



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PERANCANGAN SISTEM SCADA PADA SISTEM
KELISTRIKAN UNIVERSITAS INDONESIA**

SKRIPSI

RYAN NOVEL

04 05 03 0702

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

JUNI 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PERANCANGAN SISTEM SCADA PADA SISTEM
KELISTRIKAN UNIVERSITAS INDONESIA**

SKRIPSI

**Diajukan untuk melengkapi
sebagian persyaratan menjadi sarjana teknik**

RYAN NOVEL

04 05 03 0702

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

JUNI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ryan Novel

NPM : 0405030702

Tanda Tangan : 

Tanggal : 17 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ryan Novel
NPM : 0405030702
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Perancangan Sistem Scada Pada Sistem
Kelistrikan Universitas Indonesia

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Budi Sudiarto ST, MT
Penguji : Prof. Dr. Ir. Iwa Garniwa M. K. MT
Penguji : Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy DEA



()
()
()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 2 Juli 2009

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Budi Sudiarto, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Dr Eko Adhi Setiawan, Aji Nur Widyanto S.T., MT., Pak Budi (pegawai rektorat) yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (3) orang tua dan saudara saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (4) rekan-rekan mahasiswa elektro lainnya yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 17 Juni 2009

Penulis

Ryan Novel

NPM. 0405030702

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

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

Nama : Ryan Novel
NPM : 0403030702
Program Studi : Elektro
Departemen : Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**ANALISA PERANCANGAN SISTEM SCADA PADA SISTEM
KELISTRIKAN UNIVERSITAS INDONESIA**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : Depok

Pada tanggal : 17 Juni 2009

Yang menyatakan



(Ryan Novel)

ABSTRAK

Nama : Ryan Novel
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisa Perancangan Sistem SCADA Pada Sistem Kelistrikan
Universitas Indonesia

Pada suatu sistem tenaga listrik dibutuhkan suatu sistem proteksi yang handal yang mampu mendeteksi gangguan dan kesalahan yang terjadi pada sistem tersebut. Dengan kemampuan sistem proteksi yang mampu mendeteksi dan menangani gangguan dengan cepat, maka kontinuitas suplai listrik akan terjaga. Sistem kelistrikan Universitas Indonesia yang berada di Depok mampu melayani kebutuhan daya dari 10 fakultas, dan diharapkan mampu menjaga penyaluran daya ketika terjadi gangguan agar kegiatan belajar mengajar, praktikum, ujicoba laboratorium maupun penelitian dapat berlangsung tanpa ada gangguan kelistrikan. Sistem SCADA merupakan suatu sistem proteksi yang mampu mengawasi dan mengontrol suatu sistem tenaga listrik agar mampu menjaga kontinuitas suplai daya ketika terjadi gangguan.

Kata kunci: SCADA, sistem kelistrikan UI

ABSTRACT

Name : Ryan Novel
Study Program : Electrical Engineering
Title : Analysis of Design of SCADA System on Electrical System in
University of Indonesia

Electrical power system needs a protection system that can be relies on which can detect any faults and any problems that happened in those system. In that case, the continuity of power supplies can be consisted. Power system in University of Indonesia has supplied more than 10 faculties in Depok, and hoped to keep supplying the power when a fault happened so the activities of studying and teaching, lab works, and research could be going on without any trouble from electrical system. SCADA system is protection system which can supervise and control a power system in order to keep the continuity of the power supplies when a fault happened.

Keywords : SCADA, Electrical System of University of Indonesia

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	1
1.3 Batasan Masalah	1
1.4 Metodologi Penelitian	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
2. SISTEM SCADA	4
2.1 Sistem SCADA	4
2.2 Fungsi Utama Sistem SCADA	5
2.3 Komponen SCADA	6
2.3.1 Pusat Kontrol	7
2.3.2 Media Komunikasi	8
2.3.2.1 Kabel kontrol.....	10
2.3.2.2 Radio	12
2.3.2.3 Serat optik	13
2.3.3 Remote Terminal Unit (RTU)	15
3. PERENCANAAN SISTEM SCADA PADA SISTEM KELISTRIKAN UNIVERSITAS INDONESIA	20
3.1 Sistem Kelistrikan Universitas Indonesia	20
3.2 Pengoperasian, Penanganan Gangguan dan Perawatan Sistem Kelistrikan Universitas Indonesia	25
3.3 Perencanaan Perancangan Sistem SCADA pada Sistem Kelistrikan UI	25
3.3.2 Perancangan Pusat Kontrol.....	26
3.3.2 Perancangan Media Komunikasi	33
3.3.3 Perancangan RTU.....	36
4. PERANCANGAN SISTEM SCADA PADA SISTEM KELISTRIKAN UNIVERISTAS INDONESIA	38
4.1 Perancangan Sistem SCADA	38

4.1.1 Perancangan Sistem SCADA dengan Pengontrolan pada Gardu <i>Middle Point</i>	38
4.1.2 Perancangan Sistem SCADA dengan Pengontrolan pada Semua Gardu.....	51
4.1.3 Perancangan Sistem SCADA dengan Serat Optik	59
4.2 Analisa Perbandingan Sistem	63
4.2.1 Perbandingan Sistem SCADA dengan Pengontrolan pada Gardu <i>Middle Point</i> dengan Pengontrolan Seluruh Gardu	63
4.2.2 Sistem SCADA dengan Serat Optik.....	66
5. KESIMPULAN	67
DAFTAR REFERENSI	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Infrastruktur sistem SCADA.....	4
Gambar 2.2 Konfigurasi sistem SCADA.....	6
Gambar 2.3 Aliran sistem telekomunikasi SCADA	9
Gambar 2.4 Susunan kelompok kabel kontrol	11
Gambar 2.5 Gabungan media komunikasi kabel dan radio	13
Gambar 2.6 Bagian-bagian dari serat optik.....	14
Gambar 2.7 Single-mode fibers	15
Gambar 2.8 Multi-mode fibers.....	15
Gambar 2.9 Arsitektur RTU	17
Gambar 3.1 Bagan jaringan tegangan menengah di UI	21
Gambar 3.2 Konfigurasi pusat kontrol.....	27
Gambar 3.3 Konfigurasi <i>point to point</i>	34
Gambar 3.4 Konfigurasi <i>multipoint to point</i>	35
Gambar 3.5 Konfigurasi <i>multipoint to star</i>	35
Gambar 3.6 Konfigurasi <i>partyline</i>	35
Gambar 3.7 Konfigurasi <i>loop</i>	36
Gambar 3.8 Konfigurasi gabungan	36
Gambar 4.1 Bagan jaringan TM di UI dan letak RTU pada rancangan pertama	44
Gambar 4.2 Skema SKTM UI-1	45
Gambar 4.3 Skema SKTM UI-8	45
Gambar 4.4 Skema SKTM UI-12	46
Gambar 4.5 Bagan jaringan TM di UI dan letak RTU pada rancangan kedua	52
Gambar 4.6 Skema SKTM UI-2	53
Gambar 4.7 Skema SKTM UI-3	53
Gambar 4.8 Skema SKTM UI-4	54
Gambar 4.9 Skema SKTM UI-5	55
Gambar 4.10 Skema SKTM UI-6	55
Gambar 4.11 Skema SKTM UI-7	56

Gambar 4.12 Skema SKTM UI-9	56
Gambar 4.13 Skema SKTM UI-10	57
Gambar 4.14 Skema SKTM UI-11	57
Gambar 4.15 Diagram sistem komunikasi digital.....	59
Gambar 4.16 Sistem SCADA dengan media komunikasi serat optik.....	60
Gambar 4.18 Beberapa peralatan media komunikasi serat optik.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pasangan Kabel Kontrol.....	12
Tabel 3.1 Daftar Peralatan di Gardu-gardu Universitas Indonesia	22
Tabel 3.2 Contoh Perhitungan Kapasitas I/O.....	24
Tabel 4.1 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-2.....	39
Tabel 4.2 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-4.....	40
Tabel 4.3 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-12.....	40
Tabel 4.4 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-5.....	40
Tabel 4.5 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-6.....	41
Tabel 4.6 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-3.....	41
Tabel 4.7 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-1.....	42
Tabel 4.8 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-11.....	42
Tabel 4.9 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-10.....	43
Tabel 4.10 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-9.....	43
Tabel 4.11 Tabel jumlah TM, TC, dan TS Rancangan 1	51
Tabel 4.12 Tabel jumlah TM, TC, dan TS Rancangan 2	58
Tabel 4.13 Tabel jarak antar RTU ke pusat kontrol.....	61
Tabel 4.14 Tabel daftar harga serat optik antar RTU ke pusat kontrol.....	62
Tabel 4.15 Perbandingan harga barang rancangan 1 dan rancangan 2	65

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada suatu sistem tenaga listrik dibutuhkan suatu sistem proteksi yang handal yang mampu mendeteksi gangguan dan kesalahan yang terjadi pada sistem tersebut. Hal tersebut diperlukan agar suplai energi listrik dapat dipertahankan dengan baik. Agar sistem proteksi yang dimiliki mampu menjaga pelayanan suplai tenaga listrik dengan baik, maka sistem proteksi harus memenuhi syarat : (1) *reliable*, (2) selektif, (3) sensitif, (4) memiliki waktu operasi yang cepat, (5) ekonomis dan sederhana.

Pada sistem distribusi terdapat masalah utama yaitu bagaimana mengatasi gangguan dengan cepat karena gangguan yang terbanyak dalam sistem tenaga listrik terdapat dalam sistem distribusi. Pada sistem kelistrikan yang ada di Universitas Indonesia diperlukan pula sistem kelistrikan yang handal agar penanganan gangguan dapat dilakukan secara cepat yaitu menggunakan sistem pengaturan proteksi jarak jauh yang mampu dioperasikan pada waktu yang cepat (*real time*).

Sistem SCADA merupakan sistem proteksi yang bekerja secara *real time* yang dapat dikendalikan dalam jarak jauh sehingga mampu dijadikan solusi dari permasalahan yang terjadi dalam sistem distribusi agar penanganan terhadap gangguan dapat dilakukan dengan cepat.

Untuk itu perlu dianalisa perancangan sistem SCADA pada sistem kelistrikan di Universitas Indonesia agar diperoleh suatu sistem yang mampu menjaga suplai energi listrik yang lebih ekonomis.

1.2 Tujuan

Menganalisa perancangan sistem SCADA pada jaringan kelistrikan UI agar mampu menjaga suplai energi listrik yang lebih ekonomis.

1.3 Batasan Masalah

Penulisan skripsi ini dibatasi oleh beberapa hal :

- Terbatas pada sistem kelistrikan UI

- Metode pengiriman data pada sistem SCADA tidak dibahas secara detail
- Jenis dan penyebab gangguan tidak dibahas secara detail
- Komponen sistem SCADA dijelaskan mengenai fungsi dan cara kerjanya saja.
- Perancangan meliputi variasi letak RTU dan serat optik sebagai media telekomunikasi untuk sistem SCADA tersebut.
- Pembahasan sistem yang dirancang tidak membahas perincian kerja rele proteksi.

1.4 Metodologi Penelitian

Pembahasan tentang perancangan sistem SCADA pada sistem kelistrikan UI tersebut dilakukan dengan studi pustaka dengan menggunakan beberapa buku referensi dan standar-standar kelistrikan yang ada di Indonesia.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan makalah skripsi ini dibagi menjadi 5 bab, yaitu

1. Bab 1 Pendahuluan

Pada bab ini dibahas tentang latar belakang permasalahan yang terkait dengan sistem SCADA pada sistem kelistrikan di Universitas Indonesia secara umum, tujuan, pembatasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan.

2. Bab 2 Sistem SCADA dan Sistem Kelistrikan Universitas Indonesia

Dasar teori tentang sistem SCADA dan komponen – komponen yang digunakan dalam sistem SCADA dan pengenalan sistem kelistrikan yang ada di Universitas Indonesia

3. Bab 3 Perancangan Sistem SCADA pada Sistem Kelistrikan

Universitas Indonesia

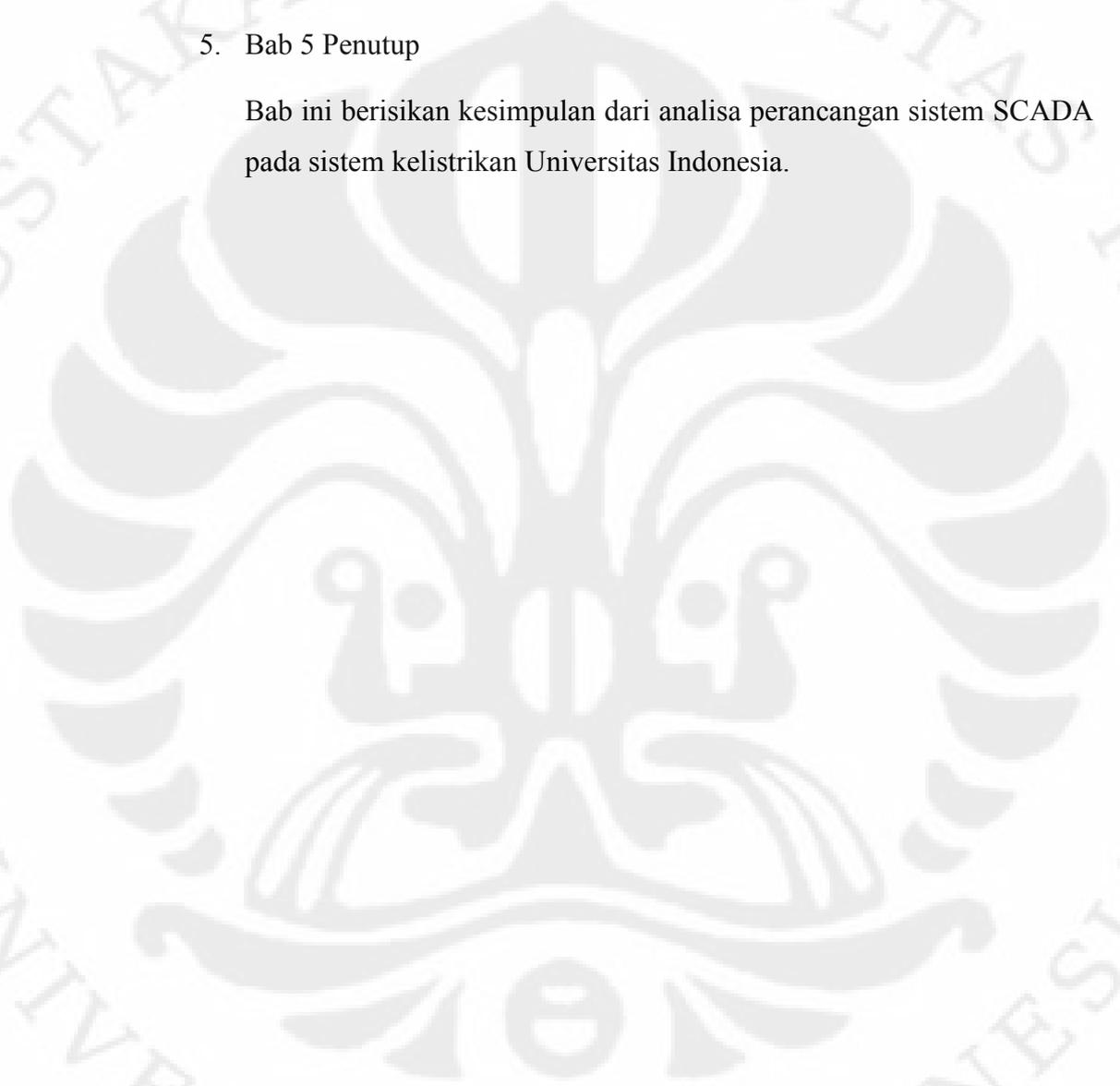
Bab ini berisi perancangan sistem SCADA pada sistem kelistrikan di Universitas Indonesia dengan pemaparan mengenai perancangan SCADA di sistem kelistrikan Universitas Indonesia.

4. Bab 4 Analisa Perbandingan Perancangan Sistem SCADA Pada Sistem Kelistrikan Universitas Indonesia

Pada bab ini dibahas keunggulan dan kekurangan masing-masing rancangan dan media komunikasi yang akan digunakan pada sistem SCADA di sistem kelistrikan Universitas Indonesia.

5. Bab 5 Penutup

Bab ini berisikan kesimpulan dari analisa perancangan sistem SCADA pada sistem kelistrikan Universitas Indonesia.



BAB 2

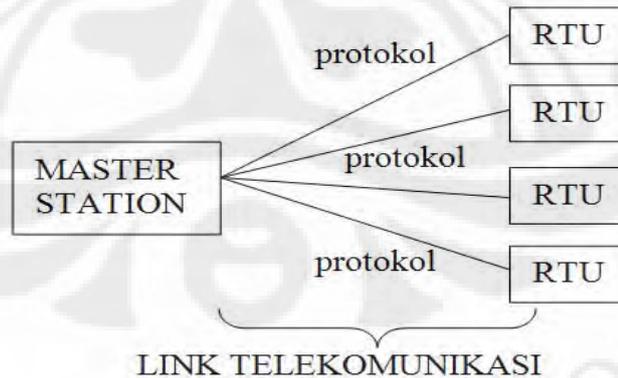
SISTEM SCADA

2.1 Sistem SCADA

Sistem SCADA merupakan singkatan dari *Supervisory Control And Data Acquisition*. Dari segi bahasa berarti sistem pengawasan atau pemantauan kontrol terhadap pengiriman dan penerimaan data pada suatu sistem tenaga listrik baik pada sisi pembangkit, transmisi maupun distribusi. Adanya sistem SCADA memudahkan operator untuk memantau keseluruhan jaringan tanpa harus melihat langsung ke lapangan. Sistem SCADA sangat dirasakan manfaatnya terutama pada saat pemeliharaan dan saat penormalan bila terjadi gangguan. Jadi secara umum SCADA adalah suatu sistem yang dapat mendeteksi secara segera dari suatu pusat kontrol apabila di suatu tempat terjadi gangguan yang berakibat pemadaman secara otomatis dengan berfungsi sebagai suatu *remote control*.

Sistem SCADA tidak dapat berdiri sendiri, namun harus didukung oleh berbagai macam infrastruktur, yaitu:

1. Telekomunikasi
2. *Master Station*
3. *Remote Terminal Unit*
4. Protokol Komunikasi



Gambar 2.1 Infrastruktur sistem SCADA

Media telekomunikasi yang umum digunakan adalah PLC (*Power Line Communication*), serat optik, dan radio link. Pada awalnya penggunaan radio link dan PLC banyak digunakan, terutama karena penggunaan PLC yang tidak

memerlukan jaringan khusus dan cukup menggunakan saluran transmisi tenaga listrik yang ada. Namun pada perkembangannya penggunaan PLC mulai beralih ke serat optik dikarenakan kecepatan bit per detik yang jauh di atas PLC. Pada kenyataannya ketiga media tersebut di atas digunakan secara bersama-sama, sebagai *main* dan *backup*. *Master station* merupakan kumpulan perangkat keras dan lunak yang ada di pusat kontrol (*control center*).

Agar dapat melakukan akuisisi data maupun pengontrolan sebuah gardu induk maka dibutuhkan suatu terminal yang dapat memenuhi persyaratan tersebut, yaitu *Remote Terminal Unit* (RTU). Penggunaan RTU berawal dari RTU dengan 8 bit, hingga sekarang telah dikembangkan RTU dengan 16 bit, bahkan sudah hampir menyerupai sebuah komputer. RTU tersebut harus dilengkapi dengan panel, *transducer*, dan *wiring*.

