

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Kelistrikan PT. Pupuk Kalimantan Timur

PT. Pupuk Kalimantan Timur atau Pupuk Kaltim atau PKT merupakan salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang telah berdiri sejak tahun 1977. PT Pupuk Kalimantan Timur juga merupakan salah satu anak perusahaan dari PT Pupuk Indonesia. Perusahaan ini berada di wilayah kota Bontang provinsi Kalimantan Timur.

Sejak tahun 1977 berdiri, PT. Pupuk Kalimantan Timur telah mengalami perkembangan yang sangat pesat hingga sekarang. Perkembangan yang pesat ini dapat dilihat dengan telah berdirinya 6 pabrik dan 1 boiler batu bara yang dimiliki oleh PT. Pupuk Kalimantan Timur dalam satu area industri yang dimiliki oleh PT. Pupuk Kalimantan Timur. 6 pabrik yang di miliki PT. Pupuk Kaltim itu sendiri terdiri atas Pabrik Kaltim-1, Pabrik Kaltim-1A, Pabrik Kaltim-2, Pabrik Kaltim-3, Pabrik Kaltim-4, dan Pabrik Kaltim-5.

Dengan perkembangan yang pesat hingga memiliki 6 unit pabrik dalam 1 area. PT. Pupuk Kaltim menggunakan sistem tenaga listrik secara integrasi dengan sistem distribusi tipe *ring (loop)* tertutup. Sistem ini menghubungkan daya listrik dari sistem tenaga listrik masing-masing pabrik yaitu, Pabrik Kaltim-1, Pabrik Kaltim-2, Pabrik Kaltim-3, Pabrik Kaltim-4, Pabrik Kaltim-5 serta PT. KDM (Kaltim Daya Mandiri) yang mensuplai listrik untuk Pabrik Kaltim-1A.

Dengan sistem integrasi tenaga listrik yang digunakan oleh PT. Pupuk Kaltim, keandalan sistem tenaga listrik yang dihasilkan sangat baik serta kontinuitas pelayanan daya jadi tidak terganggu.

Dikarenakan, apabila salah satu generator dari salah satu pabrik mengalami *trip* maka suplai listrik dapat dibagi antar generator-generator masing-masing pabrik yang terhubung ke sistem integrasi yang lain dengan disertai pelepasan beban-beban

besar. Kondisi ini dikenal dengan *Load Shedding*. Sistem integrasi digunakan pada operasi tegangan 33 kv. Besar tegangan ini berdasarkan perhitungan berikut :

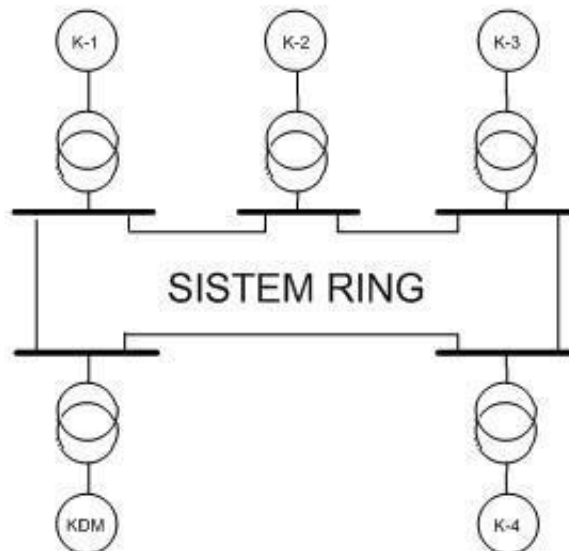
- Asumsi dalam range 33 kv mengalir beban sebesar 65 MVA
- Kemampuan Busbar 1200 A
- Tegangan sistem dapat ditentukan dengan :

