

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**ANALISA PENDEKATAN PRAKTIS PENAMBAHAN REACTOR SERI,
PADA KAPASITOR BANK UNTUK MEMBATASI
DAMPAK ARUS TRANSIENT
DI PT. BRANDT A VARCO COMPANY, BALIKPAPAN**

SKRIPSI

Disusun Oleh :

**BUDI SETIAWAN
97.12.087**

MARET, 2006



LEMBAR PERSETUJUAN

**ANALISA PENDEKATAN PRAKTIS PENAMBAHAN REACTOR SERI,
PADA KAPASITOR BANK UNTUK MEMBATASI
DAMPAKARUS TRANSIENT
DI PT. BRANDT A VARCO COMPANY, BALIKPAPAN**

*Disusun dan Diajukan untuk Melengkapi dan Memenuhi Syarat
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

BUDI SETIAWAN

97.12.087

**Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro**



**(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
NIP.Y. 1039500274**

**Diperiksa dan Disetujui
Dosen Pembimbing**



**(Ir. Widodo Rudi M., MT)
NIP. 1028700171**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

Guba Guba yang layak dan pantas tertutur dari lisan seorang hamba yang dhoif selain rasa **SYUKUR KEPADA KHALIQUYA** ataz segala **ilmu, (idung), (kaki) supung, dan perolonganNya.**

Alhamdulillah..... Alhamdulillah..... Alhamdulillah.....

Buat: (Alm. Bapakku)

Alhamdulillah..... satu rasa yang bisa sukutkan karena cita-citaku yang mulia telah terlaksana, terima kasihku sebagai anakku akan terus mempertahankan prinsip-prinsipmu tentang hidup, tentang pentingnya pendidikan dan banyak lagi yang saya rasa dan seutikan. Insya ALLAH akan kudiberi anak & cucuku hingga lebih menomorutkan karena ilmu itu penting...

BUAT: (IBUNDAKU)

Alhamdulillah..... SKRIPSIKU bisa selesai, terimakasih buat MAMA yang telah memberikan banyak motivasi baik moral maupun materi, maafkan Bunda yang telah banyak menyilahkan faktor kesabaran MAMA yang terus memberiku semangat tak akan kudapatkan semua hidupku.....

BUAT: (SELURUH KELUARGAKU)

Mas Lambang, makasih yah atas dorongannya selama ini, aku sempat kehilangan segala-galanya, berat layang layang yang putus, melayang tertup angin tanpa arah dan tujuan, tapi mas Lambang tetap sabar memberiku semangat, membangkitkanku dari lamunanku untuk kembali ke dunia nyata yang penuh perjuangan, Mas Hamo, makasih banyak atas sarannya dan juga kritikanannya, dan tak lupa dorongan semangat dan doanya, dan buat kakak-kakakku yang lain makasih banyak sudah memerikan semangat juga masukan-masukannya, tak akan kudapatkan budi baik kalian, semoga ALLAH SWT, memberikan berkah buat kalian semua. Amiin Ya Robbil Alamin.

BUAT: YAYANGKU & ALL FAMILY

Yayangku makasih yah atas dukungannya yang tetap sabar nunggu aku lulus, buat ibu makasih atas doanya & kesabarannya yang terus menerus hingga aku bisa menyelesaikan kuliahku, buat bapak makasih atas perhatiannya yang juga sabar dan selalu ngasih roko, buat aku and temen ngabrol yang paling Asyiiiik, LOVE U ALL

Buat: Pa' Widodo (Dosen Pembimbing)

Terima kasih banyak telah membimbingku, mendampingi aku dari seminar proposal, seminar hasil, dan factor yang mengurus otak & tenagaku yaitu ujian komprey, makasih banyak atas masukan-masukannya hingga aku dapat menyelesaikan skripsiku, serati lagi makasih banyaak

Buat: Pa' Choirul (Dosen Penguji 1)

Makasih banyak buat masukan-masukannya, dan pertanyaan-pertanyaannya

Buat: Pa' EKO (Dosen Penguji 2)

Makasih banyak buat masukan-masukannya, dan pertanyaan-pertanyaannya dan juga revisiannya

MAKASIH BANGSAKU JALAN SAKSI DI TELER SAMPUNGAN KALAU JANGAL
SALAH SAKSI TELER SAKSI SAKSI WADZAH SAKSI SAKSI
SALAH SAKSI TELER SAKSI SAKSI SAKSI SAKSI SAKSI SAKSI SAKSI
TEMA-TEMENKU SEKALAN

PUPUT (LAWANG), makasih atas masukan-masukannya & kursus singkat padat bermanfaat, GUNTUR THANKS BANGET U BANYAK BANTU AQ, KOMPUTERMU YANG ANTIK JUGA BANYAK BANTU FREN APALAGI KALO PAS SUMPEK BISA BUAT NGEGAME LUKMAN THANKS FREN PRINTERNYA YO K'LO G ADA U MUNGKIN AQ GA BISA IKUT SEMINAR HASIL, U CEPETAN WISUDA KUA Madiun BUTUH IZASAH S1 LHO, HEHEHE.... WIDY, U JANGAN ngeGAME AJA URUS SKRIPSIMU TUCH MUMPUNG ADA TEMEN-TEMEN YANG LAGI NGURUS, MANTAN 622 C (ZAMBONG, SUPRI, MUNIF, SULKAN) & BOS AZIS THANKS BANGET ATAS BANTUANNYA & wejangannya yach, Zondra, Ari, Sony, Noor, u emeng temen seperjuangan men, selangkah lagi kita lepas & merdeka dari ALCATRAZZnya Malang, Endhog & Endi duet maut kata-kata ALCATRAZZmu ta pake neeh kasih lau tuch si gundul traktirannya kurang, hahaha..... buat Nobita waahh jangan stress gitu donk enjoy aja sambil ngegame DISCIPLES khan enak juga, penceng untung u install game PS khan enak juga tuch abis komprey langsung PSan, Bakabon jangan ngelamun aja yach ntar bocor lho, and buat anak-anak 86 yang laen thanks banget fren, buat temen-temenku 97 (Nanang, Adriawan, Juned, Bento, Samuel Ndoweh) sukses untuk kalian semua, and yang lupa ta sebutkan namanya (sorry yoo)
Berkat bantuan dan doa kalian aq bisa nyelesaikan kuliah & skripsiku makasih banyak fren.....

WASSALAM

MARET 2006

© Lela Hidayat / Ciba

ABSTRAKSI

ANALISA PENDEKATAN PRAKTIS PENAMBAHAN REACTOR SERI, PADA KAPASITOR BANK UNTUK MEMBATASI DAMPAK ARUS TRANSIENT DI PT. BRANDT A VARCO COMPANY, BALIKPAPAN

(Budi Setiawan, Nim : 9712087, TEKNIK ENERGI LISTRIK)

(Dosen Pembimbing : Ir . Widodo Pudji M, MT)

Kata Kunci : *Pendekatan Praktis Penggunaan Kapasitor Bank Untuk
Mengurangi/Membatasi Dampak Arus Transient*

Ketika dua atau lebih kapasitor bank paralel berada pada suatu bus, back-to-back switching antar kapasitor bank dapat menghasilkan arus sesaat yang terjadi pada saat arus puncak maksimum. Pada Umumnya, arus ini dapat melebihi dari tingkatan arus kesalahan yang tersedia (toleransi kesalahan) yang mengalir dibus sebelumnya. Nilai arus inrush yang tinggi dan dalam jangka waktu yang singkat ini dapat merusakkan cabang dari bus dan peralatan kendali yang mengharuskan tindakan pencegahan yang sesuai dengan desain proses.

Skripsi ini menganalisa metoda itu untuk menghitung nilai arus transient dari kapasitor bank, berdasarkan ANSI/IEEE C37.012-1979, dari analisa perhitungan dapat diketahui tanpa memakai kapasitor, arus inrush yang timbul bisa 200 kali lebih besar dari arus normal kapasitor. Ketika ditambahkan induktansi didalam kapasitor bank sampai dengan 76433,12 μ H, maka dapat membantu mengurangi arus tegangan antar cabang yang secara langsung berhubungan dengan kapasitor bank dan akan membatasi perbaikan faktor daya sampai dengan 3,88 KVAR.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
ABSTRAKSI	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR GRAFIK	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metodologi	3
1.6. Sistematika Pembahasan	4
BAB II PRINSIP DASAR KAPASITOR	5
2.1. Kapasitor Seri dan Pararel	7
2.1.1. Kapasitor Pararel dalam Sistem Tenaga	9
2.1.2. Lokasi Penempatan Kapasitor	10

	2.2.	Konfigurasi Perbaikan Faktor Daya	12
	2.3.	Pengaman Kapasitor Pararel	14
	2.4.	Arus Transient Dan Dampak Yang Diakibatkannya.....	15
BAB	III	ARUS SESAAT DAN SISTEM PENGAMANNYA	16
	3.1.	Arus Sesaat pada Switching Kapasitor	16
	3.1.1.	Arus Sesaat pada Kapasitor Tunggal	16
	3.1.2.	Arus Sesaat pada Kapasitor Pararel	18
	3.2.	Sistem Pengamanan Kapasitor secara umum	21
	3.2.1.	Fuse Kapasitor	22
	3.2.2.	Pengaman Breaker	24
	3.2.3.	Fuse Group	25
	3.2.4.	Fuse Tunggal	26
	3.2.5.	Sistem Pengamanan Kapasitor pararel terhadap Arus Sesaat	27
	3.2.6.	Pengaman Reaktor Seri	27
	3.2.7.	Pengaman Pemutus Rangkaian	28
BAB	IV	ANALISIS PERHITUNGAN ARUS INRUSH PADA KAPASITOR BANK BESERTA PENGAMANANNYA DI PT TRISTATE TEXTILES ,PANDAAN	31
	4.1.	Data – data Sistem Tenaga Listrik	31
	4.2.	Flow chart Penyelesaian Masalah	32
	4.3.	Perhitungan Arus Sesaat dan Frekuensi	35
	4.3.1.	Perhitungan Nilai induktansi	36
	4.3.2.	Menghitung Arus Sesaat dan frekuensi sebelum	

	penambahan nilai Induktansi pada Kapasitor Bank.....	37
4.4.	Penentuan kapasitas peredaman Kapasitor terhadap arus Inrush	48
4.4.1.	Kapasitas peredaman dengan Reaktor seri	48
4.4.2.	Kapasitas pengaman dengan Pemutus Rangkaian	50
4.5.	Perhitungan arus inrush dan frekuensi setelah penambahan nilai induktansi	52
4.5.1.	Menghitung arus inrush setelah penambahan nilai induktansi	53
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1.	Kesimpulan	65
5.2.	Saran	66
	DAFTAR PUSTAKA	
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2 - 1	Konstanta Beberapa Jenis Bahan Dielektrik	8
3 - 1	Nilai Dari Induktansi Diantara Kapasitor Bank	20
3 - 2	Peralatan Switching Kapasitor Bank	29
4 - 1	Kondisi Kapasitor Pada Waktu Switching	41
4 - 2	Hasil Perhitungan Sebelum Peredaman.....	42
4 - 3	Nilai Arus Inrush Maksimum Yang Boleh Bekerja	45
4 - 4	Nilai Induktansi Setelah Penambahan Reaktor Seri Pada Masing – Masing Step	49
4 - 5	Hasil Perhitungan Sesudah Peredaman	57

DAFTAR GRAFIK

Gambar		Halaman
4 - 1	Arus Sesaat Sebelum Pengamanan.....	44
4 - 2	Frekuensi Sebelum Pengamanan	44
4 - 3	Persamaan kVAR (C) dan kVAR (L) Pada Saat Peredam	59
4 - 4	Arus Sesaat Sesudah Pengamanan	59
4 - 5	Frekuensi Sesudah Pengamanan	60
4 - 6	Arus Inrush Sebelum Dan Sesudah Pengamanan	60
4 - 7	Frekuensi Sebelum Dan Sesudah Pengamanan	61

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dengan pesatnya kemajuan teknologi dan terus berkembangnya industri serta pertumbuhan konsumen tenaga listrik, maka diperlukan keandalan suatu sistem tenaga listrik. Untuk itu beberapa industri menggunakan kapasitor bank sebagai penunjang dalam memenuhi kebutuhan diatas.

Kapasitor sama seperti halnya dengan peralatan listrik yang lainnya rentan terhadap gangguan maupun kondisi operasi yang tidak normal, maka disini perlu adanya koordinasi pengaman yang harus digunakan untuk mengamankan kapasitor. Salah satu gangguan yang timbul pada instalasi kapasitor bank adalah adanya arus sesaat (*inrush current*) yang timbul pada saat kapasitor dihubungkan ke sumber tegangan dan besar arus sesaat ini bisa mencapai 25 sampai 200 kali arus normal kapasitor dalam keadaan *steady state*, oleh karena itu diperlukan adanya peredaman arus sesaat guna mengamankan kapasitor maupun jaringan distribusi itu sendiri.

Disetiap perubahan baik pada waktu penyalaan maupun pemadaman selalu disertai fluktuasi singkat yang bila dicek dapat menyebabkan kerusakan pada kapasitor bank. Kerusakan kapasitor ini tentu saja sangat berpengaruh pada sistem tenaga listrik yang ada, termasuk terjadinya kerusakan pada peralatan- peralatan listrik yang ada. Adanya peningkatan pemakaian beban listrik dan penyaluran daya listriknya dapat menimbulkan perubahan tegangan dan besarnya arus

gangguan.untuk itu perlu adanya stabilitas daya listrik dengan ditambahkan kapasitor bank.

1.2. Rumusan Masalah

Mengingat besarnya arus sesaat (inrush) dan sensitifnya kapasitor terhadap gangguan maupun kondisi operasi yang tidak normal, maka dengan analisis perhitungan ini kita dapat menentukan pengaman yang digunakan kapasitor dalam meredam arus sesaat, Sehingga akan timbul permasalahan sebagai berikut :

1. Berapa besar nilai arus inrush dan frekuensi kapasitor bank (isolated)
2. Berapa besar nilai arus inrush dan frekuensi pada kondisi pengisian pada kapasitor bank yang lain pada bus yang sama.
3. Berapa besar nilai arus inrush dan frekuensi pada kondisi pengisian pada kapasitor bank yang sederat pada bus yang sama.

