



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KARAKTERISTIK ARUS INRUSH
PADA OPERASI PENSAKLARAN
LAMPU HEMAT ENERGI**

SKRIPSI

**Dwi Febrianto
04 04 03 032 6**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KARAKTERISTIK ARUS INRUSH
PADA OPERASI PENSAKLARAN
LAMPU HEMAT ENERGI**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

**Dwi Febrianto
04 04 03 032 6**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

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

Nama : Dwi Febrianto

NPM : 04 04 03 032 6

Tanda tangan :

Tanggal : 12 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Seminar ini diajukan oleh :
Nama : Dwi Febrianto
NPM : 04 04 03 032 6
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis karakteristik arus inrush pada operasi pensaklaran lampu hemat energi

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : DR. Ir. Iwa Garniwa M K MT ()

Penguji : DR. Ir. Rudy Setiabudy ()

Penguji : Budi Sudiarto ST, MT ()

Ditetapkan di : Kampus UI Depok

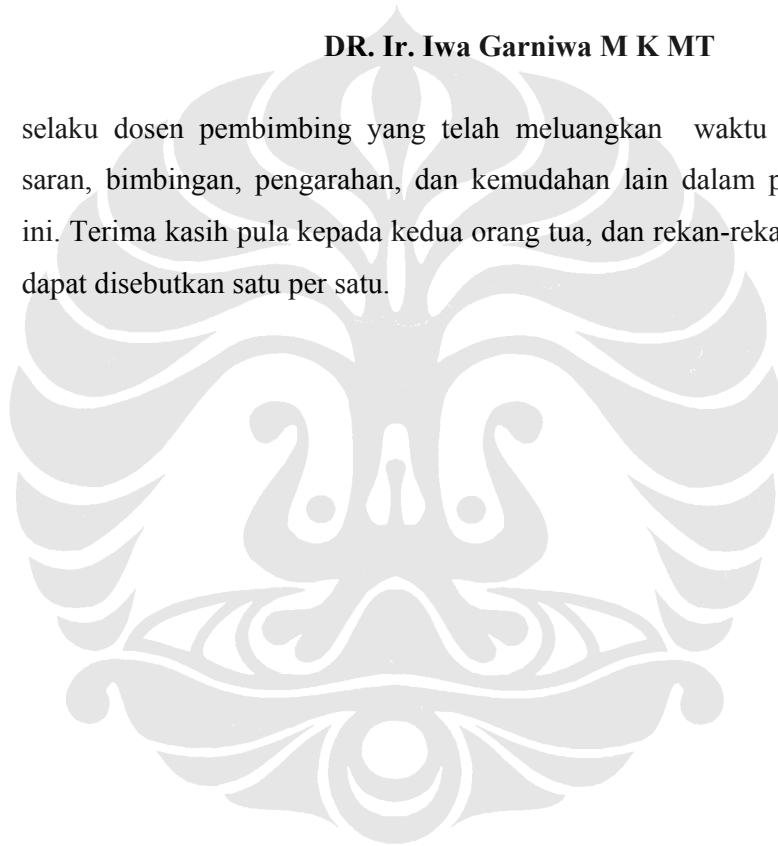
Tanggal : 12 Desember 2008

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Tak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

DR. Ir. Iwa Garniwa M K MT

selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan saran, bimbingan, pengarahan, dan kemudahan lain dalam penyelesaian skripsi ini. Terima kasih pula kepada kedua orang tua, dan rekan-rekan semua yang tidak dapat disebutkan satu per satu.



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Dwi Febrianto
NPM : 04 04 03 032 6
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**ANALISIS KARAKTERISTIK ARUS INRUSH PADA OPERASI
PENSAKLARAN LAMPU HEMAT ENERGI**

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 : Desember 2008
Yang menyatakan

(Dwi Febrianto)

ABSTRAK

Nama : Dwi Febrianto
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisis karakteristik arus inrush pada pensaklaran lampu hemat energi

Arus inrush merupakan suatu kondisi transien arus ketika dilakukan operasi pensaklaran pada beban dalam suatu rangkaian listrik. Arus inrush dalam ketenagalistrikan selalu diperhitungkan untuk beban-beban kapasitas besar atau peralatan listrik yang mengkonsumsi daya listrik yang besar. Jarang sekali dilakukan penelitian mengenai arus inrush pada operasi pensaklaran beban yang menyerap daya relatif kecil, seperti pada beban pada rumah tangga. Pengujian karakteristik arus inrush pada pensaklaran lampu hemat energi ini dilakukan untuk melihat bagaimana karakteristik arus inrush saat operasi penutupan saklar dilakukan, dan apa yang menyebabkan operasi penutupan saklar pada lampu hemat energi ini menghasilkan respon lonjakan arus sesaat. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa penyebab terjadinya fenomena arus inrush pada operasi pensaklaran lampu hemat energi ini adalah karena adanya nilai kapasitansi yang besar pada komponen ballast di dalam lampu hemat energi.

Kata kunci: operasi pensaklaran, arus inrush, lampu hemat energi

ABSTRACT

Name : Dwi Febrianto
Study Program : Electrical Engineering
Title : Analysis of inrush current characteristic in energy saver lamp switching operation

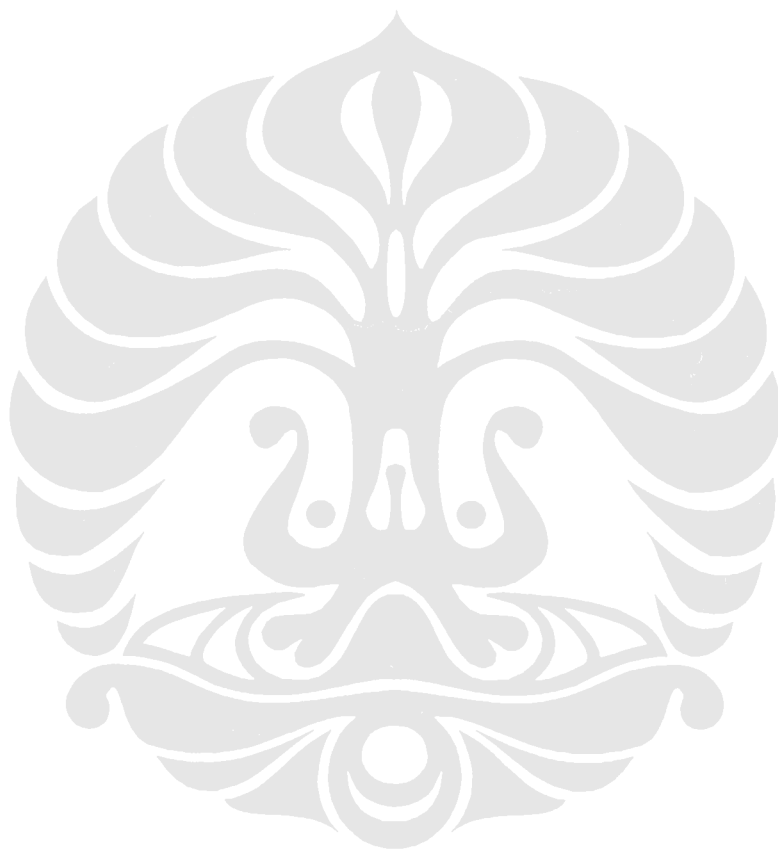
Inrush current is a transient current that occurred at load switching operation. Experiment about inrush current in power system almost done with high power load switching operation. Just a little of inrush current experiment do in a load which consumed low power, like in household equipment. Experiment of inrush current that occur in energy saver lamp switching operation has been done to see the inrush current characteristic at turn on operation, and to analyze how inrush current can occur in this turn on operation. Form the result of this experiment shows that inrush current in energy saver lamp switching operation occurred because there was a high capacitance value from ballast component in energy saver lamp.

Key words: switching operation, inrush current, energy saver lamp

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xv
DAFTAR ISTILAH / SIMBOL	xvi
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	2
2 DASAR TEORI	3
2.1 Gejala Peralihan (Transien)	3
2.1.1 Transien Impulsif (<i>Impulsive Transient</i>)	5
2.1.2 Transien Osilasi (<i>Oscillatory Transient</i>)	6
2.2 Penyebab Transien pada Rangkaian Listrik	7
2.2.1 Transien dalam Rangkaian Listrik	8
2.2.2 Arus Inrush Transien	11
2.3 Hukum Pensaklaran	12
2.4 Pensaklaran Lampu Hemat Energi	15
2.4.1 Lampu Hemat Energi	15
2.4.2 Arus Inrush pada Lampu Hemat Energi	17
3 METODE PENGUJIAN	19
3.1 Peralatan dan Rangkaian Pengujian	19
3.1.1 Peralatan Pengujian	19
3.1.2 Rangkaian Pengujian	20
3.2 Pengujian Arus Inrush dengan Menggunakan Osiloskop	20
3.2.1 Persiapan Pengujian	23
3.2.2 Jalannya Pengujian	24
4 ANALISA HASIL PENGUJIAN	23
4.1 Pengujian Karakteristik Arus Inrush dengan Variasi Beban	23
4.1.1 Menghitung Faktor Koreksi Pembacaan Osiloskop	24
4.1.2 Pengujian Karakteristik Arus inrush	24

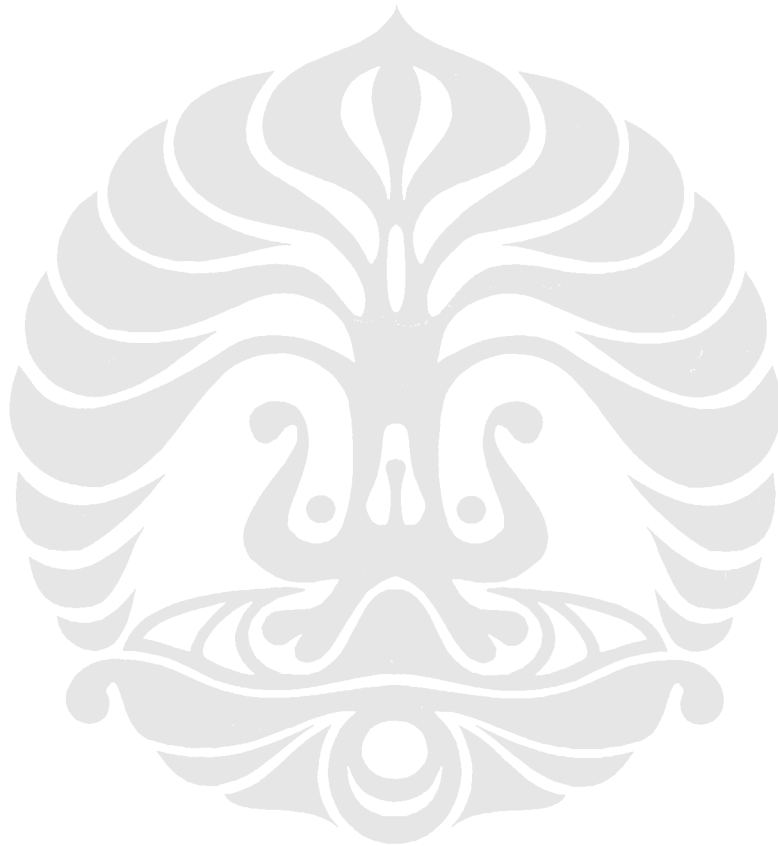
4.2 Pengujian Karakteristik Arus Inrush dengan Variasi Saklar	31
4.3 Analisa Hasil Pengujian	36
4.3.1 Analisa Hasil Pengujian Pada Variasi Beban	36
4.3.2 Analisa Hasil Pengujian Pada Variasi Saklar	38
V KESIMPULAN	40
DAFTAR REFERENSI	41
DAFTAR PUSTAKA	42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rangkaian seri R-L-C.....	3
Gambar 2.2	Transien Impulsif pada sambaran petir	5
Gambar 2.3	Transien Osilasi pada pensaklaran kapasitor.....	6
Gambar 2.4	Kurva waktu pensaklaran	12
Gambar 2.5	Rangkaian ekivalen untuk induktansi pada $t = 0$	13
Gambar 2.6	Rangkaian ekivalen untuk kapasitansi pada $t = 0$	14
Gambar 2.7	Lampu hemat energi	16
Gambar 2.8	Komponen <i>ballast</i> dan <i>starter</i> yang terintegrasi pada LHE.....	17
Gambar 3.1	Rangkaian pengukuran arus inrush dengan osiloskop.....	20
Gambar 4.1	Bentuk gelombang arus kondisi tunak lampu hemat energi 8 Watt pada osiloskop	24
Gambar 4.2	Bentuk gelombang arus saat penutupan saklar pada lampu 8 Watt	26
Gambar 4.3	Bentuk gelombang arus saat penutupan saklar pada lampu 14 Watt	27
Gambar 4.4	Bentuk gelombang arus saat penutupan saklar pada lampu 18 Watt	29
Gambar 4.5	Bentuk gelombang arus saat penutupan saklar pada lampu 23 Watt	30
Gambar 4.6	Bentuk gelombang arus inrush dengan saklar lampu.....	32
Gambar 4.7	Bentuk gelombang arus inrush dengan saklar tuas.....	33
Gambar 4.8	Bentuk gelombang arus inrush dengan saklar tombol.....	34
Gambar 4.9	Diagram arus inrush maksimum dan arus steady state maksimum terhadap beban.....	36
Gambar 4.10	Rasio Arus maksimum inrush dan kondisi tunak untuk tiap beban	37

Gambar 4.11	Diagram karakteristik waktu arus inrush terhadap beban	38
Gambar 4.12	Diagram arus inrush maksimum dan arus <i>steady state</i> maksimum terhadap variasi saklar	38
Gambar 4.13	Diagram karakteristik waktu arus inrush pada variasi saklar.....	39



BAB 1

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Meningkatnya pemakaian peralatan elektronik di rumah tangga meningkatkan tuntutan sumber listrik yang handal. Dalam hal ini adalah sumber listrik yang stabil dan bebas gangguan seperti transien dan surja. Bagaimanapun juga, pertimbangan desain modern termasuk pengoperasian yang lebih cepat, komponen yang lebih kecil dan lebih murah dan rendah konsumsi daya menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan peralatan; faktor-faktor ini jugalah yang akan mempengaruhi (dalam hal ini mengurangi) kemampuan untuk mendisipasikan energi yang masuk kepadanya, sehingga meningkatkan kerentanan mereka terhadap tegangan lebih dan arus surja yang masuk atau terinduksi padanya.

