listrik, dan dibutuhkan penyekat pada kawat-kawat penghantar luar kateter jantung dengan permukaan konduktif. Pada area pelayanan kritis, semua permukaan konduktif yang dekat dengan pasien harus ditanahkan pada satu titik pentanahan (lihat Bagian 3.2.). Juga, pengujian periodik demi kesinambungan antara pentanahan pasien dengan semua permukaan yang tertanahkan sangat diperlukan.

Setiap lokasi tempat tidur pasien di area pelayanan umum memiliki paling sedikit empat kotak-catu tunggal atau dua kotak-catu ganda. Setiap kotak-catu harus tertanahkan. Paling sedikit dua pencabangan rangkaian listrik dengan pelindung arus-lebih otomatis yang menyuplai daya bagi setiap lokasi tempat tidur pasien. Untuk area pelayanan kritis, paling sedikit enam kotak-catu tunggal atau tiga kotak-catu ganda diperlukan bagi setiap lokasi tempat tidur pasien. Dua pencabangan juga diperlukan, paling sedikit salah satu diantaranya adalah jaringan mandiri dari satu panel khusus. Sebuah titik pentanahan untuk peralatan medis pasien yang dijelaskan dalam Bagian 3.2. dapat dipergunakan untuk keperluan area pelayanan kritis. Untuk detail dapat dilihat pada NEC 70-1996, artikel 517-19.

2.1.3.2. Sistem Daya-Terisolasi

Meskipun pemasangan sistem pentanahan yang baik telah dilakukan, namun karena satu dan banyak faktor titik pentanahan bersifat terpisah untuk setiap pasien, maka tidak dapat mencegah kemungkinan timbulnya tegangan berbahaya yang dapat dihasilkan dari gangguan-tanah (*ground faults*). Gangguan-tanah adalah hubungan-singkat (*short circuit*) antara kawat fasa dan kawat tanah yang menyuntikkan arus yang cukup besar ke sistem pentanahan. Kejadian timbulnya arus tinggi gangguan-tanah ini sebenarnya jarang dan biasanya rangkaian pemutus rangkaian (*circuit breakers*) langsung bekerja dengan membuka (memutus) rangkaian. Jika catuan-tengah transformator penurun-tegangan tidak ditanahkan, maka arus yang sangat kecil mengalir, sekalipun hubung-singkat ke tanah telah ada. Sepanjang kedua kawat penghantar daya terisolasi dari tanah, sebuah gangguan-tanah tidak akan mencetus timbulnya arus besar yang dapat menimbulkan tegangan yang berbahaya antara permukaan-permukaan yang konduktif.



Gambar 2.7. Sistem transformator daya terisolasi dengan monitor isolasi saluran untuk mendeteksi terjadinya gangguan tanah (*ground faults*).

Isolasi antara kedua kawat penghantar dengan tanah umumnya telah dipenuhi oleh isolasi transformator. Salah satu tipe sistem daya yang terisolasi ditunjukkan oleh Gambar 2.7. Sistem terisolasi semacam ini, bila timbul gangguan-tanah tunggal dari salah satu kawat penghantar ke pentanahan, maka dengan mudah sistem

memulihkan kembali ke kondisi normalnya. Sebuah gangguan kedua dari konduktor lainnya ke pentanahan kemudian diperlukan untuk menarik arus yang besar di tanah.

Sebuah alat yang beroperasi secara berkesinambungan yaitu monitor isolasi-penghantar (*line-isolation monitor* - LIM), yang disebut juga detektor dinamis pentanahan (*dynamic ground detector*), harus digunakan dengan isolasi transformator untuk mendeteksi gangguan-pertama dari penghantar lain ke pentanahan. Monitor ini secara berganti-ganti mengukur semua arus bocor, baik yang bersifat resistif maupun kapasitif (total arus yang berpotensi menimbulkan bahaya) yang dapat mengalir melalui impedansi yang rendah bila penghantar ini terhubung di antara penghantar terisolasi lainnya dan pentanahan. Ketika nilai arus berbahaya (*hazard current*) melampaui nilai 3,7 sampai 5,0 mA untuk tegangan fasa normal, lampu merah dan alarm akan aktif. LIM ini sendiri sebenarnya dapat memonitor arus berbahaya senilai 1 mA. Hal inilah yang membuat gangguan dari total arus berbahaya yang diizinkan terjadi oleh pemakaian peralatan-peralatan yang dilayani oleh transformator harus kurang sedikit dari nilai 5 mA.

Jenis tindakan korektif yang mestinya dilakukan saat alarm berhenti berbunyi harus dijelaskan kepada para personil medis sehingga mereka tidak *over* reaktif. Pensaklaran periodik dalam beberapa monitor saluran-terisolasi menghasilkan transien yang dapat menginterferensi proses monitoring sinyal fisiologis berlevel-rendah (EKG dan EEG) dan mengakibatkan kesalahan pencatatan denyut jantung. Atau ini dapat memicu defibrilator yang tersinkronisasi dan pompa bantu balon-aortik selama penggunaannya dalam menangani pasien yang sedang mengalami fase-salah siklus jantung. Beberapa LIM mengatasi permasalahan ini dengan menggunakan dua-saluran rangkaian dari pada dengan pengukuran total arus berbahaya dengan pensaklaran antara tiap saluran fasa dan pentanahan.

Sistem daya-terisolasi sejatinya ditawarkan untuk mencegah loncatan api dari masukan ke kontak-kontak dengan gas anestesi mudah terbakar semacam ether.

Standar NEC mensyaratkan sistem daya-terisolasi hanya pada ruang operasi dan lokasi lain di mana terdapat penggunaan atau penyimpanan gas anestesi mudah terbakar.

2.1.3.3. Sistem Daya Darurat

Dalam artikel 517 *National Electrical Code* (NEC) (1996) terdapat persyaratan tentang suplai daya darurat yang dibutuhkan bagi fasilitas yankes. Sistem darurat ini bekerja secara otomatis mensuplai daya cadangan pada area-area tertentu dalam waktu 10 detik setelah pemadaman daya utama. Sistem darurat ini dapat terdiri dari dua bagian:

- 1) rangkaian keselamatan (iluminasi, alarm, dan peralatan peringatan), dan
- 2) rangkaian kritis (penerangan dan kotak-catuan daya bagi area pelayanan pasien kritis).

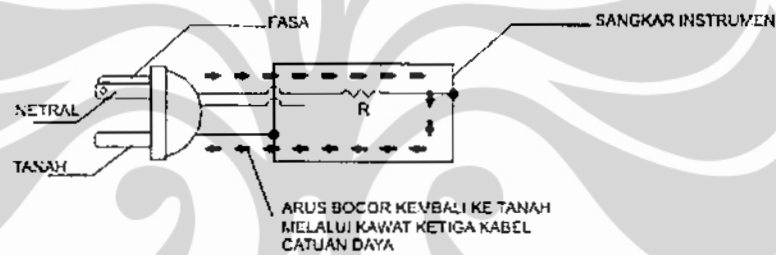
2.1.4. Risiko Kejutan Listrik Makro (*Macroshock Hazards*)

Hal-hal yang dapat memicu terjadinya fibrilisasi jantung akibat arus kejutan listrik dari luar tubuh (*macroshock*) disebut risiko arus kejutan listrik makro (*macroshock hazards*). Kebanyak *macroshock hazards* dianggap berasal dari pentanahan listrik yang tidak baik. Hal ini bisa berasal dari buruknya desain peralatan, putusnya kawat pentanahan di tusukan-catuan daya (*power cord/plug*) atau kotak-catuan daya (*power outlet*) yang tidak terpasang dengan baik.

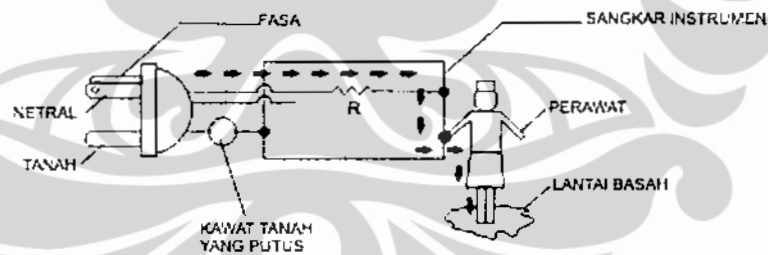
Seperti halnya air atau cairan lain yang mengalir ke tempat yang lebih rendah, demikian pula arus listrik akan mencari tempat yang level kelistrikannya lebih rendah, yaitu tanah (*ground*). Bila sebuah instrumen listrik didisain dengan baik, dalam kondisi pentanahan yang baik, dan terhubung dengan catuan daya yang tertanahkan dengan baik, maka arus-sasar (*stray currents*) atau arus-bocor (*leakage currents*) yang timbul sebagai efek operasional alat dapat secara aman disalurkan ke tanah. Pada sebuah alat, bahkan saat belum dihidupkan, arus bocor dapat timbul. Arus ini mengalir dari kawat fasa (*hot line*) kabel dayanya melalui kotak pelindung alat/sangkar (*casing*) seperti ditunjukkan Gambar 2.8.(a). Besarnya arus bocor ini tergantung banyak faktor, seperti desain rangkaian alat,

kualitas isolasi komponen rangkaian; namun demikian suatu alat yang didesain sebaik apa pun, dengan kualitas material komponen yang terbaik sekali pun, tidak dapat menghilangkan timbulnya arus bocor secara sama sekali. Biasanya kotak pelindung alat terbuat dari metal dan dihubungkan ke kawat pentanahan kabel dayanya, sehingga terhubung melalui kontak-tusuknya ke jalur pentanahan instalasi listrik bangunan. Arus bocor pada pelindung metal ini dapat diteruskan ke tanah.

Gambar 2.8.(b). menggambarkan apa yang terjadi bila sistem pentanahan tidak baik, baik dari alat itu sendiri maupun pada jaringan instalasi daya fasilitas tempat alat itu dioperasikan.



(a) Bahaya kelistrikan direduksi pentanahan yang baik

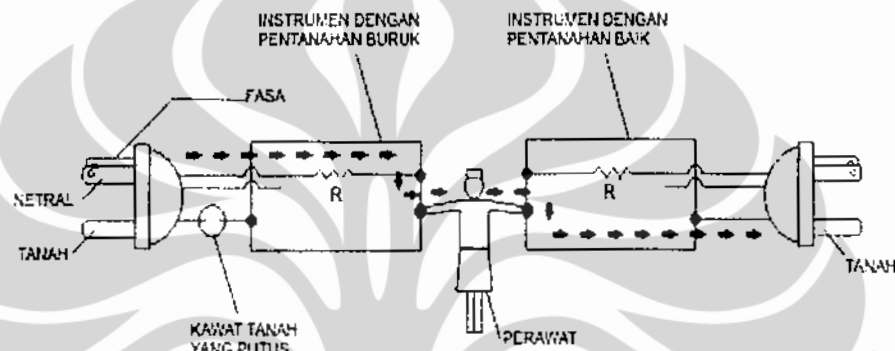


(b) Bahaya kelistrikan dihasilkan oleh kawat pentanahan yang putus

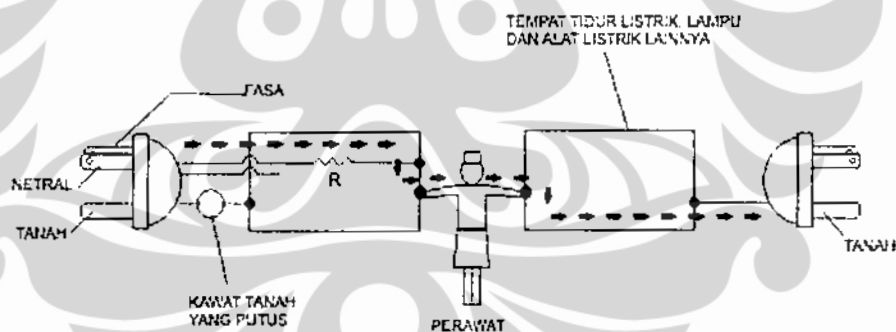
Gambar 2.8. Risiko akibat buruknya sistem pentanahan, baik dari peralatan maupun dari instalasi daya fasilitas

Arus bocor tidak dapat mengalir ke sistem pentanahan. Seorang pasien, perawat, atau tamu yang berdiri di lantai basah misalnya, akan dianggap sebagai jalur tercepat menuju ke tanah oleh arus bocor ini bila yang bersangkutan menyentuh kotak-pelindung metal alat. Walaupun mereka tidak berdiri di lantai basah (yang

secara esensi dianggap *ground*), risiko tegangan akibat arus bocor ini tetap ada. Sebagai contoh: perawat yang tidak berdiri di lantai basah, tetapi sedang menyentuh alat yang pentanahannya tidak baik dengan tangan kanan, serta tangan kirinya menyentuh alat berpentanahan baik, seperti Gambar 2.8., maka arus bocor menemukan jalannya ke tanah melalui alat berpentanahan baik dan tubuh si perawat.



(a) Bahaya kelistrikan melalui instrumen lain yang berpentanahan baik

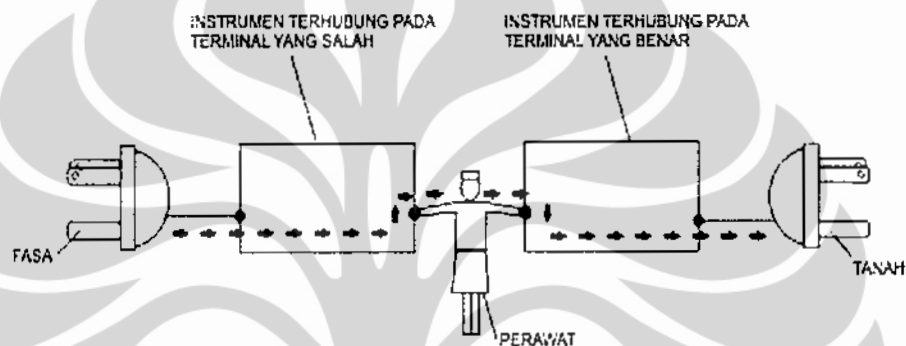


(b) Bahaya kelistrikan melalui pentanahan alat listrik

Gambar 2.9. Jalur-jalur *macroshock hazard* yang terbentuk

Sebuah kotak-catuan daya (*power outlet*) yang buruk (kawat pentanahannya kontak dengan kawat pentanahan) dapat menimbulkan risiko *macroshock* sekalipun kondisi alat yang terhubung kepadanya memiliki sistem pentanahan yang baik. Hal ini digambarkan oleh Gambar 2-10. Kawat fasa sistem kelistrikan fasilitas terhubung singkat ke kawat pentanahannya. Arus listrik dari kawat fasa

akan mengalir ke tusukan pentanahan (*ground pin*) kontak-tusuk alat, sedangkan ground pin ini terhubung dengan case metalnya. Jika seorang perawat menyentuh case alat ini sementara tangan yang satunya lagi menyentuh alat lain yang bersistem pentanahan baik serta terkoneksi ke kotak-catuan daya yang baik maka yang bersangkutan akan menjadi bagian dari jalan aliran arus dari kotak-catuan daya yang buruk ke tanah melalui saluran pentanahan kotak-catuan daya yang baik tadi.



Gambar 2.10. *Macroshock hazard* akibat kesalahan pengawatan pada kotak-catuan daya

2.1.4.1. Tahanan Kulit dan Badan

Tahanan kulit membatasi arus yang mungkin mengalir melalui tubuh manusia ketika yang bersangkutan mengalami kontak dengan sumber tegangan. Tahanan kulit bervariasi secara lebar tergantung terhadap kondisi basah yang disebabkan keterlibatan air dan minyak. Secara proporsional berbanding terbalik dengan area kontak.

Tahanan kulit terbesar terdapat pada kulit bagian luar, lapisan tanduk dari jaringan epidermis. Untuk satu sentimeter persegi dari kontak listrik dengan kulit yang kering, tahanannya pada jarak $15 \text{ k}\Omega$ sampai hampir $1 \text{ M}\Omega$, tergantung dari bagian mana dari tubuh dan kondisionalitasnya (lembab atau berkeringatnya tubuh). Jika kulit basah atau retak, tahanan menurun sampai 1% dari nilai tahanan kulit kering. Secara kontras, tahanan dalam badan sekitar 200Ω untuk setiap anggota tubuh (tangan, kaki) dan sekitar 100Ω untuk badan. Tahanan dalam antara dua anggota badan (antara kiri dan kanan) adalah 500Ω . Nilai ini mungkin

lebih tinggi lagi pada orang yang gemuk, karena tahanan jenis lemak adalah tinggi. Kenyataannya, distribusi arus pada variasi jaringan di tubuh sangat sulit diprediksikan.

Beberapa prosedur medis dapat mereduksi atau mengeliminasi tahanan kulit yang menyebabkan peningkatan arus yang mengalir dan mengancam pasien dengan bahaya kejutan-arus makro. Sebagai contoh, jeli untuk elektroda biopotensial menurunkan tahanan kulit. Termometer digital yang ditempatkan di mulut atau *rektum* juga menghilangkan tahanan kulit, demikian pula kateter intravena berisi cairan yang dapat beraksi sebagai penghantar. Hingga pasien di fasilitas pelayanan medis sedemikian rawan untuk mengalami risiko kejutan-arus makro daripada fasilitas lainnya.

2.1.4.2. Gangguan Kelistrikan pada Peralatan Listrik

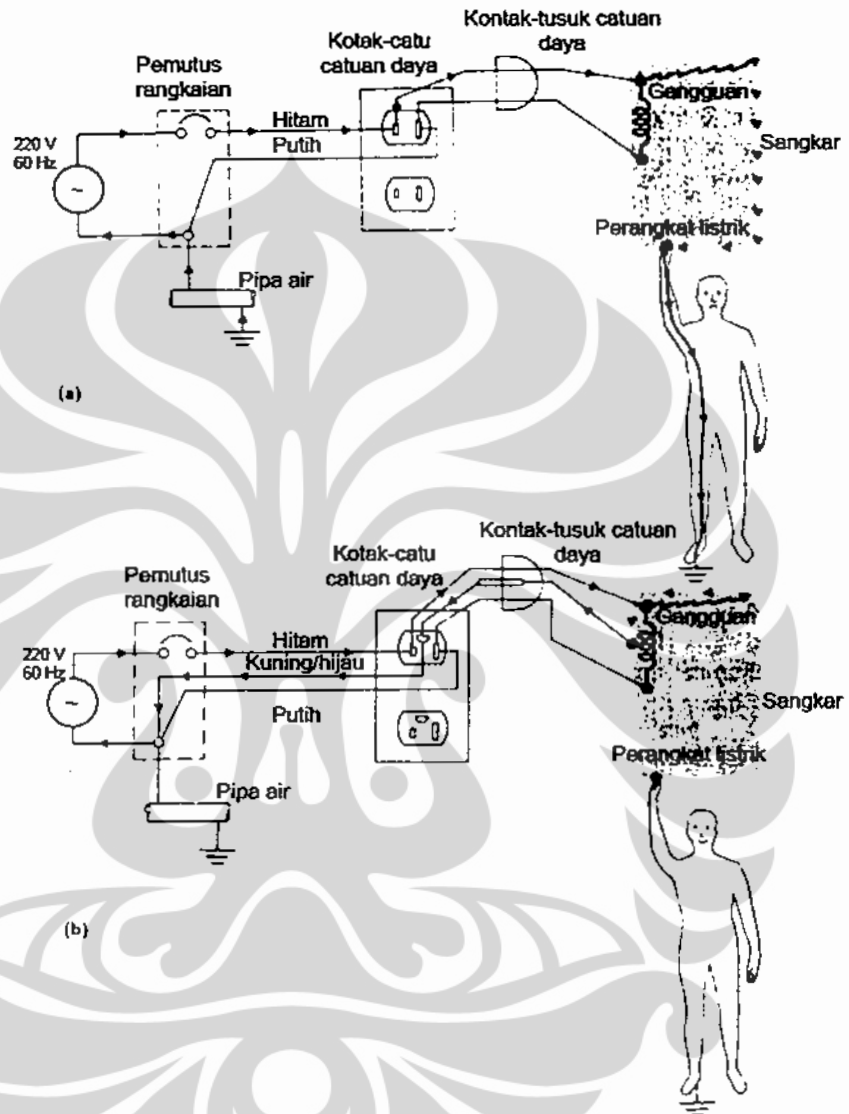
Semua peralatan listrik dalam proses disainnya pasti menerapkan prinsip: seminimal mungkin terjadi ekspos antara manusia dengan bahaya kelistrikan. Akan tetapi, kebanyakan peralatan listrik saat ini menggunakan bahan logam sebagai sangkar (*chasing*) dengan pertimbangan:

- 1) secara struktur bersifat lebih kuat dalam melindungi bagian dalam alat,
- 2) secara listrik lebih mudah mengalirkan arus transien dan arus bocor (karena sangkar biasanya sekaligus dijadikan media penghantar ke titik pentanahan),

sifat konduktor bahan logam inilah yang menyebabkan risiko bahaya kelistrikan bagi personil medis dan pasien yang menyentuhnya. Bila sangkar atau kabinet ini tidak tertanahkan, seperti terlihat dalam Gambar 2.11(a), kemudian terjadi kerusakan isolasi atau terjadi hubung singkat antara konduktor fasa kabel daya dengan sangkar, maka tegangan 220 V timbul antara sangkar dengan semua obyek yang terhubung ke tanah, maka muncullah bahaya kejutan makro.

Sangkar atau kabinet biasanya dihubungkan ke sistem pentanahan instalasi listrik sarana melalui konduktor pentanahan kabel daya (konduktor dengan warna isolasi

kuning garis hijau) seperti diperlihatkan Gambar 2.11(b). Konduktor pentanahan ini



Gambar 2.11. *Macroshock* akibat gangguan tanah (*ground-fault*) dari jalur fasa ke peralatan untuk (a) sangkar yang tidak ditanahkan dan (b) sangkar yang ditanahkan.

sebenarnya terhubung pula ke konduktor netral dan terminal pentanahan panel distribusi listrik. Kemudian, saat gangguan terjadi antara konduktor fasa dan sangkar, aliran arus dapat dialirkan secara aman menuju ke titik pentanahan. Jika tahanan pentanahan sangat rendah, tegangan yang timbul antara sangkar dengan obyek lain yang berdiri di tanah dapat diabaikan. Jika terdapat arus yang cukup

yang melalui konduktor pentanahan untuk membuka rangkaian-pemutus (*circuit breaker*), dapat dijadikan sebagai indikator bagi orang-orang untuk waspada.

Tercatat bahwa gangguan langsung seperti di atas, yaitu antara konduktor fasa (atau terminal bertegangan tinggi peralatan) dengan pentanahan, bukanlah hal yang sering terjadi. Sedikit atau bahkan tidak ada arus yang mengalir melalui konduktor pentanahan selama operasional peralatan listrik dalam kondisi normal. Keberadaan konduktor ini sebenarnya tidak diperlukan dalam perlindungan terhadap bahaya kejutan makro, kecuali bila terjadi gangguan kelistrikan. Kerusakan atau ketidakberesan hubungan konduktor pentanahan ini tidak dapat terdeteksi selama kondisi operasi normal peralatan. Pemeriksaan periodik terhadap kondisi sambungan konduktor pentanahan dan terminal kotak-catuan daya merupakan langkah yang diambil karena alasan tersebut.

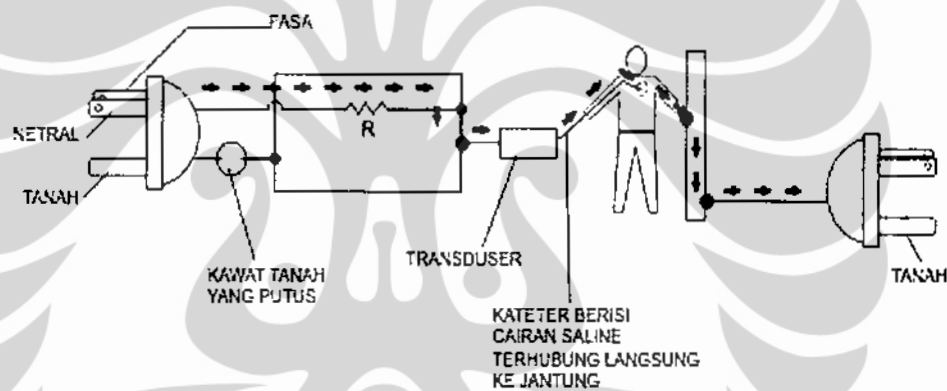
Gangguan di dalam peralatan listrik boleh jadi disebabkan kegagalan isolasi. Komponen yang terhubung singkat, atau kegagalan mekanis yang menyebabkan hubung singkat. Kabel daya adalah komponen yang paling sering menerima tekanan dan perlakuan fisik yang keras lainnya, demikian juga dengan kontak-tusuk dan kotak-catuan dayanya. Secara ironis, adalah mungkin sangkar peralatan atau kabinet (yang terbuat dari metal) berubah menjadi penghantar fasa yang disebabkan oleh konduktor pentanahan di dalam kabel catuan daya (*power cords*). Jika konduktor pentanahan terhubung dengan konduktor fasa di suatu titik pada jalur kabel catuan daya yang buruk, sedangkan konduktor pentanahan ini biasanya juga dihubungkan dengan sangkar alat maka aliran listrik akan mengalir ke sini. Seringkali kecelakaan kejutan makro disebabkan keteledoran dan kegagalan dalam mengenali ketidakberesan pada sistem distribusi listrik atau pada peralatannya.

Cairan – semacam darah, air seni, larutan intravena, dan bahkan susu bayi, dapat menjadi konduktor listrik yang baik dan dapat menyebabkan hubung singkat sementara saat terpercik ke peralatan medis. Bahaya ini menjadi potensial di rumah sakit pada area yang cenderung basah, seperti ruang hemodialisis dan

terapi fisik. Kabinet atau sangkar dari kebanyakan peralatan listrik medis dilengkapi ventilasi untuk sirkulasi udara panas akibat operasionalnya. Ventilasi berupa celah-celah udara ini menjadi jalan bagi percikan cairan konduktif. Langkah antisipasi adalah memilih peralatan listrik medis yang ventilasi sangkar atau kabinetnya secara mekanis tidak mudah dimasuki cairan dari luar.

2.1.5. Risiko Kejutan Listrik Mikro (*Microshock Hazards*)

Karena peningkatan penggunaan elektroda dan kateter intrakardiak atau intravaskular, arus singkat dalam rentang mikroampere sudah menjadi kewaspadaan kita. Arus dalam ukuran ini jika mengenai secara langsung ke jantung melalui elektroda/kateter ini dapat menimbulkan fibrilasi ventrikular.

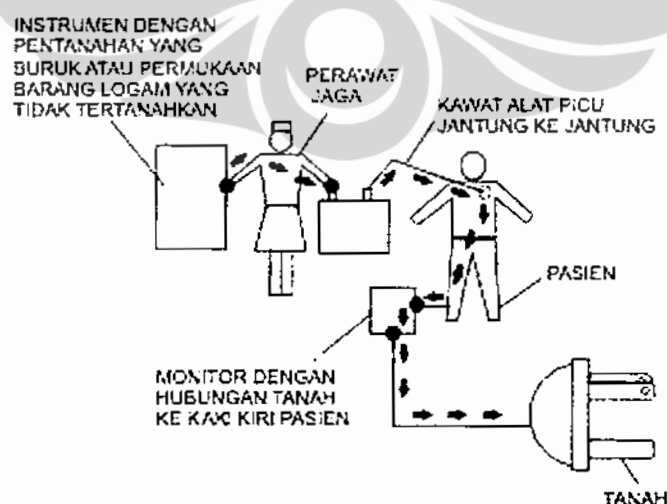


Gambar 2.12. Situasi yang memungkinkan *microshock hazard* terjadi

Sebagai contoh digambarkan pada Gambar 2.12. Di sini, kateter terisi-garam (*salined-filled catheter*) disisipkan ke jantung dan ujung lainnya terhubung ke transduser pengukur-tekanan. Kotak pelindung logam transduser ini tertanahkan melalui saluran pentanahan alat monitor tekanannya. Jika terjadi gagal-pentanahan (*ground fault*) karena putusnya kawat pentanahan di salah satu bagiannya (bisa di kotak-catuan, atau di alat itu sendiri) karena suatu alasan, maka situasi yang berbahaya sudah tercipta. Anggaplah, si Pasien menyentuh pinggiran ranjang yang terbuat dari logam atau sesuatu permukaan yang terhubung dengan saluran pentanahan, atau misalnya si perawat atau pembesuk secara bersamaan menyentuh pasien dan pinggiran ranjang. Satu rangkaian tertutup jalur kelistrikan

kini terbentuk. Seperti terlihat, arus bocor dari kawat fasa kotak-catuan daya fasilitas mengalir melalui kotak pelindung alat monitor tekanan, melalui kotak pelindung transduser, melalui kateter dan menuju jantung pasien dan menuju ke saluran pentanahan melalui pinggiran ranjang. Kaluran jalur ini melalui secara langsung jantung, maka arus kecil beberapa mikroampere sudah dapat menyebabkan bahaya yang ekstrim.

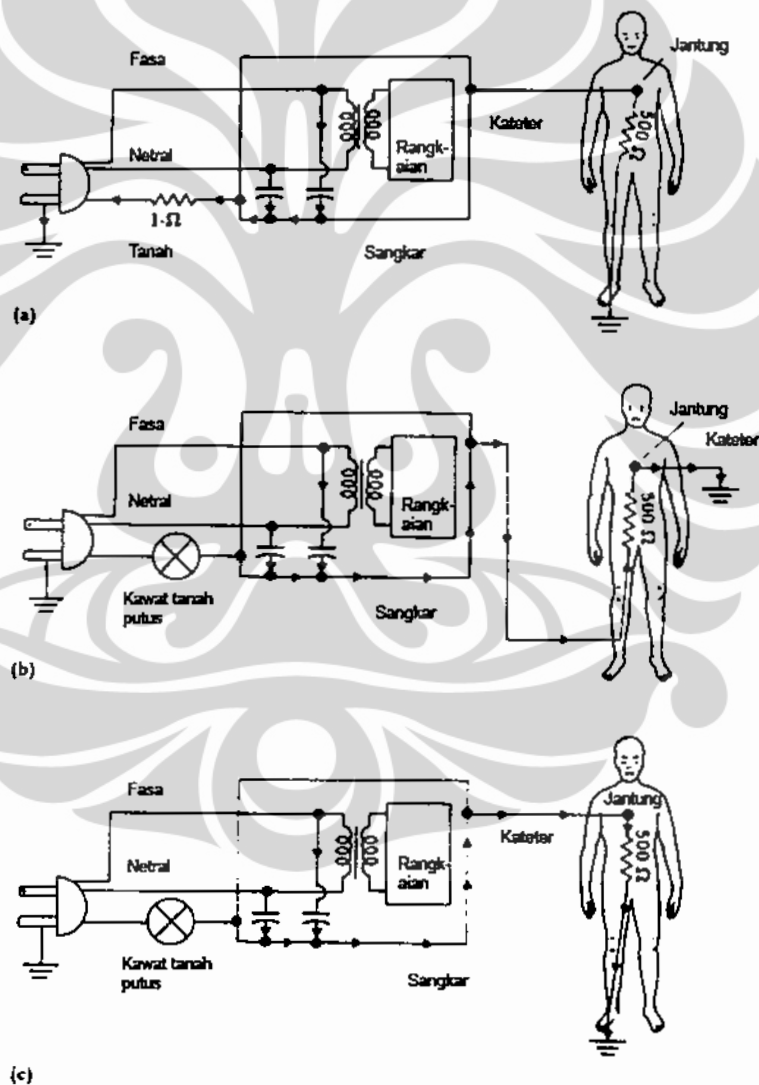
Tipe lain dari situasi yang menyumbangkan terjadinya risiko *microshock* pada pasien diilustrasikan pada Gambar 2.13. Kebanyakan dari monitor kardiak lama (masih banyak digunakan sampai saat ini) menghubungkan elektroda tangan kanan ke kotak pelindung logam monitornya (yang terhubung ke saluran pentanahan melalui kontak-tusuknya). Hal ini berarti tangan kanan si pasien terhubung pula ke saluran pentanahan sistem kelistrikan fasilitas. Suatu arus bocor dapat menuju pasien melalui salah satu jalan yang mudah menuju pentanahan. Gambar 2.13. menggambarkan dengan contoh pasien dengan alat picu jantung (*pacemaker*). Alat picu jantung terhubung melalui rute *pervenous* ke elektroda intrakardiak. Jika seorang perawat, pelayan, atau orang lain menyentuh terminal logam dari picu jantung dan pada saat yang sama menyentuh suatu alat instrumen yang tidak tertanahkan dengan baik, maka jalur lengkap dari arus bocor yang melalui jantung pasien terbentuk.



Gambar 2.13. Kemungkinan *hazard* pada penggunaan monitor kardiak dan picu jantung

2.1.5.1. Arus Bocor (*Leakage Current*)

Arus kecil (biasanya dalam orde mikroampere) seperti yang telah disinggung di atas yang disebut arus-bocor tidak dapat dielakkan mengalir antara konduktor yang berdekatan dan memiliki perbedaan potensial. Meskipun sebagian besar arus bocor pada peralatan yang sedang beroperasi mengalir melalui kapasitansi semu antara dua konduktor, sejumlah arus bocor yang bersifat resistif mengalir melalui isolasi, debu, dan cairan kering.



Gambar 2.14. Jalan-alir arus bocor Anggap arus bocor sebesar $100\ \mu\text{A}$ dari jaringan daya menuju sangkar peralatan, (a) Pentanahan yang baik, dan $99,8\ \mu\text{A}$ arus-bocor mengalir ke tanah, (b) Pentanahan yang putus, dan $100\ \mu\text{A}$ arus bocor mengalir ke jantung, (c) Pentanahan yang putus, dan arus bocor mengalir ke jantung dalam arah yang berlawanan.

Sumber yang paling penting dari arus bocor adalah arus yang mengalir dari semua konduktor di peralatan listrik ke konduktor yang mengarah ke sangkar atau ke pasien. Arus bocor yang mengalir ke sangkar akan mengalir secara aman ke pentanahan bila terdapat sistem pentanahan yang rendah tahanan pentanahannya, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.14.(a). Jika konduktor pentanahan ini putus, maka tegangan sangkar akan meningkat relatif terhadap tanah, dan pasien yang menyentuh sangkar tersebut dan terpasang suatu elektroda listrik yang tertanahkan ke jantungnya akan menerima arus kejutan mikro [Gambar 2.14.(b)]. Begitu pula jika terdapat hubungan antara sangkar ke jantung pasien dan hubungan ke tanah di bagian badan mana pun, juga akan mengalami bahaya arus kejutan mikro [Gambar 2.14.(c)].

2.1.5.2. Permukaan Konduktif

Sumber yang memproduksi arus kejutan mikro tidak harus berupa arus bocor dari peralatan listrik medis yang sedang beroperasi. Tegangan kecil antara dua permukaan konduktif sembarang di dekat pasien dapat menyumbang kejutan mikro jika salah satu permukaan membuat kontak dengan jantung dan yang lainnya membuat kontak dengan bagian lain di tubuh. Contoh dari peristiwa semacam ini akan ditunjukkan dalam pembahasan selanjutnya.

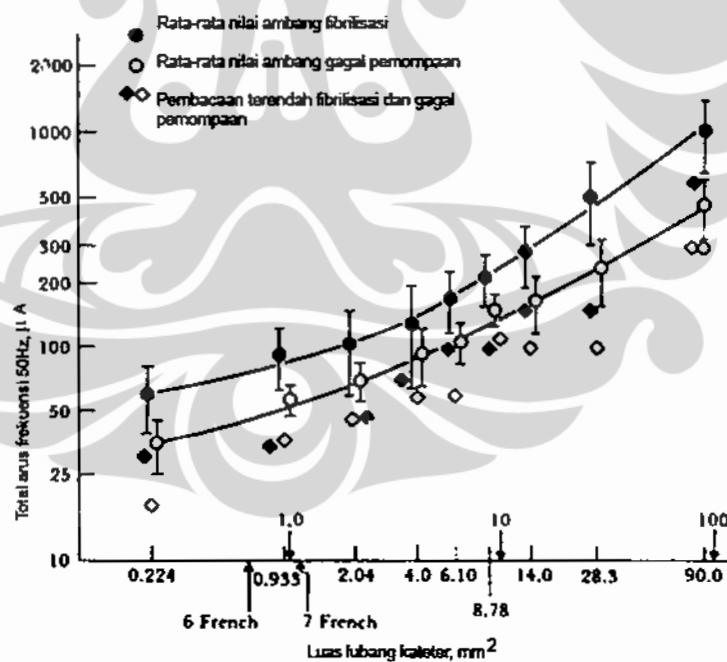
2.1.5.3. Jalur Konduktif ke Jantung

Beberapa tipe hubungan kelistrikan ke jantung dapat diidentifikasi. Di bawah ini disebutkan peralatan klinis yang menyebabkan pasien mudah terkena kejutan mikro arus listrik.

- 1) Elektroda epikardial dan endokardial dari picu jantung eksternal yang dipasang sementara.
- 2) Elektroda untuk alat ukur elektrogram intrakardiak (EGM).
- 3) Kateter berisi cairan yang ditempatkan pada jantung untuk:
 - a) mengukur tekanan darah,
 - b) mengambil sampel darah,
 - c) menginjeksikan substansi semacam cairan obat ke jantung.

Perlu digarisbawahi bahwa pasien dalam bahaya kejutan mikro hanya saat sedang dalam kondisi perawatan dengan beberapa koneksi kelistrikan terjadi ke jantungnya. Tahanan dalam kateter berisi-cairan harus lebih besar (di kisaran 50 k Ω sampai 1 M Ω) dari pada tahanan konduktor logam alat picu jantung atau elektroda lid EGM. Tahanan dalam dari tubuh untuk menahan kejutan mikro adalah sekitar 300 Ω , dan tahanan kulit dapat bervariasi.

Pada hewan anjing, area permukaan elektroda intrakardiak adalah penentu yang penting bagi arus minimal pencetus fibrilasi³. Gambar 2.15. menunjukkan bahwa elektroda kateter bila dibuat semakin kecil, maka semakin kecil pula arus total yang dibutuhkan untuk mencetus fibillasi. Hal ini berarti bahwa kerapatan arus pada ujung elektroda intrakardiak adalah parameter penting dalam proses terjadinya kejutan mikro. Semakin kecil kateter berarti semakin besar tahanan dalamnya.



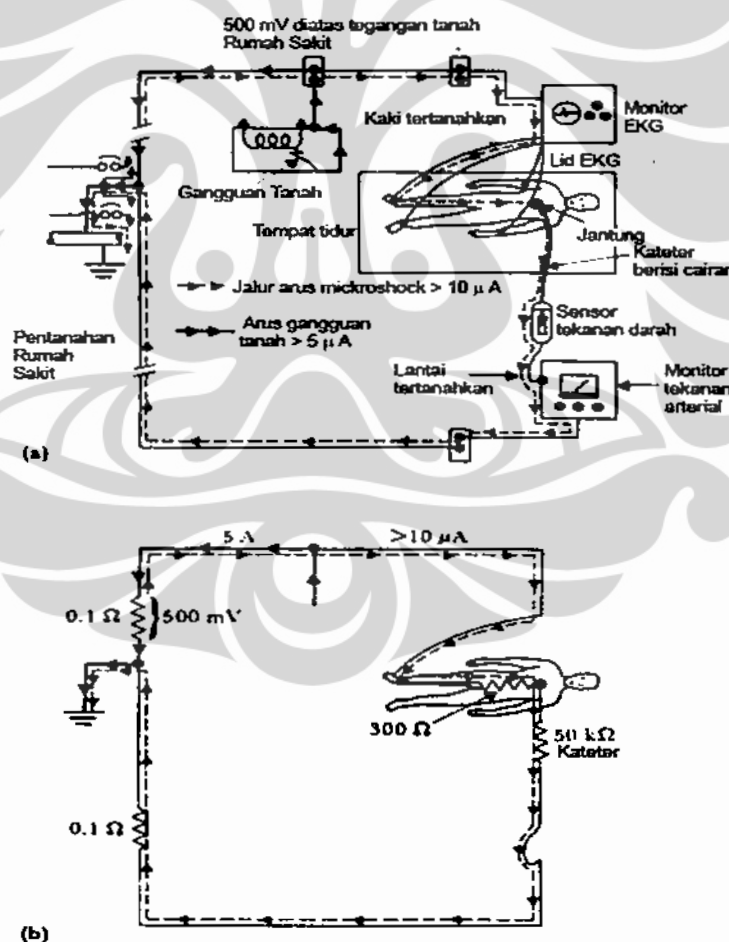
Gambar 2-15 Nilai-ambang fibrilasi ventrikular dan gagal pemompaan *versus* luas penampang kateter dalam percobaan dengan anjing

³ O. Z. Roy, Scott, J. R., Park, G. C., "60 Hz ventricular fibrillation and pump failure thresholds versus electrode area", IEEE Trans. Biomed. Eng., 1976, 23, 45-48.

2.1.5.4. Kejutan Listrik Mikro Melalui Perbedaan Potensial Pentanahan

Sebagai contoh kejutan mikro menggambarkan kebutuhan referensi tunggal titik pentanahan dari setiap pasien di area pelayanan-kritis dan keperluan bagi 40 mV batas untuk perbedaan tegangan antara permukaan konduktif dan area ini.

Gambar 2.16 memperlihatkan pasien di unit pelayanan intensif - ICU yang sedang terhubung dengan monitor EKG yang mentanahkan elektroda kaki-kiri untuk mereduksi pengaruh interferensi 50 Hz. Seorang pasien sedang dalam pengukuran tekanan darah pada ventrikular-kiri nya juga dimonitor dengan bantuan kateter intrakardiak berisi cairan saline yang terhubung dengan sensor tekanan berbahan logam yang tertanahkan.



Gambar 2-16 (a) Arus gangguan-tanah yang besar menaikkan perbedaan potensial di salah satu titik-pentanahan yang terhubung ke pasien. Arus kejutan mikro pun dapat mengalir melalui kateter yang terhubung ke titik-pentanahan lainnya, (b) Rangkaian ekuivalen. Hanya menampilkan pentanahan sistem tenaga saja.

Anggap bahwa kedua monitor ini terhubung ke sistem pentanahan melalui kabel catuan-daya tiga-tusukan (*three-prong power chord*) yang dimilikinya ke kotak catuan-daya yang menyediakan terminal pentanahan, maka sangkar kedua alat ini terhubung ke sistem pentanahan pusat di panel pendistribusian daya utama yang jaraknya mungkin bermeter-meter darinya. Kejutan mikro dapat terjadi saat salah satu alat dengan gagal pentanahan (*ground fault*) tidak membuka pemutus rangkaian (*circuit breaker*) beroperasi di salah satu rangkaian.

Gambar 2.16.(a) menunjukkan skema dari bahaya ini; Gambar 2.16.(b) menunjukkan rangkaian persamaannya. Anggapan kasar arus-bocor efek gangguan-kelistrikan lantai keramik, yang berdebu dan lembab, adalah 5 A yang mengalir ke panel distribusi utama melalui konduktor tanah kabel catuan daya alat. Lantai keramik dapat berfungsi sebagai peredam dengan baik, sehingga gangguan ini tidak terasa oleh operator. Konduktor tanah dapat dengan mudah ditekan nilai tahananannya sampai $0,1 \Omega$, sehingga hanya tegangan senilai 500 mV yang muncul pada pasien antara pentanahan monitor EKG dengan pentanahan monitor pengukur tekanan. Jika tahanan tubuh pasien dan kateter berisi cairan kurang dari $50 \text{ k}\Omega$, arus mengalir adalah $10\text{-}\mu\text{A}$, yang masih merupakan arus batas-aman (*safe-limit current*). Arus yang lebih besar tentu saja dapat terjadi bila tahanan pentanahan lebih tinggi atau arus gangguan meningkat, atau tahanan dalam kateter lebih rendah. Jika kateter yang ditanahkan digunakan sebagai pengganti kateter berisi-cairan, maka sedikit saja perbedaan tegangan pentanahan akan mencetus arus mengalir yang melampaui batas-aman.

Kebanyakan bahaya tegangan rendah dapat dihindari jika pentanahan dari semua peralatan yang digunakan di wilayah pelayanan setiap pasien dihubungkan ke titik pentanahan tunggal khusus pasien. Hal ini juga mencegah gangguan pada satu ranjang rawat pasien berpengaruh terhadap keselamatan pasien yang lainnya. Sensor tekanan dan monitor EKG modern telah dilengkapi isolasi kelistrikan untuk semua lid pasiennya.

2.1.6. Standar-standar dan Kode-kode Keselamatan Kelistrikan

Definisi "kode" adalah dokumen yang berisi persyaratan wajib. Menggunakan kata 'boleh' dan dibuat dalam bentuk yang sesuai untuk diadopsi ke bentuk peraturan oleh pihak yuridiksi yang berwenang. Penjelasan tentang kode harus ada dalam bentuk catatan pinggir (*fine-print notes*), catatan kaki (*footnotes*), dan lampiran (*appendices*). Sedangkan "standar" juga berisi persyaratan wajib, tetapi penyesuaiannya bersifat sukarela, dan lebih detil catatan dan keterangan yang diberikan. Manual atau petunjuk (*guide*) adalah dokumen yang bersifat informatif dan pengajaran (*tutorial*) tetapi tidak berisi persyaratan.

Pengembangan, adopsi, dan penerapan standard dan kode bagi keselamatan kelistrikan di fasilitas pelayanan kesehatan memiliki sejarah yang sulit dan berlanjut sampai sekarang.⁴ Prosesnya dimulai menyusul peristiwa ledakan tragis dan kebakaran yang disebabkan hubung singkat listrik yang memantik gas mudah terbakar untuk anestesi semacam ether. Pada awal 1970 an, beberapa proposal yang bertemaantisipasi bahaya kejutan listrik mikro bermunculan, tetapi tidak pernah diterapkan. Persyaratan sistem daya yang terisolasi dan persyaratan arus bocor yang harus ditekan serendah mungkin secara implisit menjadi bahan perdebatan selama beberapa tahun. Akhirnya National fire Protection Association NFPA 99-1984 dan ANSI/AAMI ES1-1985, menjadi standar yang diadopsi banyak negara sampai sekarang ini.

Standar NFPA 99 - tentang standar bagi fasilitas layanan kesehatan – 1996 merupakan pengembangan dari 12 dokumen NFPA yang dikombinasikan pada tahun 1984 dan direvisi setiap 3 tahun. Sebagai tambahan bagi peralatan listrik, standar ini juga memasukkan tentang gas, tabung hampa (*vacuum*), sistem lingkungan dan bahan-bahan medis. Ini merupakan dokumen primer yang menjelaskan persyaratan bagi piranti kelistrikan yang berhubungan dengan pelayanan pasien dalam kaitannya dengan penggunaan diagnose, pengobatan, atau monitoring. Bab 7 meliputi penampilan, perawatan dan pengujian peralatan listrik oleh teknisi di fasilitas pelayanan kesehatan. Persyaratan manufaktur secara lebih

⁴ J.M.R. Bruner, Leonard, P.F., *Electrical Safety and the Patient*, Chicago: Year Book Medical Publisher, 1989, p. 45.

detil diberikan dalam Bab 9 untuk keperluan: penampilan, perawatan dan pengujian dengan perhatian pada keselamatan, dan hal-hal yang diperlukan dalam manufaktur alat-alat yang akan digunakan dalam fasilitas pelayanan kesehatan. Pada Tambahan 2 diberikan tentang penggunaan aman frekuensi tinggi (100 kHz sampai frekuensi gelombang mikro) kelistrikan di fasilitas pelayanan kesehatan.

National Electrical Code - 1996, Artikel 517 – Fasilitas Pelayanan Kesehatan dipublikasikan oleh NFPA dan secara luas diadopsi dan diterapkan di seluruh negara dunia dalam bentuk peraturan pemerintah. Persyaratan bervariasi: mulai dari area pelayanan umum, area pelayanan kritis, area basah. Secara ringkas pembagiannya adalah: A. Umum, B. Desain Pengawatan dan Proteksi, C. Sistem Kelistrikan Secara Esensial, D. Lokasi Inhalasi dan Anestesi, E. Instalasi Sinar Ronsen, F. Komunikasi, Sistem Pensinyalan, Sistem Data, Sistem Pensinyalan Perlindungan Kebakaran dan Sistem di bawah 220 V, Nilai-nilai Standar, G. Sistem Daya Terisolasi.

Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI) mengembangkan standar untuk *American National Standard for "Safe Current Limits for Electromedical Apparatus"* yaitu ANSI/AAMI ES1 – 1993. Standar ini berkonsentrasi pada pembatasan arus bocor pada sangkar alat dan lid pasien pada frekuensi awal mulai dari dc sampai 1 kHz dan berkembang dari 1 kHz sampai 100 kHz. Untuk kondisi gangguan-tunggal: lid pasien saja, ambang-batas aman arus bocor adalah 10 μA sampai 50 μA dan sangkar alat saja, ambang-batas aman arus bocor adalah 100 μA sampai 300 μA . Sebenarnya kegiatan ini mendapat tanggapan hebat dari American Heart Association, Komite Elektrokardiografi dalam pernyataan: "Tidak mendasar. percobaan pada manusia untuk menentukan rentangan-aman nilai arus semacam ini."

Underwriters Laboratories (UL) mengadopsi standar *International Electrotechnical Commission (IEC) 601-1* untuk keperluan praktis, termasuk nilai ambang-batas arus bocor pada peralatan listrik medis.

Tabel 2.1. Batas arus bocor untuk alat listrik medis

Peralatan Listrik	Arus Bocor Sangkar, μA	Arus Bocor Lid-Pasien, μA
Alat yang tidak kontak langsung dengan pasien	100	NA
Alat yang tidak kontak langsung dengan pasien dan gangguan-tunggal	500	NA
Alat dengan lid pasien yang tidak terisolasi	100	10
Alat dengan lid pasien yang tidak terisolasi dan gangguan-tunggal	300	100
Alat dengan lid pasien yang terisolasi	100	10
Alat dengan lid pasien yang terisolasi dan gangguan-tunggal	300	50

Nilai-nilai di atas secara konformis sekali dengan standar badan-badan internasional yang paling luas digunakan di dunia, seperti *Health Industry Manufactures Association* (HEMA), *National Electrical Manufactures Association* (NEMA) dan U.S. Food and Drug Administration (FDA). Standar IEC 601-1 mengizinkan "arus bantuan pasien" sampai 100 μA pada frekuensi kurang dari 0,1 Hz untuk menjamin arus bias dan impedansi alat plethismografi tidak menghasilkan efek fisiologis.

Nilai ambang-batas keselamatan arus bocor berdasarkan standar ANSI/AAMI ESI-1993 ditampilkan dalam Tabel 2.1.

2.2. Kerangka Teori

Berdasarkan uraian teoretik di atas, maka dapat dibangun kerangka teori sebagai berikut.