$$65 \text{ MVA} = \sqrt{3} \times V_{I-I} \times I$$

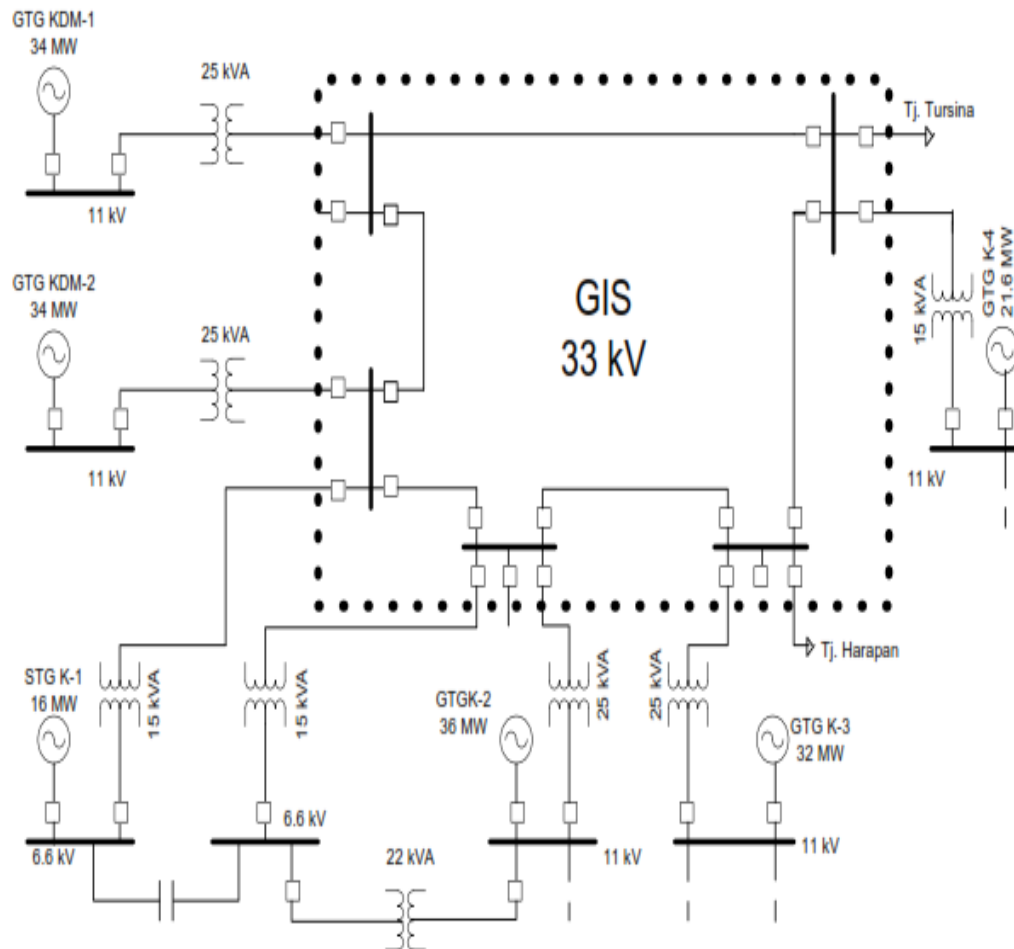
$$65 \text{ MVA} = \sqrt{3} \times V_{I-I} \times 1200 \text{ A}$$

$$V_{I-I} = 31,3 \text{ kV} \approx 33 \text{ kV}$$

Pada sistem integrasi yang digunakan PT. Pupuk Kalimantan timur, seluruh tegangan masing-masing dioperasikan dengan cara mensinkronkan tegangan menjadi 33 kv atau dinaikan menggunakan *transformator step-up*. Sistem 33 kv ini selanjutnya masuk ke GIS (*Gas Insulated Switchgear*) dan diturunkan kembali menjadi 11 kv dan 6.6 kv menggunakan *transformator step-down* kemudian di distribusikan ke beban-beban konfigurasi sistem integrasi, berikut merupakan gambar sistem integrasi dengan distribusi ring.



Gambar 7. Sistem Integrasi Distribusi Ring PT. Pupuk Kalimantan Timur



Gambar 8. *Single Line Diagram* Sistem Integrasi PT. Pupuk Kalimantan Timur

Keseluruhan aliran daya listrik pada sistem integrasi mengacu pada data berikut:

- Daya terpasang : 132,5 MW
- Daya mampu : 111,11 MW
- *Load* mampu : 85,5 MW
- *Spinning Reserve* : 28,5 MW

Sistem integrasi yang digunakan oleh PT. Pupuk Kaltim yang dapat menunjang suplai energi listrik ke semua pabrik yang dimiliki oleh PT. Pupuk Kalimantan Timur, memiliki beberapa keuntungan seperti ;

1. *Spinning Reserve* (sisa daya) yang besar.
2. Keandalan lebih baik.