Semua peralatan listrik yang merupakan beban atau titik terakhir dalam sistem tenaga listrik pasti memiliki suatu spesifikasi ukuran daya listrik dalam satuan VA dan berikut dengan faktor daya yang dikonsumsi untuk menjadikan kondisi peralatan tersebut dalam kondisi menyala atau ON. Dari spesifikasi daya yang dibutuhkan itulah dapat diketahui besar arus nominal kondisi tunak yang dibutuhkan oleh setiap peralatan selama dalam kondisi ON. Namun pada kenyataannya, saat kondisi peralatan itu tepat akan menyala dibutuhkan arus yang sangat besar jika dibandingkan arus nominal kondisi tunak. Lonjakan arus inilah yang disebut arus inrush.

I.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan penulisan tugas akhir ini yaitu untuk memberikan gambaran tentang karakteristik arus inrush pada operasi pensaklaran lampu penerangan jenis *compact fluorescent lamp* (CFL) atau yang umum dikenal dengan lampu hemat

energi. Karakteristik arus inrush pada operasi pensaklaran didapat pengujian dengan menggunakan osiloskop.

I.3 BATASAN MASALAH

Karakteristik arus inrush pada operasi pensaklaran lampu hemat energi merupakan hal yang diperhatikan dalam skripsi ini. Pengujian dilakukan untuk 4 buah lampu hemat energi (merk Philips) yang memiliki besar daya aktif (P) yang berbeda, yaitu lampu hemat energi dengan daya 8 Watt, 14 Watt, 18 Watt, dan 23 Watt. Selain itu juga dilakukan pengujian pengaruh penggunaan 3 jenis saklar yang berbeda terhadap besarnya arus inrush.

I.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari 5 bab. Bab 1 berisi pendahuluan yang menjelaskan tentang latar belakang penulisan, tujuan penulisan, batasan masalah, serta sistematika penulisan. Bab 2 menjelaskan dasar teori mengenai gejala peralihan dan arus inrush dalam suatu rangkaian listrik. Bab 3 menjelaskan mengenai metodologi pengujian yang akan dilakukan. Bab 4 menjelaskan hasil pengujian dan analisa. Dan bab 5 berisi kesimpulan.

BAB 2

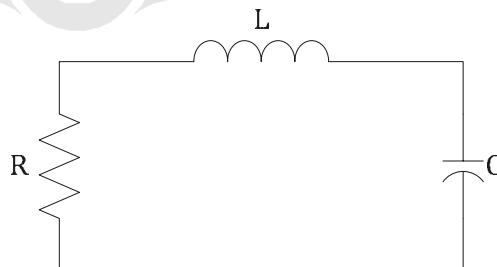
DASAR TEORI

2.1 GEJALA PERALIHAN (TRANSIEN)

Gejala peralihan atau transien merupakan perubahan nilai tegangan atau arus maupun keduanya baik sesaat maupun dalam jangka waktu tertentu (dalam orde mikro detik) dari kondisi tunaknya (*steady state*). Penyebabnya adalah dapat dari lingkungan atau faktor eksternal seperti petir, dan dapat juga akibat perlakuan terhadap sistem itu sendiri atau faktor internal seperti pensaklaran.

Transien sudah lama digunakan dalam istilah tenaga listrik sebagai sesuatu kejadian yang sebenarnya tidak diinginkan dan sifatnya sangat cepat, namun merupakan suatu kejadian yang alami sehingga tidak dapat dicegah. Kondisi transien dapat berupa tegangan ataupun arus. Untuk transien arus lebih dikenal secara khusus sekarang ini sebagai arus inrush.

Pada rangkaian listrik, transien merupakan suatu karakteristik respon alami tegangan atau arus dari sistem yang terdiri dari komponen resistif (R), induktif (L) dan kapasitif (C). Ada 3 respon yang dikenal, yaitu respon alami kurang teredam (*underdamped*), teredam kritis (*crititically damped*) dan sangat teredam (*overdamped*). Karena disini membicarakan arus maka respon yang dimaksud adalah respon arus, sehingga rangkaiannya adalah sebuah rankaian seri.



Gambar 2.1 Rangkaian seri RLC

Secara matematis dalam ilmu rangkaian listrik dapat dijelaskan 3 respon ini. Suatu rangkaian listrik sederhana yang terdiri dari komponen aktif R juga komponen pasif L dan C dirangkai secara seri seperti pada gambar 2.1. Dari gambar 2.1, dengan menggunakan analisis mesh dapat diturunkan persamaan tegangannya, yaitu :

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0$$

Dan dengan menggunakan persamaan diferensial orde 2 dan pemisalan $i = Ae^{st}$, maka :

$$L A s^2 e^{st} + R A s e^{st} + \frac{1}{C} A e^{st} = 0$$

$$A e^{st} (L s^2 + R s + \frac{1}{C}) = 0$$

$$L s^2 + R s + \frac{1}{C} = 0$$

$$\text{dengan } s_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

$$\text{atau } s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 + \omega_0^2} ; \quad \alpha = \frac{R}{2L} ; \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

- Untuk $\alpha > \omega_0$, merupakan kondisi *overdamped*

$$i(t) = A_1 e^{s_1 t} + A_2 e^{s_2 t} \dots \dots \dots (2.1)$$

- Untuk $\alpha = \omega_0$, merupakan kondisi *critically damped*

$$i(t) = e^{-\alpha t} (A_1 + A_2) \dots \dots \dots (2.2)$$

- Untuk $\alpha < \omega_0$, merupakan kondisi *underdamped*

$$i(t) = e^{-\alpha t} (B_1 \cos \omega_d t + B_2 \sin \omega_d t) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

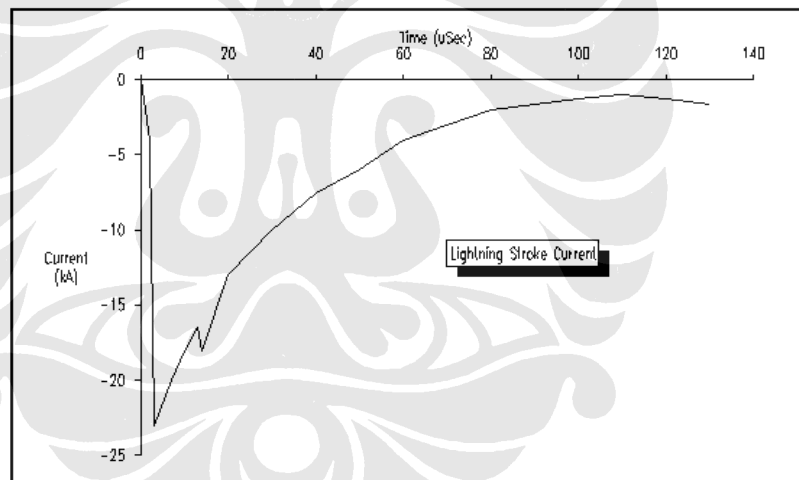
Konstanta A_1 , A_2 , B_1 , dan B_2 didapat dengan menggunakan kondisi awal (*initial condition*)

Pada dasarnya, dalam bidang ilmu ketenagalistrikan hanya ada dua jenis transien yang dikenal, yaitu :

1. *Oscillatory transient*, memiliki respon transien sama seperti *underdamped*
2. *Impulsive transient*, yang merupakan perwakilan dari kondisi *overdamped* dan *critically damped*.

2.1.1 Transien Impulsif (*Impulsive Transient*)

Transien impulsif adalah suatu respon kondisi lonjakan sesaat karakteristik arus atau tegangan tanpa mengubah frekuensi dari kondisi tunak dengan bentuk gelombang yang memiliki polaritas searah. Bentuk gelombangnya sesuai dengan persamaan eksponensial murni. Salah satu penyebab transien impulsif adalah sambaran petir.



Gambar 2.2. Transien Impulsif pada sambaran petir

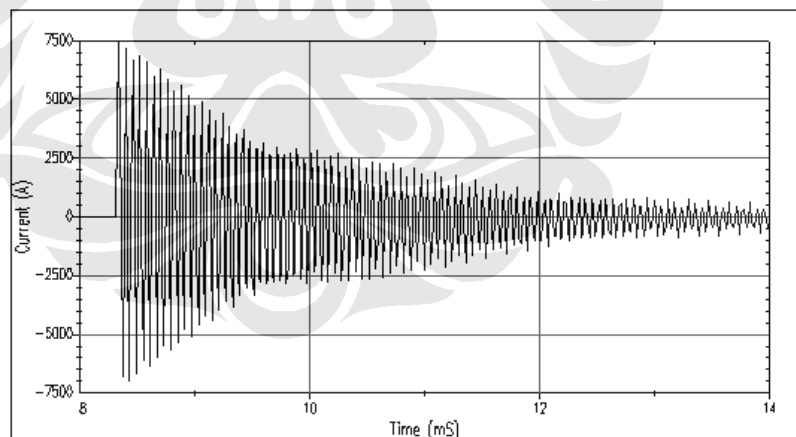
Transien impulsif sering kali ditinjau dari beberapa karakteristik penting yang menunjukkan kondisi respon impulsif tersebut, seperti besar respon maksimum (I_{maks} atau V_{maks}), waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi maksimum dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan tunak. Karakteristik tersebut biasanya dinyatakan oleh notasi, contohnya $1,2 \times 50 \mu s$ $2000 V$. Ini artinya transien impulsif nilainya naik dari nol menuju nilai puncak 2000 V dalam 1,2 mikrodetik dan turun sampai setengahnya dalam 50 mikrodetik.

Karena peralihan ini berada dalam frekuensi yang tinggi maka bentuk dari gelombang peralihan dapat berubah secara cepat oleh komponen rangkaian dan akan mempunyai bentuk gelombang yang berbeda bila dilihat pada komponen lain dari sistem daya

2.1.2 Transien Osilasi (*Oscillatory Transient*)

Transien osilasi adalah suatu respon lonjakan sesaat dari karakteristik arus atau tegangan tanpa mengubah frekuensi dari kondisi *steady state* dengan bentuk gelombang yang memiliki polaritas bolak-balik (positif dan negatif). Transien osilasi ini dapat terjadi karena adanya gangguan (*fault*) atau karena operasi pensaklaran (*switching*).

Bentuk gelombang transien osilasi sesuai dengan persamaan eksponensial dengan fungsi sinusoidal. Sama halnya dengan transien impulsif, transien osilasi juga ditinjau dari respon maksimum (I_{maks} atau V_{maks}), waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi maksimum dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan tunak.



Gambar 2.3. Transien Osilasi pada pensaklaran kapasitor

Dalam bidang ilmu ketenagalistrikan, transien osilasi dibagi menjadi 3, yaitu :

1. Transien osilasi frekuensi tinggi, dengan frekuensi lebih besar dari 500 kHz dan durasi waktunya terukur dalam mikrodetik. untuk beberapa

siklus. Transien ini biasanya terjadi karena respon dari sistem terhadap transient impulsif.

2. Transien osilasi frekuensi menengah, dengan frekuensi komponen diantara 5 – 500 kHz dan durasi waktunya terukur dalam puluhan mikrodetik. Transien ini terjadi karena pensaklaran kapasitor ataupun pensaklaran beban. Transien ini juga dapat terjadi karena respon dari sistem terhadap transient impulsif.
3. Transien osilasi frekuensi rendah, dengan frekuensi dibawah 5 kHz dan durasi waktunya 0,3 – 0,5 ms. Transien ini biasanya terjadi pada sistem subtransmisi dan distribusi, dan dapat disebabkan oleh beberapa kejadian. Paling sering adalah karena pelepasan energi dari kapasitor bank yang menghasilkan transien dengan frekuensi 300 – 900 Hz.

Transien frekuensi rendah biasanya mempunyai frekuensi pokok kurang dari 300 Hz and terjadi dalam sistem distribusi. Hal ini terkait dengan ferresonansi dan pelepasan energy transformator. Transien dikarenakan kapasitor terhubung seri juga masuk kategori ini.

2.2 PENYEBAB TRANSIEN PADA RANGKAIAN LISTRIK

Penyebab fenomena transien adalah adanya perubahan parameter rangkaian, yang biasanya terjadi akibat pensaklaran, rangkaian terbuka (*open circuit*) atau hubung singkat (*short circuit*), perubahan dalam operasi sumber, dll. Perubahan arus, tegangan, dan yang lain selama transien tidak berlangsung seketika (*instant*) dan membutuhkan waktu, walaupun perubahan ini terjadi secara cepat dalam hitungan milidetik atau bahkan mikrodetik.