Pada masa lampau, RTU dikembangkan oleh produsen secara sendiri-sendiri, juga dengan protokol komunikasi yang tersendiri sehingga tidak ada standarisasi. Sebagai contoh ada RTU dengan protokol komunikasi HNZ, Indactive, dan sebagainya. Penggunaan protokol yang berbeda-beda ternyata menimbulkan masalah di kemudian hari ketika akan dilakukan penggantian. Hal ini dikarenakan produk lama sudah tidak diproduksi lagi, sedangkan produk baru sudah mengikuti standarisasi. Oleh karena itu dalam pembuatan maupun pengembangan sistem SCADA harus mengacu pada standar tersebut.

Saat ini telah disepakati standar untuk protokol komunikasi antara lain sebagai berikut:

1. IEC 60870-5-101
2. IEC 60870-5-102
3. IEC 60870-5-103
4. IEC 60870-5-104
5. IEC 60870-6
6. IEC 61850 (masih dalam pengembangan)

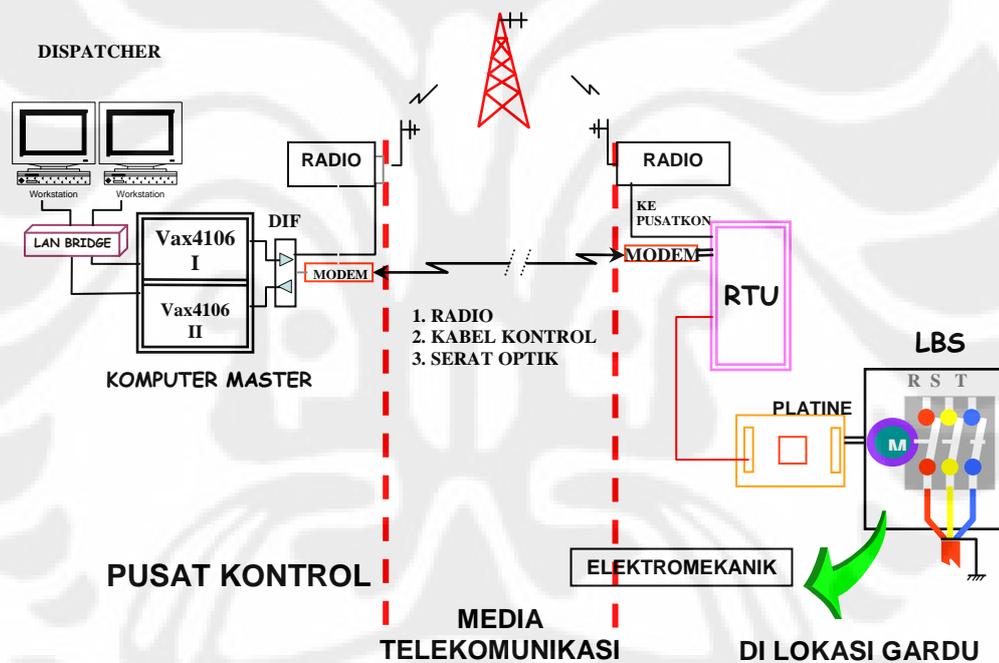
2.2 Fungsi Utama Sistem SCADA

Secara umum fungsi-fungsi utama Sistem SCADA adalah :

1. Mengakuisisi data atau memproses penerimaan data dari peralatan di lapangan

2. Mengonversi data-data dari lapangan ke dalam format standar yang selanjutnya diproses dan dianalisa untuk dilaporkan kepada operator.
3. Sebagai *supervisory control* yang memungkinkan operator untuk melakukan pengendalian pada peralatan-peralatan di lapangan
4. Sebagai *alarm* dan *event* untuk menginformasikan kepada operator bila ada perubahan di dalam sistem sebagai bentuk pengawasan.
5. *Tagging* yaitu operator dapat meletakkan informasi tertentu pada peralatan.
6. *Post Mortem review* yaitu membantu menentukan akibat pada sistem jika terjadi gangguan besar pada jaringan.

2.3 Komponen SCADA



Gambar 2.2 Konfigurasi sistem SCADA

Pada gambar 2.2 terlihat tiga bagian yang merupakan komponen penting dari sistem SCADA, yaitu:

1. Pusat kontrol.
2. Media telekomunikasi
3. RTU (*Remote Terminal Unit*)

2.3.1 Pusat Kontrol

Komponen utama SCADA yang terdapat di pusat kontrol adalah MTU (*Master Terminal Unit*) yang berupa komputer utama atau *server*. Pusat kontrol sebaiknya mempunyai dua *main computer* atau *server*. Hal ini dimaksudkan agar sistem tidak bergantung pada satu komputer sehingga ada komputer lain yang dapat menggantikan tugas komputer utama yang sedang rusak atau mengalami gangguan. Dua *server* tersebut yaitu satu komputer sebagai master atau komputer utama dan yang satu lagi sebagai *slave*, pengganti master bila terdapat gangguan.

Pada pusat kontrol terdapat operator yang disebut *dispatcher* yang bertugas mengawasi dan melakukan tindakan bila terjadi gangguan di pusat kontrol. Operator tersebut dapat melakukan beberapa hal pada pusat kontrol, yaitu:

a. Telemetering (TM)

Dispatcher memanfaatkan TM untuk kebutuhan pemantauan meter, baik daya nyata dalam Mega Watt (MW), daya reaktif dalam Mega Volt Ampere reaktif (MVAR), tegangan dalam kilo Volt (kV), dan arus dalam Ampere (A). Dengan demikian *dispatcher* dapat memantau besaran-besaran tersebut dari keseluruhan jaringan tanpa harus pergi dari pusat kontrol, tentu saja dengan bantuan peralatan pendukung lainnya seperti telepon.

b. Telesinyal (TS)

Dispatcher dapat memanfaatkan TS untuk mendapatkan indikasi dari semua alarm dan kondisi peralatan tertentu yang bisa dibuka (*open*) dan ditutup (*close*).

c. Telekontrol (TC)

Dispatcher dapat melakukan kontrol dalam jarak jauh, hanya dengan menekan satu tombol, untuk membuka atau menutup peralatan sistem tenaga listrik.

Komponen lain yang penting juga dan terdapat pada komputer utama adalah:

1. *Mimic Board*

Suatu papan elektronik besar yang menampilkan sistem jaringan listrik yang dikontrol. Alat ini menunjukkan status PMT pada masing-masing

gardu yang dihubungkan dengan RTU. Data status diperoleh dari *server* yang mengambil data dengan sistem *polling* ataupun sistem *interrupt* dari semua RTU di wilayahnya.

2. *Mimic Dynamic*

Suatu layar monitor yang dapat menampilkan secara lebih rinci dan dinamis mengenai keadaan semua gardu pada jaringan distribusi. Penggunaan *Mimic Dynamic* dimaksudkan agar adaptasi terhadap perubahan arus di lapangan dapat diubah dengan menggunakan program komputer. Ini mengatasi kekurangan *Mimic Board* di mana apabila terjadi perubahan maka konfigurasi lampu harus dipindah secara manual.

3. MMI (*Man-Machine Interface*)

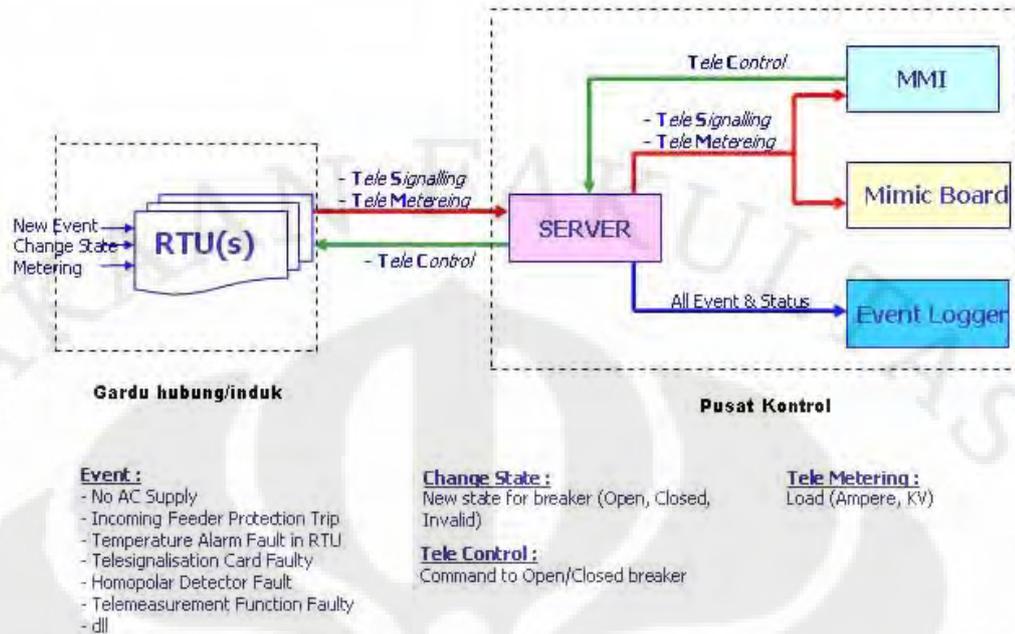
Sebagai antarmuka antara pengguna (*user*) dengan sistem yaitu komputer yang digunakan untuk menghubungkan *server* dengan komputer untuk operator. Pada layar komputer akan ditampilkan informasi menyeluruh dan rinci dari setiap gardu yang terdapat di wilayahnya. Tampilan rinci ini termasuk data dari *telemetry* yang tidak dapat terlihat dari *Mimic Board*. Dari komputer ini jugalah operator melakukan seluruh fungsi telekontrol.

4. *Logger*

Merupakan peralatan yang berfungsi untuk melakukan pencatatan tentang semua kejadian yang terjadi pada setiap gardu. Hasil pencatatan ini dapat dipakai untuk mengetahui urutan kejadian yang kemudian dapat membantu untuk menganalisa dan mendeteksi sumber gangguan/masalah

2.3.2 Media Komunikasi

Media komunikasi ini merupakan media yang menghubungkan antar peralatan untuk melakukan pertukaran informasi. Pada sistem SCADA ini dibutuhkan pertukaran informasi antara pusat kontrol dengan RTU (*Remote Terminal Unit*) yang terdapat di gardu. Sistem telekomunikasi yang terjadi antara pusat kontrol (*server*) dengan RTU dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.3 Aliran sistem telekomunikasi SCADA

Dari gambar 2.3 komunikasi yang terjadi antara lain :

- **Telesinyal**
Telesinyal terjadi dari RTU ke *server* dan dari *server* ke komponen MMI (*Man Machine Interface*) dan *Mimic Board*.
- **Telekontrol**
Perintah untuk membuka atau menutup LBS (*Load Breaker Switch*) atau sakelar pemutus tegangan. Hal ini terjadi dari pusat kontrol (*server*) ke RTU. Telekontrol ini juga terjadi dari komponen MMI ke *server*.
- **Telemetering**
Memberikan informasi mengenai besar beban, besar arus dan tegangan. Telemetering ini terjadi dari RTU ke pusat kontrol (*server*) dan dari *server* ke komponen MMI dan *Mimic Board*.

Terdapat 3 (tiga) jenis alat atau bahan yang dapat digunakan sebagai media komunikasi pada sistem SCADA, yaitu :

1. Kabel kontrol
2. Radio
3. Serat optik

Ketiganya dapat digunakan pada lokasi-lokasi yang berlainan tergantung dari kebutuhan.

2.3.2.1 Kabel Kontrol

Kabel kontrol merupakan salah satu media komunikasi yang berupa kabel standard telkom (*twisted pair*) yang biasa digunakan untuk saluran telepon. Pemasangan kabel kontrol dapat dibagi menjadi dua yaitu kabel kontrol yang dipasang sepanjang kabel listrik tegangan rendah (TR) yang disebut SUKK (Saluran Udara Kabel Kontrol). Yang kedua adalah saluran kabel kontrol yang dipasang di dalam tanah. Pemilihan kedua jenis pemasangan ini tergantung dari kondisi di lapangan.

Pemasangan kabel kontrol di udara relatif mudah baik dalam segi pemasangan maupun pemeliharaan sehingga lebih murah akan tetapi lebih membutuhkan banyak tempat. Jika suatu kota memiliki tatanan yang kurang baik yang mengakibatkan tidak memungkinkannya pemasangan kabel kontrol di udara, maka pemasangan kabel kontrol dilakukan dengan penggalian di bawah tanah. Dengan ini kota akan tertata dengan baik namun kekurangannya adalah pemasangan dan pemeliharaan yang cukup rumit dan mahal.

Spesifikasi kabel kontrol secara umum adalah :

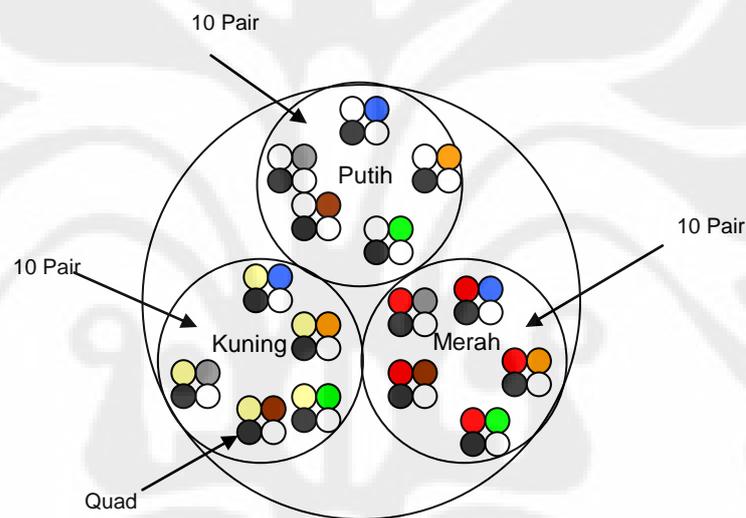
- Tahanan : 130ohm / km / pair
- Tahanan Insulasi : > 5000 Mohm
- Kapasitansi (800 Hz) : 55 nF / km
- Diameter Tembaga : 0,6 mm
- Jumlah *pair* : 30 *pair*
- Bahan Insulasi dan *Sheath* : polyethylene
- *Dielectric strength* : 1 kV

Spesifikasi di atas dapat berubah bila terjadi gangguan pada kabel kontrol. Sumber gangguan kabel kontrol dibagi menjadi dua, gangguan yang diakibatkan oleh alam seperti pohon tumbang dan kebakaran, dan oleh pihak kedua seperti pembangunan gedung atau perluasan sarana (pelebaran jalan).

Standarisasi gangguan kabel kontrol di bagi menjadi dua, yaitu :

1. Kabel kontrol putus atau *open*, bila diukur dengan ohm meter menjadi OL (*open loop*).
2. Kabel kontrol yang *short* seperti terbakar, bila diukur dengan ohm meter akan terdapat nilai tahanan.

Untuk memudahkan pemasangan dan penyambungan kabel kontrol, digunakan suatu susunan yang khusus dan tetap yang dinamakan *pair* dan *quad*. Pada kabel kontrol ada 3 kelompok yang masing-masing terdiri dari 10 *pair*. Kelompok tersebut ditandai oleh warna merah, putih, dan kuning. Setiap dua kabel dipilin menjadi satu *pair*, dan setiap dua *pair* dipilin menjadi satu *quad* (empat kabel).



Gambar 2.4 Susunan kelompok kabel kontrol

Singkatan BOHCA (Biru, Orange, Hijau, Coklat, Abu-abu) biasa digunakan untuk mempermudah pemasangan. Sedangkan sisa warna dalam quad tersebut pasti Putih - Merah - Hitam. Dapat dijabarkan lebih jelas dengan tabel 2.1 berikut :

Tabel 2.1 Pasangan Kabel Kontrol

No. Pair	Warna	Quad	Pita
1	Biru - Putih	1	Merah
2	Merah - Hitam		
3	Orange – Putih	2	
4	Merah – Hitam		
5	Hijau – Putih	3	
6	Merah - Hitam		
7	Coklat – Putih	4	
8	Merah – Hitam		
9	Abu-abu - Putih	5	
10	Merah - Hitam		
11 – 20	Sama dengan 1-10 (merah diganti putih)	Sama dengan diatas	Putih
21 – 30	Sama dengan 1-10 (merah diganti kuning)	Sama dengan diatas	Kuning

2.3.2.2 Radio

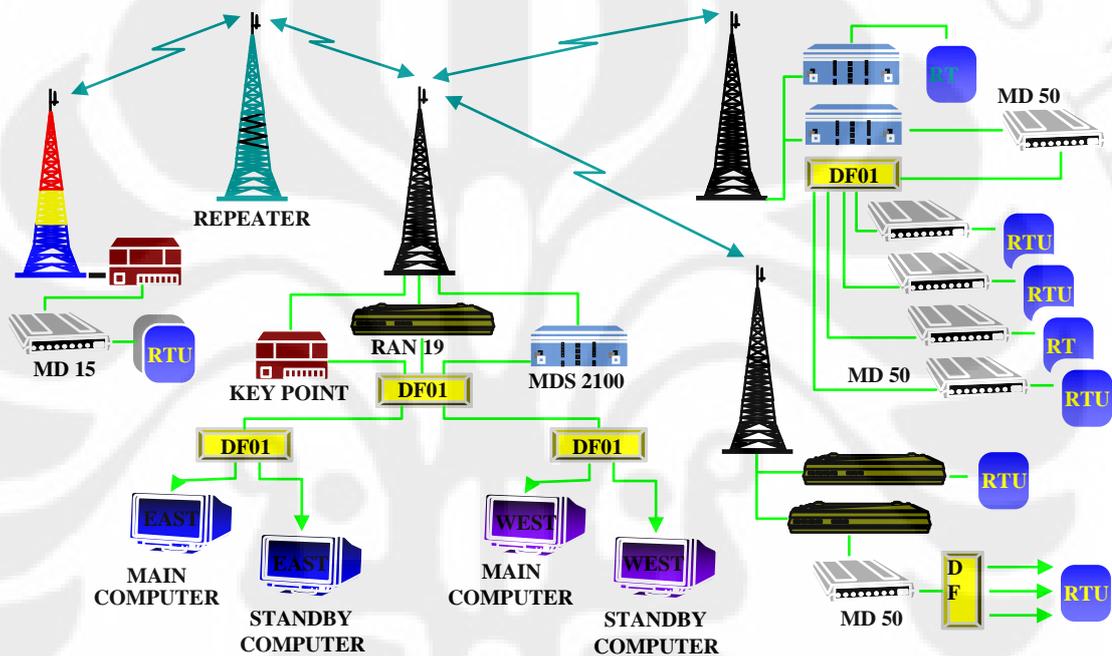
Radio digunakan sebagai media komunikasi apabila penarikan kabel dari pusat kontrol ke RTU tidak memungkinkan. Misalnya karena tidak dapat dijangkau atau karena jaraknya sangat jauh, sehingga pemakaian media kabel kontrol menjadi tidak efisien dan ekonomis untuk dipasang.

Agar sinyal radio dapat diterima dengan baik, ada beberapa parameter yang perlu diperhitungkan yaitu :

1. Power keluaran RF (watt/dBm)
2. Gain / penguatan antena (dB)
3. Redaman udara bebas (dB)
4. Sensitivitas radio penerima (dBm)
5. Ketinggian antena di atas permukaan laut (m)
6. Kondisi / halangan antara pesawat radio *master* dan *slave*

Parameter ini perlu diperhatikan karena banyak gangguan yang dapat terjadi di udara yang merupakan tempat sinyal data yang ditumpangkan pada gelombang radio dikirimkan dan dipancarkan.

Penggunaan radio ini biasanya dikombinasikan dengan kabel kontrol. Beberapa RTU yang jauh dari pusat kontrol digabungkan dahulu menjadi satu dengan kabel kontrol lalu kemudian dihubungkan ke pusat kontrol dengan radio. Radio tersebut berfungsi sebagai penghubung / *main line*.