1. Hubungan antara lingkungan sistem kelistrikan yang teruji dengan peningkatan keselamatan kelistrikan di rumah sakit.

Setiap unit pelayanan kesehatan yang ingin berhasil membutuhkan sistem pendukung operasional pelayanan kesehatan yang baik. Dalam industri pelayanan kesehatan moderen, operasional ini sangat tergantung pada bantuan alat-alat medis/kedokteran yang sebagian besar (bahkan hampir semua) merupakan alat-alat listrik (berteknologi elektronika dan komputer) oleh karenanya sangat tergantung pula pada sistem kelistrikan yang optimal dan handal. Pengelolaannya sistem alat-alat listrik

medis/kedokteran tidak dapat dilakukan secara parsial, namun harus terintegrasi dengan baik, sehingga para anggota organisasi ini (biasanya divisi teknik/perawatan) dapat bergerak secara prosedural dalam melaksanakan tugas dan tanggung jawabnya mengelola sistem peralatan kelistrikan tersebut. Manajemen peralatan teknik juga harus memiliki standar pengujian kelistrikan rumah sakit yang bermutuyang menjadi acuan yang jelas bagi teknisi elektromedik atau teknisi klinik sehingga tidak menimbulkan keraguan dalam mengerjakan tugas-tugas yang telah ditentukan. Standar pengujian ini hendaknya tidak dibiarkan statis, namun harus dibuat dinamis, dalam arti selalu ditingkatkan dan dievaluasi. Adanya sistem pengujian yang berorientasi pada mutu ini akan mendorong setiap anggota organisasi untuk meningkatkan kualitasnya agar dapat memenuhi standar kinerja yang ditentukan oleh organisasi. Selain itu, kondisi tersebut juga akan mendorong pihak manajemen untuk selalu mengimprovisasi keterampilan-keterampilan para pegawainya, seperti mengadakan diklat, memberikan kesempatan untuk melanjutkan pendidikan, atau mengikut sertakan dalam seminar-seminar atau lokakarya yang diadakan di luar organisasi.

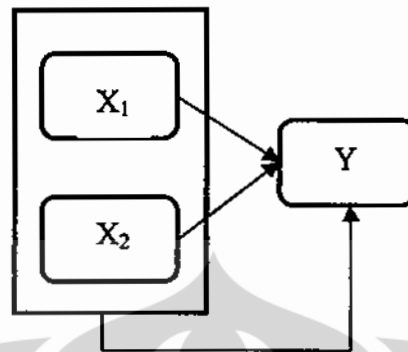
2. Hubungan antara alat listrik medis/kedokteran terinstalasi jaringan yang teruji dengan peningkatan keselamatan kelistrikan rumah sakit.

Dalam deskripsi teori, antara lain dijelaskan bahwa alat listrik medis/kedokteran yang baik (teruji dan terkalibrasi dengan rutin) dan berintegrasi dengan sistem kelistrikan yang optimal dan handal dapat mengurangi terjadinya dampak-dampak negatif kelistrikan dalam operasionalnya. Disebutkan di sana bahwa penyebab-penyebabnya utamanya adalah: arus bocor (*leakage current*), arus induksi elektromagnetis. Penyebab-penyebab ini dapat dihilangkan dengan menjaga sistem kelistrikan dan alat-alat listrik medis/kedokteran yang digunakan dalam membantu pelayanan pasien tetap dalam kondisi yang baik sesuai dengan standar nasional bahkan internasional yang berlaku. Untuk itulah sistem pengujian kelistrikan rumah sakit diperlukan.

3. Hubungan antara lingkungan kelistrikan sekaligus peralatan listrik medis/kedokteran yang terinstalasi di dalamnya yang teruji dengan peningkatan keselamatan kelistrikan rumah sakit.

Sebagaimana dijelaskan di atas bahwa pengujian lingkungan kelistrikan berhubungan dengan keselamatan kelistrikan rumah sakit. Begitu pula pengujian peralatan listrik medis/kedokteran yang terinstalasi di dalamnya berkorelasi dengan keselamatan kelistrikan rumah sakit. Hal ini memberikan gambaran bahwa ketiga variabel tersebut mempunyai keterkaitan yang bersifat kausalistik dan saling mendukung. Penerapan pengujian lingkungan kelistrikan saja belum tentu dapat mengoptimalkan tingkat keselamatan kelistrikan rumah sakit jika tidak disokong peralatan listrik medis/kedokteran yang terintegrasi di dalamnya yang teruji. Demikian pula halnya bila peralatan listrik medis/kedokteran yang teruji hanya secara *stand alone* melalui uji operasional dan kalibrasi di laboratorium, tanpa pengujian saat alat tersebut terintegrasi dengan jaringan (*line-operated equipment*) juga tidak menjamin peningkatan keselamatan kelistrikan rumah sakit. Dengan demikian, penerapan prosedur pengujian lingkungan kelistrikan (*no equipment electrical test*) dan pengujian peralatan listrik terinstalasi berhubungan dengan peningkatan keselamatan kelistrikan rumah sakit.

Konstelasi hubungan antarvariabel tersebut dapat digambarkan dalam bagan sebagai berikut (Gambar 2.17) di halaman berikutnya.



Gambar 2.17. Bagan konstelasi hubungan antar variabel

Keterangan:

- Variabel bebas :
- X_1 = Lingkungan kelistrikan yang teruji.
 - X_2 = Peralatan listrik medis/kedokteran terinstalasi yang teruji.
- Variabel terikat : Y = Tingkat keselamatan kelistrikan rumah sakit.

2.3. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan teoritik dan kerangka pemikiran di atas, maka dapat dirumuskan hipotesis untuk penelitian kuantitatif seperti di bawah ini.

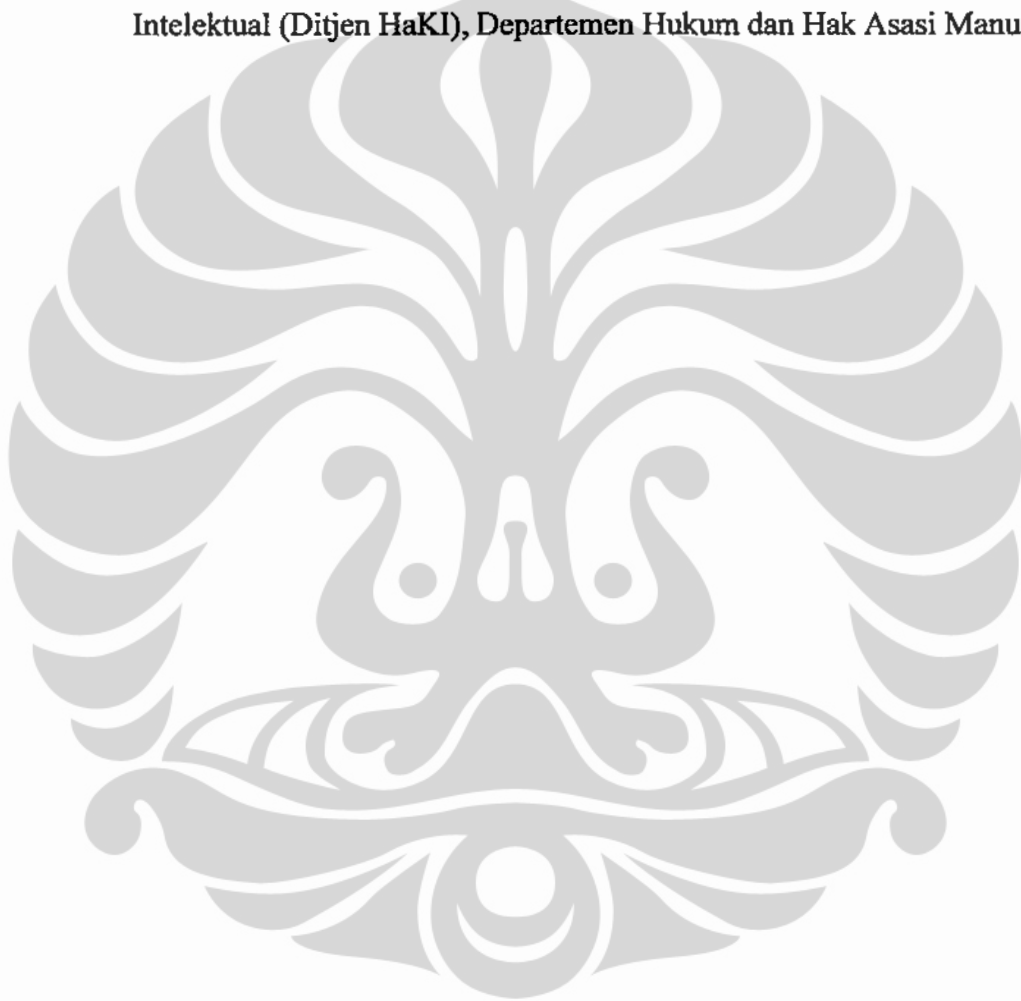
1. Terdapat hubungan antara lingkungan kelistrikan yang optimal dan teruji dengan peningkatan keselamatan kelistrikan rumah sakit.
2. Terdapat hubungan antara peralatan listrik medis/kedokteran terinstalasi yang teruji dengan peningkatan keselamatan kelistrikan rumah sakit.
3. Terdapat hubungan antara lingkungan kelistrikan yang optimal dan teruji dengan peralatan listrik medis/kedokteran yang teruji secara bersama-sama dengan peningkatan keselamatan kelistrikan rumah sakit.

2.4. Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian di bawah ini berdasarkan penelitian kualitatif.

1. Bagaimana hasil penelitian ini didokumentasikan dalam bentuk Manual Instruksi Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit (*Manual Instruction of Electrical Safety Test Procedures for Hospitals*)?

2. Bagaimana hasil implementasi Manual Instruksi Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit di beberapa rumah sakit yang dijadikan sampel percobaan penerapan?
3. Bagaimana bentuk dokumen pengajuan hak-cipta (*copyright*) Manual Instruksi Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit dalam kaitannya dengan pengajuan HaKI ke Direktorat Jenderal Hak Kekayaan Intelektual (Ditjen HaKI), Departemen Hukum dan Hak Asasi Manusia.



BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif yang didukung oleh studi literatur dan uji laboratorium dalam kegiatan rancang bangun teknik pengujian kelistrikkannya dan metode penelitian kualitatif melalui teknik survai untuk menguji kualitasnya. Metode penelitian kuantitatif digunakan pada awal penelitian untuk memperoleh nilai besaran ukur utama kelistrikan yang merepresentasikan kondisi sistem kelistrikan di unit pelayanan kesehatan, yang berkaitan dengan keselamatan kelistrikan (dalam kasus ini jenis unit yankes yang dipilih adalah rumah sakit) dengan mengambil salah satu rumah sakit di Indonesia sebagai sampel tempat penelitian. Studi literatur dan pengujian laboratorium digunakan untuk membuat rancangan dan realisasi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit serta menguji kelayakan penerapannya pada kondisi riil. Data yang diperoleh dari penelitian kuantitatif kemudian menjadi dasar pembuatan:

- 1) rangkaian uji,
- 2) teknik pengukuran dan pengujian,
- 3) instrumen pengujian yang dibutuhkan,
- 4) langkah (prosedur) pengujian.

Selanjutnya studi literatur dilakukan untuk menentukan nilai ambang-batas keselamatan (*safe limit threshold*) bagi semua besaran ukur utama kelistrikan yang berkaitan dengan penyebab timbulnya bahaya (*hazard*) kelistrikan. Pengujian laboratorium, dilakukan untuk menguji rangkaian uji, teknik pengukuran, dan instrumen pengujian yang digunakan dalam proses pengujian di masing-masing kelompok pengujian keselamatan kelistrikan, apakah sudah berjalan dengan baik serta aman untuk diterapkan langsung di sistem kelistrikan dan peralatan medis listrik di sarana pelayanan kesehatan secara riil. Hal ini dilakukan untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan pada saat uji coba di unit yankes sampel, yang dapat mengganggu aktifitas pelayanannya sehari-hari.

Metode penelitian kuantitatif dilakukan untuk mengetahui tanggapan dari para pengguna hasil penelitian ini terhadap hasil penelitian metode kuantitatif yang hasilnya dalam bentuk produk jadi berupa manual instruksi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan untuk rumah sakit.

3.1.1. Metode Penelitian Kuantitatif

Penelitian kuantitatif dilakukan dengan melakukan pengamatan dan pengujian di sarana tempat pelayanan kesehatan berada, yaitu seluruh aspek teknik kelistrikan utama maupun pendukung, dengan menyeleksi serta mengkaji sampel komponen-komponen utama jaringan listrik dan sampel alat-alat listrik medis/kedokteran yang akan diteliti.

Dalam penelitian kuantitatif ini juga menggunakan studi literatur dan studi hasil pengujian laboratorium. Studi literatur berupa perhitungan-perhitungan pengukuran kelistrikan dengan memanfaatkan teori listrik dalam mengolah hasil penelitian kuantitatif metoda survai untuk menghasilkan perangkat pengujian berupa: rangkaian uji, teknik pengujian, instrumen uji yang diperlukan, dan saran pengujian yang merupakan komponen utama perancangan suatu prosedur pengujian keselamatan kelistrikan. Studi hasil pengujian laboratorium adalah menguji komponen-komponen rangkaian uji sudah benar nilainya sehingga prosedur pengujian keselamatan kelistrikan tersebut sudah terjamin kinerjanya akan benar dan berfungsi dengan baik.

Langkah selanjutnya adalah menyusun berbagai kelompok pengujian keselamatan kelistrikan tersebut dalam bentuk langkah-langkah kerja (prosedur), mulai dari yang rutin sampai yang berkala frekuensi penerapannya. Akhirnya prosedur ini dengan tujuan kemudahan dan kepraktisan dibuat dalam bentuk manual instruksi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan yang terpadu dan komprehensif.

3.1.2. Metode Penelitian Kualitatif

Penelitian kualitatif bertujuan untuk menguji penerapan prosedur pengujian keselamatan kelistrikan yang telah lulus penelitian kuantitatif untuk menjamin

bahwa perangkat tersebut layak diterapkan secara luas dan pantas untuk dijadikan HaKI. Menggunakan metoda survai, yakni mengedarkan angket berupa daftar pertanyaan untuk mengkaji hasil penelitian kuantitatif yang berupa sampel-uji produk manual instruksi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan yang diberikan kepada populasi dan sampel pelitian.

Peserta diminta untuk menjawab pertanyaan umum, kemudian *interviewer* atau moderator group peneliti menjelajah dengan tanggapan mereka untuk mengidentifikasi dan menentukan persepsi, pendapat dan perasaan tentang produk hasil penelitian ini yang berupa prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit yang berkaitan dengan gagasan atau topik yang dibahas dan untuk menentukan derajat kesepakatan yang ada dalam grup. Kualitas hasil temuan dari penelitian kualitatif secara langsung tergantung pada kemampuan, pengalaman dan kepekaan dari peserta maupun dari *interviewer* atau moderator group.

3.2. Populasi dan Sampel Penelitian

3.2.1. Populasi dan Sampel Penelitian Kuantitatif

Populasi dan sampel penelitian kualitatif adalah:

- 1) sistem kelistrikan Rumah Sakit XYZ,
- 2) komponen utama sistem kelistrikan Rumah Sakit XYZ, dan
- 3) alat-alat listrik medis/kedokteran.

Masing-masing populasi jumlahnya akan disesuaikan dengan kebutuhan. Karena keterbatasan waktu, maka keseluruhan anggota populasi dijadikan sampel penelitian, sehingga metode pengambilannya adalah teknik sensus atau sampel jenuh.

3.2.2. Populasi dan Sampel Penelitian Kualitatif

Populasi dan sampel penelitian kualitatif adalah personil bidang teknik kelistrikan medis atau teknologi klinis di rumah sakit yang dijadikan sampel penerapan. Pengertian populasi dan sampel dalam penelitian ini lebih condong sebagai pemberi informasi (informan), oleh karenanya dipilih yang menguasai bidang penelitian ini. Dalam penelitian ini jumlahnya adalah 3 buah, yang terdiri dari 2 informan utama dan 1 informan pelengkap. Dari sisi teknik keselamatan pasien

khususnya teknik keselamatan kelistrikan, jumlah ini cukup mumpuni. Informan tersebut adalah:

- 1) **Informan Utama:** Teknisi perawatan kelistrikan rumah sakit dan kepala teknisi (*chief engineer*) di bidang perawatan teknik.
- 2) **Informan Pelengkap:** manajer teknik (*engineering manager*) atau minimal penyelia (*supervisor*) bidang teknik.

3.3. Metode Pengumpulan Data

3.3.1. Metode Pengumpulan Data Penelitian Kuantitatif

Pengumpulan data penelitian ini dilakukan dengan cara penelitian lapangan, yaitu terjun langsung ke lokasi penelitian yaitu sistem kelistrikan rumah sakit (pusat listrik utama dan cadangan, panel-panel distribusi listrik, instalasi saluran distribusi, kotak catuan daya sebagai ujung akhir saluran distribusi) untuk memperoleh data yang dibutuhkan. Penelitian lapangan dilakukan dengan melakukan pengukuran-pengukuran listrik dan membawa beberapa macam formulir data dan melakukan observasi kelistrikan dengan alat analisa kualitas daya yang keluarannya diamati dengan osiloskop digital.

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan data yang berupa teori, teknik untuk mengolah data-data yang dikumpulkan dari penelitian lapangan yaitu:

- 1) teori teknik pengukuran listrik, berupa perhitungan teknik listrik untuk memperoleh nilai rata-rata besaran kelistrikan yang menjadi penyumbang utama bahaya kelistrikan (yaitu: arus bocor, gradien tegangan, gangguan pentahan, arus frekuensi tinggi),
- 2) teori disain rangkaian elektronika daya, untuk merancang rangkaian uji yang diperlukan dalam setiap tahapan/jenis pengujian keselamatan kelistrikan,
- 3) teori efek kelistrikan pada fisiologis manusia, untuk menentukan nilai ambang-batas keamanan (*safe limit treshold*) bagi keberadaan besaran kelistrikan yang menjadi penyumbang utama bahaya kelistrikan.

Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengumpulkan informasi:

- 1) mengenai kinerja rangkaian bantu pengujian, apakah sudah terdisein dengan benar (nilai dan hubungan komponen elektroniknya sudah benar) sehingga dapat berfungsi dengan baik,
- 2) menguji rangkaian bantu pengujian, apakah sudah layak dan aman diterapkan di sistem kelistrikan fasilitas yang sebenarnya (riil),
- 3) instrumentasi ukur bantu (bila ada) yang dibutuhkan untuk proses pengujian di masing-masing kelompok pengujian,
- 4) saran teknis untuk mendukung kelancaran dalam penerapan prosedur pengujian.

3.3.2. Metode Pengumpulan Data Penelitian Kualitatif

Pengumpulan data penelitian ini adalah dengan mengedarkan angket berupa daftar pertanyaan (kuisisioner) yang diberikan kepada populasi dan sampel penelitian. Populasi dan sampel penelitian mengisi kuisisioner ini setelah 1 (satu) bulan sebelumnya diselenggarakan pengujian keselamatan kelistrikan di rumah sakit yang dikelolanya dengan menggunakan hasil penelitian kuantitatif yang sudah dalam bentuk buku saku (*booklet*) manual instruksi pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit. Penyelenggaraan pengujian ini bisa dilakukan secara mandiri oleh pihak rumah sakit atau dilakukan bersama dengan asistensi dari penulis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hal-hal:

- 1) kehandalan teknik pengujiannya (reliabilitas),
- 2) kelengkapannya teknik pengujiannya,
- 3) keluasan cakupan pengujiannya,
- 4) kemampu terapan teknik pengujiannya (*applicable and rasionable*).

Keempat hal di atas kemudian disebut sebagai **kelompok informasi penelitian**.

Hasil penelitian ini bertujuan memperoleh gambaran tentang penerapan perangkat prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit dan menganalisisnya sebagai dasar pertimbangan apakah sudah layak untuk diterapkan atau direvisi bila ditemukan masih terdapat kekurangan. Data-data lain dari luar diperoleh dengan studi literatur sebagai pembandingan. Data-data uji laboratorium hanya

untuk menguji apakah prosedur tersebut telah bekerja dengan baik dan layak serta aman diterapkan secara riil.

3.4. Instrumen Penelitian

3.4.1. Instrumen Penelitian Kuantitatif

Instrumen penelitian kualitatif berupa:

- 1) alat-alat ukur tegangan (*volt meter*),
- 2) alat ukur arus kecil (*microampere meter*),
- 3) alat ukur resistensi pentanahan (*earth resistance tester*),
- 4) Alat analisa kualitas daya listrik (*energy quality analyzer*),
- 5) generator sinyal (*signal generator*),
- 6) alat monitor sinyal (osiloskop),
- 7) brosur atau katalog instrumentasi pengujian listrik medis dari berbagai perusahaan manufaktur alat ukur,
- 8) artikel dari beberapa standar internasional keselamatan kelistrikan rumah sakit sebagai acuan.

Hasil-hasil pengukuran besaran kelistrikan yang menjadi penyumbang utama bahaya kelistrikan dibuat nilai rata-ratanya dengan perhitungan statistika sederhana. Sedangkan hasil pengamatan monitor sinyal berdasarkan masukan dari alat analisa kualitas daya listrik beberapa parameternya menjadi bahan pertimbangan dan pengayaan informasi penelitian.

3.4.2. Instrumen Penelitian Kualitatif

Sesuai dengan butir-butir kualitatif dalam rumusan masalah, tujuan penelitian dan hipotesis penelitian, penelitian kualitatif menggunakan instrumen penelitian dalam bentuk wawancara tertulis. Bertujuan untuk memperoleh data-data variabel penelitian, berupa informasi kualitas produk penelitian kuantitatif yang berupa manual instruksi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan untuk beberapa kriteria kualitas produk. Kriteria kualitas produk ini menggambarkan performa dan kinerjanya, dan dikelompok dalam beberapa kelompok informasi penelitian seperti yang telah disebutkan dalam sub bab 3.3.2.

Teknik wawancara tertulis ini setara dengan teknik kuisisioner, merupakan salah satu jenis instrumen pengumpul data primer dalam penelitian ini, yaitu berupa sejumlah pertanyaan yang disampaikan kepada responden/subyek penelitian (dalam penelitian ini disebut informan penelitian).¹ Teknik ini dipilih semata-mata karena: subyek adalah orang yang menguasai bidang permasalahan penelitian ini, apa yang dinyatakan oleh subyek kepada peneliti adalah benar dan dapat dipercaya sesuai dengan etika keilmiah dan profesinya, dan interpretasi subyek tentang pertanyaan/pernyataan yang diajukan subyek adalah sama dengan apa yang dimaksud oleh peneliti. Hal ini juga didukung dengan pemberian umpan balik dari peneliti kepada subyek sehingga dapat dilihat apakah mereka menganggap penemuan penelitian ini merupakan laporan yang sesuai dengan pengalaman mereka (sebagai sesama profesional di bidang teknik klinis).²

Daftar pertanyaan dalam wawancara tertulis yang digunakan didesain mengadopsi perhitungan yang menggambarkan tingkatan dan kualitas, berisi sejumlah pernyataan yang dapat menyatakan kondisi teknis yang hendak diungkap³. Penskoran atas jawaban wawancara tertulis ini diadopsi dari skala tingkatan teknik triangulasi dan merujuk pada lima alternatif jawaban untuk masing-masing kelompok informasi penelitian. Sebagaimana terlihat di bawah ini, yang mengambil contoh lima alternatif jawaban untuk kelompok informasi penelitian:

Kehandalan Teknik Pengujian.

- Sangat Handal (SH) = 5
- Handal (H) = 4
- Tidak Terlalu Handal (TTH) = 3
- Cukup Handal (CH) = 2
- Tidak Handal (TH) = 1

Untuk kelompok informasi penelitian lainnya dilakukan penyesuaian dengan anggapan kesemua kelompok informasi penelitian ini memiliki kesetaraan bobot

¹ Boy S. Sabarguna dan Resna A. Soerawidjaja: *Atlas Tentang Metodologi + Manajemen Penelitian* (Jakarta: UIP, 2007), p.56

² Boy S. Sabarguna: *Analisis Data Pada Penelitian Kualitatif* (Jakarta UIP, 2008), p.25

³ *Ibid*, p. 98

penskoran satu sama lain. Untuk kelompok informasi penelitian: **Kelengkapan Teknik Pengujian.**

- Sangat Lengkap (SK) = 5
- Lengkap (K) = 4
- Tidak Terlalu Lengkap (TTL) = 3
- Cukup Lengkap (CL) = 2
- Tidak Lengkap (TL) = 1

Untuk kelompok informasi: **Keluasan Cakupan Teknik Pengujian.**

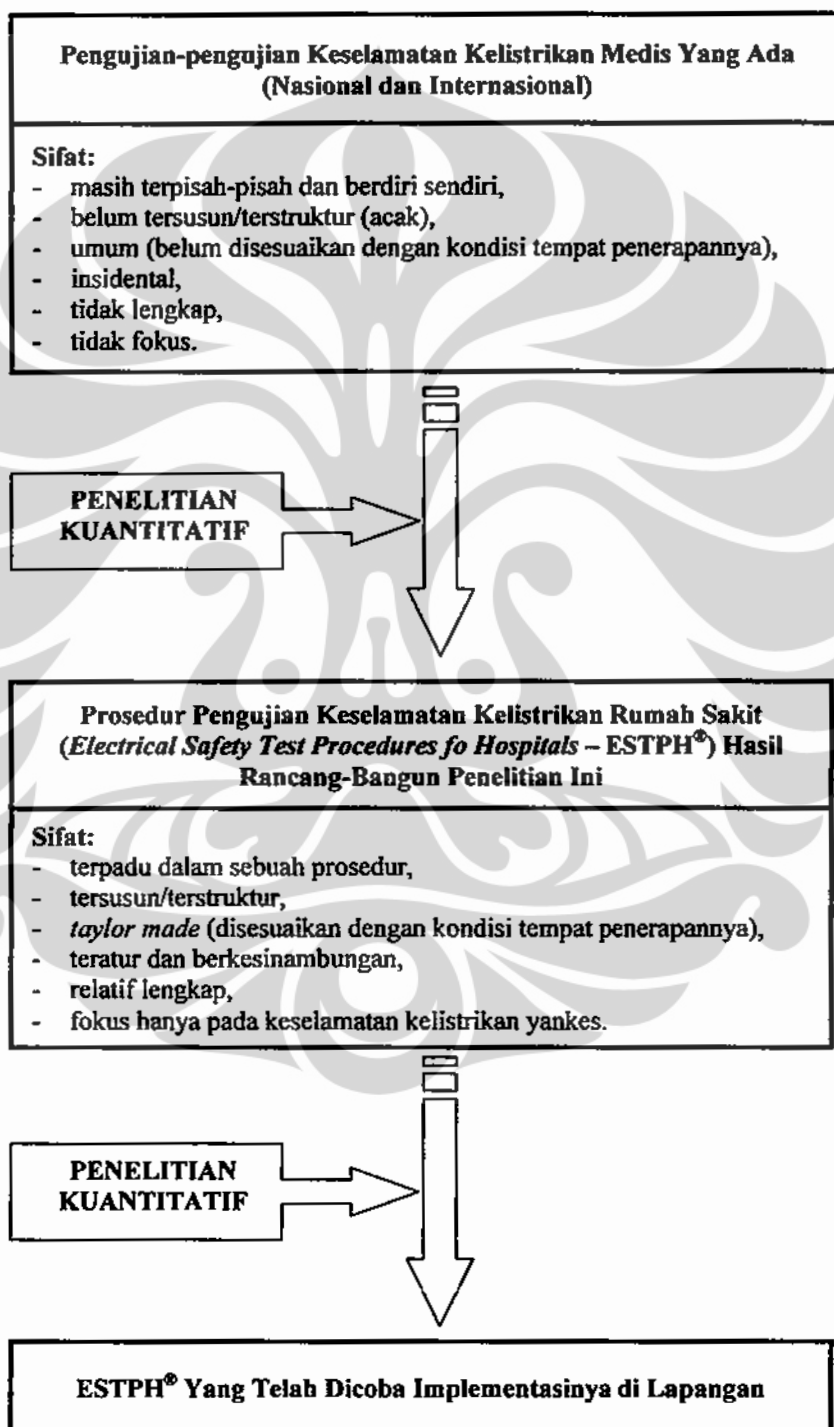
- Sangat Luas Cakupannya (SLC) = 5
- Luas Cakupannya (LC) = 4
- Tidak Terlalu Luas Cakupannya (TFLC) = 3
- Cukup Luas Cakupannya (CLC) = 2
- Tidak Luas Cakupannya (TLC) = 1

Untuk kelompok informasi: **Kemampuserapan Teknik Pengujian.**

- Sangat Mampu Terap (SMT) = 5
- Mampu Terap (MT) = 4
- Tidak Terlalu Mampu Terap (TTMT) = 3
- Cukup Mampu Terap (CMT) = 2
- Tidak Mampu Terap (TMT) = 1

3.5. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian secara garis besar dapat dijelaskan dalam gambar berikut (Gambar 3.1).



Gambar 3.1. Atlas Rancangan Penelitian

3.6. Definisi Operasional

3.6.1. Definisi Operasional Penelitian Kuantitatif

3.6.1.1. Definisi Operasional Konseptual

Definisi operasional konseptual penelitian ini adalah formulasi gabungan konsep-konsep kelistrikan yang diperoleh dari studi literatur, yaitu: pendapat pakar, publikasi organisasi kelistrikan nasional dan internasional, standar internasional kelistrikan IEC. Komponen-komponennya adalah sebagai berikut.

1. Besaran Kelistrikan Penyebab Utama Bahaya Kelistrikan

Besaran kelistrikan utama penyebab bahaya kelistrikan adalah besaran listrik yang rentan terhadap gangguan (*fault*) kelistrikan (*fault* kelistrikan misalnya disebabkan antara lain oleh: surja hubung, surja petir, induksi listrik karena kelembaban, induksi akibat penghantar kelebihan muatan, dll.) yang dapat mencetus terjadinya aliran arus atau jalur konduksi bagi mengalirnya arus yang dapat menyebabkan bahaya kejutan arus listrik, baik makro maupun mikro.

Tabel 3.1 berikut menunjukkan daftar besaran-utama tersebut.

Tabel 3.1
Besaran Kelistrikan Utama Penyebab *Hazard* dan Nilai Batas Keselamatan (*Safety Limits*) Kelistrikan Yang Diizinkan

Besaran Utama Penyebab Bahaya Kelistrikan	Pasien Sensitif (Sensitive Patient) SP_{10}	Pasien Umum (General Patient) GP_{100}	Pasien Umum (General Patient) GP_{500} Staf Umum (General Staff) GS_{500}
Tahanan/Pentanahan (<i>grounding resistance</i>)	$0,1 \leq R \leq 2 \Omega$		
Arus bocor (<i>leakage current</i>)	10 μA	100 μA	500 μA
Tegangan Pentanahan (<i>grounding potential</i>)	10 mV	100 mV	500 mV

Besaran kelistrikan lain penyebab bahaya kelistrikan adalah arus frekuensi tinggi. Pengaruh arus ini bersifat insidental dan tidak berpengaruh secara langsung pada bahaya kelistrikan maka hanya dijadikan bahan informasi tambahan saja dalam penelitian ini. Arus ini misalnya timbul dari bekerjanya alat listrik medis modern berteknologi non linier seperti MRI, CT scan, monitor jantung, ventilator pernapasan, oksimeter pulsa. Pengaruh arus ini

misalnya menimbulkan harmonisa pada kelistrikan sarana yang dapat mengakibatkan terganggunya alat medis bantu diagnosa, yagn efeknya adalah kesalahan pembacaan. Dalam tahap yang lebih tinggi efeknya dapat pula mencetus terjadinya arus bocor.

2. Nilai Batas Keselamatan (*safety limits*) Besaran Kelistrikan Penyebab Utama Bahaya (*Hazard*) Listrik.

Merupakan nilai-nilai maksimum besaran kelistrikan yang diperkenankan ada pada pasien (pasien sensitif – SP, maupun pasien umum - GP) dan staf umum (GS), selama ketiga obyek tersebut menjalani penanganan medis atau melaksanakan pelayanan medis di unit yankes. Ketiga obyek tersebut mendapat perhatian karena merekalah yang paling rentan (karena intensitas kegiatan mereka di unit yankes, baik sebagai pelaksana maupun penerima layanan) terhadap bahaya kelistrikan. Besaran kelistrikan utama penyebab bahaya listrik (baik langsung maupun tidak) adalah: tegangan pentanahan, arus bocor, dan tahanan pentanahan. Besaran lain penyebab bahaya yang bukan utama misalnya: arus frekuensi tinggi. Ketiga besaran utama kelistrikan penyebab bahaya listrik ini satu sama lain memiliki keterkaitan, tidak berdiri sendiri.

Keberadaan besaran ini tidak dapat dihindari, tetapi dapat diminimalisir, sehingga tidak membahayakan ketiga obyek utama yankes tersebut di atas. Nilai maksimum keberadaan kuantitas besaran ini disebut Nilai Batas Keselamatan (*safety limit*) Kelistrikan. Nilai batas ini berbeda-beda terhadap jenis obyek utama. Misalnya nilai batas keselamatan untuk pasien sensitif lebih kecil dari pasien umum atau staf umum. Pedoman nilai batas ini dalam penelitian ini ditentukan dengan beberapa cara.

- a) Merujuk pada standar internasional kelistrikan: *International Electrical Commision* (IEC) dan standar kelistrikan negara maju yang dirujuk banyak negara, misalnya: *National Fire Protection Association* (NFPA), *Association for Advancement of Medical Instrumentation* (AAMI).

- b) Nilai batas yang tidak terdapat dalam standar acuan di atas, diirekomendasikan penulis berdasarkan uji kondisionalitas di lapangan (dalam Tabel 3.2 nilai ini ditandai dengan tanda bintang asteriks).

Tabel 3.2
Tabelaris Nilai Batas Keselamatan (*Safety Limits*) Kelistrikan

Nilai Maksimum Untuk Kondisi Operasi Normal (asumsi: tidak ada gangguan tanah dan gangguan lainnya) Nilai arus adalah untuk 50 hertz. Toleransi $\pm 10\%$	Pasien Sensitif (Sensitive Patient) SP ₁₀	Pasien Umum (General Patient) GP ₁₀₀	Pasien Umum (General Patient) GP ₅₀₀ Staf Umum (General Staff) GS ₅₀₀
Tahanan/impedansi masukan simulasi tahanan badan	500 Ω atau 1000 Ω	500 Ω atau 1000 Ω	500 Ω atau 1000 Ω
Arus bocor atau arus bahaya maksimum	10 μA	100 μA	500 μA
Tegangan bahaya maksimum	10 mA	100 mA	500 mA
Tahanan pentanahan antara pentanahan kotak-catuan daya	0,05 Ω	0,1 Ω	0,1 Ω
Impedansi pentanahan kotak-catuan daya ke titik cabang utama jaringan daya (untuk jalur beban 20 ampere)	0,2 Ω^*	0,2 Ω^*	0,2 Ω^*
Tahanan pentanahan peralatan, sangkar peralatan ke tusukan pentanahan kontak-tusuk catuan daya.	0,1 Ω	0,5 Ω^*	0,5 Ω^*
Tahanan pentanahan perabotan berbahan logam.	1 Ω^*	5 Ω^*	5 Ω^*
Arus bocor peralatan. Penghantar kuning garis hijau ke pentanahan	100 μA	100 μA	500 μA
Arus bocor dari sangkar peralatan, atau dari hubungan dengan pasien: - Sisi pasien ke tanah - Sisi pasien di atas tanah	10 μA	50 μA	Tidak dapat dipakai
Tahanan isolasi Sisi daya (Uji 100 volt DC) Fasa ke tanah; Netral ke tanah	Di atas 1 M Ω (100 μA)	Di atas 1 M Ω (100 μA)	Di atas 0,1 M Ω (200 μA)
Impedansi isolasi ke tanah Sisi Pasien (Uji 220 volt AC) Elektroda atau hubungan lain	Di atas 6 M Ω atau di bawah 20 μA .	Di atas 1,2 M Ω atau di bawah 100 μA .	Tidak dapat dipakai
RUANG OPERASI Batas Konduktifitas	<ul style="list-style-type: none"> - Minimum Lantai : minimum di atas 10 kΩ - rata-rata di atas 25 kΩ. - Maksimum Lantai : maksimum di bawah 5 MΩ - rata-rata di bawah 1 MΩ. - Sepatu Konduktif : maksimum 500 kΩ. - Perabotan dan rodanya : di bawah 250 kΩ. - Lembaran, pipa konduktif : di bawah 1 MΩ. 		
Keterangan *) : Rekomendasi nilai batas ini dianjurkan penulis berdasarkan penelitian lapangan			

Nilai batas keselamatan kelistrikan inilah yang dijadikan acuan dalam merancang teknik pengujian keselamatan kelistrikan.

3. Analisis Kelistrikan

Analisis kelistrikan adalah proses mengolah data-data kelistrikan yang diperoleh dari studi literatur, pengukuran dan pengamatan dengan instrumen (uji laboratorium), kemudian menelaahnya untuk menghasilkan data-data matang yang menjadi dasar dalam:

- a) penentuan jenis-jenis pengujian (mekanis dan elektris) yang dibutuhkan untuk keselamatan kelistrikan rumah sakit,
- b) perancangan langkah-langkah pengujian pada masing-masing jenis pengujian sehingga diperoleh sistem pengujian yang lengkap,
- c) perancangan rangkaian bantu pengujian bila langkah pengujian memerlukannya,
- d) pemberian saran instrumen ukur/uji yang paling efektif dan efisien bila langkah pengujian membutuhkannya.
- e) pemberian saran-saran teknis lainnya untuk melengkapi penyelenggaraan pengujian.

3.6.1.2. Definisi Operasional Praktisional

Definisi operasional praktisional penelitian ini adalah pelaksanaan perancangan jenis-jenis pengujian, langkah-langkah pengujian, rangkaian bantu pengujian, penentuan instrumen bantu pengujian dan saran-saran teknis (*tips*) dalam melaksanakan pengujian.

1. Jenis-jenis Pengujian

Jenis pengujian adalah macam pengujian yang dibutuhkan untuk mencapai tingkat keselamatan kelistrikan yang menyeluruh. Dibagi dalam 2 kelompok besar.

- 1) Pengujian Lingkungan Kelistrikan Tanpa Alat Beroperasi (*Testing the Electrical Environment – No Equipment*).
- 2) Pengujian Peralatan Beroperasi di Jaringan (*Testing Line-Operated Equipment*).

Kedua kelompok besar pengujian tersebut dicantumkan dalam Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.3
Tabelaris Kelompok Pengujian Lingkungan Kelistrikan Tanpa Alat Beroperasi

No.	Pengujian	Sifat Pengujian	
		Mekanis	Elektris
1.	Pengujian Potensial dan Tahanan Pentanahan	Uji Potensial Tanah	✓
		Uji Tahanan dengan Injeksi Arus 10 mA	✓
		Uji Kualitas Kotak Catu Daya Tanah-Tanah	✓
2.	Pengujian Kotak Catu Daya, Mekanis, dan Pengawatan	Uji Mekanis Tekanan-Regangan	✓
		Uji Elektris Polaritas	✓
		Uji Tegangan Netral ke Tanah	✓
		Uji Kualitas Pengawatan Tanah ke Netral	✓
		Uji Polarisasi Netral ke Tanah	✓
3.	Uji Konduktifitas dan Kemudahterbakaran Lingkungan	Uji Konduktifitas Lantai	✓
		Uji Konduktifitas Kaster	✓
		Uji Konduktifitas Perabot Tetap	✓
		Uji Pentanahan Lantai Konduktif ke Pentanahan Utama Sarana	✓
		Uji Pentanahan Pipa dan Asesoris	✓
		Ventilasi dan Kelembaban	✓
		Uji Alarm Bunyi	✓
4.	Uji Isolasi Sistem Daya	Uji Alarm Visio	✓
		Pembacaan Monitor Isolasi Jaringan	✓
		Uji Bocoran Sistem Terisolasi ke Tanah	✓
		Uji Arus Diperkenankan Sebelum Alarm Bekerja	✓
		Uji Alat Pemutus Daya	✓
		Daya Terisolasi Darurat	✓

Tabel 3.4
Tabularis Kelompok Pengujian Kelistrikan Dengan Alat Beroperasi di Jaringan

No.	Pengujian	Sifat Pengujian	
		Mekanis	Elektris
1.	Pengujian Integritas Tahanan Pentanahan		✓
			✓
			✓
2.	Pengujian Keberadaan Arus Bocor	Uji Arus Bocor ke Pentanahan: Sisi Daya	✓
		Uji Arus Bocor ke Pentanahan: Sisi Pasien	✓
		Uji Arus Bocor di atas Pentanahan: Sisi Pasien	✓
3.	Pengujian Isolasi	Uji Tahanan Isolasi: Sisi Daya	✓
		Uji Impedansi Isolasi ke Pentanahan: Sisi Pasien	✓
4.	Pengujian Modus Arus Bocor Peralatan Lain-lain		✓
5.	Pengujian Arus Frekuensi Tinggi		✓

2. Langkah-langkah Pengujian

Langkah pengujian adalah prosedur pengujian tahap demi tahap pelaksanaan pengujian. Disusun berdasarkan pertimbangan teknis dan pengalaman penulis agar dihasilkan pengujian yang aman dan efisien.

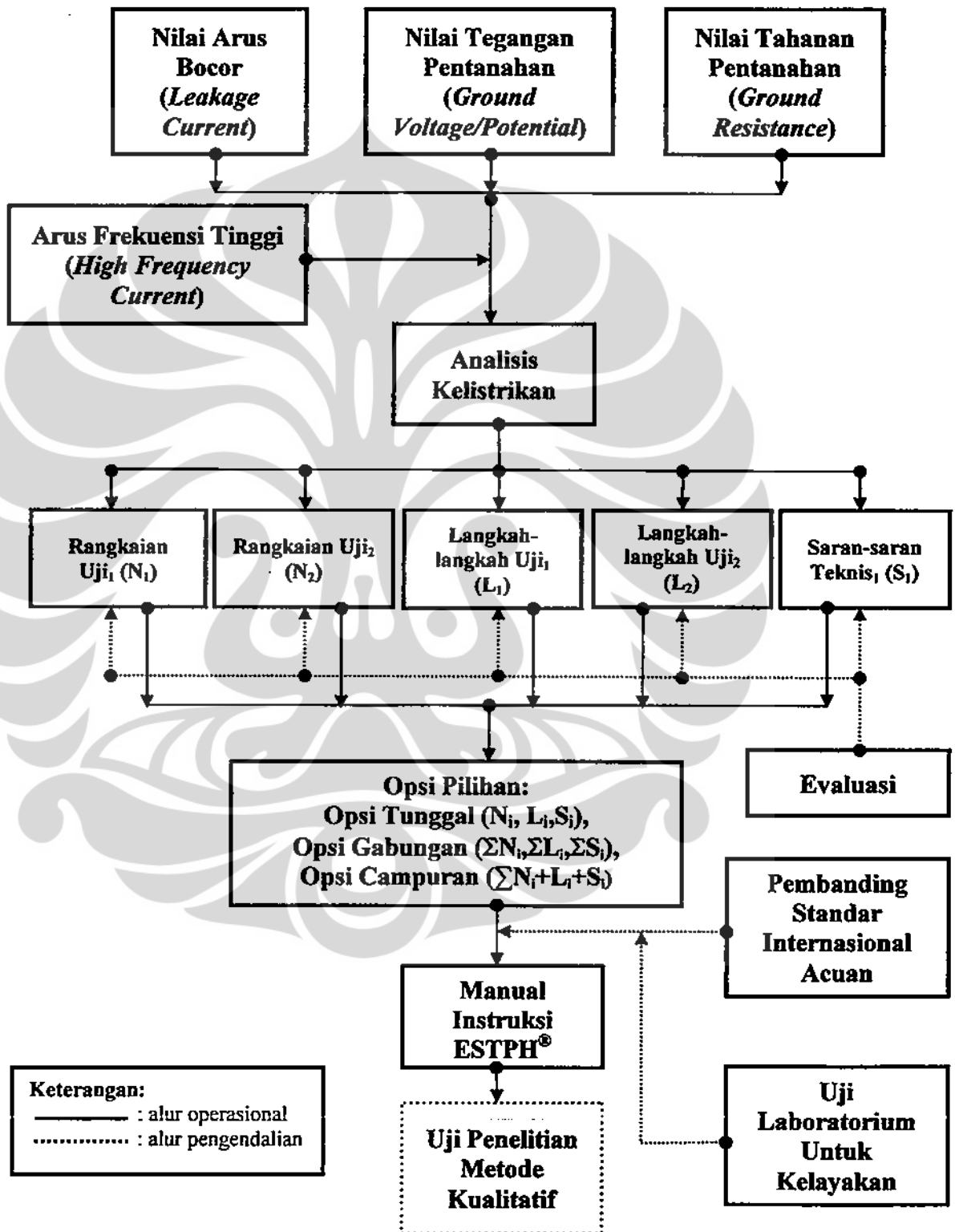
3. Rangkaian Pengujian

Rangkaian pengujian adalah rangkaian yang dibutuhkan untuk membantu proses pengujian pada jenis-jenis pengujian tertentu. Bentuknya bisa berupa rangkaian elektronika atau rangkaian instrumen ukur dengan pengawatannya. Fungsi-fungsi rangkaian ini antara lain: pengaman tegangan tinggi, pembatas arus, penyesuai impedansi, antar-muka, penguat mula, dll.

4. Saran-saran Teknis Pengujian

Terkadang ada hal-hal teknis yang terlewatkan di dalam langkah-langkah pengujian atau tidak tercakup di dalamnya, atau memang belum ada dalam literatur-literatur teknik pengujian, maka hal-hal tersebut dicantumkan dalam saran pengujian.

Definisi operasional praktisional penelitian secara ringkas ditampilkan dalam bentuk atlas (Gambar 3.2).



Gambar 3.2. Skema Definisi Operasional Penelitian Kuantitatif

3.6.2. Definisi Operasional Penelitian Kualitatif

1. Kehandalan Teknik Pengujian (Reliabilitas) (X_1)

Kehandalan (reliabilitas) teknik pengujian adalah kemampuan prosedur pengujian dalam mencakup penjaminan keselamatan personil operator, pasien dan staf pelayanan kesehatan dalam bekerja secara optimal saat berhubungan dengan alat-alat listrik medis/kedokteran beserta lingkungan kelistrikannya sesuai dengan kapasitas maksimum yang dispesifikasikan oleh pabrik atau oleh *clinical engineer* (CE) yang menapisnya. Diukur melalui indikator: ketepatan, reliabilitas, kesesuaian, ketertelusuran, dan keamanan terhadap pengguna (operator dan pasien).

Tabel 3.5
Kisi-kisi Instrumen Kehandalan Teknik Pengujian (Reliabilitas)

No.	Indikator	Nomor Butir Dalam Formulir	Jumlah
1.	Ketepatan	1, 2, 3	3
2.	Reliabilitas	4, 5, 6	3
3.	Kesesuaian	7, 8, 9	3
4.	Ketertelusuran	10, 11, 12	3
5.	Keamanan	13, 14, 15	3
Jumlah			15

2. Kelengkapan Teknik Pengujian (X_2)

Kelengkapan Teknik Pengujian adalah seberapa lengkap jenis pengujian kelistrikan yang diterapkan, mulai dari pengujian tegangan kerja instalasi listrik, pengujian perbedaan tegangan pentanahan, pengujian tahanan pentanahan, pengujian komponen utama instalasi listrik, perawatan instalasi, pemasangan peralatan pada instalasi, pengawasan peralatan terintegrasi instalasi yang beorientasi pada mutu sistem kelistrikan yang berstandar nasional bahkan internasional. Ada lima indikator yang menjadi tolok ukur penerapan sistem kelistrikan yang optimal dan handal, yaitu: (1) tegangan kerja listrik yang stabil, (2) kualitas faktor daya yang tinggi, (3) nilai arus bocor yang rendah, (4) tahanan pentanahan yang baik, (5) beda tegangan pentanahan yang rendah.

Tabel 3.6
Kisi-kisi Instrumen Kelengkapan Teknik Pengujian

No.	Indikator	Nomor Butir Dalam Formulir	Jumlah
1.	Tegangan kerja	1, 2, 3	3
2.	Kualitas faktor daya	4, 5, 6	3
3.	Arus bocor	7, 8,9	3
4.	Tahanan pentanahan	10, 11, 12	3
5.	Tegangan pentanahan	13, 14, 15	3
Jumlah			15

3. Keluasan Cakupan Teknik Pengujian (X_3)

Keluasan Cakupan Teknik Pengujian adalah sejauh mana proses pengujian dapat melingkupi teknik pengujian sehingga dapat mengatasi tidak hanya efek negatif ketidakberesan sistem kelistrikan terinstalasi, tetapi juga berbagai efek-efek negatif dari bekerjanya alat (yaitu pada saat alat berintegrasi dengan sistem kelistrikan) sehingga alat-alat tersebut dapat bekerja dengan optimal dan dengan tingkat keamanan dan keselamatan yang tinggi.

Tabel 3.7
Kisi-kisi Instrumen Keluasan Cakupan Teknik Pengujian

No.	Indikator	Nomor Butir Dalam Formulir	Jumlah
1.	Pengujian mekanik komponen instalasi daya listrik	1, 2, 3	3
2.	Pengujian kelistrikan lingkungan	4, 5, 6	3
3.	Pengujian kelistrikan tanpa alat listrik beroperasi pada jaringan	7, 8, 9	3
4.	Pengujian kelistrikan dengan alat listrik beroperasi jaringan	10, 11, 12	3
5.	Pengujian arus frekuensi tinggi	13, 14, 15	3
Jumlah			15

4. Kemampooterapan Teknik Pengujian (X_4)

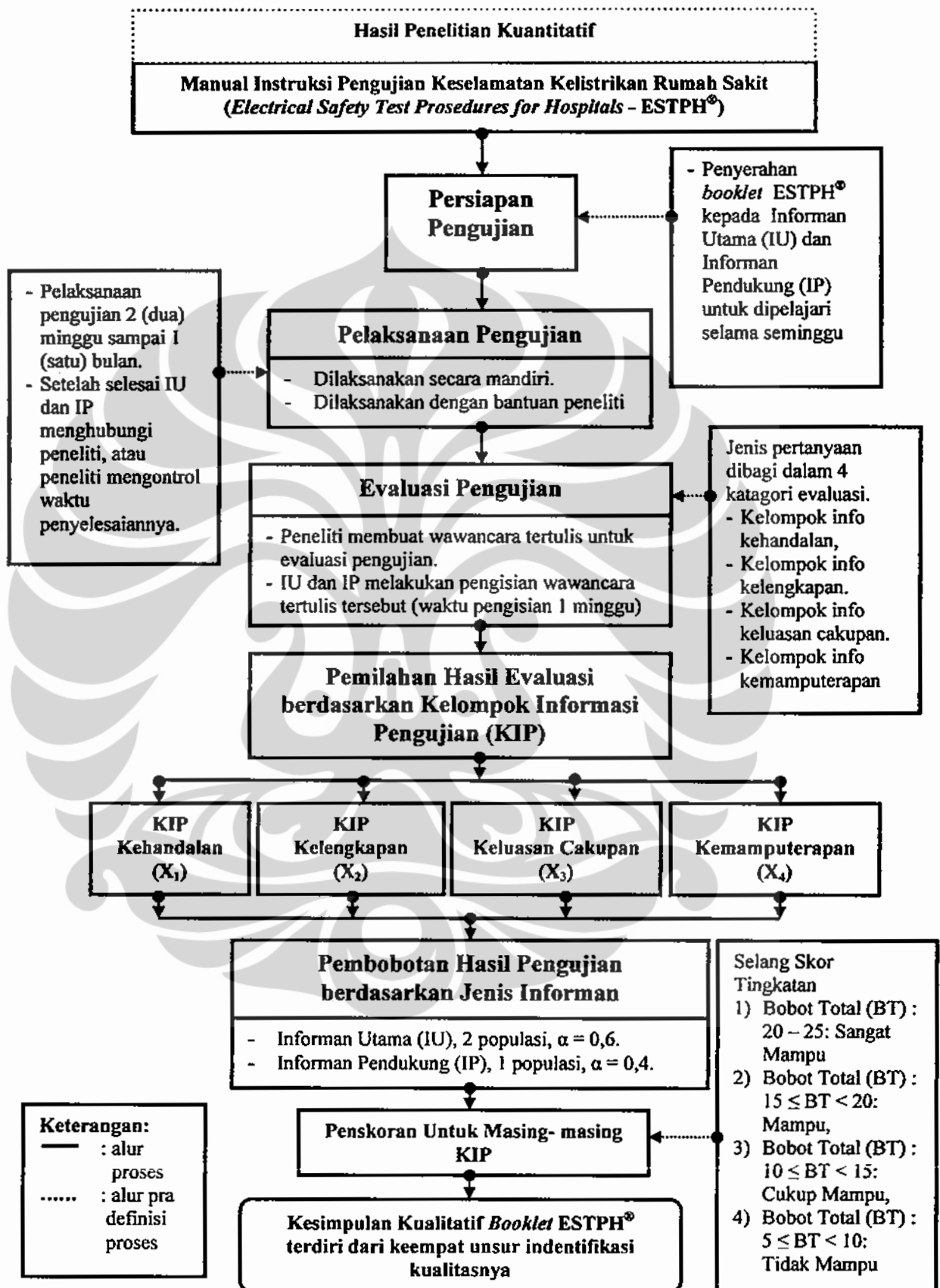
Kemampooterapan Teknik Pengujian adalah ukuran apakah teknik pengujian ini dapat diterapkan di Indonesia ditinjau dari: ketersediaan tenaga (SDM) pelaksana, komponen listrik/elektronika untuk membuat rangkaian bantu pengujian dan instrumentasi pendukung (bila diperlukan), kepraktisan (kemudahan) dalam penyelenggaraannya, kepasan dengan kondisi sistem yang sudah ada (*existing system*), ketepatan dan hemat waktu (singkat) dan kepatutan biaya.