Sehubungan dengan permasalahan diatas maka skripsi ini mengambil judul:

“ANALISA PENDEKATAN PRAKTIS PENAMBAHAN REACTOR SERI, PADA KAPASITOR BANK UNTUK MEMBATASI DAMPAK ARUS TRANSIENT, DI PT. BRAND A VARCO COMPANY, BALIKPAPAN.”

1.3. Tujuan

Menganalisis arus inrush yang terjadi karena pemasangan kapasitor bank dengan menggunakan metode pendekatan praktis, sehingga dapat ditentukan jenis pengaman yang akan digunakan dalam meredam arus inrush.

1.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan ini mengarah sesuai dengan tujuan maka pembahasan skripsi ini dibatasi hal – hal sebagai berikut :

- Analisa dilakukan atas kerja pengaman pada kapasitor bank untuk membatasi atau meredam arus inrush yang timbul.
- Data perhitungan didasarkan data yang diambil dari PT. BRANDT A VARCO COMPANY, BALIKPAPAN.
- Gangguan – gangguan jaringan baik gangguan hubung singkat maupun gangguan ketanah diabaikan.
- Hanya membahas masalah pengaman arus transient untuk kapasitor pada hubungan segitiga(Δ) yang ditanahkan.
- Tidak membahas komponen harmonisa.

1.5. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah :

1. Mempelajari literature mengenai kapasitor bank dan pengamannya dari buku referensi.
2. Mengumpulkan data yang dipergunakan di PT BRANDT A VARCO COMPANY, BALIKPAPAN.
3. Analisis perhitungan dan pembahasan.
4. Menyimpulkan hasil analisis yang diperoleh dari hasil perhitungan
5. Penyusunan buku.

1.6. Sistematika Pembahasan

Dalam pembahasan skripsi ini untuk dapat memberi pengertian yang jelas serta mencapai sasaran yang diinginkan, maka dalam pembahasan dibagi menjadi sub bab. Sistematika pembahasan selengkapnya adalah sebagai berikut :

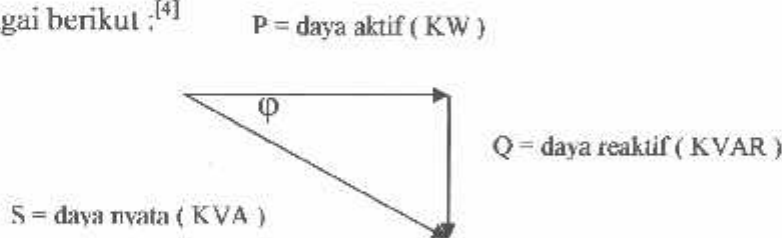
- BAB I : Merupakan pendahuluan yang meliputi latar belakang, rumuasan masalah, tujuan , batasan masalah, metodologi dan sistematika pembahasan .
- BAB II : Pembahasan teori dasar yang berhubungan dengan kapasitor dalam sistem industri.
- BAB III : Menjelaskan penyebab dari adanya arus inrush serta pengamannya.
- BAB IV : Analisis teknis menggunakan teori yang ada untuk menentukan besar kapasitas peredaman kapasitor untuk meredam arus inrush yang cukup besar.
- BAB V : Berisikan kesimpulan dan saran.

BAB II

PRINSIP DASAR KAPASITOR

Dalam sebuah sumber listrik AC mengeluarkan energi listrik dalam bentuk energi “aktif” dan energi “reaktif”. Energi aktif (dinyatakan dalam KW) adalah energi yang diperlukan untuk ditransformasikan / diubah ke bentuk energi yang lain, misalnya : energi mekanik, panas, cahaya. Sedangkan energi reaktif (dinyatakan dalam KVAR) diperlukan oleh peralatan yang bekerja dengan sistem elektromagnet, yaitu untuk pembentukan medan magnetnya. Peralatan yang demikian diantaranya trafo, motor.

Kedua energi diatas membentuk daya total yang disebut dengan daya nyata (dinyatakan dalam KVA), daya nyata ini merupakan penjumlahan vektor dari daya aktif dan daya reaktif. Hubungan ketiga jenis energi ini dapat kita gambarkan sebagai berikut :^[4]



$$\text{Jika daya aktif (KW) : } P = \sqrt{3} V.I \cos \phi \quad (2.1)$$

$$\text{Daya reaktif (KVAR) : } Q = \sqrt{3} V.I \sin \phi \quad (2.2)$$

$$\text{Daya nyata (KVA) : } S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.3)$$

Dimana :

V = tegangan antar fasa

I = arus jaringan

$\cos \varphi$ = faktor daya

Faktor daya ($\cos \varphi$) adalah perbandingan antara daya aktif (KW) dengan daya nyata (KVA). Sebuah peralatan listrik akan semakin optimum, baik dari segi teknis maupun ekonomis, jika nilai faktor dayanya mendekati / mencapai nilai 1.

Karena di Indonesia, PLN membebankan biaya kelebihan pemakaian KVARh pada pelanggan, jika faktor daya rata-rata bulannya ($\cos \varphi$) kurang dari 0,85 induktif. Hal ini terjadi bila pemakaian KVARh total selama sebulan, lebih besar dari 0,62 kali pemakaian KWh total.

Untuk memperbaiki faktor daya sehingga tidak perlu membayar denda, salah satunya adalah dengan aplikasi dari kapasitor shunt.

Kapasitor yang digunakan dalam sistem tenaga adalah kapasitor elektrostatik dengan semacam kertas (kraft paper) sebagai bahan dielektrik utamanya. Biasanya kertas tersebut diperkuat dengan minyak atau zat organik lain untuk mempertinggi kapasitasnya.

Penentuan suatu kapasitor dalam sistem tenaga listrik arus bolak-balik akan menyebabkan arus yang melaluinya terdahulu (leading) terhadap tegangan, arus ini disebut dengan arus kapasitif. Oleh karena itu kapasitor digunakan untuk mengkompensir arus induktif yang sangat dibutuhkan dalam sistem tenaga.

2.1. Kapasitor Seri dan Pararel

kapasitor seri dan pararel pada sistem daya menimbulkan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan, karena dapat menambah kapasitas sistem dan mengurangi rugi – rugi sistem. Kedua pemasangan ini mempunyai perbedaan khusus untuk tujuan pemakaiannya. Pada kapasitor seri daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus beban, sedangkan pada kapasitor pararel sebanding dengan kuadrat tegangan. Ada beberapa aspek tertentu yang tidak menyenangkan pada kapasitor seri yaitu secara umum dapat dikatakan biaya untuk pemasangan kapasitor seri lebih tinggi dari pemasangan kapasitor pararel. Hal ini disebabkan karena peralatan perlindungan untuk kapasitor seri lebih kompleks, juga biasanya kapasitor seri didesain untuk daya yang lebih besar dari pada kapasitor pararel.

Energi elektrostatik yang bisa disimpan oleh kapasitor ditentukan melalui persamaan sebagai berikut:

$$C = K \cdot Co \cdot A / d \quad (2.4)$$

Dimana :

K = Koefisien dielektrik

Co = Konstanta ($8,85 \times 10^{-12} \text{ C / Nm}^2$)

A = Luas penampang lempeng

D = Jarak kedua ujung

Tabel 2 - 1

Konstanta Beberapa Jenis Bahan Dielektrik

No	JENIS BAHAN	KOEFISIEN DIELEKTRIK
1	Udara	1,0
2	Barium titanite	3000,0
3	Selulose	6,5
4	Gelas	7,0
5	Oli	2,13
6	Mika	5,6
7	Polypropene	2,2
8	Polyester	2,9

(Sumber : IEEE Application guide for capacitance current switching for AC high voltage circuit breakers .
ANSI / IEEE Standart C37.011.1979.)

Sedangkan nilai KVAR nya perkapasitor adalah :

$$KVAR_o = \frac{E^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot 10^{-6}}{1000} \quad (2.5)$$

dimana : $KVAR_o$ - KVAR pada saat operasi

E = Tegangan (Volt)

f = Frekuensi (Hz)

C = Capasitor (μH)

Persamaan diatas digunakan untuk menghitung KVAR kapasitor yang dipasang pada jaringan yang sesuai dengan rating kapasitor. Untuk kapasitor yang dipasang pada rating tegangan yang berbeda , maka KVAR yang dibangkitkan adalah:

$$KVAR_o = \left(\frac{V_o}{V_r} \right)^2 \cdot KVAR_r \quad (2.6)$$

Dimana : $KVAR_o$ = KVAR pada saat operasi

$KVAR_r$ = KVAR pada rating kapasitor

V_o = Tegangan operasi

V_r = Tegangan rating

Sedangkan apabila kapasitor dipasang pada frekuensi yang lain maka :

$$KVAR = \left(\frac{f_o}{f_r} \right)^2 \cdot KVAR_r \quad (2.7)$$

Dimana : f_o = frekuensi operasi

f_r = frekuensi rating

2.1.1. Kapasitor Pararel dalam Sistem Tenaga

Pemasangan kapasitor pararel sangat penting untuk pendanaan daya reaktif dari sebuah sistem daya. Selain itu pemasangan kapasitor dapat menghindari :

1. Trafo kelebihan beban (over load) sehingga memberi tambahan daya yang tersedia.
2. Voltage drop pada line ends.
3. kenaikan arus / suhu pada kabel , sehingga mengurangi rugi – rugi.

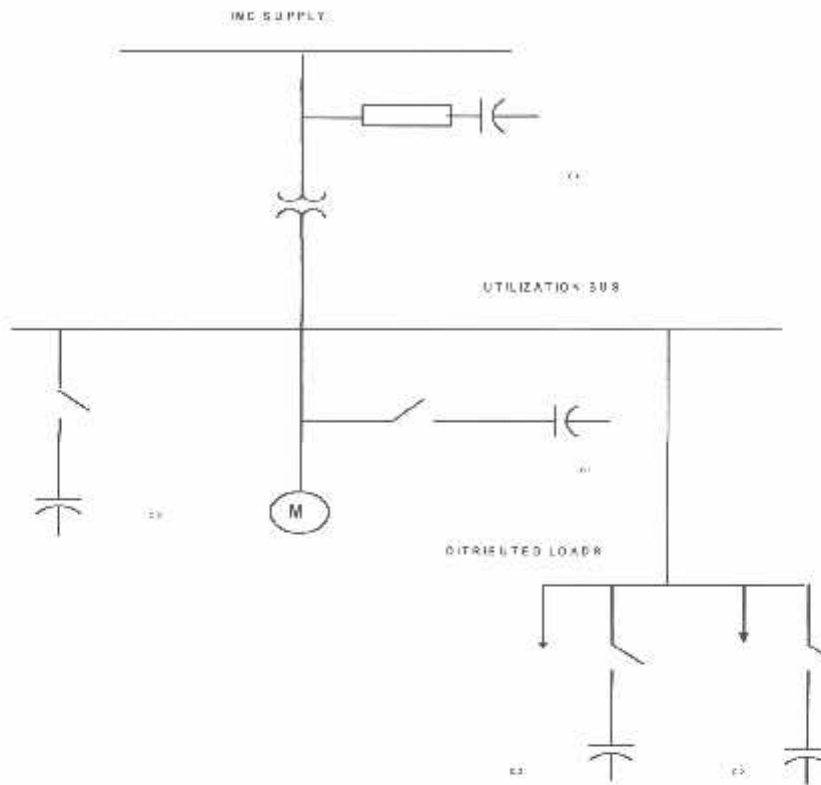
Kapasitor dalam suatu sistem disusun dalam bentuk rangkaian penyimpan dan dapat dihubungkan dalam sembarang bentuk bintang ditanahkan, bintang yang tidak ditanahkan ,delta dan sebagainya. Untuk rangkaian penyimpan sambungan bintang pada umumnya netral kapasitor hanya ditanahkan bila sistem atau transformator substasiun ditanahkan secara efektif. Untuk pemasangan kapasitor diperlukan :

- ❖ kapasitor, dengan jenis yang cocok dengan kondisi jaringan.
- ❖ Regulator, untuk pengaturan daya tumpuk kapasitor
- ❖ Kontaktor, untuk switching kapasitor.
- ❖ Pemutus tenaga, untuk proteksi tumpuk kapasitor.

2.1.2. Lokasi Penempatan Kapasitor

Banyak faktor yang dijadikan pertimbangan dalam penempatan kapasitor dalam jaringan tenaga listrik, diantaranya adalah panjang saluran , variasi beban, faktor beban, jenis motor, distribusi beban dan penempatan untuk industri.

Contoh penempatan kapasitor pada suatu sistem tenaga dapat digambarkan pada gambar 2.1 berikut ini. Penempatan yang paling efektif adalah pada beban seperti C1 , C2 dan seterusnya.



GAMBAR 2 - 1

Contoh Lokasi Penempatan Kapasitor

(Sumber : ANSI Standart C37.06, 1979)

Namun pada umumnya penempatan kapasitor dapat dilakukan dengan keperluan seperti dibawah ini :

- a. Perbaikan kelompok – kelompok pada sisi primer transformator.
- b. Perbaikan kelompok – kelompok pada sisi sekunder transformator
- c. Perbaikan kelompok – kelompok diluar plant, misalnya dalam sebuah bangunan.
- d. Perbaikan lokal pada feeder yang kecil
- e. Perbaikan lokal pada jaringan motor

Kapasitor sebaiknya dipasang sedekat mungkin dengan beban atau diakhir feeder, dengan alasan :

- a. Dapat mengurangi rugi – rugi saluran ke beban.
- b. Menaikkan tegangan didekat beban , sehingga dapat memperbaiki kerja motor
- c. Dapat melakukan perubahan KVAR kapasitor bila terjadi perubahan beban , yaitu bila kapasitor dipasang langsung pada beban.