Gambar 2.5 Gabungan media komunikasi kabel dan radio

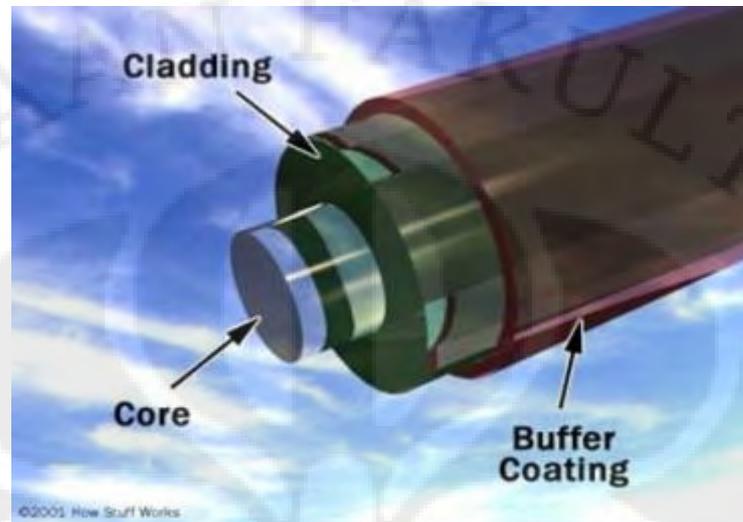
Radio komunikasi SCADA terdiri dari tiga tipe yaitu :

1. Radio Key Point (Auto Phone) dengan frekuensi Tx = 170,950 MHz dan Rx = 165,100 MHz.
2. Radio Area Network (RAN) dengan frekuensi Tx = 920,500 MHz dan Rx = 929,500 MHz.
3. Radio MDS (Mikro Data System) dengan frekuensi Tx = 920,500 MHz dan Rx = 931,500 MHz.

2.3.2.3 Serat optik (Fiber Optik)

Serat optik adalah sebuah kaca murni yang panjang dan tipis serta berdiameter sebesar rambut manusia. Dalam penggunaannya beberapa serat optik

dijadikan satu dalam sebuah tempat yang dinamakan kabel optik dan digunakan untuk mengantarkan data digital yang berupa sinar dalam jarak yang sangat jauh. Berikut ini adalah gambar sederhana dari kabel serat optik.



Gambar 2.6 Bagian-bagian dari serat optik

Core adalah kaca tipis yang merupakan bagian inti dari fiber optik dimana pengiriman sinar dilakukan. *Cladding* adalah materi yang mengelilingi inti yang berfungsi memantulkan sinar kembali ke dalam inti. *Buffer Coating* adalah plastik pelapis yang melindungi serat dari kerusakan.

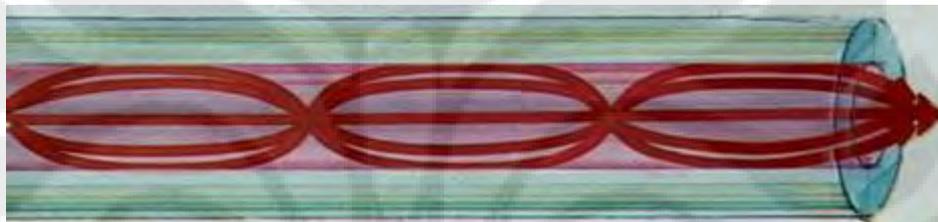
Kabel serat optik yang paling umum dikenal ada dua macam, *multi-mode* dan *single-mode*. Transmitter cahaya berupa *Light Emitting Diode* (LED) atau *Injection Laser Diode* (ILD) menembakkan pulsa cahaya ke dalam kabel serat optik. Dalam kabel *multi-mode* pulsa cahaya selain lurus searah panjang kabel juga berpantulan ke dinding *core* hingga sampai ke tujuan, sisi *receiver*. Pada kabel *single-mode* pulsa cahaya ditembakkan hanya lurus searah panjang kabel. Kabel *single-mode* memberi kelebihan kapasitas *bandwidth* dan jarak yang lebih tinggi, hingga puluhan kilometer dengan skala *bandwidth gigabit*.

Serat *single-mode* mempunyai inti yang kecil (berdiameter 0.00035 inch atau 9 micron) dan berfungsi mengirimkan sinar laser inframerah dengan panjang gelombang 1300-1550 nanometer. Gambar 2.7 adalah gambar dari *single-mode fibers*.



Gambar 2.7 Single-mode fibers

Multi-mode fibers mempunyai inti yang lebih besar (berdiameter 0.0025 inch atau 62.5 micron) dan berfungsi mengirimkan sinar laser inframerah dengan panjang gelombang 850-1300 nanometer. Gambar 2.8 adalah gambar *multi-mode fibers*.



Gambar 2.8 Multi-mode fibers

Penyambungan kabel serat optik disebut sebagai *splicing*. *Splicing* menggunakan alat khusus yang memadukan dua ujung kabel seukuran rambut secara presisi, dibakar pada suhu tertentu sehingga kaca meleleh tersambung tanpa bagian bungkusnya ikut meleleh. Setelah tersambung, bagian sambungan ditutup dengan selubung yang dipanaskan. Alat ini mudah dioperasikan, namun sangat mahal harganya. Inilah sebabnya meskipun harga kabel fiber optik sudah jauh lebih murah namun alat dan biaya lainnya masih mahal, terutama pada biaya pemasangan kabel, *splicing* dan terminasinya.

2.3.3 Remote Terminal Unit (RTU)

Remote Terminal Unit (RTU) adalah mikroprosesor yang bertugas melakukan *scanning*, pengolahan dan penyimpanan data di memori sementara sebelum diminta oleh pusat kontrol dan melakukan aksi atau kendali sesuai permintaan dari pusat kontrol. Fungsi RTU antara lain :

1. Pembacaan status

Yaitu membaca status pemutus tenaga (*circuit breaker*) atau LBS yang terhubung kepadanya apakah CB atau LBS itu terbuka atau tertutup

atau invalid, selain itu RTU juga dapat melakukan pembacaan status alarm, seperti temperatur RTU, HFD (*Homopolar Fault Detector*), DC *fault*, AC *fault* dan lainnya.

2. Pengukuran dan perhitungan.

RTU mengambil dan memroses data tentang nilai arus maupun tegangan yang didapat dari *transducer* yang dihubungkan kepadanya.

3. Penyesuaian waktu

RTU menerima setting waktu dari MTU sehingga waktu RTU akan menjadi sama dengan waktu pada *master clock* di MTU.

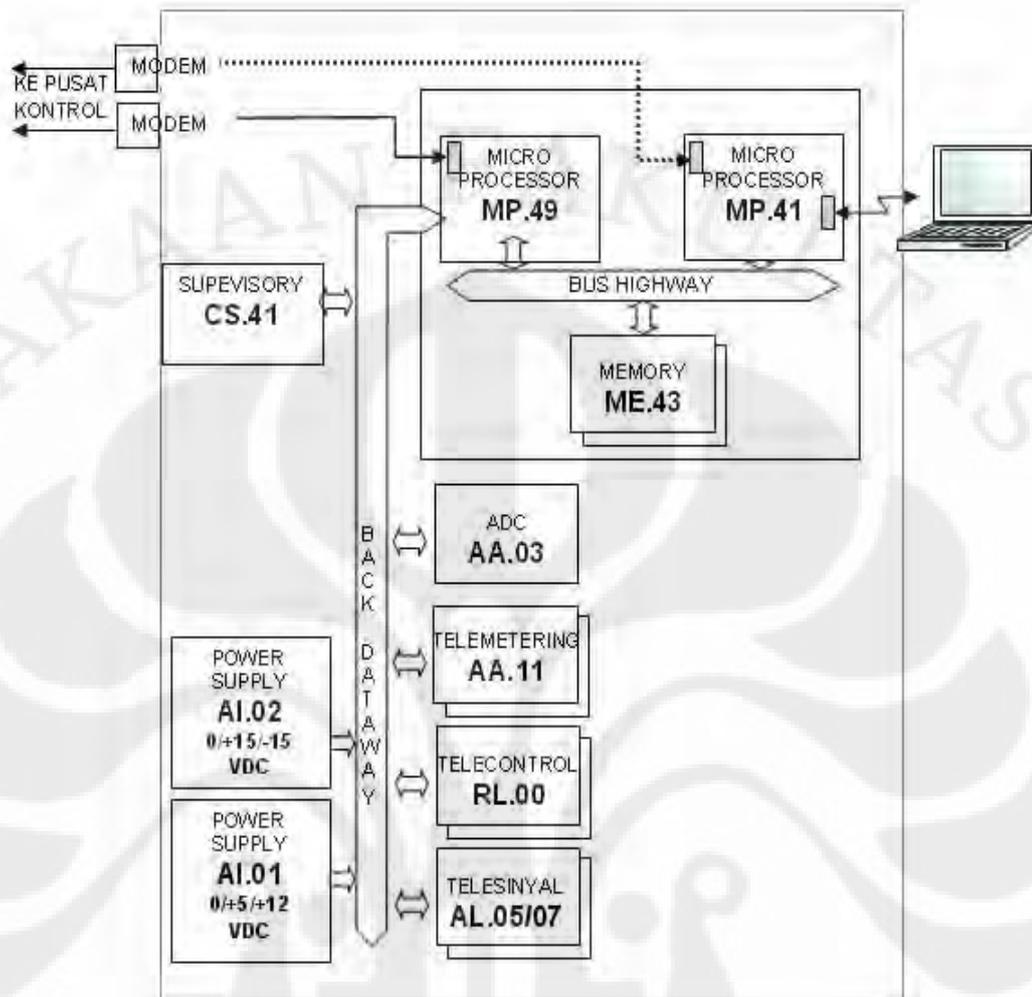
4. Pelaksanaan Komando

RTU akan melaksanakan perintah untuk membuka atau menutup LBS yang terhubung kepadanya.

5. Mengirim data ke pusat control

Data-data tersebut adalah status saklar, hasil eksekusi jarak jauh, dan besar tegangan, arus, atau frekuensi.

Pada RTU ini terdapat beberapa komponen seperti kartu-kartu khusus yang mempunyai fungsi masing-masing seperti sebagai suplai daya, penyimpanan memori atau masukan-keluaran, dan masih banyak lagi. Setiap merek RTU memiliki komponen dengan inisial nama yang berbeda-beda. Ada beberapa merk dari RTU yaitu RTU EPC 3200 (Perancis), RTU UNITEC (Kanada), RTU ITI (Perancis), RTU CONST D20 (Kanada), dan RTU INOVASI. Umumnya PLN menggunakan RTU EPC 3200 buatan Cegelec, Perancis. Komponen-komponen yang terdapat pada RTU EPC 3200 dapat dilihat pada gambar arsitektur RTU pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Arsitektur RTU

1. Modul catu daya (*power supply*)

Menggunakan sumber masukan sebesar DC 48 V dan memiliki 2 kartu pendukung

- AI01 : Kartu *Power Supply* 48V mengubah keluaran DC menjadi +5V & +12V, berfungsi untuk menyuplai CPU (*Central Processing Unit*).
- AI02 : Kartu *Power Supply* 48V mengubah keluaran DC menjadi -15V & +15V, berfungsi untuk menyuplai *peripheral*.

2. Modul CPU (*Central Processing Unit*)

Terdiri dari :

- Kartu MP49 adalah mikroprosesor 8 bit dengan *clock speed* 2,5 MHz. Merupakan prosesor utama di mana semua data diolah, berfungsi untuk berdialog dengan modul *input/output* (I/O) dan sebagai pengirim/penerima

sinyal asinkron dari pusat kontrol melalui modem dan mengubahnya menjadi sinyal-sinyal untuk kerja tertentu dari modul *peripheral*.

- Kartu MP41 adalah kartu ekstensi dialog mikroprosesor yang berfungsi sebagai antarmuka dengan komputer *portable* apabila ada data baru yang ingin di-*upload* secara manual, jadi MP41 merupakan kartu pengirim dan penerima asinkron (posisi komunikasi kedua). Juga dapat dihubungkan dengan PC / *notebook* untuk pengisian data, program, *troubleshooting*, dan perawatan.

3. Modul Input Output

Terdiri dari :

- Kartu CS41 adalah *supervisory* kartu yang memantau temperatur RTU, mendeteksi kesalahan modul, mempunyai fungsi *watchdog*, dan *polarity fault*
- Kartu AA11 atau kartu telemetering berfungsi melakukan pengukuran arus dan tegangan serta frekuensi pada penyulang dan mengakuisisi 16 sinyal analog dari sensor pengukur (*transducer*)
- Kartu AA03 atau A/D (*Analog to Digital*) Converter berfungsi mengkonversi besaran analog yang diterimanya dari kartu AA11 ke dalam bentuk besaran digital agar data yang diperoleh pada proses telemetering di RTU dapat dikirim ke pusat kontrol.
- AL05/07 adalah kartu *digital input* atau telesinyal yang berfungsi memantau posisi *switch* yang dihubungkan kepadanya serta memantau alarm dan *fault* pada RTU. AL05 mengirimkan sinyal dalam bentuk ganda (DPS) dan tunggal (SPS). Satu kartu mempunyai 32 fasilitas *Tele Signal Single* (TSS) atau 16 fasilitas *Tele Signal Double* (TSD). *Tele Signal Double* (TSD) untuk memantau status sakelar (Open/Close/Invalid). *Tele Signal Single* (TSS) untuk memantau status DC *fault*, AC *fault*, HFD (*Homopolar Fault Detection*).
- RL00 adalah kartu *digital output* atau telekomando yang berfungsi untuk mengendalikan 8 peralatan distribusi seperti circuit breaker atau LBS. Satu kartu mempunyai 8 fasilitas RC. Kartu tersebut mempunyai alamat 70, 74, 78, 7C, 80 Hexadesimal.

4. Modul memory

Berfungsi sebagai tempat penyimpanan. Terdiri atas:

- ME 43 adalah kartu memori 6 Kbyte static RAM dan 32 Kbyte EEPROM serta baterai untuk *backup* RAM. Berfungsi menyimpan data dan program.



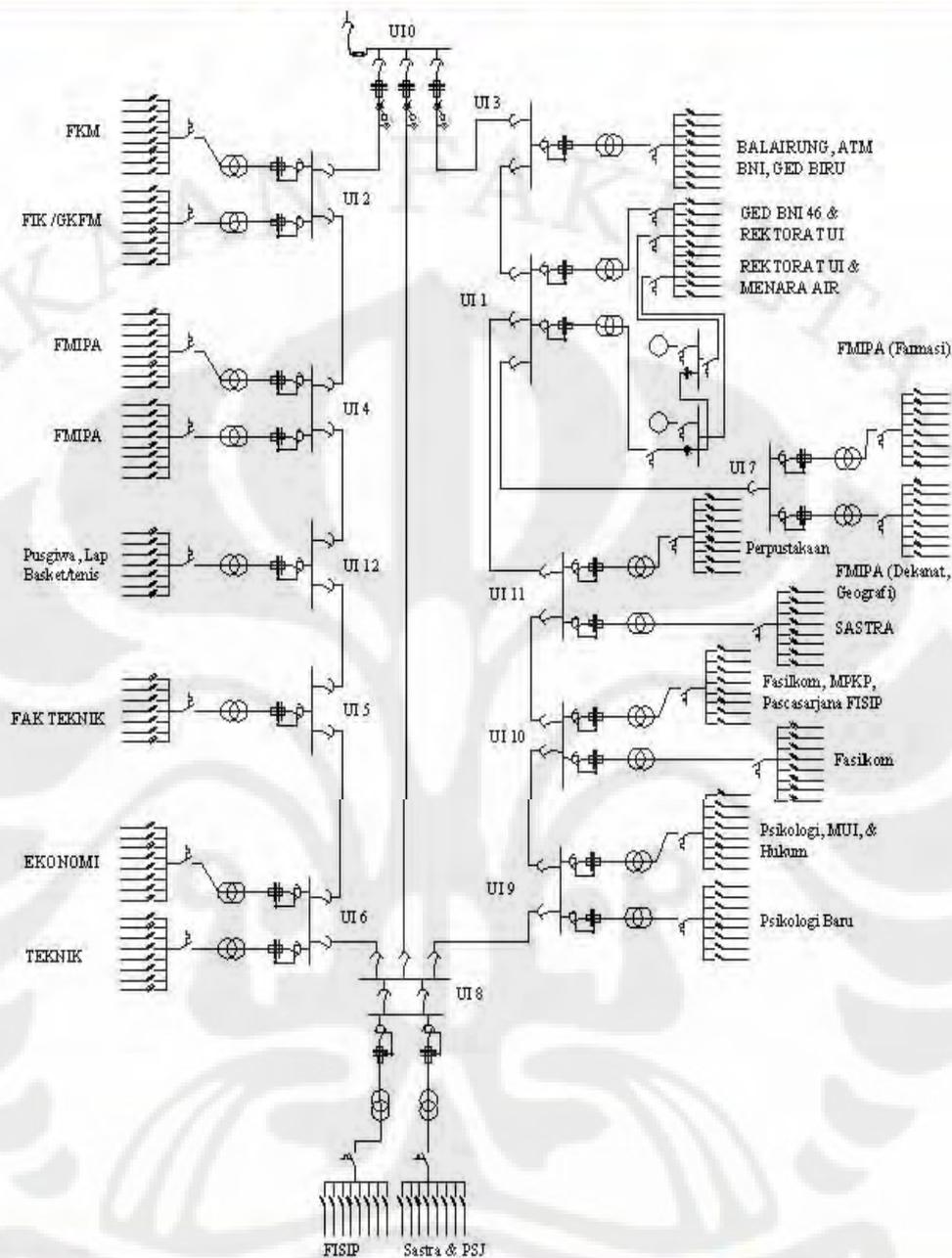
BAB 3

PERENCANAAN SISTEM SCADA PADA SISTEM KELISTRIKAN UNIVERSITAS INDONESIA

Pada bab ini akan dibahas mengenai sistem kelistrikan yang ada di Universitas Indonesia, pengoperasian dan perawatan jaringan kelistrikan UI serta perencanaan perancangan sistem SCADA.

3.1 Sistem Kelistrikan Universitas Indonesia

Pada perancangan sistem SCADA hal-hal yang menjadi perhatian utama adalah perancangan infrastruktur dari sistem SCADA itu sendiri. Sesuai dengan infrastruktur SCADA yang telah dibahas pada bab sebelumnya yang terdiri dari pusat kontrol, media telekomunikasi dan RTU, maka perancangan tahap awal adalah perancangan dari infrastruktur tersebut. Untuk perancangan di lokasi gardu yang akan dibahas hanya komponen-komponen yang dibutuhkan dalam setiap gardu yang ada di Universitas Indonesia saja. Untuk melakukan perancangan sistem SCADA di Universitas Indonesia, dibutuhkan gambaran umum atau denah jaringan kelistrikan yang ada. Dengan adanya gambar jaringan tersebut diharapkan desain sistem SCADA yang akan dilakukan dapat lebih mudah dan detail. Gambar 3.1 adalah gambar jaringan tegangan menengah yang terdapat di Universitas Indonesia.



Gambar 3.1 Bagan jaringan tegangan menengah di UI

Sistem kelistrikan Universitas Indonesia memiliki 12 gardu distribusi yang terhubung dengan sebuah gardu induk yaitu gardu UI0. Jaringan kelistrikan UI memiliki konfigurasi spindel dengan *express feeder* pada jalur yang menuju gardu UI8. Setiap gardu memiliki beban yang berbeda-beda. Secara keseluruhan beban yang terpakai per bulan ± 6129 kVA dan besarnya langganan listrik sebesar 6390 kVA.

Untuk perancangan RTU di gardu-gardu yang ada di Universitas Indonesia, dibutuhkan data mengenai peralatan-peralatan yang ada di setiap gardu. Berikut ini adalah tabel peralatan tegangan menengah yang terdapat di gardu-gardu UI.