Perubahan yang sangat cepat ini bagaimanapun juga tidak dapat terjadi secara seketika karena proses transien dicapai melalui pertukaran energi, yang biasanya tersimpan dalam medan magnet dari induktansi dan atau medan listrik dari kapasitansi. Perubahan energi tidak dapat terjadi secara mendadak karena akan menghasilkan daya yang tidak terbatas (daya adalah turunan dari energi, $P = dW/dt$), yang tidak mungkin terjadi dalam keadaan sesungguhnya.

Semua perubahan parameter saat transien (yang disebut juga respon transien) kemudian menghilang, dan akan muncul keadaan tunak baru. Dalam hal ini, transien dapat didefinisikan sebagai perilaku rangkaian diantara dua keadaan tunak, yaitu keadaan tunak yang lama (sebelum perubahan) dan keadaan tunak yang baru.

2.2.1 Transien Dalam Rangkaian Listrik

Dalam analisa rangkaian listrik harus dibedakan antara operasi statis atau keadaan tunak, dan operasi dinamis atau keadaan transien. Sebuah rangkaian listrik dikatakan dalam keadaan tunak yaitu saat variabel-variabelnya (tegangan, arus, dll) menunjukkan perilaku dari masing-masing variabel tersebut yang tidak berubah terhadap waktu (pada rangkaian searah) atau berubah secara periodik (pada rangkaian bolak-balik). Dan rangkaian dikatakan dalam keadaan transien saat variabel-variabelnya berubah tidak secara periodik.

Dalam rangkaian yang terdapat komponen induktansi (L) dan kapasitansi (C), parameter L dan C dikarakteristikan oleh kemampuannya dalam menyimpan energi, yaitu energi magnetik (w_m) pada L :

$$w_m = \frac{1}{2} \psi i = \frac{1}{2} L i^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\psi = L i \text{ (dalam medan magnet) } \dots\dots\dots (2.5)$$

dan energi listrik (w_e) pada C :

$$w_e = \frac{1}{2} q v = \frac{1}{2} C v^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

$$q = C v \text{ (dalam medan listrik) } \dots\dots\dots (2.7)$$

Sumber arus dan tegangan adalah elemen dimana energi disuplai ke rangkaian. Demikianlah, dapat dikatakan bahwa rangkaian listrik, sebagai sistem fisik, dikarakteristikan sebagai sejumlah kondisi energi dalam perilaku keadaan tunaknya. Pada kondisi keadaan tunaknya energi yang tersimpan dalam berbagai induktansi dan kapasitansi, dan disuplai ke sumber dalam rangkaian searah adalah

konstan mengingat dalam rangkaian bolak-balik energi diubah (perubahan antar medan magnet dan medan listrik, dan disuplai oleh sumber) secara periodik.

Saat terdapat perubahan tiba-tiba dalam rangkaian, biasanya ada redistribusi energi diantara L dan C, dan perubahan dalam status energi sumber yang diperlukan oleh kondisi baru. Redistribusi energi ini tidak bisa terjadi seketika tapi membutuhkan waktu, sehingga menghasilkan keadaan transien.

Alasan utama dari pernyataan ini adalah energi yang seketika membutuhkan daya yang tidak terbatas, yang diasosiasikan dengan induktor dan kapasitor. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, daya adalah turunan dari energi dan perubahan seketika dalam energi akan menghasilkan daya yang tidak terbatas.

Karena daya yang tidak terbatas tidak mungkin ada dalam sistem sebenarnya, maka energi tidak dapat berubah seketika, tapi hanya dalam periode waktu dimana transien terjadi. Demikianlah, dari sudut pandang secara fisik dapat dikatakan bahwa keadaan transien terjadi dalam sistem fisik saat kondisi energi dari satu keadaan tunak sedang diubah ke yang lain.

Perhatian berikutnya adalah mengenai arus dan tegangan. Untuk mengubah energi magnetik memerlukan perubahan arus melalui induktansi. Oleh karena itu, arus dalam rangkaian induktif atau cabang induktif dari rangkaian tidak dapat berubah seketika. Dari sudut pandang lain, perubahan arus dalam induktor membawa tegangan induksi dari nilai $L (di/dt)$.

Perubahan secara instan dari arus akan kemudian memerlukan tegangan yang tidak terbatas, yang dalam keadaan sesungguhnya tidak mungkin ada. Karena tegangan induksi diberikan oleh $d\psi/dt$, dimana ψ adalah fluks magnetik dan nilai fluks magnetik tidak bisa berubah seketika.

Kemudian kita mendapatkan bahwa untuk mengubah energi listrik memerlukan perubahan tegangan pada kapasitor yang diberikan oleh $v = q/C$, dimana q adalah besarnya muatan. Maka, baik tegangan pada kapasitor maupun muatannya bisa berubah seketika. Sebagai tambahan, tingkat dari perubahan tegangan adalah $dv/dt = (1/C) dq/dt = i/C$ dan perubahan seketika dari tegangan

akan menghasilkan arus yang tidak terbatas, yang juga tidak mungkin dalam keadaan sebenarnya. Oleh karena itu, dapat kita simpulkan bahwa perubahan apapun dalam rangkaian listrik, akan menghasilkan perubahan dalam distribusi energi yang akan menghasilkan keadaan transien.

Dengan kata lain, dengan adanya pensaklaran, interupsi, rangkaian hubung singkat atau apapun perubahan yang sangat cepat yang terjadi dalam rangkaian listrik, fenomena transien akan muncul. Secara umum, setiap perubahan dari suatu keadaan akan menghasilkan penyimpangan dari keadaan biasanya (perilaku keadaan tunak dari rangkaian) ke yang lain.

Redistribusi energi, mengikuti perubahan seperti di atas, misalnya keadaan transien, yang memerlukan waktu yang tidak terbatas. Bagaimanapun juga, dalam kenyataan perilaku transien dari rangkaian listrik berlanjut pada periode waktu yang sangat pendek, setelah tegangan dan arus mencapai nilai keadaan tunak barunya.

Perubahan dalam distribusi energi selama transien dari rangkaian listrik diatur oleh prinsip konservasi energi, misalnya jumlah dari energi yang disuplai adalah sama dengan sejumlah energi yang tersimpan ditambah disipasi energi. Tingkat disipasi energi mempengaruhi interval waktu peralihan. Makin tinggi disipasi energi, semakin pendek waktu peralihan. Disipasi energi terjadi dalam resistansi rangkaian dan penyimpanannya mengambil tempat pada induktansi dan kapasitansi.

Dalam rangkaian yang hanya terdapat resistansi, tidak ada induktansi dan kapasitansi, maka keadaan transien tidak akan muncul, dan perubahan dari satu keadaan tunak ke keadaan tunak yang lain akan berlangsung seketika. Bagaimanapun juga, rangkaian resistif pun akan tetap mengandung induktansi dan kapasitansi, keadaan peralihan akan muncul dalam rangkaian tersebut, tetapi transien ini sangat kecil nilainya dan cepat sekali, serta tidak menimbulkan nilai yang signifikan sehingga dapat diabaikan.

Peralihan dalam rangkaian listrik bisa dianggap sebagai hal yang diinginkan ataupun yang tidak diinginkan. Dalam jaringan sistem daya, fenomena

transien tidak diinginkan sepenuhnya saat transien ini meningkatkan nilai dari tegangan, arus, dan kerapatan energi pada sebagian atau semua bagian sistem daya modern. Semuanya ini dapat menghasilkan distorsi peralatan, kenaikan suhu, dan atau kehancuran elektrodinamik, interferensi stabilitas sistem, dan pada kasus ekstrim dapat menyebabkan kerusakan dari keseluruhan sistem.

Namun, ada juga kondisi transien yang diinginkan yaitu keadaan transien yang bisa dikontrol dan diperlukan, yang terjadi pada peralatan elektronik untuk komunikasi, control, dan sistem komputasi yang pada operasi normal bekerja dengan prinsip pensaklaran.

Fenomena transien yang terjadi pada rangkaian listrik bisa dikarenakan pensaklaran yang disengaja, yang termasuk di dalamnya peralatan untuk pensaklaran, atau bisa juga dikarenakan pensaklaran yang tidak disengaja yang dapat berasal dari adanya gangguan pentanahan (*ground fault*), rangkaian hubung singkat, kerusakan induktor dan atau kapasitor, dan juga sambaran petir.

2.2.2 Arus Inrush Transien

Arus inrush dapat didefinisikan sebagai besarnya lonjakan arus yang pertama kali muncul pada rangkaian, saat rangkaian terhubung dengan beban. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, operasi penutupan dan pembukaan saklar pada suatu rangkaian listrik akan menyebabkan adanya lonjakan tegangan dan arus. Pada suatu rangkaian listrik, ketika saklar ditutup maka akan terdapat lonjakan arus yang besar. Lonjakan arus yang terjadi sangat singkat, dalam skala mikrodetik sampai milidetik. Lonjakan arus inilah yang disebut sebagai arus transien, dan sering juga disebut sebagai arus inrush.

Sama halnya dengan fenomena transien, arus inrush dalam rangkaian listrik bisa dianggap sebagai hal yang diinginkan ataupun yang tidak diinginkan. Pada setiap penyalaan peralatan listrik, pasti terjadi arus inrush. Arus inrush berbahaya bagi sistem ketika nilai puncak arus inrush yang terjadi sangat besar.

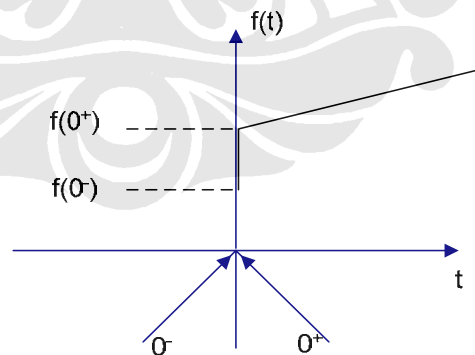
Pada instalasi listrik perumahan, pensaklaran beban-beban seperti komputer, *air conditioning* (ac), lemari es, pompa air, dll merupakan penyebab

terjadinya nilai puncak arus inrush yang besar. Sedangkan pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik, nilai puncak arus inrush yang besar biasanya disebabkan oleh *energizing* transformator dan juga pensaklaran kapasitor bank.

2.3 HUKUM PENSAKLARAN

Prinsip perubahan energi yang berangsur-angsur dalam sistem apapun, dan terutama dalam sebuah rangkaian listrik, menunjukkan bahwa energi yang tersimpan dalam medan listrik dan medan magnet tidak dapat berubah seketika. Energi magnetik berhubungan dengan fluks magnetik dan arus yang melalui induktansi ($w_m = \lambda i_L / 2$), keduanya ini tidak diperbolehkan untuk berubah secara seketika.

Dalam analisa transien, merupakan hal umum untuk mengasumsikan bahwa pensaklaran akan mengambil waktu pada $t = 0$ (atau $t = t_0$) dan terjadi secara seketika, misalnya dalam waktu nol, artinya pensaklaran yang ideal. Selanjutnya, kita dapat mengindikasikan dua waktu seketika, yaitu waktu seketika tepat sebelum pensaklaran dengan symbol 0^- , misalnya $t = 0^-$, dan waktu seketika tepat setelah pensaklaran dengan symbol 0^+ (atau hanya 0) seperti ditunjukkan oleh gambar.



Gambar 2.4. Kurva Waktu pensaklaran sebelum pensaklaran (0^-) dan setelah pensaklaran (0^+)

Dalam persamaan matematis, nilai dari $f(0^-)$ adalah batas kiri, dimana t melambangkan nol dari kiri, dan nilai fungsi $f(0^+)$ adalah batas kanan, dimana t

melambangkan nol dari kanan. Dengan mengingat hal ini, maka dapat diformulasikan dua hukum pensaklaran, yaitu :

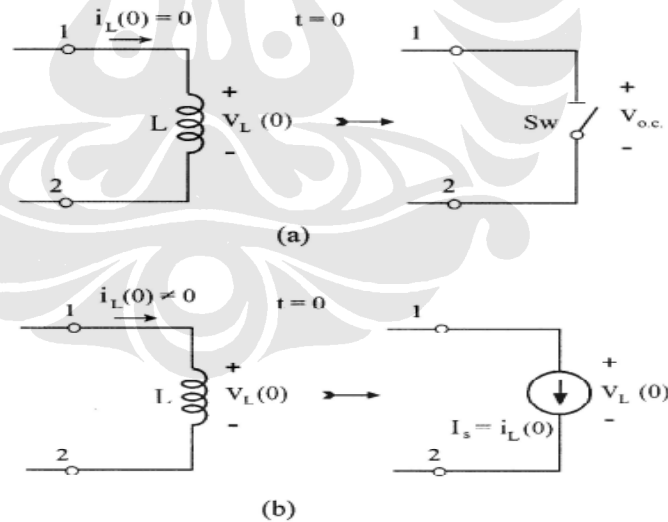
a. Hukum pensaklaran pertama

Hukum pensaklaran pertama menyatakan bahwa arus dan fluks magnetik dalam sebuah induktansi tepat setelah pensaklaran $i_L(0^+)$ bernilai sama dengan arus dan fluks dalam induktansi yang sama tepat sebelum pensaklaran.

$$i_L(0^+) = i_L(0^-) \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\lambda_L(0^+) = \lambda_L(0^-) \dots\dots\dots (2.9)$$

Persamaan di atas menyatakan nilai awal dari arus induktansi dan memungkinkan kita untuk menemukan konstanta integrasi dari respon natural dalam rangkaian induktansi. Bila nilai awal dari arus induktansi adalah nol maka induktansi pada waktu seketika $t = 0$ adalah ekivalen dengan sumber arus dimana nilainya adalah nilai awal dari arus induktansi $I_S = i_L(0)$, seperti ditunjukkan oleh gambar.