Tabel 3.8
Kisi-kisi Instrumen Kemampuserapan Teknik Pengujian

No.	Indikator	Nomor Butir Dalam Formulir	Jumlah
1.	Ketersediaan SDM, komponen dan instrumentasi	1, 2, 3	3
2.	Kepraktisan penyelenggaraan	4, 5, 6	3
3.	Kepasan dengan <i>Existing System</i>	7, 8, 9	3
4.	Ketepatan & hemat waktu	10, 11, 12	3
5.	Kepantasan biaya	13, 14, 15	3
Jumlah			15

Apabila diringkas dalam bentuk atlas maka definisi operasional penelitian kualitatif digambarkan oleh Gambar 3.3.





Gambar 3.3. Skema Definisi Operasional Penelitian Kualitatif

3.7. Metoda Analisis Data

3.7.1. Metoda Analisis Data Penelitian Kuantitatif

Teori listrik dan analisa rangkaian listrik seperti yang dibahas dalam teori dasar dalam BAB 2 Tinjauan Pustaka dimanfaatkan untuk menganalisis data hasil penelitian kuantitatif. Perhitungan dan analisa lengkap disajikan dalam bab khusus tentang disain dan konstruksi (BAB 6).

Perhitungan rata-rata dari nilai besaran ukur kelistrikan utama (arus bocor, tegangan pentanahan, tahanan pentanahan) digunakan rumus statistik sederhana berikut ini.

$$\bar{I}_{\text{bocor}} = \frac{\Sigma(I_{\text{bocor}})}{n}$$

$$\bar{V}_{\text{pentanahan}} = \frac{\Sigma(V_{\text{pentanahan}})}{n}$$

$$\bar{R}_{\text{pentanahan}} = \frac{\Sigma(R_{\text{pentanahan}})}{n}$$

Perhitungan untuk rata-rata nilai arus frekuensi tinggi dan pengaruh-pengaruh tegangan lengkung dilakukan dengan pengamatan secara grafis kurva keluaran alat monitor kualitas daya melalui osiloskop digital.

3.7.2. Metoda Analisis Data Penelitian Kualitatif

Data yang diperoleh dari hasil penelitian dianalisis dengan menggunakan analisis triangulasi data. Dari masing-masing jenis populasi diberi bobot dalam bentuk koefisien pengali (*multiply*) yang besarnya indeks ditentukan secara subyektif oleh peneliti, yaitu:

Tabel 3.9
Koefisien Pengali Bobot Jawaban Informan

No.	Indikator	Koefisien Pengali (α)	Keterangan
1.	Informan Utama	0,6	Skala 1
2.	Informan Pendukung	0,4	Skala 1

Pertimbangan subyektif nilai koefisien pengali Informan Utama lebih berbobot ($\alpha = 0,6$) dibandingkan dengan Informan Pembantu ($\alpha = 0,4$) ini karena Informan Utama yang mengambil sampel dari teknisi perawatan kelistrikan rumah sakit atau kepala teknisi (*chief engineer*) di bidang perawatan teknik dianggap lebih menguasai obyek penelitian secara lebih terapan daripada Informan Pembantu yang mengambil sampel supervisor teknik listrik atau manajer teknik yang lebih cenderung teoritis.

Selanjutnya pembobotan diberikan pula pada masing-masing jawaban terhadap pertanyaan dalam kisi-kisi instrumen setiap kelompok informasi penelitian. Sebagai contoh dapat dijelaskan oleh Tabel 3.6.

Tabel 3.10
Tabulasi Skor Rata-rata Jawaban Pertanyaan Kelompok Informasi Penelitian
(contoh diambilkan dari jawaban pertanyaan
Kelompok Informasi Penelitian: **Kemampooterapan Teknik Pengujian**)

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Tersedia kah SDM, komponen dan instrumentasi bagi penyelenggaraan ESTPH?				√		
2.	Paktis kah penyelenggaraan ESTPH ini?					√	
3.	Pas kah ESTPH ini dengan <i>Existing System</i> ?					√	
4.	Tepat & hemat waktu kah ESTPH ini?					√	
5.	Pantas kah biaya penyelenggaraan ESTPH ini?					√	
Jumlah		0	0	0	4	20	$\Sigma = 24$

Misalnya Tabel 3.6 pengisiannya dilakukan oleh Informan Utama yang berindeks $\alpha = 0,6$, maka perhitungannya menjadi:

$$\text{Bobot Kelompok Utama (BK}_u\text{)} = \alpha_u \times \Sigma = 0,6 \times 24 = 14,4$$

Sedangkan bila hasil pengisian yang sama pada Tabel 3-6 ini dilakukan oleh Informan Pendukung yang berindeks $\alpha 0,4$, maka perhitungannya menjadi:

$$\text{Bobot Kelompok Pendukung (BK}_p\text{)} = \alpha_p \times \Sigma = 0,4 \times 24 = 9,6$$

Selanjutnya dihitung untuk Bobot Total (BT):

$$\begin{aligned} \text{Bobot Total (BT)} &= \text{BK}_u + \text{BK}_p \\ &= 14,4 + 9,6 \\ &= 24 \end{aligned}$$

Kemudian nilai ini diacu pada selang penskoran tingkatan dalam Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.11
Penskoran Bobot Total dan Predikatisasinya
(contoh diambilkan dari jawaban pertanyaan
Kelompok Informasi Penelitian: **Kemamputerapan Teknik Pengujian**)

No.	Skor Bobot Total	Predikat ^{*)}
1.	20 -25	Sangat Mampu
2.	$15 \leq BT < 20$	Mampu
3.	$10 \leq BT < 15$	Cukup Mampu
4.	$5 \leq BT < 10$	Tidak Mampu

^{*)} Kata sifat yang diterangkan dalam predikat ini tergantung jenis kelompok informasi penelitian (keterangan lebih lanjut lihat contoh berikut.

Contoh penerapan Tabel 3.7 untuk predikatisasi kelompok informasi yang lainnya, misalnya: Kelompok Informasi Penelitian Kehandalan Teknik Pengujian:

- 1) Bobot Total (BT) : 20 – 25, maka kesimpulannya Sangat Handal,
- 2) Bobot Total (BT) : $15 \leq BT < 20$, maka kesimpulannya Handal,
- 3) Bobot Total (BT) : $10 \leq BT < 15$, maka kesimpulannya Cukup Handal,
- 4) Bobot Total (BT) : $5 \leq BT < 10$, maka kesimpulannya Tidak Handal.

Begitu pula untuk perhitungan bagi dua kelompok data penelitian lainnya, dilakukan perhitungan yang sama, sehingga kesimpulan akhir penelitian kualitatifnya tersusun dari empat komponen kelompok informasi penelitian yang menunjukkan unsur-unsur kualitasnya, misalnya: berdasarkan perhitungan skor dari kuisisioner dengan mengambil sampel tempat penelitian (tempat diterapkannya produk penelitian ini) diperoleh kesimpulan bahwa Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit (*Electrical Safety Test Procedures for Hospital – ESTPH*) adalah:

**SANGAT HANDAL – CUKUP LENGKAP – KURANG LUAS
CAKUPAN UJINYA – TIDAK MAMPU TERAP**

3.8. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini mengambil tempat di Rumah Sakit XYZ, yang terletak di Jl. Salemba Tengah 2626A24, Jakarta Pusat, dan berlangsung selama lima bulan yakni dari tanggal 1 Januari sampai dengan 30 Mei 2010.



BAB 4

TEKNIK PENGUJIAN KESELAMATAN KELISTRIKAN

4.1. Pendekatan Dasar Bagi Perlindungan Terhadap Kejutatan Listrik

Paling tidak terdapat dua metode fundamental untuk melindungi pasien dari kejutatan listrik (*electrical shock*). Pertama, pasien diisolasi secara penuh dari semua obyek yang tertanahkan dan dari semua permukaan yang merupakan penghantar listrik. Kedua, semua permukaan konduktif dalam jangkauan pasien dapat dijaga pada kondisi potensial listrik yang sama sehingga tidak dibutuhkan potensial pentanahan. Tidak ada dari semua metode ini secara penuh memuaskan dalam penerapannya di lingkungan praktis, sehingga beberapa kombinasi di antara kedua metode ini sering dilakukan.

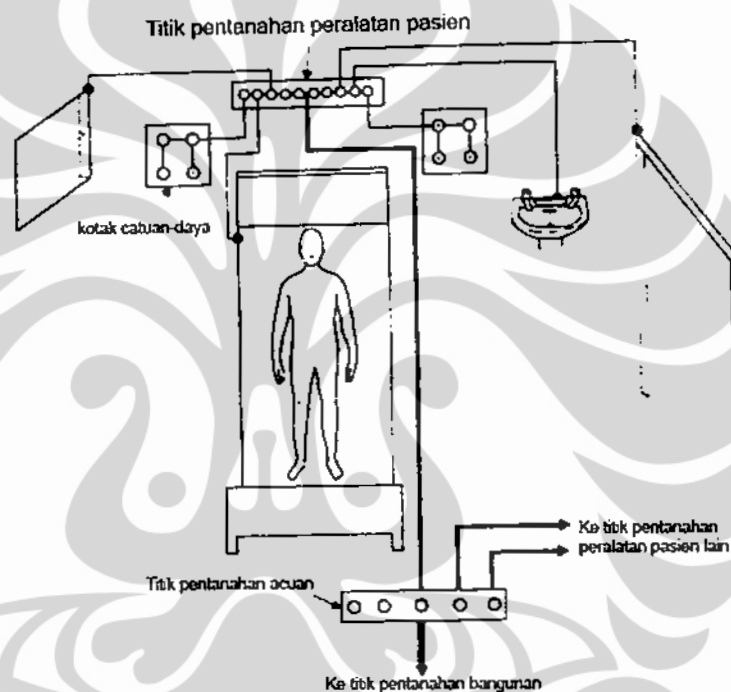
Tidak hanya para pasien yang dilindungi dari bahaya kejutatan makro, tetapi semua pengunjung dan staf rumah sakit harus dilindungi secara baik. Pasien dengan kondisi tahanan kulit yang menurun (misalnya: sedang ditempelkan suatu elektroda-pungut alat medis), dengan koneksi invasif (sedang dipasang kateter intravena), atau sedang berada pada permukaan yang basah (sedang mengalami penanganan dialisis), memerlukan perlindungan ekstra. Sejumlah kecil pasien dengan koneksi kelistrikan pada jantungnya memerlukan perlindungan tambahan yaitu terhadap bahaya arus kejutatan mikro. Banyak metode-metode khusus tentang perlindungan dari bahaya kelistrikan yang digambarkan dalam tulisan ini, dapat digunakan secara berkombinasi untuk menghasilkan perlindungan yang memadai. Dan juga perlu dilakukan pertimbangan perbandingan biaya-keuntungan berdasarkan pada dua hal, yaitu: biaya pembelian peralatan keselamatan dan biaya perawatan berkala dari alat tersebut.

4.2. Perlindungan Pada Distribusi Daya Listrik

4.2.1. Sistem Pentanahan

Pentanahan yang memiliki resistensi rendah sehingga dapat menyerap arus listrik sampai nilai *rating* rangkaian-pemutus (*circuit-breaker*) sepertinya adalah syarat utama bagi perlindungan pasien dari kedua macam bahaya kejutatan listrik: kejutatan arus makro dan kejutatan arus mikro, sekalipun sistem kelistrikan kita telah memenuhi syarat

isolasi-daya. Gambar 2.11 menunjukkan pentingnya pentanahan yang baik untuk perlindungan terhadap bahaya kejutan arus makro listrik. Pentanahan juga merupakan hal yang sama pentingnya dalam perlindungan terhadap bahaya kejutan arus mikro listrik (lihat Gambar 2.14). Sistem pentanahan melindungi pasien dengan menjaga semua permukaan konduktif dan pentanahan kotak-catu di lingkungan perawatan pasien tetap dalam kondisi potensial yang sama. Pentanahan juga melindungi pasien dari gangguan-tanah yang berasal dari lokasi lain.



Gambar 4.1. Sistem Pentanahan (*Grounding System*) Semua terminal pentanahan kotak-catuan daya dan permukaan konduktif di area sekeliling pasien dihubungkan ke titik pentanahan peralatan listrik medis yang diaplikasikan ke pasien. Setiap titik pentanahan peralatan ini dihubungkan ke titik pentanahan acuan yang diintegrasikan menjadi hubungan-tunggal dengan pentanahan sarana (gedung).

Sistem pentanahan meliputi titik pentanahan peralatan pasien, titik acuan pentanahan, dan koneksi-koneksi keperluan catuan pentanahan lainnya, seperti diperlihatkan Gambar 4.1. Titik pentanahan peralatan pasien terhubung secara masing-masing ke semua terminal pentanahan kotak-catu, logam-logam rangka tempat tidur pasien, pintu

logam dan rangka aluminium kusen-kusen jendela, pipa saluran, dan permukaan-permukaan konduktif lainnya. Hubungan ini sebaiknya tidak lebih dari 0,15 om. Perbedaan dalam potensial antara pentanahan kotak-catu dan permukaan konduktif sebaiknya tidak lebih dari 40 mV. Setiap titik pentanahan peralatan pasien harus terhubung secara mandiri ke titik pentanahan acuan yang selanjutnya terhubung ke titik pentanahan utama bangunan.

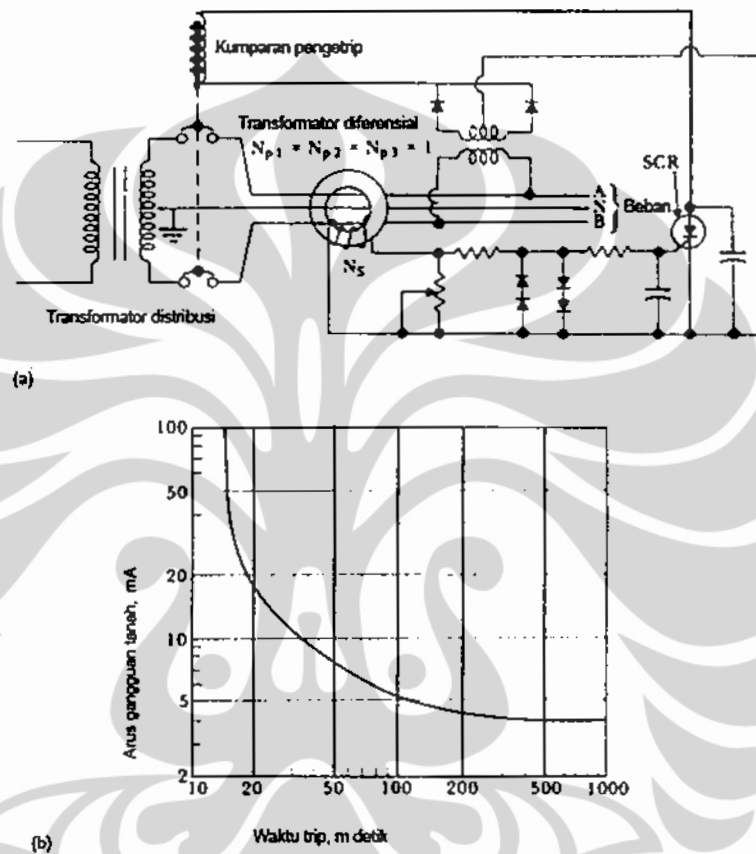
4.2.2. Sistem Distribusi Daya Terisolasi

Tidak terlalu beruntung memang, sekalipun sistem *grounding* yang ada memiliki ekipotensial yang baik, tidak dapat mengeliminir tegangan yang dihasilkan antar pentanahan oleh gangguan-tanah yang besar yang menghasilkan arus tanah yang besar pula. Betapapun, gangguan-tanah semacam ini jarang terjadi pada peralatan medis berkualitas tinggi atau yang terawat dengan baik. Transformator isolasi telah kita bahas pada Bagian 2.1.3.2 dan diperlihatkan dalam Gambar 2.7 yang mencegah terjadinya bahaya-bahaya tersebut. Sistem daya terisolasi juga sedikit mereduksi arus bocor, tetapi tidak di bawah nilai batas keselamatan 10 μ A. Biasanya terdapat kapasitansi yang cukup antara rangkaian sekunder transformator dan pentanahan untuk menghindari perlindungan terhadap kejutan arus mikro dengan transformator-transformator isolasi. Sistem daya yang terisolasi memberikan perlindungan yang menjanjikan terhadap kejutan arus makro, secara khusus pada wilayah di mana terdapat kemungkinan permukaan yang basah. Sistem daya terisolasi hanya diperlukan pada lokasi di mana terdapat gas anestesi yang mudah terbakar digunakan. Perlindungan tambahan terhadap kejutan arus makro dengan transformator isolasi, secara umum tidak menjadi penyebab tingginya biaya sistem keseluruhan.

4.2.3. Rangkaian Pemutus Gangguan-Tanah (*Ground-Fault Circuit Interrupters - GFCI*)

Rangkaian pemutus gangguan-tanah memutuskan hubungan dari sumber daya ketika gangguan-tanah meningkat kira-kira 6 mA. Pada peralatan listrik ini adalah nilai arus bocor yang dapat diabaikan, arus di konduktor fasa senilai dengan arus pada konduktor netral. GFCI merasakan perbedaan antara antara dua arus ini dan memutuskan aliran daya saat terjadi perbedaan yang signifikan, melampaui *rating* yang tetap, yang

kemudian dialirkan menuju ke suatu titik pentanahan,. Peralatan tidak peduli membuang arus ini melalui jalur mana menuju pentanahan: arus ini dapat saja melalui penghantar tanah atau justru melalui manusia (lihat lagi Gambar 2.10).



Gambar 4.2. Rangkaian Pencegah Gangguan-tanah (*Grounding-fault circuit interrupters*) (a) Diagram skematik GFCI tipe semi konduktor (tiga kawat, dua kutub, 6 mA). (b) Grafik arus gangguan-tanah versus waktu pengetripan sebuah GFCI.

Sebagian besar GFCI menggunakan transformator diferensial dan rangkaian semi konduktor seperti tampak pada gambar 4.2.(a). Waktu langkah bagi GFCI bervariasi dan merupakan kebalikan besarnya arus gangguan-tanah, seperti tampak pada Gambar 4.2.(b). GFCI menggunakan sistem distribusi-daya konvensional dengan tiga-saluran tertanahkan. Ketika daya diputuskan oleh GFCI, setelah gangguan mereda maka secara manual, tombol pemulih (*reset button*) ditekan untuk mengembalikan aliran daya. Kebanyakan GFCI juga dilengkapi tombol tekan-sementara untuk menghasilkan simulasi gangguan-tanah yang aman bagi keperluan pengujian rangkaian.

National Electrical Code (1996)¹ mensyaratkan terdapatnya GFCI pada rangkaian pelayanan kamar mandi, garasi, kotak catu luar, kolam renang, dan konstruksi (Artikel 210-8, 680-5). NFPA 99 mensyaratkan penggunaan GFCI pada lokasi yang basah, khususnya area terapi hidro, di mana kesinambungan daya tidak mendasar.

GFCI tidak cukup sensitif bekerja pada level arus setara arus bocor kejutan mikro, kebanyakan digunakan sebagai alat perlindungan arus kejutan makro. Tetapi paling tidak alat ini dapat mencegah arus kejutan mikro dengan memutuskan sumber arus gangguan-tanah yang menyebabkan perbedaan potensial pada sistem pentanahan.

Betapun, rangkaian listrik dalam area pelayanan pasien secara umum sebaiknya tidak memasang GFCI ini, karena daya hilang pada peralatan penunjang-hidup yang disebabkan lebih berbahaya pada pasien dari pada kebanyakan gangguan-tanah kecil yang mungkin terjadi. Sejauh gangguan daya singkat ini dapat ditoleransi, biaya murah dari GFCI (Rp. 10.000.000,00) menjadikannya sebagai alternatif yang atraktif dibandingkan dengan sistem distribusi-daya terisolasi (Rp. 220.000.000,00).

4.3. Perlindungan pada Disain Peralatan

4.3.1. Pentanahan Yang Handal Untuk Peralatan

Hal-hal penting bagi sebuah sistem pentanahan yang efektif untuk peralatan telah digambarkan oleh Gambar 2.10. Kebanyakan kegagalan pentanahan alat terjadi pada terminal pentanahan kotak catuan-daya atau di dalam kontak-tusuk (*power plug*) dan kabel fasa yang menyuplai daya ke peralatan. Di negara maju terdapat klasifikasi khusus untuk komponen instalasi listrik fasilitas pelayanan kesehatan. Di Amerika Serikat klasifikasi ini diberi istilah: *explosion-proof grade* (untuk komponen instalasi listrik fasilitas gas dan perminyakan), *fire-proof grade* (untuk komponen instalasi listrik di industri petrokimia), *hospital-grade* (untuk komponen instalasi listrik di fasilitas pelayanan kesehatan). Komponen instalasi listrik klasifikasi *hospital-grade* seperti kotak-catuan daya (*receptacle*) dan kontak-tusuknya (*plug*) dan kabel daya

¹ *Anom., National Electrical Code (NEC), Artikel 210-8, 680-5, Tahun 1996*

(*power cord*) kualifikasi "*Hard Service*" (SO, ST, atau STO), atau "*Junior Hard Service*" (SJO, SJT, atau SJTO) harus diterapkan di seluruh area pelayanan pasien. Kontak-tusuk (*steker*) tipe cetak-permanen tidak dianjurkan, karena berdasarkan survai di AS menunjukkan 40 sampai 85 % tipe ini mengalami kerusakan koneksi tak terlihat dalam kurun waktu 1 sampai 10 tahun pengoperasian. Peralatan penyangga kabel daya sampai ke peralatan sangat direkomendasikan penggunaannya. Sebuah kompartemen yang melindungi kotak-catuan daya dapat mereduksi kerusakan komponen-komponen ini, baik kotak-catuan itu sendiri dan kontak-tusuknya. Pemakaian berbagai jenis adapter tidak dianjurkan, karena ada adapter yang berfungsi merubah tiga kontak-tusuk ke dua kontak-tusuk, hal mana berarti memblokir saluran pentanahan peralatan.

4.3.2. Mereduksi Arus Bocor

Mereduksi arus bocor yang terjadi pada sasis peralatan dan tongkat-elektroda (*lead*) pasien adalah salah satu hal penting bagi seorang desainer instrumentasi elektronik yang memerlukan catuan daya listrik AC. Arus bocor yang terjadi pada sebuah kabel daya haruslah sangat rendah ($< 1,0 \mu\text{A/m}$). Arus bocor di bagian sangkar dapat direduksi dengan mengatur tata letak dan pemilihan komponen elektronika yang baik dan mengisolasi komponen tersebut semaksimal mungkin sehingga meminimalisasi kapasitansi yang terjadi antara sasis dan konduktor/kawat fasa. Perhatian khusus harus diberikan untuk memaksimalkan impedansi antara tongkat-elektroda pasien dengan kawat fasa atau antara tongkat-elektroda pasien dengan pentanahan sasis. Beberapa peralatan elektro-medis moderen, nilai ambang-keselamatan arus bocornya kami sajikan pada bagian lampiran. Peralatan elektro-medis lawas dengan arus bocor yang tinggi sebaiknya tidak digunakan pada pasien ESP sekalipun peralatan tersebut telah tertanahkan dengan baik.

4.3.3. Peralatan dengan Isolasi-Ganda

Sasaran pentanahan adalah mengeliminasi potensi bahaya dari antar-koneksi permukaan-permukaan konduktif. Sebuah pendekatan yang sama efektifnya adalah dengan membuat lapisan terpisah pengisolasian untuk mencegah kontak antara orang dengan sangkar atau permukaan konduktif yang mudah tersentuh. Isolasi primer

berfungsi sebagai isolasi normal antara konduktor beraliran daya dengan sangkar. Isolasi sekunder berfungsi mengisolasi antara sasis dengan sangkar terluar alat yang melindungi personil sekalipun terjadi gangguan-tanah. Sebenarnya sebuah peralatan elektro-medik yang memiliki sangkar ganda, yang sangkar terluarnya terbuat dari bahan isolator telah menerapkan isolasi-ganda. Saklar pengangkat atau tuas kendali wajib berisolasi-ganda (sebagai contoh: tombol-tombol yang menggunakan pengencang sekrup, harus meletakkan sekrup secara tersembunyi). Isolasi-ganda secara umum juga mereduksi arus bocor. Untuk instrumentasi (alat ukur) medis, dua lapisan isolasi ini juga sangat efektif saat cairan konduktif tertumpah kepadanya. Isolasi-ganda melindungi dari bahaya kejutan baik makro maupun mikro.

4.3.4. Pengoperasian Pada Tegangan Rendah

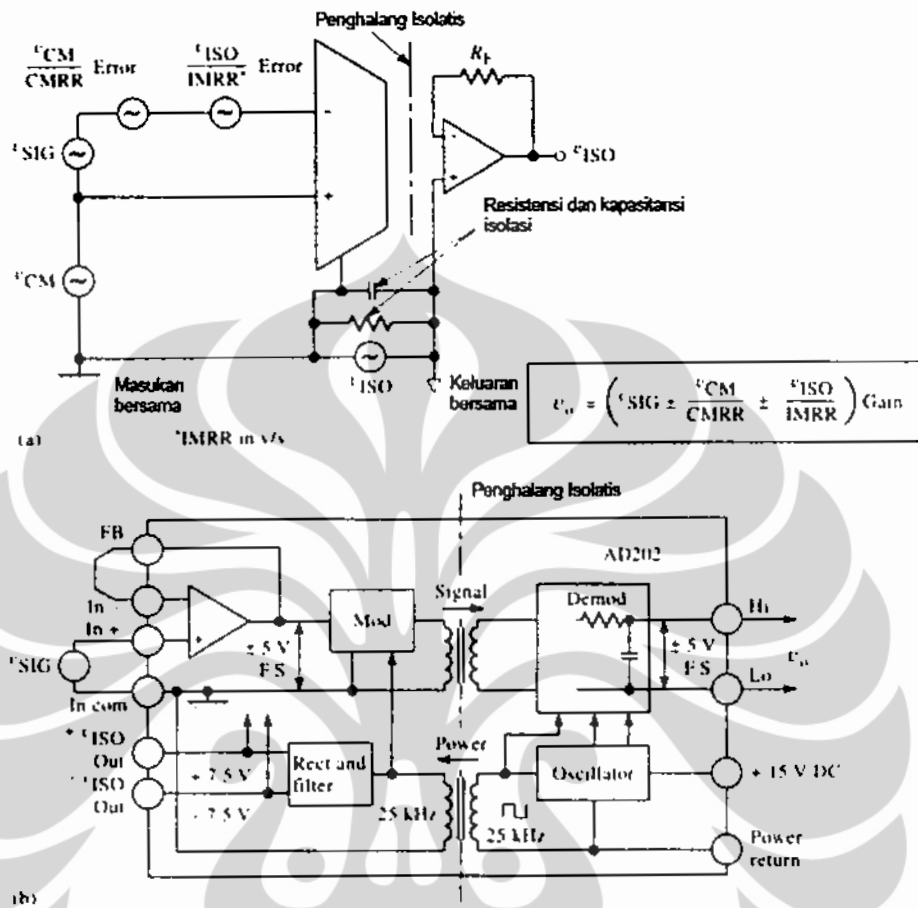
Kebanyakan peralatan medis pendiagnosa dari jenis elektronika transistor (*solid state electronics*) dapat beroperasi dengan baterai daya rendah (< 10 V) atau dari transformator terisolasi bertegangan rendah. Kejutan-makro dapat diabaikan jika tegangan cukup rendah dan bersifat aman sekalipun peralatan diterapkan pada kulit yang basah. Peralatan bertenaga ac tegangan rendah tetap berpotensi menimbulkan bahaya kejutan-mikro jika arus diterapkan langsung menuju jantung. Bagaimanapun peralatan bertenaga AC bertegangan rendah secara umum lebih aman daripada peralatan bertenaga AC tinggi. Lihat Bagian 164 dalam Artikel 517 *National Electrical Code*, yang membahas keperluan peralatan bertegangan rendah yang digunakan pada pelayanan inhalasi-anestesi.

4.3.5. Isolasi Kelistrikan

Isolasi kelistrikan dengan menggunakan penguat isolasi telah banyak diterapkan sekarang ini. Penguat isolasi adalah alat yang memutus kontinuitas bersifat tahanan (*ohmic*) dari sinyal listrik antara masukan dan keluaran penguat. Isolasi ini terdiri dari sumber-sumber penyuplai tegangan yang berbeda dan terminal pentanahan yang berbeda di masing-masing sisi penguat pada masukan diikuti dengan tingkat isolasi berpenguatan satu. Gambar 4.3.(a) adalah model umum dari penguat isolasi yang memiliki simbol segi tiga penguat operasional yang dipisahkan oleh penghalang isolasi yang sempurna (garis putus). Impedansi yang sangat tinggi dari penghalang ini

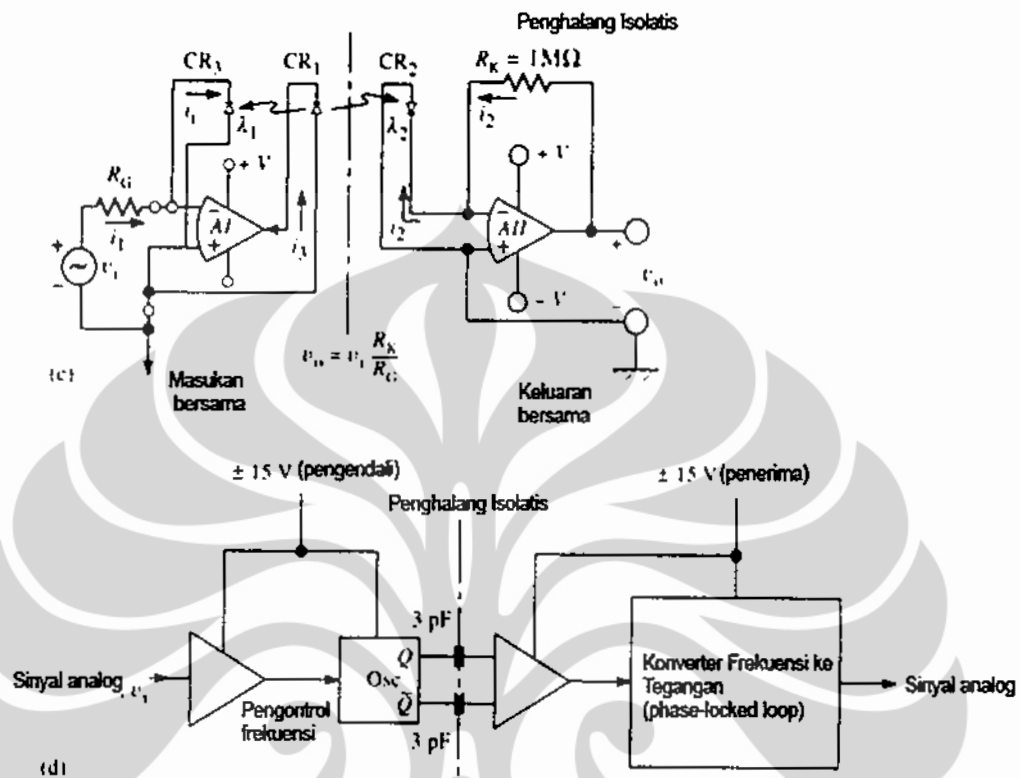
dimodelkan rangkaian isolasi resistansi-kapasitansi. Tegangan isolasi v_{ISO} adalah potensial yang bisa ada antara masukan tunggal dan keluaran tunggal (ditandai dengan lambang pentahanan yang berbeda) dan nilai antaranya 1 sampai 10 kV tanpa tegangan jatuh. Penolakan tegangan ini dispesifikasikan dengan rasio penolakan model isolasi (*isolation-mode rejection ratio* - IMRR). Tegangan masukan yang sebenarnya v_{SIG} , masukan tegangan mode-tunggal (*common-mode voltage*) v_{CM} , dan rasio penolakan mode-tunggal (*common-mode rejection ratio* - CMRR) adalah sama dengan penguat tak berisolasi. Rating maksimal biasanya untuk v_{CM} hanya ± 10 V. Masukan tunggal boleh jadi terhubung pada sumber dalam penerapannya untuk memutus kalang (*loop*) pentanahan atau boleh jadi diambangkan untuk membuat sesederhana mungkin, hubungan dua-kawat ke sumber dan acuan dari sinyal mode-tunggal melintasi penghalang isolasi ke keluaran-tunggal. Tiga hal utama yang ditawarkan oleh penguat isolasi adalah tingginya isolasi tahanan antara masukan dan keluaran (> 10 M Ω), tingginya mode-isolasi tegangan (> 1000 V), dan tingginya penolakan mode-tunggal (> 100 dB).

Tiga metode fundamental yang digunakan dalam desain penguat isolasi: (a) isolasi transformer, (b) isolasi optikal, dan (c) isolasi kapasitif. Pendekatan transformer digambarkan dalam Gambar 4.3.(b) menggunakan baik sinyal pembawa frekuensi-termodulasi atau lebar-pulsa termodulasi dengan lebar-pita sinyal kecil sampai 30 kHz untuk membawa sinyal. Metode ini menggunakan konverter DC ke DC internal yang merupakan komposisi dari osilator 25 kHz, transformer, penyearah, dan tapis untuk menyuplai daya terisolasi. Metode optikal menggunakan LED pada sisi sumber dan foto-dioda sisi keluaran. Tidak diperlukan modulator/demodulator karena semua sinyal adalah DC dan ditransmisikan secara optis. Foto-dioda pencocok pada sisi sumber digunakan sebagai umpan balik untuk meningkatkan linieritas. Peningkatan cahaya dari LED terbias-maju CR₁ menyebabkan peningkatan arus bocor balikan melalui CR₂ dan CR₁ (lihat kurva karakteristik tegangan-arus hubungan PN silikon teradiasi). Penyederhanaan rangkaian Gambar 4.3.(c) beroperasi hanya untuk satu polaritas sinyal masukan. Metode kapasitif, diperlihatkan Gambar 4.3.(d), menggunakan penyandian (*encoding*) digital tegangan masukan dan modulasi



Gambar 4.3. Contoh isolasi kelistrikan antara lid pasien dengan penguat biopotensialnya (a) Model umum pengisolasian penguat, (b) Penguat terisolasi transformator, (c) Penguat terisolasi optis: rangkaian setara penyederhanaannya, (d) Penguat terisolasi kapasitor penghubung.

frekuensi untuk mengirimkan sinyal menyeberangi penghalang keramik kapasitif diferensial. Tidak terdapat umpan balik, walaupun sumber daya dibutuhkan di kedua sisi penghalang. Tegangan isolasi puncak dapat mencapai setinggi 8 kV, dan lebar-pita sampai 70 kHz.



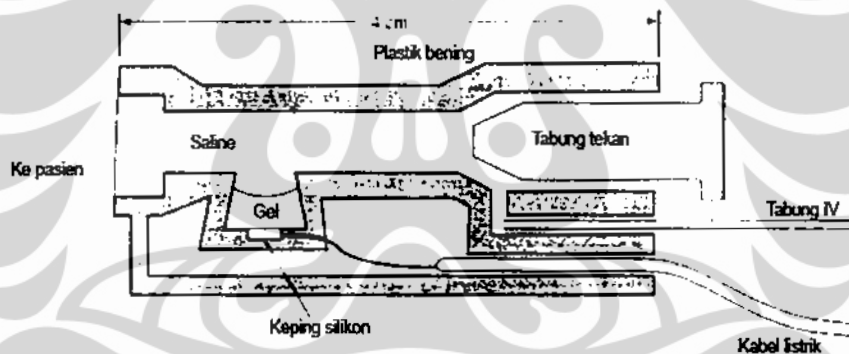
Gambar 4.4. (lanjutan)

4.3.6. Pengisolasian Hubungan Ke Jantung

Tak terbantahkan lagi cara terbaik untuk meminimalisasi bahaya kejutan-mikro adalah mengisolasi dan mengeliminasi hubungan kelistrikan ke jantung. Sambungan terisolasi penuh dan baik pada sebuah alat picu jantung eksternal yang menggunakan baterai sebagai sumber dayanya dapat menghilangkan bahaya ini. Sensor tekanan darah modern didesain dengan isolasi berlapis-tiga antara kolom cairan, sangkar sensor, dan hubungan kelistrikan (Lihat Gambar 4.4). Kateter dengan dinding konduktif telah dikembangkan sehingga kontak listrik terjadi pada seluruh permukaan kateter yang berada di dalam tubuh pasien, sehingga arus kejutan-mikro terdistribusi ke tubuh, tidak terkonsentrasi pada jantung. Konduktifitas dinding kateter tidak berdampak terhadap pengukuran tekanan yang dilakukan oleh kateter terisi-cairan. Kateter yang memiliki sensor di ujung untuk pengukuran tekanan darah dan aliran sebaiknya bebas dari arus bocor.

4.4. Alat Analisa Keselamatan Kelistrikan (*Electrical Safety Analyzer*)

Sekarang ini secara komersial memang telah terdapat alat yang disebut alat analisa keselamatan kelistrikan (*electrical-safety analyzers*). Alat ini dapat digunakan untuk pengujian sistem kelistrikan fasilitas medis, dan peralatan listrik medis. Alat analisa ini mencakup beberapa kelengkapan dalam kotak yang kompak, mulai dari volt-ohm-meter sampai alat ukur yang berbasis computer yang dilengkapi pembaca barcode yang dapat langsung memberikan hasil tercetak dari hasil pengukuran. Kelebihan alat terpadu ini adalah keakuratan, kemudahan dalam penggunaan, penghematan waktu pengujian dan biaya. Alat analisa seperti ini juga mereduksi kesalahan yang disebabkan oleh persiapan (*setup*) pengujian dan mereduksi risiko kejutan listrik pada personil yang melakukan pengujian, misalnya terdapat fasilitas pengujian isolasi lid pasien dengan menerapkan tegangan uji pada lid tersebut.



Gambar 4.5. Isolasi pada sebuah sensor tekanan-darah. Sensor tekanan-darah model sekarang ini yang dapat daur-ulang (*disposable*) terbuat dari plastik bening sehingga gelembung udara yang terjadi dapat mudah terlihat. Salin mengalir dari kantung intravena (IV) melalui silinder IV dan sensor yang menempel pada pasien. Proses ini mengalirkan darah di luar ujung kateter-tetap untuk mencegah pembekuan. Terdapat sebuah tuas yang dapat membuka-tutup tabung tekan. Keping silikon berupa diafragma dengan empat resistor membentuk jembatan Wheatston diselipkan ke dalamnya. Jalur kelistrikan dilindungi dari cairan salin dengan jeli-silikon elastis yang menyekatnya, sekaligus berfungsi sebagai isolasi listrik. Hal ini mencegah kejutan listrik dari sensor ke pasien atau mencegah rusaknya keping silikon akibat arus tinggi akibat proses defibrilasi pada pasien.

BAB 5 PENYAJIAN DAN ANALISIS DATA

5.1. Penyajian Data

5.1.1. Penyajian Data Penelitian Kuantitatif

Hasil penelitian kuantitatif merupakan hasil pengukuran-pengukuran dan pengamatan yang dilakukan pada instalasi sistem kelistrikan rumah sakit sampel penelitian maka diperoleh berbagai data yang merupakan informasi dasar bagi perancangan sebuah prosedur pengujian keselamatan kelistrikan, yang dibagi dalam dua kelompok:

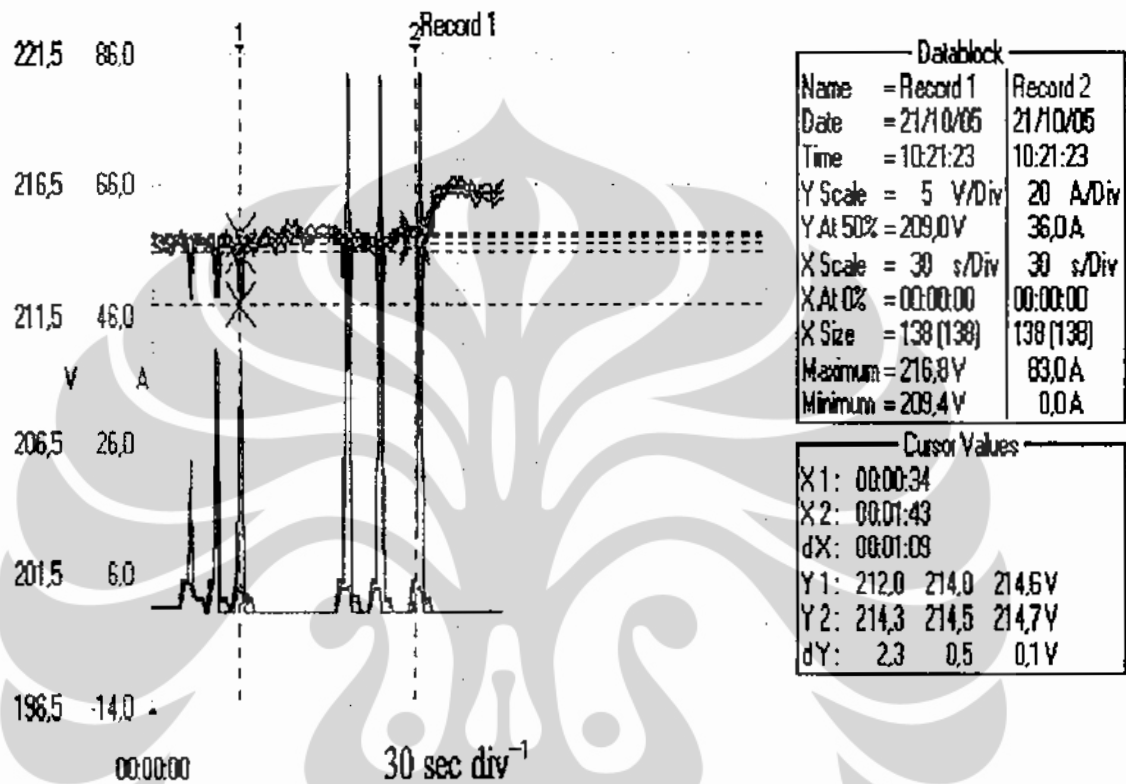
- 1) Data pengukuran besaran-besaran utama kelistrikan (pengukuran pada lingkungan kelistrikan) sarana.
- 2) Data pengukuran kelistrikan beberapa sampel peralatan medis yang sedang beroperasi (*line operated equipment*).

5.1.1.1. Data Pengukuran Besaran Utama

Saat kita menguji sistem distribusi listrik dan peralatan yang sedang terhubung kepadanya, kita harus menyadari bahwa prosedur keselamatan kita terapkan baik pada pasien maupun personil pelaksana pengujian (teknisi uji). Data dalam bentuk pengukuran ringan adalah: tegangan kelistrikan 220 VAC, 380 VAC (fasa ke fasa), daya listrik 40 kVA (sumber utama PLN) dan 15 kVA (sumber cadangan Generator berbahan bakar solar).

Data kondisi kelistrikan utama diperoleh juga dari pengamatan yang dilakukan dengan monitoring sistem kelistrikan dengan alat osiloskop digital. Pengamatan secara grafis ini kemudian menjadi dasar bagi pencarian seberapa kritis kondisi kelistrikan sehingga beberapa skenario pengujian dibuat. Kekhususan perhatian diberikan pada harmonisa tegangan dan tegangan transien sesaat, khususnya lengkungan tegangan (*voltage sag*). Pengukuran dilakukan dengan alat Analisa Kualitas Daya (*Power Quality Analyzer*) Fluke 43B dan sebuah osiloskop digital Tektronix TD 1002, dan beberapa instrumen bantu lainnya. Gambar 5.1 menunjukkan hasil pengukuran dan pengamatan kondisi kelistrikan di sarana pelayanan kesehatan tempat diadakannya penelitian. Dari gambar tersebut tampak pengaruh bekerjanya berbagai peralatan terhadap kelistrikan

terinstalasi. Sebagai contoh arus puncak 83 A memancing timbulnya lengkungan 5,1 V yang mereduksi amplitudo tegangan dari 214,5 V (rata-rata) sampai 209,4 V.



Gambar 5.1. Grafik Kondisi Sistem Kelistrikan Hasil Pengukuran sistem kelistrikan di sarana pelayanan kesehatan tempat dilakukan penelitian. Semua kondisi kelistrikan yang teramati memberikan informasi seberapa kritis pengaruh *line-operated equipment* dan mendasari pembuatan beberapa skenario pengujian. Skala waktu (*time scale*) osiloskop yang digunakan adalah 30 detik div^{-1} .

5.1.1.2. Data Pengukuran Kelistrikan Sampel Peralatan Medis *Line-operated*

Sumber daya utama yang bertanggung jawab untuk menyuplai daya di sarana kesehatan tempat dilakukan penelitian adalah transformator TRAFINDO model AMX 390 dengan daya keluaran 40 kVA. Kemudian daya ini diakomodasi oleh Pengendali Daya Tiga Fasa (*Three-phase Controller*) UMC-31 yang menghasilkan frekuensi sinyal 50 Hz. Pengendali ini menahan sinyal dalam magnitudo yang tetap dengan ketelitian 5%.

Alat-alat listrik medis yang beroperasi jaringan yang dilakukan pengujian dipilih alat-alat medis listrik yang berdaya besar atau yang sering digunakan di sarana kesehatan tempat dilakukan penelitian. Serangkaian pengujian yang dilakukan berdasarkan pengujian standar untuk alat listrik medis pada alat-alat:

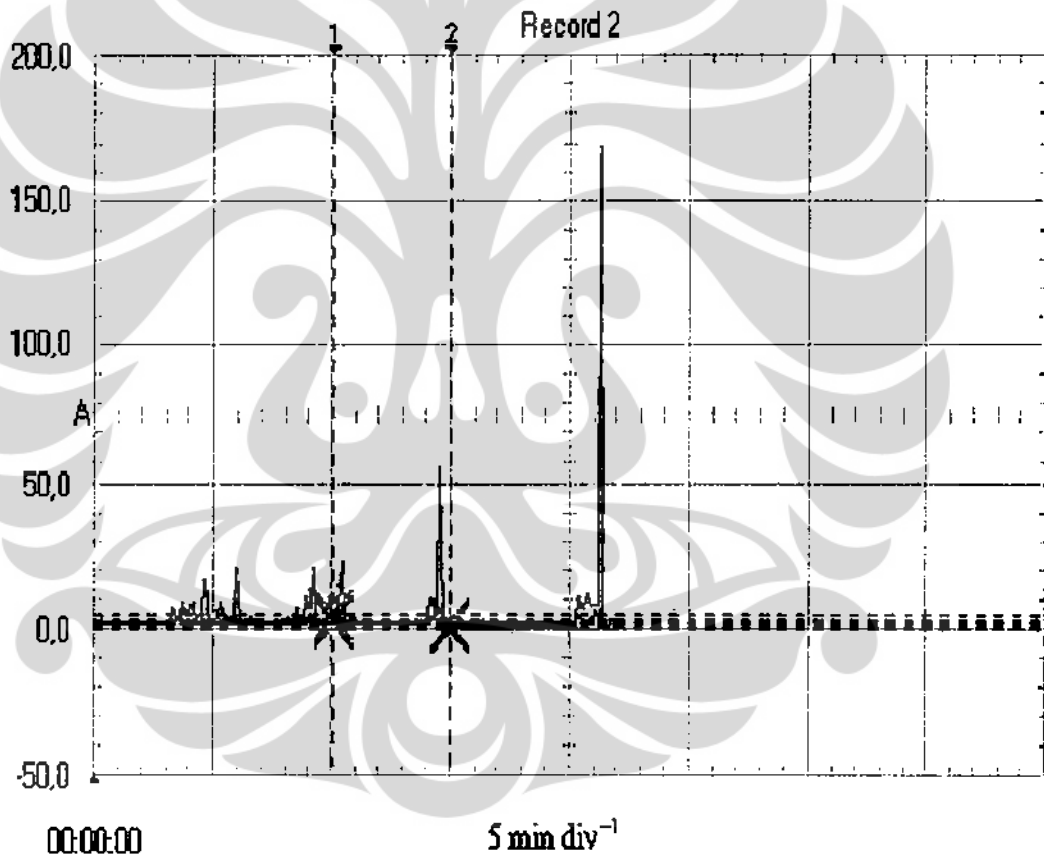
- 1) monitor jantung (*heart monitor*),
- 2) ventilator pernapasan (*pulmonary ventilator*),
- 3) oksimeter pulsa (*pulse oxymeter*).

Berikut ini adalah hasil dari pengujian-pengujian di atas.