2.2. Konfigurasi Perbaikan Faktor Daya

Terdapat tiga kemungkinan perbaikan faktor daya , dimana pemilihan biasa didasarkan atas pertimbangan ekonomis dan teknis. Kemungkinan konfigurasi tersebut adalah :

1. Secara tersendiri

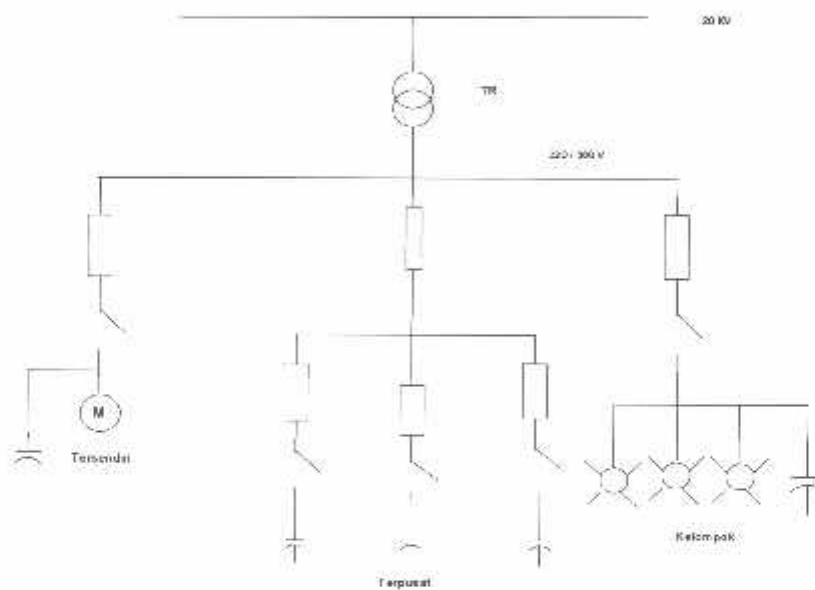
Sistem ini biasanya banyak digunakan pada beban – beban yang besar, untuk faktor daya yang konstan dan untuk jangka waktu yang lama.

2. Secara kelompok

Pada konfigurasi ini suatu unit peralatan perbaikan faktor daya dihubungkan dengan kelompok beban yang dapat terdiri dari motor – motor atau lampu TL. Untuk sistem yang terdiri dari lampu TL sering sudah dilengkapi dengan kapasitor untuk perbaikan faktor daya menjadi 0,8. Secara ekonomis daerah yang dipilih untuk pemasangan peralatan perbaikan faktor daya pada tempat – tempat yang paling induktif.

3. Secara terpusat

Konfigurasi ini paling sering digunakan, terutama pada beban – beban kecil dengan jumlah yang banyak, pemakaian daya dan periode waktu yang berbeda beda. Sistem ini mempunyai keuntungan yaitu mudah diperiksa jika terjadi gangguan , instalasi relatif lebih sederhana. Rating kapasitor yang digunakan sesuai dengan kebutuhan daya reaktif dan lebih rendah bila dibandingkan dengan faktor daya secara tersendiri.



GAMBAR 2 - 2.

Konfigurasi Perbaikan Faktor Daya

(Sumber : ANSI Standart C37.06, 1979)

2.3. Pengaman Kapasitor Pararel

Dalam pengamanan kapasitor kita membutuhkan kontaktor sebagai peralatan kontrol. Dalam pemilihannya harus melihat arus puncak yang terjadi pada saat penyambungan. Arus puncak ini bisa mencapai 200 kali arus nominal

kapasitor. Dengan penambahan coil, arus puncak tersebut bisa dibatasi mencapai 100 In.

Pemutus tenaga diperlukan sebagai alat proteksi tumpuk kapasitor. Kapasitas pemutus dari alat ini minimal harus sama dengan arus hubung singkat maksimum yang mungkin terjadi pada sekitar pangkal tumpuk kapasitor.

Untuk menghitung besarnya arus tersebut dapat digunakan rumus berikut :

$$I_n = \frac{Q_c}{V\sqrt{3}} \quad (2.8)$$

Dimana : I_n = arus nominal kapasitor (Amp)

Q_c = daya kapasitor (Var)

V = tegangan jaringan 3-fasa (Volt)

“rating” minimum untuk pemutus tenaga = 1,5 In.

BAB III

ARUS SESAAT DAN SISTEM PENGAMANNYA

3.1. Arus Sesaat pada Switching Kapasitor

Ketika sebuah kapasitor dihubungkan pada sebuah sumber tegangan, maka akan ada arus transient yang mengalir ke kapasitor tersebut. Arus inilah yang dinamakan arus sesaat (inrush). Besar dan frekuensi dari arus sesaat ini tergantung dari nilai kapasitansi dan induksi dari rangkaian suatu sistem.

Frekuensi tegangan dan arus yang tinggi yang terjadi selama kapasitor dihubungkan , dimana jika tidak dikontrol akan mengakibatkan kerusakan pada peralatan atau sistem tenaga yang ada.

Untuk kapasitor tunggal, arus sesaat (inrush) selalu kurang dari nilai arus hubung singkat pada lokasi kapasitor dipasang. Untuk kapasitor paralel , arus sesaat selalu lebih besar dari kapasitor tunggal. Magnetisasi dari arus sesaat (inrush) tergantung pada keadaan rangkaian dan karakteristik kapasitor dan nilai dapat melebihi nilai dari arus hubung singkat pada lokasi kapasitor ditempatkan.

3.1.1. Arus Sesaat pada Kapasitor Tunggal

Apabila kita tinjau rangkaian sederhana kapasitor tunggal yang ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3 - 1
Rangkaian Dasar Kapasitor

(Sumber : Diktat Rangkaian Listrik I,1998)

Untuk nilai dari arus sesaat (inrush) dan frekuensinya dapat ditunjukkan pada hubungan berikut :

$$I_{\max \text{ pk}} = \frac{\sqrt{2E_{L1}}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{C_{eq}}{L_{eq}}} \quad (\text{Amp}) \quad (3.1)$$

$$F_{\max \text{ pk}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{eq} C_{eq}}} \quad (\text{Hz}) \quad (3.2)$$

Dimana : $I_{\max \text{ pk}}$ = Crest value / nilai maksimum

$F_{\max \text{ pk}}$ = frekuensi sumber tegangan

Besar arus sesaat (inrush) dan frekuensinya mengikuti tegangan sistem (nilai tegangan pada saat penutupan), kapasitansi sirkit, induktansi sirkit (jumlah dan lokasi), pengisian beberapa kapasitor pada saat menutup dan resistansi yang lain dalam sirkit.

Arus sesaat (inrush) pada kapasitor tunggal (isolated) tidak sebesar arus hubung singkat pada terminal kapasitor bank. Ketika sebuah kapasitor bank di

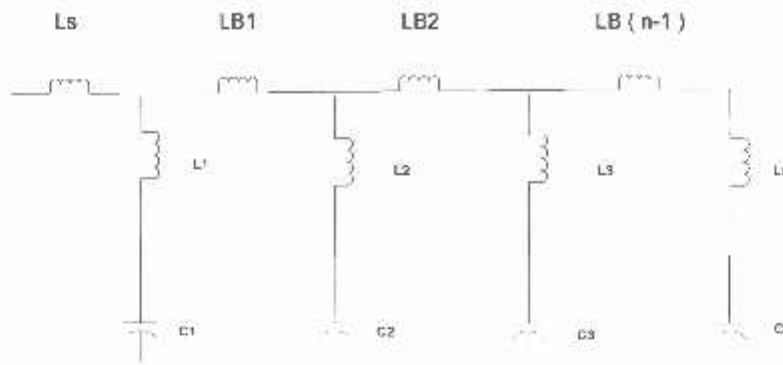
switch dan kemudian sebuah kapasitor bank diswitch pada bus yang sama maka arus sesaat (inrush) yang terjadi akan besar.

3.1.2. Arus Sesaat pada Kapasitor Pararel

Pada kapasitor – kapasitor yang terhubung pararel , arus sesaat yang mengalir akan bertambah akibat pemberian energi dari kapasitor yang telah di isi ke kapasitor yang belum diisi, pada saat pengisian sedang berlangsung besar arus sesaat dari kapasitor pararel tergantung pada nilai KVAR masing–masing kapasitor dan nilai reaktansi induktif antara step – step kapasitor.

Pada pengisian step yang baru ditutup pada nilai tegangan yang nominal pada saat ini, step – step kapasitor yang telah diisi dengan nilai maksimum yang mana akan menghasilkan arus sesaat (inrush) yang tinggi juga. Pada nilai tegangan nominal besarnya arus sesaat adalah mendekati nilai 0 dan jika frekuensi arus sesaat (inrush) minimal 10 kali dari frekuensi arus normal maka semua arus sesaat dari kapasitor yang telah diisi akan mengisi kapasitor yang baru.

Besar arus sesaat (inrush) untuk kapasitor pararel biasanya relatif tinggi dari nilai arus normal kapasitor. Model pemasangan kapasitor pararel diperlihatkan pada gambar 3.2. berikut :



Gambar 3 - 2
Kapasitor Yang Dipararel

(Sumber : IEEE Transactions on industry Applications, Vol 31, No.4, July/August 1995)

Untuk menentukan perhitungan arus sesaat (inrush) maksimum dan frekuensi pada kapasitor yang pararel , sesuai dengan ANSI / IEEE C37.012-1979 didapat rumusan sebagai berikut :

1. Kondisi pengisian (energized) pada kapasitor bank yang diisolasi :

$$I_{\text{mak pk}} = 1,4\sqrt{I_{sc}} \times I_1 \quad \text{Ampere} \quad (3.3)$$

$$f = f_s \sqrt{\frac{I_{sc}}{I_1}} \quad \text{Hz} \quad (3.4)$$

2. Kondisi pengisian pada kapasitor bank yang lain pada bus yang sama :

$$I_{\text{mak pk}} = 1747 \sqrt{\frac{V_{LL} (I_1 \times I_2)}{Leq(I_1 + I_2)}} \quad \text{Ampere} \quad (3.5)$$

$$f = 9,5 \sqrt{\frac{(f_s) V_{LL} (I_1 + I_2)}{Leq(I_1 \times I_2)}} \quad \text{kHz} \quad (3.6)$$

2. Kondisi pengisian pada kapasitor bank yang sederajat pada bus yang sama :

$$I_{\text{mak pk}} = 1235 \sqrt{\frac{(V_{LL})(I_1)}{(Leq)}} \quad \text{Ampere} \quad (3.7)$$

$$f = 13,5 \sqrt{\frac{(f_s)(V_{LL})}{(Leq)(I_1)}} \quad \text{KHz} \quad (3.8)$$

Dimana :

f_s = frekuensi sistem

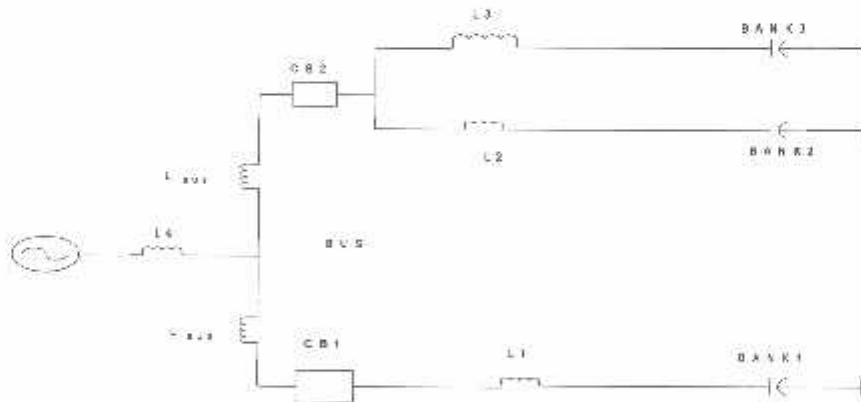
Leq = total eqivalen induktansi per fasa kapasitor bank dalam microhenry.

I_1, I_2 = arus kapasitor bank selama diswitch

$I_{\text{mak pk}}$ = nilai arus puncak

V_{LL} = tegangan maksimum rata - rata , dalam Kilovolt

I_{sc} = arus hubung singkat , dalam Ampere



Gambar 3 - 3

Contoh Pemasangan Kapasitor Bank Pada Suatu Sistem

(Sumber : IEEE Transactions on industry Applications, Vol 31, No.4, Joly/August 1995)

Induktansi pada rangkaian adalah untuk membatasi arus transient. Dalam beberapa kasus induktansi total antara kapasitor bank tidak melebihi satu persen dari induktansi sumber dan hasilnya arus transient dari sumber dapat diabaikan.

Tabel 3 - 1
Nilai Dari Induktansi Diantara Kapasitor Bank

Tegangan maksimum (KV)	Induktansi per fasa pada bus ($\mu\text{H}/\text{ft}$)	Induktansi diantara bank (μH)
15,5 dan dibawahnya	0,214	10 – 20
38	0,238	15 – 30
48,3	0,256	20 – 40
72,5	0,256	25 – 50
121	0,261	35 – 70
145	0,261	40 – 80
169	0,268	60 – 120
242	0,285	85 - 170

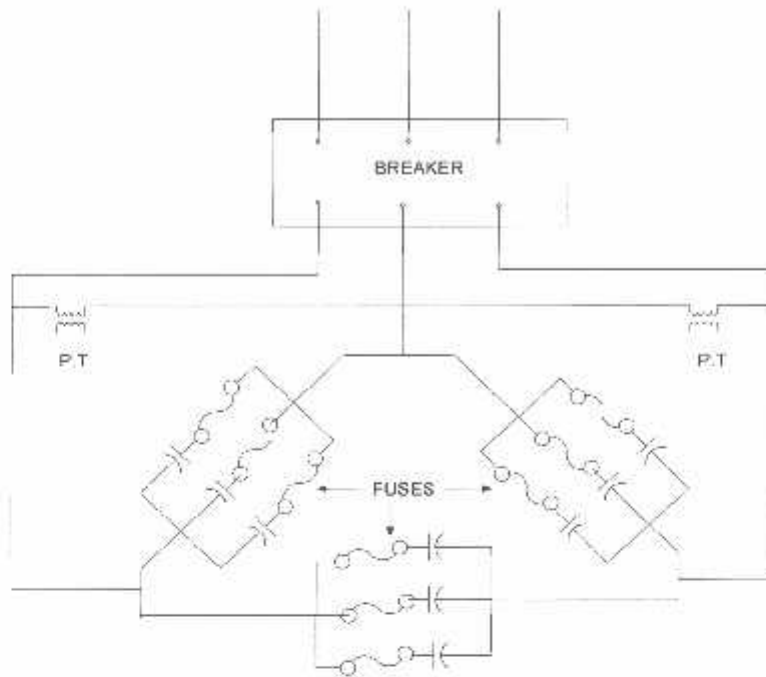
* nilai dari induktansi per fasa diantara kapasitor bank. Tidak termasuk induktansi dari kapasitor. Nilai 5 μH untuk bank dibawah 46 KV dan 10 μH untuk bank diatas 46 KV untuk besaran induktansi dari kapasitor bank.