3. Mampu berbagi / transfer daya antar unit.
4. Kontinuitas dan kualitas pelayanan lebih baik.
5. Kemudahan dalam operasi dan pemeliharaan.

Dalam sistem integrasi yang digunakan pada sistem tenaga PT. Pupuk Kalimantan Timur, diperlukan pula pengaturan pola pembangkitan untuk memberikan suplai listrik ke beban dan untuk kehandalan perlu dipertimbangkan *spinning reserve*. Dengan adanya *spinning reserve* diharapkan dapat memberikan kontinuitas suplai listrik untuk melaynai beban ketika terjadi gangguan atau pemeliharaan yang mewajibkan dalam satu pembangkit trip.

Tabel 1.2. Pola Operasi Pembangkit PT. Pupuk Kalimantan Timur

Unit	Pembangkit			Max Beban (MW)	Persentasi Pembangkit (%)	<i>Spinning Reserve</i> (%)
	Tegangan (kV)	Daya Max (MW)	Daya Operasi (MW)			
Pabrik Kaltim-1	6,9	14	12	20,7	85,7	14,3
Pabrik Kalrim-2	11	28	23	14,6	82,1	17,9
Pabrik Kaltim-3	11	26	23	14,5	88,5	11,5
Pabrik Kaltim-4	11	20	18,5	14,2	92,5	7,5
KDM	11	26	25	44,6	96,1	3,9
Total		114	101,5	108,6		

PT. Pupuk Kalimantan Timur memiliki lima unit pembangkit listrik utama dan empat unit pembangkit listrik *emergency*. Pada setiap unit pembangkit terdapat generator sebagai pengkonversi energi kinetik menjadi energi listrik. Energi kinetik yang dihasilkan dari putaran turbin yang digerakkan

menggunakan tenaga dari *steam* maupun pembakaran gas yang bertekanan tinggi. *Steam Turbin Generator* (STG) sebagai unit yang menggunakan tenaga uap dan *Gas Turbin Generator* (GTG) sebagai unit yang menggunakan tenaga gas alam. Untuk *Emergency Generator Diesel* (EGD) menggunakan bahan bakar minyak (BBM) sebagai bahan bakar utama.

Tabel 1.3. *Rating* Pembangkit Tenaga Listrik PT. Pupuk Kalimantan Timur

Pabrik	Unit	Kapasitas (MVA)	Rating		Cos ϕ	Kecepatan Putar (rpm)	Keterangan
			Tegangan (kV)	Arus (A)			
Pabrik Kaltim-1	BBC	20	6,6	1750	0,8	1500	STG (running)
	Borsig	14	6,6	1200	0,8	1500	STG (running)
	Caterpillar	2 x 1,85	0,5	1150	0,8	1500	EGD (standby)
Pabrik Kaltim-2	GE	45	11	2380	0,8	1500	GTG (running)
	Yaman	1	0,525	1100	0,8	1500	EGD (standby)
Pabrik Kaltim-3	Alshtom	40	11	2200	0,8	1500	GTG (running)
	Taiyo	1	0,525	1100	0,8	1500	EGD (standby)
Pabrik Kaltim-4	GENP	27	11	1400	0,8	1500	GTG (running)
	Taiyo	1	0,525	1100	0,8	1500	EGD (stanby)

Untuk mendistribusikan listrik kesetiap pabrik dan ke setiap beban-beban motor, PT. Pupuk Kalimantan Timur membutuhkan *switchgear* sebagai panel