Tabel 3.1 Daftar Peralatan di Gardu-gardu Universitas Indonesia

NO	NAMA GARDU	PERALATAN LISTRIK	MERK	KAPASITAS	TAHUN PEMBUATAN
1	Gardu UI 0	Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	
		Cubicle 4		20 kV	
		PMT		20 kV	
2	Gardu UI 1	Trafo 1	Starlindo	630 kVA	1986
		Trafo 2	Starlindo	800 kVA	1992
		Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	
		Cubicle 4		20 kV	
3	Gardu UI 2	Trafo 1	Unindo	1000 kVA	2003
		Trafo 2	Unindo	400 kVA	2004
		Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	
		Cubicle 4		20 kV	
4	Gardu UI 3	Trafo 1	Hico	400 kVA	1985
		Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	
5	Gardu UI 4	Trafo 1	Stralindo	800 kVA	2007
		Trafo 2	B Dj	400 kVA	1985
		Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	
6	Gardu UI 5	Trafo 1	Stralindo	630 kVA	1986
		Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	

7	Gardu UI 6	Trafo 1	Unindo	1000 kVA	2001
		Trafo 2	Unindo	1000 kVA	2004
		Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	
		Cubicle 4		20 kV	
8	Gardu UI 7	Trafo 1	Stralindo	400 kVA	1986
		Trafo 2	Unindo	630 kVA	2003
		Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	
		Cubicle 4		20 kV	
9	Gardu UI 8	Trafo 1	Unindo	1200 kVA	2006
		Trafo 2	Starlindo	800 kVA	1986
		Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	
		Cubicle 4		20 kV	
10	Gardu UI 9	Trafo 1	Alston	630 kVA	1983
		Trafo 2	Unindo	630 kVA	2004
		Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	
		Cubicle 4		20 kV	
11	Gardu UI 10	Trafo 1	Trafindo	630 kVA	1996
		Trafo 2	Unindo	630 kVA	1991
		Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	
		Cubicle 4		20 kV	
12	Gardu UI 11	Trafo 1	Starlindo	630 kVA	1986
		Trafo 2	Hico	400 kVA	1985
		Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	
		Cubicle 4		20 kV	
13	Gardu UI 12	Trafo 1	B Dj	400 kVA	1985
		Cubicle 1		20 kV	
		Cubicle 2		20 kV	
		Cubicle 3		20 kV	

Dalam setiap gardu yang akan diintegrasikan dengan sistem SCADA, diperlukan kubikel-kubikel yang *motorized*, selain itu ditentukan pula kapasitas *input-output*. Untuk menghitung kapasitas *input-output* (I/O) yang dibutuhkan, beberapa komponen yang diperlukan berdasarkan SPLN S5.001 dan SPLN S5.002 adalah sebagai berikut:

- a. ΣTS = jumlah telesignal per lokasi
- b. ΣTM = jumlah telemetering per lokasi
- c. ΣRC = jumlah remote control per lokasi

Tabel 3.2 Contoh Perhitungan Kapasitas I/O

NO	MNEMO	DESIGNATION	OPERASI														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			REMOTE STATION	GARDU INDUK	BUSEBAR	BUS COUPLER	BUS SECTION	DHL FEEDER	CABLE FEEDER	INTERBUS TRANSF	DISTRIBUTION TRANSF	CAPACITOR	REACTOR	DIAMETER	BEN TRANSF	GENERATOR	BLOK
TELE MEASUREMENT (TM)																	
1	F	FREKUENSI		1													
2	V	TEGANGAN			1			1	1	1						1	
3	I	ARUS				1		1	1	1						1	
4	P	DAYA AKTIF						1	1	1	1					1	1
5	Q	DAYA REAKTIF						1	1	1	1	1	1	1		1	1
6															
		TOTAL		1	1	1		4	4	4	2	1	1		3	3	25
REMOTE CONTROL DIGITAL (RCD)																	
1	DCBC	DUMMY CIRCUIT BREAKER CLOSED/OPENED		1													
2	CB	CIRCUIT BREAKER CLOSED/OPENED				1	1	1	1	1	2	1	1	1	3	1	
3	BI	BUS ISOLATOR SWITCH CLOSED/OPENED				2	2	2	2	2	4	2	2	2	6	2	
4	LI	LINE ISOLATOR SWITCH CLOSED/OPENED															
5	LR	LOCAL REMOTE															
6															
		TOTAL		1		3	3	3	3	6	3	3	3	9	3		40
REMOTE CONTROL ANALOG (RCA)																	
1	POOP	REAL POWER SET POINT														1	1
2	PROP	MAX POWER VARIATION SET POINT														1	1
3	N	LOAD FREQ CONTROL N LEVEL														1	1
		TOTAL														3	3
TELESIGNAL DOUBLE (TSD)																	
1	DCBC	DUMMY BREAKER CLOSED/OPENED		1													
2	CB	CIRCUIT BREAKER CLOSED/OPENED				1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	
3	BI	BUS ISOLATOR SWITCH CLOSED/OPENED				2	2	2	2	2	2	2	2	2	6	2	
4	LI	LINE ISOLATOR SWITCH CLOSED/OPENED															
5	LR	LOCAL REMOTE															
6															
		TOTAL		1	1	4	4	5	5	6	5	4	4	12	4		55
TELESIGNAL SINGLE (TSS)																	
1	AR	CIRCUIT BREAKER AUTO RECLOSE							1								
2	ARO	AUTO RECLOSE OFF							1								
3	BF	BAY FAULT				1	1		1	1	1	1			1		
4	VTF	VOLTAGE TRANSFORMER FAILURE															
5	DSDF	DISCONNECTING SWMTC DRIVING FAULT															
6	DCF	DC SUPPLY FAILURE															
7															
		TOTAL				1	1		3	1	1	1	1			1	10

Tabel 3.2 berisi contoh perhitungan untuk menentukan kapasitas I/O dengan menghitung jumlah telesinyal *single* dan *double* per lokasi, jumlah telemetering per lokasi, dan jumlah *remote control* digital dan analog per lokasi.

Sistem proteksi dari peralatan kelistrikan di UI yang ada saat ini dapat dikatakan masih kurang baik karena belum memiliki peralatan proteksi seperti rele diferensial, rele tegangan lebih, rele jarak, dan rele-rele lainnya.

3.2 Pengoperasian, Penanganan Gangguan dan Perawatan Sistem Kelistrikan Universitas Indonesia

Pada sebuah sistem kelistrikan diperlukan aturan pengoperasian, sistem penanganan gangguan dan jadwal perawatan terhadap peralatan-peralatan yang ada. Hal tersebut bertujuan agar pemakaian peralatan lebih optimal dan mengurangi kesalahan-kesalahan yang disebabkan oleh manusia (*human error*). Sistem pengoperasian yang baik dan benar akan memudahkan para operator dalam menjalankan tugas-tugasnya. Dengan adanya sebuah sistem pengoperasian maka kesalahan-kesalahan pengoperasian alat akan dapat dikurangi.

Sistem pengoperasian yang mudah ikut menunjang kemudahan dalam proses penanganan gangguan. Dengan sistem operasi yang mudah, proses penanganan gangguan, perawatan dan pengawasan sistem dapat dilakukan dengan lebih cepat. Dengan kualitas sistem operasi yang baik, jadwal perawatan yang rutin serta cara penanganan gangguan yang tersistem dengan baik diharapkan gangguan yang terjadi dapat ditanggulangi dengan cepat dan baik.

Saat ini sebagian besar sistem kelistrikan di UI masih memakai peralatan lama. Beberapa diantaranya buatan tahun 1980-an. Sistem pengoperasian dan penanganannya pun tidak berubah. Sebagai contoh, ketika terjadi gangguan pada sistem kelistrikan UI yang menyebabkan PMT di gardu UI-0 *trip*, pemulihan gangguannya dilakukan secara langsung di gardu tersebut dengan *mereset* PMT dengan cara mengayuh PMT yang berada disana. Selain itu, dengan tidak adanya rele proteksi dalam sistem kelistrikan UI di Depok ini, maka tidak ada peringatan bahaya apabila terjadi gangguan hubung singkat pada gardu-gardu UI sehingga kerusakan yang dapat ditimbulkan apabila terjadi gangguan lebih besar.

3.3 Perencanaan perancangan sistem SCADA pada sistem kelistrikan UI

Dari kondisi sistem kelistrikan UI saat ini, ada beberapa hal yang menjadi alasan mengapa dibutuhkan sistem SCADA untuk menghasilkan sistem

pengoperasian, penanganan gangguan dan perawatan yang lebih mudah dan cepat. Hal-hal tersebut adalah :

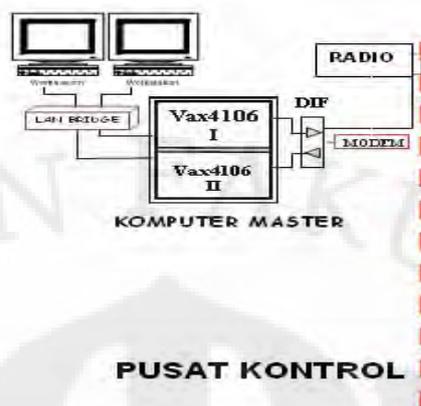
- Sistem kelistrikan UI saat ini masih menggunakan cara manual dalam penanganan gangguan.
- Dibutuhkan banyak waktu untuk pengawasan (*monitoring*) kondisi-kondisi tegangan, daya, beban puncak pada gardu-gardu yang ada di UI.
- Selama ini pengawasan dilakukan tiap gardu sehingga dibutuhkan SDM lebih banyak jika ingin melakukan pengawasan secara keseluruhan dalam waktu yang singkat.

Perancangan sistem SCADA pada sistem kelistrikan dilakukan dengan variasi peletakkan RTU di beberapa gardu dan di seluruh gardu. Selain itu variasi perancangan yang akan dilakukan adalah variasi media komunikasi. Variasi perancangan tersebut ditujukan agar mampu membandingkan perancangan manakah yang handal dan ekonomis. Hal ini dikarenakan akan sangat besar biaya yang diperlukan untuk merubah seluruh sistem kelistrikan ini namun dengan perubahan menyeluruh tersebut kehandalan dari sistem pun dapat meningkat. Pada perancangan ini letak pusat kontrol terletak di gedung rektorat.

3.3.1 Perancangan Pusat Kontrol

Pusat kontrol terdiri dari komponen-komponen penting yang secara garis besar dapat dibedakan menjadi dua yaitu komponen perangkat keras dan komponen perangkat lunak. Peralatan-peralatan tersebut harus diletakkan di suatu tempat atau ruangan agar proses pengawasan maupun pengendalian dapat dilakukan dengan baik. Komponen-komponen yang terletak di pusat kontrol dinamakan *master station*. Berdasarkan SPLN No. 109 Tahun 1996 mengenai pola SCADA revisi kelima, peralatan-peralatan *master station* harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Keamanan sistem
2. Keandalan sistem
3. Kemudahan untuk dipelihara
4. Kemampuan untuk dikembangkan
5. Kemampuan untuk diubah



Gambar 3.2 Konfigurasi pusat kontrol

Desain untuk setiap *master station* belum tentu sama, namun secara garis besar desain dari sebuah *master station* terdiri atas:

- *Server*
- *Workstation*
- Historikal data
- *Projection mimic* atau *mimic board*
- Komponen pendukung, seperti *printer*, *logger*
- *Recorder*
- Global Positioning System atau master clock
- *Dispatcher training simulator*
- Aplikasi SCADA dan *Energy Management System*
- *Uninterruptable Power Supply* (UPS)
- *Automatic Transfer Switch* (ATS) dan *Static Transfer Switch* (STS)
- *Geographical Information System* (GIS)
- *Database real time*

Untuk perancangan sistem SCADA di Universitas Indonesia, maka secara umum dibutuhkan peralatan seperti diatas. Berikut ini adalah penjelasan dari setiap peralatan tersebut.

1. *Server*

Server berupa komputer utama yang digunakan untuk mengoperasikan atau memberikan perintah pada peralatan. Pada *server* ini terdapat aplikasi

SCADA dengan fasilitas pengukuran, serta tampilan keadaan peralatan yang ada di lapangan.

2. *Workstation*

Workstation berupa komputer yang dipergunakan oleh dispatcher untuk mengawasi kondisi sistem tenaga listrik yang termasuk dalam wilayah cakupan sistem SCADA. *Workstation* yang digunakan terbagi menjadi :

- *Workstation* untuk Dispatcher minimal sebanyak 2 buah
- *Workstation* untuk Engineer minimal sebanyak 1 buah

Jumlah tersebut disesuaikan dengan besarnya jaringan distribusi yang diawasi. Semakin besar wilayahnya maka dibutuhkan workstation yang lebih banyak. Untuk keperluan analisis dan operasional lainnya, maka komputer workstation juga perlu dilengkapi dengan program-program komputer umum lainnya demi menjaga aspek kemudahan dalam pengoperasian dan pemeliharannya.

3. *Historikal data*

Historikal data yang dimaksud adalah penyimpanan data yang diterima dari peralatan di lapangan yang akan diproses dan dianalisa untuk kemudian dilaporkan kepada *dispatcher*.

4. *Projection Mimic* atau *Mimic Board*

Suatu papan elektronik besar yang menampilkan sistem jaringan listrik yang dikontrol. Alat ini menunjukkan status PMT pada masing-masing gardu yang dihubungkan dengan RTU.

5. *Printer* dan *Logger*

Merupakan peralatan yang berfungsi untuk melakukan pencetakan dan pencatatan semua kejadian yang terjadi pada setiap gardu. Hasil pencatatan ini dapat dipakai untuk mengetahui urutan kejadian yang kemudian dapat membantu untuk menganalisa dan mendeteksi sumber gangguan.

6. *Recorder*

Recorder ini berupa alat perekam yang merekam kejadian yang terjadi yang bisa berupa frekuensi, tegangan, beban ataupun voice.

7. *Global Positioning System*

Berupa alat untuk referensi waktu yang digunakan karena dibutuhkan data secara real time untuk diproses oleh dispatcher.

8. *Dispatcher training simulator*

Berupa perangkat lunak yang digunakan untuk melatih dispatcher untuk melakukan telekomando dan telemetering dari pusat kontrol ataupun melakukan penandaan pada peralatan di lapangan. Dengan adanya program ini diharapkan tidak akan terjadi human error pada saat melakukan pengawasan maupun pengendalian terhadap peralatan di lapangan.

9. Aplikasi SCADA

Berupa suatu aplikasi yang digunakan untuk memperoleh fasilitas telemetering, telesinyal, dan telekontrol. Dengan aplikasi ini, dispatcher dapat melakukan pembacaan dan menganalisa kondisi yang terjadi di lapangan. Salah satu contohnya adalah *Energy Management System* yang biasa disingkat EMS.

10. *Uninterruptable Power Supply* (UPS)

UPS adalah alat untuk menjaga ketersediaan daya listrik. Hal ini diperlukan agar proses pengawasan dan pengendalian peralatan yang dilakukan tidak terganggu oleh masalah ketersediaan listrik di sisi pengendali tersebut.

11. *Automatic Transfer Switch* (ATS) dan *Static Transfer Switch* (STS)

ATS dan STS merupakan alat untuk mengendalikan aliran daya listrik menuju master station.

12. *Geographical Information System* (GIS)

GIS adalah suatu perangkat lunak yang memberikan informasi mengenai peletakan peralatan di lapangan.

13. *Database real time*

Database real time ini berupa penyimpanan data yang berasal dari peralatan dilapangan yang dikirimkan secara real time.

Pada pusat kontrol terdapat pula *Human Machine Interfaces* (HMI). HMI adalah perangkat yang digunakan pengguna untuk berinteraksi dengan sistem SCADA. HMI menyediakan fasilitas kepada pengguna untuk memberikan input kepada sistem dan sistem dapat memberikan output kepada pengguna. HMI ini terdiri atas :

- *Workstation*
- *Printer*
- Layar tayang
- Monitor (tabung /LCD)
- Tampilan Frekuensi

Layar tayang membantu *dispatcher* untuk melihat secara keseluruhan tentang keadaan sistem dan sewaktu menghubungkan jaringan setelah terjadi jaringan terpisah atau setelah gangguan total. Hal-hal yang ditampilkan di layar tayang tergantung pada batas tanggung jawab dan wewenang pusat kontrol serta daerah kerjanya dengan mempertimbangkan juga tempat yang tersedia. Sehubungan dengan hal-hal di atas maka di layar tayang perlu ditampilkan :

- a. Jaringan tegangan menengah yang menjadi daerah tanggung jawabnya.
- b. Bila RTU di suatu tempat tidak berfungsi (*off*) maka posisi akhir dari *switching devices* (CB, DS, BI) tetap diperlihatkan dan bisa diubah secara manual oleh *dispatcher*.
- c. Warna dari jaringan sesuai dengan SPLN 104 tentang Warna Standar, kecuali untuk keperluan *feeder colouring* 20 KV.
- d. Layar tayang mampu menampilkan besaran frekuensi, tegangan, beban dan waktu

Monitor yang digunakan untuk keperluan *dispatcher* adalah minimal sebanyak 2 buah untuk satu *workstation*. Jumlah monitor workstation untuk DCC disesuaikan dengan kebutuhan. Untuk memberikan informasi pada *dispatcher*, halaman *display* di monitor minimum dilengkapi dengan :

- a. *Network overview* antar gardu induk/pembangkit baik untuk daya aktif, daya reaktif dan tegangan
- b. *Voltage map* yang merupakan tabel yang menunjukkan profil tegangan dari semua gardu induk.
- c. Tabel daya aktif, daya reaktif dari generator dan gardu induk beserta totalnya.
- d. Diagram satu garis dari masing-masing pembangkit, gardu induk dan gardu distribusi yang dilengkapi dengan RTU di mana letak rel (*busbar*) digambarkan horizontal.