A. Data Pengujian Pengaruh Alat Medis Sinar Ronsen Terhadap Kelistrikan

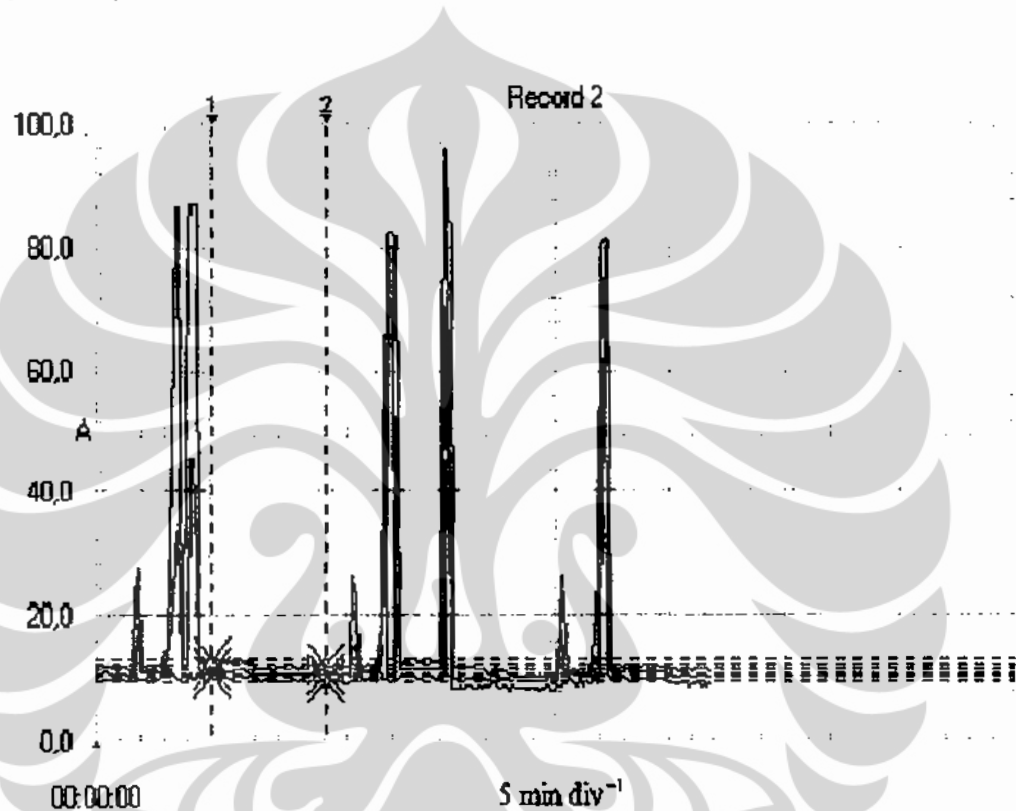
Merupakan alat diagnosa yang paling umum digunakan. Alat Sinar X ini terdapat dua modus operasi: **Continuous** dan **Momentary**. Selama operasi dalam modus **Momentary** untuk radiografi instan terjadi konsumsi daya listrik yang tinggi dan lengkungan tegangan dapat terjadi, yang berpengaruh pada kinerja alat listrik medis yang sensitif yang terhubung ke jaringan. Gambar 5.2 menunjukkan kondisi kelistrikan pada saat pengoperasian alat Sinar X. Arus sampai senilai 170 A teramati.



Gambar 5.2. Grafik Kondisi Sistem Kelistrikan Akibat Pengoperasian Alat Sinar Ronsen Arus puncak yang terjadi di jaringan akibat pengaruh pengoperasian alat listrik medis Sinar X. Skala waktu (*time scale*) osiloskop yang digunakan adalah 5 menit div⁻¹.

B. Data Pengujian Pengaruh Alat Medis Penindai *Computerized axial Tomography (C_aT Scan)* Terhadap Kelistrikan

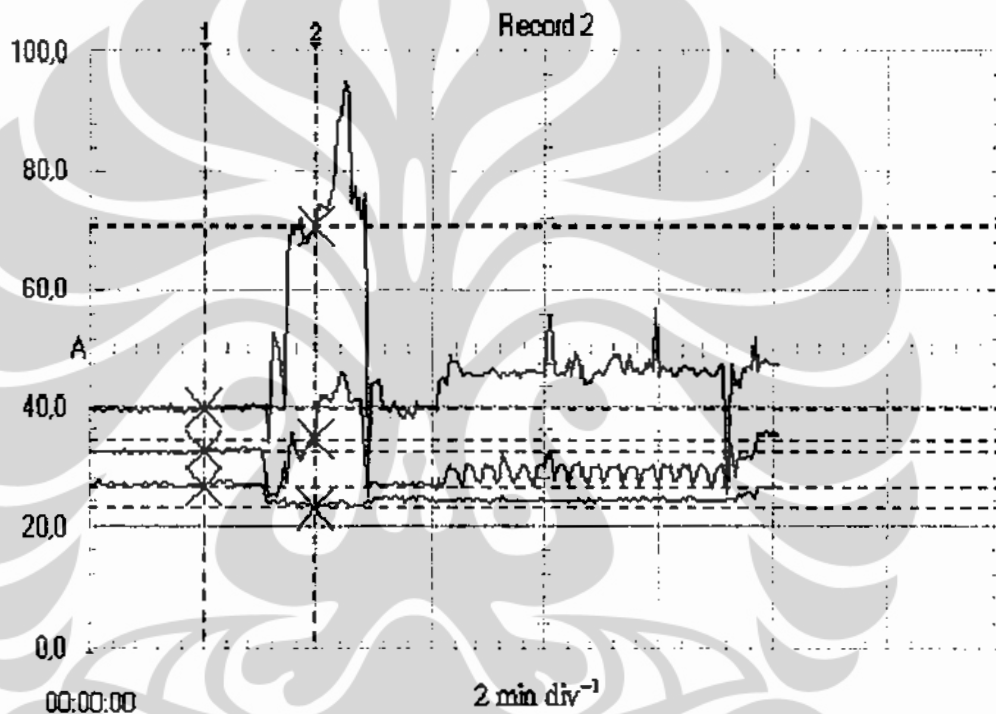
Gambar 5.3 menunjukkan hasil pengamatan arus puncak yang terjadi pada saat pengoperasian alat CT scan ini. Arus puncak senilai lebih dari 90 A tampak teramati.



Gambar 5.3. Grafik Kondisi Sistem Kelistrikan Akibat Pengoperasian Alat C_aT Scan. Arus puncak yang terjadi di jaringan akibat pengaruh pengoperasian alat listrik medis C_aT Scan. Skala waktu (*time scale*) osiloskop yang digunakan adalah 5 menit div⁻¹.

C. Data Pengujian Pengaruh Alat Medis *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) Terhadap Kelistrikan

Alat ini tidak menggunakan sinar ronsen tetapi menggunakan komponen atom yang dihasilkan oleh generator medan magnetik tinggi. Gambar 5.4 menunjukkan hasil pengamatan pengaruh pengoperasian alat MRI pada sistem kelistrikan.



Gambar 5.4. Grafik Kondisi Sistem Kelistrikan Akibat Pengoperasian Alat MRI Arus puncak yang terjadi di jaringan akibat pengaruh pengoperasian alat listrik medis MRI. Tiga grafik menggambarkan amplitudo arus maksimum, rata-rata dan minimum. Skala waktu (*time scale*) osiloskop yang digunakan adalah 2 menit div^{-1} .

D. Data Pengujian Pengaruh Alat Medis Portabel Terhadap Kelistrikan

Pengujian dilakukan pada alat medis listrik mudah jinjing (portabel) yang sering digunakan yaitu: monitor jantung, ventilator pulmonary, dan oksimeter pulsa. Pengujian dilakukan untuk melihat pengaruh peralatan ini saat beroperasi terhadap kondisi kelistrikan terinstalasi dengan alat-alat listrik medis berdaya besar bekerja (yaitu kondisi dengan harmonisa tinggi, dan dibawah tekanan lengkungan tegangan yang membebani).

Pengujian pertama dilakuan bertujuan untuk melihat pengaruh bekerjanya alat ini saat beroperasi pada kelistrikan dengan daya yang mengandung tegangan harmonisa, dapat dilihat pada Tabel 5.1

Tabel 5.1
Hasil Pengujian Distorsi Tegangan Harmonis
Pengaruh Alat Medis Portabel Pada Kelistrikan

Pengujian	Dasar (%)	Harmonisa ke-3 (%)	Harmonisa ke-5 (%)	Harmonisa ke-7 (%)	THD _f (%)
1	100	3	-	-	3,0
2	100	10	-	-	10,0
3	100	20	-	-	20,0
4	100	50	-	-	50,0
5	-	100	-	-	100,0
6	100	50	30	20	61,8
7	100	70	50	30	91,5

Pengujian kedua dilakukan untuk melihat pengaruh lengkungan tegangan terhadap alat-alat listrik medis ringan ini. Hasilnya tampak pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2
Hasil Pengujian Tegangan Lengkung
Pengaruh alat Medis Portabel Pada Kelistrikan

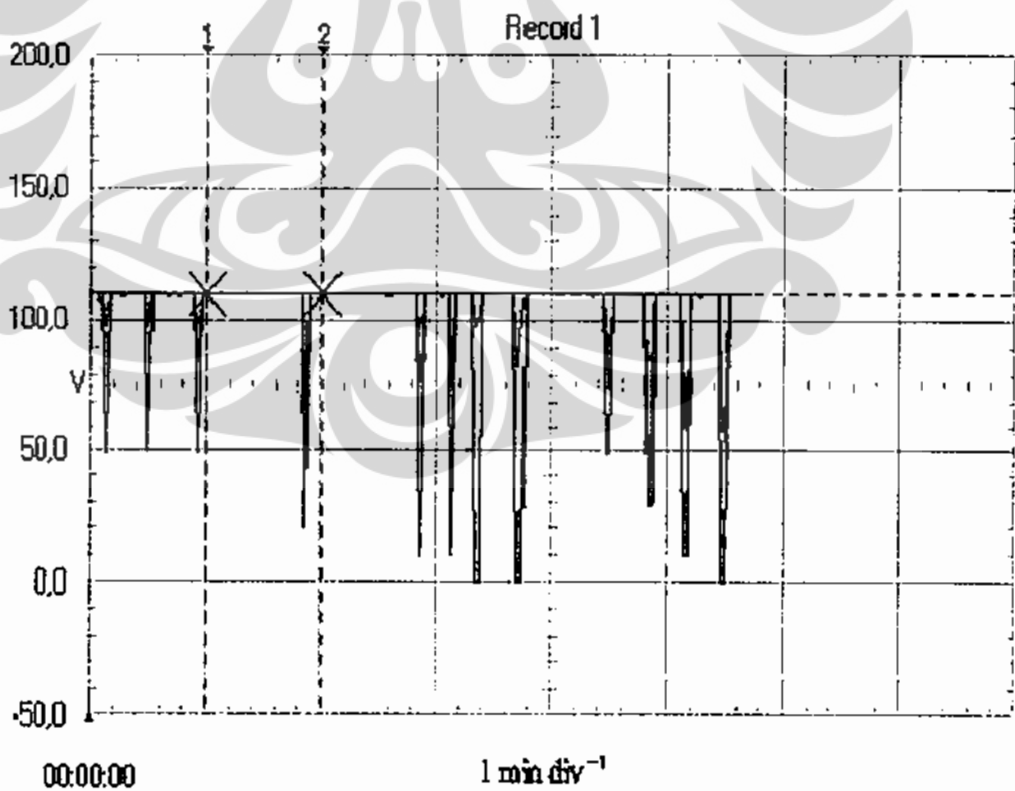
Pengujian	Tegangan lengkung (V)	Tegangan Sisa (V)	Durasi Waktu (det.)	Jarak Waktu (det.)
1,2 dan 3	60	50	0,5	20
4	90	20	0,5	-
5 dan 6	100	10	0,5	20
7 dan 8	110	0	1,0	20
9	60	50	1,0	20
10	80	30	1,0	20
11	100	10	1,0	20
12	110	0	1,0	20

Pengujian ketiga, membandingkan dengan pengujian induksi tegangan lengkung yang didasarkan pada standar IEC 61000-4-11. Diperlihatkan dalam Tabel 5.3.

Sedangkan hasil dalam bentuk visual diperlihatkan Gambar 5.5 yaitu data-data yang termaktub dalam Tabel 5.2 di atas.

Tabel 5.3
Hasil Pengujian Tegangan Lengkung Standar IEC 61000-4-11

Tingkat Tegangan Sisa (% U_n)	Tegangan lengkung atau <i>outage</i> (% U_n)	Durasi (siklus)
80	20	0,5 1 5 10 25 50 180
70	30	
40	60	
20	80	
0	100	



Gambar 5.5. Grafik Barisan Tegangan-lengkung Barisan tegangan lengkung yang menggambarkan 12 pengujian yang termaktub dalam Tabel 5.2

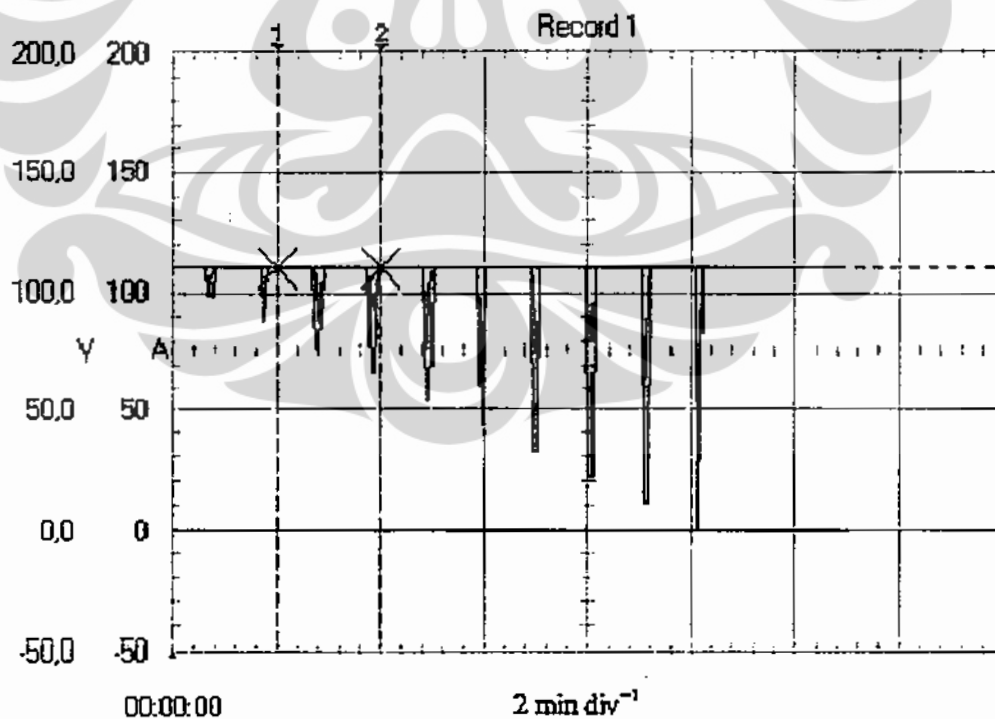
E. Data Pengujian Pengaruh Alat Medis Ventilator Pulmonari Terhadap Kelistrikan

Pada pengujian dengan alat ini, pada pengujian ini dihasilkan data seperti tampak pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4
Hasil Pengujian Tegangan Lengkung Pada Alat Ventilator Pulmonari

Pengujian	Jumlah lengkungan	Tegangan lengkung (V)	Tegangan Sisa (V)	Durasi Waktu (det.)	Jarak Waktu (det.)
1	10	11	99	3	1
2	10	22	88	3	1
3	10	33	77	3	1
4	10	44	66	3	1
5	10	55	55	3	1
6	10	11-110	99-0	3	1

Hasil pengukuran dalam bentuk visual diperlihatkan oleh hasil tampilan osiloskop digital, seperti tampak dalam Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Grafik Tegangan Lengkung Pengoperasian Alat Ventilator Pulmonari Menggambarkan kondisi dari data yang diperoleh dalam Tabel 5.4

F. Data Pengujian Pengaruh Alat Medis Oksimeter Pulsa Terhadap Kelistrikan

Hasil pengujian dapat dilihat dari Tabel 5.5 di bawah ini.

Tabel 5.5
Hasil Pengujian Tegangan Lengkung Pada Alat Oksimeter Pulsa

Pengujian	Jumlah lengkungan	Tegangan lengkung (V)	Tegangan Sisa (V)	Durasi Waktu (det.)	Jarak Waktu (det.)
1	10	3,3	106,7	1	1
2	10	5,5	104,5	1	1
3	10	8,8	101,2	1	1
4	10	11,0	109,0	1	1
5	10	22,0	88,0	1	1

Sedangkan Tabel 5.6 menunjukkan pengujian pada alat yang sama dengan tegangan lengkung yang didasarkan pada standar IEC 61000-4-11.

Tabel 5.6
Hasil Pengujian Tegangan Lengkung Pada Alat Oksimeter Pulsa Didasarkan Standar IEC 61000-4-11

Tingkat Tegangan Sisa (%U _n)	Tegangan lengkung atau <i>outage</i> (%U _n)	Durasi (siklus)	Hasil Pengamatan Secara Visioner
80	20	≥5	tampilan meredup, tidak ada data hilang
70	30	≥5	tampilan meredup, tidak ada data hilang
40	60	10	Peralatan 'hang', tampilan kacau. Perlu dilakukan penyalaan ulang
40	60	25, 50 dan 150	Mati tetapi kembali ke layar utama. Kembali beroperasi normal
20	80	≥10	Peralatan 'hang' dan tampilan kacau. Perlu dilakukan penyalaan ulang
0	100	≥10	Peralatan 'hang' dan tampilan kacau. Perlu dilakukan penyalaan ulang

5.1.2. Penyajian Data Hasil Penelitian Kualitatif

Data hasil penelitian kualitatif adalah hasil survai dengan menggunakan teknik wawancara tertulis berupa kuesioner terhadap penerapan prosedur pengujian keselamatan kelistrikan di sarana pelayanan kesehatan yang menjadi tempat

penelitian. Terdiri dari 4 (empat) kelompok informasi penelitian.

- 1) Kelompok Informasi Penelitian Kehandalan Teknik Pengujian (Reliabilitas).
- 2) Kelompok Informasi Penelitian Kelengkapan Teknik Pengujian.
- 3) Kelompok Informasi Penelitian Keluasan Cakupan Teknik Pengujian.
- 4) Kelompok Informasi Penelitian Kemampooterapan Teknik Pengujian.

5.1.2.1. Penyajian Data Sampel Informan Utama (2 sampel)

Data hasil jawaban kuesioner untuk Kelompok Informasi Penelitian Kehandalan Teknik Pengujian (Reliabilitas) disajikan pada Tabel 5.7 untuk Informan Utama 1 (IU₁) dan Tabel 5.8 untuk Informan Utama 2 (IU₂).

Tabel 5.7
Hasil Kuesioner Sampel Informan Utama 1 (IU₁)
Kelompok Data Penelitian: Kehandalan Teknik Pengujian (KIP-1)

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan ketepatsasaran ESTPH.				√		
2.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan reliabilitas ESTPH.				√		
3.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan kesesuaian ESTPH.					√	
4.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan ketertelusuran ESTPH.					√	
5.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan keamanan ESTPH.					√	
Jumlah		0	0	0	8	15	Σ = 23

Tabel 5.8
Hasil Kuisioner Sampel Informan Utama 2 (IU₂)
Kelompok Data Penelitian: Kehandalan Teknik Pengujian (KIP-1)

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan ketepatsasaran ESTPH.				√		
2.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan reliabilitas ESTPH.					√	
3.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan kesesuaian ESTPH.				√		
4.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan ketertelusuran ESTPH.				√		
5.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan keamanan ESTPH.					√	
Jumlah		0	0	0	12	10	Σ = 22

Data hasil jawaban kuisisioner untuk Kelompok Informasi Penelitian Kelengkapan Teknik Pengujian disajikan pada Tabel 5.9 untuk Informan Utama 1 (IU₁) dan Tabel 5.10 untuk Informan Utama 2 (IU₂).

Tabel 5.9
Hasil Kuisisioner Sampel Informan Utama 1 (IU₁)
Kelompok Informasi Penelitian: Kelengkapan Teknik Pengujian (KIP-2)

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran tegangan kerja dalam ESTPH.			√			
2.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran kualitas daya dalam ESTPH.					√	
3.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran arus bocor dalam ESTPH.			√			
4.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran tahanan pentanahan dalam ESTPH.					√	
5.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran tegangan pentanahan dalam ESTPH.					√	
Jumlah		0	0	6	0	15	Σ = 21

Tabel 5.10
Hasil Kuisisioner Sampel Informan Utama 2 (IU₂)
Kelompok Data Penelitian: Kelengkapan Teknik Pengujian (KIP-2)

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran tegangan kerja dalam ESTPH.					√	
2.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran kualitas daya dalam ESTPH.					√	
3.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran arus bocor dalam ESTPH.					√	
4.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran tahanan pentanahan dalam ESTPH.					√	
5.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran tegangan pentanahan dalam ESTPH.					√	
Jumlah		0	0	0	0	25	Σ = 25

Data hasil jawaban kuisisioner untuk Kelompok Informasi Penelitian Keluasan Cakupan Teknik Pengujian disajikan pada Tabel 5.11 untuk Informan Utama 1 (IU₁) dan Tabel 5.12 untuk Informan Utama 2 (IU₂).

Tabel 5.11
 Hasil Kuisioner Sampel Informan Utama 1 (IU₁)
 Kelompok Informasi Penelitian: Keluasan Cakupan Teknik Pengujian (KIP-3)

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji mekanik selain listrik?					√	
2.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji kelistrikan lingkungan?					√	
3.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji kelistrikan tanpa alat listrik beroperasi?					√	
4.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji kelistrikan dengan alat listrik beroperasi?					√	
5.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji kelistrikan pengamatan arus frekuensi tinggi?				√		
Jumlah		0	0	0	4	20	Σ = 24

Tabel 5.12
 Hasil Kuisioner Sampel Informan Utama 2 (IU₂)
 Kelompok Informasi Penelitian: Keluasan Cakupan Teknik Pengujian (KIP-3)

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji mekanik selain listrik?					√	
2.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji kelistrikan lingkungan?					√	
3.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji kelistrikan tanpa alat listrik beroperasi?					√	
4.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji kelistrikan dengan alat listrik beroperasi?				√		
5.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji kelistrikan pengamatan arus frekuensi tinggi?				√		
Jumlah		0	0	0	8	15	Σ = 23

Data hasil jawaban kuisioner untuk Kelompok Data Penelitian Kemampooterapan Teknik Pengujian disajikan pada Tabel 5.13 untuk Populasi Utama 1 (PU₁) dan Tabel 5.14 untuk Populasi Utama 2 (PU₂).

Tabel 5.13
 Hasil Kuisioner Sampel Informan Utama 1 (IU₁)
 Kelompok Informasi Penelitian: Kemampooterapan Teknik Pengujian (KIP-4)

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ketersediaan SDM, komponen dan instrumentasi bagi penyelenggaraan ESTPH.				√		
2.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan kepraktisan penyelenggaraan ESTPH ini.					√	
3.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan kepasan ESTPH ini dengan <i>Existing System</i> .					√	
4.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ketepatan & penghematan waktu penyelenggaraan ESTPH ini.					√	
5.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan kepatasan biaya penyelenggaraan ESTPH.					√	
Jumlah		0	0	0	4	20	Σ = 24

Tabel 5.14
 Hasil Kuisioner Sampel Informan Utama 2 (IU₂)
 Kelompok Informasi Penelitian: Kemampooterapan Teknik Pengujian (KIP-4)

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ketersediaan SDM, komponen dan instrumentasi bagi penyelenggaraan ESTPH.				√		
2.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan kepraktisan penyelenggaraan ESTPH ini.					√	
3.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan kepasan ESTPH ini dengan <i>Existing System</i> .					√	
4.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ketepatan & penghematan waktu penyelenggaraan ESTPH ini.					√	
5.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan kepatasan biaya penyelenggaraan ESTPH.					√	
Jumlah		0	0	0	4	20	Σ = 24

5.1.2.2. Penyajian Data Sampel Informan Pembantu (1 sampel)

Data hasil jawaban kuisioner untuk Kelompok Informasi Penelitian Kehandalan Teknik Pengujian (Reliabilitas) untuk Informan Pembantu (IP) disajikan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15
 Hasil Kuisisioner Sampel Informan Pembantu (IP)
 Kelompok Informasi Penelitian: **Kehandalan Teknik Pengujian (KIP-1)**

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan ketepatsasaran ESTPH.				√		
2.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan reliabilitas ESTPH.					√	
3.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan kesesuaian ESTPH.					√	
4.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan ketertelusuran ESTPH.					√	
5.	Kelompok pertanyaan yang berkaitan dengan keamanan ESTPH.					√	
Jumlah		0	0	0	4	20	Σ = 24

Data hasil jawaban kuisisioner untuk Kelompok Informasi Penelitian Kelengkapan Teknik Pengujian untuk Informan Pembantu (IP) disajikan pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16
 Hasil Kuisisioner Sampel Informan Pembantu (IP)
 Kelompok Informasi Penelitian: **Kelengkapan Teknik Pengujian (KIP-2)**

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran tegangan kerja dalam ESTPH.					√	
2.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran kualitas daya dalam ESTPH.					√	
3.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran arus bocor dalam ESTPH.					√	
4.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran tahanan pentanahan dalam ESTPH.					√	
5.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan adanya pengujian/pengukuran tegangan pentanahan dalam ESTPH.					√	
Jumlah		0	0	0	0	25	Σ = 25

Data hasil jawaban kuisisioner untuk Kelompok Informasi Penelitian Keluasan Cakupan Teknik Pengujian untuk Informan Pembantu (IP) disajikan pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17
 Hasil Kuisisioner Sampel Informan Pembantu (IP)
 Kelompok Informasi Penelitian: Keluasan Cakupan Teknik Pengujian

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji mekanik selain listrik?					√	
2.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji kelistrikan lingkungan?					√	
3.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji kelistrikan tanpa alat listrik beroperasi?					√	
4.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji kelistrikan dengan alat listrik beroperasi?					√	
5.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ESTPH melakukan uji kelistrikan pengamatan arus frekuensi tinggi?				√		
Jumlah		0	0	0	4	20	Σ = 24

Data hasil jawaban kuisisioner untuk Kelompok Informasi Penelitian Kemampuserapan Teknik Pengujian untuk Informan Pembantu (IP) disajikan pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18
 Hasil Kuisisioner Sampel Informan Pembantu (IP)
 Kelompok Informasi Penelitian: Kemampuserapan Teknik Pengujian (KIP-4)

No.	Pertanyaan	Skor Rata ²					Ket.
		1	2	3	4	5	
1.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ketersediaan SDM, komponen dan instrumentasi bagi penyelenggaraan ESTPH.				√		
2.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan kepraktisan penyelenggaraan ESTPH ini.					√	
3.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan kepasan ESTPH ini dengan <i>Existing System</i> .					√	
4.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan ketepatan & penghematan waktu penyelenggaraan ESTPH ini.					√	
5.	Kelompok pertanyaan yang menunjukkan kepatasan biaya penyelenggaraan ESTPH.					√	
Jumlah		0	0	0	4	20	Σ = 24

5.2. Analisis Data

5.2.1. Analisis Data Penelitian Kuantitatif

Analisa data kuantitatif yang diperoleh sebagai dasar:

- 1) perhitungan teoritis kelistrikan dalam perancangan-perancangan rangkaian-bantu pengujian,
- 2) perhitungan nilai komponen elektronika (bila ada) yang menyusun rangkaian-bantu pengujian,
- 3) penentuan tegangan kerja untuk *setting* awal semua rangkaian pengujian,
- 4) penentuan instrumentasi bantu (bila diperlukan) yang sesuai dengan proses pengujian di masing-masing kelompok uji,
- 5) perancangan rangkaian proteksi dan penapisan (bila diperlukan) bagi rangkaian-bantu pengujian, didasarkan pada kondisi kelistrikan yang teramati.

Data kuantitatif yang diperoleh dalam penelitian ini, baik yang berasal dari pengukuran (dengan instrumen ukur listrik: voltmeter, ammeter, dll.) atau dari pengamatan (dengan instrumen monitor listrik: osiloskop, alat analisa kualitas daya, dll.), data-data tersebut sudah dalam bentuk data jadi, sehingga tidak memerlukan analisis dasar. Analisis data lanjut dilakukan untuk medesain rangkaian uji, disajikan dalam sebuah bab khusus: **Desain dan Konstruksi** (Bab 6).

5.2.2. Analisis Data Penelitian Kualitatif

Dari data wawancara tertulis yang dikumpulkan selama penelitian kualitatif dari tanggal 1 Mei s.d. 24 Mei 2010 yaitu data-data dalam bagian 5.1.2, yaitu berupa tabulasi data: Tabel 5.7 s.d. 5.18. Analisis yang dilakukan adalah melakukan penskoran total dari data tabulasi yang ada.

Tabel 5.19
Hasil Perhitungan Total Skor Kuisisioner Pengujian Kualitatif
Produk Penelitian Manual Instruksi Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit

No.	Jenis Sampel Informan	Jumlah Skor Rata-rata			
		KIP-1	KIP-2	KIP-3	KIP-4
1.	Informan Utama 1 (IU ₁)	23	21	24	24
2.	Informan Utama 2 (IU ₂)	22	23	24	24
3.	Informan Pembantu (IP)	25	25	24	24
Jumlah Σ KIP Informan Utama (IU ₁ + IU ₂)		45	44	48	48
Jumlah Σ KIP Informan Pembantu (IP)		24	25	24	24
Nilai Rata KIP Informan Utama: $NR\ KIP\ IU = \frac{\Sigma KIP\ IU}{2}$		22,5	22	24	24
Nilai Rata KIP Informan Pembantu: $NR\ KIP\ IP = \Sigma KIP\ IP$		24	25	24	24
Nilai Pembobotan	Bobot Kelompok Utama ($BK_u = \alpha_u \times NR\ KIP\ IU$ ($\alpha_u = 0,6$))	13,5	13,2	14,4	14,4
	Bobot Kelompok Pendukung ($BK_p = \alpha_p \times NR\ KIP\ IP$ ($\alpha_p = 0,4$))	9,6	10	9,6	9,6
Total Skor ($BK_u + BK_p$) :		23,1	23,2	24	24

Berdasarkan hasil perhitungan dalam Tabel 5.19, dengan mengacu pada selang penskoran tingkatan Tabel 3.11, dapat disimpulkan hal-hal di bawah ini.

- 1) Kelompok Informasi Penelitian Keandalan (KIP-1) memperoleh total skor 23,1, maka berdasarkan selang penskoran tingkatan Tabel 3.7 diperoleh kesimpulan **SANGAT HANDAL**.
- 2) Kelompok Informasi Penelitian Kelengkapan (KIP-2) memperoleh total skor 23,2, maka berdasarkan selang penskoran tingkatan Tabel 3.7 diperoleh kesimpulan **SANGAT LENGKAP**.
- 3) Kelompok Informasi Penelitian Keluasan Cakupan (KIP-3) memperoleh total skor 24, maka berdasarkan selang penskoran tingkatan Tabel 3.7 diperoleh kesimpulan **SANGAT LUAS CAKUPAN**.

- 4) Kelompok Informasi Penelitian Kemampuserapan (KIP-4) memperoleh total skor 24, maka berdasarkan selang penskoran tingkatan Tabel 3.7 diperoleh kesimpulan **SANGAT MAMPU TERAP.**

Maka sebagai kesimpulan akhir manual instruksi pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit hasil rancang bangun penelitian ini adalah:

**SANGAT HANDAL – SANGAT LENGKAP – SANGAT LUAS
CAKUPAN UJINYA – SANGAT MAMPU TERAP**





BAB 6 DISAIN DAN KONSTRUKSI

6.1. Disain

Dari pembahasan teori di Bab 2 dan Bab 3 maka dapat kita disain prosedur pengujian keselamatan kelistrikan, yang dibagi dalam dua kelompok:

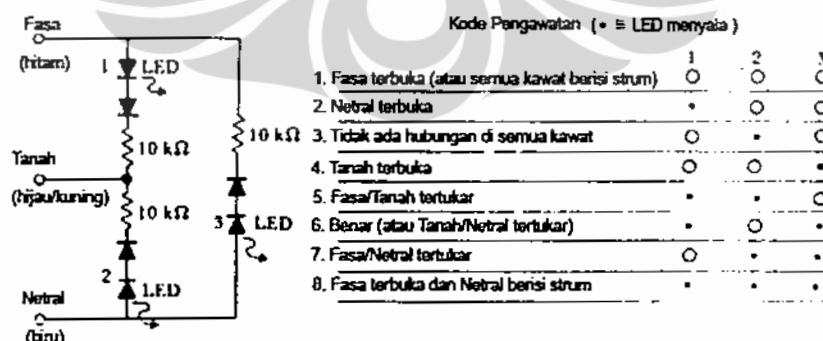
- 1) Pengujian Sistem Kelistrikan.
- 2) Pengujian Peralatan Listrik.

6.1.1. Disain Pengujian Sistem Kelistrikan

Saat kita menguji sistem distribusi listrik dan peralatan yang sedang terhubung kepadanya, kita harus menyadari bahwa prosedur keselamatan kita terapkan baik pada pasien maupun personil pelaksana pengujian (teknisi uji).

6.1.1.1. Pengujian Kotak-Catuan Daya (*Receptacles*)

Kotak-catuan daya harus diuji dengan tujuan menilai pengkawatan dalam keadaan baik, tegangan yang kerja yang disediakan sesuai dengan yang spesifikasi, memiliki nilai tahanan pentanahan yang rendah, dan terjaganya kondisi mekanis (sekrup/baut penahan kencang). Sebuah tester kotak-catuan daya berindikator cahaya hasil *reengineering* dari alat tester yang banyak tersedia secara komersial ditampilkan dalam Gambar 6.1.

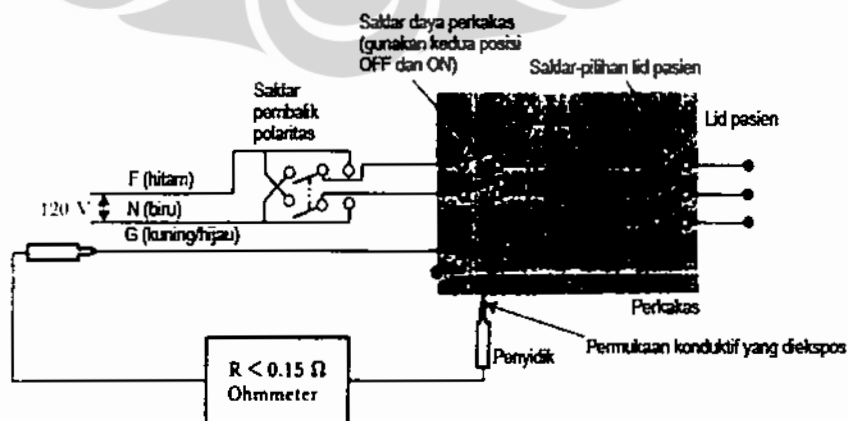


Gambar 6.1 Alat uji kotak-catuan daya model LED Sebuah dioda silikon universal mencegah kerusakan akibat arus balik pada LED, dan resistor berfungsi sebagai pembatas arus. Berdasarkan perhitungan LED-LED akan menyala pada tegangan antara 20 V rms sampai lebih besar dari 240 V rms, namun alat ini tidak disarankan untuk mengukur tegangan fasa.

Alat ini sebenarnya tidak terlalu mumpuni hanya didisain untuk mengecek pengkawatan, namun demikian alat sederhana ini dapat mengindikasikan 8 (2^3) kondisi dari 64 (4^3) kondisi yang merupakan indikator kondisionalitas komponen kotak-catuan daya. Tiga lampu indikator berarti hanya memiliki dua kondisi (2^3), sedangkan masing-masing dari ketiga kontak saluran memiliki empat kondisi (4^3), yaitu: netral, pentanahan, dan terbuka.

Alat uji ini memberikan pembacaan OK saat kawat pentanahan dan netral saling berlawanan indikasinya dan saat kawat kuning-hijau dan biru bersifat fasa dan kawat kuning-hijau tertanahkan. (Pembukaan rangkaian pemutus arus bisa saja menimbulkan kesalahan pengawatan selanjutnya dan beberapa kesalahan indikator).

Tahanan pentanahan dapat diukur dengan mengalirkan masuk arus 1 A melalui kawat pentanahan dan mengukur tegangan antara pentanahan dan netral. Personil yang melakukan uji kawat-pentanahan semacam ini sebaiknya berhati-hati karena bisa saja kotak-catuan daya yang sedang diuji berhubungan dengan kotak-catuan daya lainnya yang sedang digunakan untuk penanganan pasien ESP, seperti yang dijelaskan di Bagian 2.1.5 (dan Gambar 2.14) Tahanan untuk kawat netral dapat dilakukan dengan cara yang sama, yaitu dengan mengalirkan arus ke kawat netral. Tahanan pentanahan atau netral harus tidak boleh lebih dari nilai $0,2 \Omega$. Kemudian sedikit pengujian mekanis adalah masing-masing dari setiap kontak harus mampu menahan 115 g (4 ons).



Gambar 6.2 Pengujian tahanan Tanah-Tusukan-Sangkar

6.1.1.2. Pengujian Sistem Pentanahan Pada Area Pelayanan Pasien

Standar NFPA 99 mensyaratkan kedua pengukuran tegangan dan impedansi berbeda nilai ambang-batas keselamatannya antara konstruksi bagian yang baru dengan yang lama. Tegangan antara titik pentanahan acuan (lihat Gambar 4.1) dan permukaan konduktif terekspos (mudah tersentuh personil) sebaiknya tidak lebih dari 20 mV untuk konstruksi baru. Untuk konstruksi lama, nilainya adalah 500 mV untuk area pelayanan-umum dan 40 mV untuk area pelayanan-kritis. Impedansi antara titik pentanahan acuan dengan kontak pentanahan kotak-catuan daya harus kurang dari 0,1 Ω untuk konstruksi baru dan kurang dari 0,2 Ω untuk bangunan lama.

6.1.1.3. Pengujian Sistem Daya-Terisolasi

Sistem daya-terisolasi sebaiknya harus memiliki kesetaraan-potensial (*equipotential*) pentanahan yang sama dengan sistem tidak terisolasinya (lihat Gambar 4.1). Monitor isolasi-jalur (*line-isolation*) harus memicu indikator merah dan membunyika alarm jika total arus bahaya (arus bocor resistif maupun kapasitif dan arus LIM) melampaui nilai ambang 5 mA di bawah kondisi tegangan-saluran normal. Arus LIM sebaiknya tidak memicu pembunyian alarm untuk arus gangguan-bahaya yang kurang dari 3,7 mA. Untuk spesifikasi lebih lengkap dapat dilihat di standar NFPA terakhir.

6.1.2. Disain Pengujian Peralatan Kelistrikan

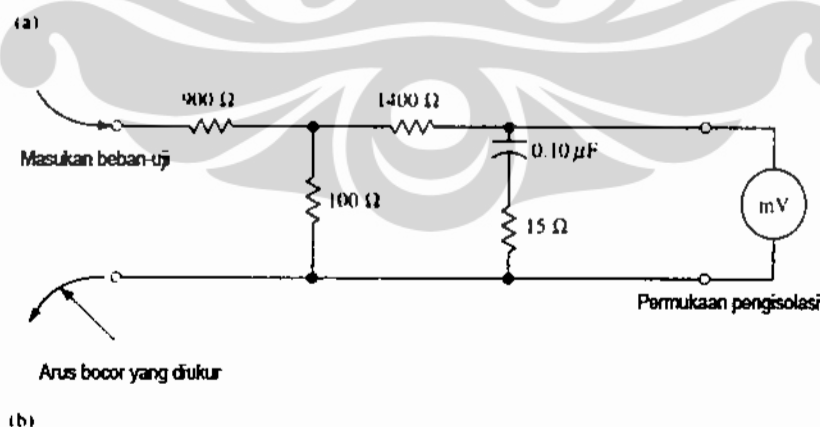
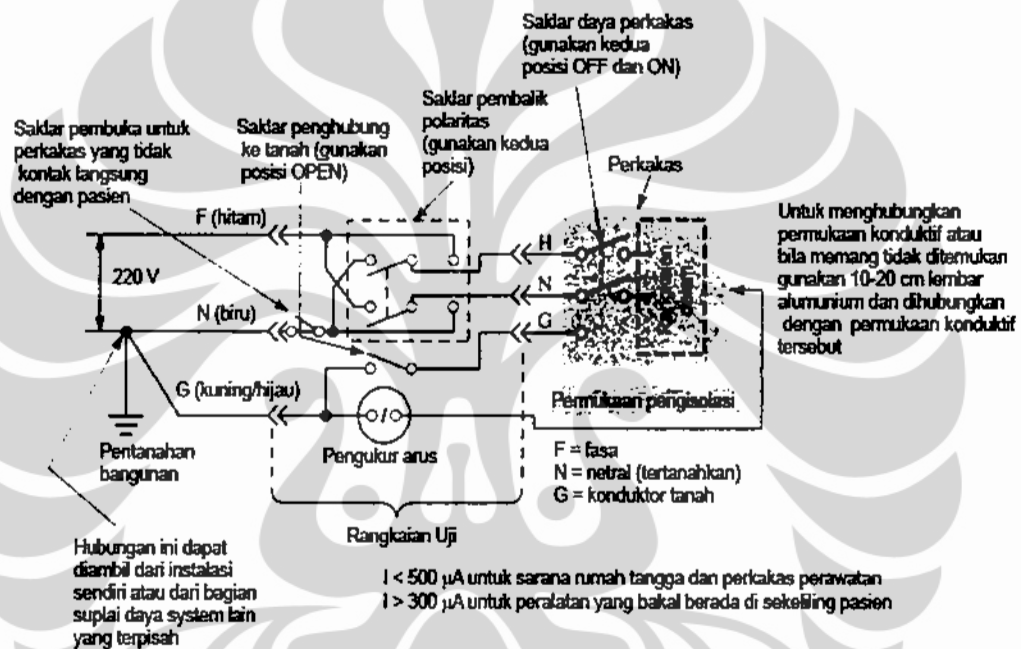
6.1.2.1. Pengujian Resistensi Kontak-Tusuk Pentanahan ke Sangkar

Nilai tahanan antara kontak-tusuk pentanahan dari kotak-catuan daya dengan sangkar (sangkar metal) peralatan medis atau obyek lainnya berbahan logam yang bersifat ekspos (mudah tersentuh personil) sebaiknya tidak melebihi nilai 0,15 Ω selama peralatan beroperasi (lihat Gambar 6.2).

Selama pengukuran resistensi, kabel catuan-daya harus lentur pada hubungannya ke kontak-tusuk tambahan dan tersangga dengan baik saat memasuki peralatan yang dicatunya.

6.1.2.2. Pengujian Arus Bocor Sangkar

Arus bocor muncul dari sangkar, seperti tampak pada pengukuran dengan metode yang digambarkan dalam Gambar 6.3(a), sebaiknya tidak melebihi $500 \mu\text{A}$ untuk peralatan dengan gangguan tunggal yang tidak berkaitan dengan kontak pada pasien dan sebaiknya tidak melampaui nilai $300 \mu\text{A}$ untuk peralatan yang ditujukan penggunaannya di area sekeliling pasien.

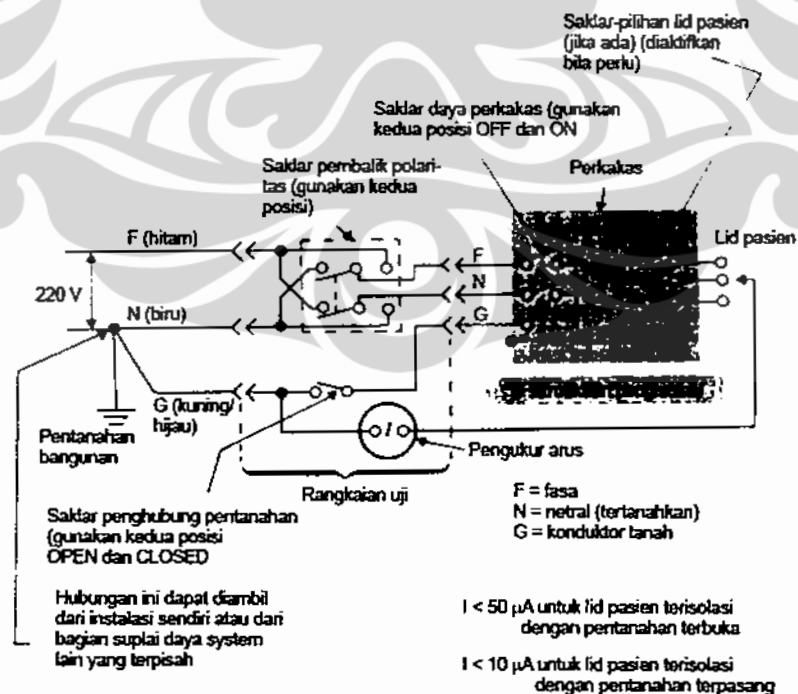


Gambar 6.3 (a) Alat uji arus bocor sangkar, (b) rangkaian pengukur arus untuk mengukur arus bocor. Memiliki impedansi masukan $1 \text{ k}\Omega$ dan frekuensi karakteristik mendatar pada 1 kHz , turun pada nilai 20 dB/dekade di 100 kHz , dan kembali mendatar pada frekuensi 1 MHz ke atas.

Ini adalah nilai ambang pada arus rms untuk tegangan dc sampai 1 kHz, dan nilai ini sebaiknya dihasilkan dari peralatan pengukuran arus dengan nilai tahanan dalam 1.000 Ω atau kurang. Gambar 6.3.(b) memperlihatkan rangkaian yang ditawarkan. Batas arus bocor yang diterapkan apakah polaritas dari jalur daya benar atau terbalik, dan apakah tombol daya dari peralatan dalam keadaan on atau off, dan apakah atau tidak semua tombol kontrol secara kebetulan berada dalam posisi tidak seharusnya pada saat pengujian berlangsung. Tombol pembalik-polaritas dalam Gambar 6.2 - 6.6, mungkin diperlukan pada pengujian peralatan manufaktur tetapi harus memperoleh perhatian khusus saat dipakai untuk pengujian di fasilitas kesehatan. Ketika beberapa perangkat diintegrasikan dalam satu rak atau kabinet dan disuplai daya dari satu sumber kotak-catuan, maka rak atau kabinet tersebut harus diuji sebagai satu perangkat.

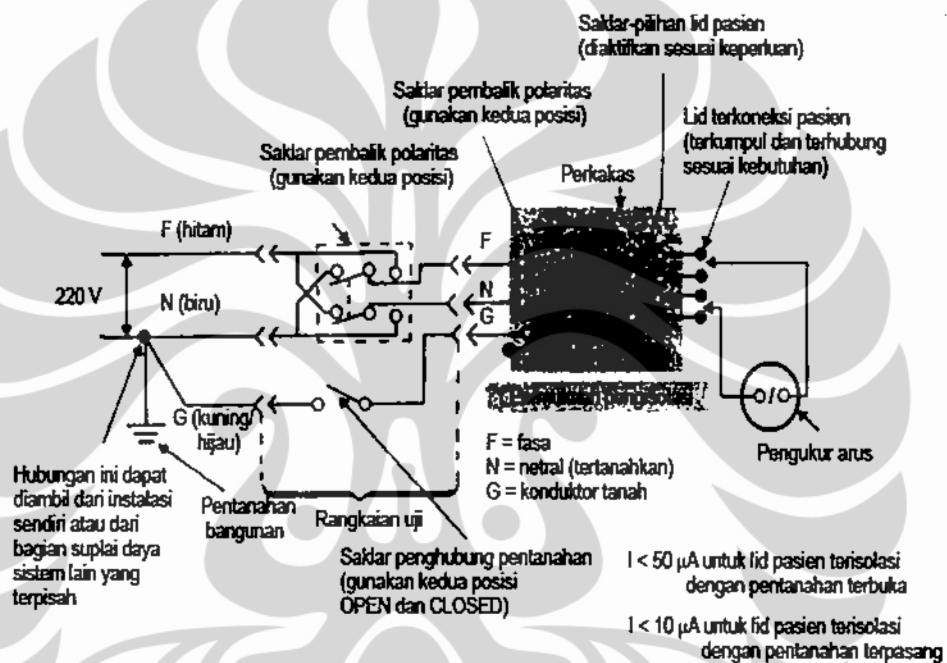
6.1.2.3. Pengujian Arus Bocor pada Lid Pasien

Arus bocor pada lid pasien secara khusus menjadi penting karena merupakan satu-satunya kontak pada pasien yang bersifat rendah impedansinya.



Gambar 6.4 Rangkaian uji arus bocor antara lid pasien dengan tanah

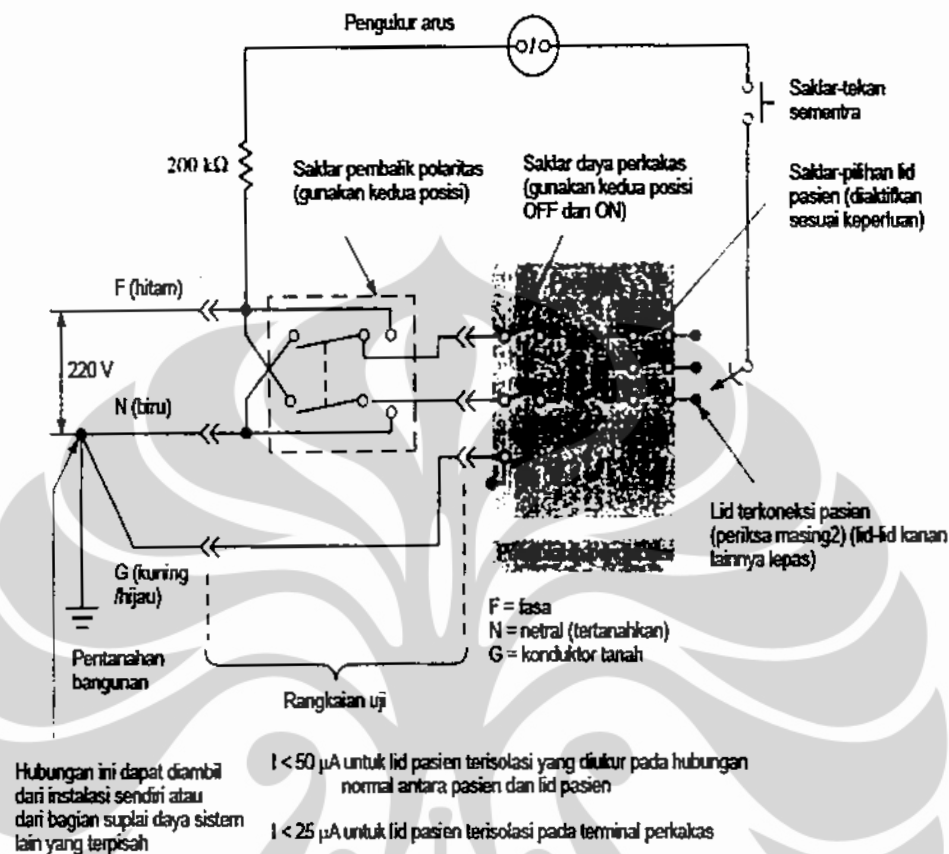
Batas pada arus bocor untuk lid pasien adalah $50 \mu\text{A}$. Lid pasien terisolasi harus memiliki nilai arus bocor yang kurang dari $10 \mu\text{A}$. Hanya lid pasien terisolasi yang sebaiknya dihubungkan ke kateter atau elektroda yang langsung bersentuhan dengan jantung. Arus bocor antara hubungan individual atau inter koneksi pasien lid dan pentanahan sebaiknya diukur dengan lid pasien yang sedang diaktifkan, seperti rangkaian yang ditawarkan pada Gambar 6.4 di halaman sebelumnya.



Gambar 6.5 Rangkaian uji arus bocor antar lid pasien

Sebagai tambahan, arus bocor antara semua pasangan lid atau antara lid tunggal dan semua lid lainnya sebaiknya diukur, contoh rangkaian adalah Gambar 6.5 pada halaman.

Terakhir, arus bocor yang akan mengalir melalui lid pasien ke pentanahan yang memicu terjadinya jalur tegangan timbul pada pasien, juga harus dilakukan pengujian. Arus bocor ini disebut arus isolasi atau arus berisiko. Penerapan tegangan jaringan-daya dan frekuensi pada lid pasien terisolasi sebaiknya tidak memproduksi arus isolasi (arus bocor berisiko tinggi) ke pentanahan lebih dari nilai $50 \mu\text{A}$ (lihat Gambar 6.6 halaman berikutnya).