Gambar 2.5. Rangkaian ekivalen untuk induktansi pada $t = 0$, dengan nilai arus awal nol (a); dan dengan arus $I_L(0)$ (b)

Perlu dicatat bahwa pada ekivalen ini, sumber arus dapat merepresentasikan induktansi dalam cara yang paling umum, juga pada kasus arus

yang bernilai awal nol. Pada kasus ini, nilai dari sumber arus adalah nol, dan resistansi dalamnya bernilai tidak terbatas sehingga rangkaian seolah-olah menjadi rangkaian terbuka.

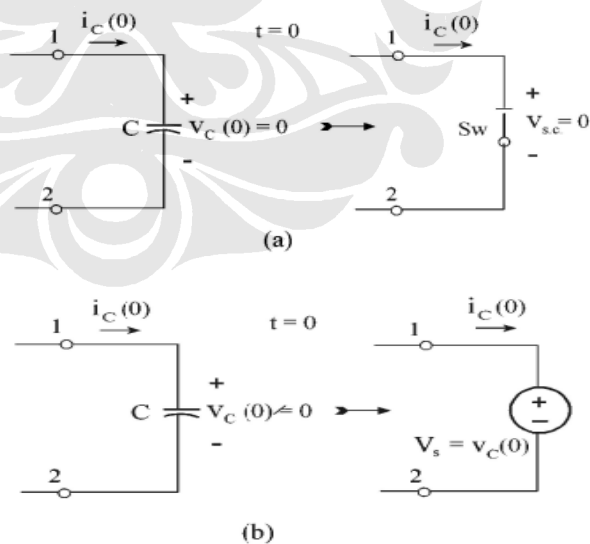
b. Hukum pensaklaran kedua

Hukum pensaklaran kedua menyatakan bahwa tegangan dan muatan listrik dalam kapasitansi tepat setelah pensaklaran $v_C(0^+)$ bernilai sama dengan tegangan dan muatan listrik dalam kapasitansi yang sama tepat sebelum pensaklaran.

$$v_C(0^+) = v_C(0^-) \dots\dots\dots (2.10)$$

$$q(0^+) = q(0^-) \dots\dots\dots (2.11)$$

Persamaan di atas menyatakan nilai awal tegangan kapasitansi dan memungkinkan kita untuk menemukan konstanta integrasi dari respon natural dalam rangkaian yang memuat kapasitansi. Bilai nilai awal tegangan pada kapasitor adalah nol, maka kapasitansi pada waktu seketika $t = 0$ adalah sama dengan rangkaian hubung singkat seperti ditunjukkan pada gambar.



Gambar 2.6. Rangkaian ekivalen untuk kapasitansi pada $t = 0$, dengan nilai arus awal nol (a); dan dengan arus $V_C(0)$ (b)

Perlu dicatat bahwa ekivalen ini, sumber tegangan yang nilai awalnya adalah nilai awal kapasitansi dalam cara yang paling umum, juga dalam kasus tegangan awal nol. Dalam kasus ini, nilai tegangan adalah nol dan resistansi dalamnya adalah nol. Sumber tegangan dapat digunakan sebagai ekivalen dari kapasitansi dengan nilai tegangan awal nol. Sumber tegangan ini akan menghasilkan tegangan nol tetapi resistansi dalamnya yang nol akan membentuk sebuah rangkaian hubung singkat. Bila kondisi awal adalah nol, dimana bila nilai awal tidak nol kondisi awal ini akan mulai dari nilai yang sama yaitu tepat sebelum pensaklaran.

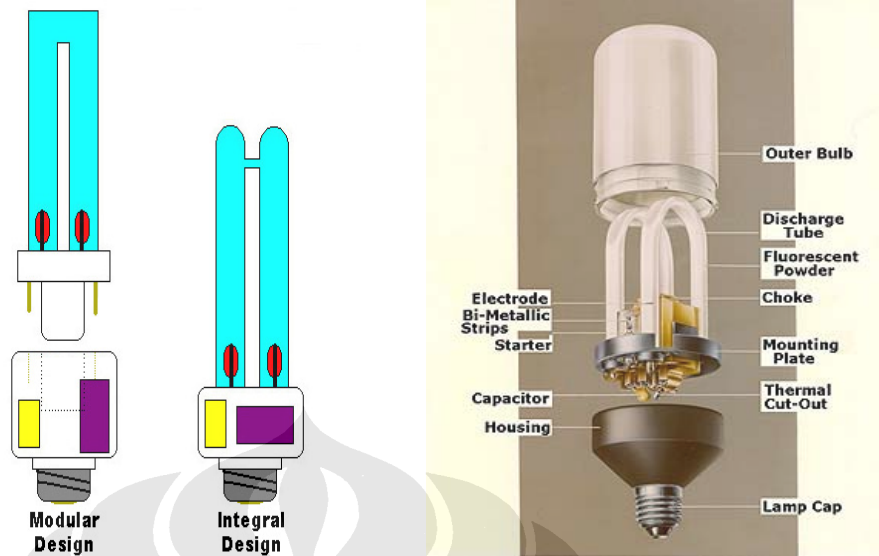
Kondisi awal yang diberikan oleh persamaan (2.6) sampai (2.9), dimana arus melalui induktansi dan tegangan melalui kapasitansi, disebut sebagai kondisi awal independent karena kondisi awal ini tidak tergantung apakah sumber rangkaian atau pada status dari elemen lain dalam rangkaian. Tidak masalah bagaimana kondisi awal ini dibentuk, atau jenis pensaklaran atau interupsi yang terjadi dalam rangkaian.

Elemen-elemen lain dalam rangkaian misalnya tegangan dan arus dalam resistansi, tegangan melalui induktansi, dan arus melalui kapasitansi akan dapat berubah seketika, dan nilainya pada waktu seketika tepat setelah pensaklaran ($t = 0^+$) disebut sebagai kondisi awal dependen. Nilai-nilai ini tergantung pada nilai awal independen dan pada status elemen rangkaian yang lain.

2.4 PENSACLARAN LAMPU HEMAT ENERGI

2.4.1 Lampu Hemat Energi

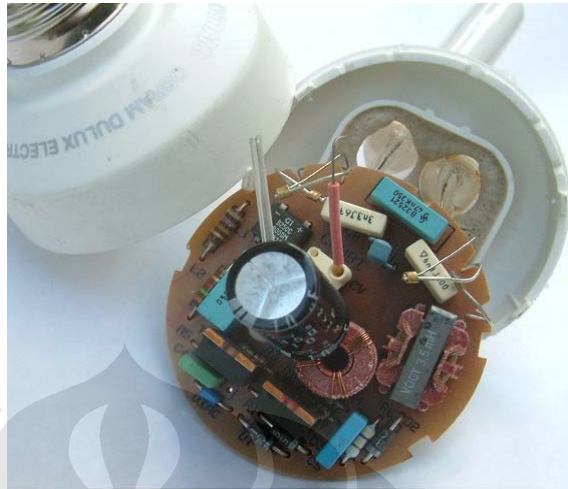
Penggunaan lampu pijar (*incandescent lamp*) saat ini sudah digantikan oleh lampu hemat energi. Lampu hemat energi yang dimaksud adalah lampu jenis *compact fluorescent lamp* (CFL). Keunggulan lampu ini dibandingkan dengan lampu pijar yaitu dengan konsumsi daya yang lebih kecil, tetapi cahaya yang dihasilkan mempunyai tingkat *efficacy* yang sama. Sebagai perbandingan, lampu hemat energi dengan konsumsi daya 40 watt mempunyai tingkat *efficacy* yang sama dengan lampu pijar 8 watt. Sehingga penggunaan lampu hemat energi dapat menekan biaya tagihan listrik, dengan berkurangnya watt yang digunakan.



Gambar 2.7. Lampu hemat energi

Prinsip kerja lampu *fluorescent* ini yaitu menggunakan sistem emisi elektron. Elektron yang bergerak dari katoda menuju anoda pada tabung lampu akan menumbuk atom-atom media gas yang ada di dalam tabung tersebut, akibat tumbukan akan terjadi pelepasan energi dalam bentuk cahaya. Sistem pembangkitan cahaya buatan ini disebut *Luminescence* (berpendarnya energi cahaya keluar tabung).

Untuk dapat mengemisikan elektron diperlukan energi yang cukup besar. Pada lampu pijar, energi untuk mengemisikan elektron didapat dari pemanasan filamen tungsten. Pemanasan filamen terjadi ketika arus mengalir melalui filament tersebut saat lampu dihubungkan dengan sumber tegangan. Sedangkan pada lampu *fluorescent*, jika langsung menggunakan tegangan sumber, maka energi yang ada tidak cukup besar untuk dapat mengemisikan elektron, sehingga digunakan komponen tambahan yaitu starter dan ballast. Pada lampu hemat energi, komponen starter dan ballast terintegrasi pada lampu seperti terlihat pada gambar. Jenis *ballast* yang digunakan adalah *ballast* elektronik.



Gambar 2.8. Komponen *ballast* dan *starter* yang terintegrasi pada LHE

2.4.2 Arus Inrush Pada Lampu Hemat Energi

Tujuan penggunaan *ballast* elektronik pada lampu hemat energi yaitu untuk membangkitkan tegangan yang tinggi, yang dibutuhkan dalam proses penyalan lampu. Pada *ballast* elektronik terdapat komponen kapasitor untuk menyimpan energi dengan nilai kapasitansi yang besar. Energi yang tersimpan dibutuhkan untuk membangkitkan tegangan keluaran yang tinggi, yang diperlukan untuk menyalakan lampu. Nilai kapasitansi kapasitor yang besar juga akan menjaga suplai energi bernilai konstan, menghasilkan unjuk kerja yang lebih efisien dan menghilangkan *flicker*.

Ketika operasi penutupan saklar dilakukan, kapasitor pada *ballast* akan membangkitkan tegangan yang tinggi. Dan untuk membangkitkan tegangan yang tinggi ini, kapasitor akan menarik arus yang besar dari sumber. Tarikan arus awal inilah yang disebut arus inrush. Beberapa *ballast* elektronik mempunyai kemampuan untuk membatasi besarnya arus inrush, ada juga yang tidak. Pada pensaklaran lampu hemat energi, pembatasan besarnya arus inrush diperlukan agar circuit breaker tidak trip ketika lampu dinyalakan. *Circuit breaker* umumnya mempunyai rating untuk arus inrush sebesar 8 sampai 12 kali dari nilai arus normal. Jika besarnya arus inrush tidak dibatasi maka arus inrush ini dapat melebihi rating dari circuit breaker, dan akibatnya circuit breaker akan trip.

Selain itu, saklar yang digunakan biasanya rentan terhadap fenomena transien saat operasi pembukaan atau penutupan. Dan fenomena arus inrush transien muncul saat operasi penutupan saklar. Arus inrush yang tinggi dapat menyebabkan pemanasan berlebih pada kontak saklar dan sering menyebabkan kegagalan fungsi saklar sebagai pemutus rangkaian, yaitu ketika kontak-kontak pada saklar melebur dan menempel sehingga saklar akan terus berada dalam keadaan ON (fungsi saklar sebagai pemutus rangkaian tidak lagi bekerja).



BAB 3

METODE PENGUJIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode yang dilakukan dalam pengujian karakteristik arus inrush pada pensaklaran lampu hemat energi, peralatan dan rangkaian yang digunakan pada pengujian, serta jalannya pengujian.