- e. Daftar dari alarm.
- f. Daftar gardu induk, gardu hubung, gardu tengah distribusi, gardu distribusi, *key point* yang dilengkapi RTU.
- g. *Dispatcher* bisa menampilkan gambar dari gardu induk, gardu distribusi yang dikehendaki.
- h. Halaman supervisi
- i. Halaman jalur telekomunikasi
- j. Halaman dari laporan *dispatcher* yang dapat dicetak pada *hard copy* unit

Gedung pusat kontrol harus memiliki kerahasiaan letak dan ruangnya harus nyaman dan memiliki luas yang memadai. Gedung pusat kontrol minimal memiliki :

a. Ruang *Dispatcher*

Ruang *Dispatcher* harus nyaman untuk bekerja secara terus menerus. Suhu ruangnya diatur 24 derajat celsius dan dilengkapi dengan sarana sebagai berikut :

1. Pengatur suhu
2. Access Control
3. Penerangan :
 - Kondisi normal dari jala-jala PLN
 - Kondisi darurat dari UPS
4. CCTV
5. Tata letak pencahayaan yang baik
6. Meja dan kursi yang ergonomis

b. Ruang Komputer Master

Ruangan ini harus selalu berada dalam kondisi yang tertutup. Pengatur suhu (*Air Conditioner*) ruangan bertipe *down-flow* dan suhu ruangan diatur berkisar 20 derajat celsius serta kelembabannya harus bisa diatur antara 50 – 60 %. Lantai harus menggunakan *raise floor* dan di bawahnya harus dipasang penyekat/isolasi yang bertujuan agar udara dingin tidak terserap oleh dinding. Tata letak peralatan diatur sedemikian rupa sehingga memudahkan dalam pengembangan dan pemeliharaan. Tersedia juga tempat penyimpanan peralatan kerja yang diperlukan untuk pemeliharaan,

dokumentasi dan tempat untuk menyimpan data hasil *backup database*. Semua komputer *server*, *communication front-end*, *workstation*, GPS, *switch LAN*, *router*, modem, panel ACDB harus ditempatkan di dalam lemari. Cahaya matahari yang masuk ke ruangan hendaknya seminimal mungkin untuk menjaga temperatur dan kelembaban ruangan. Di ruang komputer harus tersedia penerangan untuk kondisi darurat yang disuplai dari UPS.

c. Ruang Telekomunikasi

Ruangan ini harus selalu berada dalam kondisi yang tertutup. Suhu ruangan diatur berkisar 20 derajat celsius. Lantainya harus menggunakan *raise floor*. Di ruang telekomunikasi harus tersedia penerangan untuk kondisi darurat yang disuplai dari PS.

d. Ruang Catu Daya/UPS

Ruang catu daya/UPS diletakkan di tempat yang agak jauh dari ruang dispatcher. Suhu ruangnya berkisar 20 derajat celsius.

e. Ruang Baterai

Ruang batere ditempatkan bersebelahan dengan ruang catu daya/UPS dan memiliki sistem ventilasi yang bagus dan dilengkapi dengan beberapa exhaust fan. Rak batere ditempatkan secara benar sehingga memudahkan dalam melakukan pemeliharaan.

f. Ruang Diesel

Ruang diesel harus berada di luar gedung utama. Ruang diesel harus bersih dan memiliki ventilasi yang bagus serta peredaman kebisingan yang optimal.

g. Ruang Kerja

h. Gudang

i. Ruang *Training*

Ruang training dan workshop dipergunakan untuk melakukan pelatihan, percobaan, *setting* dan konfigurasi. Di ruang ini tersedia alat kerja dan peralatan simulasi.

j. Ruang Operasi Darurat

Semua hal tersebut diperlukan dalam memperoleh pusat kontrol yang baik. Jika melihat dari kondisi jaringan tegangan menengah yang ada di Universitas Indonesia. Letak dari gedung pusat kontrol dapat diletakkan di sekitar wilayah rektorat UI. Karena wilayah tersebut berada di tengah-tengah UI dan dekat dengan pusat dari sistem kelistrikan UI yang berada di sekitar stasiun Pondok Cina.

3.3.2 Perancangan Media Komunikasi

Media komunikasi yang digunakan dalam sistem spindel dapat berupa kabel kontrol, radio, dan serat optik. Pemilihan jenis media tersebut didasari oleh kebutuhan yang sesuai dengan kondisi topologi jaringan distribusi yang telah ada. Pembahasan perancangan media komunikasi kali ini lebih diarahkan pada jenis konfigurasi jaringan komunikasi yang cocok untuk sistem kelistrikan yang ada di Universitas Indonesia.

Pada sistem telekomunikasi antara pusat kontrol dengan peralatan di lapangan terdapat protokol-protokol untuk melakukan pertukaran data dengan baik. Jika tidak diberikan protokol-protokol maka proses pengiriman data-data akan sulit dilakukan karena data yang dikirimkan bisa saja tertukar dengan data lain. Untuk itu maka protokol-protokol ini harus distandarisasikan. Protokol komunikasi harus masuk (*embedded*) ke dalam *interface* komunikasi, tidak boleh menggunakan konverter protokol di luar *interface* komunikasi.

- *Protokol Master Station untuk komunikasi dengan RTU :*

IEC 60870-5-101 master merupakan protokol standar untuk komunikasi *Master Station* dengan RTU, IEC 60870-5-104 master merupakan protokol standar untuk komunikasi melalui TCP/IP, DNP 3.0 serial dan/atau DNP 3.0 TCP/IP master

- *Protokol RTU untuk komunikasi dengan Master Station :*

IEC 60870-5-101 *slave* merupakan protokol standar untuk komunikasi RTU dengan master station, IEC 60870-5-104 *slave* merupakan protokol standar untuk komunikasi melalui TCP/IP , DNP 3.0 serial dan/atau DNP 3.0 TCP/IP *slave*

- *Protokol RTU untuk komunikasi dengan subordinated devices :*

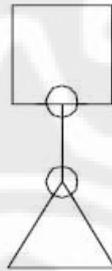
IEC 60870-5-104 master merupakan protokol standar untuk komunikasi melalui TCP/IP, DNP 3.0 serial dan/atau DNP 3.0 TCP/IP master, *Modbus*

(ASCII, RTU) master, IEC 61850 Inter Control Center Protocol (ICCP) harus tersedia di setiap pusat kontrol.

Agar dapat berkomunikasi dengan RTU, di pusat kontrol dibutuhkan suatu perangkat *interface*. Perangkat *interface* ini dahulu disebut dengan nama *Front End*, namun pada perkembangannya disebut dengan nama Sub Sistem Komunikasi. Sub sistem komunikasi data harus dapat melakukan *polling* ke RTU dan pusat kontrol lain. *Polling* dapat dianalogikan seperti pengabsenan, sehingga sub sistem komunikasi akan melakukan pengabsenan secara teratur sesuai waktu yang ditentukan terhadap RTU. Sub sistem komunikasi data dapat mendukung beberapa konfigurasi *point to point*, *loop*, *multipoint*, *partyline* menggunakan rute utama dan rute alternatif. Apabila terjadi gangguan pada komunikasi utama, maka perangkat lunak dari subsistem komunikasi secara otomatis memindahkan ke *link* komunikasi alternatif (*back up*). Sub sistem komunikasi secara periodik melakukan *polling* ke RTU pada *link back up* yang diberi tugas sebagai *link* komunikasi pengganti. Sub sistem komunikasi dapat mendukung konfigurasi komunikasi sebagai berikut :

1. Konfigurasi titik ke titik (*point to point*)

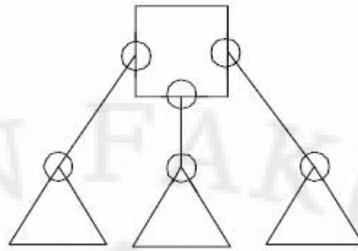
Konfigurasi ini menghubungkan dua terminal telekontrol dan merupakan tipe yang paling sederhana.



Gambar 3.3 Konfigurasi *point to point*

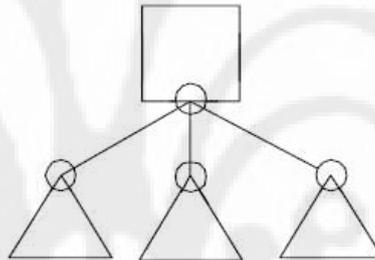
2. Konfigurasi banyak titik ke satu titik (*multipoint to point*)

Pusat kontrol dihubungkan ke terminal luar dengan satu terminal hubung setiap terminal luar. Pada setiap saat, semua terminal luar diizinkan mengirimkan data ke pusat pengatur, dan pusat kontrol dapat mengirimkan pesan ke satu atau lebih terminal-terminal luar secara bersamaan.

Gambar 3.4 Konfigurasi *multipoint to point*

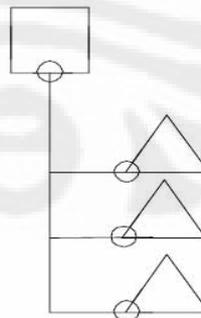
3. Konfigurasi banyak titik - bintang (*multipoint - star*)

Pusat kontrol dihubungkan ke lebih dari satu terminal luar dengan satu terminal hubung yang sama. Pada setiap saat, hanya satu terminal luar yang diizinkan mengirimkan data ke pusat kontrol. Peralatan telekontrol pusat dapat mengirimkan data ke satu atau lebih terminal - terminal luar yang dipilih atau secara bersamaan.

Gambar 3.5 Konfigurasi *multipoint to star*

4. Konfigurasi banyak titik - saluran bersamaan (*partyline*)

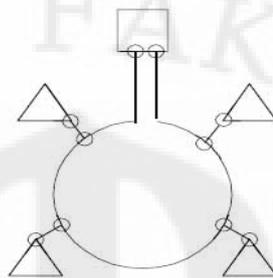
Pusat kontrol dihubungkan ke lebih dari satu terminal luar oleh suatu jalur yang sama. Batasan-batasan yang terjadi pada saat pertukaran antara pusat dan terminal-terminal luar sama dengan pada konfigurasi banyak titik - bintang.

Gambar 3.6 Konfigurasi *partyline*

5. Konfigurasi banyak titik - cincin (*loop*)

Jalur komunikasi antara semua terminal membentuk suatu cincin. Ini merupakan suatu metode yang lebih disukai untuk memperbaiki

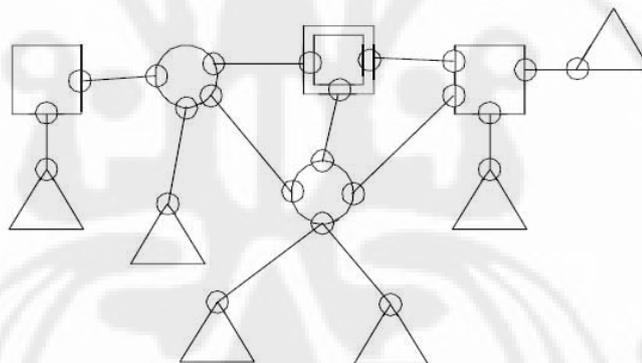
kehandalan dari jalur komunikasi. Jika jalur terpotong pada beberapa lokasi, komunikasi yang utuh masih dapat dipertahankan, karena setiap terminal dapat dijangkau dari dua sisi cincin.



Gambar 3.7 Konfigurasi *loop*

6. Konfigurasi gabungan

Konfigurasi-konfigurasi yang disebutkan di atas dapat dikombinasikan menjadi bermacam variasi dari konfigurasi-konfigurasi gabungan. Variasi yang paling penting adalah konfigurasi jaringan jala (*mesh*) di mana diperlukan komunikasi antara beberapa pasangan terminal-terminal.



Gambar 3.8 Konfigurasi gabungan

Dari konfigurasi yang telah dijelaskan di atas, penggunaan konfigurasi juga terpengaruh oleh jenis media telekomunikasi yang ada. Sebagai contoh, jenis *multipoint to point* yang dapat disesuaikan dengan menggunakan media telekomunikasi radio dengan menggunakan antena yang memiliki pola radiasi *directional* pada terminal luar dan menggunakan antena dengan pola radiasi *omnidirectional* pada pusat kontrolnya.

3.3.3 Perancangan RTU

RTU harus dapat berfungsi sebagai *automation* unit dan dapat berkomunikasi dengan sub RTU, *Intelligent Electronic Device* (IED), rele

proteksi, dengan menggunakan standar protokol. RTU dapat mengakuisisi *digital input*, *digital output*, *analog input*, dan *analog output*, dengan kemampuan ADC minimal 12 bit. RTU harus dapat berfungsi sebagai konsentrator, yang dapat menyaring informasi yang diterima dari level lebih rendah sehingga tidak semua informasi dikirimkan ke *Master Station*. RTU harus memiliki *port* komunikasi *redundant*. Tiap RTU ini harus mampu secara bersamaan berkomunikasi dengan lebih dari 1 (satu) pusat kontrol dengan protokol yang berbeda dan dapat dihubungkan dengan *User Interface* di gardu induk sebagai pengganti kontrol panel. RTU harus memiliki sejumlah *port* untuk berkomunikasi dengan sub RTU dan IED yang ada di bawahnya. RTU harus dapat berkomunikasi menggunakan *backup* kanal komunikasi secara otomatis bila terjadi gangguan pada *main* kanal. RTU harus dapat menginformasikan ke pusat kontrol bahwa RTU dalam kondisi tidak normal (*mal function*). RTU mampu beroperasi pada temperatur 55 derajat celsius. *Over voltage protection* dipasang di sisi *input* 220 VAC, 48 VDC dan *link data*.

Untuk mencatat secara lengkap semua kejadian di pusat kontrol, diperlukan fasilitas urutan kejadian yang biasa dikenal dengan Sequence of Event (SOE). Fasilitas ini akan membantu mengumpulkan dan merekam sinyal SOE dari RTU eksisting dan RTU yang baru. Sistem SCADA akan mengolah data masukan SOE yang diterima dari RTU dan ditampilkan pada VDU di dispatcher. Hal ini sudah mencakup konversi waktu dan tanggal dari RTU ke waktu/tanggal SCADA dan menyimpan data SOE di dalam alat perekam, database, sesuai dengan urutan kronologis. Resolusi waktu dari SOE memiliki syarat *time tag* yang direkam dengan tiap *event* harus dihasilkan dari *clock* internal RTU. *Clock* internal harus menghasilkan kode waktu dengan resolusi 1 mili detik (1ms). Setiap RTU harus disinkronisasi *clock* internalnya dengan sumber sinkronisasi waktu, seperti GPS lokal dan GPS dari *master station*. Proses sinkronisasi harus menjamin kecilnya perbedaan waktu antara dua RTU kurang dari 5 ms. Pengambilan data SOE dalam format ASCII pada *interface* RTU ke *local printer* dan PC harus dapat dilakukan dalam format *database*.

BAB 4

PERANCANGAN SISTEM SCADA PADA SISTEM KELISTRIKAN UNIVERSITAS INDONESIA

Pada bab ini akan dibahas secara keseluruhan tentang perancangan sistem SCADA dengan variasi letak RTU dan perancangan sistem SCADA menggunakan media telekomunikasi serat optik. Pada kedua variasi rancangan akan dibandingkan kelayakannya untuk digunakan pada sistem kelistrikan UI. Perbandingan yang akan dilakukan adalah perbandingan keandalan, biaya, dan efisiensi dari kedua jenis rancangan tersebut.

4.1 Perancangan Sistem SCADA

Pada bab 3 subbab 3.3 telah dijelaskan mengenai perencanaan perancangan sistem SCADA pada sistem kelistrikan UI. Pada bagian ini akan dipaparkan mengenai perancangan secara keseluruhan dengan variasi perancangan letak RTU dan perancangan sistem SCADA dengan media telekomunikasi serat optik. Pada perancangan dengan memvariasikan letak pemasangan RTU dibagi menjadi dua jenis yaitu pada *middle point* dan keseluruhan gardu UI.

4.1.1 Perancangan Sistem SCADA dengan Pengontrolan pada Gardu *Middle Point*

Untuk menciptakan suatu sistem SCADA yang mampu melakukan pengendalian jarak jauh, pengukuran jarak jauh, dan berbagai fungsi SCADA lainnya diperlukan peralatan yang mampu bekerja otomatis. Oleh karena itu, tahap pertama dalam perancangan sistem SCADA ini adalah memastikan apakah peralatan yang akan diawasi dan atau dikendalikan oleh sistem, sudah dapat bergerak tanpa membutuhkan tenaga manusia yang besar untuk mengoperasikannya (*motorized system*). Apabila peralatan tersebut masih membutuhkan tenaga yang besar untuk mengoperasikannya, seperti dikayuh, maka sistem SCADA pun tak akan mampu berjalan. Sebagai tambahan, selain perubahan tersebut diperlukan pula pemasangan rele agar gangguan yang terjadi dapat dideteksi. Dalam perancangan ini digunakan rele gangguan hubung tanah

pada gardu UI-11, UI-8 dan UI-12. Sebagai tambahan pada gardu UI-0 juga akan dipasang rele gangguan hubung tanah (*ground fault relay*) dan rele arus lebih.

Usia panel yang ada di Universitas Indonesia rata-rata lebih dari 20 tahun. Oleh karena itu dibutuhkan panel-panel baru untuk menunjang sistem SCADA. Pada perancangan sistem SCADA dengan pengontrolan pada *middle point* ini, pemasangan RTU akan dilakukan pada gardu UI-0, UI-1, UI-8, dan UI-12. Gardu UI-8 tidak termasuk *middle point* namun pada gardu tersebut terdapat *express feeder* dari gardu UI-0. Pemilihan peletakan RTU pada gardu UI-1 dan gardu UI-12 dikarenakan kedua gardu tersebut merupakan gardu yang memiliki cakupan wilayah pemulihan gangguan yang paling baik jika dibandingkan dengan gardu lainnya. Cakupan wilayah pemulihan gangguan yang dimaksud adalah apabila terjadi gangguan, sebagai contoh gangguan kabel antara gardu UI-0 dan UI-2 dengan letak RTU pada gardu UI-2, maka CB pada gardu UI-0 yang menyuplai gardu UI-2 hingga UI-6 akan *trip*, kemudian untuk memulihkannya CB pada gardu UI-0 dan UI-8 yang digunakan oleh jalur *express feeder* ditutup dan CB pada gardu UI-8 yang terhubung dengan gardu UI-6 juga ditutup sedangkan CB pada gardu UI-2 dibuka sehingga aliran daya untuk gardu UI-2 hingga UI-6 berasal dari jalur *express feeder*. Untuk kasus tersebut cakupan wilayah pemulihan gangguannya meliputi seluruh gardu antara gardu UI-2 hingga UI-6. Untuk kasus gangguan yang lain maka wilayah cakupan akan berbeda. Untuk penjelasan lebih lengkap akan diberikan tabel-tabel yang menunjukkan besarnya cakupan wilayah pemulihan gangguan untuk gangguan kabel antar gardu pada sistem kelistrikan UI.

Tabel 4.1 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-2

Letak gangguan	Kondisi Gardu				
	Gardu UI-2	Gardu UI-4	Gardu UI-5	Gardu UI-6	Gardu UI-12
UI-0 - UI 2	on	on	on	on	on
UI-2 - UI-4	on	off	off	off	off
UI-4 - UI-12	on	off	off	off	off
UI-12 - UI-5	on	off	off	off	off
UI-5 - UI-6	on	off	off	off	off

Tabel 4.2 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-4

Letak gangguan	Kondisi Gardu				
	Gardu UI-2	Gardu UI-4	Gardu UI-5	Gardu UI-6	Gardu UI-12
UI-0 - UI 2	off	on	on	on	on
UI-2 - UI-4	off	on	on	on	on
UI-4 - UI-12	on	on	off	off	off
UI-12 - UI-5	on	on	off	off	off
UI-5 - UI-6	on	on	off	off	off

Tabel 4.3 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-12

Letak gangguan	Kondisi Gardu				
	Gardu UI-2	Gardu UI-4	Gardu UI-5	Gardu UI-6	Gardu UI-12
UI-0 - UI 2	off	off	on	on	on
UI-2 - UI-4	off	off	on	on	on
UI-4 - UI-12	off	off	on	on	on
UI-12 - UI-5	on	on	off	off	on
UI-5 - UI-6	on	on	off	off	on

Tabel 4.4 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-5

Letak gangguan	Kondisi Gardu				
	Gardu UI-2	Gardu UI-4	Gardu UI-5	Gardu UI-6	Gardu UI-12
UI-0 - UI 2	off	off	on	on	off
UI-2 - UI-4	off	off	on	on	off
UI-4 - UI-12	off	off	on	on	off
UI-12 - UI-5	off	off	on	on	off
UI-5 - UI-6	on	on	on	off	on

Tabel 4.5 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-6

Letak gangguan	Kondisi Gardu				
	Gardu UI-2	Gardu UI-4	Gardu UI-5	Gardu UI-6	Gardu UI-12
UI-0 - UI 2	off	off	off	on	off
UI-2 - UI-4	off	off	off	on	off
UI-4 - UI-12	off	off	off	on	off
UI-12 - UI-5	off	off	off	on	off
UI-5 - UI-6	off	off	off	on	off

Pada tabel 4.1 hingga 4.5 merupakan tabel yang membahas letak gardu dan gangguan pada sisi kiri jaringan tegangan menengah pada sistem kelistrikan UI. Diantara kelima tabel dapat dilihat bahwa pada tabel 4.3 yaitu peletakan gardu UI-12 memiliki cakupan wilayah pemulihan gangguan lebih banyak daripada peletakan RTU pada gardu-gardu lainnya.