(Sumber : IEEE Application guide for capacitance current switching for AC high voltage circuit breakers : ANSI / IEEE Standar C37.012,1979.)

3.2 Sistem Pengaman Kapasitor secara Umum

macam – macam pengaman kapasitor bank dalam ukuran yang besar adalah :

1. Fuse untuk kapasitor
2. Relai arus lebih untuk mentriapkan CB jika ada gangguan .
3. Potensial transformator (PT)
4. Arus transformator (CT)



Gambar 3 - 4

Contoh Rangkaian Kapasitor Delta

(Sumber : PT Schneider Ometraco, Katalog Harga 1997)

3.2.1. Fuse Kapasitor

Setiap unit kapasitor mempunyai daerah yang luas untuk isolasi, ketika beberapa kapasitor dibuat dalam sebuah rangkaian instalasi maka kemungkinan kegagalan isolasinya makin besar. Sebuah kapasitor yang besar umumnya mampu menghasilkan arus fault yang besar.

Kemampuan short circuit kapasitor untuk mengalirkan arus dibatasi oleh kemampuan membawa arus dari aluminium foil tipis pada permukaan elektroda.

Jika foil ini diijinkan membawa arus fault yang besar, maka foil dapat bersifat seperti fuse. Ini sangat berkaitan dengan masalah fuse karena arus fault dalam sebuah kapasitor dapat mencairkan foil lebih mudah dan arus fault bisa membersihkan dan juga kadang – kadang merusak. Adanya kapasitor - kapasitor

yang lain dipararel dan discharge kapasitor meningkatkan kecenderungan untuk mencairkan fault clear.

Jika arus fault dalam kapasitor melebihi beberapa ratus ampere maka tekanan akan naik secara perlahan dan akan berlangsung sampai beberapa cycle sebelum akhirnya akan merusak. Ketika arus melebihi 3000 ampere maka kerusakan mekanik akan terjadi akan besar.

Jika loncatan bunga api pada kapasitor dibiarkan sampai mengakibatkan kerusakan, maka unit – unit dan bagian – bagian lain dari kapasitor juga akan rusak.

Oleh karena itu dibutuhkan suatu pengaman yang memadai untuk mengamankan kapasitor dari arus short circuit.

Fungsi dari pengaman tersebut adalah :

1. Untuk memproteksi rangkaian dan kapasitor agar bisa memperpanjang umur peralatan.
2. Untuk memproteksi kapasitor yang lain dari gangguan arus transient
3. Untuk memproteksi unit – unit kapasitor bank lainnya dari kerusakan mekanik akibat arus lebih.
4. Untuk meminimalkan bahaya bagi operator dan anggota maintenance.

3.2.2. Pengaman Breaker

Breaker dengan pengaman beban lebih dan rating pengaman rangkaian yang memadai, tidak dapat mengamankan kapasitor dari gangguan short circuit, harus ada tambahan individual fuse kapasitor atau relay yang berfungsi untuk

mentriapkan breaker, karena adanya arus atau tegangan yang tidak seimbang dengan menggunakan hanya breaker tidak cukup untuk mengamankan sebuah kapasitor unit diman faultnya tinggi.

Sebuah breaker harus dipertimbangkan terutama sebagai peralatan switching dan peralatan pengaman rangkaian dan bukan sebagai pengaman dari arus fault yang besar didalam unit kapasitor. Namun breaker juga sebagai back – up pengaman dari unit kapasitor atau pengaman kegagalan lainnya.

Pemasangan circuit breaker disesuaikan dengan arus kapasitor ,dan harus memperhatikan faktor – faktor berikut :

1. Faktor Tegangan

Untuk menghitung kapasitansi dari kapasitor bank pada tegangan yang digunakan , dapat diperoleh dengan mengalikan daya reaktif yang tercantum dalam name plate kapasitor dalam KV dengan rasio tegangan maksimal yang digunakan pada tegangan kapasitor yang terdapat name plate kapasitor.

Faktor ini besarnya 1.1 ketika sebuah kapasitor dioperasikan terus menerus sampai diatas 10% dari tegangan rata – rata kapasitor

2. Toleransi kapasitor

Toleransi pada kapasitor adalah 0 sampai 15% atau rata – rata lebih dari –0 sampai +5%. Faktor pengali antar 1,05 sampai 1,15 digunakan untuk menyesuaikan arus nominal dengan batas toleransi dalam kapasitansi yang diijinkan.

3. Komponen harmonisa

Kapasitor bank yang mempunyai impedansi yang kecil menyebabkan akan mengalirnya arus harmonisa pada rangkaian. Pada kapasitor yang dipasang pada sistem yang tidak ditanahkan ,tidak menghasilkan harmonisa. Faktor pengali 1.1 umumnya digunakan untuk pentanahan netral kapasitor bank dan 1.05 untuk netral kapasitor yang tidak ditanahkan. Apabila informasi tentang faktor pengali untuk faktor – faktor diatas tidak ada, biasanya menggunakan faktor pengali 1.2 dikalikan arus nominal kapasitor pada tegangan rata –rata untuk netral kapasitor yang tidak ditanahkan dan 1.35 dikalikan arus nominal untuk netral kapasitor yang ditanahkan.

3.2.3. Fuse Group

Ukuran maksimum untuk fuse group ditentukan oleh waktu peleburan short circuit kapasitor. Nilai fuse group ini ditentukan oleh arus normal dikapasitor dan arus harmonisa.

Adapun yang perlu diperhatikan dalam menggunakan pengaman fuse group adalah :

1. Fuse group lebih baik digunakan tidak lebih dari rating 85 ampere (pada 100% rating dasar)
2. Rangkaian akan aman dengan fuse group dengan rating pengaman gangguan sesuai dengan rating fuse group.
3. Untuk meminimalkan bahaya kerusakan mekanik, fuse group harus ditentukan dengan individual fuse.

Instalasi kapasitor bank dengan ukuran yang besar biasanya diamankan oleh pengaman fuse group atau breaker. Dimana arus fault yang terjadi besar, kegagalan dari satu unit akan merusak unit – unit kapasitor bank yang lain.

3.2.4. Fuse Tunggal

rating dari individual fuse tergantung dari rating arus normal dari kapasitor. Arus harmonik dan jumlah derasnya arus discharge yang melewati fuse membawa arus discharge dari kapasitor yang baik ke fuse tunggal.

Fuse tunggal biasanya digunakan untuk mengamankan unit kapasitor dari gangguan elektrik jika hanya satu fuse digunakan untuk setiap unit kapasitor, maka fuse ini tidak dapat diharapkan untuk mengamankan gangguan pentanahan didalam unit kapasitor. Untuk mengatasi masalah tersebut maka harus ditambahkan relay pendeteksi gangguan pentanahan.

3.2.5. Sistem Pengamanan Kapasitor Pararel terhadap Arus Sesaat

Salah satu fenomena yang timbul pada instalasi kapasitor bank adalah adanya arus sesaat (inrush) pada saat kapasitor ini dihubungkan ke sebuah sumber tegangan dan besar arus sesaat pada sistem instalasi kapasitor yang pararel relatif tinggi.

Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada kapasitor bank, sehingga sangat berpengaruh pada sistem tenaga listrik yang ada .

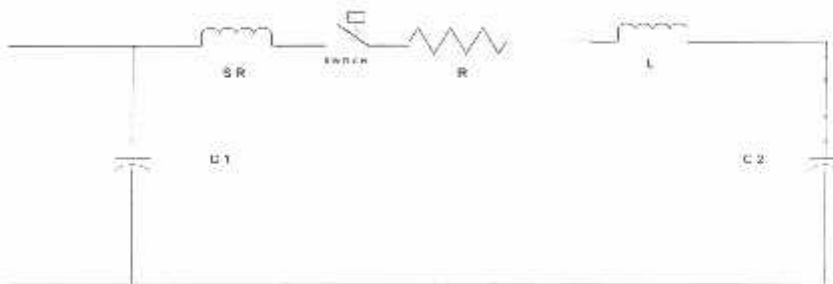
Adapun cara untuk membatasi atau meredam arus sesaat yaitu :

1. Menambah reaktor seri pada rangkaian kapasitor

2. Memberikan pemutus rangkaian

3.2.6. Pengaman Reaktor Seri

Bila sejumlah kapasitor penyimpanan dipakai secara paralel, maka diperlukan penggunaan reaktor seri untuk membatasi arus sesaat. Masalah penting yang harus diperiksa adalah bahwa kapasitor semacam ini harus mempunyai batas tegangan yang sama dengan reaktor seri.



Gambar 3 - 5

Kapasitor Dengan Reaktor Seri

(Sumber : Diktat Rangkaian Listrik 1, 1998)

Sebuah reaktor seri dinamakan juga dengan peredam lilitan dimana lilitan disini adalah lilitan induksi. Besarnya kapasitas rating suatu reaktor seri dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$Q_{3\text{phasa}} = 3 \times (I_{\text{dasar}})^2 \times X_L \cdot 1/1000 \quad (3.7)$$

Dimana :

Q = kapasitas reaktor (kVAR)

F = frekuensi sumber (Hz)

L = induktansi (Henry)

X_L = reaktansi (Ω)

V = tegangan (Volt)

I_{dasar} = arus dasar (A)

Makin besar nilai L makin kecil nilai I_{pk} / arus sesaat maksimum.

3.2.7. Pengaman Pemutus Rangkaian

Faktor – faktor yang mengatur desain pemutus rangkaian adalah :

1. Kecepatan pelepasan kontak
2. Kecepatan hilangnya partikel yang terionisasi antar kontak
3. Tegangan sisi tertinggi yang dapat ditahan oleh kontak
4. Tegangan induksi yang tinggi dibolehkan ditahan sistem bila dipakai untuk mengatur transformator.

Faktor terakhir ini sangat penting untuk desain pemutus rangkaian penggunaan umum dan tidak sesuai untuk mengatur kapasitor. Switching kapasitor menyebabkan terjadinya erosi pada kontak dengan cepat. Pada saat kontak lepas mereka meninggalkan energi buang yang cukup tinggi , faktor – faktor ini dapat menurunkan batas kemampuan pemutus.

Bila pemutus rangkaian memakai minyak mempunyai kontak tambahan , ini perlu diperhatikan. Beberapa pabrik pembuat pemutus rangkaian menggunakan tahanan diantara kontak – kontak utama dan tambahan sebagai ganti kapasitor. Dalam memilih pemutus rangkaian harus dilakukan secara hati – hati jangan menyebabkan tegangan lebih berlebihan pada saat penyambungan kembali

Untuk melepas dan menutup kapasitor penyimpan, disarankan penggunaan pemutus rangkaian yang tidak memukul kembali. Sangat penting untuk mendesain pemutus rangkaian yang mampu untuk menahan arus sesaat dan frekuensinya.

Pemutus rangkaian diperlukan sebagai alat pengaman tumpuk kapasitor dan besar kapasitas minimal harus sama dengan arus hubung singkat maksimum yang mungkin terjadi pada sekitar pangkal tumpuk kapasitor.

Besarnya arus tersebut dapat dihitung dengan persamaan :

$$I_{\text{nominal}} = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \times V} \quad (3.8)$$

Dimana :

Q_c = daya kapasitor (KVAR)

V = tegangan jaringan (KV)

TABEL 3 - 2**Peralatan Switching Kapasitor Bank**

Type peralatan switching	Faktor pengali rating kapasitor
Circuit breaker type magnetik	1,35
Molded-case circuit Breaker type magnetik	1,35 1,5
Kontaktor	1,5
Switch pengaman	1,65

(Sumber : ANSI Standart C37.06. 1987)

BAB IV

ANALISA PENDEKATAN PRAKTIS PENAMBAHAN REACTOR SERI, PADA KAPASITOR BANK UNTUK MEMBATASI DAMPAK ARUS TRANSIENT DI PT. BRANDT A VARCO COMPANY, BALIKPAPAN