Untuk memudahkan dalam melakukan analisa pada pengujian karakteristik arus inrush ini, maka pengujian akan dilakukan dalam dua tahap yaitu pengujian dengan menggunakan osiloskop dan pengujian untuk mendapatkan parameter rangkaian guna perhitungan berdasarkan teori. Selain itu, juga dilakukan pengujian karakteristik arus inrush pada jenis saklar yang berbeda

3.1 PERALATAN DAN RANGKAIAN PENGUJIAN

3.1.1 Peralatan Pengujian

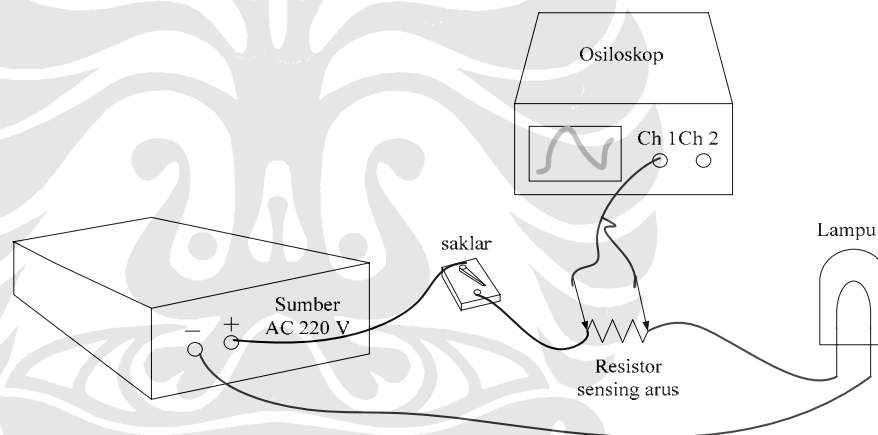
Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Pengukuran (LTTPL), lantai 2 gedung Departemen Elektro FTUI. Peralatan yang digunakan untuk pengujian karakteristik arus inrush pada operasi pensaklaran lampu hemat energi adalah sebagai berikut :

1. Beban lampu yang terdiri dari lampu hemat energi Philips Essential dengan 4 besar daya yang berbeda, yaitu 8 watt, 14 Watt, 18 Watt, dan 23 Watt
2. Saklar SPST, fitting lampu dan kabel
3. Osiloskop Analog-Digital Slope HAMEG 407-2 dan probe tegangan
4. HIOKI Power Quality meter
5. Multimeter Digital
6. Resistor 10 ohm untuk sensing arus
7. Kamera digital

3.1.2 Rangkaian Pengujian

Seperti sudah disebutkan sebelumnya, untuk memudahkan analisa maka pada pengujian arus inrush ini terdiri dari dua bagian, yaitu pengujian dengan menggunakan osiloskop dan pengujian parameter tiap lampu untuk digunakan pada perhitungan matematis arus inrush berdasarkan teori. Hasil dari pengujian dengan osiloskop dan perhitungan matematis nantinya akan di bandingkan

Untuk pengujian dengan menggunakan osiloskop, pengujian dilakukan untuk melihat karakteristik dari arus inrush pada operasi pensaklaran lampu hemat energi untuk 4 besar daya yang berbeda. Selain itu juga dilakukan pengujian karakteristik arus steady state dari lampu hemat energi itu sendiri, sehingga didapat perbandingan antara keduanya. Adapun rangkaian pengujian dengan osiloskop ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.1. Rangkaian pengujian arus inrush dengan osiloskop

3.2 Pengujian Karakteristik Arus Inrush dengan Menggunakan Osiloskop

Pada pengujian karakteristik arus inrush dengan menggunakan osiloskop, dilakukan variasi beban berupa lampu hemat energi dengan 4 besar daya yang berbeda, sehingga akan didapat hubungan antara karakteristik arus inrush yang terjadi terhadap besarnya daya pada beban. Selain itu juga dilakukan variasi saklar yang digunakan yaitu berupa 3 jenis *saklar single pole single throw* (SPST) untuk melihat karakteristik waktu pada arus inrush.

Untuk memperjelas prosedur jalannya pengujian maka untuk semua pengujian yang dilakukan akan dijelaskan terpisah, dengan tiap-tiap pengujian akan dijelaskan tahap persiapan pengujiannya dan jalannya pengujian.

3.2.1 Persiapan pengujian

Persiapan pengujian ini adalah langkah awal pengujian yang akan terus dilakukan apabila memulai sesuatu pengujian yang baru. Pada pengujian untuk melihat besarnya nilai puncak arus inrush ini, sebelum pengujian dilakukan ada beberapa hal yang harus dipersiapkan, antara lain :

1. Menyiapkan alat untuk mencatat dan merekam data serta hasil pengujian.
2. Membuat rangkaian pengujian sesuai dengan gambar 3.1.
3. Memastikan rangkaian pengujian dalam posisi yang benar baik kabel, saklar, resistor untuk sensing arus, lampu tepat pada fittingnya, juga probe yang digunakan telah tersambung pada osiloskop.
4. Menyalakan dan mengkalibrasi osiloskop.

3.2.2 Jalannya pengujian

Pada percobaan ini tiap lampu hemat energi diuji secara terpisah untuk mendapatkan karakteristik arus inrush saat lampu dinyalakan. Dalam pengujian ini seperti terlihat pada rangkaian percobaan, osiloskop digunakan untuk menampilkan karakteristik arus inrush.

Perlu diingat bahwa, osiloskop dalam mengukur karakteristik suatu rangkaian akan mengkonversikannya dalam bentuk gelombang tegangan. Oleh karena itu, untuk dapat melihat karakteristik arus inrush, pada pengujian ini digunakan resistor sebagai sensing arus. Pemasangan resistor secara seri pada rangkaian akan menyebabkan adanya tegangan jatuh (drop voltage). Dengan menempatkan probe tegangan pada kedua ujung resistor, maka akan ditampilkan bentuk gelombang tegangan jatuh pada resistor tersebut. Bentuk gelombang tegangan ini dapat merepresentasikan bentuk gelombang arus pada rangkaian.

Selain itu, karena arus inrush adalah suatu kondisi arus transien yang berlangsung dalam waktu yang sangat cepat maka osiloskop diatur dengan

menggunakan fungsi trigger yang terdapat di dalam osiloskop tersebut. Fungsi trigger ini yang akan membaca lonjakan arus sesaat ketika penutupan saklar dan akan ditampilkan secara otomatis pada layar osiloskop.

Setelah memastikan semua tahap persiapan pengujian maka dilakukan langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

1. Mencatat besar pengaturan Volt/div dan Time/div yang digunakan. Besarnya Volt/div dan Time/div yang digunakan pada pengujian didapat dengan mencoba-coba terlebih dahulu bentuk gelombang yang lebih akurat besarnya dan dapat terbaca dengan jelas pada layar osiloskop.
2. Mengatur fungsi trigger pada osiloskop.
3. Mengatur fungsi perekam video pada kamera digital.
4. Menyalakan lampu dengan menutup saklar ke posisi ON.
5. Menunggu selama beberapa saat untuk mendapat bentuk gelombang arus pada kondisi tunak.
6. Membuka kembali saklar ke posisi OFF.
7. Memastikan bahwa bentuk gelombang yang terekam pada kamera dapat dilihat dengan jelas.
8. Mencatat beberapa karakteristik penting dari lonjakan arus tersebut, seperti besarnya puncak arus inrush, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai puncak arus inrush, dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi tunak.

BAB 4

ANALISA HASIL PENGUJIAN

4.1 PENGUJIAN KARAKTERISTIK ARUS INRUSH DENGAN VARIASI BEBAN

Pada pengujian karakteristik arus inrush dengan menggunakan osiloskop ini, gelombang yang terlihat di layar osiloskop merupakan representasi gelombang arus yang sebenarnya merupakan gelombang tegangan jatuh (*drop voltage*) pada resistor yang digunakan sebagai *sensing* arus. Oleh karena itu, dalam pembacaan nilai puncak arus inrush yang ditampilkan pada layar osiloskop harus diperhitungkan nilai resistansi dari resistor *sensing* arus yang digunakan. Nilai resistansi dari resistor tersebut, dalam pengujian ini akan diperhitungkan sebagai faktor koreksi pembacaan osiloskop.

Selain itu, untuk melakukan pengolahan data hasil pengujian karakteristik arus inrush dengan menggunakan osiloskop ini harus diperhatikan besarnya pengaturan Volt/div dan Time/div yang digunakan pada osiloskop. Pada pengujian untuk melihat nilai puncak arus inrush, Volt/div pada osiloskop diatur sebesar 200 mV/div, dimana hal ini menunjukkan bahwa besarnya satu kotak sumbu vertikal pada layar osiloskop bernilai 200 milivolt. Sedangkan Time/div diatur sebesar 10 ms/div yang menunjukkan setiap kotak sumbu horizontal bernilai 10 milidetik. Pengaturan ini dilakukan untuk mendapatkan bentuk gelombang yang lebih akurat.

Pengaturan probe tegangan juga perlu diperhatikan, dimana besarnya pengaturan probe tegangan pada pengujian ini menunjukkan faktor pengali bentuk gelombang tegangan. Umumnya pada probe tegangan ada dua pilihan faktor pengali yaitu x1 dan x10. Faktor pengali x1 berarti gelombang pada osiloskop tidak diperbesar, sedangkan faktor pengali x10 berarti gelombang pada osiloskop diperbesar 10 kali. Pada pengujian karakteristik arus inrush ini, probe tegangan diatur pada posisi x10 agar bentuk gelombang arus dapat dilihat lebih jelas.

4.1.1 Menentukan Faktor Koreksi Pembacaan Osiloskop

Sebelum melakukan pengujian untuk melihat karakteristik arus inrush pada pensaklaran lampu hemat energi, terlebih dahulu dilakukan pengujian untuk menentukan nilai faktor koreksi pembacaan osiloskop.

Untuk menentukan besarnya faktor Koreksi pembacaan osiloskop, dilakukan dengan membandingkan nilai arus yang terbaca pada osiloskop dengan nilai arus dari hasil pengukuran menggunakan *HIOKI Power Quality Analyzer*.



Gambar 4.1 Bentuk gelombang arus kondisi tunak lampu hemat energi 8 Watt pada osiloskop

Dari gambar 4.1, dapat dilihat bahwa besarnya nilai puncak dari gelombang adalah sebesar 160 milivolt, dengan pengaturan Volt/div sebesar 200 mV/div. Sedangkan nilai arus rms dari pengukuran dengan menggunakan *HIOKI Power Quality Analyzer* adalah sebesar 57,1 miliampere. Dari kedua nilai tersebut dapat dihitung besarnya faktor koreksi pembacaan osiloskop, yaitu sebesar :

$$\text{Faktor koreksi} = \frac{57,1\sqrt{2}}{160} \approx 0,5$$

4.1.2 Pengujian Karakteristik Arus Inrush

Pengujian nilai puncak arus inrush ini dilakukan untuk melihat besarnya puncak arus inrush ketika dilakukan operasi penutupan saklar. Selain itu, juga dilihat bentuk gelombang arus pada kondisi tunaknya untuk dibandingkan dengan bentuk gelombang arus pada kondisi transien saat penutupan saklar.

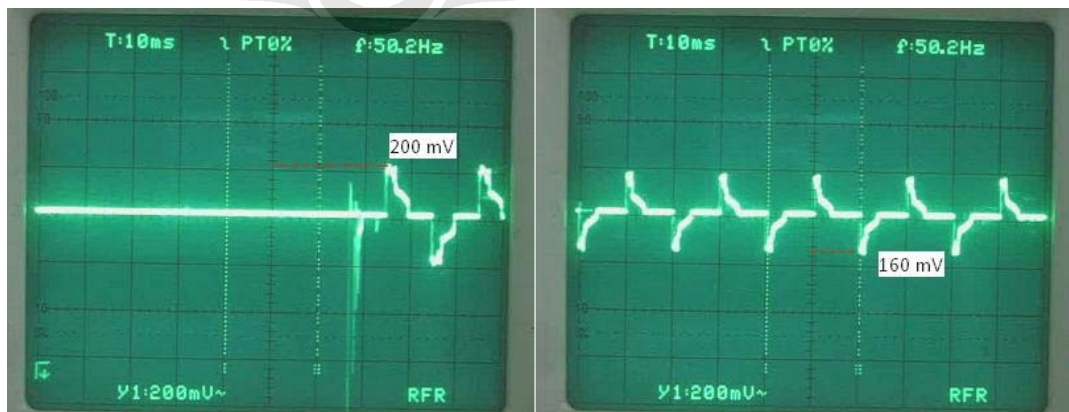
Pada pengujian ini, dilakukan variasi beban berdasarkan besar dayanya yaitu lampu hemat energi dengan besar daya 8 Watt, 14 Watt, 18 Watt dan 23 Watt. Pada pengujian untuk melihat nilai puncak arus inrush pada osiloskop ini, Volt/div pada osiloskop diatur sebesar 200 mV/div, dan Time/div diatur sebesar 10 ms/div. bentuk gelombang yang ditampilkan pada layar osiloskop direkam dengan menggunakan kamera digital dan kemudian dilakukan pencuplikan gambar dari hasil rekaman kamera tersebut dengan menggunakan komputer.

Selain melihat karakteristik nilai puncak arus inrush, pada pengujian ini juga akan dilihat karakteristik waktunya. Karakteristik waktu pada arus inrush dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu :

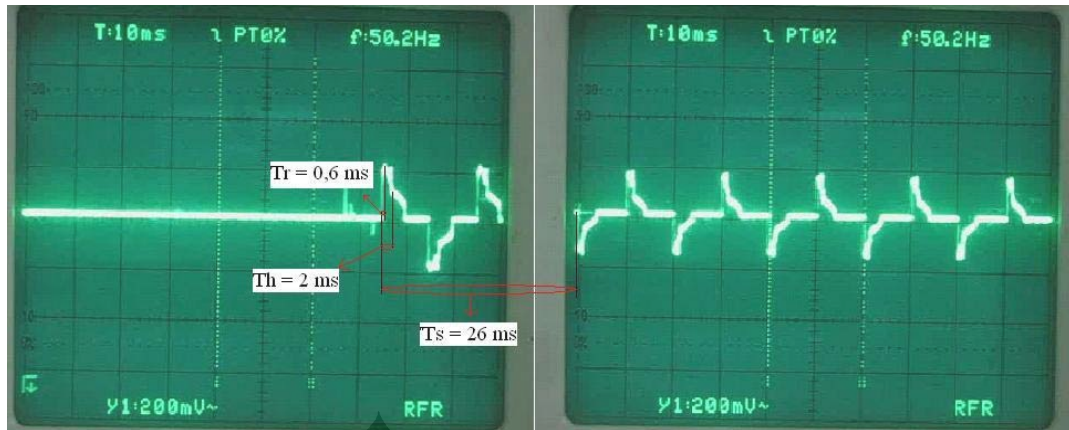
1. *Time Rise* (T_s), yaitu selang waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai puncak. Selang waktu ini dihitung dari besar arus 0,1 nilai maksimum inrush sampai arus mencapai nilai maksimum inrushnya.
2. *Time Half* (T_h), yaitu selang waktu yang dibutuhkan untuk mencapai setengah nilai maksimum inrush.
3. *Settling Time* (T_s), yaitu selang waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi tunak.

a.) Lampu hemat energi 8 Watt

Di bawah ini adalah bentuk gelombang arus yang terlihat pada layar osiloskop, saat dilakukan penutupan saklar dengan beban yang digunakan adalah lampu hemat energi 8 Watt.