hubung bagi. Dari *switchgear* ini listrik di distribusikan ke beberapa *Motor Control Center* (MCC). MCC berfungsi sebagai pembagi dan control operasi motor-motor listrik yang menjadi beban pada setiap pabrik. Di dalam *switchgear* dan MCC terdapat peralatan pendukung seperti sistem proteksi, sistem kontrol, dan metering. *Switchgear* dan MCC ini juga dapat mempermudah aktivitas pemeliharaan komponen-komponen peralatan listrik. Selaian, *switchgear* dan MCC, terdapat *Emergency Motor Control Center* (EMCC) yang berfungsi sebagai cadangan MCC apabila MCC mengalami kerusakan. EMCC ini terhubung pada beberapa MCC dan langsung disuplai juga dari EGD (*Emergency Generator Diesel*). *Presentive maintenance* yang dilakukan oleh PT. Pupuk Kalimantan Timur terhadap *switchgear* dan MCC dengan melakukan *megger test* pada isolasi konduktor. Pengecekan *wiring control* pada panel dan melakukan kalibrasi rele-rele proteksi yang ada. Dan berikut adalah tebal *rating switchgear* :

Tabel 1.4. *Rating Switchgear*

Pabrik	Rating		kA – Is	Circuit Breaker	
	Tegangan (kV)	Arus (A)		Tegangan (kV)	kA – Is
Kaltim-1A	6,6	1600	21,5	7,2	24
Kaltim-1B	6,6	1600	21,5	7,2	24
Kaltim-2	11	2000	26	11	26,3
Kaltim-3	11	2000	40	11	40
Kaltim-4	11	2000	40	11	40

4.2. Pemodelan Sistem Kelistrikan Pabrik Kaltim-1A

Untuk memudahkan penelitian, dilakukan terlebih dahulu pemodelan sistem kelistrikan dari pabrik Kaltim-1A ke dalam bentuk *singel line diagram* (SLD) dengan menggunakan *software Etap Power Station*. Dalam pemodelan ini pun bertujuan untuk menentukan pengaman relay arus lebih (*Overcurrent Relay*)

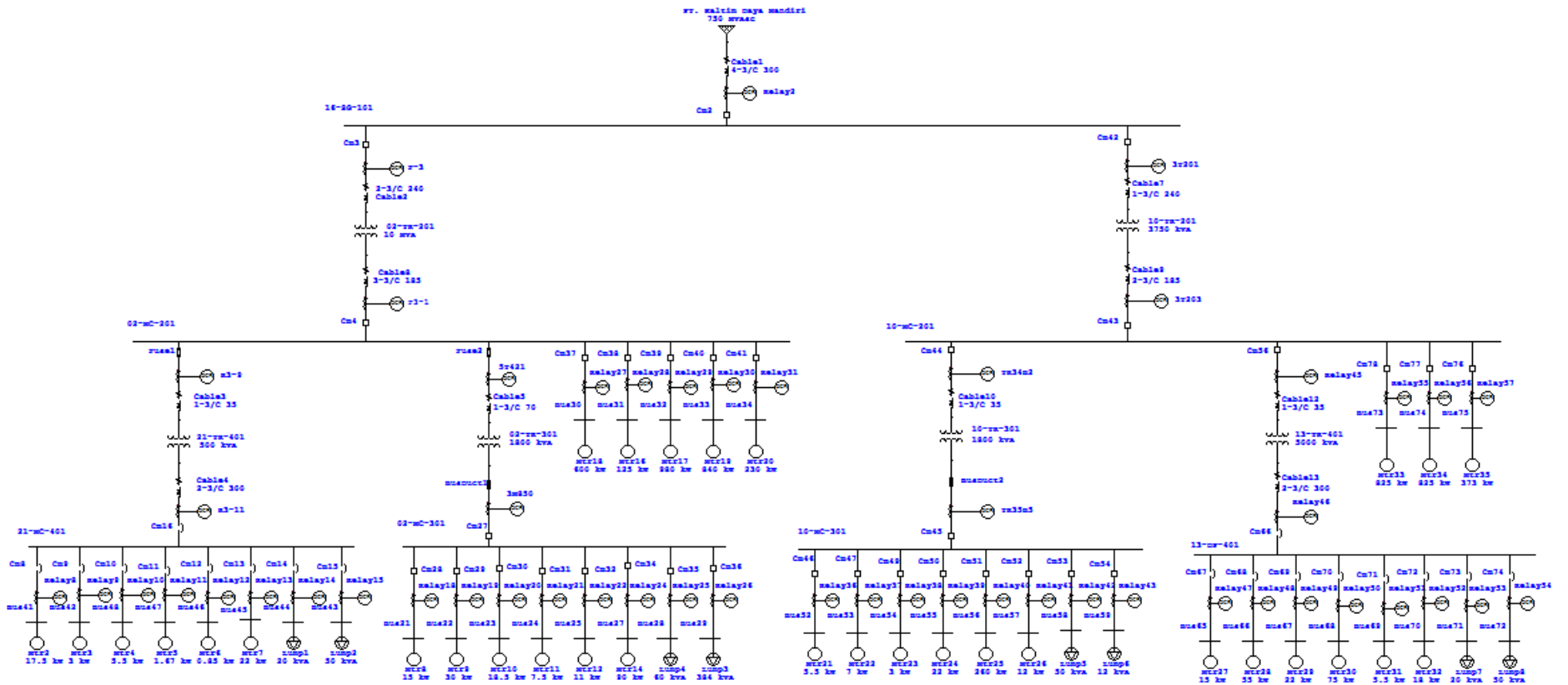
mana yang akan dilakukan analisa terhadap koordinasi relay satu dengan relay yang lain.