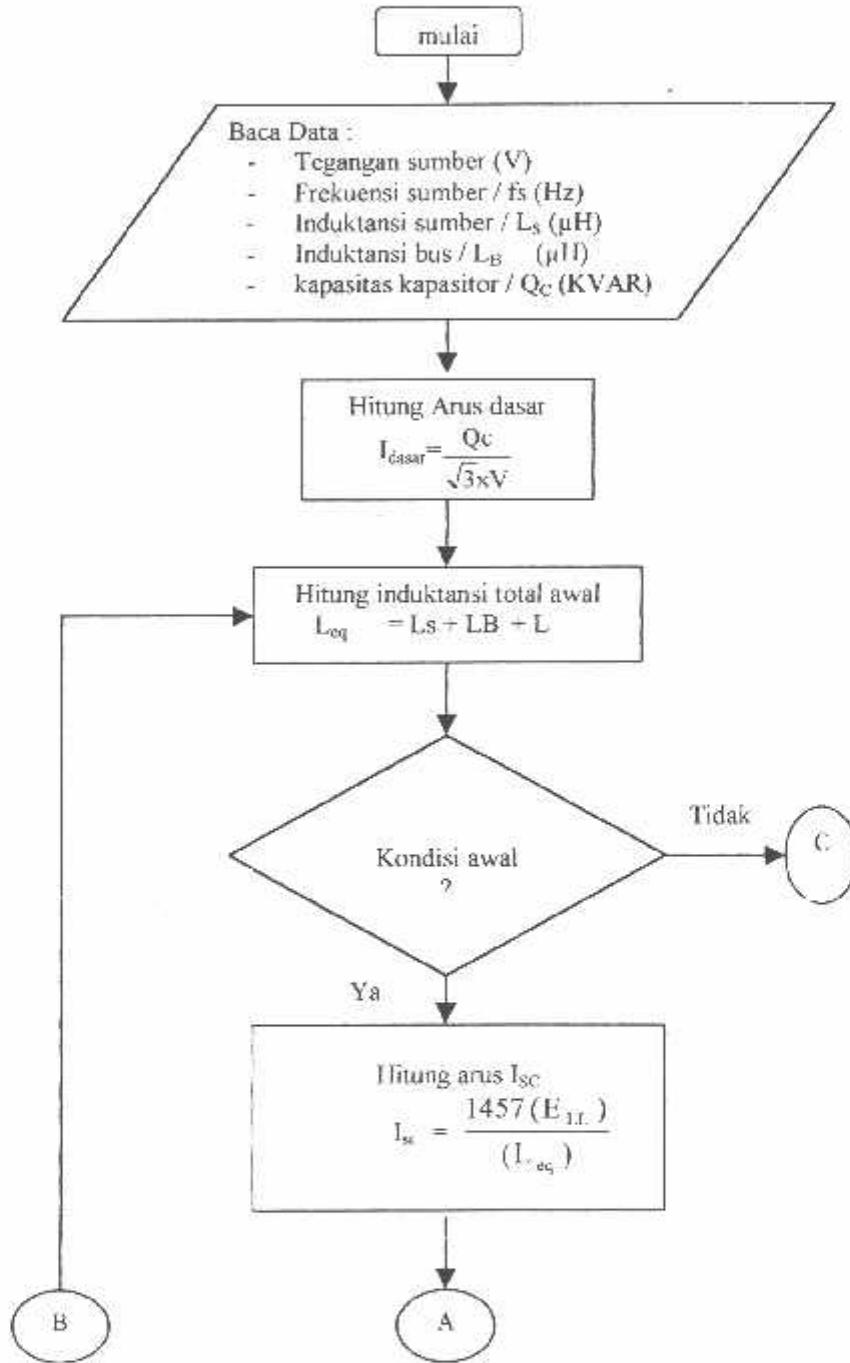
4.1. Data - data Sistem Tenaga Listrik

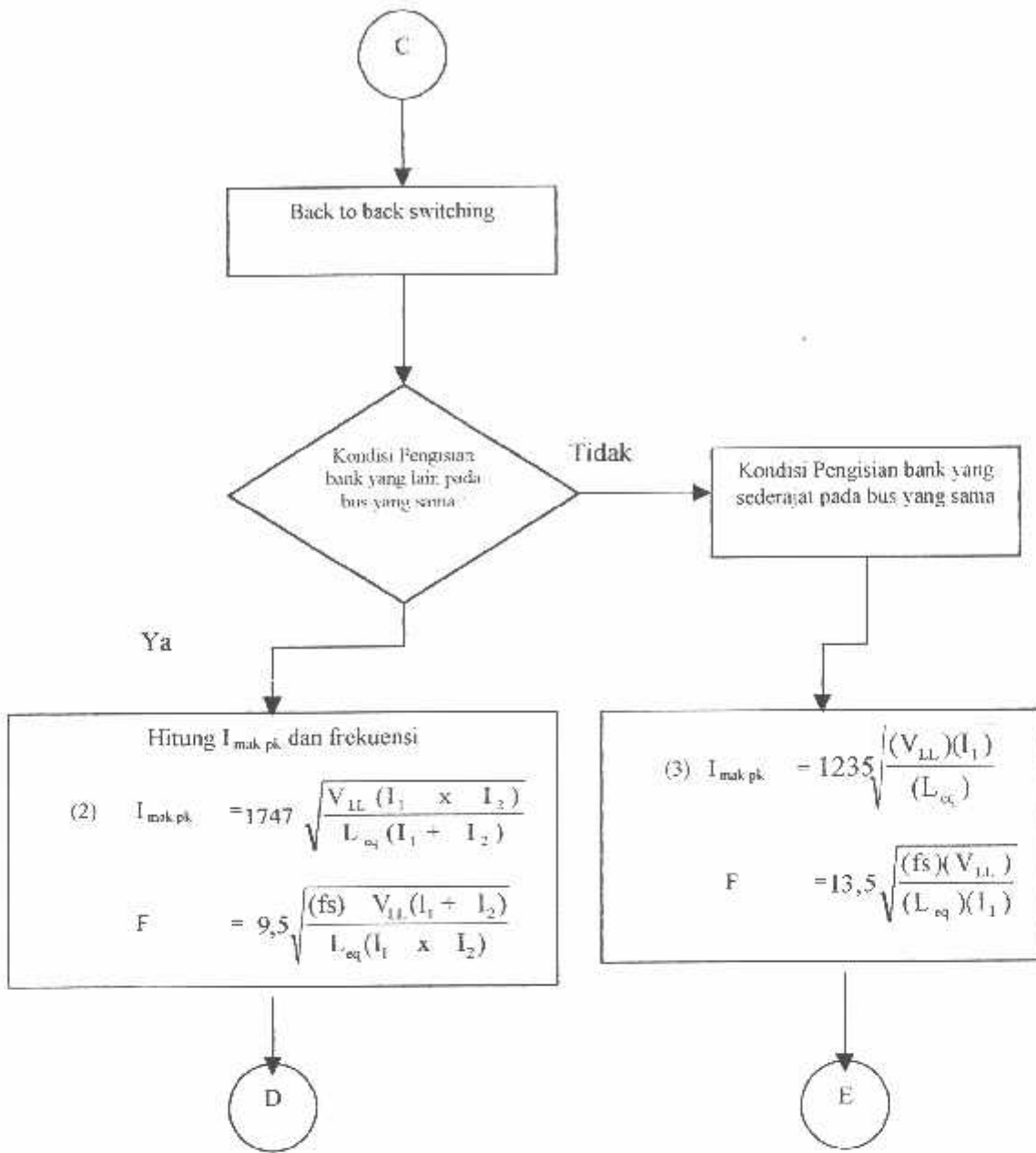
Data yang diperoleh :

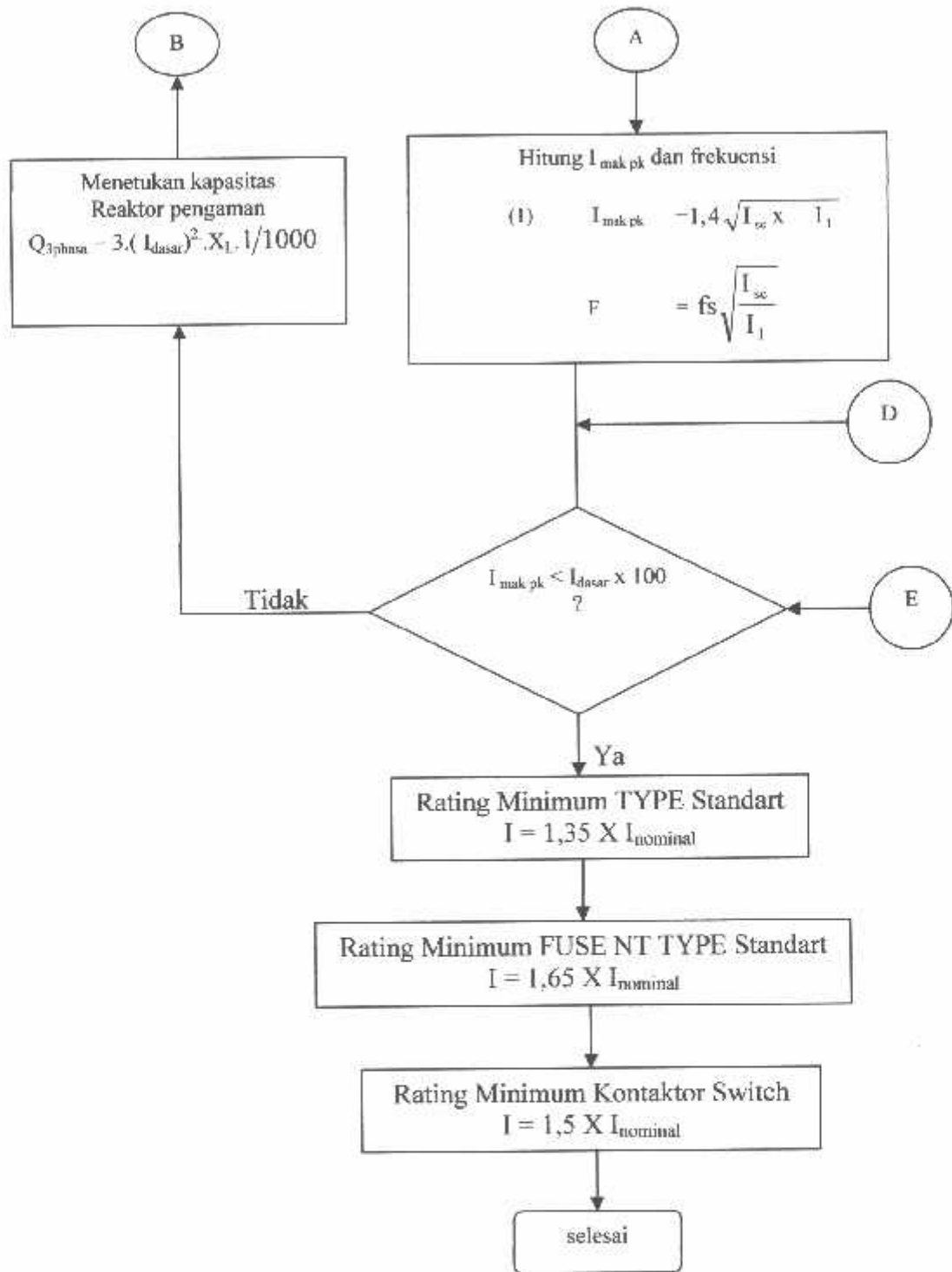
➤ Tegangan sumber	:	4 KV
➤ Frekuensi sumber	:	50 Hz
➤ Kapasitas total kapasitor	:	320 KVA
➤ Kapasitas tiap kapasitor	:	40 KVAR
➤ Jumlah tingkat / step	:	8 Step
➤ Induktansi sumber (L_s)	:	10.53 μ H
➤ Induktansi bus (L_{Bus})	:	1.40 μ H
➤ Jarak antara bus dengan sumber	:	15 M
➤ Panjang bus	:	2 M
➤ Jarak antar switch dengan susunan kapasitor	:	1 M
➤ Rating pengaman breaker (VCB)	:	1000 A / 1200 KA
➤ Rating pengaman fuse NT	:	100 A

4.2. Flow chart Penyelesaian Masalah

Untuk menentukan besar dari arus sesaat pada masing – masing kondisi dapat dilihat dari diagram alir berikut :







4.3. Perhitungan Arus Sesaat dan Frekuensi

4.3.1. Perhitungan Nilai Induktansi

Menghitung harga induktansi pada incoming line , bus dan antara kapasitor berdasarkan ANSI / IEEE C37.012.1979 sebagai berikut :

$$\begin{aligned} 1 \text{ ft} &= 0,3048 \text{ m} \\ 1 \text{ m} &= 1 / 0,3048 = 3,2808 \text{ ft} \\ L_s &= (r_s) \cdot (L_t) \\ &= (15) \cdot (3,2808) (0,214) \\ &= 10,53 \mu\text{H} \\ L_B &= (r_b) \cdot (L_t) \\ &= (2) \cdot (3,2808) (0,214) \\ &= 1,40 \mu\text{H} \\ L_{B1} &= (r_{b1}) (L_t) \\ &= 0,70 \mu\text{H} \\ L_1=L_2=\dots=L_{10} &= (r_l) (L_t) + (L_s) \\ &= (1,0625) (3,2808) (0,214) + (10,53) \\ &= 11,28 \mu\text{H} \end{aligned}$$

dimana :

- L_s = induktansi sumber
- L_B = induktansi bus
- L_t = induktansi (lihat tabel)
- r_s = jarak induktansi ke sumber
- r_b = jarak induktansi ke bus
- r_l = jarak induktansi antar CB ke kapasitor

4.3.2. Menghitung Arus Sesaat dan Frekuensi sebelum penambahan nilai Induktansi pada Kapasitor Pararel.

Besar kapasitor tiap step adalah 40 KVAR maka I_{dasar} dari kapasitor adalah

$$I_{\text{dasar}} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 4} = 5,78 \text{ A}$$

1. Kondisi kesatu (isolated), hanya kapasitor C1 yang bekerja

$$L_{\text{eq } 1} = L_s + L_{B1} + L_1$$

$$= 10,53 + 0,70 + 11,28 = 22,51 \mu\text{H}$$

$$I_{\text{sc}} = \frac{E_{\text{t.t.}}}{\sqrt{3} \sqrt{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\text{eq}}}} = \frac{4}{\sqrt{3} \sqrt{12227,88}} = 0,02091 \text{ KA}$$

$$= 20,91 \text{ A}$$

$$I_{11} = I_{\text{dasar}} \times 1,05 \times 1,1 \times 1,1 = 7,34 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{mak pk}} &= 1,4 \sqrt{I_{\text{sc}} \times I_{11}} \\ &= 1,4 \sqrt{20,91 \times 7,34} \\ &= 17,34 \text{ A}_{\text{peak}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= f_s \sqrt{\frac{I_{\text{sc}}}{I_1}} \\ &= 50 \sqrt{\frac{20,91}{7,34}} \\ &= 85 \text{ Hz} \end{aligned}$$