(a)



(b)

Gambar 4.2. Bentuk gelombang arus saat penutupan saklar pada lampu 8 Watt

(a) Nilai puncak arus inrush dan arus puncak kondisi tunak

(b) Karakteristik waktu arus inrush

Bentuk gelombang arus inrush pada saat penutupan saklar dapat dilihat pada gambar 4.2(a) bagian kiri. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa puncak gelombang saat penutupan saklar untuk beban lampu 8 Watt adalah 200 mV. Besarnya nilai puncak tegangan ini kemudian diubah menjadi nilai puncak arus inrush dengan membagi nilai puncak tegangan dengan faktor koreksi karena penggunaan resistor sebagai *sensing* arus. Persamaannya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$i_{puncak\ inrush} = V_{puncak\ osiloskop} * Faktor\ koreksi \dots (mA)$$

Sehingga, nilai puncak arus inrush untuk beban lampu 8 Watt ini adalah :

$$i_{puncak\ inrush} = (200\ mV)(0,5) = 100\ mA$$

Sedangkan untuk nilai arus maksimum pada kondisi tunak, dapat dilihat pada gambar 4.2(a) bagian kanan yaitu sebesar 160 mV. Dengan mengalikan nilai pembacaan pada osiloskop ini dengan faktor koreksi didapat nilai arus maksimum pada kondisi sebesar :

$$i_{puncak\ steady-state} = (160\ mV)(0,5) = 80\ mA$$

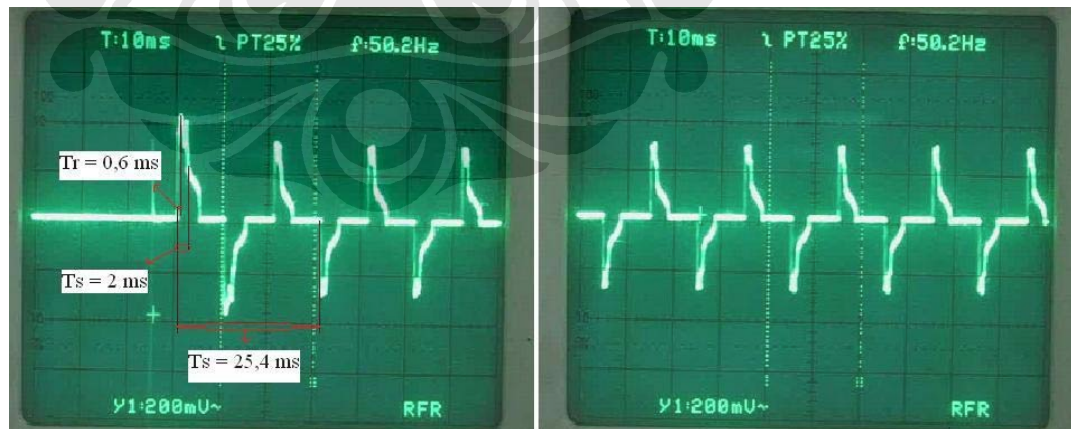
Dari gambar 4.2 (b), dapat dilihat nilai dari karakteristik waktu arus inrush pada pensaklaran lampu hemat energi 8 Watt ini. Selang waktu kenaikan arus untuk mencapai titik puncak adalah 0,6 ms, kemudian untuk turun sampai setengah nilai puncak adalah 2 ms, dan selang waktu untuk mencapai kondisi tunak adalah 26 ms.

b.) Lampu hemat energi 14 Watt

Di bawah ini adalah bentuk gelombang arus yang terlihat pada layar osiloskop, saat dilakukan penutupan saklar dengan beban yang digunakan adalah lampu hemat energi 14 Watt.



(a)



(b)

Gambar 4.3. Bentuk gelombang arus saat penutupan saklar pada lampu 14 Watt

- (a) Nilai puncak arus inrush dan arus puncak kondisi tunak
- (b) Karakteristik waktu arus inrush

Bentuk gelombang arus inrush pada saat penutupan saklar dapat dilihat pada gambar 4.3(a) bagian kiri. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa puncak gelombang saat penutupan saklar untuk beban lampu 8 Watt adalah 460 mV. Nilai puncak arus inrush untuk beban lampu 18 Watt ini adalah :

$$i_{puncak\ inrush} = (460\ mV)(0,5) = 230\ mA$$

Sedangkan puncak gelombang pada kondisi tunak pada gambar 4.3(a) bagian kanan adalah sebesar 280 mV. Nilai arus maksimum untuk kondisi tunak ini adalah :

$$i_{puncak\ steady-state} = (280\ mV)(0,5) = 140\ mA$$

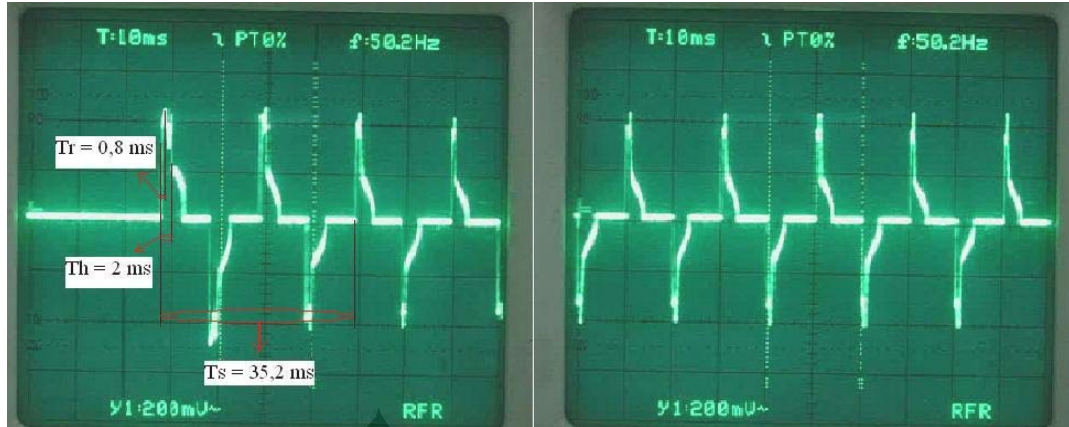
Dari gambar 4.3 (b), dapat dilihat nilai dari karakteristik waktu arus inrush pada pensaklaran lampu hemat energi 14 Watt ini. Selang waktu kenaikan arus untuk mencapai titik puncak adalah 0,6 ms, kemudian untuk turun sampai setengah nilai puncak adalah 2 ms, dan selang waktu untuk mencapai kondisi tunak adalah 25,4 ms.

c.) Lampu hemat energi 18 Watt

Di bawah ini adalah bentuk gelombang arus yang terlihat pada layar osiloskop, saat dilakukan penutupan saklar dengan beban yang digunakan adalah lampu hemat energi 18 Watt.



(a)



(b)

Gambar 4.4. Bentuk gelombang arus saat penutupan saklar pada lampu 18 Watt

(a) Nilai puncak arus inrush dan arus puncak kondisi tunak

(b) Karakteristik waktu arus inrush

Dari gambar 4.4(a) bagian kiri dapat dilihat bahwa puncak gelombang saat penutupan saklar untuk beban lampu 18 Watt adalah 500 mV. Nilai puncak arus inrush untuk beban lampu 18 Watt ini adalah :

$$i_{puncak\ inrush} = (500\ mV)(0,5) = 250\ mA$$

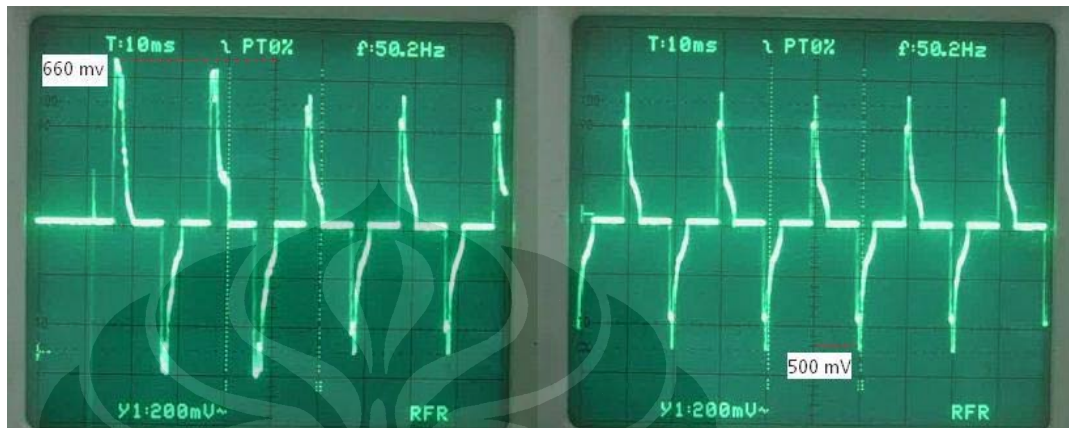
Sedangkan puncak gelombang pada kondisi tunak pada gambar 4.4(a) bagian kanan adalah sebesar 400 mV. Nilai arus maksimum untuk kondisi tunak ini adalah :

$$i_{puncak\ steady-state} = (400\ mV)(0,5) = 200\ mA$$

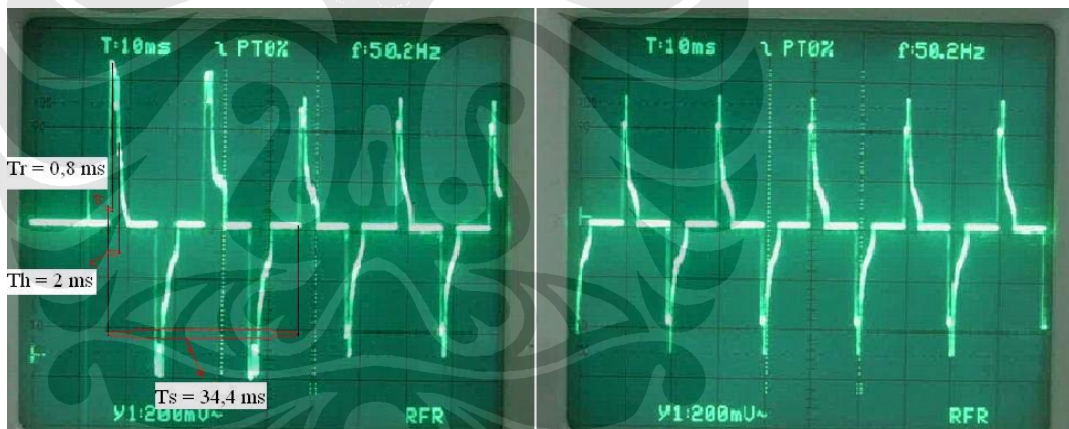
Dari gambar 4.4(b), dapat dilihat nilai dari karakteristik waktu arus inrush pada pensaklaran lampu hemat energi 18 Watt ini. Selang waktu kenaikan arus untuk mencapai titik puncak adalah 0,8 ms, kemudian untuk turun sampai setengah nilai puncak adalah 2 ms, dan selang waktu untuk mencapai kondisi tunak adalah 35,2 ms.

d.) Lampu hemat energi 23 Watt

Di bawah ini adalah bentuk gelombang arus yang terlihat pada layar osiloskop, saat dilakukan penutupan saklar dengan beban yang digunakan adalah lampu hemat energi 8 Watt.



(a)



(b)

Gambar 4.5. Bentuk gelombang arus saat penutupan saklar pada lampu 23 Watt

(a) Nilai puncak arus inrush dan arus puncak kondisi tunak

(b) Karakteristik waktu arus inrush

Dari gambar 4.5(a) bagian kiri dapat dilihat bahwa puncak gelombang saat penutupan saklar untuk beban lampu 23 Watt adalah 660 mV. Nilai puncak arus inrush untuk beban lampu 23 Watt ini adalah :

$$i_{\text{puncak inrush}} = (660 \text{ mV})(0,5) = 330 \text{ mA}$$

Sedangkan puncak gelombang pada kondisi tunak pada gambar 4.5(a) bagian kanan adalah sebesar 500 mV. Nilai arus maksimum untuk kondisi tunak ini adalah :

$$i_{puncak\ steady-state} = (500\ mV)(0,5) = 250\ mA$$

Dari gambar 4.5 (b), dapat dilihat nilai dari karakteristik waktu arus inrush pada pensaklaran lampu hemat energi 23 Watt ini. Selang waktu kenaikan arus untuk mencapai titik puncak adalah 0,8 ms, kemudian untuk turun sampai setengah nilai puncak adalah 2 ms, dan selang waktu untuk mencapai kondisi tunak adalah 34,4 ms.