Gambar 6.6 Rangkaian arus bocor ac isolasi

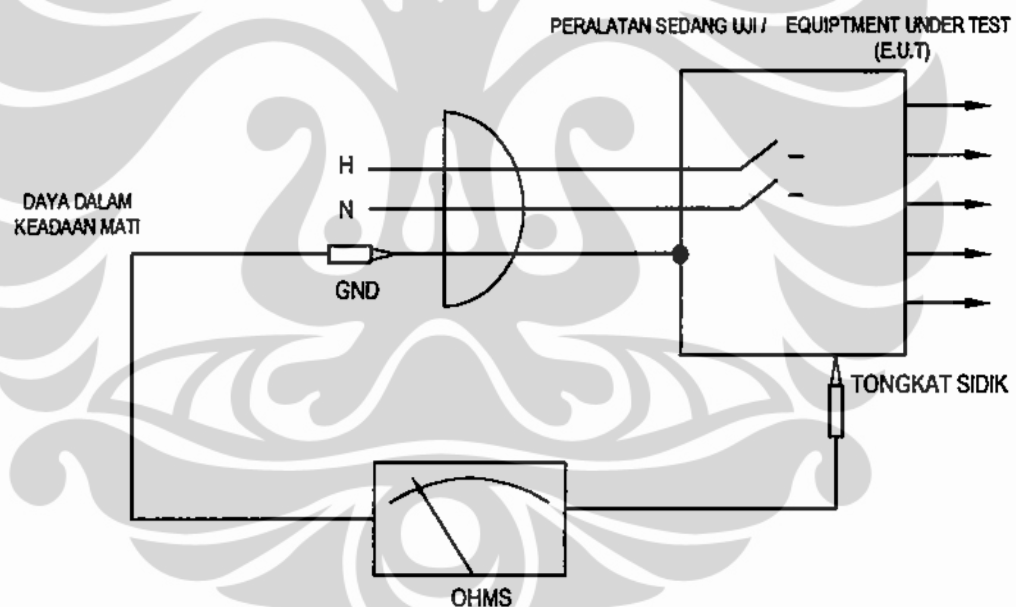
6.2. Konstruksi

Berdasarkan desain di atas maka dilakukan konstruksi rangkaian-bantu yang dibutuhkan untuk setiap kelompok pengujian, sekaligus instrumentasi-bantunya (bila dibutuhkan). Konstruksi dilakukan dengan menyesuaikan kondisi kelistrikan di Indonesia yang pada umumnya menggunakan daya listrik berbentuk gelombang sinusoidal, bertegangan kerja 220 V, frekuensi 50 Hz. Rangkaian-bantu pengujian diperlukan terutama dibutuhkan oleh proses-proses pengujian dalam kelompok pengujian: Pengujian Peralatan Terintegrasi-jaringan (*Testing Line-Operated Equipment*). Konstruksi dilakukan untuk menghasilkan keluaran berupa pembacaan yang fokus pada nilai batas keselamatan (*safety limits*) yang disyaratkan standar internasional yang dirujuk untuk semua besaran utama *hazard* kelistrikan yang diantisipasi. Komponen lainnya seperti saran teknis, nilai-nilai *safety limit* yang diacu, dan lain-lain dicantumkan setelah semua jenis pengujian ini disusun dalam satu

prosedur pengujian yang kompak dan lengkap (contoh prosedur pengujian yang telah berbentuk manual instruksi disajikan dalam lampiran).

6.2.1. Konstruksi Rangkaian Pengujian Tahanan Pentanahan

Terutama ditujukan untuk menilai integritas pentanahan. Uji ini memverifikasi seberapa rendah nilai tahanan dari hubungan antara sangkar instrumen dengan terminal-pentanahan kotak-catuan daya atau permukaan lain dan hubungan pada instrumen yang memiliki hubungan dengan sistem pentanahan (sebagai contoh: elektroda referensi pada beberapa alat monitor jantung tipe lawas). Sebagai referensi konstruksi adalah desain rangkaian Gambar 6.2. Berdasarkan desain tersebut rangkaian uji riil hasil konstruksi disajikan dalam Gambar 6.7.



Gambar 6.7 Rangkaian Pengujian Tahanan Pentanahan

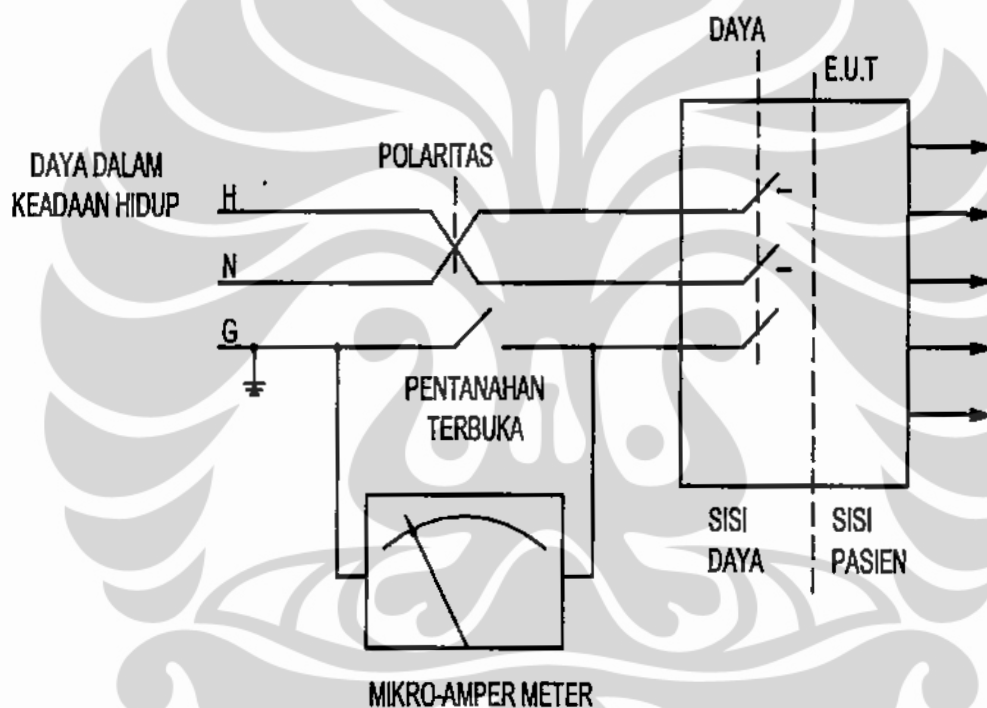
Cara kerja rangkaian.

Keperluan rangkaian uji ini, dipilih sebuah ohm meter DC tahanan-dalam rendah dengan kemampuan pembacaan resolusi tinggi pada pengujian arus tingkat rendah. Pengujian pada kondisi daya dalam keadaan mati, pengukuran tahanan pentanahan dilakukan dengan mengalirkan arus sebesar 1 A melalui kawat pentanahan dan mengukur tegangan antara pentanahan dan netral. Tahanan netral dapat dilakukan dengan cara yang sama, yaitu dengan mengalirkan arus yang sama ke kawat netral.

Nilai tahanan pentanahan dan netral harus tidak boleh lebih dari nilai $0,2 \Omega$.

Pengukuran tahanan saat daya dalam keadaan hidup (selama peralatan beroperasi) adalah mengukur tahanan terminal pentanahan dengan sangkar peralatan atau barang berbahan logam yang posisinya ekspos. Nilainya tidak boleh lebih dari $0,15 \Omega$.

6.2.2. Konstruksi Rangkaian Pengujian Arus Bocor



Gambar 6.8 Rangkaian Pengujian Arus Bocor Sangkar: Sisi Daya

Tabel 6.1
Beberapa Posisi Saklar Pembalik Saat Pengujian Arus Bocor Sangkar

POLARITAS	DAYA	PEMBACAAN
NORMAL	ON	μA
NORMAL	OFF	μA
REVERSE	OFF	μA
REVERSE	ON	μA

Cara kerja rangkaian.

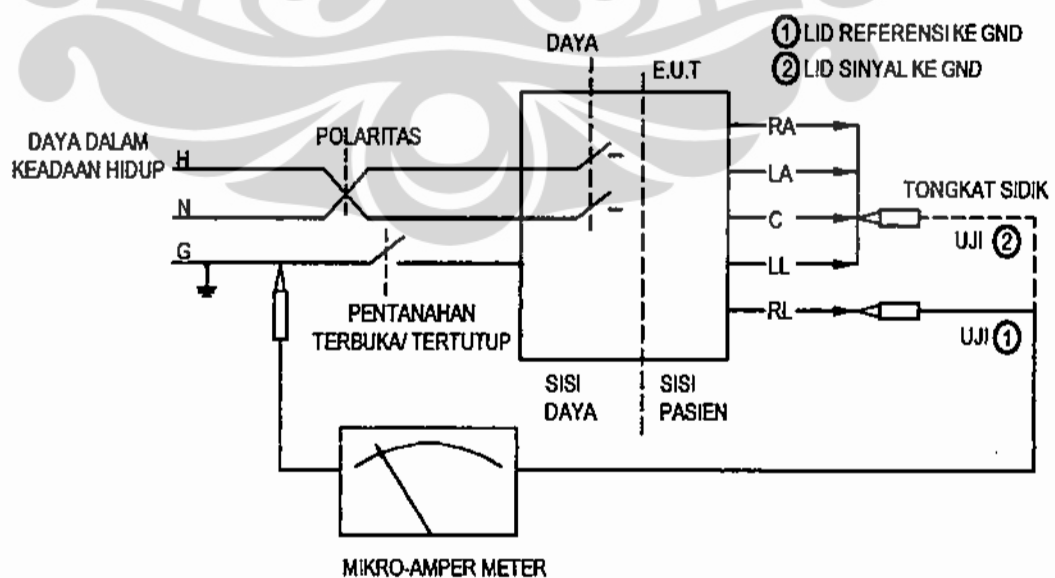
1. Pengujian Arus Bocor ke Pentanahan: Sisi Daya

Seperti terlihat dalam rangkaian uji Gambar 6.8, penghantar berisolasi kuning garis hijau terbuka di sisi daya dan pembacaan diambil pada posisi polaritas NORMAL dan REVERSE dengan saklar Daya ON dan OFF (lihat Tabel 6.1). Sebagai patokan, bocoran NORMAL dan REVERSE dapat saja agak berbeda dan keduanya terikat atas pengaturan fisik dalam peralatan dan jenis belitan unit transformator tersebut. Kalau digunakan saklar kutub-ganda, dengan saklar Daya OFF, bocoran terminal jalur peralatan juga terekam.

Pengujian pada peralatan yang terhubung dengan pasien memerlukan urutan langkah pengujian yang mencerminkan adanya antisipasi kemungkinan bahaya terhadap bagian sisi pasien dalam kasus penghantar pentanahan terbuka. Secara berkala, disarankan untuk menguji bocoran dengan Saklar Daya OFF.

2. Pengujian Arus Bocor ke Pentanahan: Sisi Pasien

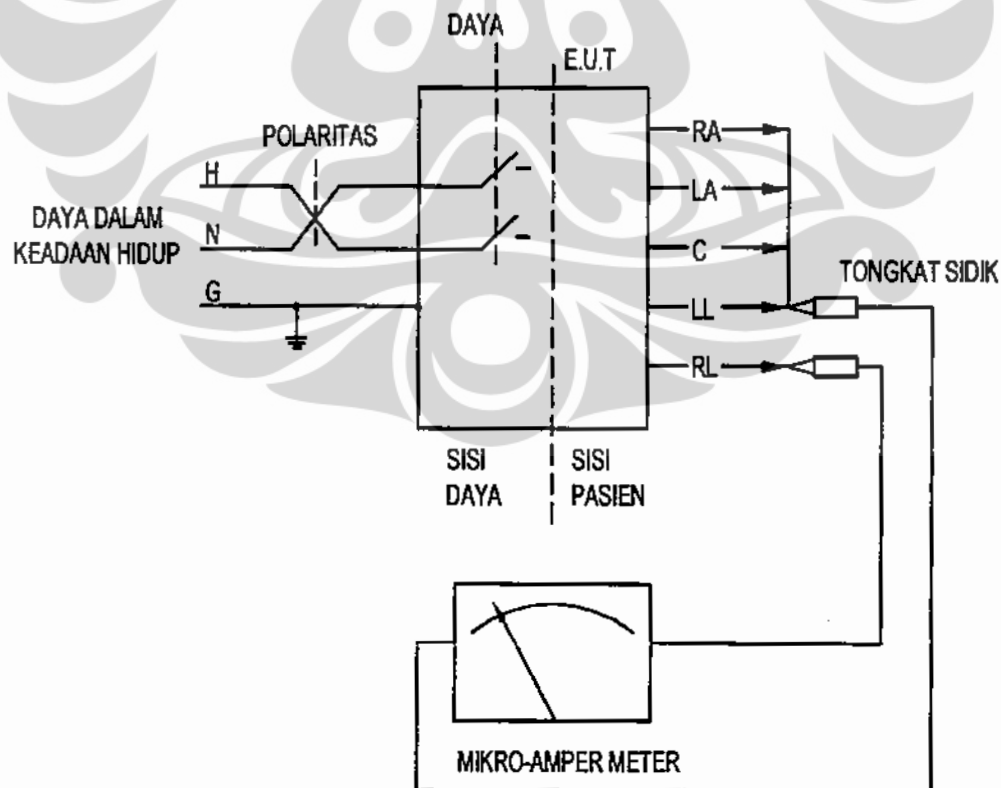
Pengujian ini mengecek adanya kombinasi jalur bocoran dari lid pasien secara individual atau terinter-koneksi ke pentanahan selama kondisi pada sisi pasien dan sisi daya berubah-ubah. Lihat Gambar 6.9.



Gambar 6.9 Rangkaian Pengujian Arus Bocor Sangkar: Sisi Pasien

3. Pengujian Arus Bocor di Atas Pentanahan: Sisi Pasien

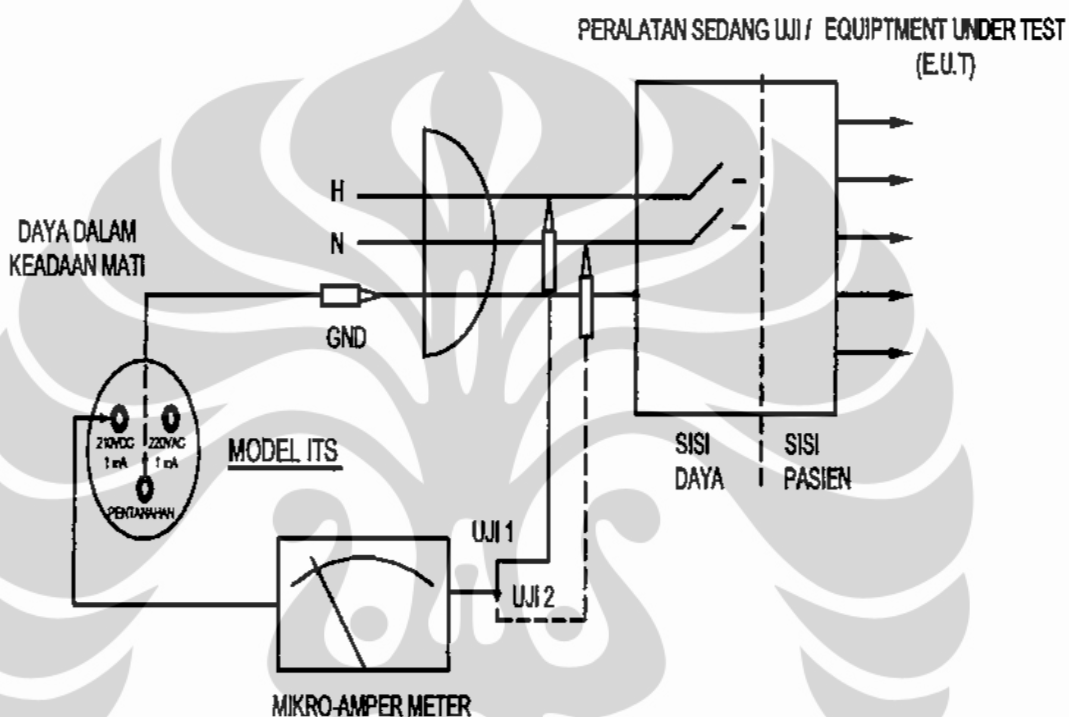
Pengujian ini untuk mengantisipasi kenyataan dua pengujian arus bocor di atas telah memenuhi syarat tetapi tetap masih ada arus bocor yang disebut arus kalang (*loop current*) yang melalui pasien sehingga hanya karena sebuah batu baterai atau transformator berisolasi saja dapat menyebabkan kejutan listrik tanpa harus terhubung dengan pentanahan. Sebagai sebuah contoh: komponen yang cacat produksi pada masukan sebuah rangkaian penguat diferensial di alat elektrokardiografi dapat menghasilkan aliran arus atas pentanahan. Untuk pengukuran arus atas pentanahan, isolasi yang baik dari pentanahan kotak-catuan daya sangat diperlukan. Alat ukur arus bocor beroperasi listrik atau baterai mungkin diperlukan. Periksa kondisi meter isolasi dari pentanahan sebelum menyelenggarakan pengujian ini. Hubungkan lid merah sisi atas ke saluran tegangan 220 VAC (tidak ada hubungan ke lid uji hitam) Untuk pembacaan meter isolasi yang baik adalah nilai di bawah $6 \mu\text{A}$ yang berkoresponden dengan $20 \text{ M}\Omega$. Lihat Gambar 6.10.



Gambar 6.10 Rangkaian Pengujian Arus Kalang: Sisi Pasien

6.2.3. Konstruksi Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian ini mengindikasikan apakah sisi daya atau sisi pasien, dan beberapa permukaan tak ditanahkan secara cukup terisolasi dari pentanahan di bawah semua kondisi.



Gambar 6.11 Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi: Sisi Daya

Cara Kerja Rangkaian.

1. Pengujian Tahanan Isolasi: Sisi Daya

Hidupkan saklar daya Peralatan Sedang Uji (*Equipment Under Test* – EUT). Kemudian, hubungkan salah satu tongkat sidik (*probe*) alat ukur (bisa berupa megaohm meter atau alat monitor sistem kelistrikan) ke terminal pentanahan kontak-tusuk kabel catuan daya, sedangkan tongkat sidik lainnya disentuh ke terminal netral, lalu kemudian ke terminal fasa. Alat ukur semacam ini mengalirkan arus dalam nilai tertentu sehingga mampu membangkitkan tegangan paling sedikit 100 VDC pada daerah bertahanan 1 M Ω dan memiliki resolusi yang baik pada rentang tahanan 200 k Ω sampai 10 M Ω . Rekam pembacaan meter dalam mega ohm atau mikro ampere. Pembacaan tahanan harus di atas 1 M Ω di

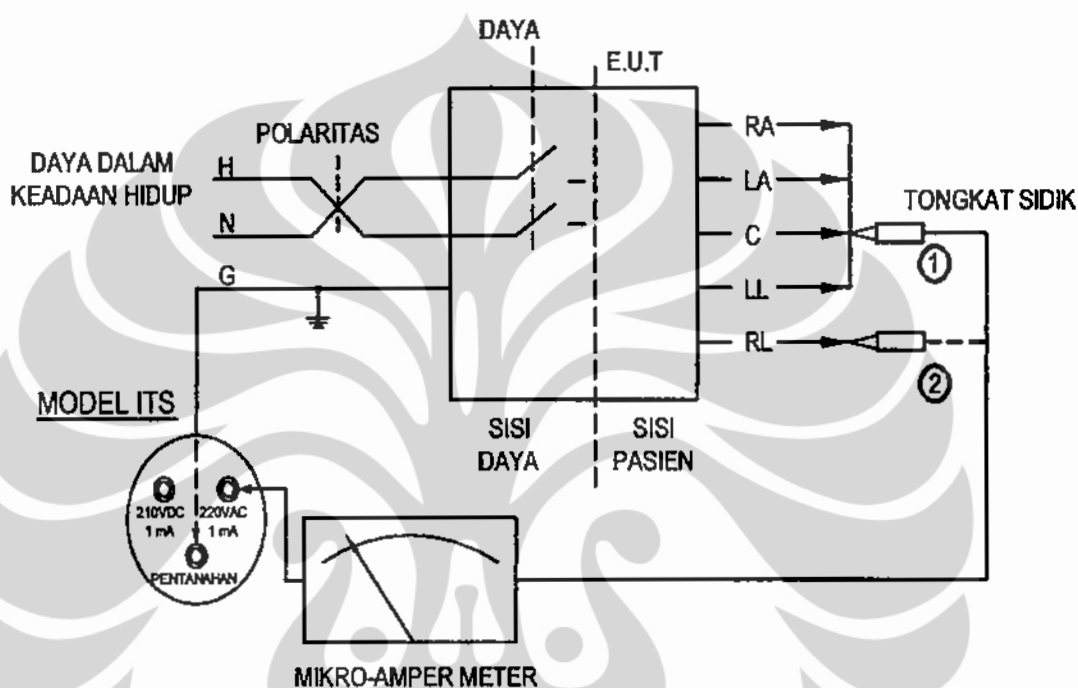
area CCU. Jika pembacaan di bawah $1\text{ M}\Omega$, pertama kali cek isolasi dari kabel jaringan setelah mematikan saklar daya di EUT dan bersihkan bagian dalamnya atau carilah komponen penyebab buruknya isolasi. Lihat Gambar 6.11 untuk persiapan pengujian. Rekam data dalam orde megaohm atau pembacaan dalam skala mikroampere yang berkorespondensi (dengan sumber 210 VDC , $1\text{ M}\Omega$ berkorespondensi dengan arus $100\ \mu\text{A}$).

2. Pengujian Tahanan Isolasi: Sisi Pasien

Istilah pengujian ini sebenarnya lebih tepat adalah Pengujian Impedansi Isolasi ke Pentanahan. Kebanyakan ranjang listrik pasien dan peralatan monitoring beroperasi-jaringan dilengkapi dengan isolasi tersendiri di bagian Sisi Pasien. Isolasi ini dapat diterapkan dengan berbagai teknik isolasi, kebanyakan menggunakan transformator daya. Transformator ini umumnya memiliki isolasi yang baik, oleh karenanya, jalur arus bocoran yang terjadi ke pentanahan kecil saja (biasanya: di bawah $10\ \mu\text{A}$). Gambar 6.12 berkoresponden dengan nilai impedansi isolasi $22\text{ M}\Omega$ (jika kita membagi dengan nilai tegangan saluran daya 220 VAC dengan arus $10\ \mu\text{A}$). Pengujian ini juga bertujuan untuk mengecek penurunan kondisi isolasi lid monitoring dan hubungan-hubungan kelistrikan lainnya pada sisi pasien sebelum menyelenggarakan pengujian arus bocor. Impedansi isolasi yang baik untuk setiap lid adalah $6\text{ M}\Omega$ untuk peralatan yang digunakan di area Pasien Sensitif. Gambar 6.12 ini juga berkoresponden dengan nilai arus bocor $20\ \mu\text{A}$ pada saluran daya yang bertegangan 220 volt . Arus bocor untuk setiap lid kemudian dijumlahkan. Total arus bocor ini harus dijaga serendah mungkin.

Hubungkan tegangan 220 volt melalui sebuah tahanan pembatas arus $100\text{ k}\Omega$ yang seri dengan ampere-meter, atau bila ada gunakan alat uji isolasi suplai daya khusus. Persiapan pengujian ditunjukkan oleh Gambar 6.12. Selama pengujian ini, Peralatan Sedang Uji EUT sudah dalam keadaan terpasok daya. Dalam persiapan pengujian, sisi fasa dari jalur mengalir melalui resistor pembatas dihubungkan ke salah satu ujung dari mikroampere meter AC, sedangkan ujung lainnya dari alat ukur ini dihubungkan ke semua lid sinyal diikat menjadi satu

rumpun. Putar saklar pemilih untuk pembacaan tertinggi dari lid sinyal ① dan lid acuan ②. Pembacaan dalam megaohm diambil dengan membagi tegangan saluran dengan pembacaan arus dalam mikroampere, sebagai contoh $2\text{ M}\Omega$ berasal dari $220\text{ volt}/120\text{ }\mu\text{A}$, dst. Rekam data ini dalam Formulir Uji.



Gambar 6.12 Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi: Sisi Pasien

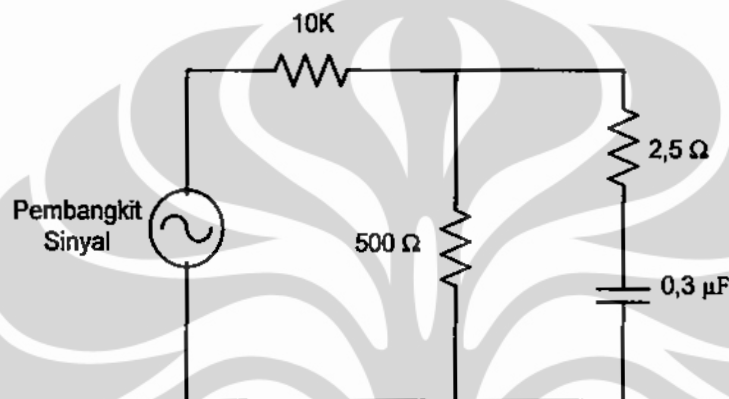
6.2.4. Konstruksi Rangkaian Pengujian Arus Frekuensi Tinggi

Energi frekuensi tinggi yang tidak diinginkan keberadaannya dapat mencetus mengalirnya arus bocorr. Arus bocor ini bisa dihasilkan oleh peralatan elektro-surgeri, perangkat diatermis, alat hiburan pasien/pengunjung seperti televisi, dan alat listrik medis moderen seperti CT Scan, MRI, yang dalam istilah kelistrikan dikenal dengan peralatan listrik berteknologi non linier.

Pengujian di sini sebenarnya lebih cenderung ke arah pengamatan. Dibuat rangkaian uji berupa pemancar sederhana dengan bantuan Pembangkit Sinyal kemudian arus yang mengalir diukur dengan ampere-meter. Beberapa pengukuran kemudian diplot dalam suatu grafik berbentuk kurva yang disebut kurva Arus Risiko. Dalam tulisan ini kurva tersebut diambilkan saja dari standar internasional AAMI. Efek frekuensi

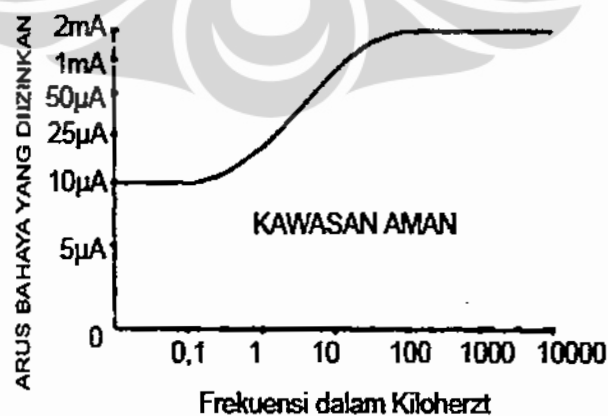
sebagai induksi elektro-magnetis bekerjanya alat listrik medis yang diperbolehkan di suatu area pelayanan pasien adalah yang berada di bawah kurva di dalam regional aman (*safe region*).

1. Rangkaian Pengujian Arus Frekuensi Tinggi Pasien Sensitif



Gambar 6.13 Rangkaian Pengujian Arus Frekuensi Tinggi Area Pelayanan Pasien Sensitif (*Sensitive Patient – SP*)

Kemudian sebagai rujukan adalah kurva Arus Berisiko dari standar yang dikeluarkan *Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI)*, ditampilkan dalam Gambar 6.14.



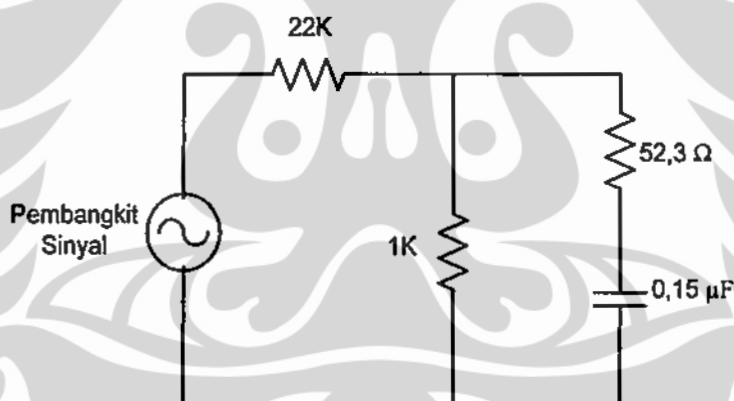
Gambar 6.14 Kurva Arus Frekuensi Tinggi yang disebut Arus Berisiko (*Risk Current*) untuk area yan kes SP

Cara Kerja Rangkaian.

Sebuah rangkaian (lihat Gambar 6.13) tapis lolos bawah dibuat untuk membantu pengujian. Nilai-nilai komponen dipilih sedemikian rupa sehingga menghasilkan keluaran arus yang akan diukur dalam rentang nilai arus seperti tercantum dalam sumbu vertikal kurva Arus Berisiko (Gambr 6.14). Rentang arus ini disebut "Arus Bahaya Yang Diizinkan" dan untuk kurva A diukur dalam orde mikro ampere.

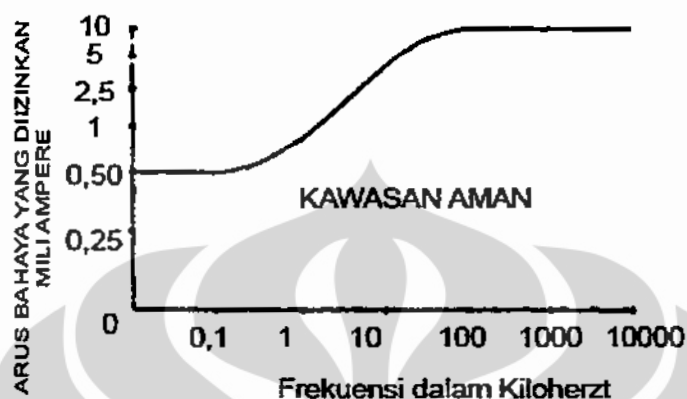
Kurva Tipe A digunakan hanya jika pasien memiliki jalur konduktif kelistrikan ke jantungnya. Kita melihat dari kurva Tipe A ini bahwa di atas 200 kHz, arus 2 mA dapat memiliki efek yang sama pada jantung manusia dengan arus sekecil 10 μA pada frekuensi 50 Hz.

2. Rangkaian Pengujian Arus Frekuensi Tinggi Pasien Umum



Gambar 6.15 Rangkaian Pengujian Arus Frekuensi Tinggi Area Pelayanan Pasien Umum (*General Patient – GP*)

Kemudian sebagai rujukan adalah kurva Arus Berisiko dari standar yang dikeluarkan *Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI)*, ditampilkan dalam Gambar 6.16.



Gambar 6.16 Kurva Arus Frekuensi Tinggi yang disebut Arus Berisiko (*Risk Current*) untuk area yankes GP

Cara Kerja Rangkaian.

Sebuah rangkaian (lihat Gambar 6.15) tapis lolos bawah dibuat untuk membantu pengujian. Nilai-nilai komponen dipilih sedemikian rupa sehingga menghasilkan keluaran arus yang akan diukur dalam rentang nilai arus seperti tercantum dalam sumbu vertikal kurva Arus Berisiko, kurva Tipe B (Gambr 6.15). Rentang arus ini disebut "Arus Bahaya Yang Diizinkan" dan untuk kurva Tipe B diukur dalam orde mili ampere.

Kurva Tipe B digunakan untuk pengecekan di area pelayanan pasien umum. Untuk penanganan pasien dengan elektroda tertanam di bawah kulit dan pelayanan elektro-surgeri, kurva Tipe B ini masih dapat digunakan. Pada kurva Tipe B ini tampak bahwa dengan frekuensi arus di atas 20 kHz, arus 10 mA memiliki efek yang sama dengan arus senilai 500 μ A yang memiliki frekuensi 50 Hz. Untuk mengukur arus berbahaya frekuensi tinggi atau untuk pengecekan okupasi keselamatan berdasarkan kurva Tipe B dari AAMI ini dapat dilakukan dengan lebih mudah bila memanfaatkan alat *Electrical Safety Meter* yang sudah banyak tersedia secara komersial.

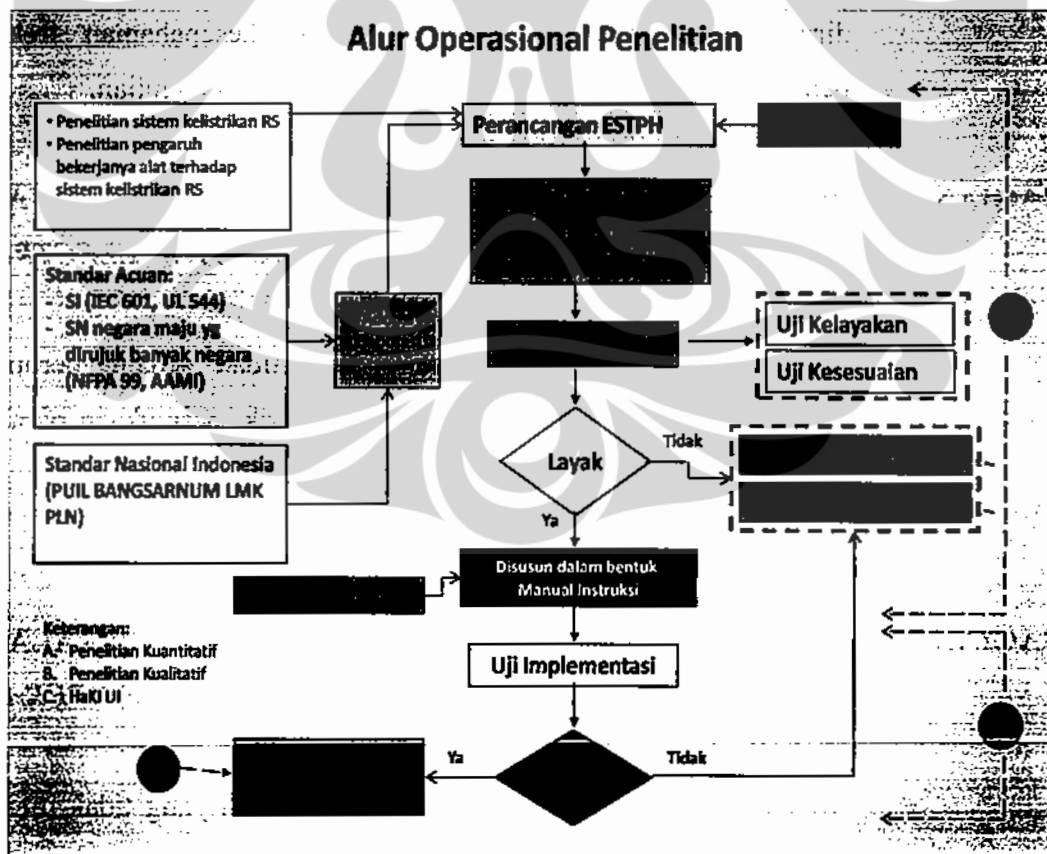
BAB 7 PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

7.1. Pembahasan Umum Hasil Penelitian

Uraian dalam bab-bab sebelumnya menunjukkan penelitian ini terdiri dari dua metode penelitian, yang dilaksanakan secara bertahap. Dimulai dari yang dilaksanakan terlebih dahulu:

- 1) **metode penelitian kuantitatif**, menghasilkan produk penelitian Manual Instruksi Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan Rumah Sakit (*manual instruction of Electrical Safety Test Procedures for Hospitals – ESTPH*),
- 2) **metode penelitian kualitatif**, berupa pengujian dan evaluasi penerapan ESTPH yang menghasilkan kualitas kinerjanya.

Pembahasan ringkas disajikan dalam bentuk atlas dalam Gambar 7.1.



Gambar 7.1 Atlas Proses Penelitian Perancangan dan Pembuatan Manual Instruksi Pengujian Keselamatan Kelistrikan RS

7.2. Pembahasan Hasil Penelitian Kuantitatif

Hasil penelitian kuantitatif adalah manual instruksi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit. Dibagi dalam 3 kelompok pengujian, yang dalam manual instruksi dituangkan dalam 3 bagian pula.

- 1) Pengujian Lingkungan Kelistrikan Tanpa Peralatan Beroperasi (*Testing the Electrical Environment – No Equipment*).
- 2) Pengujian Peralatan Beroperasi Jaringan (*Testing Line-Operated Equipment*).
- 3) Pengamatan Arus Frekuensi Tinggi.

Manual instruksi diawali dengan Pengertian Umum (*General Consideration*) dan ditutup dengan Kesimpulan dan Saran (*Conclusion and Recommendation*). Jelasnya dapat dilihat sebagai berikut.

BAGIAN 1 : PENGERTIAN UMUM (*GENERAL CONSIDERATION*)

Berisi Pengantar, Nilai Batas-Keselamatan (*Safety Limits*) yang dirujuk, pengertian beberapa istilah untuk kesepahaman, frekuensi pengujian dan penyidikan, penyidikan fisik pra pengujian.

BAGIAN 2 : PENGUJIAN LINGKUNGAN KELISTRIKAN TANPA PERALATAN BEROPERASI (*TESTING THE ELECTRICAL ENVIRONMENT – NO EQUIPMENT*)

Berisi pengujian peralatan listrik yang tidak sedang beroperasi, pengawatan, komponen utama instalasi listrik, permukaan perabotan logam, kondisi lantai, dan segala hal yang berdampak pada keselamatan kelistrikan pada saat peralatan belum beroperasi.

BAGIAN 3 : PENGUJIAN KELISTRIKAN DENGAN PERALATAN BEROPERASI-JARINGAN (*TESTING LINE-OPERATED EQUIPMENT*)

Dibagi dalam dua katagori, yaitu: (1) peralatan yang tidak memiliki hubungan langsung dengan pasien, (2) peralatan yang memiliki hubungan dengan pasien.

BAGIAN 4 : PENGAMATAN ARUS FREKUENSI TINGGI

Pengertian energi frekuensi tinggi, Kurva Arus Risiko Tipe A, Kurva Arus Risiko Tipe B, Bagian Aman (*region safe*).

BAGIAN 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Sub Bagian Kesimpulan berisi kesimpulan umum (non teknis) tentang penyelenggaraan pengujian keselamatan kelistrikan, Sub Bagian Saran berisi saran non teknis (seperti *attitude* personil pelaksana) dan saran untuk pengembangan alat.

Berdasarkan perancangan dan konstruksinya, pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit ini memiliki kelebihan antara lain.

1. Dibandingkan dengan pengujian kelistrikan yang diterapkan di fasilitas bangunan di Indonesia (yang mengacu pada standar pengujian kelistrikan sarana bangunan PUIL LMK PLN¹), boleh jadi merupakan prosedur pengujian keselamatan kelistrikan yang pertama di Indonesia yang fokus pada keselamatan kelistrikan di rumah sakit. Pengujian kelistrikan yang diterapkan para teknisi RS. sebenarnya standar pengujian kelistrikan bangunan yang bersifat umum.
2. Boleh jadi merupakan prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit yang pertama di Indonesia yang tersusun/terstruktur dalam satu manual instruksi yang penyelenggaraannya bersifat mandiri. Penyelenggaraan pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit di Indonesia pada umumnya hanya menjadi bagian dari pemeriksaan kelistrikan umum.
3. Keberadaan manual instruksi ini mengarahkan penyelenggaraan pengujian keselamatan rumah sakit secara teratur dan berkesinambungan. Penyelenggaraan yang dilaksanakan selama ini, berdasarkan pengalaman pengamatan penulis, secara insidental saja dan tidak terpola (acak). Contohnya di beberapa RS besar di Jakarta berdasarkan pengamatan penulis telah

¹ Anom, "Manual Instruksi Penyelenggaraan Pemeriksaan Kelistrikan Sarana Bangunan", PUIL No. 245, Laboratorium Masalah-masalah Kelistrikan (LMK) PLN: 2001.

memiliki prosedur pengujian khusus kelistrikan RS. Prosedur ini disadur dari prosedur pengujian kelistrikan medis yang dikeluarkan oleh institusi pendidikan American River College². Pengujian yang terdapat di dalamnya bersifat dilakukan bila terjadi permasalahan kelistrikan saja, cenderung bersifat penanganan.

4. Merupakan prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit yang telah disesuaikan dengan spesifikasi teknis dan kondisionalitas kelistrikan di Indonesia. Prosedur pengujian yang disarankan standar internasional IEC³ masih bersifat umum, pengujian standar negara Amerika Serikat seperti NFPA⁴ dan AAMI⁵, masih harus disesuaikan dengan kondisi kelistrikan negara pengadopsinya. Boleh dikatakan prosedur pengujian ini merupakan elaborasi standar kelistrikan Indonesia dengan standar-standar di atas.
5. Manual instruksi ini sedapat mungkin menghindari ketergantungan pada bantuan alat-alat instrumentasi pengukuran/pengamatan yang spesialistik, yang notabene berharga mahal dan mungkin sulit pengadaannya. Beberapa jenis pengujian yang rumit yang memerlukan alat instrumentasi khusus, dibuatkan rangkaian bantu sehingga dapat dilaksanakan dengan alat instrumentasi standar seperti ampere meter, volt meter, ohm meter. Pengujian yang disarankan pemanufaktur instrumen pengujian keselamatan kelistrikan cenderung mengedepankan pemanfaatan produk mereka.
6. Dalam tulisan penelitian ini (bukan dalam manual instruksi), yaitu pada BAB 6 Disain dan Konstruksi penulis juga mengajukan diagram rangkaian beberapa alat uji ringan (seperti *receptacle tester*) sehingga teknisi yang kreatif tidak perlu membeli alat jadi yang tersedia di pasaran.

Proses perancangan Manual Instruksi Prosedur Pengujian Keselamatan Kelistrikan (*Electrical Safety Test Procedures for Hospitals - ESTPH*), yang merupakan produk

² Anom, *Principles of Electrical Safety Testing of Medical Equipment*, Electrical Engineering Department, Americal River College: 1999.

³ Anom, IEC 601, International Electrotechnical Commission: 1989.

⁴ Anom, NFPA 99, National Fire Protection Association: 1988.

⁵ Anom, AAMI Standard for Current Limits, Association for Advancement of Medical Instrumentation: 1985.

sampel, dilakukan evaluasi terhadap manual instruksi ini secara keseluruhan dengan tiga kriteria utama yang disarankan standar internasional IEC⁶ untuk sebuah penyelenggaraan pengujian keselamatan kelistrikan dan satu kriteria tambahan dari penulis berdasarkan pertimbangan kondisionalitas di Indonesia.

1. Kriteria Utama (saran dari standar internasional IEC), terdiri dari:
 - a) kehandalan,
 - b) kelengkapan,
 - c) keluasancakupan.
2. Kriteria Tambahan (saran dari penulis), yaitu: kemampooterapan.

Tabel 7.1 adalah Tabel 5.19 yang disadur ulang untuk keperluan pembahasan data penelitian, di Bab 5 tabel tersebut diperlukan untuk analisa data. Data-data ini merupakan hasil evaluasi setelah dilakukan penerapan manual instruksi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit di sarana yankes yang dikelola para informan penelitian.

⁶ *anom*, IEC 601, *loc. cit.*

Tabel 7.1
Sadur Ulang Tabel 5.19 untuk keperluan pembahasan data

HASIL PENELITIAN KUALITATIF					
No.	Jenis Sampel Informan	Jumlah Skor Rata-Rata			
		KIP-1	KIP-2	KIP-3	KIP-4
1.	Informan Utama 1 (IU ₁)	23	21	24	24
2.	Informan Utama 2 (IU ₂)	22	23	24	24
3.	Informan Pembantu (IP)	25	25	24	24
Jumlah ΣKIP Informan Utama (IU ₁ + IU ₂)		45	44	48	48
Jumlah ΣKIP Informan Pembantu (IP)		24	25	24	24
Nilai Rata KIP Informan Utama: $NR\ KIP\ IU = \frac{\Sigma KIP\ IU}{2}$		22,5	22	24	24
Nilai Rata KIP Informan Pembantu: $NR\ KIP\ IP = \frac{\Sigma KIP\ IP}{1}$		24	25	24	24
Nilai Pembobotan	Bobot Kelompok Utama (BK _u) = $\alpha_u \times NR\ KIP\ IU$ ($\alpha_u = 0,6$)	13,5	13,2	14,4	14,4
	Bobot Kelompok Pendukung (BK _p) = $\alpha_p \times NR\ KIP\ IP$ ($\alpha_p = 0,4$)	9,6	10	9,6	9,6
Total Skor (BK _u + BK _p) :		23,1	23,2	24	24

Dengan mencocokkan dengan tabel penskoran Tabel 7.2 yang merupakan sadur ulang Tabel 3.11, maka diperoleh hasil berikut.

Tabel 7.2
Sadur Ulang Tabel 3.11 untuk keperluan pembahasan data

HASIL		
No.	Skor Bobot Total	Predikat ^{*)}
1.	20 -25	Sangat Mampu
2.	$15 \leq BT < 20$	Mampu
3.	$10 \leq BT < 15$	Cukup Mampu
4.	$5 \leq BT < 10$	Tidak Mampu

Pelaksanaan evaluasi pengujian kualitas dengan kriteria-kriteria di atas dilakukan dengan wawancara tertulis berupa kuesioner yang menghasilkan kesimpulan bahwa manual instruksi pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit ini memiliki kualitas: **sangat handal, sangat lengkap, sangat luas cakupan pengujiannya, dan mampu (dapat) diterapkan di unit yankes yang mereka kelola.**



BAB 8 KESIMPULAN DAN SARAN

8.1. Kesimpulan

1. Rancangan jenis-jenis pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit telah berhasil direalisasikan, yang perancangannya didasarkan pada spesifikasi kelistrikan di Indonesia, yaitu dengan melakukan:
 - a) penyesuaian teknik pengukuran (rangkaiian uji, *setting* awal instrumen, instrumen uji, dll) yang disarankan standar internasional maupun standar negara lain yang diacu, dengan kelistrikan Indonesia yang spesifikasi tegangan dan frekuensi kerjanya: 220 V/50 Hz,
 - b) rekomendasi nilai batas-keselamatan (*safety limits*) besaran tertentu yang belum ada (karena oleh standar internasional disarankan untuk disesuaikan dengan spesifikasi kelistrikan negara pengguna), dalam Tabel 1 Lampiran-1 nilai-nilai ini ditandai dengan tikatas bintang (*),
 - c) saran-saran teknis (didasarkan pengamatan dan pengalaman) untuk penerapannya di Indonesia.
2. Rancangan jenis-jenis pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit yang direalisasikan perancangannya juga didasarkan pada kondisi kelistrikan di Indonesia, yaitu:
 - a) umumnya memiliki kualitas daya yang rendah, kestabilan rendah, cacat harmonis tinggi sehingga tinggi kecenderungan munculnya gangguan-kelistrikan penyebab utama bahaya kelistrikan,
 - b) kondisi alat kelistrikan medis/kedokteran khususnya yang berteknologi tinggi, buatan negara eropa yang berstandar tinggi. Infiltrasi produk China di peralatan medis berteknologi tinggi belum berarti,
 - c) tidak ditemukan pengaruh negatif yang signifikan terhadap kelistrikan saat beroperasi karena secara umum berkualitas baik.
3. Peyusunan jenis-jenis pengujian dalam suatu urutan yang terstruktur, dari yang mana harus didahulukan dan mana yang kemudian, telah berhasil direalisasikan. Bentuk akhirnya adalah berupa prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit, yang dituangkan dalam bentuk manual instruksi.

4. Prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit hasil rancang-bangun ini juga mengacu pada standar kelistrikan internasional, yaitu standar *International Electrotechnical Commission (IEC) 601-1* yang diadopsi *Underwriters Laboratories (UL)*, standar *Association for Advancement of Medical Instrumentation (AAMI): ANSI/AAMI ES1-1993*, dan *National Electrical Code (NEC) – 1996: Artikel-517*, dengan penyesuaian pada disain rangkaian bantu-uji dan beberapa nilai *safety-limit* acuan, sesuai spesifikasi kelistrikan di Indonesia.
5. Pengujian kualitatif implementasi manual instruksi ini di lapangan, dilakukan di R.S. sampel, dengan tiga kriteria utama kualitas yang disarankan IEC, yaitu: handal, lengkap, luas cakupannya, dan satu standar tambahan yaitu mampu terap (sesuai dengan kondisi di negara pengguna) menghasilkan kesimpulan: sangat handal, sangat lengkap, sangat luas cakupannya dan mampu terap.
6. Berdasarkan Pasal 12 ayat (1) Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002 tentang Hak Cipta, produk penelitian ini dalam bentuk manual instruksi termasuk lingkup ciptaan yang dapat dilindungi, walaupun sebenarnya komponen-komponen penyusunnya, seperti:
 - a) rangkaian uji, tidak sepenuhnya baru tetapi hasil *reengineering* saja,
 - b) nilai-nilai acuan bukan hasil penelitian penulis, tetapi penulis hanya melakukan adopsi dan penyesuaian dengan kondisi di Indonesia.

8.2. Saran

1. Prosedur pengujian keselamatan kelistrikan yang dihasilkan penelitian ini masih memerlukan pengembangan lebih lanjut, tidak hanya berupa adaptasi standar internasional dan/atau standar negara maju dengan spesifikasi kelistrikan di Indonesia, tetapi harus didasarkan penelitian yang lebih mendalam terhadap sistem kelistrikan di Indonesia.
2. Prosedur pengujian keselamatan kelistrikan yang dihasilkan penelitian ini belum secara berarti mengantisipasi salah satu besaran kelistrikan penyebab bahaya kelistrikan, yaitu: efek arus frekuensi tinggi. Pemanfaatan alat listrik medis/kedokteran berteknologi non linier dalam diagnosa medis dan teknik pembedahan moderen saat ini dan di masa depan berdasarkan penelitian sangat

berdampak pada kualitas daya, yang pada ujung-ujungnya dapat menimbulkan permasalahan seperti kesalahan pembacaan alat-alat diagnosa lain yang terhubung ke saluran daya yang sama, atau bahkan mencetus terjadinya arus bocor akibat arus frekuensi tinggi.

3. Keteraturan urutan langkah pengujian dalam manual instruksi pengujian keselamatan kelistrikan ini masih memerlukan penelitian di lapangan, begitu pula saran-saran frekuensi penyelenggaraannya, yang kesemuanya masih berdasarkan asumsi teoritis. Idealisasi praktisnya penulis serahkan pada para *clinical engineer* sarana yankes pengguna.
4. Standar internasional atau standar negara maju (yang dirujuk banyak negara) sebenarnya tidak dapat dijadikan acuan sepenuhnya (seperti yang diakui oleh standar itu sendiri, yaitu: memerlukan adaptasi dengan kondisi di negara pengguna) tetapi standar nasional yang merupakan elaborasi dengan standar internasional adalah yang paling baik. Penelitian lebih lanjut dapat menghasilkan Standar Nasional Indonesia tentang Listrik Medis, yang pengelolaannya melalui Depkes.
5. Diperlukan peningkatan kuantitas dan kualitas SDM di bidang kelistrikan medis, mulai tingkat ahli madya sampai sarjana, di unit-unit yankes di Indonesia. Hal inilah yang dirasakan penulis sebagai penyebab utama sulitnya penerapan program keselamatan kelistrikan RS di Indonesia, terutama di daerah.
6. Penelitian kualitatif yang menghasilkan kesimpulan seperti termaktub pada Butir 5 Kesimpulan, masih memerlukan penelitian lebih lanjut dengan melibatkan lebih banyak dan lebih variatif unit yankes yang dilibatkan.
7. Berdasarkan pertimbangan kesimpulan butir 6 maka penulis menyerahkan sepenuhnya perihal hak cipta ini kepada HaKI UI.