2. Kondisi kedua (back to back), kapasitor C2 bekerja sementara C1

juga bekerja :

$$L_{\text{eq}} = L_{B1} + L_1 + L_2$$

$$= 0,70 + 11,28 + 11,28$$

$$= 23,26 \mu\text{H}$$

$$I_{11} = I_{12} = 7,34 \text{ A}$$

$$I_{\text{mak pk}} = 1747 \sqrt{\frac{V_{LL} (I_{1,1} \times I_{1,2})}{L_{\text{eq}}(I_{1,1} + I_{1,2})}}$$

$$= 1747 \sqrt{\frac{(4)(7,34 \times 7,34)}{23,26(7,34 + 7,34)}}$$

$$= 1387,87 \text{ A}_{\text{peak}}$$

$$F = 9,5 \sqrt{\frac{(fs)(V_{LL})(I_{1,1} + I_{1,2})}{L_{\text{eq}}(I_{1,1} \times I_{1,2})}}$$

$$= 9,5 \sqrt{\frac{(50)(4)(7,34 + 7,34)}{23,26(7,34 \times 7,34)}}$$

$$= 14,54 \text{ KHz}$$

3. Kondisi ketiga (back to back) , kapasitor C3 bekerja sementara C2

dan C1 juga bekerja ;

$$L_{\text{eq}} = L_{B1} + L_{B2} + (L_{1-2})/2 + L_3$$

$$= 0,70 + 0,17 + (11,28) / 2 + 11,28 = 17,79 \mu\text{H}$$

$$I_1 = I_{11} + I_{12} = 14,68 \text{ A}$$

$$I_{\text{mak pk}} = 1235 \sqrt{\frac{(V_{LL})(I_1)}{(L_{\text{eq}})}}$$

$$= 1235 \sqrt{\frac{(4)(14,68)}{17,79}}$$

$$= 2243,74 \text{ A}_{\text{peak}}$$

$$\begin{aligned}
 F &= 13,5 \sqrt{\frac{(fs)(V_{LL})}{(Leq)(I_1)}} \\
 &= 13,5 \sqrt{\frac{(50)(4)}{17,79(14,68)}} \\
 &= 11,81 \text{ KHz}
 \end{aligned}$$

4. Kondisi keempat (back to back) , kapasitor C4 bekerja sementara C3, C2, C1 juga bekerja :

$$\begin{aligned}
 Leq &= L_{B1} + L_{B2} + (L_{1-2})/2 + (L_{3-4})/2 \\
 &= 0,70 + 0,17 + (11,28)/2 + (11,28)/2 \\
 &= 12,15 \mu H
 \end{aligned}$$

$$I_1 = I_2 = 14,68 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{mak pk}} &= 1747 \sqrt{\frac{V_{LL} (I_1 \times I_2)}{Leq(I_1 + I_2)}} \\
 &= 1747 \sqrt{\frac{(4)(14,68 \times 14,68)}{12,15(14,68 + 14,68)}} \\
 &= 2715,71 \text{ A}_{\text{peak}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F &= 9,5 \sqrt{\frac{(fs) V_{LL} (I_1 + I_2)}{Leq(I_1 \times I_2)}} \\
 &= 9,5 \sqrt{\frac{(50)(4)(14,68 + 14,68)}{12,15(14,68 \times 14,68)}} \\
 &= 14,23 \text{ KHz}
 \end{aligned}$$

5. Kondisi kelima (back to back) , kapasitor C5 bekerja sementara C4, C3, C2, C1 juga bekerja :

$$Leq = L_{B1} + L_{B2} + L_3 + (L_{1-2})/2 + (L_{3-4})/2 + L_5$$

$$= 0,70 + 0,17 + (11,28)/2 + (11,28)/2 + 11,28$$

$$= 23,6 \mu\text{H}$$

$$I_1 = I_2 = 14,68 \text{ A}$$

$$I_{\text{mak pk}} = 1235 \sqrt{\frac{(V_{LL})(I_1 + I_2)}{(\text{Leq})}}$$

$$= 1235 \sqrt{\frac{(4)(14,68 + 14,68)}{23,6}}$$

$$= 2754,98 \text{ A}_{\text{peak}}$$

$$F = 13,5 \sqrt{\frac{(fs)(V_{LL})}{(\text{Leq})(I_1 + I_2)}}$$

$$= 13,5 \sqrt{\frac{(50)(4)}{17,79(14,68 + 14,68)}}$$

$$= 8,35 \text{ KHz}$$

6. Kondisi keenam (back to back) , kapasitor C6 bekerja sementara

C5,C4,C3,C2, C1 juga bekerja :

$$\text{Leq} = L_{B1} + L_{B2} + L_1 + (L_{1-2})/2 + (L_{3-4})/2 + (L_{5-6})/2$$

$$= 0,70 + 0,17 + (11,28)/2 + (11,28)/2 + (11,28)/2$$

$$= 17,96 \mu\text{H}$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = 14,68 \text{ A}$$

$$I_{\text{mak pk}} = 1747 \sqrt{\frac{V_{LL}(I_1)(I_2 + I_3)}{\text{Leq}(I_1 + I_2 + I_3)}}$$

$$= 1747 \sqrt{\frac{(4)(14,68)(14,68 + 14,68)}{17,96(14,68 + 14,68 + 14,68)}}$$

$$= 2579,21 \text{ A}_{\text{peak}}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,70 + 0,17 + (11,28)/2 + (11,28)/2 + (11,28)/2 + \\
&\quad (11,28)/2 \\
&= 23,77 \mu\text{H}
\end{aligned}$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 14,68 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{max pk}} &= 1747 \sqrt{\frac{V_{LL} (I_1)(I_2 + I_3 + I_4)}{\text{Leq}(I_1 + I_2 + I_3 + I_4)}} \\
&= 1747 \sqrt{\frac{(4)(14,68) (14,68 + 14,68 + 14,68)}{23,77(14,68 + 14,68 + 14,68 + 14,68)}} \\
&= 2377,94 \text{ A}_{\text{peak}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f &= 9,5 \sqrt{\frac{(\text{fs}) V_{LL} (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)}{\text{Leq}(I_1)(I_2 + I_3 + I_4)}} \\
&= 9,5 \sqrt{\frac{(50)(4)(14,68 + 14,68 + 14,68 + 14,68)}{23,77(14,68) (14,68 + 14,68 + 14,68)}} \\
&= 8,30 \text{ KHz}
\end{aligned}$$

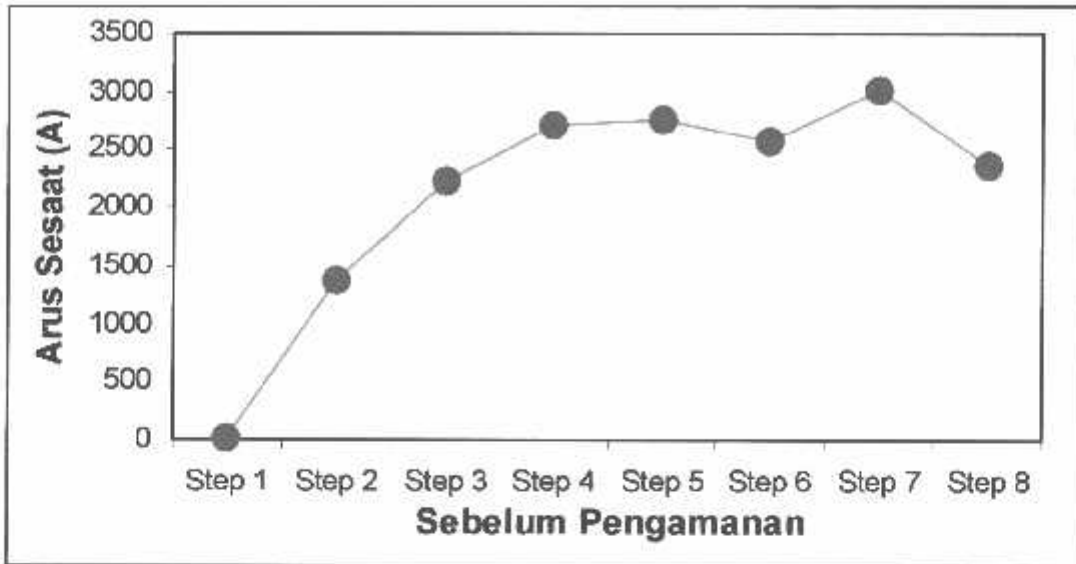
Sehingga hasil perhitungan besarnya arus sesaat (inrush) dan frekuensinya yang terjadi pada saat sebelum pengamanan adalah seperti pada tabel 4.2:

Tabel 4 - 1**Kondisi Kapasitor Pada Saat Switching**

Kondisi (Step)	Kapasitor Bank yang Bekerja	Nilai (C) kVAR	Arus Rangkaian (A)
1	C ₁	40	7,34
2	C ₁ , C ₂	80	14,68
3	C ₁ , C ₂ , C ₃	120	22,02
4	C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄	160	29,36
5	C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄ , C ₅	200	36,7
6	C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄ , C ₅ , C ₆	240	44,04
7	C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄ , C ₅ , C ₆ , C ₇	280	51,38
8	C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄ , C ₅ , C ₆ , C ₇ , C ₈	320	58,72

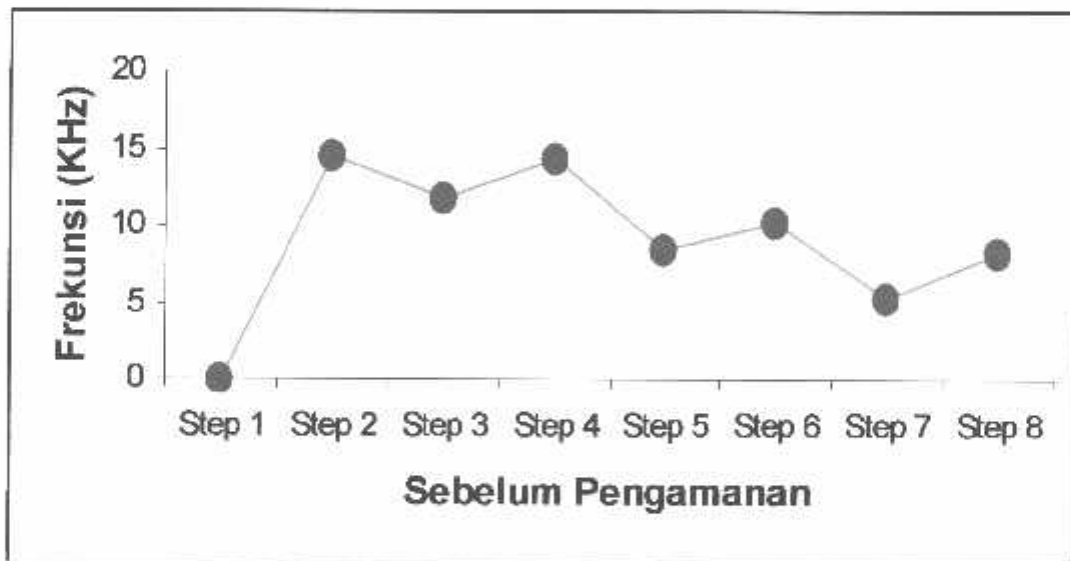
Tabel 4 - 2**Hasil Perhitungan Sebelum Peredaman**

Kondisi	$I_{dissip} \times 100$ (A)	L_{eq} (μ H)	$I_{mak\ pt}$ (A)	$F_{mak\ pt}$ (kHz)
1	578	22,51	17,34	0,085
2	578	23,26	1387,87	14,54
3	578	17,79	2243,74	11,81
4	578	12,15	2715,71	14,23
5	578	23,6	2754,98	8,35
6	578	17,96	2579,21	10,13
7	578	29,41	3022,55	5,30
8	578	23,77	2377,94	8,30



Gambar 4 - 1

Grafik Arus Sesaat Sebelum Pengamanan



Gambar 4 - 2

Grafik Frekuensi Sebelum Pengamanan

- Menentukan Impedansi dasar

$$\begin{aligned} Z_{\text{dasar}} &= \frac{V_{\text{dasar}}}{I_{\text{dasar}}} \\ &= \frac{4000/\sqrt{3}}{5,78} = 400 \Omega \end{aligned}$$

- Menentukan reaktansi induktif

$$\begin{aligned} X_L &= 6\% \times Z_{\text{dasar}} \\ &= 0,06 \times 400 \\ &= 24 \Omega \end{aligned}$$

- Menentukan nilai induktansi reaktor seri

$$\begin{aligned} L_s &= \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} \\ &= \frac{24}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} \\ &= 0,076433121 \text{ H} = 76433,12 \mu\text{H} \end{aligned}$$

- Menentukan kapasitas reaktor seri dalam kVAR

$$\begin{aligned} Q_{3 \text{ phasa}} &= 3 \cdot (I_{\text{rangkai}})^2 \cdot X_L \cdot \frac{1}{1000} \\ &= 3 \cdot (7,34)^2 \cdot 24 \cdot \frac{1}{1000} \\ &= 3,88 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

sehingga didapat

- Kapasitas reaktor seri dalam kVAR = 3,88 kVAR

- Nilai induktansi = 76433,12 μH

Dengan demikian pada masing – masing rangkaian kapasitor terdapat tambahan reaktor seri sebesar 76433,12 μ H dan hal ini tentu saja akan menambah nilai induktansi total pada kapasitor tersebut.