Dari pengujian karakteristik nilai puncak arus inrush ini, dapat dilihat adanya pengaruh besarnya daya pada beban terhadap nilai puncak arus inrush yang terjadi. Berikut adalah tabel data hasil pengujian nilai puncak arus inrush dengan menggunakan osiloskop.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian karakteristik arus inrush dengan variasi beban

Daya Lampu Hemat energi	Puncak Arus Inrush	Puncak Arus <i>Steady-state</i>	Time Rise Tr	Time Half Th	Time Settling Ts
8 Watt	100 mA	80 mA	0,6 ms	2 ms	26 ms
14 Watt	230 mA	140 mA	0,6 ms	2 ms	25,4 ms
18 Watt	250 mA	200 mA	0,8 ms	2 ms	35,2 ms
23 Watt	330 mA	250 mA	0,8 ms	2 ms	34,4 ms

4.2 PENGUJIAN KARAKTERISTIK ARUS INRUSH DENGAN VARIASI SAKLAR

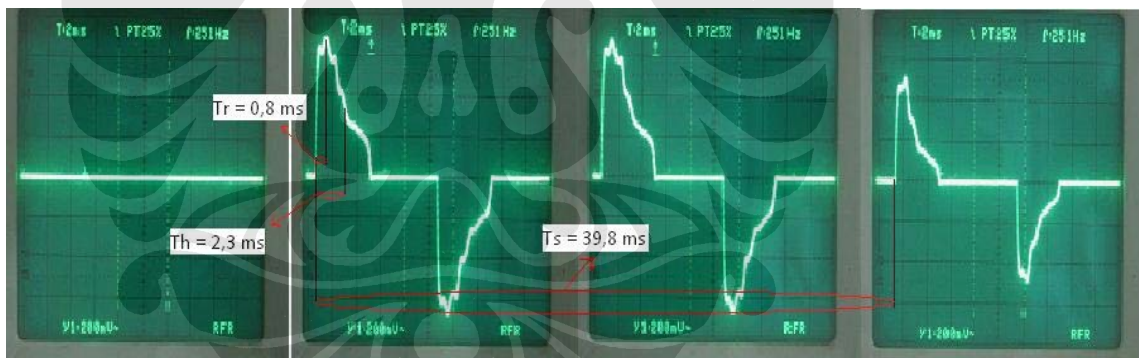
Pengujian karakteristik arus inrush dengan variasi saklar ini bertujuan untuk melihat karakteristik arus inrush pada 3 jenis saklar yang berbeda. Variasi saklar yang digunakan terdiri dari saklar yang biasa digunakan untuk menyalakan lampu, saklar tuas, dan saklar jenis tombol. Sementara beban yang digunakan sama yaitu lampu hemat energi dengan kapasitas daya 23 Watt, sehingga dapat dilihat perbedaan karakteristik arus inrush yang terjadi.

Pengujian karakteristik arus inrush dengan variasi saklar ini menggunakan osiloskop untuk melihat bentuk gelombang arusnya. Pada pengujian ini, Volt/div pada osiloskop diatur sebesar 200 milivolt, sementara time/div diatur sebesar 2 milidetik. Pengaturan Time/div sebesar 2 milidetik dilakukan agar karakteristik waktu arus inrush dapat dilihat dengan lebih jelas.

a.) Saklar Lampu



(a)



(b)

Gambar 4.6. Bentuk gelombang arus inrush dengan saklar lampu

(a) Nilai puncak arus inrush

(b) Karakteristik waktu arus inrush

Bentuk gelombang arus inrush pada penutupan saklar untuk lampu dapat dilihat pada gambar 4.6. Dari gambar tersebut dilihat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai puncak arus inrush adalah sebesar 0,8 milidetik dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai setengah nilai puncak adalah 2,3 milidetik.

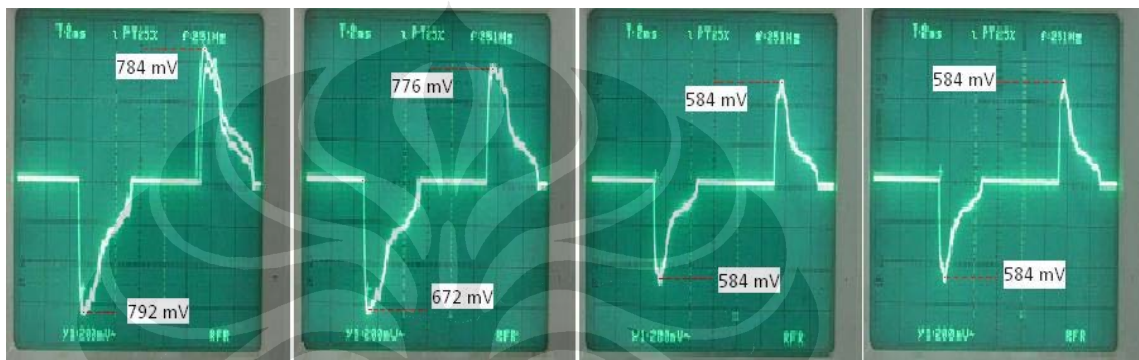
Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi tunak T_s adalah 39,8 milidetik.

Besarnya puncak arus inrush dan arus *steady state* yang terjadi sebesar :

$$i_{puncak\ inrush} = (840\ mV)(0,5) = 412\ mA$$

$$i_{puncak\ steady-state} = (600)(0,5) = 300\ mA$$

b.) Saklar Tuas (*Lever Switch*)



(a)



(b)

Gambar 4.7. Bentuk gelombang arus inrush dengan saklar tuas

(a) Nilai puncak arus inrush

(b) Karakteristik waktu arus inrush

Bentuk gelombang arus inrush pada penutupan saklar jenis tuas dapat dilihat pada gambar 4.6. Dari gambar tersebut dilihat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai puncak arus inrush adalah sebesar 0,32 milidetik dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai setengah nilai puncak adalah 2,32 milidetik.

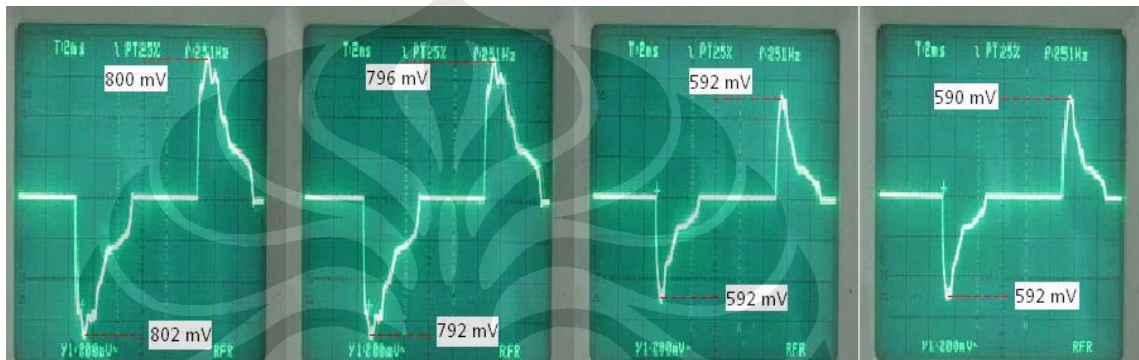
Waktu untuk mencapai kondisi tunaknya sama seperti pada saklar tekan yaitu 43,04 milidetik.

Besarnya puncak arus inrush dan arus *steady state* yang terjadi sebesar :

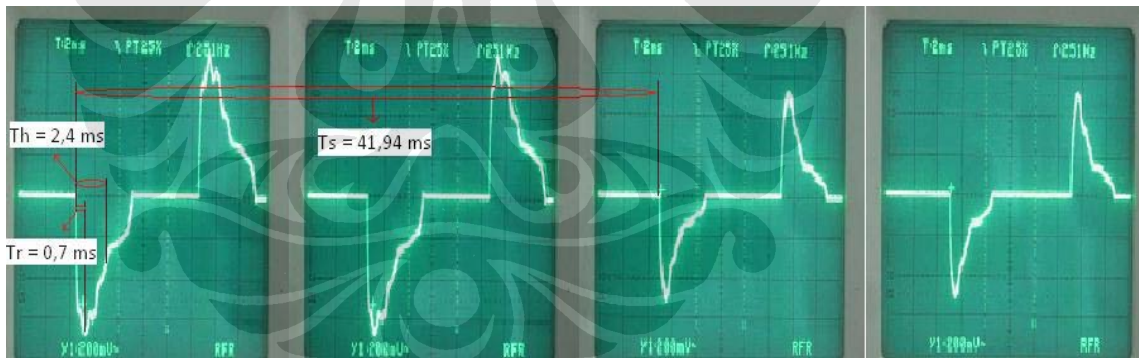
$$i_{maks\ inrush} = (792\ mV)(0,5) = 396\ mA$$

$$i_{maks\ steady-state} = (584)(0,5) = 292\ mA$$

c.) Saklar Tombol (*Push-Button Switch*)



(a)



(b)

Gambar 4.8. Bentuk gelombang arus inrush dengan saklar tombol

(a) Nilai puncak arus inrush

(b) Karakteristik waktu arus inrush

Bentuk gelombang arus inrush pada penutupan saklar jenis tombol dapat dilihat pada gambar 4.8. Dari gambar tersebut dilihat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai nilai puncak arus inrush adalah sebesar 0,7 milidetik dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai setengah nilai puncak adalah 2,4 milidetik.

Waktu untuk mencapai kondisi tunaknya sama seperti pada saklar tekan yaitu 41,94 milidetik.

Besarnya puncak arus inrush dan arus *steady state* yang terjadi sebesar :

$$i_{peak\ inrush} = (802\ mV)(0,5) = 401\ mA$$

$$i_{puncak\ steady-state} = (592\ mV)(0,5) = 296\ mA$$

Dari Pengujian karakteristik arus inrush dengan variasi saklar ini, dapat dibuat tabel hasil pengujian sebagai berikut.

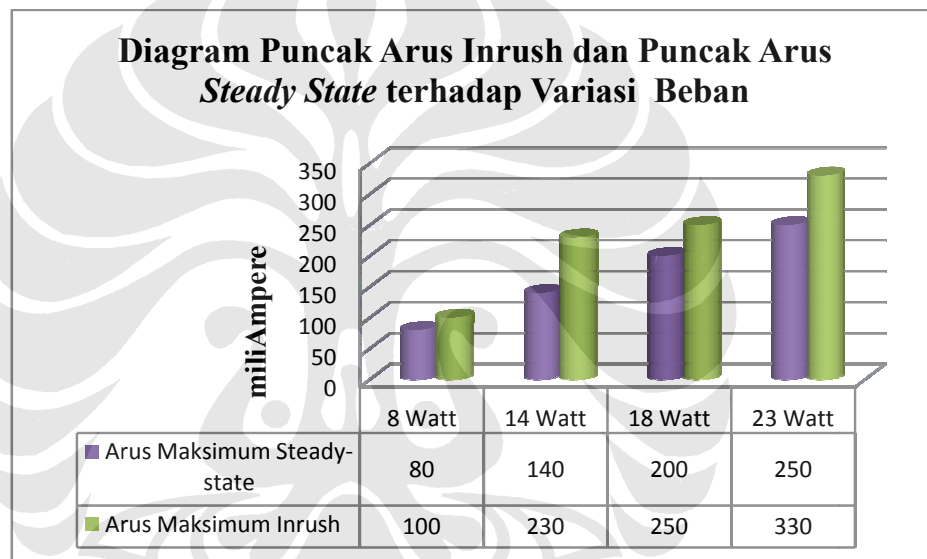
Tabel 4.2 Data hasil pengujian karakteristik arus inrush dengan variasi saklar

Jenis Saklar	Puncak Arus Inrush	Puncak Arus <i>Steady-state</i>	Time Rise Tr	Time Half Th	Time Settling Ts
Saklar lampu	412 mA	300 mA	0,8 ms	2,3 ms	39,8 ms
Saklar tuas	396 mA	292 mA	0,32 ms	2,32 ms	43,04 ms
Saklar tombol	401 mA	296 mA	0,7 ms	2,4 ms	41,94 ms

4.3 ANALISA HASIL PENGUJIAN

4.3.1 Analisa Hasil Pengujian Pada Variasi Beban

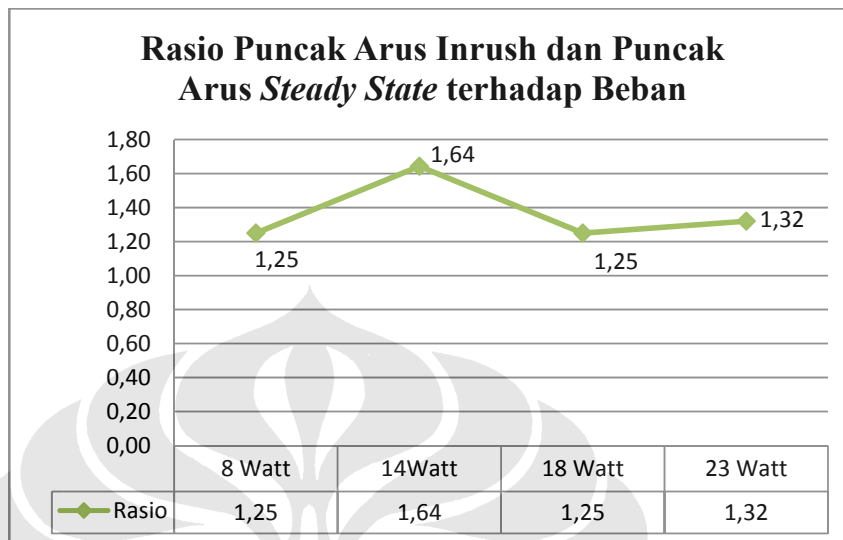
Dari pengujian karakteristik arus inrush dengan menggunakan osiloskop ini dapat dilihat bahwa terdapat lonjakan arus inrush saat penutupan saklar pada lampu hemat energi. Dari pengujian karakteristik arus inrush ini dapat dilihat hubungan antara kenaikan nilai puncak arus inrush terhadap kenaikan beban daya lampu yang digunakan. Berikut ini adalah diagram yang menunjukkan perbandingan antara puncak arus inrush dan puncak arus pada kondisi tunak (*steady-state*) terhadap besarnya daya pada beban lampu.