DAFTAR REFERENSI

- American National Standard: Safe Current Limits for Electromedical Apparatus* (ANSI/AAMI ESI-1993) Arlington, VA: Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI), 1993.
- Anonim, *AAMI Electrical Safety Manual*, Arlington, VA: Association for the Advancement of Medical Instrumentation, 1996.
- Anonim, "Patient Safety analyzers", Application Note AN 718. Waltham, MA: Hewlett-Packard Co., 1971.
- Anonim, IEC Std. 60601, 2008. Electrical safety testing for medical equipment. <http://www.ruggedpreview.com/3_definitions_60601.html>
- Anonim, IEC Std., 60364-7-710, 2002. Electrical Installations of Buildings-requirements for special installations or locations-Medical locations. <http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60364-7-710%7Bed1.0%7Db.pdf>
- Anonim, IEC Std., 61000-3-2, 2005. Harmonic limits for equipment with input currents ≤ 16 A per phase. <http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-3-2%7Bed3.0%7Den_d.pdf>
- Bukstein, J.E., *An Electrical Safety*, Indiana: Howard W. Sams & Co., Inc, Indianapolis, 2003.
- Dalziel, C.F., "Electric Shock", in J.H.U. Brown and J. F. Dickson III (ed.), *Advances in Biomedical Engineering*, New York: McGraw Hill, 1973.
- Hoevenaars, T. *et al.*, 2003. Interpreting IEEE Std 519 and meeting its harmonic limits in VFD applications. <<http://www.mirusinternational.com/downloads/PCI/C-2003-15.%20Interpreting%20IEEEStd519.pdf>>
- Kumar, Sanjaya, *Survive in The US Health System*, New York: IGI Publishing, 2007.
- Wijaya, S.K., "Pengantar Bioelektrik", makalah disampaikan pada Kuliah MK Bioelektrik, Termin 1, Program Studi Teknologi Biomedis, September 2008.
- Roy, O.Z., J.R. Scott, and G.C., Park, "60 Hz ventricular fibrillation and pump failure thresholds versus electrode area", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 1976.
- Sabarguna, B.S., *Analisis Data Pada Penelitian Kualitatif*, Jakarta UIP, 2008.
- Sabarguna, B.S., dan Soerawidjaja, R.A., *Atlas Tentang Metodologi + Manajemen Penelitian*, Jakarta: UIP, 2007.

Booklet
MANUAL INSTRUKSI
PROSEDUR PENGUJIAN KESELAMATAN KELISTRIKAN RUMAH SAKIT
(ELECTRICAL SAFETY TEST PROCEDURES FOR HOSPITALS - ESTPH®)



PROGRAM STUDI TEKNOLOGI BIOMEDIS
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS INDONESIA
2010

BAGIAN 1 PENGERTIAN UMUM (GENERAL CONSIDERATION)

A. Pengantar

Manual ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi kegiatan penyidikan (inspeksi), pengujian, dan survai keselamatan kelistrikan di fasilitas layanan kesehatan. Prosedurnya meliputi keterangan untuk pengujian lingkungan kelistrikan dan peralatan listrik yang beroperasi di dalamnya. Rekomendasi nilai-batas aman tegangan, arus, dan tahanan didasarkan pada standar yang dijadikan acuan, yaitu: *National Electrical Code (NEC)*, tahun 1971, publikasi *National Fire Protection Association (NFPA)*, dan *Association For Advancement of Medical Instrumentation (AAMI)*. Untuk pengujian yang tidak ada nilai-batasnya, disarankan oleh penulis sendiri berdasarkan uji kesesuaian dan ditandai dengan lambang asteriks (*). Nilai-ambang yang masih memerlukan penelitian lebih mendalam ditandai dengan nilai-nilai kode yang diset lebih rendah dari yang dibutuhkan, dan dalam banyak kasus, nilai-nilai maksimumnya ditampilkan untuk sekedar menjadi garis pedoman menentukan nilai-ambang keselamatan yang akan dipertimbangkan. Merupakan pertimbangan praktis yang baik, seandainya dimungkinkan, untuk menjaga nilai yang diperkenankan tersebut tetap dalam toleransi 10% dari nilai-ambang keselamatan yang diberikan. Tabel 1 memperlihatkan semua nilai-ambang batas keselamatan untuk semua besaran kelistrikan yang berhubungan langsung dengan keselamatan kelistrikan rumah sakit.

B. Nilai-ambang Keselamatan Untuk Arus (*Safe Current Limits*)

Dari semua parameter besaran listrik yang berdampak negatif pada tubuh manusia adalah arus. Terdapat dua nilai-ambang keselamatan yang umum dimunculkan. Pertama, adalah nilai-ambang arus terendah dan ditujukan bagi pasien yang sedang dalam penanganan medis dengan jalur kelistrikan langsung berhubungan ke jantungnya. Pasien semacam ini disebut *Electrical Sensitive Patient (ESP)* atau disingkat *Sensitive Patient (SP)* saja. Nilai-ambang keselamatannya dalam selang 10 sampai 20 mikroampere. Nilai-ambang arus terendah ini menjadi acuan bagi alat yang

berhubungan langsung dengan otot jantung atau suatu alat yang tidak ditujukan ke area ini, tetapi karena suatu kecelakaan dapat membentuk jalur kelistrikan yang dapat mengalirkan arus dari sumber lain ke jalur konduktif listrik yang berhubungan ke jantung. Kedua, adalah nilai-ambang arus tertinggi. Nilai-ambang keselamatan ini ditujukan bagi pasien, pengunjung, staf yang tidak memiliki hubungan kelistrikan di tubuhnya. Nilai-ambang arusnya adalah dalam selang 500 mikroampere. Di antara kedua selang nilai-ambang keselamatan di atas ditambahkan satu selang pertengahan yang dibutuhkan bagi keperluan keselamatan kelistrikan pasien dengan kondisi di antara kedua selang tersebut, yaitu pasien dalam penanganan medis dengan hubungan kelistrikan di tubuhnya secara tidak tetap (semi permanen), atau hubungan kelistrikan tersebut tidak terhubung langsung ke jantung tetapi misalnya hanya di bawah kulit. Nilainya adalah dalam selang 100 mikroampere. Limit ketiga ini diperuntukkan bagi pasien yang memiliki toleransi fisik yang rendah, dan nilai-ambang rasa pada beberapa orang yang sensitif di beberapa bagian dari tubuhnya mungkin lebih rendah dari 100 mikroampere pada frekuensi 50 hertz.

- 1) Pasien Sensitif (*Sensitive Patient*)₁₀ (SP₁₀), nilai-ambang keselamatan: 10 mikroampere – Risiko III,
- 2) Pasien Umum (*General Patient*)₁₀₀ (GP₁₀₀), nilai-ambang keselamatan: 100 mikroampere – Risiko II,
- 3) Pasien Umum (*General Patient*)₅₀₀ (GP₅₀₀), dan Staf Umum (*General Staff*)₅₀₀ (GS₅₀₀), nilai-ambang keselamatan: 500 mikroampere – Risiko I.

Singkatan dengan tikalas seperti yang digunakan di atas hanya untuk mempermudah saja dalam mengenali jenis pasien atau staf berkaitan dengan nilai arus yang diperkenankan, jadi bukan merupakan terminologi baku.

Parameter penting lainnya adalah nilai tahanan tubuh manusia. Tahanan tubuh manusia adalah dalam jangkah 500 sampai 1.000 ohm yang dihasilkan oleh suatu pengukuran dengan kondisi terburuk, dan tergantung pula dari jenis arus, DC atau AC. Memperoleh salah satu nilai tahanan masukan ini adalah penting dalam melaksanakan pengukuran arus-bocor (*leakage current*) yang benar. Dari sudut pandang keteknikan, adalah wajar untuk merekam pembacaan dalam besaran **tegangan** ketika tahanan

sumber yang diukur ternyata kurang dari nilai 1.000 ohm (sebagai contoh: mengukur

Tabel 1
PEDOMAN BATAS KESELAMATAN TEGANGAN – ARUS – TAHANAN UNTUK
FASILITAS PELAYANAN KESEHATAN, PASIEN DAN STAF

Nilai Maksimum Untuk Kondisi Operasi Normal (asumsi: tidak ada gangguan tanah dan gangguan lainnya) Nilai arus adalah untuk 50 hertz. Toleransi $\pm 10\%$	Pasien Sensitif (Sensitive Patient) SP ₁₀	Pasien Umum (General Patient) GP ₁₀₀	Pasien Umum (General Patient) GP ₅₀₀ Staf Umum (General Staff) GS ₅₀₀
Tahanan/impedansi masukan simulasi tahanan badan	500 Ω atau 1000 Ω	500 Ω atau 1000 Ω	500 Ω atau 1000 Ω
Arus bocor atau arus bahaya maksimum	10 μA	100 μA	500 μA
Tegangan bahaya maksimum	10 mA	100 mA	500 mA
Tahanan pentanahan antara pentanahan kotak-catuan daya	0,05 Ω	0,1 Ω	0,1 Ω
Impedansi pentanahan kotak-catuan daya ke titik cabang utama jaringan daya (untuk jalur beban 20 ampere)	0,2 Ω^*	0,2 Ω^*	0,2 Ω^*
Tahanan pentanahan peralatan, sangkar peralatan ke tusukan pentanahan kontak-tusuk catuan daya.	0,1 Ω	0,5 Ω^*	0,5 Ω^*
Tahanan pentanahan perabotan berbahan logam.	1 Ω^*	5 Ω^*	5 Ω^*
Arus bocor peralatan. Penghantar kuning garis hijau ke pentanahan	100 μA	100 μA	500 μA
Arus bocor dari sangkar peralatan, atau dari hubungan dengan pasien: - Sisi pasien ke tanah - Sisi pasien di atas tanah	10 μA	50 μA	Tidak dapat dipakai
Tahanan isolasi Sisi daya (Uji 100 volt DC) Fasa ke tanah; Netral ke tanah	Di atas 1 M Ω (100 μA)	Di atas 1 M Ω (100 μA)	Di atas 0,1 M Ω (200 μA)
Impedansi isolasi ke tanah Sisi Pasien (Uji 220 volt AC) Elektroda atau hubungan lain	Di atas 6 M Ω atau di bawah 20 μA .	Di atas 1,2 M Ω atau di bawah 100 μA .	Tidak dapat dipakai
RUANG OPERASI Batas Konduktifitas	<ul style="list-style-type: none"> - Minimum Lantai : minimum di atas 10 kΩ - rata-rata di atas 25 kΩ. - Maksimum Lantai : maksimum di bawah 5 MΩ - rata-rata di bawah 1 MΩ. - Sepatu Konduktif : maksimum 500 kΩ. - Perabotan dan rodanya : di bawah 250 kΩ. - Lembaran, pipa konduktif : di bawah 1 MΩ 		
Keterangan ^{*)} : Rekomendasi nilai batas ini dianjurkan penulis berdasarkan penelitian lapangan			

perbedaan tegangan sepanjang bus pentanahan) dan arus-bocor dalam semua kasus lainnya (semacam sumber bocor impedansi tinggi). Batas tegangan aman adalah sama dengan yang telah diterangkan di atas setara dengan batas arus aman, kecuali indeks tikalas menunjukkan nilai tegangan dalam milivolt bukan nilai arus dalam mikroampere.

C. Pentanahan

Langkah pertama untuk mengetahui keselamatan kelistrikan adalah pengecekan secara sistematis pada lingkungan kelistrikan pasien. Pengawatan yang baik dari sistem tenaga listrik dan pentanahan peralatan adalah persyaratan yang paling mendasar, sekalipun sistem tenaga yang menyuplai daya telah tertanahkan atau terisolasi dengan baik. Pertanyaannya adalah: Apakah arti sebenarnya dari pentanahan? Pentanahan adalah pembentuk hubungan kelistrikan ke suatu titik acuan tertentu, yang akhirnya terhubung ke rangka bangunan atau ke bumi untuk keperluan membuang arus-arus yang tidak diinginkan. Lebih mudahnya kita dapat membayangkan pentanahan adalah seperti jalan tol (karena memiliki tahanan yang relatif rendah) bagi meluncurnya arus bocor dan arus gangguan. Pentanahan membentuk lingkungan kelistrikan yang ekipotensial (yang artinya tidak terdapat perbedaan tegangan di titik-titik kontak dengan manusia).

Berikut adalah klasifikasi dari beberapa tipe pentanahan:

1. Pentanahan Pasien

Pentanahan Pasien adalah bagian dari cabang rangkaian listrik yang melayani area pasien. Pentanahan pasien adalah titik tunggal yang membumikan semua peralatan listrik dan obyek-obyek berbahan logam yang berada dalam jangkauan pasien. Nilai batas yang direkomendasikan untuk tahanan pentanahan peralatan listrik adalah 0,1 ohm untuk area pelayanan pasien sensitif listrik (SP) dan 0,5 ohm untuk area pelayanan pasien umum. Tahanan pentanahan antara kotak-catuan daya tunggal untuk pelayanan pasien di area CCU adalah dijaga pada rentang nilai 50 miliohm (0,05 ohm).

2. Pentanahan Ruangan

Berupa bus (catuan pusat) pentanahan (biasanya berupa kabel ketiga yang

berwarna kuning garis hijau di pipa pelindung saluran). Di sinilah semua Pentanahan Pasien tunggal dan pentanahan kotak-catuan daya terhubung. Semua permukaan logam harus pula dihubungkan ke sini bila barang-barang ini belum terhubung ke Pentanahan Pasien.

3. **Pentanahan Acuan dan Pentanahan Bangunan**

Pentanahan Ruangan tunggal terhubung ke titik pentanahan acuan yang biasanya terdapat di kotak panel, yang pada akhirnya terhubung ke struktur baja bangunan yang menghubungkannya ke pentanahan bangunan. Pentanahan bangunan biasanya terhubung ke suatu jaring -pentanahan (*grounding mesh*) berupa anyaman konduktor tembaga dengan ujung-ujungnya terhubung ke elektroda pentanahan batang tembaga pejal yang dipendam pada kedalaman tertentu di bawah fondasi bangunan. *Grounding mesh* ini merupakan teknik pentanahan yang sering digunakan untuk sistem pentanahan utama (*main grounding system*) sebuah obyek bangunan yang besar. Untuk obyek bangunan yang relatif sederhana biasanya memanfaatkan jaringan pemipaan air bangunan. Permukaan pipa yang terbuat dari logam dan terpasang di dalam tanah cukup membantu membuang berbagai surja, petir atau arus gangguan ke bumi.

4. **Pentanahan Logam-mati (*Dead Metal*) – Permukaan Non Konduktif**

Merupakan hal yang disarankan meminimalkan jumlah permukaan logam yang sangat ekspos di area pasien. Semua permukaan logam harus tertanahkan bila berada dalam posisi yang mudah terjangkau pasien atau staf. Banyak permukaan logam terbuat dari bahan logam berkonduktifitas buruk, sehingga tidak memungkinkan memiliki tahanan pentanahan di bawah 0,1 ohm terhadap pentanahan acuan. Dalam kasus seperti ini, hal yang mendasar adalah membuat hubungan sebaik mungkin sehingga diperoleh nilai yang tidak melampaui nilai 0,1 sampai 1 ohm antara permukaan logam tersebut dengan titik pentanahan acuan.

5. **Pentanahan Lebih (*Redundant Ground*) – Bus Penyama Pentanahan**

Konduktor pentanahan kedua yang dipasang sejajar dengan kabel utama disebut Pentanahan Lebih. Fungsinya membantu meningkatkan kehandalan pentanahan dan untuk mereduksi perbedaan potensial antara dua titik dalam

sistem pentanahan. Sebagai contoh: a) konduktor paralel antara sangkar peralatan listrik dengan kotak-catuan daya; dan b) hubungan kelistrikan tambahan antara dua pentanahan kotak-catuan daya. Hubungan konduktor pentanahan yang berbeban berat antara semua kotak-catuan daya di suatu area pelayanan pasien atau di semua pentanahan ruangan harus diacu ke suatu papan (bus) penyama pentanahan (*Equalizer Ground Bus*). Alat yang berfungsi memantapkan titik pentanahan tambahan dalam bentuk modul yang kompak di pasaran telah banyak beredar dan disebut *Groundlets*, misalnya: *Instrutek Receptacle Ground Outlets, Model G-3; Triplex Ground Outlet, Model TGR*.

D. Frekuensi Penyidikan

Belum ada aturan main yang mantap bagi seberapa sering pengujian keselamatan kelistrikan di lakukan. Masing-masing rumah sakit sebaiknya mempersiapkan saja rencana kerja (skedul) pengujian. Rencana kerja ini dalam rangka memperoleh data-data berbagai variabel kondisi kelistrikan, seperti: kondisi peralatan listrik dan pengkabelan, usia komponen kotak-catuan daya, kekerapan penggunaan peralatan, kondisi tempat dan fasilitas pasien. Untuk kondisi normal, secara umum dapat kita sepakati hal-hal berikut ini.

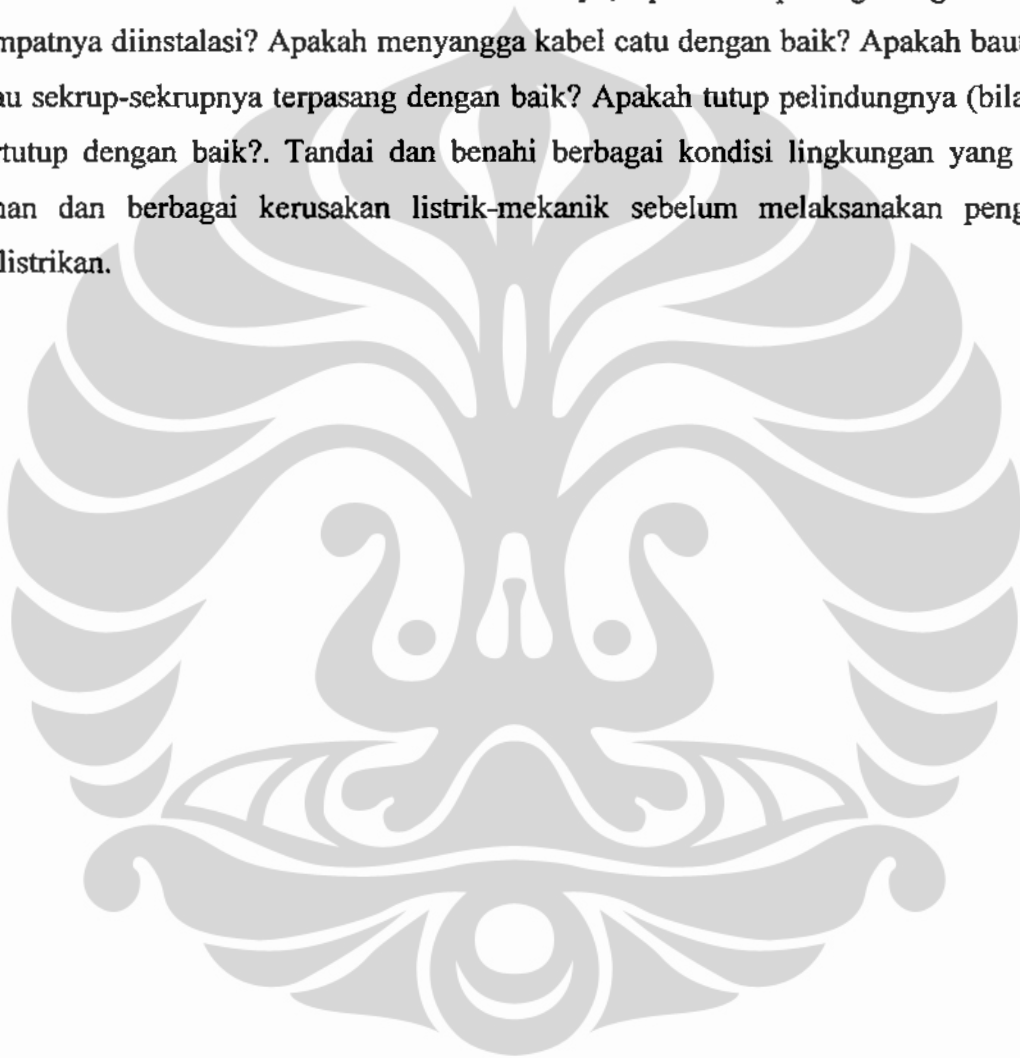
- 1) Frekuensi pengujian **sekali seminggu** atau **sebulan** tampaknya cukup untuk area pelayanan pasien sensitif listrik (*an Electrically Sensitive Patient – ESP* atau disingkat *Sensitive Patient - SP*).
- 2) Frekuensi pengujian **sekali** atau **dua kali dalam setahun** untuk area pelayanan pasien umum (*General Patient – GP*) dan area kerja staf. Untuk beberapa area yang berisiko tinggi, pengujian antisipatif arus bahaya sebelum peralatan yang beroperasi dengan listrik digunakan pada pasien bukanlah hal yang tidak masuk akal.

E. Penyidikan Fisik

Merupakan hal yang penting pula untuk melakukan penyidikan fisik sebelum melaksanakan sebuah acara pengujian kelistrikan. Penyidikan secara visual dapat mendeteksi adanya kondisi yang tidak aman, semacam pecahnya isolasi kabel, isolasi kabel daya yang meleleh atau kering tidak wajar, plat-plat penutup yang rusak,

(lanjutan)

tumpahan cairan dekat peralatan listrik, indikator lampu panel yang menunjukkan ketidakberesan, dll. Penyidikan fisik berarti pengerahan sedikit perhatian dan tenaga pada pengamatan pengawatan alat dan hubungan-hubungan kelistrikannya dalam rangka verifikasi kewajaran kondisi listrik-mekaniknya, sebagai contoh: mengecek kondisi mekanis saklar dan kotak-catuan daya, apakah terpasang dengan kuat di tempatnya diinstalasi? Apakah menyangga kabel catu dengan baik? Apakah baut-baut atau sekrup-sekrupnya terpasang dengan baik? Apakah tutup pelindungnya (bila ada) tertutup dengan baik?. Tandai dan benahi berbagai kondisi lingkungan yang tidak aman dan berbagai kerusakan listrik-mekanik sebelum melaksanakan pengujian kelistrikan.



BAGIAN 2
PENGUJIAN LINGKUNGAN KELISTRIKAN – TANPA PERALATAN
(TESTING THE ELECTRICAL ENVIRONMENT – NO EQUIPMENT)

A. Kerangka Kerja Pengujian dan Catatan

Bagian 2 ini merupakan pengelompokan pengujian yang berkaitan dengan peralatan listrik, pengkabelan, kotak-catuan daya, permukaan logam, kondisi lantai, dan apa pun yang berhubungan dengan keselamatan kelistrikan. Pengujian peralatan yang terhubung dengan saluran daya akan dijelaskan di Bagian 3. Prosedur pengujian disusun sedemikian rupa untuk kenyamanan pengujian dan perekaman data hasil uji dalam bentuk empat jenis formulir seperti tersebut di bawah ini.

- 1) Pengujian Perbedaan Tegangan (*Voltage Differential*) dan Tahanan Pentanahan (*Grounding Resistance*) – F-32.
- 2) Pengujian Kotak-catuan daya *bergrounding* (*Duplex Receptacles*) – Uji Mekanik dan Pengawatan – F-42.
- 3) Pengujian Konduktifitas dan Lingkungan Mudah Terbakar – F-52.
- 4) Pengujian Sistem Daya Terisolasi – F62.

Butir-butir di bawah ini berhubungan dengan pengujian keselamatan kelistrikan.

- 1) Pengujian dan perekaman data dilakukan sesegera mungkin setelah pengujian selesai. Bilamana dimungkinkan secara praktek, lakukan prosesnya di seluruh ruang dalam urutan searah jarum jam dengan kegiatan utama sebagai pangkalnya. Hal ini membantu dalam proses penomoran dan penentuan lokasi butir-butir yang memerlukan perbaikan dan juga mendorong terbentuknya suatu pola yang konsisten bagi para teknisi pelaksana pengujian.
- 2) Pelabelan dan pengenalan butir-butir yang mengalami kerusakan. Tanggal perekaman, lokasi, perusahaan pembuat, nomor seri, model, tanggal perbaikan dan penggantian obyek yang mengalami kerusakan tersebut.
- 3) Saat melakukan pengujian, merupakan tindakan yang baik untuk memeriksa bahwa tidak ada arus yang mengalir sebelum melakukan pengukuran tahanan.
- 4) Pengujian tahanan dan impedansi pentanahan memerlukan penyuntikan arus AC dan DC. Lakukan dengan kehati-hatian penuh saat melakukan pengujian di

area pasien.

- 5) Hindari bahaya kejutan listrik. Gunakan sepatu kerja yang terisolasi, baik saat menguji peralatan listrik pada permukaan konduktif atau lantai keramik di mana percikan cairan mungkin terdapat.

B. Perbedaan Tegangan dan Tahanan Pentanahan

Isikan seluruh kondisi kelistrikan ke dalam Formulir Uji seperti contoh Gambar 1. Sketsa Ruangan, selanjutnya pilih titik acuan tempat di mana pengukuran utama dilakukan. Disarankan untuk titik acuan ini adalah kotak-catuan daya berterminal pentanahan yang paling sering digunakan. Berdasarkan titik acuan ini, semua titik dalam Kolom 2 secara alfabetis dilakukan pengujian.

1. Pengujian Tegangan Tanah (Formulir Uji F-32, Kolom 3)

Perbedaan tegangan antara pentanahan kotak catuan-daya dan permukaan logam bisa jadi menyebabkan timbulnya arus bocor yang mengalir kembali melalui kawat pentanahan atau melalui suatu jalur bocor yang terbentuk akibat kurang baiknya pentanahan obyek logam tersebut diukur terhadap pentanahan acuan. (Tegangan pentanahan dapat direduksi dengan memasang kawat pentanahan tambahan atau meniadakan sumber-sumber kebocoran atau gangguan yang menyebabkan perbedaan tegangan).

Instrumentasi Yang Disarankan:

- Monitor Bocoran-Jalur – Tegangan-Pentanahan (*Line Leakage-Ground Voltage Monitor*), lengkap dengan *Adaptor Resistor*.
- Monitor Sistem Kelistrikan Jinjing (*Portable Electrical Systems Monitor*).
- Khusus pengujian bagi GP₅₀₀ dan GS₅₀₀ dapat cukup menggunakan *Tester Keselamatan Kelistrikan (Electric Safety Meter)*.

Prosedur Pengujian

Hubungkan salah satu penyidik (*probe*) dari instrumen uji ke titik pentanahan acuan (biasanya, terminal pentanahan kotak catuan-daya yang terdekat dengan pasien) dan ujung penyidik yang lainnya ke permukaan metal yang ekspos di

ruangan, misalnya: pipa-pipa saluran dari besi, mulut-keluaran (*outlet*) pipa saluran tertanam di dinding (*inbow*), tutup-tutup kotak catuan-daya yang terbuat dari logam, radiator-radiator, kisi-kisi pendingin ruangan, rangka (kusen) jendela atau pintu dari logam, mulut saluran pipa gas-hisap dan oksigen, keran air, fitting lampu, dll., yang merupakan benda-benda logam yang mudah terjangkau pasien atau melalui orang lain sehingga mudah bersentuhan dengan pasien. Juga lakukan pengecekan semua pentanahan kotak catuan-daya terhadap perbedaan tegangan berdasarkan titik acuan. Rekam semua data dalam Kolom 3 Formulir Uji F-32.

Jika perbedaan tegangan teramati, pentanahkan obyek logam tersebut sebelum melakukan langkah uji selanjutnya. Jika proses pentanahan agak sulit dilakukan, pentanahkan saja obyek logam bermasalah yang permukaannya paling mudah/ secara tidak sengaja (misalnya karena kecelakaan) kontak dengan pasien. Kawat yang digunakan untuk proses ini berukuran 2,5 s.d. 4 mm² tipe serabut (dengan anggapan tidak ada arus bocor yang berarti yang mengalir) dan nilai tahanan pentanahan di terminal pentanahan yang dicatu 0,1 s.d. 1 ohm di area CCU.

Nilai Batas-Aman Perbedaan Tegangan

- 1) Pasien Sensitif (*Sensitive Patient*)₁₀, (SP₁₀), nilai-ambang keselamatan: 10 milivolt,
- 2) Pasien Umum (*General Patient*)₁₀₀, (GP₁₀₀), nilai-ambang keselamatan: 100 milivolt,
- 3) Pasien Umum (*General Patient*)₅₀₀, (GP₅₀₀), nilai-ambang keselamatan: 500 milivolt (0,5 volt),
- 4) Staf Umum (*General Staff*)₅₀₀, (GS₅₀₀), nilai-ambang keselamatan: 500 milivolt (0,5 volt).

Semua perbedaan tegangan yang terjadi sebaiknya di bawah nilai-ambang keselamatan maksimum berdasarkan acuan terhadap titik pentanahan pasien dan pentanahan utama. Contoh data pengujian tegangan menunjukkan perbedaan tegangan pada kotak catuan-daya E, F, dan J terhadap titik acuan kotak catuan-

(lanjutan)

daya A. Cek dan rapihkan pengkawatan pentanahan sebelum melakukan pengukuran tahanan pentanahan.

2. Pengujian Tahanan – Pengujian Arus 10 miliampere atau di bawahnya (Formulir Uji F-32, Kolom 4)

Jika tidak terjadi perbedaan tegangan, cek tahanan pentanahan. Sentuh obyek yang sama seperti yang dilakukan pada Bagian 2 Sub Bagian B.1. di atas. Rekam pembacaan pada Kolom 4 Formulir Uji F-32.

Instrumentasi Yang Disarankan:

- Sama dengan Bagian 2 Sub Bagian B.1. di atas.

3. Pengujian Kualitas Pengawatan Tanah ke Tanah Kotak Catuan-daya

Pengujian ini direkomendasikan bagi pengecekan di instalasi CCU dan ICU yang baru dibangun dan pengecekan kualitas hubungan pentanahan di setiap area pasien. Pengujian ini diadaptasi dari *National Electrical Code (NEC)*, Seksi 517, untuk fasilitas pelayanan kesehatan. Berupa mengalirkan arus bolak-balik (AC) 20 ampere antara terminal pentanahan dua kotak catuan-daya dinding dan mengukur tegangan jatuh di kedua terminal tersebut. Untuk sistem pentanahan yang baik, tegangan jatuh sebaiknya berada di bawah nilai 1 volt yang berkorelasi dengan nilai tahanan pentanahan 0,05 ohm atau 5 miliohm.

Perhatian:

Pengujian arus ini melibatkan arus senilai 20 ampere, dengan tegangan rangkaian terbuka senilai 3 volt, sehingga selama pengujian ini, putuskan hubungan pasien dengan rangkaian pentanahannya, untuk mengantisipasi pengawatan pentanahan menjadi terbuka yang disebabkan oleh tekanan arus 20 ampere tersebut.

Instrumentasi Yang Disarankan:

- *Ground Quality Tester*,
- Voltmeter AC dan Ampere meter AC dengan transformator tegangan rendah (maksimum 6 volt).

Prosedur Pengujian

Cek kualitas pengawatan dari terminal tanah ke terminal tanah (*slot to slot*) antar setiap kotak catuan-harga. Colok kabel-uji *Ground Quality Tester* pada kotak catuan-harga yang akan diuji. Atur langkah-ukur pada 0,1 ohm, skala penuh, dan atur arus sampai titik *Level Set*. Tekan tombol untuk membaca nilai tahanan. Masukkan nilai ini pada Kolom-5 dari Formulir Uji F-32. Tahanan maksimum antara pentanahan kotak catuan-harga di area Pasien Sensitif sebaiknya berada di bawah nilai 50 miliohm. Karena ketidaklinieran kurva grafik tahanan vs arus, hasil pengujian dengan arus 20-ampere boleh jadi lebih besar atau lebih rendah dari hasil pengujian dengan arus 10-ampere seperti tertera pada Kolom-4. (Untuk informasi lebih jelas dapat melihat publikasi yang dikeluarkan produsen atau vendor alat ukur yang berkaitan dengan pengukuran/pengujian kontak-tusuk dan kotak catuan harga).

Gambar 1
PERBEDAAN TEGANGAN DAN TAHANAN PENTANAHAN

Instrumen Yang Disarankan:

- Uji Arus Rendah : Monitor Sistem Kelistrikan Portabel atau Monitor Kebocoran Jalur – Tegangan Tanah yang dilengkapi dengan Adaptor Tahanan.
- Uji Arus Tinggi : Tester Kualitas Pentanahan

Lokasi : RUANG BAWA

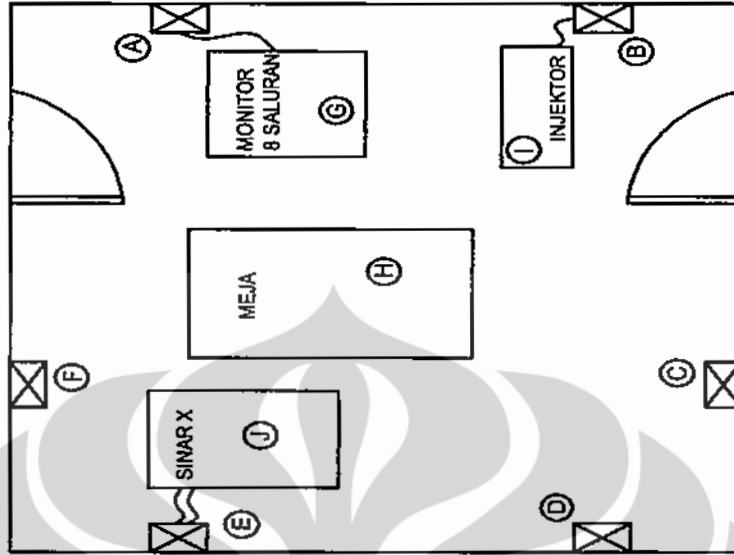
Penguji : MM

Tanggal : 14/4/2010

No.	1		2		3		4		5	
	Titik Acuan	Ke titik	Lokasi		Tegangan Potensial Tanah (mV)		Tahanan Uji Arus 10 mA atau di bawahnya (Ω)		Tahanan Uji Arus 20 (mA)	
1	A	B	0	0,05	50					
2	A	C	0	0,05	40					
3	A	D	0	0,05	30					
4	A	E	25	-	-					
5	A	F	25	-	-					
6	A	G	0	0,1	-					
7	A	H	0	0,1	-					
8	A	I	0	0,1	-					
9	A	J	25	-	-					
10										
11										
12										
Batas SP ₁₀ (ICU, CCU, OR)			10 mV		Lihat Tabel 1		0,05 Ω			
Batas GP ₁₀₀			100 mV		Lihat Tabel 1		Tidak perlu			

PROSEDUR:

- 1) Putuskan hubungan peralatan yang sedang beroperasi dari pasien selama pengujian.
- 2) Uji perbedaan tegangan dari titik acuan ke semua titik yang diuji.
- 3) Gunakan arus DC (maksimum 10 mA) untuk menguji tahanan pentanahan.
- 4) Gunakan Uji arus AC 20 A antara pentanahan kotak-catuan daya.



Sketsa Ruangan

(lanjutan)

C. Kotak-Catuan Daya Dupleks, Pengujian Mekanis dan Pengawatan

1. Pengujian Mekanis. (Formulir F-42, Gambar 2).

Kotak-catuan daya dupleks berterminal tiga (*three-prong*) tipe tanam-dinding yang berkualitas baik, yang di pasaran ditandai dengan label dari standar internasional alat-alat listrik, seperti *National Electrical Manufacturers' Association* (NEMA), TUV, KEMA-KEUR adalah sangat direkomendasikan bagi pemakaian di area pelayanan pasien sensitif. Daya rekat ke dinding pada saat tanpa atau dengan kontak-tusuk berikut kabel daya yang tertancap kepadanya harus dilakukan pengecekan secara reguler. Sebelum melaksanakan pengujian kotak-catuan daya dupleks ini, selalu lakukan penyidikan secara visual terhadap kemungkinan kerusakan secara mekanis, seperti: retak, ternoda, terbakar pada semua bagian-bagiannya, terutama kontak-kontak terminalnya. Lakukan pengujian, disarankan dalam suatu alur-giliran berupa putaran searah jarum jam dan diindikasikan seperti contoh pada Kolom-1 Formulir F-42. Pemeriksaan kondisi fisik (Kolom-2) boleh juga dilakukan sebelum pemeriksaan mekanis dan elektris dilakukan. Jika kotak-catuan daya tampak retak atau kondisi mekanis lain yang tidak aman, maka tandai dengan label serta tulis dengan tulisan peringatan semisal: GANGGUAN. Lakukan penggantian kotak-catuan daya ini sebelum melaksanakan pengujian lanjutan.

Pengujian Tekanan Mekanis.

Kontak-kontak pentanahan yang baik dan menempel kuat di terminal kotak-catuan daya tipe tanam-dinding adalah hal yang mendasar sekali bagi keselamatan kelistrikan. Nilai tekanan memang akan menurun sejalan dengan usia penggunaannya. Nilai yang direkomendasikan adalah mampu menahan gaya tarik 8 ons atau lebih yang dikenakan pada bilah penjepit terminal tanah, fasa, dan netralnya, untuk kotak-catuan daya di area pelayanan pasien sensitif. Angka delapan ons ini sekaligus menunjukkan secara keseluruhan kabel catuan-daya tersebut dapat menahan secara mekanis beban gandolan seberat 1,5 pond antara kontak-tusuk dan bilah penjepit kotak-catuan daya tanpa bantuan jepitan penahan.

Gambar 2
KOTAK-CATUAN DAYA DUPEKS – PENGUJIAN MEKANIKAL DAN PENGAWATAN

Instrumen Yang Disarankan:

- Tester Polaritas,
- Alat Uji Impedansi Kalang Pentanahan,
- Tester Tekanan Mekanis Kotak-Catuan Daya

Lokasi : R. Perawatan 2 Selayar Timur
 Penguji : MUM
 Tanggal : 14/4/2010

= Searah jarum jam dimulai dari kotak-catuan daya dekat pintu masuk

No.	1	2	3		4		5		6	7	8		9	10	Status		Catatan
			Kondisi Fisik	Tanah	Fasa	Netral	Polaritas	Tegangan Netral-Tanah			Tanah	Netral			Total	Dicerna		Dilok
1	Kamar 225	usang	0	0	0	0	0	0	OK	0,2 V	0,15	0,15	0,30	0,30	✓	✓	Tandai: Ganti
2		OK	10	8	20	20	20	20	OK	0,2 V	0,15	0,15	0,30	0,30	✓	✓	
3		OK	20	20	20	20	20	20	OK	0,5 V	0,15	0,17	0,32	0,32	✓	✓	
4		OK	20	20	20	20	20	20	OK	0,2 V	0,2	0,2	0,4	0,4	✓	✓	Cek perawatan gudang
5	Kamar 226	OK	20	20	20	20	20	20	OK	0,5 V	0,2	0,2	0,4	0,4	✓	✓	
6		OK	20	20	20	20	20	20	OK	0	0,2	0,15	0,35	0,35	✓	✓	
7	Sanggar Pasar	OK	0	0	0	0	0	0	OK	0	0,2	0,15	0,35	0,35	✓	✓	Tandai: Ganti
8		OK	0	0	0	0	0	0	OK	0	0,2	0,15	0,35	0,35	✓	✓	Tandai: Ganti
9		OK	10	20	20	20	20	20	OK	0	0,2	0,15	0,35	0,35	✓	✓	Tandai: Salah perawatan
10	Kamar 227	OK	16	20	20	20	20	20	OK	0	0,10	0,15	0,25	0,25	✓	✓	
11		OK	10	20	20	20	20	20	OK	0,2 V	0,10	0,15	0,25	0,25	✓	✓	
12		OK	16	20	20	20	20	20	OK	1,2 V	0,30	0,10	0,40	0,40	✓	✓	
13		OK	20	20	20	20	20	20	OK	3,0 V	0,25	0,10	0,35	0,35	✓	✓	
14		OK	20	20	20	20	20	20	OK	0	0,25	0,10	0,35	0,35	✓	✓	

Rekomendasi : minimal tekanan mekanis kotak-catuan daya = 8 ons; Impedansi Tanah atau Netral maksimum = 0,2 Ω; Tegangan Netral-Tanah maksimum = 8 V

Instrumentasi Yang Dianjurkan

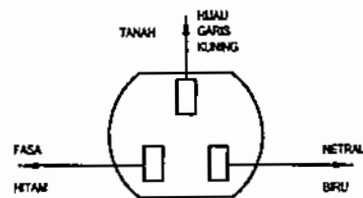
- Alat uji tegangan kontak kotak-catuan daya.

Prosedur Pengujian

Masukkan ujung-ujung penyidik alat uji tegangan kontak (biasanya berupa pisau *stainless steel*) pada masing-masing terminal kotak-catuan daya (fasa, tanah, netral). Baca nilai yang tertera di layar skala ukur (nilai ini merupakan nilai tegangan kawat kabel catuan daya yang dikonversi oleh tegangan-pemulih pegas di dalam tester ini). Catat nilai ini pada Formulir F-42 di Kolom-3, 4, dan 5. Dalam contoh ini, kotak-catuan daya 1 dan 8 tidak ada tekanan. Kotak-catuan daya tersebut ditandai dan direparasi atau ada kemungkinan harus diganti, sebelum dilakukan pengujian selanjutnya.

2. Pengujian Elektris. Polaritas.

Polaritas kotak-catuan daya yang benar adalah tampak seperti pada Gambar 2, yaitu untuk tampak atas kotak-catuan daya tipe United Kingdom (UK) yang juga masih banyak digunakan di Indonesia. Gambar tersebut dijadikan acuan karena terminal pentanahannya diakomodasi dengan kontak-tusuk pula seperti dua terminal lainnya, sehingga secara teknis lebih mudah menjelaskannya. Kontak-catuan daya yang terminal pentanahannya berupa bilah-bilah logam simetris di kedua sisi lubingnya seperti yang banyak diterapkan di kabel catuan daya peralatan listrik di Indonesia dapat menyesuaikan dengan gambar ini. Posisi polaritas harus sesuai dengan skema Gambar 2 ini. Bila terjadi ketidaksesuaian maka penggantian kotak-catuan daya atau perubahan instalasi disarankan untuk kotak-catuan daya tipe ini posisi terminal tanah di bagian atas, karena kontak tusuk pentanahan sengaja dibuat lebih besar dari dua terminal lainnya dengan tujuan membantu menahan beban kabel daya secara keseluruhan.



TAMPAK DEPAN KOTAK-CATUAN DAYA AC

Gambar 3 Simbol Kotak-Catuan Daya. Polaritas harus sesuai dengan skema yang ditunjukkan gambar ini. Penyimpangan yang sering terjadi adalah mempertukarkan terminal fasa dengan netral. Walaupun dari segi

Instrumentasi Yang Disarankan

- *Receptacle Analyzer*

Prosedur Pengujian

Masukkan alat analisa kotak-catuan daya pada setiap kotak-catuan daya di semua area pelayanan pasien. Berbagai kombinasi dari tiga lampu *light-emitting diodes* (LED) mengindikasikan beberapa kondisi pengawatan sesuai dengan Tabel Kondisi LED yang tertera di stiker di badan alat. Betulkan pengawatan yang salah berdasarkan penunjukan alat analisa, yaitu kondisi yang menunjukkan selain indikator "Wiring OK". Rekam data ini di setiap lokasi pada Formulir F-42. Kolom-6 di bawah bacaan POLARITAS. Jika pembetulan tidak dilakukan oleh teknisi uji pada saat itu juga (atau dilakukan tim lain sesuai pembagian tugasnya) maka tandai dengan label "CACAD".

3. Pengujian Tegangan Netral Ke Pentanahan

Dengan menggunakan multimeter tipe apa saja (jangkah pilih pada voltmeter AC), lakukan pengujian tegangan netral ke tanah di setiap kotak-catuan daya baik pada kondisi pembebanan normal maupun (bila perlu) pada kondisi pembebanan puncak. Pembacaan voltmeter AC harus menunjukkan nilai di bawah 6 volt (Lihat artikel NEC, Bagian 210-6(d)). Jika tegangan terbaca lebih tinggi, carilah penyebabnya (misalnya: arus longsor yang berlebihan, ukuran konduktor yang terlalu kecil,

jalur ini kemungkinan menyuplai daya ke titik lain/paralel). Secara praktek tingginya tegangan netral ini berarti berkurangnya daya dan turunnya tegangan kerja serta dapat menyebabkan masuknya sinyal frekuensi jala-jala (50 HZ) ke alat medis EKG. Catat pembacaan ini pada Kolom-7.

Instrumentasi Yang Dianjurkan

- Semua multimeter yang terdapat alat ukur voltmeter dengan jangkah ukur 0 sampai 10 volt,
- *Electrical Safety Meter*, atau
- Alat *Receptacle Analyzer*, caranya adalah kita hanya melihat secara indikator spot, yaitu bila tegangan netral ini tinggi maka lampu ketiga dari alat ini menyala redup (yang menunjukkan pula tegangan netral ke tanah melampaui nilai 6 volt.

Prosedur Pengujian

Periksa tegangan terminal netral ke terminal tanah di setiap kotak-catuan daya pada kondisi pembebanan normal (misalnya pada pagi hari saat kesibukan pelayanan masih normal). Masukkan nilai-nilai ini pada Kolom-7, Formulir F-42. Sebagai catatan untuk contoh yang diberikan tampak kotak-catuan daya No. 4 menunjukkan nilai tegangan netral-tanah yang tinggi yang disebabkan buruknya impedansi pentanahan.

4. Pengecekan Kualitas Pengawatan Pentanahan-Netral (Formulir Uji F-42, Kolom-8, 9, 10)

Impedansi-rendah pengawatan tanah dan netral adalah hal yang penting karena aliran arus melalui impedansi yang tinggi dapat menyebabkan panas berlebih dan membakar isolasi kabel sehingga dapat mencetus terjadinya bahaya kebakaran. *National Electric Code* 1971 secara tidak langsung menspesifikasikan impedansi tanah dan netral dalam Artikel 210-6(d) nya. Di sana ditentukan bahwa "Total tegangan jatuh untuk rangkaian penyulang dan cabang harus tidak melampau 5% dari keseluruhan". Untuk kawat penghantar netral dan tanah yang memiliki diameter yang sama (biasanya untuk jaringan instalasi listrik umum diameter

(lanjutan)

penghantar kedua kutub ini sama), misalnya untuk melayani arus 15-ampere, impedansi pentanahannya adalah:

$$\frac{0,05 \times 120}{15} = 0,4 \Omega, \text{ maksimum}$$

untuk kotak-catuan daya dekat pintu-pintu masuk pelayanan direkomendasikan impedansi netral atau pentanahan adalah maksimum 0,2 ohm.

Perhatian!

Pengujian ini menyuntikkan 0,5 ampere arus dc berupa pulsa ke rangkaian pentanahan. Putuskan hubungan pasien dengan rangkaian pentanahan ini selama pengujian ini berlangsung atau yakinkan bahwa tidak ada kalang pentanahan terbentuk dengan pasien sebagai bagiannya.

Instrumentasi Yang Disarankan

- *Ground/Neutral Quality Tester*

Prosedur Pengujian

Masukkan penyidik alat tester pada masing-masing terminal kotak-catuan daya sesuai dengan urutannya. Bacalah impedansi pentanahan dan netral secara terpisah dan rekam data pentanahan dalam Kolom-8, Formulir Uji F-42, dan impedansi netral pada Kolom-9. Jumlah dari kedua impedansi ini hitung dan rekam dalam Kolom 10 di bawah kolom "TOTAL". Yang diinginkan dari nilai impedansi total kalang adalah nilai di bawah 0,4 ohm di sebagian besar area.

FORMULIR PENGUJIAN F-52

Gambar 4
PENGUJIAN KONDUKTIFITAS DAN LINGKUNGAN MUDAH TERBAKAR

- Instrumen Yang Disarankan:
- Megaohm Meter,
 - Alat Uji Konduktifitas Lantai,

Lokasi : Ruang Operasi #1
 Penguji : MAM
 Tanggal : 14/4/2010

Tabel 1

Konduktifitas Lantai	Tahanan (Ω)	Komentar
1 Jalur Pintu	105.000	
2 Sampung Ka. Meja	150.000	
3 Sampung Ki. Meja	142.000	
4 Mesin anestesi	125.000	
5 Jalur Levat	100.000	
Total:	622.000	
Rata-rata = $\frac{\text{Total}}{5}$ (a)	124.400	
Rentang - Rendah	100.000	
Rentang - Tinggi (b)	150.000	OK

Keterangan:
 (a) Nilai rata-rata dari 5 pembacaan bisa antara 25.000 Ω (25 kΩ) dan 1.000.000 Ω (1 MΩ).
 (b) Nilai minimum untuk setiap pembacaan bisa di atas 10.000 Ω (10 kΩ).
 Nilai maksimum untuk setiap pembacaan bisa di bawah 5.000.000 Ω (5 MΩ).

Tabel 3

Penyimpanan Gas	Ventilasi	Kelembaban	Komentar
Ruang Operasi	8 ruang jam	55 %	21° F
Jamban	Tidak ada	25 %	
Gudang Pusat	blower	48 %	Benar, kelembaban rendah

Keterangan:
 - Penghembus udara Ruangan : 8-ruang aliran per Jam
 - Kelembaban : minimum 50%

Tabel 2

Konduktifitas Peralatan dan Perabotan	Tahanan (Ω)	Komentar
1. Meja R. Operasi	10.000	
2. Roda kereta makan	150.000	Tiap roda
3. Roda kereta kartu	200.000	Tiap roda
4. Camtelan Ember	50.000	
5. Camtelan Mayo	125.000	Total
6. Mesin Anestesi	20.000	Total

Batas:
 - Kuster dan Perabotan : di bawah 250 kΩ
 - Sepatu konduktif : di bawah 500 kΩ
 - Lembaran konduktif, pipa, & asesoris : 1 MΩ

5. Pengujian Polarisasi Netral Ke tanah

Merupakan pekerjaan yang sulit untuk melihat secara spot kesalahan pengawatan antara netral dan pentanahan. Saran berikut ini adalah pengujian tambahan saja yang boleh dilakukan atau tidak. Tidak perlu direkam dalam sebuah formulir. Hubungkan arus beban 10 ampere ke salah satu satu kotak-catuan daya di dinding dan ukur tegangan jatuh dalam satuan volt atau milivolt antara netral dan tanah di setiap kotak-catuan daya, dan tanah ke tanah di antara dua kotak catuan-daya tipe dupleks yang posisinya berurutan dalam satu jalur. Pembacaan akan menurun saat mendekati pintu masuk area pelayanan atau titik bersama antara netral dan tanah, dan nilai ini akan kembali sama pada semua kotak-catuan daya saat bergerak menjauhi lebih jauh lagi dari kotak-catuan daya yang digunakan untuk menyuplai daya beban 10 ampere tadi. Tegangan jatuh dadakan antara pentanahan ini atau perubahan pada tegangan netral ke tanah mengindikasikan tertukarnya atau terhubungsingkatnya terminal netral dengan tanah.

Instrumentasi Yang Disarankan

- Beban dengan arus 10 ampere (misalnya: pemanggang roti, pemanas air, pembuat kopi, pengering tangan),
- multimeter atau milivolt meter,
- *Line Leakage-Ground Voltage Monitor*,
- *Portable Electrical Systems Monitor*,
- *Electrical Safety Meter*.