4.4.2. Kapasitas Pengaman dengan Pemutus Rangkaian

Diketahui :

- Tegangan antar saluran : 4 KV
- Kapasitas total kapasitor : 320 KVAR

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot V} \\ &= \frac{320}{\sqrt{3} \cdot 4} \\ &= 46,17 \text{ A} \end{aligned}$$

Untuk menentukan rating minimum dari pengaman pemutus rangkaian (CB) rating fuse NT dan rating minimum dari pengaman kontaktor switch mengacu pada standart IEEE 141-1993, tentang pengaman kapasitor bank.

a. Rating minimum pemutus rangkaian type standart :

$$\begin{aligned} I &= 1,35 \times I_{\text{nominal}} \\ &= 1,35 \times 46,17 \\ &= 62,33 \text{ A} \end{aligned}$$

b. Rating minimum fuse NT type standart

$$I = 1,65 \times I_{\text{nominal}}$$

$$= 1,65 \times 46,17$$

$$= 76,18 \text{ A}$$

c. Rating minimum kontaktor switch

$$I = 1,5 \times I_{\text{nominal}}$$

$$= 1,5 \times 46,17$$

$$= 69,25 \text{ A}$$

4.5. PERHITUNGAN ARUS INRUSH DAN FREKUENSI SETELAH PENAMBAHAN NILAI INDUKTANSI

Diketahui data – data perhitungan sama seperti bagian 4.2 dengan tambahan data berupa tambahan induktansi total masing – masing step adalah

Tabel 4 - 4
Nilai Induktansi Setelah Penambahan Reaktor Seri
Pada Masing – Masing Step

No Step	Nilai Induktansi Sebelum Penambahan (μH)	Nilai Induktansi Sesudah Penambahan (μH)
1	22,51	22,51
2	23,26	76456,38
3	17,79	76450,91
4	12,15	76445,27
5	23,6	76456,72
6	17,96	76451,08
7	29,41	76462 ,53
8	23,77	76456,89

4.5.1. Menghitung Arus Inrush dan Frekuensi setelah penambahan nilai Induktansi pada Kapasitor Bank.

Penambahan nilai induktansi antara susunan kapasitor berdasarkan JIS-C-4092 yaitu dengan kapasitas reaktor seri sebesar 6% dari kapasitas dasar kapasitor yang dipasang, maka :

$$I_{\text{dasar}} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 4} = 5,78 \text{ A}$$

1. Kondisi kesatu (isolated), hanya kapasitor C1 yang bekerja

$$\begin{aligned} L_{\text{eq } 1} &= L_S + L_{B1} + L_1 \\ &= 10,53 + 0,70 + 11,28 = 22,51 \mu\text{H} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{sc}} &= \frac{E_{\text{LL}}}{\sqrt{3} \sqrt{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\text{eq}}}} = \frac{4}{\sqrt{3} \sqrt{12227,88}} = 0,02091 \text{ KA} \\ &= 20,91 \text{ A} \end{aligned}$$

$$I_{11} = I_{\text{dasar}} \times 1,05 \times 1,1 \times 1,1 = 7,34 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{mak pk}} &= 1,4 \sqrt{I_{\text{sc}} \times I_{11}} \\ &= 1,4 \sqrt{20,91 \times 7,34} \\ &= 17,34 \text{ A}_{\text{peak}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= f_s \sqrt{\frac{I_{\text{sc}}}{I_1}} \\ &= 50 \sqrt{\frac{20,91}{7,34}} \\ &= 85 \text{ Hz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{3 \text{ phasa}} &= 3 \cdot (I_{\text{rangkain}})^2 \cdot X_L \cdot \frac{1}{1000} \\
 &= 3 \cdot (7,34)^2 \cdot 24 \cdot \frac{1}{1000} \\
 &= 3,88 \text{ KVAR}
 \end{aligned}$$

2. Kondisi kedua (back to back), kapasitor C2 bekerja sementara C1 juga bekerja :

$$\begin{aligned}
 L_{eq} &= L_{D1} + L_1 + L_2 + L_{SR} \\
 &= 0,70 + 11,28 + 11,28 + 76433,12 \\
 &= 76456,38 \mu\text{H}
 \end{aligned}$$

$$I_{11} = I_{12} = 7,34 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{mak pk}} &= 1747 \sqrt{\frac{V_{LL} (I_{11} \times I_{12})}{L_{eq}(I_{11} + I_{12})}} \\
 &= 1747 \sqrt{\frac{(4)(7,34 \times 7,34)}{76456,38(7,34 + 7,34)}} \\
 &= 24,21 \text{ A}_{\text{peak}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{\text{mak pk}} &= 9,5 \sqrt{\frac{(fs)(V_{LL})(I_{11} + I_{12})}{L_{eq}(I_{11} \times I_{12})}} \\
 &= 9,5 \sqrt{\frac{(50)(4)(7,34 + 7,34)}{76456,38(7,34 \times 7,34)}} \\
 &= 0,25 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{3 \text{ phasa}} &= 3 \cdot (I_{\text{rangkain}})^2 \cdot X_L \cdot \frac{1}{1000} \\
 &= 3 \cdot (7,34 + 7,34)^2 \cdot 24 \cdot \frac{1}{1000} \\
 &= 15,52 \text{ KVAR}
 \end{aligned}$$

3. Kondisi ketiga (back to back) , kapasitor C3 bekerja sementara C2 dan C1 juga bekerja :

$$\begin{aligned} L_{eq} &= L_{B1} + L_{B2} + (L_{1-2})/2 + L_3 + L_{SR} \\ &= 0,70 + 0,17 + (11,28)/2 + 11,28 + 76433,12 \\ &= 76450,91 \mu\text{H} \end{aligned}$$

$$I_l = I_{l1} + I_{l2} = 14,68 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{mak pk}} &= 1235 \sqrt{\frac{(V_{LL})(I_l)}{(L_{eq})}} \\ &= 1235 \sqrt{\frac{(4)(14,68)}{76450,91}} \\ &= 34,23 \text{ A}_{\text{peak}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{mak pk}} &= 13,5 \sqrt{\frac{(fs)(V_{LL})}{(L_{eq})(I_l)}} \\ &= 13,5 \sqrt{\frac{(50)(4)}{76450,91(14,68)}} \\ &= 0,18 \text{ kHz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{phasa}} &= 3 \cdot (I_{\text{rangkaiannya}})^2 \cdot X_L \cdot \frac{1}{1000} \\ &= 3 \cdot (14,68 + 7,34)^2 \cdot 24 \cdot \frac{1}{1000} \\ &= 34,92 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

4. Kondisi keempat(back to back) , kapasitor C4bekerja sementara C3,C2, C1 juga bekerja :

$$\begin{aligned} L_{eq} &= L_{B1} + L_{B2} + (L_{1-2})/2 + (L_{3-4})/2 + L_{SR} \\ &= 0,70 + 0,17 + (11,28)/2 + (11,28)/2 + 76433,12 \end{aligned}$$

$$= 76445,27 \mu\text{H}$$

$$I_1 = I_2 = 14,68 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{mak pk}} &= 1747 \sqrt{\frac{V_{\text{LL}} (I_1 \times I_2)}{\text{Leq}(I_1 + I_2)}} \\ &= 1747 \sqrt{\frac{(4)(14,68 \times 14,68)}{76445,27(14,68 + 14,68)}} \\ &= 34,24 \text{ A}_{\text{peak}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{mak pk}} &= 9,5 \sqrt{\frac{(fs) V_{\text{LL}} (I_1 + I_2)}{\text{Leq}(I_1 \times I_2)}} \\ &= 9,5 \sqrt{\frac{(50)(4)(14,68 + 14,68)}{76445,27(14,68 \times 14,68)}} \\ &= 0,18 \text{ KHz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_3 \text{ phasa} &= 3. (I_{\text{rangkaiian}})^2 \cdot X_L \cdot \frac{1}{1000} \\ &= 3. (14,68 + 14,68)^2 \cdot 24 \cdot \frac{1}{1000} \\ &= 62,06 \text{ KVAR} \end{aligned}$$

5. Kondisi kelima (back to back) , kapasitor C5 bekerja sementara C4,C3,C2, C1 juga bkerja :

$$\begin{aligned} \text{Leq} &= L_{B1} + L_{B2} + L_3 + (L_{1,2})/2 + (L_{3,4})/2 + L_5 + L_{SR} \\ &= 0,70 + 0,17 + (11,28)/2 + (11,28)/2 + 11,28 + \\ &\quad 76433,12 \\ &= 76456,72 \mu\text{H} \end{aligned}$$

$$I_1 = I_2 = 14,68 \text{ A}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{mak pk}} &= 1235 \sqrt{\frac{(V_{LL})(I_1 + I_2)}{(L_{eq})}} \\
 &= 1235 \sqrt{\frac{(4)(14,68 + 14,68)}{76456,72}} \\
 &= 48,4 \text{ A}_{\text{peak}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{\text{mak pk}} &= 13,5 \sqrt{\frac{(fs)(V_{LL})}{(L_{eq})(I_1 + I_2)}} \\
 &= 13,5 \sqrt{\frac{(50)(4)}{76456,72(14,68 + 14,68)}} \\
 &= 0,13 \text{ KHz}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_3 \text{ phasa} &= 3 \cdot (I_{\text{rangkuan}})^2 \cdot X_L \cdot \frac{1}{1000} \\
 &= 3 \cdot (14,68 + 14,68 + 7,34)^2 \cdot 24 \cdot \frac{1}{1000} \\
 &= 96,98 \text{ KVAR}
 \end{aligned}$$

6. Kondisi keenam (back to back) , kapasitor C6 bekerja sementara C5,C4,C3,C2, C1 juga bekerja :

$$\begin{aligned}
 L_{eq} &= L_{B1} + L_{B2} + L_3 + (L_{1-2})/2 + (L_{3-4})/2 + (L_{5-6})/2 + L_{SR} \\
 &= 0,70 + 0,17 + (11,28)/2 + (11,28)/2 + (11,28)/2 + \\
 &76433,12 \\
 &= 76451,08 \mu\text{H}
 \end{aligned}$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = 14,68 \text{ A}$$

$$I_{\text{mak pk}} = 1747 \sqrt{\frac{V_{LL}(I_1)(I_2 + I_3)}{L_{eq}(I_1 + I_2 + I_3)}}$$

$$= 1747 \sqrt{\frac{(4)(14,68) (14,68 + 14,68)}{76451,08(14,68 + 14,68 + 14,68)}}$$

$$= 37,48 A_{\text{peak}}$$

$$F_{\text{mak pk}} = 9,5 \sqrt{\frac{(fs) V_{LL} (I_1 + I_2 + I_3)}{L_{eq}(I_1)(I_2 + I_3)}}$$

$$= 9,5 \sqrt{\frac{(50)(4)(14,68 + 14,68 + 14,68)}{76451,08(14,68) (14,68 + 14,68)}}$$

$$= 0,15 \text{ kHz}$$

$$Q_{3 \text{ phasa}} = 3 \cdot (I_{\text{rangkaian}})^2 \cdot X_L \cdot \frac{1}{1000}$$

$$= 3 \cdot (14,68 + 14,68 + 14,68)^2 \cdot 24 \cdot \frac{1}{1000}$$

$$= 139,68 \text{ KVAR}$$

7. Kondisi ketujuh (back to back) , kapasitor C7 bekerja sementara C7,C5,C4,C3,C2, C1 juga bekerja

$$\begin{aligned} L_{eq} &= L_{B1} + L_{B2} + I_3 + (L_{1-2})/2 + (L_{3-4})/2 + (L_{5-6})/2 + I_7 + L_{SR} \\ &= 0,70 + 0,17 + (11,28)/2 + (11,28)/2 + (11,28)/2 + 11,28 + \\ & \quad 76433,12 \end{aligned}$$

$$= 76462,53 \mu\text{H}$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = 14,68 \text{ A}$$

$$I_{\text{mak pk}} = 1235 \sqrt{\frac{(V_{LL})(I_1 + I_2 + I_3)}{(L_{eq})}}$$

$$= 1235 \sqrt{\frac{(4)(14,68 + 14,68 + 14,68)}{76462,53}}$$

$$= 59,27 A_{\text{peak}}$$

$$= 9,5 \sqrt{\frac{(50)(4)(14,68 + 14,68 + 14,68 + 14,68)}{76456,89(14,68) (14,68 + 14,68 + 14,68)}}$$

$$= 0,15 \text{ kHz}$$

$$Q_{3 \text{ phasa}} = 3 \cdot (I_{\text{rangkaian}})^2 \cdot X_L \cdot \frac{1}{1000}$$

$$= 3 \cdot (14,68 + 14,68 + 14,68 + 14,68)^2 \cdot 24 \cdot \frac{1}{1000}$$

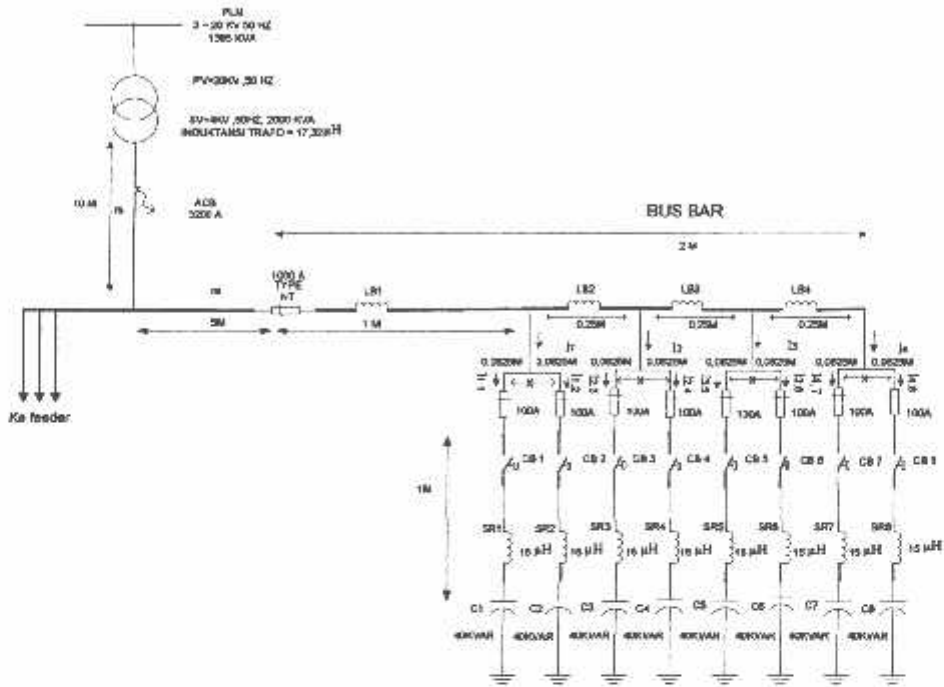
$$= 248,26 \text{ KVAR}$$

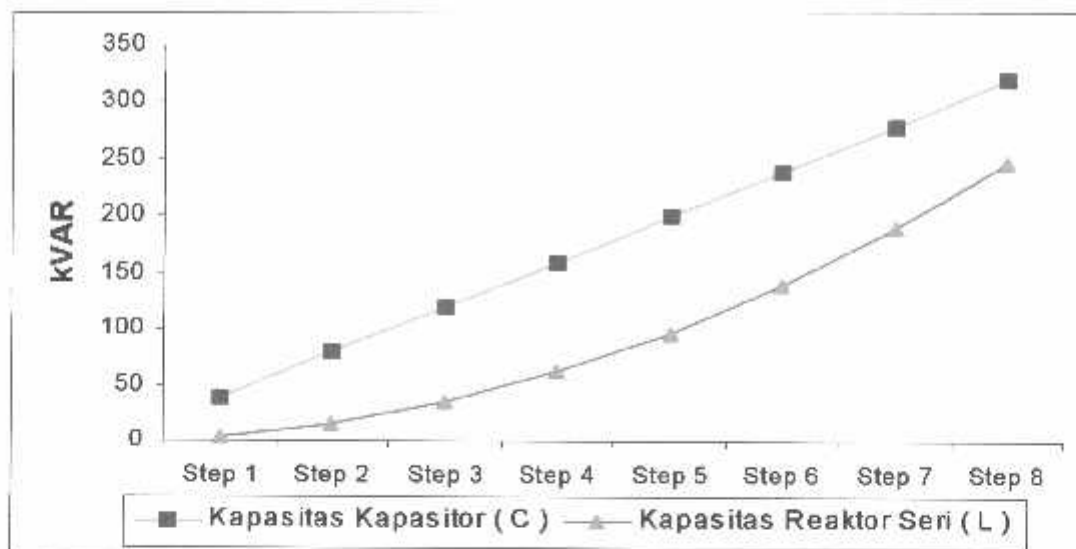
Dari hasil perhitungan diatas diketahui bahwa nilai arus inrush setelah penambahan induktansi mengalami penurunan sehingga nilainya dibawah dari nilai arus inrush maksimum yang diijikan oleh publikasi IEC 70, 1987. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4 - 5
Hasil Perhitungan Sesudah Peredaman