Gambar 4.9. Diagram arus inrush maksimum dan arus steady state maksimum terhadap beban

Dapat dilihat dari gambar 4.9 di atas, semakin besar daya pada lampu, semakin tinggi lonjakan arus yang terjadi. Hal ini dipengaruhi oleh nilai kapasitansi *ballast* pada lampu. Pada lampu hemat energi dengan daya yang lebih besar memerlukan nilai kapasitansi yang lebih besar juga untuk dapat menghasilkan tegangan yang cukup untuk menyalakan lampu. Dan nilai kapasitansi ini berpengaruh pada besarnya lonjakan arus yang terjadi. Sehingga semakin besar daya lampu hemat energi, semakin besar pula nilai kapasitansinya dan akan mengakibatkan lonjakan arus inrush yang lebih tinggi.

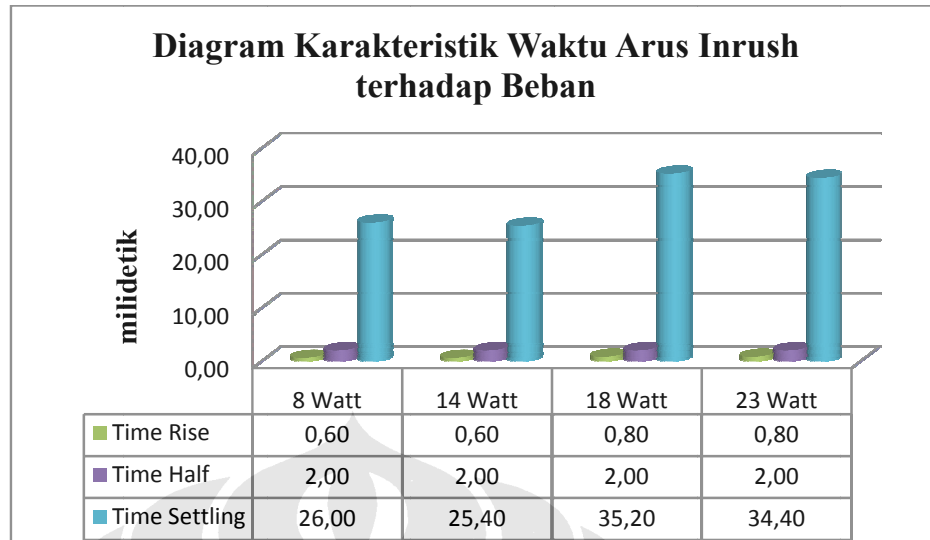
Berikut adalah grafik perbandingan arus maksimum inrush dan arus maksimum kondisi tunak terhadap variasi beban.



Gambar 4.10. Rasio arus maksimum inrush dan kondisi tunak untuk tiap beban

Dari Gambar 4.10 diatas, dapat dilihat besarnya lonjakan arus yang terjadi pada tiap beban. Besarnya lonjakan arus yang terjadi pada beban lampu 8 Watt mencapai 1,25 kali nilai arus kondisi tunaknya. Pada lampu 14 Watt, lonjakan arus yang terjadi sebesar 1,64 kali, pada lampu 18 Watt sebesar 1,25 kali dan pada lampu 23 Watt sebesar 1,32 kali nilai arus maksimum kondisi tunak. Umumnya lonjakan arus yang terjadi kurang dari 2 kali nilai puncak arus pada kondisi tunaknya. Hal ini disebabkan adanya komponen pembatas arus inrush pada lampu hemat energi

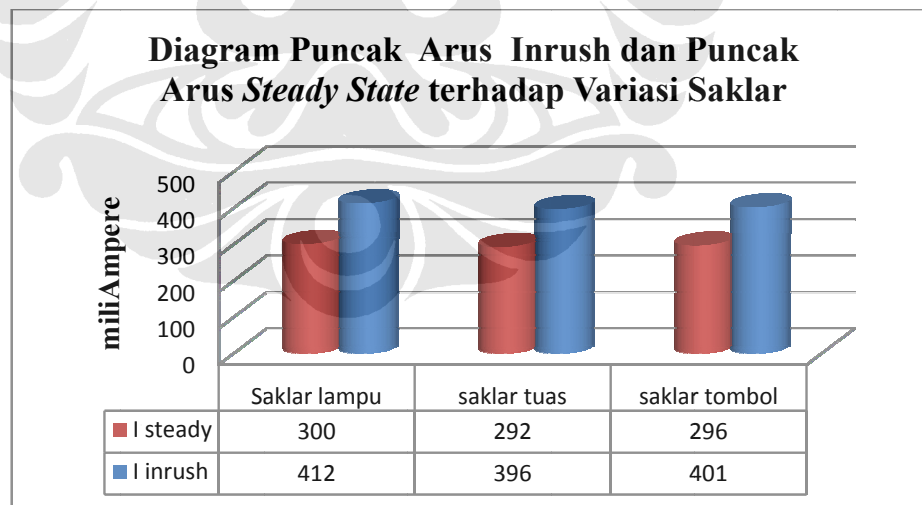
Untuk karakteristik waktu arus inrush untuk tiap-tiap lampu, secara umum dapat dikatakan bahwa pengaruh kenaikan daya terhadap karakteristik waktu arus inrush pada pengujian ini tidak terlalu besar. Untuk setiap lampu memiliki nilai *time rise* (T_r) yang cenderung sama yaitu sekitar 0,6 sampai 0,8 milidetik. Begitu juga dengan nilai *time half* (T_h), dimana untuk tiap lampu nilai T_h ini adalah 2 milidetik. Sedangkan untuk nilai *settling time* (T_s) nya untuk tiap lampu berkisar antara 25 sampai 35 milidetik. Berikut adalah grafik karakteristik waktu arus inrush pada tiap lampu.



Gambar 4.11. Diagram karakteristik waktu arus inrush terhadap beban

4.3.2 Analisa Hasil Pengujian Pada Variasi Saklar

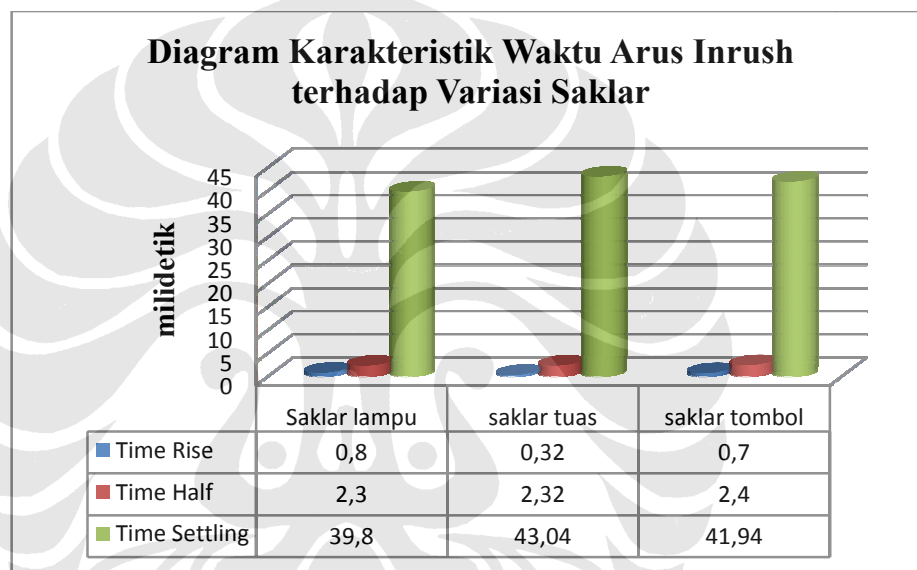
Dari hasil pengujian karakteristik selang waktu terjadinya arus inrush, dapat dilihat hubungan antara besarnya puncak arus inrush yang terjadi dengan waktu untuk mencapai nilai puncak. Berikut adalah gambar diagram dari hasil pengujian karakteristik arus inrush dengan variasi saklar.



Gambar 4.12. Diagram arus inrush maksimum dan arus *steady state* maksimum terhadap variasi saklar

Dapat dilihat dari gambar 4.12 di atas, puncak arus inrush yang terjadi pada saklar lampu adalah sebesar 412 mA, puncak arus inrush pada saklar tuas adalah sebesar 396 mA dan puncak arus inrush pada saklar tombol adalah sebesar 401 mA. Dari gambar diagram tersebut juga dapat dilihat bahwa nilai puncak arus inrush yang terjadi, yang paling tinggi adalah pada saklar lampu, dan yang paling rendah adalah pada saklar tuas.

Sedangkan diagram untuk karakteristik waktu arus inrush pada tiap saklar adalah sebagai berikut.



Gambar 4.13. Diagram karakteristik waktu arus inrush pada variasi saklar

Dari gambar 4.13 di atas, dapat dilihat bahwa pada saklar tuas terjadi waktu kenaikan arus inrush yang paling cepat, dan pada saklar lampu terjadi waktu kenaikan arus inrush yang paling lambat.

Dari hasil pengujian ketiga saklar, dapat dilihat bahwa kecepatan penutupan saklar berpengaruh pada puncak arus inrush yang terjadi. Pada saklar jenis tuas yang memiliki waktu kenaikan arus inrush lebih cepat dibandingkan dua saklar lainnya, terjadi puncak arus inrush yang lebih rendah. Tetapi, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi tunaknya menjadi lebih lama.

BAB 5

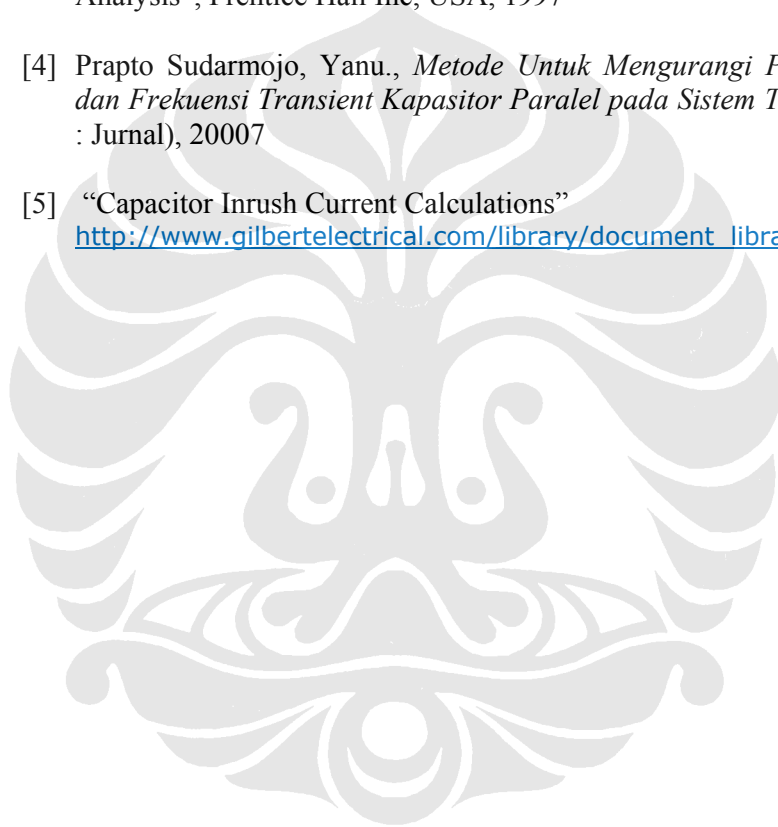
KESIMPULAN

Dari pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Semakin besar daya pada lampu hemat energi maka semakin besar nilai kapasitansi yang dibutuhkan untuk menyalakan lampu. Akibatnya semakin tinggi puncak arus inrush yang terjadi.
2. Lonjakan arus inrush yang terjadi pada operasi pensaklaran lampu hemat energi kurang dari dua kali nilai puncak arus kondisi tunaknya (*steady state*). Hal ini disebabkan karena adanya komponen pembatas arus inrush pada lampu hemat energi.
3. Waktu pensaklaran yang semakin cepat menyebabkan lonjakan arus inrush yang terjadi semakin rendah.
4. Saklar jenis tuas (*lever switch*) memiliki waktu kenaikan arus inrush yang lebih cepat dan nilai puncak arus inrush yang lebih rendah dibandingkan saklar jenis tombol (*push button switch*) dan saklar yang umum digunakan untuk menyalakan lampu (*lamp switch*).

DAFTAR ACUAN

- [1] Preve, Christophe., “Protection of Electrical Networks”, ISTE Ltd, USA, 2006
- [2] Van der Louis, Lou., “Transient in Power Systems”, John Wiley & Sons Ltd, USA, 2001
- [3] Johnson, D.E., Johnson R.J., Hilburn J.L, Scoot P.D, “Electrical Circuit Analysis”, Prentice Hall Inc, USA, 1997
- [4] Prpto Sudarmojo, Yanu., *Metode Untuk Mengurangi Puncak Arus Inrush dan Frekuensi Transient Kapasitor Paralel pada Sistem Tenaga Listrik* ,(Bali : Jurnal), 20007
- [5] “Capacitor Inrush Current Calculations”
http://www.gilbertelectrical.com/library/document_library.htm



DAFTAR PUSTAKA

Preve, Christophe., *Protection of Electrical Networks*, (USA : ISTE Ltd, 2006)

Van der Louis, Lou., *Transient in Power Systems*, (USA : John Wiley & Sons Ltd, 2001)

Johnson, D.E., Johnson R.J., Hilburn J.L, Scoot P.D, *Electrical Circuit Analysis*, (USA : Prentice Hall Inc, 1997)