Tabel 4.6 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-3

Letak Gangguan	Kondisi Gardu					
	Gardu UI-1	Gardu UI-3	Gardu UI-7	Gardu UI-9	Gardu UI-10	Gardu UI-11
UI-0 - UI-3	on	on	on	on	on	on
UI-3 - UI-1	off	on	off	off	off	off
UI-1 - UI-7	off	on	off	off	off	off
UI-1 - UI-11	off	on	off	off	off	off
UI-11 - UI-10	off	on	off	off	off	off
UI-10 - UI-9	off	on	off	off	off	off
UI-9 - UI-8	off	on	off	off	off	off

Tabel 4.7 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-1

Letak Gangguan	Kondisi Gardu					
	Gardu UI-1	Gardu UI-3	Gardu UI-7	Gardu UI-9	Gardu UI-10	Gardu UI-11
UI-0 - UI-3	on	off	on	on	on	on
UI-3 - UI-1	on	off	on	on	on	on
UI-1 - UI-7	on	on	off	on	on	on
UI-1 - UI-11	on	on	on	off	off	off
UI-11 - UI-10	on	on	on	off	off	off
UI-10 - UI-9	on	on	on	off	off	off
UI-9 - UI-8	on	on	on	off	off	off

Tabel 4.8 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-11

Letak Gangguan	Kondisi Gardu					
	Gardu UI-1	Gardu UI-3	Gardu UI-7	Gardu UI-9	Gardu UI-10	Gardu UI-11
UI-0 - UI-3	off	off	off	on	on	on
UI-3 - UI-1	off	off	off	on	on	on
UI-1 - UI-7	off	off	off	on	on	on
UI-1 - UI-11	off	off	off	on	on	on
UI-11 - UI-10	on	on	on	off	off	on
UI-10 - UI-9	on	on	on	off	off	on
UI-9 - UI-8	on	on	on	off	off	on

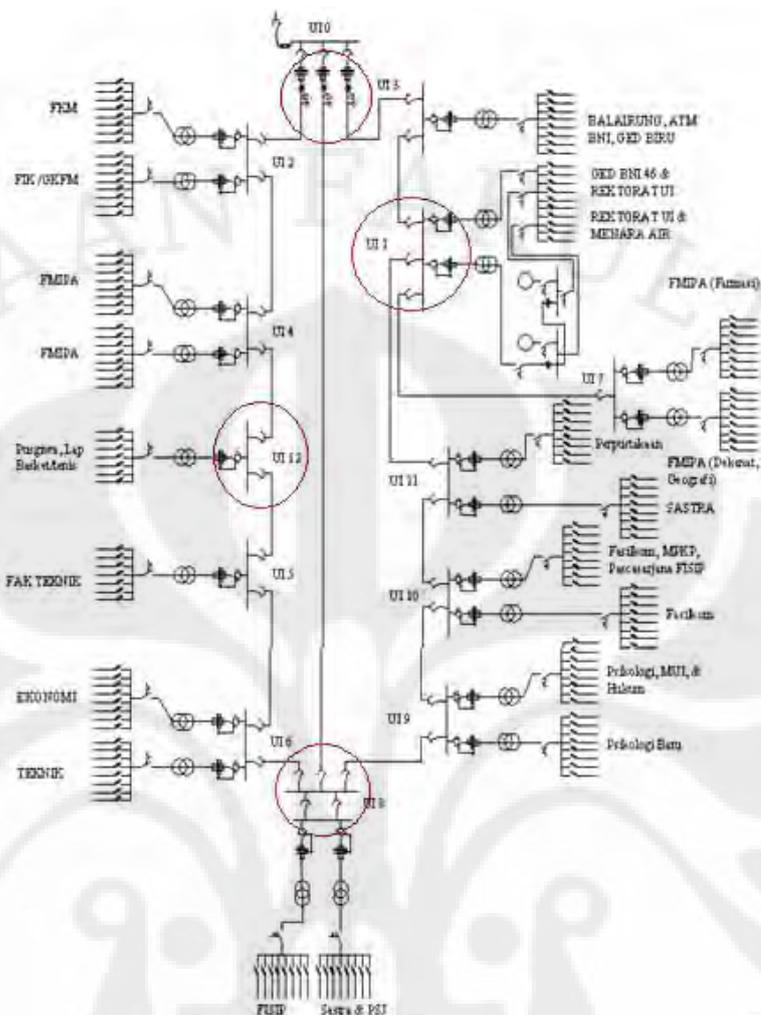
Tabel 4.9 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-10

Letak Gangguan	Kondisi Gardu					
	Gardu UI-1	Gardu UI-3	Gardu UI-7	Gardu UI-9	Gardu UI-10	Gardu UI-11
UI-0 - UI-3	off	off	off	on	on	off
UI-3 - UI-1	off	off	off	on	on	off
UI-1 - UI-7	off	off	off	on	on	off
UI-1 - UI-11	off	off	off	on	on	off
UI-11 - UI-10	off	off	off	on	on	off
UI-10 - UI-9	on	on	on	off	on	on
UI-9 - UI-8	on	on	on	off	on	on

Tabel 4.10 Tabel cakupan wilayah pemulihan gangguan dengan letak RTU pada gardu UI-9

Letak Gangguan	Kondisi Gardu					
	Gardu UI-1	Gardu UI-3	Gardu UI-7	Gardu UI-9	Gardu UI-10	Gardu UI-11
UI-0 - UI-3	off	off	off	on	off	off
UI-3 - UI-1	off	off	off	on	off	off
UI-1 - UI-7	off	off	off	on	off	off
UI-1 - UI-11	off	off	off	on	off	off
UI-11 - UI-10	off	off	off	on	off	off
UI-10 - UI-9	off	off	off	on	off	off
UI-9 - UI-8	on	on	on	on	on	on

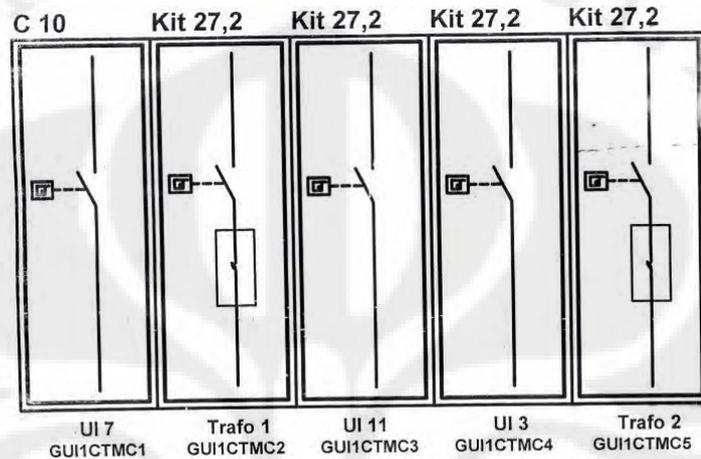
Pada tabel 4.6 hingga 4.10 merupakan tabel yang membahas letak gardu dan gangguan pada sisi kanan jaringan tegangan menengah pada sistem kelistrikan UI. Diantara kelima tabel dapat dilihat bahwa pada tabel 4.7 yaitu peletakan gardu UI-1 memiliki cakupan wilayah pemulihan gangguan lebih banyak daripada peletakan RTU pada gardu-gardu lainnya. Pada gambar 4.1 akan ditunjukkan gambar jaringan tegangan menengah serta penandaan letak RTU pada sistem kelistrikan UI.



Gambar 4.1 Bagan jaringan TM di UI dan letak RTU pada rancangan pertama

Pada gambar 4.1 terlihat gardu UI-0, UI-1, UI-8 dan UI-12 dilingkari, hal tersebut menunjukkan perubahan panel yang akan dilakukan pada gardu-gardu tersebut guna menunjang sistem SCADA. Gardu-gardu yang akan disambungkan ke RTU, perlu mengganti kubikel-kubikel TM yang ada didalamnya agar sistem pengendalian jarak jauh (*telecontrol*) dapat dilaksanakan. Pada skema tersebut indeks GUI1CTMC1 berarti kubikel tegangan menengah nomor 1 yang berada pada gardu UI-1. Pada gardu UI-1 ini terdapat lima buah kubikel. Kubikel pertama merupakan *feeder* yang menuju gardu UI-7. Kubikel kedua merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung ke trafo 630 kVA. Kubikel ketiga merupakan *feeder* yang menuju gardu UI-11. Kubikel keempat merupakan *feeder* dari gardu UI-3. Kubikel kelima merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung ke trafo 800 kVA. Dari kelima kubikel tersebut hanya kubikel 3 dan 4 saja yang digantikan

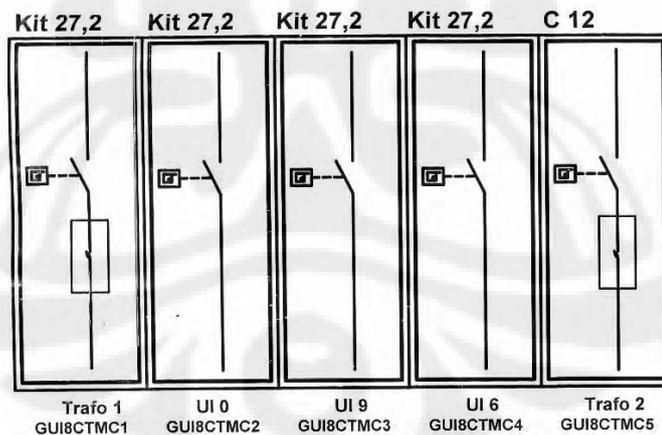
dengan kubikel *motorized* agar dapat menerima perintah dari pusat kontrol saat terjadi gangguan. Pada gardu ini kubikel pertama yang terhubung ke gardu UI-7 tidak perlu diganti karena jika terjadi gangguan, selain gangguan antara gardu UI-1 dengan gardu UI-7, maka suplai terhadap gardu UI-1 tetap terjaga sehingga suplai ke gardu UI-7 juga tidak akan terganggu.



SKEMA SKTM UI-1

Gambar 4.2 Skema SKTM UI-1

Pada gardu UI-8 terdapat lima buah kubikel namun hanya tiga buah kubikel yang perlu diganti agar dapat dikendalikan dari pusat kontrol. Berikut ini adalah skema SKTM dari gardu UI-8.



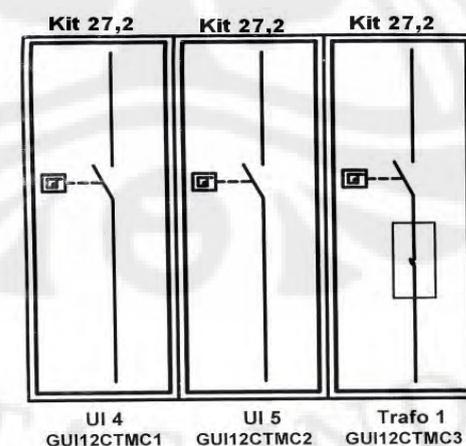
Skema SKTM UI-8

Gambar 4.3 Skema SKTM UI-8

Pada skema tersebut kubikel pertama merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung dengan trafo 1200 kVA. Kubikel kedua merupakan *feeder* dari gardu UI-0 yang juga merupakan kubikel untuk *express feeder* dari sistem distribusi

tegangan menengah UI. Kubikel ketiga merupakan kubikel *feeder* dari UI-9. Kubikel keempat merupakan kubikel *feeder* ke gardu UI-6. Kubikel kelima merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung ke trafo kedua yang besarnya 800 kVA. Tiga buah kubikel yang akan diganti adalah kubikel kedua, ketiga dan keempat. Pada gardu UI-8 ini, pada kondisi normal gardu mendapat tegangan dari UI-9 dan tidak terhubung dengan gardu UI-6 dan UI-0, namun bila terjadi gangguan yang terjadi pada saluran kiri dari jaringan distribusi tegangan menengah UI, maka untuk menyuplai tegangan ke saluran tersebut gardu UI-8 jalur *express feeder* akan digunakan dengan cara menutup CB pada gardu UI-0 dan UI-8 dan UI-6 sehingga gardu UI-6 akan mendapat suplai tegangan dari UI-0 melewati jalur *express feeder*. Sedangkan apabila terjadi gangguan pada saluran sisi kanan yang menyebabkan gardu UI-8 tidak tersuplai tegangan dari gardu UI-9 maka gardu UI-8 akan mendapat suplai tegangan dari gardu UI-0. Dengan sistem yang seperti itu maka hanya tiga kubikel yang menghubungkan gardu UI-6, UI-0 dan UI-9 yang perlu diganti pada gardu UI-8 agar mampu menyuplai ke gardu *middle point*.

Pada gardu UI-12 terdapat tiga buah kubikel yang terhubung dengan *busbar*. Kubikel pertama merupakan *feeder* dari gardu UI-4. Kubikel kedua merupakan *feeder* yang menuju gardu UI-5. Kubikel ketiga merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung dengan trafo 400 kVA. Berikut adalah skema SKTM dari gardu UI-12.



Skema SKTM UI-12

Gambar 4.4 Skema SKTM UI-12

Perubahan kubikel pertama dan kedua menjadi kubikel *motorized* dilakukan agar ketika terjadi gangguan di salah satu gardu yang menyebabkan gardu lainnya tidak mendapat suplai tegangan, dapat dialihkan dan kembali mendapat suplai tegangan. Sehingga proses penanganan gangguan dapat terjadi lebih cepat.

Setelah mengetahui bagian-bagian yang perlu diperbaharui, selanjutnya dilakukan perancangan sistem SCADA secara keseluruhan. Berdasarkan letak pengawasan dan pemeliharaan sistem kelistrikan UI selama ini dilakukan dari rektorat, maka ada baiknya jika penempatan posisi pusat kontrol berada di rektorat.

Pada pusat kontrol diperlukan beberapa komponen utama yaitu :

1. Server SCADA + Aplikasi SCADA
2. Power Supply
3. Peralatan komunikasi
4. GPS (*optional*), berfungsi untuk sinkronisasi waktu

Untuk *server* SCADA dibutuhkan dua buah komputer sebagai *master* dan *slave* dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Processor Pentium III atau PC Server
- b. Serial Comm Port (COM1, COM2)
- c. PS/2 Mouse
- d. Hard Disk 20 GB
- e. VGA Card Minimal 16 MB
- f. Sound Card
- g. Floppy Disk Drive 1.44 MB
- h. Monitor SVGA Color
- i. Printer Dot Matrix 80 kolom
- j. Windows 95/98/NT
- k. Multimedia Speaker
- l. UPS 1000 VA

Dari perincian keperluan komputer dengan spesifikasi tersebut, diperkirakan dibutuhkan dana sebesar ±3-4 juta rupiah, namun apabila diinginkan spesifikasi yang mampu bekerja lebih cepat, maka diperkirakan dibutuhkan dana

sebesar $\pm 7-10$ juta rupiah. Untuk komputer yang menjadi *slave* juga memiliki spesifikasi yang sama. Hal ini dimaksudkan agar sistem tidak bergantung pada satu komputer sehingga ada komputer lain yang dapat menggantikan tugas komputer utama yang sedang rusak atau mengalami gangguan.

Selain dibutuhkan komputer sebagai *man machine interface* (MMI), dibutuhkan pula SDM untuk mengawasi dan melakukan tindakan ketika terjadi gangguan yang dikenal dengan istilah *dispatcher*. Seperti yang telah dijelaskan pada bab 2, tugas *dispatcher* ini adalah mengawasi serta melakukan tindakan penanganan gangguan ketika terjadi gangguan. *Dispatcher* ini perlu memahami kondisi jaringan kelistrikan UI terlebih dahulu maka untuk menunjang hal tersebut diperlukan *dispatceher training simulator* sebagai alat bantu untuk memahami jaringan kelistrikan UI dan langkah-langkah penanganan gangguan dalam sistem kelistrikan UI.

Adapun perangkat lain yang dibutuhkan pada pusat kontrol adalah piranti lunak sistem SCADA. Piranti lunak atau *software* ini mutlak diperlukan untuk mengawasi dan mengendalikan peralatan-peralatan yang ada di gardu-gardu UI tersebut agar pelayanan listrik dapat terlaksana dengan baik ketika terjadi gangguan. *Software* ini dibuat berbeda-beda tergantung dengan RTU dan protokol yang digunakan dalam sistem SCADA. Pada perancangan ini tidak dimasukkan didalamnya *software* dari SCADA itu sendiri karena tipe RTU yang menjadi pilihan tergantung dengan harga dan kebutuhan pengembangan dari sistem SCADA ini. Salah satu jenis *software* yang dibuat oleh perusahaan pengembang teknologi SCADA adalah SIMATIC WinCC. Pada program tersebut dapat dibuat sistem SCADA untuk mengawasi, dan mengendalikan peralatan yang diinginkan yang terhubung dengan RTU. Selain itu banyak produk *software* lain yang dikeluarkan berbagai macam perusahaan yang bekerja pada bidang *software* SCADA.

Selanjutnya adalah peralatan komunikasi yang ada di pusat kontrol. Pada pusat kontrol diperlukan peralatan komunikasi guna menghubungkan pusat kontrol dengan RTU. Peralatan komunikasi yang berada di pusat kontrol adalah modem yang akan merubah data analog menjadi data digital agar dapat diakses

oleh komputer *server*. Selain itu *ethernet card* juga dibutuhkan sebagai alat yang menghubungkan antara komputer *server* dengan jaringan komunikasi.

Selain komponen-komponen tersebut diperlukan pula komponen lain seperti *data logger*, *mimic board*. Komponen tersebut diperlukan guna mengetahui kondisi jaringan sistem dan mengawasi keadaan sistem kelistrikan UI secara *real time*. Apabila disalah satu RTU mendeteksi adanya gangguan maka *logger* akan mencatat kejadian tersebut selain itu *mimic board* akan menampilkan keadaan sistem yang mengalami gangguan.

Selain itu, terdapat pula komponen yang menghubungkan antara gardu (RTU) dengan pusat kontrol selain dari media komunikasi, yaitu protokol komunikasi yang membantu menerjemahkan kondisi RTU agar mampu dibaca oleh pusat kontrol dengan bahasa tertentu sehingga tidak mudah dikendalikan oleh orang lain yang tidak memiliki hak untuk mengakses data dari RTU.

Dalam sistem SCADA saat ini terdapat beberapa aturan protokol dapat menjadi pilihan untuk digunakan seperti DNP dengan IEC 60870-5. Dalam protokol komunikasi SCADA, secara umum ada dua tipe protokol yaitu protokol melalui media serial dan protokol melalui media ethernet. Untuk media *ethernet* ini, pengembangannya sama dengan pengembangan jaringan WAN (*wide area network*). Hanya saja perbedaannya adalah pada implementasinya tidak menggunakan IP (*internet protokol*) melainkan menggunakan protokol untuk SCADA (sebagai contoh IEC 60870-5-104). Untuk protokol dalam media serial data-data digital yang dikirim perlu dikonversi menjadi analog, agar data tersebut dapat dikirimkan dalam jarak yang jauh. Konversi data tersebut menggunakan DAC (*digital to analog converter*).

Pada dasarnya mengembangkan jaringan dengan serial jauh lebih murah. Karena apabila memakai *ethernet* diperlukan router. Untuk serial lebih mudah penyampaian datanya. Dengan *converter* yang disebutkan sebelumnya, maka hanya perlu mentransmisikan data menggunakan media komunikasi seperti kabel *copper* atau radio. Hal yang perlu diperhatikan adalah kekuatan sinyal analog untuk mengirimkan data sejauh jarak dari RTU ke pusat kontrol.

Untuk sisi pusat kontrol sendiri, untuk komunikasi dengan *ethernet*, cukup mudah karena hanya menghubungkan kabel dari WAN ke *switch* dan dari *switch*

ke FE (*front-end*) master station. Pada data serial, diperlukan konverter dari analog menjadi digital (ADC), kemudian data serial ini dibaca oleh FE (*front-end*) menggunakan *serial port* (COM1 & COM2).