Prosedur Pengujian

Hubungkan beban ke salah satu kotak-catuan daya, sebaiknya yang jaraknya paling jauh dengan titik di mana terminal dan netral digabungkan. Buat sketsa lokasi dari posisi kotak-catuan daya di masing-masing ruangan, rekam pembacaan netral ke tanah dan tanah ke tanah antara kotak-catuan daya *dupleks*.

D. Pengujian Konduktifitas dan Lingkungan Yang Mudah Terbakar. Formulir F-52, Gambar 5

Pembuangan muatan (*discharge*) yang cepat dapat menimbulkan percikan api

listrik (*spark*) dari listrik statis yang dapat menyulut terjadinya kebakaran gas yang mudah terbakar seperti gas anestesi atau gas lain yang sering digunakan dalam pembedahan. Untuk mencegah adanya listrik statis ini, semua ruang operasi yang terdapat gas-gas mudah bakar biasanya dipasang ubin konduktif di lantainya. Tingkat (tinggi dan rendahnya) konduktifitas ubin ini harus diatur, yang nilainya dapat mengacu pada beberapa standar keamanan kelistrikan yang kredibel, misalnya NFPA Kode 56A, dengan maksud: nilai konduktifitas tidak terlalu tinggi yang dapat menyebabkan para staf ruang operasi justru terancam kecelakaan kejutan listrik tetapi cukup memadai untuk membuang muatan listrik statis. Cek konduktifitas lantai, meubel, sepatu, kereta-kereta dorong yang menggunakan roda logam, dll., sebaiknya pengujian ini dilakukan secara reguler. Penggunaan sepatu konduktif, penutup, lembaran-lembaran, pipa-pipa karet adalah memiliki tujuan yang sama, yaitu membuang muatan listrik statis. Penggunaan baju ketat juga direkomendasikan untuk mengurangi timbulnya gesekan kelistrikan. Berikut adalah kerangka kerja prosedur pengujian lingkungan mudah terbakar.

Instrumentasi Yang Disarankan

- Set Alat Uji Konduktifitas Lantai (dapat dirakit sendiri),
- Megaohm meter.

Prosedur Pengujian

1. Pengujian Konduktifitas Lantai

Gambar 5 menunjukkan alat uji konduktifitas lantai dan megaohm meter. Alat uji konduktifitas lantai komersial (seperti Instrutek *Floor Test Set*, Model FT-500) sebenarnya terdiri dari dua elektroda lantai berupa cakram (*disch*) metal berdiameter 2,5 inchi berpegas karet dengan penghisap sistem hidrolis tekan-putar, tangkai penyidik (*probe*), penyangga alat ukur, keranjang pemegang formulir-formulir, dan pegangan untuk mempermudah perpindahan pengujian di lantai ruangan atau perabotannya (*furniture*). Lakukan beberapa kali pembacaan (biasanya minimal 5 kali) dengan tekanan 5 pond (lbs) pada elektroda cakraanya yang berdiameter 2,5 inchi. Untuk jarak antara elektroda (pusat ke pusat lingkaran) bila mengacu pada keterangan standar NFPA 56A

(lanjutan)

adalah tiga kaki (*feet*) atau sekitar 0,9 meter. Contoh-contoh titik pembacaan diutamakan lantai di area yang padat akses personalnya, dekat pintu-pintu, dekat meja ruang operasi dan mesin anestesi. Rekam kelima pembacaan ini dan hitung rata-ratanya seperti ditunjukkan oleh Tabel 1, Formulir Uji F-52 (Gambar 4). Juga, rekam nilai tahanan tertinggi dan terendahnya. Acuan keselamatannya adalah:

- Nilai rata-rata tahanan yang diperoleh di atas 25.000 ohm dan di bawah 1 megaohm, dengan
 - Nilai tahanan pengujian tunggal: yang tertinggi tidak ada yang melebihi 5 megaohm dan yang terendah tidak ada yang kurang dari 10.000 ohm.
- Gambar 5A memperlihatkan contoh Formulir Uji Konduktifitas Lantai (Formulir TS-50), yang datanya diperoleh dari hasil pengukuran di atas.

2. Pengujian Furniture Bergerak (Tabel 2, Formulir Uji F-52)

Pengujian perabotan ruang bergerak seperti kereta dorong untuk konsumsi pasien yang terbuat dari logam. Sekalipun kebanyakan sekarang ini kereta dorong jenis ini melengkapi diri dengan roda (di bidang teknik dikenal dengan istilah kaster – *caster*) berbahan pelastik atau karet tetapi kewaspadaan kelistrikan tetap harus diberikan karena sebagian besar fisiknya terbuat dari logam. Bagian yang bersentuhan dengan lantai untuk perabotan ruang bergerak adalah kasternya, oleh karena itu pengujian konduktifitas di lakukan di bagian ini. Pengujian dilakukan secara reguler dengan memanfaatkan plate alumunium (atau alumunium foil) yang salah satu permukaannya yang bersentuhan dengan lantai dilapis bahan isolatif (lihat Gambar 6). Letakkan kaster di atas plat alumunium. Tempelkan satu tangkai penyidik alat ukur megaohm meter pada plat ini dan tangkai penyidik lainnya pada badan kereta dorong yang terbuat dari logam. Lakukan pengukuran di beberapa titik permukaan kereta untuk melihat beberapa variasi konduktifitas di seluruh bagiannya. Ulangi dengan prosedur yang sama untuk kaster-kaster yang lainnya. Lihat Tabel 2, Baris 2. Acuan keselamatannya adalah:

- nilai resistensi harus lebih rendah dari 250 kilo ohm. Lihat Gambar 6 untuk persiapan alat pengujian.

3. Pengujian Furniture Tetap

Untuk menguji perabotan ruang dari logam yang bersifat permanen, letakkan salah satu elektroda cakram alat uji dengan pengaturan tekanan 5 pond di lantai dalam jarak 3 kaki atau sekitar 0,9 meter dengan perabot yang akan diuji. Hubungkan tangkai penyidik megaohm meter antara elektroda cakram dengan perabot tersebut di bagian yang terbuat dari logam. Tahanan harus lebih rendah dari 250 kilo ohm ditambah nilai pembacaan resistensi lantai di area tersebut (lihat Gambar 7). Rekam pembacaan ini pada Tabel 2 dari Formulir Uji.

4. Pentanahan Lantai Konduktif ke Acuan Pentanahan Ruang Utama

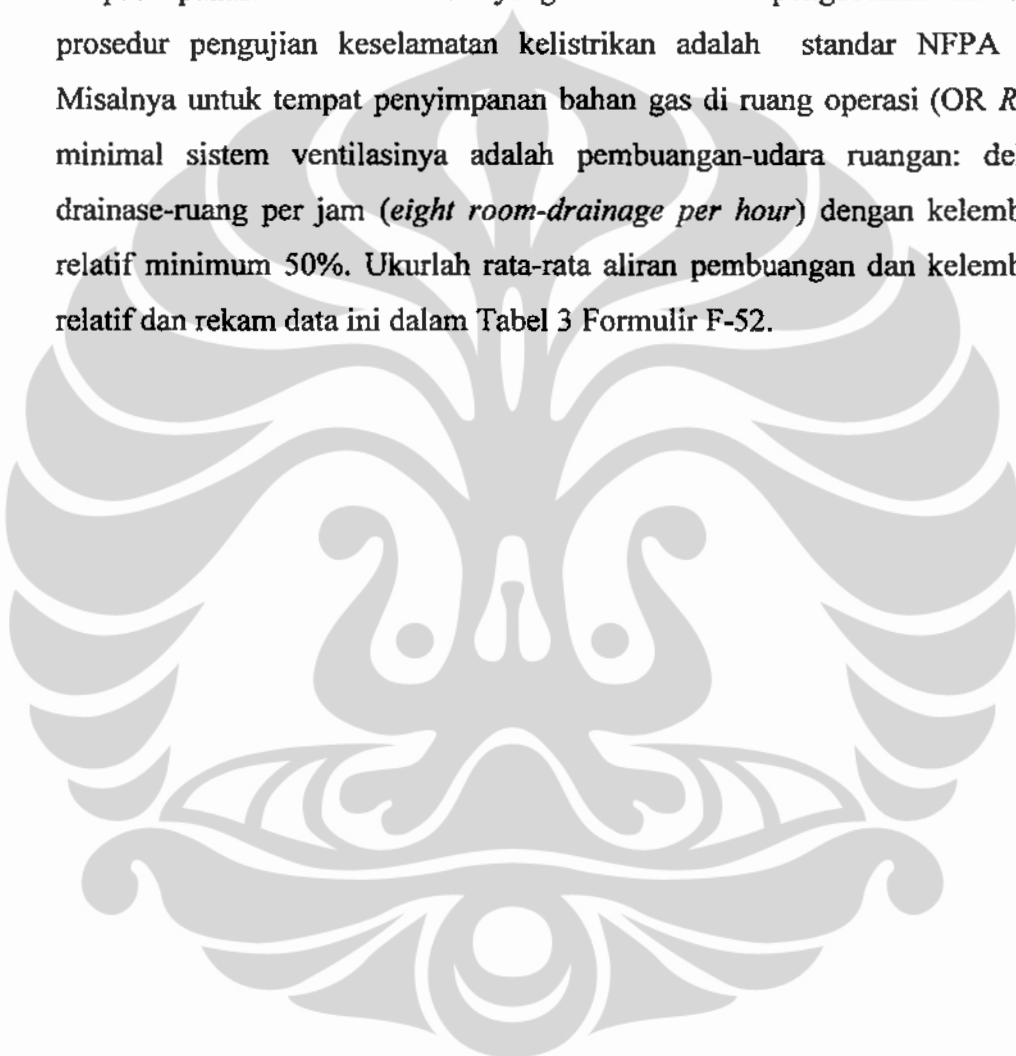
Pengujian ini banyak direkomendasi para insinyur klinis untuk dimasukkan dalam prosedur pengujian keselamatan kelistrikan yaitu untuk mereduksi jalur arus bocor yang mungkin terbentuk sepanjang lantai konduktif dalam kasus peralatan yang hilang kontak ke pentanahan. Untuk menguji pentanahan antara pentanahan bumi dan lantai konduktif, hubungkan salah satu tangkai penyidik megaohm meter ke pentanahan acuan sistem tenaga dan tangkai penyidik lainnya ke elektroda cakram yang melekat ke lantai konduktif dengan tekanan 5 pond untuk menguji pentanahan. Lakukan 5 kali pengujian dengan prioritas pada lokasi yang paling sering digunakan. Tahanan pentanahan yang baik dari semua titik uji harus di bawah nilai 1 mega ohm dan di atas nilai 25 kilo ohm. Lihat Gambar 8 untuk petunjuk pelaksanaannya. Nilai rata-rata pembacaannya rekam dalam Tabel 2 Formulir Uji.

5. Pipa Konduktif dan Asesoris

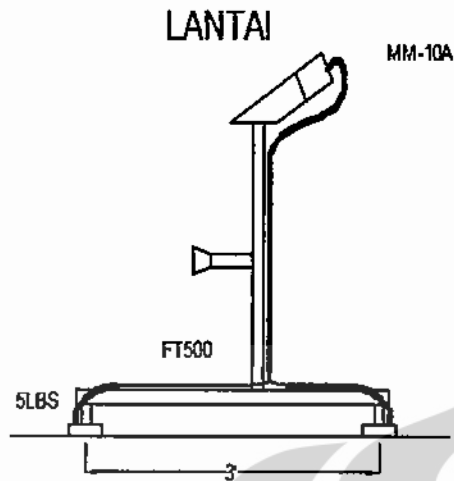
Hubungkan salah satu tangkai penyidik ke bagian fitting (di ujung) atau di penyambung pipa yang terbuat dari logam, sementara tangkai lainnya ke sebuah elektroda bantu yang ditempatkan di bagian lain di tubuh pipa atau di suatu tempat yang diperkirakan merupakan bagian tengahnya. Elektroda bantu ini merupakan kelengkapan standar alat uji konduktifitas lantai, biasanya berupa pita logam yang fleksibel. Pengujian yang tidak menggunakan alat khusus seperti itu dapat memanfaatkan kertas alumunium (*aluminium foil*) yang direkatkan mengelilingi pipa yang akan diuji (lihat Gambar 9).

6. Ventilasi dan Kelembaban

Pengecekan ventilasi dan kelembaban oleh beberapa standar dimasukkan pula ke dalam pengujian keselamatan kelistrikan dengan pertimbangan terdapat kaitan dengan kondisi kerja optimal alat-alat listrik medis untuk melakukan disipasi panas. Salah standar yang memasukkan pengecekan ini dalam prosedur pengujian keselamatan kelistrikan adalah standar NFPA 56A. Misalnya untuk tempat penyimpanan bahan gas di ruang operasi (*OR Room*) minimal sistem ventilasinya adalah pembuangan-udara ruangan: delapan drainase-ruang per jam (*eight room-drainage per hour*) dengan kelembaban relatif minimum 50%. Ukurlah rata-rata aliran pembuangan dan kelembaban relatif dan rekam data ini dalam Tabel 3 Formulir F-52.



(lanjutan)



Gambar 5

FORMULIR TS-50

Gambar 5A

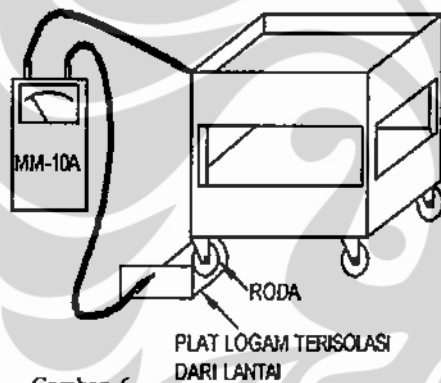
Tabel Uji Konduktifitas Lantai

Ruang: E. Operasi Penguji: MMM Tanggal: 14/4/2010

Area Lantai	Tahanan (Ω)	Komentar
1. Pintu 1	270.000	
2. Pintu 2	310.000	✓ tertinggi
3. Ka. Meja	250.000	
4. Ki. Meja	200.000	✓ terendah
5. Mesin anastesi	200.000	
Total:	1.230.000	
Rata-rata = $\frac{\text{Total}}{5}$	246.000	✓ rata-rata
Suhu: 21°F	Kelembaban Nisbi: 55%	

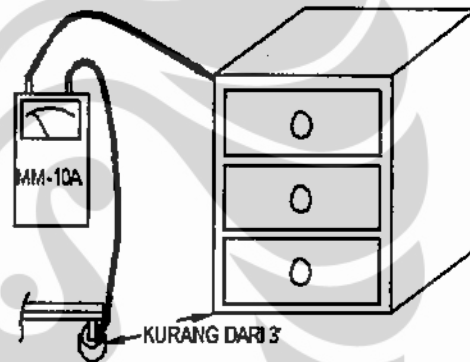
- (a) Nilai tertinggi dan terendah yang dicentang pada baris 1 sampai 5 di atas adalah: Tertinggi = 5 M Ω dan Terendah = 10 k Ω .
(b) Nilai rata-rata adalah: 25.000 sampai 1.000.000 Ω

FURNITUR BERGERAK



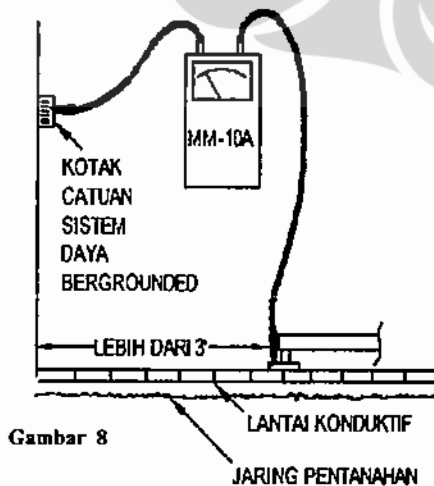
Gambar 6

FURNITUR TIDAK BERGERAK



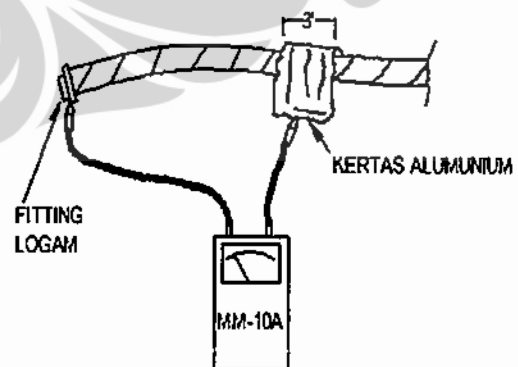
Gambar 7

PENTANAHAN LANTAI KONDUKTIF KE PENTANAHAN



Gambar 8

SILINDER KONDUKTIF



Gambar 9

E. Sistem Daya Terisolasi (Formulir F-62, Gambar 10)

Di beberapa area CCU dan ICU, dan area dekat ruangan operasi, suatu transformator pengisolasi digunakan untuk mereduksi ledakan dan bahaya kejutan listrik yang disebabkan percikan, gangguan tanah dan arus bocor. Dalam sistem daya terisolasi, tidak ada dari kawat penghantar yang membawa daya yang dihubungkan ke tanah, suatu yang bertolak belakang dengan sistem daya tertanahkan di mana salah satu kawat penghantar yaitu netral dihubungkan dengan terminal tanah di panel distribusi daya utama. Pada sebuah sistem daya terisolasi, biasanya kawat penghantar yang membawa daya, dinamai dengan Jalur (*line*) 1 dan Jalur 2. Mengacu standar NFPA, diperlukan monitoring secara terus menerus terhadap isolasi transformator untuk menentukan jumlah total arus yang mengalir ke pentanahan yang disebabkan oleh arus bocor. Alat monitor ini pada awalnya dikenal dengan istilah “Monitor Gangguan Tanah”, sekarang disebut “Monitor Isolasi Jalur” atau *Line Isolation Monitor* (LIM). Monitor ini mengukur dan menampilkan total arus bahaya yang mengalir di pentanahan, yaitu, arus bocor yang dihasilkan oleh transformator, pengawatan, beban terpasang, serta kebocoran yang dihasilkan oleh detektor itu sendiri. Total arus bahaya ke pentanahan ini kemudian diacu sebagai “Indeks Bahaya Total”. Sebuah alarm diset untuk suatu nilai tertentu berbentuk kode, bila dilampaui maka mengindikasikan bahwa isolasi sistem kelistrikan sudah tidak dalam keadaan aman lagi. Kode awal untuk indikasi keamanan isolasi bernilai antara 0,7 dan 1 mili ampere ditambah arus yang digunakan oleh rangkaian LIM sendiri yang nilainya dapat mencapai 1 mili ampere. Ketika batas alarm dilampaui, sebuah gangguan tanah diindikasikan dengan suara dan lampu indikator merah yang menyala. Selama kondisi normal, sebuah lampu indikator hijau boleh pula dipasangkan dengan diset pada kondisi menyala. Sebagai perlengkapan tambahan LIM dilengkapi provisi berupa kemampuan pengujian-sendiri (*self-test*) dan rangkaian penghening (*silence*) suara alarm.

Instrumentasi Yang Disarankan

- Monitor Sistem Kelistrikan,
- Alat Uji Isolasi (*Isolation Tester*).

Prosedur Pengujian

Sebelum penyelenggaraan, putuskan hubungan pasien dengan sistem daya saat pengujian di area CCU dan ICU. Berikut ini disampaikan panduan umum saja sesuai fasilitas standar yang tersedia pada susunan panel kontrol dan monitor yang banyak dipakai di rumah sakit di Indonesia. Pengujian dijelaskan secara urut dari nomor 1 sampai 7 sesuai dengan Formulir F-62.

1. Alarm Bunyi

Tekan saklar uji. Alarm harus berbunyi. Tekan tombol penghening (*mute*). Alarm harus berhenti berbunyi. Rekam pada formulir uji F-62.

2. Alarm Cahaya

Peralatan monitor yang dilengkapi lampu indikator sebagai pemberi peringatan, selama proses butir 1 di atas: lampu merah menyala pada saat alarm berbunyi, dan lampu hijau menyala setelah tombol penghening ditekan (alarm berhenti berbunyi). Rekam pada formulir uji F-62.

3. Pembacaan Monitor Isolasi Jalur (*Line Isolation Monitor – LIM*)

Selalu rekam pembacaan meter di bawah kondisi pembebanan yang sama. Pembacaan ini mengindikasikan tingkat bahaya yang mungkin terjadi jika seseorang secara tidak sengaja (melalui kecelakaan) melakukan kontak dengan salah satu: jalur daya listrik atau pentanahan dalam waktu bersamaan. Pembacaan meter mungkin bervariasi tergantung dari variasi kondisi, seperti, kelembaban, isolasi, dan bocoran yang disebabkan beban jaringan. Rekam titik alarm yang pengaturannya ditentukan oleh pemanufaktur alat LIM tersebut (biasanya 1,7 sampai dengan 2,0 mili ampere) dan pembacaan LIM pada formulir uji F-62.

4. Arus Bocor Sistem Terisolasi-Pentanahan

Kegunaan dari pengujian ini adalah mengecek arus dari setiap sisi jalur kelistrikan ke pentanahan dengan meter arus bocor sebagai simulasi pasien. Pengujian ini disarankan dalam semua kasus, khususnya, dengan alat monitor

LIM yang tidak dilengkapi meter. Prosedurnya adalah sebagai berikut: Pertama, set alarm bunyi pada kondisi "hening", kemudian hubungkan salah satu tangkai penyidik pada meter arus bocor ke tanah dan tangkai penyidik lainnya ke Jalur 2. Rekam pembacaan arus bocor di baris isian **Jalur 1** di formulir F-62, kemudian hubungkan meter ke Jalur 1 dan rekam pembacaan arus bocor di baris isian Jalur 2. Alat meter selalu membaca arus bocor dalam jalur yang berlawanan dengan tempat terkoneksi. Untuk melakukan pengujian di atas dengan memanfaatkan alat khusus Monitor Sistem Kelistrikan: set saklar pemilih pada posisi "Isolation". Meter hubungkan dengan Jalur 1 dan pentanahan dengan polaritas pada posisi "Normal", serta Jalur 2 dengan polaritas pada posisi "Reverse".

5. Arus Yang Diperbolehkan Sebelum Alarm Berbunyi

Adalah berkaitan dengan jumlah beban resistif yang masih diperbolehkan untuk ditambahkan pada Jalur 1 dan 2 sebelum alarm berbunyi. Untuk melakukan pengujian ini, gunakan blok resistor variabel dan hubungkan beban uji ini di antara Jalur 1 dan Jalur 2. Putar knop pengatur perlahan-lahan sampai sesaat sebelum alarm berbunyi. Arus yang diperbolehkan mengalir pada Jalur 1 (dalam mili ampere) diperoleh dengan membagi nilai tegangan saluran Jalur 1 ke pentanahan dengan nilai tahanan resistor variabel di posisi knop pengatur pada saat tersebut (dalam ukuran kilo ohm). Ulangi prosedur yang sama pada Jalur 2. Bila terdapat alat uji isolasi khusus seperti *Isolation Tester*, hubungkan elektroda-elektroda jepit penyidik alat ini ke jaringan. Atur tombol pemilih-saluran ke Jalur 1 terlebih dahulu dan lakukan pengaturan beban tahanan dengan memutar tombol pemilih ke 12 posisi pilih (jumlah posisi beban pilih ini dapat bervariasi tergantung merek dan tipe alat). Keduabelas posisi pilih ini adalah variasi nilai-nilai tahanan beban. Lakukan pemutaran beban-pilih pada nilai arus yang diperbolehkan antara 0,1 sampai 1,2 mili ampere. Ulangi pengujian ini dengan tombol pemilih-saluran ke Jalur 2. Pengujian keseimbangan beban dilakukan dengan menghubungkan beban resistor variabel yang sama nilainya di kedua jalur. Pengaturan nilai tahanan dilakukan sampai alarm berbunyi. Ketidakhayalan alarm sampai batas yang disyaratkan oleh pamanufaktur, hal ini mengindikasikan bahwa LIM tidak berfungsi dengan baik

(lanjutan)

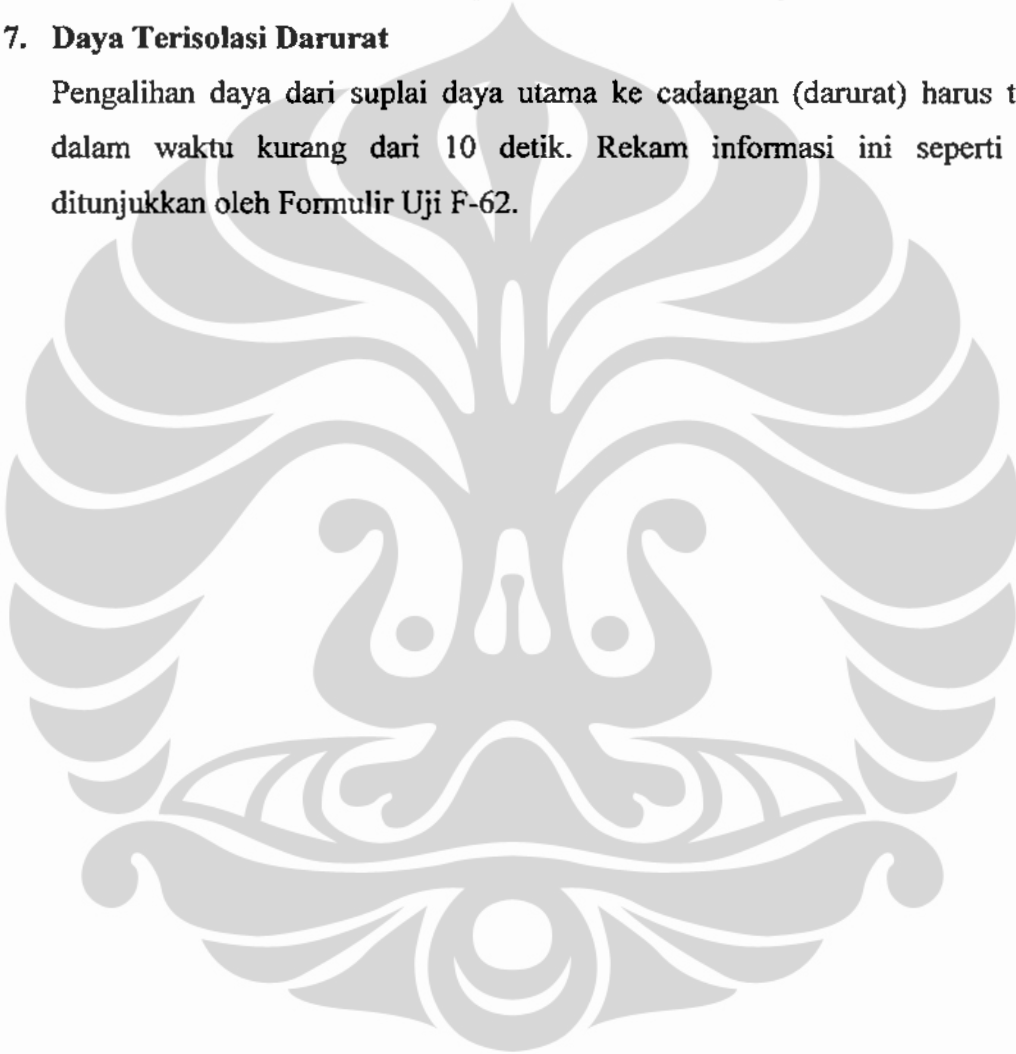
atau rangkaian ini tidak merespon terhadap beban seimbang (mungkin alat ini dari tipe detektor statis). Rekam hasil pembacaan pada Formulir Uji F-62.

6. Pemutus-hubung di Panel

Cek kondisi untuk fungsionalitas dan identifikasi komponen pemutus-hubung (*circuit breaker*) di setiap panel-panel pembagi. Rekam pada Formulir Uji F-62.

7. Daya Terisolasi Darurat

Pengalihan daya dari suplai daya utama ke cadangan (darurat) harus terjadi dalam waktu kurang dari 10 detik. Rekam informasi ini seperti yang ditunjukkan oleh Formulir Uji F-62.



FORMULIR PENGUJIAN F-62

Instrumen Yang Disarankan:

- Monitor Sistem Kelistrikan,
- Alat Uji Isolasi (*Isolation Tester*),

Lokasi : Ruang Operasi #1

Penguji : MUM

Tanggal : 14/4/2010

1. Alarm Suara – Bekerja? Ya, Tidak, dan Tombol Penghening (*mute*) – Bekerja? Ya, Tidak.
2. Alarm Cahaya – Lampu Merah dan Hijau Bekerja? Ya, Tidak.
3. Titik Alarm Spesifikasi Pabrikasi: 1.7 mili ampere.
Pembacaan Normal Line Isolation Monitor (LIM): 1.2 mili ampere.
4. Kebocoran Sistem Terisolasi – ke – Pentanahan
Masukkan tangkai-penyidik alat Monitor Sistem Kelistrikan, set jangkah pemilih ke posisi "Isolation" dan baca arus bocor Jalur 1 dan 2.
Jalur 1 : 0.7 mili ampere; Jalur 2 : 0.6 mili ampere.
5. Arus Yang Diperkenankan Sebelum Alarm Suara "ON"
Hubungkan terminal modul resistor-variabel atau tangkai-penyidik alat Uji Isolasi ke Jalur 1 dan ke Jalur 2, kemudian sebaliknya ke Jalur 1 dan ke Jalur 2. Arus Yang Diperkenankan dalam mili ampere = Tegangan Jalur
Tahanan Terbaca dalam k Ω
Arus Yang Diperkenankan di Jalur 1 : 0.3 mili ampere; Arus Yang Diperkenankan di Jalur 2 : 0.4 mili ampere;
Arus Yang Diperkenankan di Jalur 1 dan 2 : 0.7 mili ampere.
6. Panel Pemutus Rangkaian – Semua Pemutus Hubung Beroperasi? dan Pelabelan kondisinya? Ya, Tidak. Label: kedaluarsa.
7. Daya Terisolasi Cadangan
(a) Waktu hidup: 5 detik, (b) Area Yang Disuplai: Penerangan + 2 rangkaian daya, (c) Penerangan Darurat: Lampu darurat + 2 CKT, (d) Kapasitas Total: 10 kW.
8. KOMENTAR: Pelabelan pemutus-hubungan rangkaian daya digunakan rumusan lama. Istak-pastikan daya di lantai kondisinya sangat berat dan dapat menyebabkan kerusakan tanah.

CATATAN: Semua prosedur pengujian di atas harus dilakukan dengan kondisi sistem daya terisolasi dari pasien.

Gambar 10 Pengujian Sistem Daya Terisolasi

(lanjutan)

BAGIAN 3
PENGUJIAN PERALATAN BEROPERASI PADA JARINGAN
(TESTING LINE-OPERATED EQUIPMENT)

A. Kerangka Pengujian dan Catatan

Pengujian terhadap peralatan yang sedang beroperasi di jaringan listrik dapat dikelompokkan dalam dua katagori:

- 1) Peralatan listrik yang tidak memiliki hubungan langsung dengan pasien (Formulir Uji F-22),
- 2) Peralatan listrik yang memiliki hubungan dengan pasien (Formulir Uji F-12).

Kita dapat membayangkan setiap peralatan listrik yang sedang berintegrasi dengan jaringan listrik sebagai 'kotak hitam' saja. Kotak ini dapat saja berupa: monitor jantung, tempat tidur listrik, elektrokardiografi, pompa hisap, bahkan alat sederhana semacam lampu tempat tidur. Semua alat listrik terintegrasi jaringan ini memiliki kesamaan dalam satu hal, yaitu: terhubung ke kotak-catuan daya di salah satu sisi (selanjutnya dalam peristilahan teknik pengujian keselamatan kelistrikan disebut Sisi Daya) dan sisi lainnya mungkin terhubung ke lid atau permukaan logam yang bersentuhan dengan pasien (selanjutnya disebut Sisi Pasien).

1. Sisi Daya

Salah satu sisi dari 'kotak hitam' terhubung ke daya listrik melalui kotak-catuan daya ke 3 kontak-tusuknya masing-masing. Salah satu ujung kabel berwarna hijau garis kuning di kabel catuan-daya terhubung ke tusukan berbentuk pisau kontak-tusuknya (*power cord*) (atau ke bilah logam di kedua sisi *power cord* yang umum dipakai di Indonesia) sementara ujung lainnya dihubungkan ke sangkar dan permukaan logam yang relatif mudah dijangkau di peralatan listrik (jika tidak terdapat permukaan metal yang mudah dijangkau di peralatan maka kabel ini dihubungkan ke komponen logam di bagian dalamnya), sebagai contoh televisi yang sangkar maupun tombol-

tombolnya terbuat dari plastik. Perlu dicatat bahwa tusukan netral kontak-tusuk terhubung ke kabel berwarna biru dan tusukan fasa terhubung ke kabel berwarna hitam kabel catuan-harga. Desain kontak-catuan harga yang terbaik adalah slot untuk tusukan fasa dibuat paling kecil dibandingkan slot untuk tusukan lainnya, untuk pertimbangan keamanan slot untuk tusukan pentanahan posisinya dibuat agak terpisah dengan kedua tusukan lainnya (tidak saling sejajar). Akhirnya kita telah mereferensikan bahwa bagian 'kotak hitam' yang berhubungan dengan penyuplai harga dan berhubungan dengan pentanahan disebut sebagai **Sisi Harga**. Sebagai saran adalah: gunakan kotak-catuan harga, kontak-tusuk, kabel catuan-harga yang berkualitas tinggi untuk keperluan kelistrikan rumah sakit.

2. Sisi Pasien

Pada peralatan listrik yang sedang beroperasi di jaringan listrik, setiap permukaan logam yang terekspos, yang mungkin cenderung membentuk kontak dengan pasien secara tidak sengaja atau salah satu penghantar atau hubungan kelistrikan apa pun ke pasien direferensikan sebagai Sisi Pasien dari 'kotak hitam.

Jalur balikan kelistrikan mungkin terbentuk secara tidak sengaja melalui permukaan logam dan cairan konduktif (urine, larutan saline, dll.). Pentanahan yang baik dan penyidikan pengujian peralatan listrik berintegrasi jaringan akan sangat membantu dalam mereduksi bahaya ini dari sisi pasien.

3. Penyidikan Fisik

Sebelum menyelenggarakan pengujian ini, penyidikan peralatan yang akan diuji (*equipment under test* – EUT) secara visual perlu dilakukan. Lihat berbagai kemungkinan kerusakan kondisi, semacam: penyok-penyok pada sangkar alat, yang dapat menyebabkan hubungan singkat dengan komponen dalam; retak, bengkok, atau hancurnya tombol kontrol; bengkok atau rusaknya tusukan harga atau pentanahan, dll. Kerusakan-kerusakan seperti di atas sering terjadi terutama pada alat mudah-jinjing (portabel). Kabel catuan

daya dan kontak-tusuknya harus tersimpan dengan rapih pada kotak peralatan selama proses transportasi untuk mencegah kerusakannya.

Prosedur Pengujian

Sebelum penyelenggaraan, sidak kontak-tusuk dan kabel pasien secara visual dari kemungkinan kerusakan. Bengkok-paralel atau tusukan yang membentuk huruf U pada kontak-tusuk catuan daya dapat menyebabkan kerusakan kesinambungan jalur pentanahan kotak-catuan daya. Alat pengukur kesesuaian kontak-tusuk yang tersedia di pasaran dapat digunakan untuk menguji kontak-tusuk sebelum dihubungkan ke kotak-catuan daya untuk memperoleh toleransi dimensi maksimum yang diizinkan standar *Underwriter Laboratories (UL Listed)*.

Buatlah rekaman permanen dan label untuk setiap instrumen lengkap dengan tanggal pengujian dan lokasi di mana alat akan digunakan.

Prosedur pengujian di atas digambarkan dengan urutan berikut:

- a) Pengujian Tahanan Pentanahan,
- b) Pengujian Arus Bocor,
- c) Pengujian Isolasi.

B. Pengujian Tahanan Pentanahan (Formulir Uji F-12 dan F-22, Gambar 12 dan 13)

Lihat diagram di Gambar 11 untuk persiapan pengujian.

Pengujian Integritas Pentanahan

Pengujian ini bertujuan memverifikasi rendahnya tahanan hubungan antara sangkar instrumen dengan tusukan pentanahan kontak-tusuk catuan daya, atau permukaan lainnya dengan hubungan pada bagian instrumen yang biasanya dalam operasional instrumen tersebut ditanahkan (contoh: elektroda referensi alat monitor jantung versi lawas). Kita dapat menyatakan bahwa pentanahan baik bila tahanan penghantar kuning garis hijau yang diterminasi ke tusukan tanah dengan

sangkar metal tidak lebih dari 0,1 ohm.

Instrumentasi Yang Dibutuhkan

- Ohm meter DC rendah-tahanan dengan kemampuan pembacaan resolusi tinggi pada pengujian arus tingkat rendah,
- Monitor Kebocoran Saluran-Tegangan Pentanahan lengkap dengan Adaptor Tahanan, atau
- Monitor Sistem Kelistrikan.

Prosedur Pengujian

Untuk pengujian tahanan pentanahan hubungkan tangkai-penyidik hitam ke tusukan pentanahan dan sentuhkan tangkai-penyidik lainnya pada sangkar instrumen yang sedang diuji. Yakinkan bahwa terjadi kontak yang baik ke sangkarnya. Mudah sekali terjadi nilai beberapa puluh ohm kesalahan akibat kontak yang kurang mantap. Rekam pembacaan tahanan pentanahan ini pada Formulir F-12 dan F-22.

FORMULIR PENGUJIAN F-22

Nama Barang: Tempat Tidur Listrik
 Pembuat : ACC Co.
 Model : S 1100
 No. Kontrol : 301

Lokasi : Serambi 2 Timur
 Penguji : MUM
 Tanggal : 14/4/2010

Instrumen Yang Disarankan:

- Monitor Sistem Kelistrikan,
- Alat Uji Kebocoran Jalur-Tegangan Pentanahan lengkap dengan Modul Adaptor Tahanan

No. Uji	JENIS PEKERJAAN	BATAS AMAN			REKAM NILAI BATAS DI BAWAH INI		
		SPA	GPA	Baru	OK	OK	OK
1.	Kondisi Fisik						
2.	Tahanan Pentanahan antara Terminal Tanah dan Sangkar Logam	0,1 Ω	0,3 Ω	0,1 Ω	0,1 Ω	0,1 Ω	
3.	Sisi Daya Isolasi -- Dari Pentanahan (Pengujian 100 VDC)	1 MΩ atau 100 μA	0,3 MΩ Atau 200 μA	10 μA	10 μA	15 μA	
	Tusukan Fasa						
4.	Tusukan Netral			10 μA	10 μA	20 μA	
	Daya ON			25 μA	25 μA	30 μA	
5.	Sisi Daya Bocoran-Ke-Pentanahan (POLARITAS NORMAL)			12 μA	12 μA	12 μA	
	Daya OFF			15 μA	15 μA	15 μA	
6.	Sisi Daya Bocoran-Ke-Pentanahan (POLARITAS DIBALIK)			85 μA	86 μA	88 μA	
	Diuji oleh:						
7.	Tanggal:			24 Apr 2010	24 Apr 2010	24 Apr 2010	
10.							

Frekuensi Pengujian Yang Disarankan:

- Peralatan Untuk Pasien Sensitif: satu kali sebulan sampai satu kali setahun.
- Peralatan Untuk Pasien Umum : satu sampai empat kali setahun

Gambar 12 Pengujian Peralatan Beroperasi Jaringan -- Tanpa Hubungan Pasien

(lanjutan)

Gambar 13 Pengujian Peralatan Dengan Hubungan Pasien

FORMULIR PENGUJIAN F-12

Instrumen Yang Disarankan:

- Monitor Sistem Kelistrikan;
- Alat Uji Kebocoran Jalur-Tegangan Pentanahan lengkap dengan Modul Adaptor Tahanan;
- Insulation Test Supply;
- Adaptor Lid Pasien

Pembuat : ABC Co.

Model : EKG.100

No. Kontrol : 510

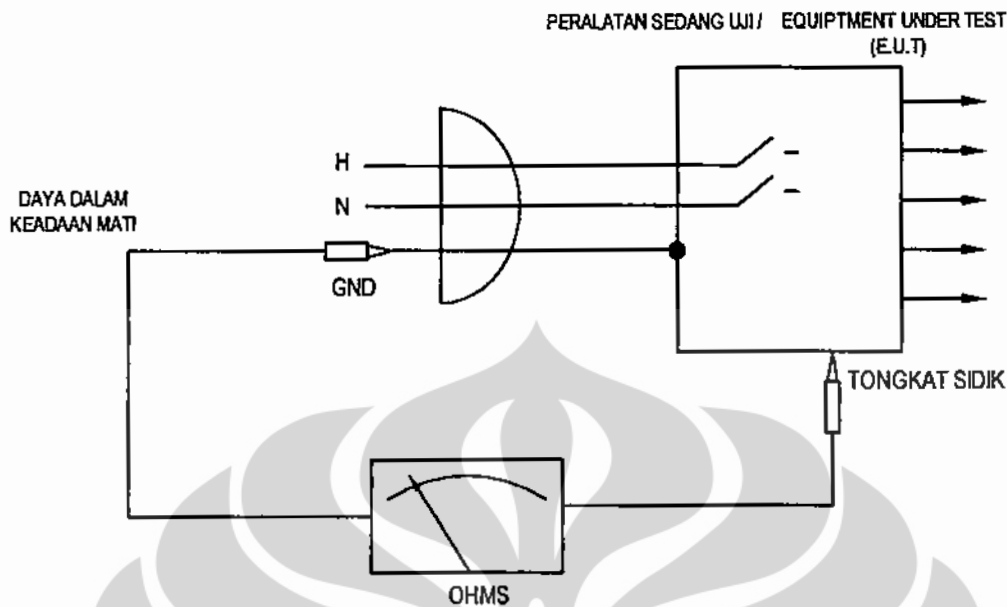
Lokasi : Tempat Tidur #3 ICU

No. Uji	JENIS PEKERJAAN	DIUJI OLEH:		1'10	2'10	3'10	4'10	5'10
		TANGGAL UJI	BATAS MAKS.					
1. Penyidikan Fisik		SPA	GPA	OK	OK	OK	OK	OK
2.	Tahanan Pentanahan antara Terminal Tanah dan Sangkar Logam	0,1 Ω	0,5 Ω	0,1	0,1	0	0	0
3.	Bocor ke Pentanahan	Sangkar Logam	10 mV	2 μA	2 μA	2 μA	2 μA	2 μA
	Polaritas NORMAL	Lid Acuan	10 μA	50 μA	50 μA	50 μA	50 μA	50 μA
4.	Power ON	Lid Sinyal	10 μA	25 μA	25 μA	25 μA	25 μA	25 μA
		Sangkar Logam	100 μA	100 μA	100 μA	100 μA	100 μA	100 μA
5.	Bocoran ke Pentanahan	Lid Acuan	10 μA	25 μA	25 μA	25 μA	25 μA	25 μA
	Polaritas DIBALIK	Lid Sinyal	10 μA	50 μA	50 μA	50 μA	50 μA	50 μA
6.	Power ON	Sangkar Logam	100 μA	100 μA	100 μA	100 μA	100 μA	100 μA
		Lid Acuan	10 μA	50 μA	50 μA	50 μA	50 μA	50 μA
7.	Bocor Di Atas Pentanahan - Polaritas Normal/Dibalik - Power ON	Lid Sinyal	10 μA	35 μA	35 μA	35 μA	35 μA	35 μA
		Sangkar Logam	100 μA	100 μA	100 μA	100 μA	100 μA	100 μA
8.	Sisi Daya	Tusukan Fasa	Di atas 1 MΩ	3 μA	3 μA	3 μA	3 μA	3 μA
	Isolasi dari Pentanahan (210 VDC)	Tusukan Netral	Di atas 1 MΩ (100 μA)	50 μA	50 μA	50 μA	50 μA	50 μA
9.	Sisi Pasien	Polaritas Normal	Di atas 6 MΩ	2 μA	2 μA	2 μA	2 μA	2 μA
	Isolasi dari Pentanahan (220 VAC)	Polaritas Terbalik	Di atas 1,2 MΩ (100 μA)	2 μA	2 μA	2 μA	2 μA	2 μA

Keterangan:*) juga cek bocoran di posisi ini dengan saklar daya dalam posisi OFF. Rekam nilai pembacaan tertinggi.

Bocoran tinggi. Gantarkan Pentanahan Cadangan di ICU

Bocoran tinggi. Gantarkan Pentanahan Cadangan di ICU



Gambar 11 Rangkaian Pengujian Tahanan Pentanahan

C. Pengujian Arus Bocor (Formulir Uji F-12 dan F-22, Gambar 12 dan 13)

Semua arus yang tidak diinginkan untuk mengalir biasanya disebut sebagai arus bocor (bocoran arus). Arus bocor, laksana friksi di rangkaian mekanik, selalu lekat dengan rangkaian listrik peralatan. Arus ini utamanya terdiri dari dua komponen yaitu resistif dan kapasitif. Kedua komponen ini memiliki kemampuan yang sama dalam menimbulkan bahaya kelistrikan bagi pasien. Perbedaannya dapat terbaca dengan melakukan pengukuran arus searah (DC) untuk mengukur komponen resistif saja. Komponen kapasitif biasanya berubah sedikit terhadap waktu dan merupakan fungsi dari beberapa komponen fisik yang terpisah, seperti panjang penghantar, bahan dielektrik yang digunakan untuk isolasi kabel daya atau transformator, dll.

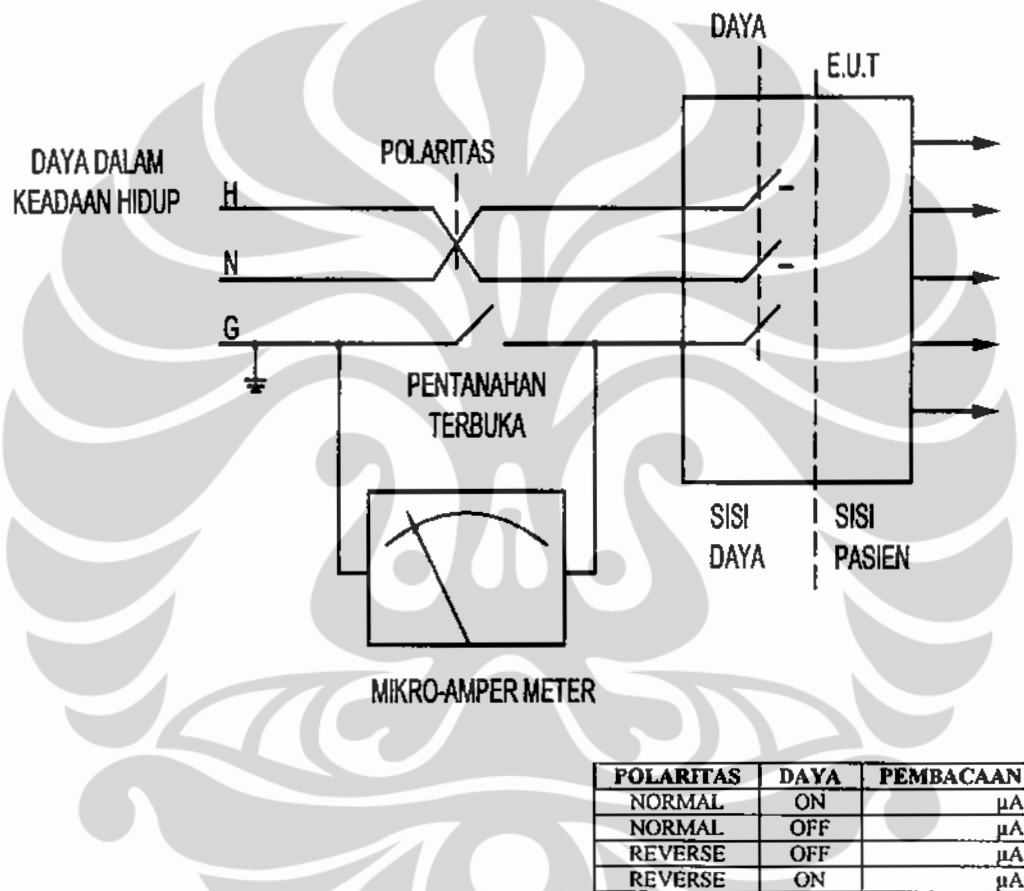
Arus bocor yang terkendali tidak menimbulkan bahaya karena dapat dibuang ke sistem pentanahan melalui penghantar pentanahan (kabel kuning garis hijau) kabel catuan-daya. Arus bocor, idealnya, terutama pada semua peralatan yang sedang beroperasi sebaiknya ditekan serendah mungkin sehingga keberadaannya dapat diabaikan saat melalui pasien jika jalur pentanahan terbuka. Kumulasi arus bocor juga dapat menyebabkan meningkatnya perbedaan tegangan antar terminal pentanahan kotak-catuan daya.

Terdapat tiga tipe dasar pengujian arus bocor:

(lanjutan)

- 1) Sisi Daya – Bocoran-ke-Pentanahan,
- 2) Sisi Pasien – Bocoran-ke-Pentanahan,
- 3) Sisi Pasien – Bocoran di Atas Pentanahan.

Arus bocor adalah penting untuk direkam dalam kaitannya sebagai indikator penurunan dan kemungkinan arus maksimum yang diperbolehkan mengalir melalui pasien.



Gambar 14 Rangkaian Pengujian Bocoran ke Pentanahan – Sisi Daya

Instrumentasi Yang Disarankan

- Untuk semua pengujian Arus Bocor: alat ukur arus bocor untuk mengukur komponen AC dan DC melalui 500 atau 1000 Ω , range minimum, dari beberapa μA sampai 500 μA ,
- Monitor Bocoran Jalur-Tegangan Pentanahan, atau
- Monitor Sistem Kelistrikan,
- Adaptor Lid Pasien .

1. Sisi Daya: Bocoran-ke-Pentanahan

Seperti terlihat dalam rangkaian uji Gambar 14, Penghantar berisolasi kuning garis hijau terbuka di sisi daya dan pembacaan diambil pada posisi polaritas NORMAL dan REVERSE dengan saklar Daya ON dan OFF. Lihat Formulir Uji F-12 dan F-22. Sebagai patokan, bocoran NORMAL dan REVERSE dapat saja agak berbeda dan keduanya terikat atas pengaturan fisik dalam peralatan dan macam transformator unit tersebut dibelit. Kalau digunakan saklar kutub-ganda, dengan saklar Daya OFF, bocoran terminal jalur peralatan juga terekam.

Peralatan yang memiliki hubungan dengan pasien memerlukan urutan pengujian dengan penangkal tingkat kemungkinan bahaya dengan sisi pasien dalam kasus penghantar pentanahan terbuka. Pembacaan sisi daya direkam di bawah kolom Sangkar Logam pada Formulir Uji F12. Secara berkala, disarankan untuk menguji bocoran dengan Saklar Daya OFF selama Uji Kebocoran No. 4 dan [^] (ditandai dengan lambang asteriks di formulir uji yang sama).

Prosedur Pengujian

Masukkan alat ukur kebocoran secara seri dengan penghantar pentanahan kuning garis hijau dan ambil semua pembacaan arus bocor dalam urutan yang ditunjukkan dalam Formulir Uji F-12 dan F-22 (Gambar 12 dan 13). Untuk persiapan pengujian dapat dilihat Gambar 14. Catat urutan Daya ON, OFF, ON dengan pengukuran yang hati-hati untuk menghindari pembalikan polaritas selama peralatan dialiri daya. Rekam data uji pada Formulir F-22 pada nomor uji 5 sampai 8 untuk peralatan tanpa lid pasien atau tidak ada hubungan dengan pasien; dan pada Formulir F-12 untuk peralatan yang memiliki hubungan dengan pasien, pada nomor uji 4 dan 6 di bawah kolom Sangkar Logam.