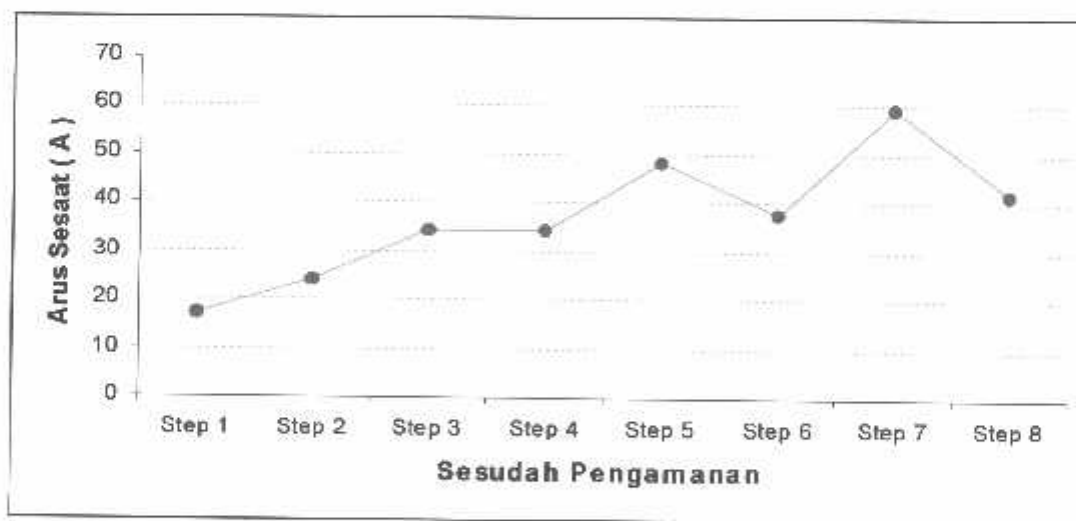
Kondisi (Step)	$I_{\text{dmax}} \times 100$ (A)	$L_{\text{eq}} + \text{SR}$ (μH)	$I_{\text{maks pt}}$ (A)	$F_{\text{maks pt}}$ (kHz)	$L_{\text{eq}} + \text{SR}$ (kVAR)
1	578	22,51	17,34	0,085	3,88
2	578	76456,38	24,21	0,25	15,52
3	578	76450,91	34,23	0,18	34,92
4	578	76445,27	34,24	0,18	62,06
5	578	76456,72	48,4	0,13	96,98
6	578	76451,08	37,48	0,15	139,68
7	578	76462,53	59,27	0,10	190,08
8	578	76456,89	41,93	0,15	248,26

GAMBAR 4 – 2
DIAGRAM SEGARIS KAPASITOR BANK
SESUDAH DIBERI PEREDAM REACTOR SERI

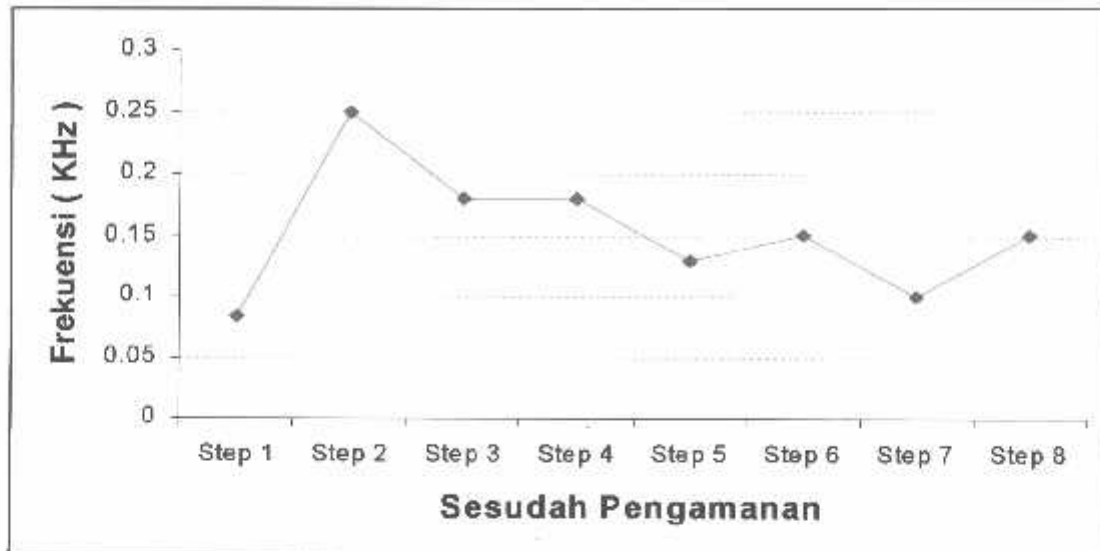




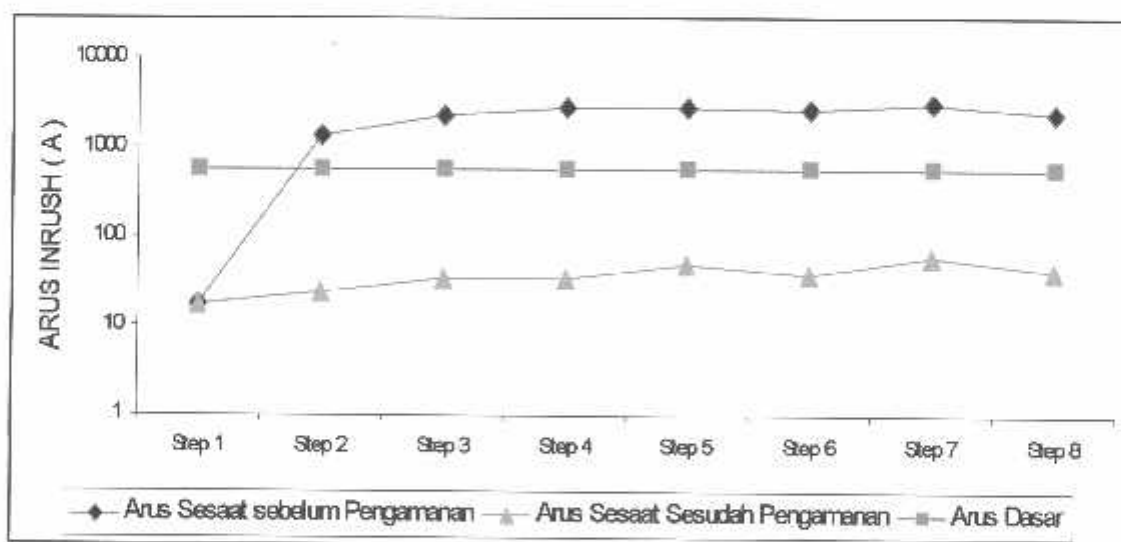
Gambar 4 - 3
Grafik Persamaan Kvar (C) Dan Kvar (L)
Pada Saat Pengamanan



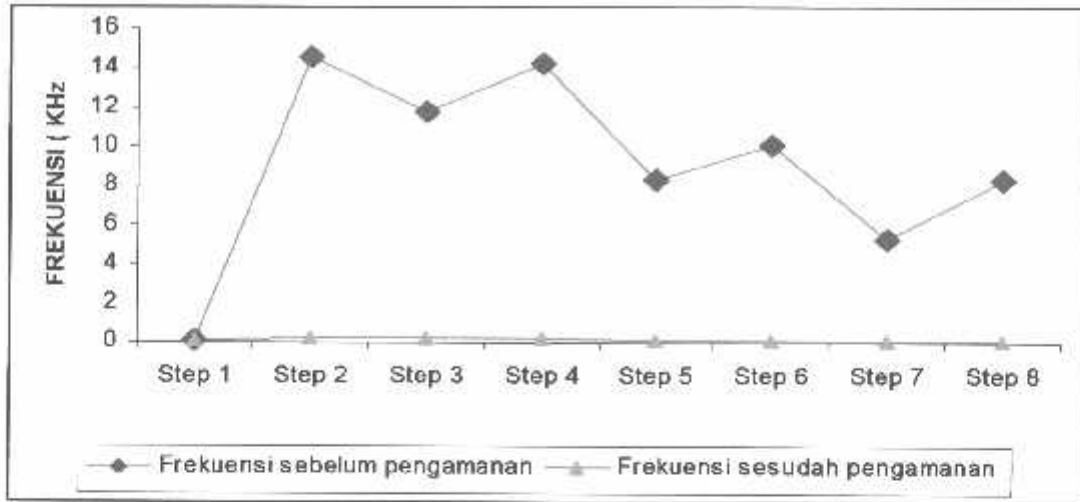
Gambar 4 - 4
Grafik Arus Sesaat Sesudah Pengamanan



Gambar 4 - 5
Grafik Frekuensi Sesudah Pengamanan



Gambar 4 - 6
Grafik Arus Inrush Sebelum Dan Sesudah Pengamanan
Pada Kondisi Beban Puncak



Gambar 4 - 7
Grafik Frekuensi Sebelum Dan Sesudah Pengamanan
Pada Kondisi Beban Puncak

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Dengan adanya kenaikan arus sesaat yang sangat besar, maka sangat perlu diberikan peredam untuk membatasi arus sesaat yang timbul. Dengan penambahan reaktor seri atau peredam lilitan sebesar 6% (IEC 70,1987) dari kapasitas kapasitor pada instalasi kapasitor paralel ternyata mampu meredam atau memperkecil arus sesaat .
 - Arus sesaat sebelum peredaman sebesar: 17,34 A; 1387,87 A; 2243,74A; 2715,71A; 2754,98 A; 2579,21 A; 3022,55 A; 2377,94 A.
 - Arus sesaat setelah peredaman: 17,34 A; 24,21 A; 34,23 A; 34,24 A; 48,4 A; 37,48 A; 59,27 A; 41,93 A.Sehingga nilainya berada jauh dibawah nilai yang diijinkan oleh publikasi IEC 70,1987.
2. Dengan pemasangan reaktor seri sebesar 76433,12 μ H akan mengurangi kapasitas perbaikan faktor daya sebesar 3,88 kVAR
3. Besarnya kapasitas rating pengaman yang terdiri dari pemutus rangkaian, fuse NT, kontaktor switch untuk masing – masing step adalah : 62,33 A ; 76,18 A ; 69,25 A

5.2. Saran

Dalam penelitian selanjutnya diharapkan peneliti dapat memperluas area penelitian sehingga didapatkan masukan–masukan yang baru dari hasil penelitian, sehingga ilmu yang didapatkan juga bertambah.

Daftar Pustaka

- ❖ Larry M. Smith, 1995, "A Practical Approach in Substation Capacitor Bank Applications to Calculating, Limiting and Reducing the effects of Transient Current", IEEE, vol.31, No 4 juli / August 1995.
 - ❖ ANSI / IEEE C37.012 – 1979. IEEE Application Guide for Capacitance Current Switching for AC High – Voltage Circuit Breaker Rated on Symmetrical Current Basis.
 - ❖ ABB Power Transmission Capacitors Division, Three phasa High Voltage Capacitor unit.
 - ❖ PT Schneider Ometraco, Katalog Harga 1997.
 - ❖ Data – data Teknik PT. BRANDT A VARCO COMPANY, BALIKPAPAN
 - ❖ Diktat Rangkaian Listrik 1, 1998
-



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**


1. Nama : BUDI SETIAWAN
2. NIM : 97.12.087
3. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
4. Konsentrasi : ENERGI LISTRIK
5. Judul Skripsi : ANALISA PENDEKATAN PRAKTIS
PENAMBAHAN REACTOR SERI,
PADA KAPASITOR BANK UNTUK
MEMBATASI DAMPAK ARUS
TRANSIENT, DI PT. BRANDT A
VARCO COMPANY, BALIKPAPAN

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Rabu
Tanggal : 22 Maret 2006
Dengan Nilai : 77.65 (B+) *500*

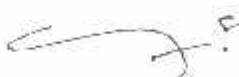



Panitia Ujian Skripsi


(Ir. Mochtar Asroni, MSME)
Ketua


(Ir. F. Yudi Limpraptono, MT)
Sekretaris

Dosen Penguji


(Ir. Choirul Saleh, MT)
Penguji Pertama


(Ir. Eko Nurcahyo)
Penguji Kedua



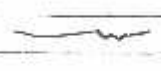
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentrasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : R.P.S
NIM : 9712087
Perbaikan meliputi

- Tambahkan teori untuk konsep dan arus transient.

-  per flow chart untuk penentuan kapasitas pengaman

Malang,


(_____)