Perbedaan diantara keduanya tidak jauh berbeda, sebagai contoh untuk DNP V3.0 memiliki empat spesifikasi inti yaitu *data link layer*, *transport functions*, *application layer specification*, dan *data object library*. Sedangkan IEC 60870-5 memiliki lima spesifikasi inti yaitu *transmission frame formats*, *link transmission procedures*, *general structure of application data*, *definition and coding of application information elements*, dan *basic application function*. Perbedaan diantara keduanya tidaklah terlalu signifikan, karena keduanya memiliki tujuan yang sama yaitu menjadi aturan untuk menghubungkan dua peralatan. Pembahasan secara rinci mengenai protokol ini tidak akan dilakukan. Hal penting yang perlu diketahui adalah kesesuaian antara protokol yang digunakan pada RTU dengan protokol pada pusat kontrol.

Setelah merancang pusat kontrol, selanjutnya akan dibahas mengenai perancangan media komunikasi dan RTU. Untuk perancangan media komunikasi, pembahasannya akan dibahas lebih jauh pada subbab berikutnya.

Perancangan RTU meliputi perhitungan jumlah perintah buka-tutup yang dibutuhkan dalam setiap gardu yang nantinya berpengaruh terhadap jumlah RTU yang digunakan.

Pada perancangan RTU, untuk menentukan jumlah *Digital Input* (DI) dan *Digital Output* (DO) maka dapat dihitung dengan menjumlahkan beberapa komponen yang diperlukan berdasarkan SPLN S5.001 dan SPLN S5.002 adalah sebagai berikut:

- a. Σ TTS = jumlah *telesignal* per lokasi
- b. Σ TM = jumlah *telemetry* per lokasi
- c. Σ RC = jumlah *remote control* per lokasi

Karena pada perancangan ini tidak memasukkan fungsi *telesignal* dan *telemetry*, maka perhitungannya berdasarkan jumlah *remote control* di setiap gardu. Jumlah gardu yang akan dipasang RTU ada tiga yaitu gardu UI5, UI8, dan UI10. Dari ketiga gardu tersebut terdapat lima *feeder*. Untuk setiap *feeder* terdapat

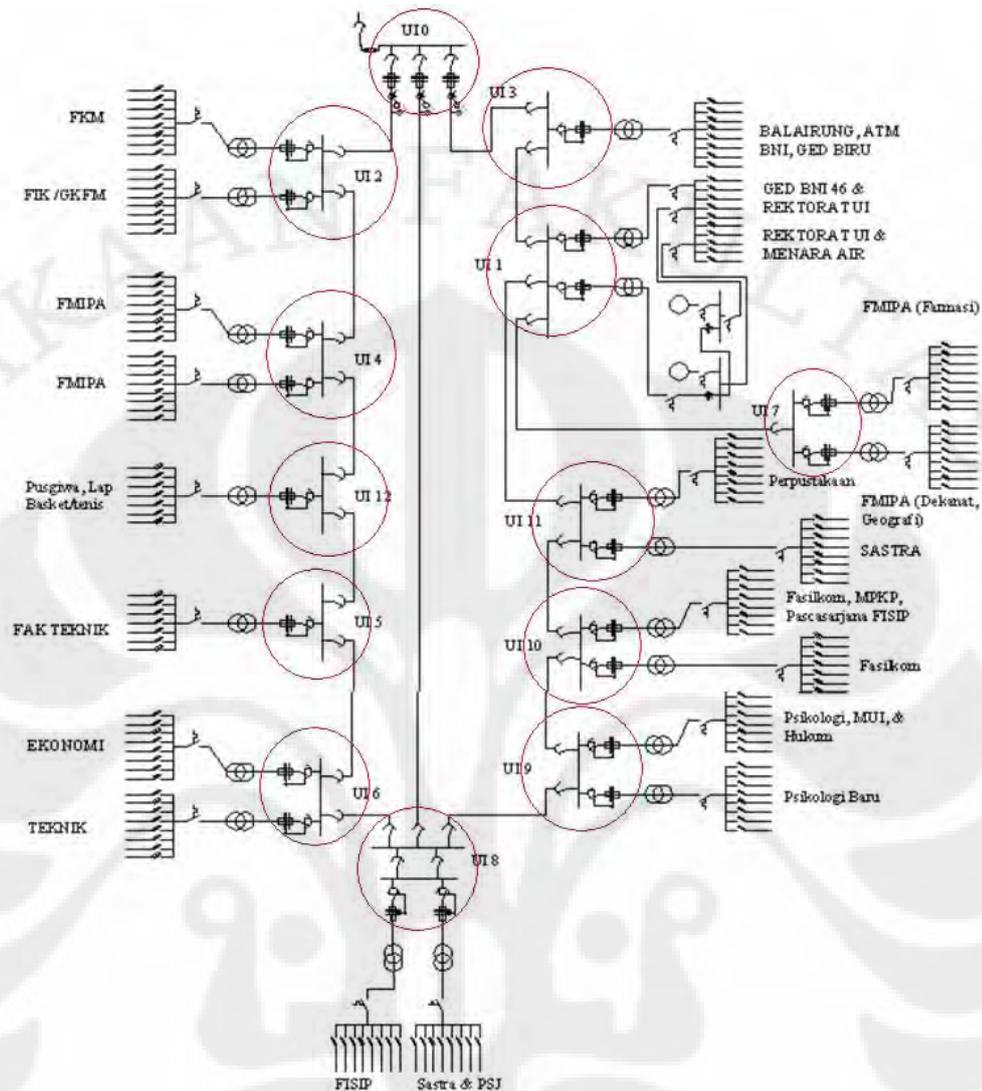
circuit breaker akan dikendalikan dengan dua perintah yaitu buka dan tutup. Selain itu untuk fungsi *telesignal* dari gardu ke RTU dibutuhkan pula karena perlu mengetahui status CB. Oleh karena itu terdapat masing-masing dua kondisi yaitu buka dan tutup. Untuk sinyal atau alarm dari rele yang akan dipasang juga menambah jumlah DI sebanyak satu buah untuk setiap alarm. Total kebutuhan DI dan DO pada rancangan ini adalah 51 *port* untuk DI dan 46 *port* untuk DO. Berikut adalah tabel perhitungannya.

Tabel 4.11 Tabel jumlah TM, TC dan TS Rancangan 1

Penandaan	Gardu				Jumlah
	0	12	8	1	
RC					Σ TC
Dummy load	1	1	1	1	
CB o/c	6	4	6	4	
Total	7	5	7	5	
Telesinyal					Σ TS
Dummy load	1	1	1	1	
Alarm (Rele)	2	1	1	1	
CB o/c	6	4	7	4	
Total	9	6	7	6	29

4.1.2 Perancangan Sistem SCADA dengan Pengontrolan pada Semua Gardu

Pada perancangan sistem SCADA dengan pengontrolan pada semua gardu ini letak RTU berada pada semua gardu. Pada perancangan ini tidak jauh berbeda peralatan utamanya dengan rancangan sebelumnya. Hal yang membedakan antara kedua rancangan ini adalah jumlah peralatan yang akan mempengaruhi kinerja dari sistem kelistrikan UI. Berikut ini adalah gambar jaringan tegangan menengah UI yang akan dikendalikan.

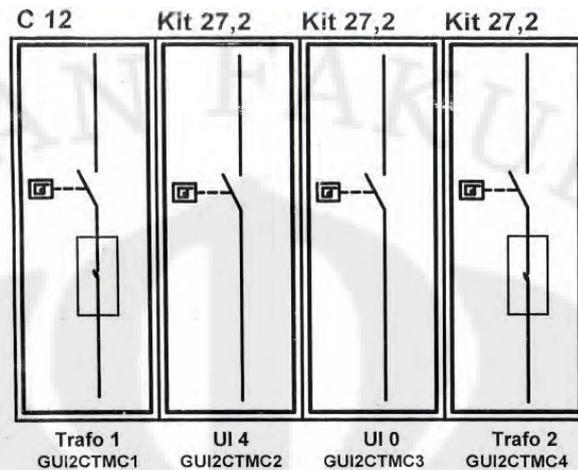


Gambar 4.5 Bagan jaringan TM di UI dan letak RTU pada rancangan kedua

Pada perancangan sistem SCADA dengan pengontrolan semua gardu ini, lokasi dari pusat kontrol sebaiknya ditempatkan di rektorat karena secara keseluruhan pengawasan dan perawatan sistem kelistrikan UI selama ini dilakukan dari rektorat. Adapun perubahan-perubahan yang perlu dilakukan pada perancangan kedua ini akan dipaparkan pada paragraf selanjutnya.

Pada gardu UI-2 yang skemanya tertera pada gambar 4.6, terdapat empat buah kubikel. Kubikel pertama merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung ke trafo 1 MVA. Kubikel kedua adalah *feeder* menuju gardu UI-4. Kubikel ketiga merupakan *feeder* dari gardu induk UI-0. Kubikel keempat merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung ke trafo 400 kVA. Pada gardu UI-2 diperlukan penggantian kubikel menjadi *motorized* pada kubikel kedua dan ketiga agar

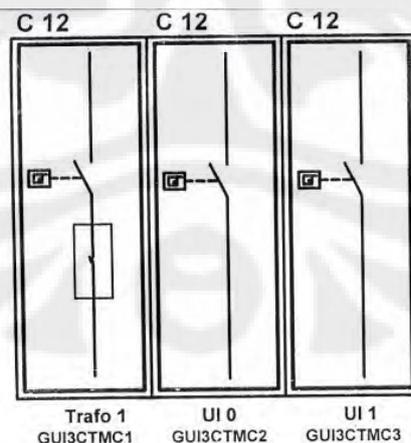
mampu dikendalikan dan diawasi saat terjadi gangguan. Berikut ini adalah skema SKTM dari gardu UI-2



Skema SKTM UI-2

Gambar 4.6 Skema SKTM UI-2

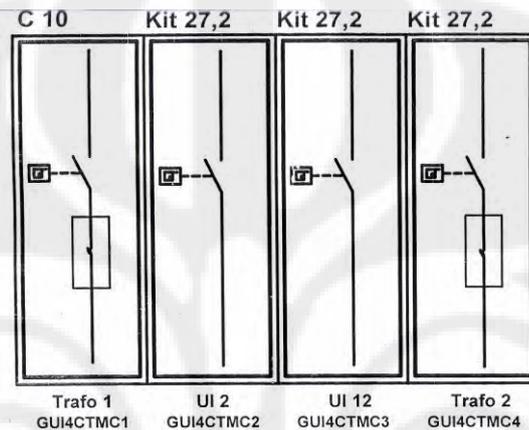
Pada gardu UI-3, terdapat tiga buah kubikel yang terhubung dengan busbar. Kubikel pertama merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung ke trafo 400 kVA. Kubikel kedua merupakan *feeder* dari gardu UI-0 yang merupakan gardu induk pada sistem kelistrikan Universitas Indonesia. Kubikel ketiga merupakan *feeder* menuju gardu UI-1. Penggantian kubikel pada gardu UI-3 dilakukan pada kubikel kedua dan ketiga. Berikut ini adalah gambar dari skema SKTM dari gardu UI-3.



Skema SKTM UI-3

Gambar 4.7 Skema SKTM UI-3

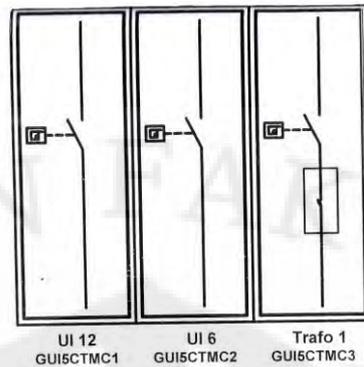
Pada gardu UI-4 terdapat empat buah kubikel yang terhubung dengan busbar. Kubikel pertama merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung dengan trafo 400 kVA. Kubikel kedua merupakan *feeder* dari gardu UI-2. Kubikel ketiga merupakan *feeder* menuju gardu UI-12, sedangkan kubikel keempat merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung dengan trafo 800 kVA. Penggantian kubikel pada gardu UI-4 terjadi pada kubikel kedua dan ketiga. Berikut ini adalah gambar dari skema SKTM gardu UI-4.



Skema SKTM UI-4

Gambar 4.8 Skema SKTM UI-4

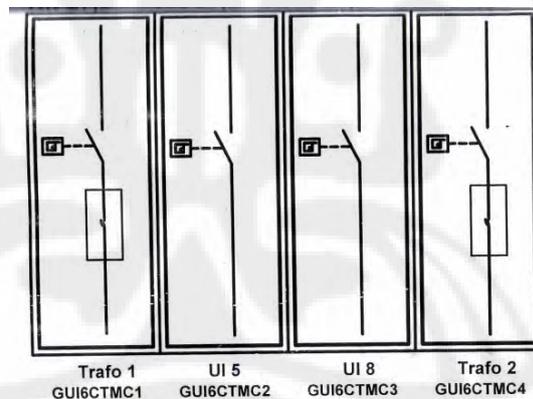
Kubikel pertama merupakan *feeder* untuk gardu UI-5 yang berasal dari gardu UI-12. Kubikel kedua merupakan panel *feeder* dari gardu UI-5 yang menuju gardu UI-6. Untuk kubikel ketiga merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung ke trafo 630 kVA yang terdapat pada gardu UI-5. Ketiga kubikel tersebut merupakan kubikel yang cara pengoperasiannya dengan dikayuh. Untuk penggantian pada gardu UI-5 dilakukan pada kubikel pertama dan kedua. Berikut ini adalah skema SKTM dari gardu UI-5.



Skema SKTM UI-5

Gambar 4.9 Skema SKTM UI-5

Pada gardu UI-6 terdapat empat kubikel yang perlu diganti menjadi kubikel *motorized* guna menunjang fungsi dari sistem SCADA. Kubikel pertama adalah kubikel *outgoing* yang terhubung dengan trafo 1 MVA. Kubikel kedua merupakan *feeder* dari gardu UI-5. Kubikel ketiga adalah *feeder* yang menuju gardu UI-8. Adapun kubikel keempat adalah kubikel *outgoing* yang terhubung dengan trafo 1 MVA. Penggantian kubikel pada gardu UI-6 dilakukan pada kubikel kedua dan ketiga. Berikut ini adalah skema SKTM dari gardu UI-6



Skema SKTM UI-6

Gambar 4.10 Skema SKTM UI-6

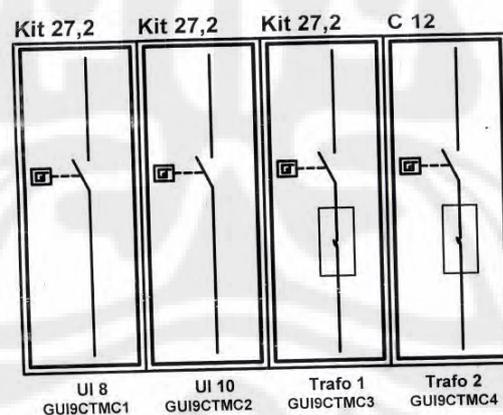
Pada gardu selanjutnya yaitu gardu UI-7 terdapat tiga buah kubikel. Kubikel pertama adalah kubikel *outgoing* yang terhubung ke trafo 630 kVA. Kubikel kedua juga merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung dengan trafo 800 kVA. Sedangkan untuk kubikel ketiga adalah kubikel *feeder* yang berasal dari gardu UI-1. Penggantian kubikel pada gardu UI-7 dilakukan hanya pada kubikel ketiga. Berikut ini adalah skema SKTM dari gardu UI 7.



Skema SKTM UI-7

Gambar 4.11 Skema SKTM UI-7

Pada gardu UI-9 terdapat empat buah gardu yang terhubung oleh busbar. Kubikel pertama merupakan *feeder* dari gardu UI-8. Kubikel kedua merupakan kubikel *feeder* yang menuju gardu UI-10. Kubikel ketiga merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung dengan trafo 630 kVA. Kubikel keempat merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung dengan trafo 630 kVA juga. Kubikel yang diganti pada gardu UI-9 adalah kubikel pertama dan kedua. Berikut ini adalah skema SKTM dari gardu UI-9.

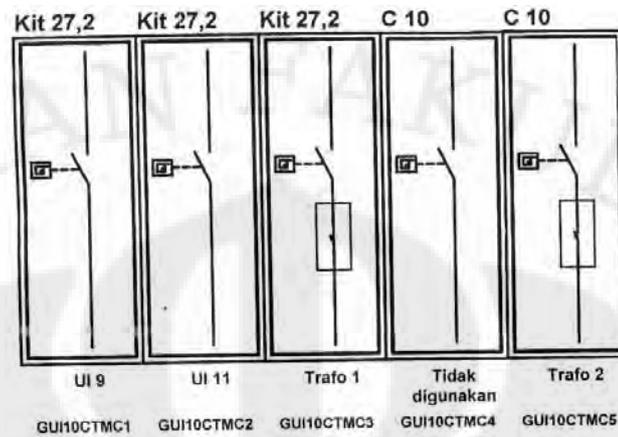


Skema SKTM UI-9

Gambar 4.12 Skema SKTM UI-9

Pada skema SKTM gardu UI-10 yang ada dibawah ini, terdapat lima buah kubikel namun hanya empat saja yang digunakan. Kubikel pertama merupakan kubikel *feeder* yang menuju gardu UI-9. Kubikel kedua merupakan kubikel *feeder* dari UI-11. Kubikel ketiga merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung ke trafo 630 kVA. Kubikel kelima merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung ke trafo 630 kVA. Untuk kubikel keempat merupakan kubikel *outgoing* yang tidak

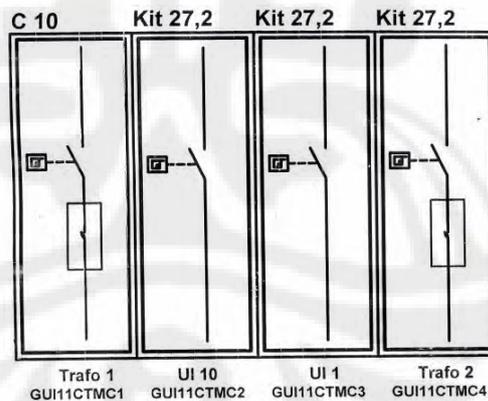
digunakan. Penggantian kubikel pada gardu UI-10 dilakukan pada kubikel pertama dan kedua. Berikut ini adalah gambar skema SKTM dari gardu UI-10.



Skema SKTM UI-10

Gambar 4.13 Skema SKTM UI-10

Pada gardu terakhir yaitu gardu UI-11 terdapat empat buah kubikel. Kubikel pertama merupakan kubikel *outgoing* yang terhubung ke trafo 630 kVA. Kubikel kedua adalah *feeder* yang menuju gardu UI-10. Kubikel ketiga merupakan *feeder* dari gardu UI-1. Kubikel keempat adalah kubikel *outgoing* yang terhubung ke trafo 400 kVA. Berikut ini adalah skema SKTM dari gardu UI-11.



Skema SKTM UI-11

Gambar 4.14 Skema SKTM UI-11

Keempat kubikel tersebut merupakan kubikel yang cara pengoperasiannya dengan dikayuh. Dari keempat kubikel yang ada pada gardu UI-11, kubikel yang perlu diganti menjadi kubikel yg *motorized* agar dapat dikendalikan dari pusat kontrol adalah kubikel kedua dan ketiga. Perancangan pusat kontrol untuk rancangan ini

sama dengan perancangan pusat kontrol dengan perancangan sebelumnya. Hal yang membedakan antara perancangan ini dengan perancangan pertama adalah jumlah peralatan yang dikendalikan oleh pusat kontrol. Pada perancangan yang mencakup pengawasan dan pengendalian semua gardu ini, jumlah *telesignal*, *telemetering*, *remote control* per lokasi lebih banyak dibandingkan rancangan sebelumnya. Oleh karena itu, jumlah RTU-nya pun berbeda. Jumlah RTU berbanding lurus dengan jumlah *telesignal*, *telemetering*, *remote control* per lokasi. Semakin banyak jumlah *telesignal*, *telemetering*, *remote control* per lokasi maka akan semakin banyak pula RTU yang dibutuhkan. Berikut ini adalah perhitungannya jumlah dari *telesignal*, *telemetering*, *remote control* per lokasi.