2. Sisi Pasien: Bocoran-ke-Pentanahan

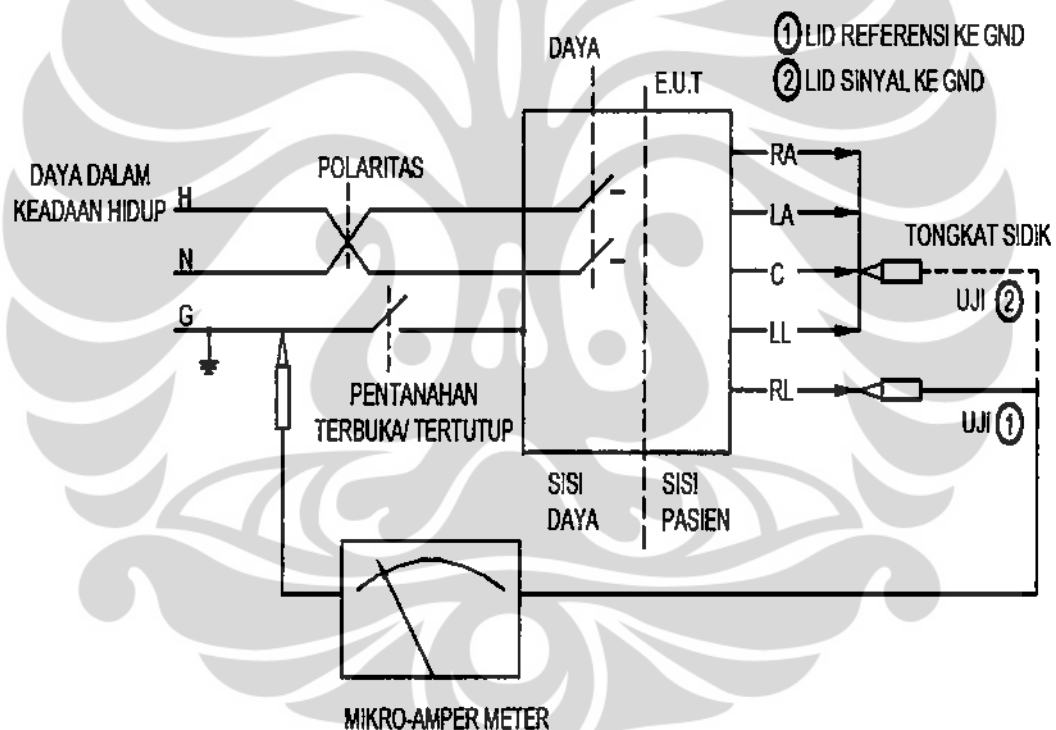
Pengujian ini mengecek adanya kombinasi jalur bocoran dari lid pasien secara individual atau terinter-koneksi ke pentanahan selama kondisi pada sisi pasien dan sisi daya bervariasi.

(lanjutan)

Prosedur Pengujian

Persiapan pengujian diperlihatkan oleh Gambar 15. Rekam semua pembacaan pada Formulir Uji F-12. Lakukan pengujian ini dalam bentuk simulasi penggunaan.

Pertama, cek arus bocor Lid Acuan (*Reference Lead – R_L*) secara terpisah. Pada beberapa unit lawas, lid ini kemungkinan tertanahkan atau mengandung komponen DC padanya. Dalam beberapa kasus, lid acuan sangat diisolasi penuh atau kemungkinan hanya memiliki tahanan 100.000 Ω di atas pentanahan. Rekam data uji. Ikat lid-lid sinyal menjadi satu (untuk kenyamanan dapat digunakan Adaptor Lid Pasien) dan ukur bocoran-ke-pentanahan selama pemutaran saklar pemilih dan rekam pembacaan tertinggi.



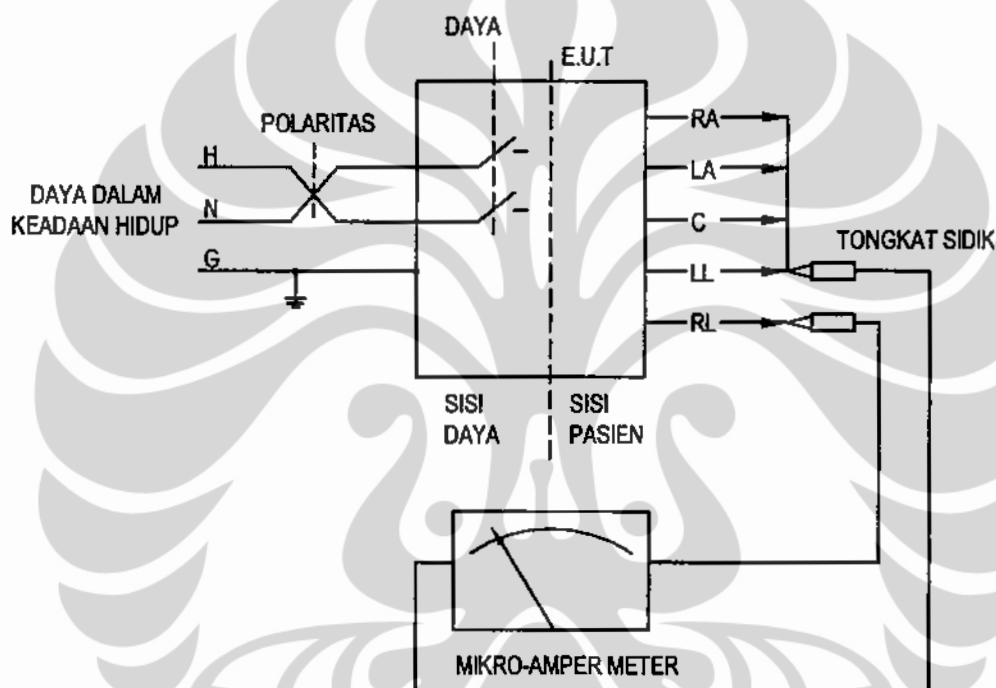
Gambar 15 Rangkaian Pengujian Bocoran ke Pentanahan – Sisi Pasien

3. Sisi Pasien: Bocoran-Atas-Pentanahan

Adalah mungkin memperoleh nilai bocoran-ke-pentanahan yang rendah tetapi tetap mengalami arus-kalang yang melalui pasien sehingga hanya sebuah batu baterai atau transformator berisolasi saja dapat menyebabkan kejutan listrik tanpa harus terhubung dengan pentanahan. Sebagai sebuah contoh: komponen yang cacat produksi pada masukan sebuah rangkaian penguat diferensial di alat elektrokardiografi dapat

(lanjutan)

menghasilkan aliran arus atas pentanahan. Untuk pengukuran arus atas pentanahan, isolasi yang baik dari pentanahan kotak-catuan daya sangat diperlukan. Alat ukur arus bocor beroperasi listrik atau baterai mungkin diperlukan. Periksa kondisi meter isolasi dari pentanahan sebelum menyelenggarakan pengujian ini. Hubungkan lid merah sisi atas ke saluran tegangan 220 VAC (tidak ada hubungan ke lid uji hitam) Untuk pembacaan meter isolasi yang baik adalah nilai di bawah $6 \mu\text{A}$ yang berkoresponden dengan $20 \text{ M}\Omega$.



Gambar 16 Rangkaian Pengujian Bocoran Ke Atas Pentanahan – Sisi Pasien

Prosedur Pengujian

Cek elektroda pasien dari kemungkinan arus bocor antara pasangan-pasangan lid pasien atau pada setiap lid tunggal dengan yang lainnya. Prosedur pengujian untuk EKG diperlihatkan Gambar 16. Putar saklar pemilih lid ke semua posisi selama pembacaan dilakukan. Juga cek bahwa polaritas tidak menimbulkan efek arus bocor. Rekam pembacaan meter tertinggi di Kolom 7 pada Formulir Uji F-12.

D. Pengujian Isolasi (Formulir Uji F-12 dan F-22)

Pengujian ini mengindikasikan apakah sisi daya atau sisi pasien, dan beberapa

(lanjutan)

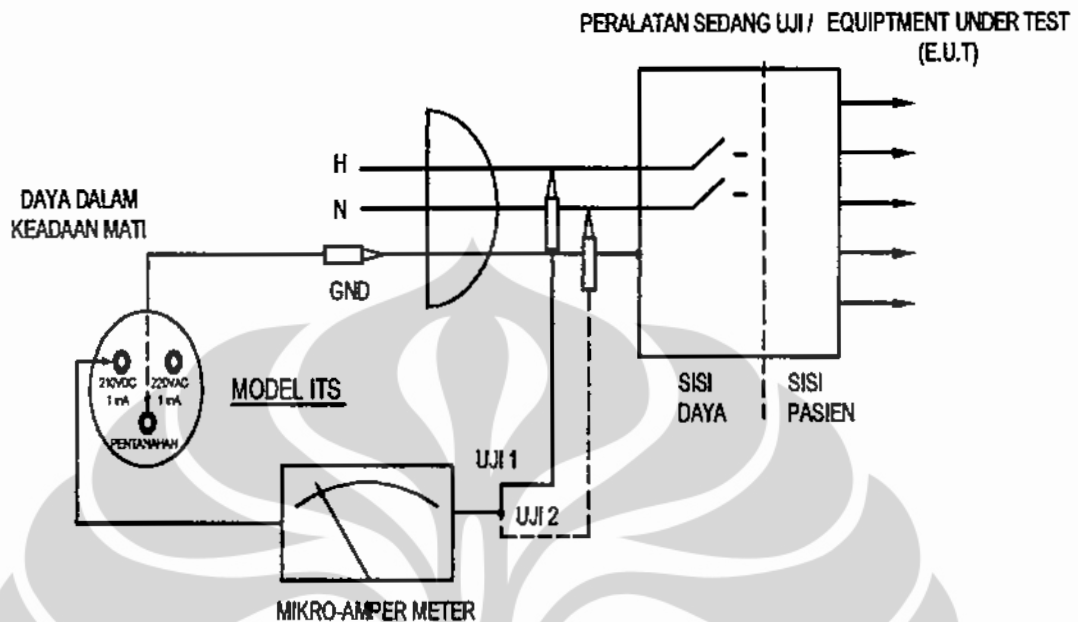
permukaan tak ditanahkan secara cukup terisolasi dari pentanahan di bawah semua kondisi.

1. Tahanan Isolasi – Sisi Daya (Gambar 17)

Sebelum memulai pengujian arus bocor, merupakan langkah yang baik untuk mengecek tahanan isolasi DC antara fasa-ke-pentanahan dan netral-ke-pentanahan. Secara umum, adalah jauh lebih mudah untuk menandai pemburukan dan bakal gangguan dengan pengukuran DC pada motor tempat tidur, transformator, dll. Kepentingan lain dari pengujian ini adalah memeriksa bahwa tidak ada gangguan kasat terjadi di peralatan, semacam: netral yang terhubung ke pentanahan. Untuk isolasi yang baik, pembacaan tahanan sebaiknya bernilai sedikitnya 1 M Ω untuk peralatan yang digunakan di area Pasien Sensitif.

Instrumentasi Yang Disarankan

- Megaohm meter DC yang memiliki kemampuan menghasilkan paling sedikit 210 VDC di sekitar daerah bertahanan 1 M Ω dengan resolusi yang baik dari 200 k Ω sampai 10 M Ω ,
- Megaohm meter, atau
- Monitor Sistem Kelistrikan yang dilengkapi dengan Alat Uji (*Tester*) Isolasi Suplai Daya (*Insulation Test Supply – ITS*).



Gambar 17 Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi – Sisi Daya

Prosedur Pengujian

Hidupkan saklar daya Peralatan Sedang Uji (*Equipment Under Test* – EUT). Kemudian, hubungkan salah satu sisi alat ukur ke terminal pentanahan kontak-tusuk kabel catuan daya, sentuh tusukan netral dan kemudian tusukan fasa dengan tangkai penyidik lainnya. Rekam pembacaan meter dalam mega ohm atau mikro ampere. Pembacaan tahanan harus di atas $1\text{ M}\Omega$ di area CCU. Jika pembacaan di bawah $1\text{ M}\Omega$, pertama kali cek isolasi dari kabel jaringan setelah mematikan saklar daya di EUT dan bersihkan bagian dalamnya atau carilah komponen penyebab buruknya isolasi. Lihat Gambar 17 untuk persiapan pengujian. Rekam data dalam orde megaohm atau pembacaan dalam skala mikroampere yang berkorespondensi (dengan sumber 210 VDC, $1\text{ M}\Omega$ berkorespondensi dengan arus $100\text{ }\mu\text{A}$).

2. Impedansi Isolasi-ke-Pentanahan – Sisi Pasien (Lihat Gambar 18)

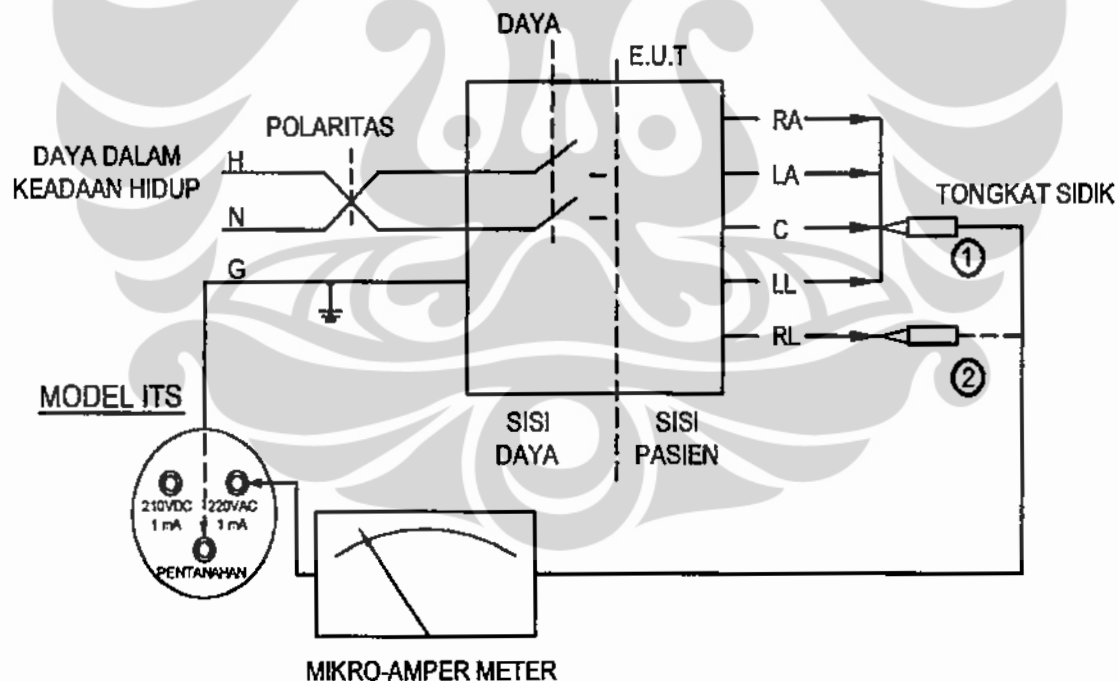
Kebanyakan ranjang listrik dan peralatan monitoring beroperasi-jaringan dilengkapi dengan isolasi tersendiri di bagian Sisi Pasien. Isolasi ini dapat diterapkan dengan berbagai cara teknik isolasi, kebanyakan menggunakan transformator daya. Transformator ini memiliki isolasi yang baik, oleh karenanya, jalur arus bocoran yang

(lanjutan)

terjadi ke pentanahan kecil saja (biasanya: di bawah $10 \mu\text{A}$). Gambar 18 berkoresponden dengan nilai impedansi isolasi $22 \text{ M}\Omega$ (jika kita membagi dengan nilai tegangan saluran daya 220 VAC dengan arus $10 \mu\text{A}$). Pengujian berikut bertujuan untuk mengecek penurunan pada isolasi lid monitoring dan hubungan-hubungan kelistrikan lainnya pada sisi pasien sebelum menyelenggarakan pengujian arus bocor. Impedansi isolasi yang baik untuk setiap lid adalah $6 \text{ M}\Omega$ untuk peralatan yang digunakan di area Pasien Sensitif. Gambar 18 ini juga berkoresponden dengan nilai arus bocor $20 \mu\text{A}$ pada saluran daya yang bertegangan 220 volt . Arus bocor untuk setiap lid kemudian dijumlahkan. Total arus bocor ini harus dijaga serendah mungkin.

Instrumentasi Yang Disarankan

- Monitor Jalur Bocor-Tegangan Pentanahan, atau
- Monitor Sistem Kelistrikan dengan dilengkapi alat Uji Isolasi Suplai Daya (*Insulation Test Supply – ITS*)



Gambar 18 Rangkaian Pengujian Impedansi ke Pentanahan – Sisi Pasien

Prosedur Pengujian

Hubungkan tegangan 220 volt melalui sebuah tahanan pembatas arus $100 \text{ k}\Omega$ yang seri dengan ampere-meter, atau bila ada gunakan alat uji isolasi suplai daya khusus.

(lanjutan)

Persiapan pengujian ditunjukkan oleh Gambar 18. Selama pengujian ini, Peralatan EUT sudah dalam keadaan terpasok daya. Dalam persiapan pengujian, sisi fasa dari jalur mengalir melalui resistor pembatas dihubungkan ke salah satu ujung dari mikroampere-meter AC, sedangkan ujung lainnya dari alat ukur ini dihubungkan ke semua lid sinyal diikat menjadi satu rumpun. Putar saklar pemilih untuk pembacaan tertinggi dari lid sinyal ① dan lid acuan ②. Pembacaan dalam megaohm diambil dengan membagi tegangan saluran dengan pembacaan arus dalam mikroampere, sebagai contoh $2\text{ M}\Omega$ berasal dari $220\text{ volt}/120\text{ }\mu\text{A}$, dst. Rekam data ini dalam Formulir Uji F-12, Nomor Uji 9.

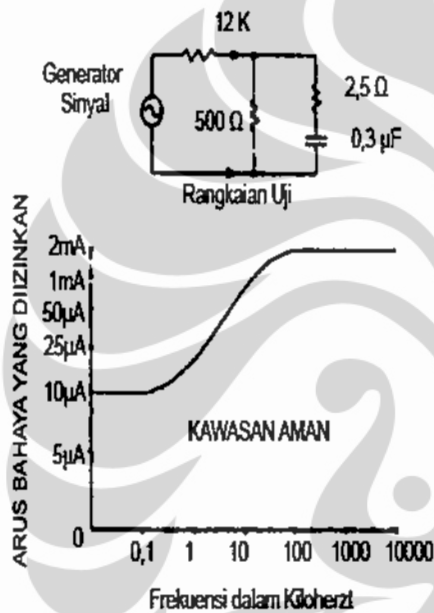
E. Model Arus Bocor Peralatan Lainnya

Adalah hal yang mungkin, terjadi sengatan listrik dari peralatan yang sedang beroperasi (berintegrasikan dengan jaringan daya) tanpa terjadi sentuhan langsung dengan permukaan logamnya yang terekspos. Peralatan dapat menghasilkan arus bocor dan membentuk jalur konduktif yang disebabkan oleh sangkar yang terbuat dari material plastik yang bersifat konduktif-parsial atau karena cipratan cairan atau karena kelembaban tinggi di ranjang pasien.

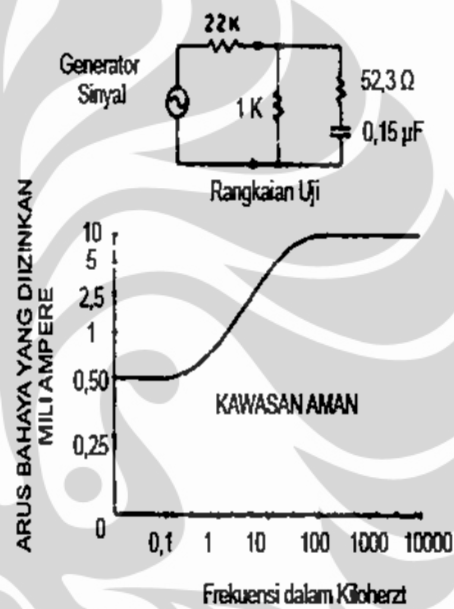
Pengujian menjadi perlu dalam rangka menelaah kondisi semacam ini, khususnya pada ranjang listrik pasien atau pada peralatan listrik yang sangkarnya terbuat dari plat plastik. Untuk melakukan pengujian ini, gunakan bantuan lembaran logam (seperti plat alumunium) atau bila permukaan non logam tersebut tidak rata, gunakan kertas alumunium (*aluminium foil*). Plat atau kertas alumunium tersebut membentuk simulasi kontak dengan tubuh manusia. Sebagai contoh: untuk menguji ranjang listrik pasien di bawah kondisi basah, letakkan lembaran alumunium (sekitar ukuran $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$) di atas ranjang/ Jika arus bocor teramati, nilai rata-rata pembacaan arus bocor yang terukur pada plat ini harus dikalikan untuk merefleksikan area kontak pasien dengan ranjang, untuk sampai pada total kemungkinan bahaya terhadap pasien.

BAGIAN 4
PENGUJIAN ARUS FREKUENSI TINGGI
(HIGH FREQUENCY CURRENTS TESTING)

Energi frekuensi tinggi yang tidak diinginkan keberadaannya dapat menyebabkan arus bocor mengalir. Arus-arus bocor ini bisa dihasilkan oleh peralatan elektrosurgeri, perangkat diatermis, alat hiburan pasien/pengunjung seperti televisi, atau dari beberapa peralatan lain yang digunakan di rumah sakit.



Gambar 19 Kurva Arus Risiko Untuk Pasien Sensitif



Gambar 20 Kurva Arus Risiko Untuk Pasien Umum dan Staff

Sensitifitas tubuh manusia terhadap arus listrik bervariasi dengan frekuensi. Pada peningkatan frekuensi, tubuh dapat mentoleransi lebih banyak arus. Gambar 19 dan 20 memperlihatkan kurva Risiko Arus Tipe A dan Tipe B sesuai dengan standar yang dikeluarkan oleh *Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI)*. Kurva Tipe A mengindikasikan efek frekuensi bagi pasien yang memiliki hubungan langsung ke jantung (pasien sensitif) dan kurva Tipe B adalah untuk pasien umum. Kurva Tipe A digunakan hanya jika pasien memiliki konduktif kelistrikan ke jantungnya. Kita melihat dari kurva Tipe A ini bahwa di atas 200 kHz, arus 2 mA dapat memiliki efek yang sama pada jantung manusia dengan arus sekecil 10 μ A pada frekuensi 50 Hz. Untuk kasus yang sama pada kurva Tipe B, arus di atas 20 kHz, arus 10 mA memiliki efek yang sama dengan arus

(lanjutan)

500 μA pada frekuensi 50 Hz. Untuk elektroda yang disisipkan di bawah kulit dan selama elektro-surgeri, kurva Tipe B yang digunakan. Untuk mengukur arus frekuensi tinggi yang berpotensi bahaya atau untuk melaksanakan pengujian keselamatan okupasi saat ini sudah tersedia di pasaran alat uji yang disebut *Electrical Safety Meter*.



BAGIAN 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

- 1) Bahaya kelistrikan di lingkungan pasien dapat diminimalisasi dengan program perawatan preventif dan pengujian keselamatan kelistrikan yang terdesain dengan baik.
- 2) Besaran kelistrikan yang masuk dalam kategori 'dapat diterima' bervariasi karena beberapa faktor, dan tidak ada permufakatan yang bulat di antara agen-agen pembuat standar, oleh karenanya perancangan yang disesuaikan dengan kondisionalitas yang ada adalah solusinya.
- 3) Angka-angka dan langkah-langkah dalam manual instruksi ini dapat dijadikan pedoman untuk penyusunan peraturan pemerintah tentang listrik medik, tetapi program terjadwal pengujian keselamatan kelistrikan yang ditawarkan manual instruksi ini adalah 'asuransi' terbaik melawan kecelakaan kelistrikan.
- 4) Standar-standar pengujian-keselamatan kelistrikan menyediakan sebuah contoh model program yang dapat dibangun melalui upaya bersama para administrator perusahaan yang sadar akan keselamatan kerja dengan para ahli teknik biomedika/teknik klinis. Salah satu standar dapat direproduksi dari hasil penelitian ini dan disajikan dalam lampiran.
- 5) Pengujian kualitatif manual instruksi terbukti berkualifikasi sangat handal, luas cakupan ujinya, lengkap pengujiannya, dan mampu diterapkan di kondisi pelayanan kesehatan di Indonesia, salah satu hal penting yang mendukungnya adalah perancangan yang didasarkan uji kondisionalitas kelistrikan di sarana pelayanan kesehatan itu sendiri.
- 6) Subyek dari bahaya kelistrikan di fasilitas medis adalah hal yang kontroversial. Kenyataan bahwa bahaya ini ada memang telah diakui; tetapi kontroversinya adalah:
 - a) ketidakjelasan definisi dari seperti apakah bahaya itu berwujud dan bagaimana pengukuran sebaiknya dilakukan untuk mereduksinya, dan
 - b) pendekatan relatif dari berbagai variasi metode yang ditawarkan yang mengklaim dapat mengontrol bahaya kelistrikan.

5.2. Saran

Keselamatan kelistrikan menuntut penyidikan yang rutin oleh personalia yang berkualifikasi untuk meyakinkan bahwa penghantar pentanahan dari semua instrumen sisi pasien tetap utuh dan terhubung dengan kontak-catuan daya tipe tempel-dinding yang telah tertanahkan dengan baik. Dokter, perawat, dan personil medis lainnya sebaiknya segera melaporkan suatu situasi yang berpotensi menimbulkan bahaya kelistrikan. Hal ini menyangkut pengamatan yang ringan saja sebenarnya seperti: isolasi kabel daya yang pecah, kontak-tusuk kabel catuan-daya yang tampak kendor menempelnya di kotak-catuan daya tipe tempel-dinding, kontak-tusuk yang tusukannya bengkok, atau kabel yang tampak hangus. Tidak perlu mengatakan, bila terdapat instrumen atau alat medis listrik yang menghasilkan sengatan listrik ringan (*tingling sensation*) bila disentuh kemudian harus dilaporkan segera diperiksa.

Beberapa aturan keselamatan kelistrikan yang sebaiknya secara ketat diawasi adalah:

- 1) jangan membiarkan lantai dalam keadaan lembab atau basah di samping ranjang atau di sekitar peralatan listrik medis,
- 2) jangan pernah mengizinkan penggunaan peralatan listrik medis atau peralatan listrik non medis apa pun dengan menggunakan kontak-tusuk catuan daya dua kutub (*two-prong power plug*) selain dari tipe tiga kutub yang telah disepakati,
- 3) jangan pernah menggunakan adaptor kontak-tusuk (*adapter plug*) yang diperuntukkan bagi kotak-catuan daya tiga-celah pada kotak-catuan daya dua celah tipe tempel-dinding,
- 4) jangan menyentuh pasien secara bersamaan dengan instrumen elektronik apa pun.
- 5) jangan menyentuh pasien secara bersamaan dengan permukaan logam yang ditanahkan,
- 6) hindari penggunaan kotak-catuan daya perpanjangan (*extension cord*) semaksimal mungkin.

Saat bekerja di dekat pasien sensitif listrik (yaitu: pasien dengan perpanjangan penghantar listrik ke jantungnya), secara ketat amati peringatan-peringatan berikut:

- 1) jangan mengizinkan penggunaan monitor kardiak yang membumikan pasien secara langsung ke terminal pentanahan jalur daya (biasanya alat monitor kardiak tipe ini mengalirkan catuan pentanahannya melalui elektroda kaki-kanan),
- 2) gunakan sarung tangan karet saat memegang terminal alat picu jantung yang terbuka atau penghantar kateter,

(lanjutan)

- 3) jangan menyentuh pasien selama melakukan penyesuaian atau penyetelan instrumen elektronik apa pun,
- 4) jika alat picu jantung sementara tipe eksternal yang memiliki terminal yang terbuka, tempatkan alat ini pada sarung tangan bedah besar atau tutupi dengannya, hal ini mencegah kontak-kontak logam yang terbuka berhubungan secara tidak sengaja.

Kemudian sebagai saran untuk pengembangan alat:

- 1) beberapa rangkaian bantu pengujian dapat dipasangkan secara permanen di titik-titik pengujian/pengamatan kelistrikan, dibuat dalam bentuk modul yang kompak. Keluarannya dapat dimonitor secara terpusat di sebuah ruang monitoring utama,
- 2) keluaran ini dapat diubah ke bentuk digital dengan konverter analog ke digital sehingga dapat diolah dengan pemrosesan berbasis komputer. Saat ini tersedianya instrumen secara virtual dengan memanfaatkan perangkat lunak komputer seperti LabView® sehingga instrumen-instrumen fisik dapat digantikannya, selain itu dengan bentuk digital ini memungkinkan data-data kelistrikan dapat diintegrasikan ke sistem informasi medis pusat.

Pengujian Kualitatif Booklet Electrical Safety Test Procedures for Hospitals (ESTPH®)	FORM KIP-1
Kelompok Uji: Kehandalan Teknik Pengujian	

1. ESTPH® memiliki pengujian yang lengkap untuk mengurangi/mencegah *macroshock hazard* terhadap pasien, pengunjung dan staf R.S.?

	Tidak Lengkap	Cukup Lengkap	Tidak Terlalu Lengkap	Lengkap	Sangat Lengkap	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

2. ESTPH® memiliki pengujian yang lengkap untuk mengurangi/mencegah *microshock hazard* terhadap pasien, pengunjung dan staf R.S.?

	Tidak Lengkap	Cukup Lengkap	Tidak Terlalu Lengkap	Lengkap	Sangat Lengkap	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

3. ESTPH® memiliki pengujian yang lengkap untuk mengawasi keberadaan *high frequency current* yang berpengaruh terhadap beroperasinya alat medis listrik R.S.?

	Tidak Lengkap	Cukup Lengkap	Tidak Terlalu Lengkap	Lengkap	Sangat Lengkap	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

4. Pengujian pencegahan *macroshock hazard* ESTPH® memiliki pengujian yang tepat sasaran untuk peningkatan keselamatan kelistrikan R.S.?

	Tidak Tepat	Cukup Tepat	Tidak Terlalu Tepat	Tepat	Sangat Tepat	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

5. Pengujian pencegahan *microshock hazard* ESTPH® memiliki pengujian yang tepat sasaran untuk peningkatan keselamatan kelistrikan R.S.?

	Tidak Tepat	Cukup Tepat	Tidak Terlalu Tepat	Tepat	Sangat Tepat	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

(lanjutan)

6. Pengujian untuk pengamatan *high frequency current* ESTPH® memiliki pengujian yang tepat sasaran untuk peningkatan keselamatan kelistrikan R.S.?

	Tidak Tepat	Cukup Tepat	Tidak Terlalu Tepat	Tepat	Sangat Tepat	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	.....				

7. Secara teknis, pengujian pencegahan *macroshock hazard* ESTPH® memiliki kesesuaian dengan kondisi kelistrikan sarana di R.S. yang Anda kelola?

	Tidak Sesuai	Cukup Sesuai	Tidak Terlalu Sesuai	Sesuai	Sangat Sesuai	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	.....				

8. Secara teknis, pengujian pencegahan *microshock hazard* ESTPH® memiliki kesesuaian dengan kondisi kelistrikan sarana di R.S. yang Anda kelola?

	Tidak Sesuai	Cukup Sesuai	Tidak Terlalu Sesuai	Sesuai	Sangat Sesuai	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	.....				

9. Secara teknis, pengujian pengamatan *high frequency current* ESTPH® memiliki kesesuaian dengan kondisi kelistrikan sarana di R.S. yang Anda kelola?

	Tidak Sesuai	Cukup Sesuai	Tidak Terlalu Sesuai	Sesuai	Sangat Sesuai	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	.....				

10. Pengujian *macroshock hazard* ESTPH® memiliki ketertelusuran dengan standard internasional yang dirujuk?

	Tidak Tertelusur	Cukup Tertelusur	Tidak Terlalu Tertelusur	Tertelusur	Sangat Tertelusur	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	.....				

11. Pengujian *microshock hazard* ESTPH® memiliki ketertelusuran dengan standard internasional yang dirujuk?

	Tidak Tertelusur	Cukup Tertelusur	Tidak Terlalu Tertelusur	Tertelusur	Sangat Tertelusur	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	.....				

(lanjutan)

12. Pengujian pengamatan *high frequency current* ESTPH® memiliki ketertelusuran dengan standard internasional yang dirujuk?

	Tidak Tertelusur	Cukup Tertelusur	Tidak Terlalu Tertelusur	Tertelusur	Sangat Tertelusur	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

13. Pengujian pencegahan *macroshock* ESTPH® memiliki keamanan dalam penyelenggaraannya terhadap teknisi pelaksana maupun lingkungan tempat dilakukan pengujian di R.S.?

	Tidak Aman	Cukup Aman	Tidak Terlalu Aman	Aman	Sangat Aman	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

14. Pengujian pencegahan *microshock* ESTPH® memiliki keamanan dalam penyelenggaraannya terhadap teknisi pelaksana maupun lingkungan tempat dilakukan pengujian di R.S.?

	Tidak Aman	Cukup Aman	Tidak Terlalu Aman	Aman	Sangat Aman	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

15. Pengujian pengamatan *high frequency current* ESTPH® memiliki keamanan dalam penyelenggaraannya terhadap teknisi pelaksana maupun lingkungan tempat dilakukan pengujian di R.S.?

	Tidak Aman	Cukup Aman	Tidak Terlalu Aman	Aman	Sangat Aman	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

Silakan isi beberapa informasi umum tentang identitas Anda di bawah ini:
(INFORMASI INI AKAN DIJAGA KERAHASIAANNYA SECARA KETAT)

Jender

Laki-laki

Wanita

Rentang usia Anda?

Bawah 30 tahun

30-39 tahun

40-49 tahun

50-59 tahun

Atas 60 tahun

Jabatan Pekerjaan

Teknisi kelistrikan medis

Teknisi kelistrikan umum

Supervisor Bid. Teknik

Manajer Teknik

Lain-lain (Silakan Tulis) → _____

(lanjutan)

Tempat Pekerjaan

Anda bekerja di bagian:

Divisi Teknik

Umum

Lainnya

(Silakan Tulis) → _____

**Kuesioner yang telah diisi lengkap mohon diserahkan kembali kepada kami: -
Kuesioner ini sepenuhnya hanya untuk digunakan dalam rangka mengevaluasi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit (*Electrical Safety Test Procedures for Hospitals*) hasil rancang bangun kami dan kegiatan keilmiahan yang mendukungnya, dan dilakukan secara tertutup dan terbatas di lingkungan Program Studi Teknologi Biomedika Fakultas Pasca Sarjana Universitas.**



Pengujian Kualitatif Booklet Electrical Safety Test Procedures for Hospitals (ESTPH®)

**FORM
KIP-2**

Kelompok Uji: Kelengkapan Teknik Pengujian

16. ESTPH® mempertimbangkan kondisi tegangan kerja minimum di sarana R.S.?

	Tidak Memperti mbangkan	Cukup Memperti mbangkan	Tidak Terlalu Memperti mbangkan	Memperti mbangkan	Sangat Memperti mbangkan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

17. ESTPH® mempertimbangkan kondisi tegangan kerja maksimum di sarana R.S.?

	Tidak Memperti mbangkan	Cukup Memperti mbangkan	Tidak Terlalu Memperti mbangkan	Memperti mbangkan	Sangat Memperti mbangkan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

18. ESTPH® mempertimbangkan kondisi tegangan kerja rata-rata di sarana R.S.?

	Tidak Memperti mbangkan	Cukup Memperti mbangkan	Tidak Terlalu Memperti mbangkan	Memperti mbangkan	Sangat Memperti mbangkan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

19. ESTPH® mempertimbangkan kondisi faktor daya minimum kelistrikan sarana R.S.?

	Tidak Memperti mbangkan	Cukup Memperti mbangkan	Tidak Terlalu Memperti mbangkan	Memperti mbangkan	Sangat Mem	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

20. ESTPH® mempertimbangkan kondisi faktor daya maksimum kelistrikan sarana R.S.?

	Tidak Memperti mbangkan	Cukup Memperti mbangkan	Tidak Terlalu Memperti mbangkan	Memperti mbangkan	Sangat Memperti mbangkan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

(lanjutan)

21. ESTPH[®] mempertimbangkan kondisi faktor daya rata-rata kelistrikan sarana R.S.?

	Tidak Mempertim bankan	Cukup Mempertim bankan	Tidak Terlalu Mempertim bankan	Mempertim bankan	Sangat Mempertim bankan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

22. ESTPH[®] memperhitungkan nilai arus bocor minimum kelistrikan sarana R.S.?

	Tidak Memperhi tungkan	Cukup Memperhi tungkan	Tidak Terlalu Memperhi tungkan	Memperhi tungkan	Sangat Memperhi tungkan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

23. ESTPH[®] memperhitungkan nilai arus bocor maksimum kelistrikan sarana R.S.?

	Tidak Memperhi tungkan	Cukup Memperhi tungkan	Tidak Terlalu Memperhi tungkan	Memperhi tungkan	Sangat Memperhi tungkan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

24. ESTPH[®] memperhitungkan nilai arus bocor rata-rata kelistrikan sarana R.S.?

	Tidak Memperhi tungkan	Cukup Memperhi tungkan	Tidak Terlalu Memperhi tungkan	Memperhi tungkan	Sangat Memperhi tungkan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

25. ESTPH[®] mencakup pengukuran tahanan pentanahan minimum sistem pentanahan kelistrikan R.S.?

	Tidak Mencakup	Cukup Mencakup	Tidak Terlalu Mencakup	Mencakup	Sangat Mencakup	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

26. ESTPH[®] mencakup pengukuran tahanan pentanahan maksimum sistem pentanahan kelistrikan R.S.?

	Tidak Mencakup	Cukup Mencakup	Tidak Terlalu Mencakup	Mencakup	Sangat Mencakup	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

(lanjutan)

27. ESTPH® mencakup pengukuran tahanan pentanahan rata-rata sistem pentanahan kelistrikan R.S.?

	Tidak Mencakup	Cukup Mencakup	Tidak Terlalu Mencakup	Mencakup	Sangat Mencakup	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

28. ESTPH® mencakup pengukuran tegangan pentanahan minimum sistem pentanahan kelistrikan R.S.?

	Tidak Mencakup	Cukup Mencakup	Tidak Terlalu Mencakup	Mencakup	Sangat Mencakup	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

29. ESTPH® mencakup pengukuran tegangan pentanahan maksimum sistem pentanahan kelistrikan R.S.?

	Tidak Mencakup	Cukup Mencakup	Tidak Terlalu Mencakup	Mencakup	Sangat Mencakup	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

30. ESTPH® mencakup pengukuran tegangan pentanahan rata-rata sistem pentanahan kelistrikan R.S.?

	Tidak Tertelusur	Cukup Tertelusur	Tidak Terlalu Tertelusur	Tertelusur	Sangat Tertelusur	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o

Komentar _____

Silakan isi beberapa informasi umum tentang identitas Anda di bawah ini:
(INFORMASI INI AKAN DIJAGA KERAHASIAANNYA SECARA KETAT)

Jender

Laki-laki

Wanita

Rentang usia Anda?

Bawah 30 tahun

30-39 tahun

40-49 tahun

50-59 tahun

Atas 60 tahun

Jabatan Pekerjaan

Teknisi kelistrikan medis

Teknisi kelistrikan umum

Supervisor Bid. Teknik

Manajer Teknik

Lain-lain (Silakan Tulis) _____

(lanjutan)

Tempat Pekerjaan

Anda bekerja di bagian:

Divisi Teknik

Umum

Lainnya

(Silakan Tulis) →

.....

Kuesioner yang telah diisi lengkap mohon diserahkan kembali kepada kami: Kuesioner ini sepenuhnya hanya untuk digunakan dalam rangka mengevaluasi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit (*Electrical Safety Test Procedures for Hospitals*) hasil rancang bangun kami dan kegiatan keilmiahan yang mendukungnya, dan dilakukan secara tertutup dan terbatas di lingkungan Program Studi Teknologi Biomedika Fakultas Pasca Sarjana Universitas.



Pengujian Kualitatif *Booklet Electrical Safety Test Procedures for Hospitals (ESTPH®)*

**FORM
KIP-3**

Kelompok Uji: Keluasan Cakupan Teknik Pengujian

31. ESTPH® melakukan pengujian mekanik kotak-catuan daya (*receptacle*) instalasi listrik di sarana R.S. secara lengkap?

	Tidak Lengkap	Cukup Lengkap	Tidak Terlalu Lengkap	Lengkap	Sangat Lengkap	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

32. ESTPH® melakukan pengujian mekanik kabel catuan daya (*power cord*) instalasi listrik di sarana R.S. secara lengkap?

	Tidak Lengkap	Cukup Lengkap	Tidak Terlalu Lengkap	Lengkap	Sangat Lengkap	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

33. ESTPH® melakukan pengujian mekanik saklar instalasi listrik di sarana R.S. secara lengkap?

	Tidak Lengkap	Cukup Lengkap	Tidak Terlalu Lengkap	Lengkap	Sangat Lengkap	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

34. ESTPH® melakukan pengujian kualitas pengawatan tanah-tanah kotak catuan daya kelistrikan sarana R.S.?

	Tidak Melakukan	Cukup Melakukan	Tidak Terlalu Melakukan	Melakukan	Sangat Melakukan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

35. ESTPH® melakukan pengujian kualitas pengawatan tanah-netral kotak catuan daya kelistrikan sarana R.S.?

	Tidak Melakukan	Cukup Melakukan	Tidak Terlalu Melakukan	Melakukan	Sangat Melakukan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

36. ESTPH® melakukan pengujian polaritas pengawatan netral-tanah kotak catuan daya kelistrikan sarana R.S.?

	Tidak Melakukan	Cukup Melakukan	Tidak Terlalu Melakukan	Melakukan	Sangat Melakukan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

(lanjutan)

37. ESTPH[®] melakukan pengujian konduktifitas dan lingkungan yang mudah terbakar di sarana R.S.?

	Tidak Melakukan	Cukup Melakukan	Tidak Terlalu Melakukan	Melakukan	Sangat Melakukan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

38. ESTPH[®] melakukan pengujian Sistem Daya Terisolasi di sarana R.S.?

	Tidak Melakukan	Cukup Melakukan	Tidak Terlalu Melakukan	Melakukan	Sangat Melakukan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

39. ESTPH[®] melakukan pengujian sirkulasi udara dan kelembaban di area mudah terbakar yang terdapat sistem kelistrikan di sarana R.S.?

	Tidak Melakukan	Cukup Melakukan	Tidak Terlalu Melakukan	Melakukan	Sangat Melakukan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

40. ESTPH[®] melakukan pengujian tabanan pentanahan sistem pentanahan R.S. pada saat peralatan listrik beroperasi jaringan?

	Tidak Melakukan	Cukup Melakukan	Tidak Terlalu Melakukan	Melakukan	Sangat Melakukan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

41. ESTPH[®] melakukan pengujian arus bocor kelistrikan R.S. pada saat peralatan listrik beroperasi jaringan?

	Tidak Melakukan	Cukup Melakukan	Tidak Terlalu Melakukan	Melakukan	Sangat Melakukan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

42. ESTPH[®] melakukan pengujian isolasi kelistrikan R.S. pada saat peralatan listrik beroperasi jaringan?

	Tidak Melakukan	Cukup Melakukan	Tidak Terlalu Melakukan	Melakukan	Sangat Melakukan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

(lanjutan)

43. Menurut Anda ESTPH[®] mendasari perancangannya berdasarkan pengamatan efek arus frekuensi tinggi terhadap sistem kelistrikan di sarana R.S.?

	Tidak Mendasari	Cukup Mendasari	Tidak Terlalu Mendasari	Mendasari	Sangat Mendasari	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	<input type="radio"/>
Komentar	_____					

44. ESTPH[®] mencakup pengamatan terhadap bahaya arus frekuensi tinggi terhadap pasien sensitif listrik?

	Tidak Mencakup	Cukup Mencakup	Tidak Terlalu Mencakup	Mencakup	Sangat Mencakup	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	<input type="radio"/>
Komentar	_____					

45. ESTPH[®] mencakup pengamatan terhadap bahaya arus frekuensi tinggi terhadap pasien umum dan staf R.S.?

	Tidak Mencakup	Cukup Mencakup	Tidak Terlalu Mencakup	Mencakup	Sangat Mencakup	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	<input type="radio"/>
Komentar	_____					

**Silakan isi beberapa informasi umum tentang identitas Anda di bawah ini:
(INFORMASI INI AKAN DIJAGA KERAHASIAANNYA SECARA KETAT)**

Jender

- Laki-laki
Wanita

Rentang usia Anda?

- Bawah 30 tahun
30-39 tahun
40-49 tahun
50-59 tahun
Atas 60 tahun

Jabatan Pekerjaan

- Teknisi kelistrikan medis
Teknisi kelistrikan umum
Supervisor Bid. Teknik
Manajer Teknik

Lain-lain

(Silakan Tulis) → _____

Tempat Pekerjaan

Anda bekerja di bagian:

- Divisi Teknik
Umum
Lainnya (Silakan Tulis) → _____

(lanjutan)

Kuesioner yang telah diisi lengkap mohon diserahkan kembali kepada kami: Kuesioner ini sepenuhnya hanya untuk digunakan dalam rangka mengevaluasi prosedur pengujian keselamatan kelistrikan rumah sakit (*Electrical Safety Test Procedures for Hospitals*) hasil rancang bangun kami dan kegiatan keilmiahan yang mendukungnya, dan dilakukan secara tertutup dan terbatas di lingkungan Program Studi Teknologi Biomedika Fakultas Pasca Sarjana Universitas.



Pengujian Kualitatif *Booklet Electrical Safety Test Procedures for Hospitals (ESTPH®)*

**FORM
KIP-4**

Kelompok Uji: Kemampooterapan Teknik Pengujian

46. ESTPH® ini, di sarana yang Anda kelola, tersedia tenaga ahli yang dapat melakukan penyelenggaraannya secara lengkap?

	Tidak Tersedia	Cukup Tersedia	Tidak Terlalu Tersedia	Tersedia	Sangat Tersedia	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	.....				

47. ESTPH® ini, di sarana yang Anda kelola, tersedia/mampu menyediakan komponen utama pengujian yang disyaratkan oleh prosedur pengujian ini?

	Tidak Tersedia/mampu menyediakan	Cukup Tersedia/mampu menyediakan	Tidak Terlalu Tersedia/mampu menyediakan	Tersedia/mampu menyediakan	Sangat Tersedia/mampu menyediakan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	.....				

48. ESTPH® ini, di sarana yang Anda kelola, tersedia/mampu menyediakan instrumen ukur/pengamatan yang mendukung proses pelaksanaan pengujiannya?

	Tidak Tersedia/mampu menyediakan	Cukup Tersedia/mampu menyediakan	Tidak Terlalu Tersedia/mampu menyediakan	Tersedia/mampu menyediakan	Sangat Tersedia/mampu menyediakan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	.....				

49. ESTPH® ini, menurut Anda penyelenggaraannya mudah dan cepat dilakukan?

	Tidak Mudah/Cepat	Cukup Mudah/Cepat	Tidak Terlalu Mudah/Cepat	Mudah/Cepat	Sangat Mudah/Cepat	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	.....				

50. ESTPH® ini, penyelenggaraannya tidak mengganggu/merugikan (bahkan membahayakan) aktifitas pelayanan kesehatan yang sedang berlangsung di R.S.?

	Tidak Mengganggu	Cukup Mengganggu	Tidak Terlalu Mengganggu	Mengganggu	Sangat Mengganggu	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	.....				

(lanjutan)

51. ESTPH® ini, menurut Anda, penyelenggaraannya memungkinkan dilakukan dengan jumlah personil (teknisi) yang sedikit?

	Tidak Memungkinkan	Cukup Memungkinkan	Tidak Terlalu Memungkinkan	Memungkinkan	Sangat Memungkinkan	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

52. ESTPH® ini, menurut pengamatan Anda, spesifikasi teknis rangkaian ujinya sesuai dengan kondisi kelistrikan di sarana R.S. yang Anda kelola?

	Tidak Sesuai	Cukup Sesuai	Tidak Terlalu Sesuai	Sesuai	Sangat Sesuai	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

53. ESTPH® ini, menurut pengamatan Anda, proses-proses pengujian yang terdapat di dalamnya sesuai dengan permasalahan kelistrikan yang ada di R.S. yang Anda kelola dalam kaitannya dengan keselamatan pasien dan staf medis?

	Tidak Sesuai	Cukup Sesuai	Tidak Terlalu Sesuai	Sesuai	Sangat Sesuai	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

54. ESTPH® ini, menurut pengamatan Anda sangat pas dengan kondisi ketersediaan SDM dan instrumentasi di sarana R.S. yang Anda kelola?

	Tidak Pas	Cukup Pas	Tidak Terlalu Pas	Pas	Sangat Pas	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

55. Jika berangkat dari asumsi bahwa tersedia SDM dan instrumen yang disyaratkan oleh pengujian ini di sarana Anda, maka ESTPH® dapat dengan cepat diselenggarakan karena mudah persiapan penyelenggaraannya?

	Tidak Mudah Persiapan nya	Cukup Mudah Persiapan nya	Tidak Terlalu Mudah persiapan nya	Mudah Persiapannya	Sangat Mudah Persiapan nya	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	o
Komentar	_____					

(lanjutan)

56. Jika berangkat dari asumsi bahwa tersedia SDM dan instrumen yang disyaratkan oleh pengujian ini di sarana Anda, maka ESTPH[®] karena kepraktisannya dapat menghemat waktu penyelenggaraan pengujian?

	Tidak Hemat Waktu	Cukup Hemat Waktu	Tidak Terlalu Hemat Waktu	Hemat Waktu	Sangat Hemat Waktu	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	<input type="radio"/>
Komentar	.....				

57. Berdasarkan analisa profesionalisme Anda, hasil pengujian ESTPH[®] ini dapat diandalkan ketepatannya dalam menjamin tingkat keselamatan kelistrikan di R.S. yang Anda kelola?

	Tidak Tepat	Cukup Tepat	Tidak Terlalu Tepat	Tepat	Sangat Tepat	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	<input type="radio"/>
Komentar	.....				

58. Menurut Anda, rangkaian uji yang terdapat di setiap proses pengujian dalam ESTPH[®] dapat direalisasikan dengan biaya yang pantas sesuai dengan *budget* yang dianggarkan bagi unit Anda oleh R.S.?

	Tidak Pantas	Cukup Pantas	Tidak Terlalu Pantas	Pantas	Sangat Pantas	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	<input type="radio"/>
Komentar	.....				

59. Berdasarkan pengalaman Anda, instrumen pendukung yang disyaratkan proses pengujian dalam ESTPH[®] ini pengadaannya (bila belum tersedia) harganya pantas untuk dianggarkan bagi unit Anda oleh R.S.?

	Tidak Pantas	Cukup Pantas	Tidak Terlalu Pantas	Pantas	Sangat Pantas	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	<input type="radio"/>
Komentar	.....				

60. ESTPH[®] ini, menurut kemampuan analisa risiko Anda, secara keseluruhan memiliki kepantasan biaya yang baik untuk diselenggarakan?

	Tidak Pantas	Cukup Pantas	Tidak Terlalu Pantas	Pantas	Sangat Pantas	Tidak Tahu
Jawaban	1	2	3	4	5	<input type="radio"/>
Komentar	.....				

Silakan isi beberapa informasi umum tentang identitas Anda di bawah ini:
(INFORMASI INI AKAN DIJAGA KERAHASIAANNYA SECARA KETAT)

Jender
Laki-laki
Wanita