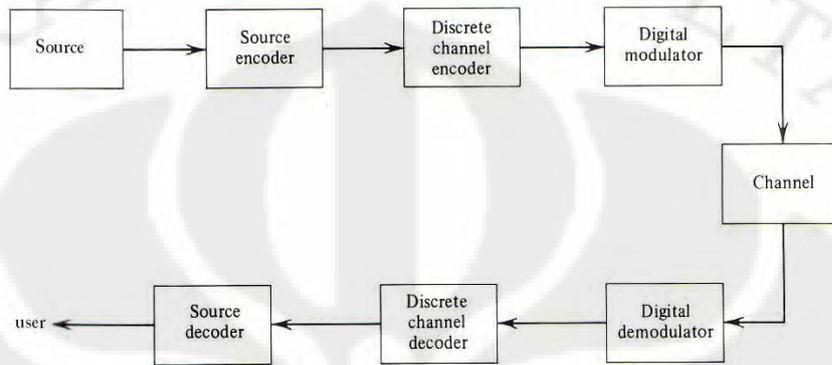
Tabel 4.12 Tabel jumlah TM, TC dan TS Rancangan 2

Penandaan	Gardu													Jumlah
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Telemetering														Σ TM
frekuensi	1													
arus	1													
tegangan	1													
daya aktif	1													
daya reaktif	1													
Total	5													5
Telecontrol														Σ TC
Dummy load	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
CB o/c	6	6	4	4	4	4	4	2	6	4	4	4	4	
Total	7	7	5	5	5	5	5	3	7	5	5	5	5	69
Telesignal														Σ TS
Dummy load	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Alarm (Rele)	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
CB o/c	6	6	4	4	4	4	4	2	6	4	4	4	4	
Total	9	8	6	6	6	6	6	4	8	6	6	6	6	83

Dengan jumlah Σ TM, Σ TC, dan Σ TS mencapai 157. Maka jumlah DI dibutuhkan adalah 157 *port* sedangkan DO adalah 143 *port*, dan untuk analog input sebagai *port* yang jumlah sama dengan jumlah fungsi telemetering maka jumlahnya adalah 5 *port*.

4.1.3 Perancangan sistem SCADA dengan serat optik

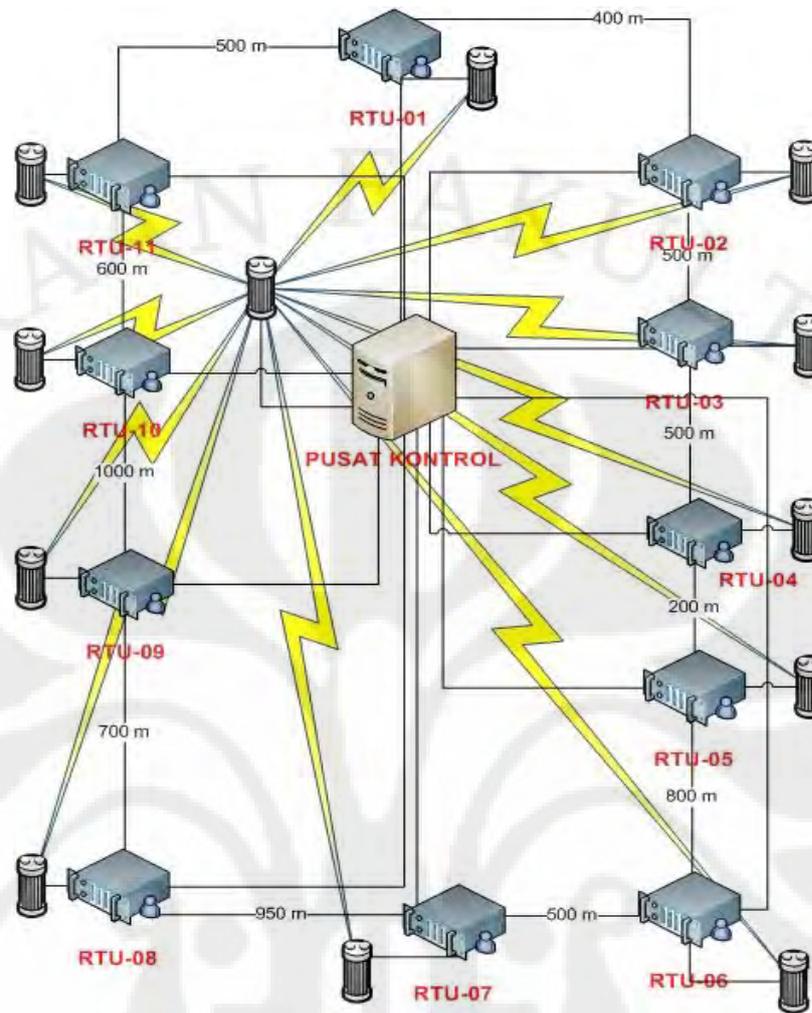
Pada dasarnya sistem komunikasi yang divariasikan memiliki struktur dasar yang sama. Hal yang membedakan adalah kanal (*channel*) yang digunakan untuk mengirimkan data atau perintah dari pusat kontrol ke terminal dan sebaliknya. Berikut adalah gambar diagram sistem komunikasi digital.



Gambar 4.15 Diagram sistem komunikasi digital

Kanal (*channel*) yang dirancang serat optik. Berdasarkan gambar 4.15 letak perbedaan diantara ketiganya terletak pada modulator, kanal, dan demodulator. Untuk bagian *source*, merupakan sumber data digital yang ingin dikirim atau dibaca oleh *user*. Apabila sumber yang ada merupakan analog maka perlu diubah menjadi *digital* menggunakan *source encoder*, untuk menerjemahkannya kembali sehingga menghasilkan keluaran yang diterima *user* sama dengan sumber maka diperlukan *source decoder*. Pada sistem SCADA ini digunakan sumber digital yang berasal dari RTU namun pada implementasi menggunakan radio yang mengirimkan sinyal analog untuk disampaikan ke pusat kontrol dibutuhkan perubah sinyal analog agar dapat ditransmisikan oleh radio tersebut.

Untuk perancangan sistem SCADA menggunakan media komunikasi serat optik diperlukan beberapa komponen yang berbeda dengan komponen yang diperlukan dalam perancangan sistem SCADA dengan media komunikasi radio. Berikut adalah gambar jaringan kelistrikan dan jarak antara RTU menuju pusat kontrol.



Gambar 4.17 Sistem SCADA dengan media komunikasi serat optik

Berikut ini adalah contoh perincian peralatan yang dibutuhkan untuk menghubungkan RTU-03 ke pusat kontrol.

- FO Cable 4 Core Outdoor Multimode, Netviel 200Mtr
- Media Converter, 10/100FX
- 10/100TX, Micronet 2 Unit
- ST Connector, Amp 8 buah
- FO Patch Cord ST to SC, Amp 2 Pcs
- FO Wallmount Rack 4 ST Coupler, Amp 2 Unit
- Buffer Tubing Kits, Amp 8 buah
- Pipa PVC 20mm 35 Batang
- Sock 20mm 1 bungkus
- Material Support 1 Lot

- FO *Cable Terminating* 8 Node
- FO *Cabling Instalation* 200 meter

Untuk spesifikasi peralatan-peralatan tersebut, besar biaya yang diperlukan adalah 22 juta rupiah.

Untuk jarak antara RTU ke pusat kontrol selain RTU-03 akan disebutkan jarak antara RTU ke pusat kontrolnya saja.

Tabel 4.13 Tabel jarak antar RTU ke pusat kontrol

Gardu	Jarak ke Pusat Kontrol	
	Jalur tegangan menengah (meter)	Jarak sebenarnya (meter)
RTU-01	1100	800
RTU-02	700	400
RTU-03	200	200
RTU-04	700	500
RTU-05	900	600
RTU-06	1700	900
RTU-07	2200	1200
RTU-08	3150	1600
RTU-09	3200	1000
RTU-10	2200	600
RTU-11	1400	800

Jika memperhitungkan jarak yang digunakan adalah jalur tegangan menengah, maka total panjang kabel serat optik yang dibutuhkan adalah 17450 meter. Jika digunakan jarak yang sebenarnya maka panjang kabel yang dibutuhkan adalah 8600 meter. Perbedaan jarak antar jalur tegangan menengah dan jarak sebenarnya lebih dari dua kali lipat. Biaya yang dibutuhkan untuk membuat sistem dengan menggunakan serat optik dengan menggunakan jalur tegangan menengah dan jalur sebenarnya memiliki perbedaan yang cukup besar. Untuk biaya pemasangan serat optik dengan jarak 17450 meter dibutuhkan biaya sebesar Rp 1.307.279.531,00 sedangkan untuk pemasangan serat optik dengan jarak 8600 meter biaya yang dibutuhkan adalah Rp 616.682.187,00. Berikut ini adalah tabel harga serat optik.

Tabel 4.14 Tabel daftar harga serat optik antar RTU ke pusat kontrol

Gardu	Daftar Harga	
	harga untuk jalur TM (Rp)	harga untuk jarak sebenarnya (Rp)
RTU-01	81788437,5	59482500
RTU-02	53161500	34734000
RTU-03	22459500	22459500
RTU-04	53161500	40992000
RTU-05	66917812,5	4586000
RTU-06	126400312,5	66917812,5
RTU-07	163576875	89223750
RTU-08	234212343,8	118965000
RTU-09	237930000	74353125
RTU-10	163576875	45486000
RTU-11	104094375	59482500
TOTAL	1307279531	616682187,5

Besar biaya tersebut diambil dari daftar harga serat optik. Meskipun selisih diantaranya lebih dari 500 juta rupiah, namun apabila digunakan jalur yang belum ada, bukan jalur tegangan menengah, maka dibutuhkan biaya lain untuk pembuatan jalur baru tersebut. Untuk lebih mudahnya adalah dengan mencari jalur lain yang bisa ditumpangkan oleh serat optik namun dengan jarak yang lebih dekat. Namun data tersebut hingga kini belum diperoleh oleh penulis. Berikut adalah gambar beberapa komponen yang terdapat dalam perincian peralatan diatas.



Gambar 4.18 Beberapa peralatan media komunikasi serat optik

4.2 Analisa perbandingan sistem

4.2.1 Perbandingan Sistem SCADA dengan Pengontrolan pada Gardu *Middle Point* dengan Pengontrolan Seluruh Gardu

Pada analisa kali ini akan dibandingkan perancangan yang lebih handal dan lebih efisien untuk digunakan dalam sistem kelistrikan UI. Perbandingan pertama adalah antara perancangan dengan pengontrolan pada *middle point* dengan perancangan pengontrolan seluruh gardu.

Pada perancangan pertama yaitu perancangan pengontrolan pada *middle point* terdapat kelebihan dan kekurangannya. Pada perancangan tersebut apabila terjadi gangguan di gardu UI-2, UI-4 yang menyebabkan suplai menuju UI-12, UI-5 dan UI-6 terganggu, maka gangguan terlokalisir pada wilayah gardu tersebut. Sedangkan untuk gardu UI-12, UI-5 dan UI-6 dapat kembali disuplai melalui *express feeder* dari UI-8. Untuk sisi *middle point* selanjutnya yaitu gardu UI-1, apabila terjadi gangguan pada gardu UI-3, UI-1, yang menyebabkan gardu UI-11, UI-10, UI-9, dan UI-8 tidak tersuplai, maka gangguan akan dilokalisir sehingga gardu UI-8, UI-9, UI-10 dan UI-11 dapat kembali tersuplai. Kekurangan dari sistem ini adalah apabila terjadi gangguan pada gardu UI-2 maka UI-4 yang seharusnya bisa mendapat suplai dari UI-12 yang mendapat suplai dari *express feeder* tidak mendapat suplai karena feeder yang ada di gardu UI-4 tidak dikendalikan oleh pusat kontrol. Pemasangan rele juga dilakukan pada gardu *middle point* tersebut agar mampu memberikan sinyal apabila terjadi gangguan. Rele yang digunakan adalah rele gangguan tanah (*ground fault relay*) yang biasa dikenal dengan singkatan GFR. Rele tersebut dipasang agar mampu mendeteksi gangguan hubung tanah yang terjadi pada gardu. Gangguan tersebut dapat menyebabkan tegangan berlebih pada sistem. Hal tersebut dikarenakan arus yang mengalir dalam sistem berkurang jumlahnya karena ada yang mengalir ke tanah. Sementara itu besar daya yang disuplai tetap sehingga arus yang turun menyebabkan tegangan meningkat.

Pada rancangan kedua yaitu pengontrolan pada semua gardu, pelokalisiran gangguan dapat dilakukan di berbagai tempat. Berbeda dengan rancangan sebelumnya, pada rancangan ini, gangguan yang terjadi di gardu mana pun dapat dilokalisir dan gardu lainnya dapat kembali tersuplai. Dengan kemampuan seperti

itu dapat dikatakan bahwa rancangan sistem yang kedua lebih handal karena kemampuannya dalam melokalisir gangguan dan kemampuan dalam kontinuitas suplai tegangan. Meskipun dapat mengendalikan seluruh gardu pada sistem kelistrikan UI. Biaya yang harus dikeluarkan untuk membangun sistem ini besarnya hampir 2 kali lipat dari biaya sistem yang pertama. Hal ini tentunya menjadi pertimbangan yang perlu diperhatikan. Berikut adalah perincian biaya dengan data daftar harga barang yang diperlukan untuk membangun sistem SCADA.

Tabel 4.15 Perbandingan harga barang rancangan 1 dan rancangan 2

DAFTAR HARGA BARANG

Rancangan	Jenis Barang	Jumlah barang	Harga Satuan	Harga total
Rancangan 1	Pusat Kontrol			
	Server & aplikasi SCADA	1	1500000000	1500000000
	Komputer Master	1	6000000	6000000
	Komputer Slave	1	6000000	6000000
	Mimic board	1	150000000	150000000
	Printer dot metric	1	1300000	1300000
	Automatic Transfer Switch	1	48000000	48000000
	UPS 1000VA	1	5985000	5985000
	Gardu			
	RTU	4	200000000	800000000
	IED	10	12000000	120000000
	Kubikel motorized	10	80000000	800000000
	Ground Fault Relay	3	16500000	49500000
	Total			
Rancangan 2	Pusat Kontrol			
	Server & aplikasi SCADA	1	1500000000	1500000000
	Komputer Master	1	6000000	6000000
	Komputer Slave	1	6000000	6000000
	Mimic board	1	150000000	150000000
	Printer dot metric	1	1300000	1300000
	Automatic Transfer Switch	1	48000000	48000000
	UPS 1000VA	1	5985000	5985000
	Gardu			
	RTU	11	200000000	2200000000
	IED	28	12000000	336000000
	Kubikel motorized	28	80000000	2240000000
	Ground Fault Relay	11	16500000	181500000
	Total			

Pembahasan selanjutnya adalah analisa untuk media komunikasi dari sistem SCADA. Dari perancangan sistem SCADA menggunakan serat optik sebagai sistem telekomunikasinya, diperoleh berbagai macam kesimpulan mengenai keunggulan dan kekurangan dalam berbagai segi, dari setiap jenis media telekomunikasi tersebut.

4.2.2 Sistem SCADA dengan Serat Optik

Serat optik mempunyai banyak kelebihan dibanding media lainnya hal ini sesuai dengan perkembangan teknologi yang semakin maju sehingga menciptakan serat optik sebagai media komunikasi.

- a. Serat optik lebih kecil dan ringan dibanding kawat tembaga.
- b. Bebas dari gangguan interferensi gelombang elektromagnetik tidak seperti media komunikasi radio.
- c. Mempunyai lebar bidang frekuensi yang tinggi.
- d. Keamanan transmisi dengan serat optik lebih tinggi sebab penyadapan pada serat optik sulit dilakukan.
- e. Mempunyai rugi-rugi yang relatif kecil, dimana pada 445 Mbps dapat mentransmisikan sinyal sejauh 130 km tanpa penguat.
- f. Keandalan yang lebih tinggi dan biaya pemeliharaan lebih murah. Juga serat optik dapat bertahan hingga 30 tahun.

Untuk perancangan dengan menggunakan serat optik diperoleh beberapa keunggulan dan kekurangan. Keunggulan-keunggulannya adalah tahan terhadap interferensi atau gangguan gelombang elektromagnetik, tahan terhadap kenaikan tegangan tanah, kapasitas pita (*bandwidth*) lebih lebar, data dapat diterima lebih cepat. Kekurangan-kekurangan dari sistem serat optik adalah peralatan tesnya mahal, konfigurasi jaringan tidak fleksibel, dibutuhkan, peralatan khusus pada bagian pengirim (*transmitter*) dan penerima (*receiver*), biaya yang dibutuhkan sangat besar jika dibandingkan dengan media lain.

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa perancangan yang telah dilakukan ada beberapa hal yang dapat kita simpulkan yaitu :

1. Perancangan sistem SCADA dengan pengontrolan pada *middle point* dilakukan pada gardu UI-12 dan UI-1 karena kedua gardu tersebut memiliki cakupan wilayah gangguan yang lebih luas, untuk berbagai lokasi gangguan, dibandingkan dengan gardu lainnya.
2. Perancangan sistem SCADA pada sistem kelistrikan UI memerlukan biaya yang sangat besar karena saat ini sistem kelistrikan UI masih memakai kubikel manual dan tidak memiliki rele proteksi.
3. Perancangan sistem SCADA dengan pengontrolan pada *middle point* dapat menjadi solusi awal untuk pembangunan selanjutnya yang meliputi pengawasan dan pengontrolan seluruh gardu UI.
4. Perancangan sistem SCADA dengan media komunikasi serat optik memerlukan jalur khusus atau jalur alternatif selain jalur kelistrikan agar mampu menekan jumlah panjang kabel yang dibutuhkan.
5. Dengan adanya sistem SCADA pada sistem kelistrikan Universitas Indonesia maka sistem proteksi dan efisiensi pemulihan gangguan yang ada akan lebih baik dengan pengawasan dan penanganan gangguan yang dilakukan dengan cepat.

DAFTAR REFERENSI

1. Marsudi, Djiteng, “Operasi Sistem Tenaga Listrik”, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2006.
2. Widodo, A., Wulasari, N., dan Asriningtyas, N., “Sistem SCADA Pada PT PLN (Persero) Area Pengatur Distribusi (APD) Gambir”, Laporan Kerja Praktek, Depok, 2004.
3. Widiastomo, T Respati., “Teleproteksi Sitem Tenaga Listrik Dengan Menggunakan Power Line Carrier”, Laporan Seminar, Depok, 1997.
4. Maulana, Agus Harya., “**Fungsi SCADA**”, Edisi 1 rev. 2, Agustus 2005.
5. PT. PLN., 2003, Ms. PowerPoint file: *SCADA SYSTEM AND APPLICATION*.
6. http://ldc.plnsulselra.co.id/images/Pola_Scada_Operasi_rev_05.pdf.
7. SPLN S6.001: 2008 mengenai perancangan dan pembangunan sistem SCADA
8. Dept. Teknik Elektro Fakultas Teknik UI, “Pelabelan Gardu-gardu di Universitas Indonesia Depok”, Pusat Studi Teknologi dan Informasi Ketenagalistrikan, Depok.
9. G. Proakis, John., “Digital Communications”, 2nd edition, McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1989.