Untuk pemodelan perancangan sistem kelistrikan pabrik Kaltim-1A diperlukan beberapa data agar sesuai dengan kondisi yang ada pada lapangan.

Data-data tersebut seperti :

- a. *Singel Line Diagram* (SLD) dari pabrik Kaltim-1A.
- b. *Power Grid* atau pun generator pembangkit yang mensuplay pabrik Kaltim-1A.
- c. Data transformator.
- d. Data kabel.
- e. Data *Current Transformator* (CT).
- f. Data *Circuit Breaker* (CB) atau Fuse
- g. Data *Setting* relay arus lebih
- h. Data beban Motor pada pabrik Kaltim-1A.

Pemodelan yang dilakukan terhadap kelistrikan pabrik kaltim-1A milik PT. Pupuk Kalimantan Timur dapat dilihat pada Gambar 9. Pemodelan sistem kelistrikan pabrik Kaltim-1A dilakukan dengan menggunakan *software Etap Power Station*.



Gambar 9. Pemodelan *Singel Line Diagram* Pabrik Kaltim-1A

4.3. Analisis Arus Hubung Singkat (*Short Circuit*)

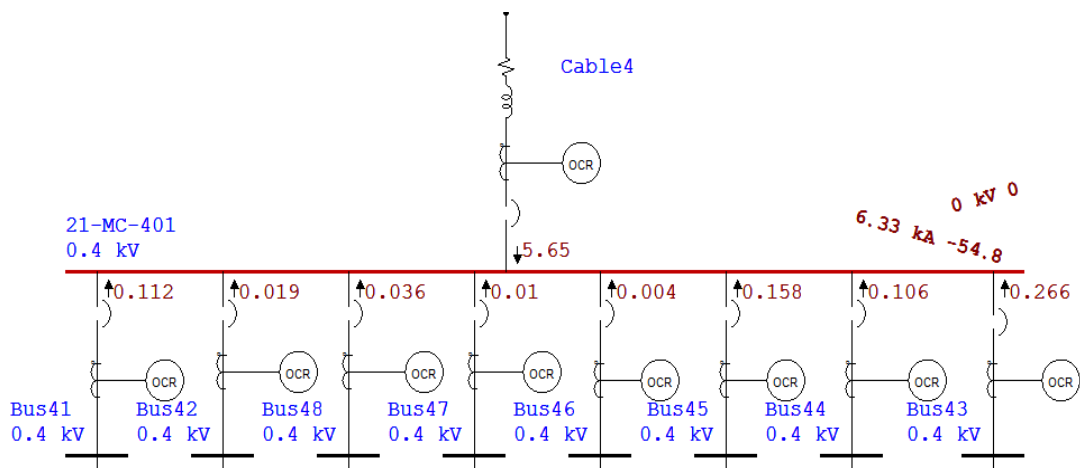
Hubung singkat atau *short circuit* merupakan gangguan sistem kelistrikan yang terjadi karena penghantar listrik (kabel) atau fasa yang bertegangan tersambung langsung dengan penghantar listrik lain (kabel) atau fasa maupun dengan penghantar netral. Hal ini disebabkan karena tidak melalui tahanan berupa alat listrik atau lampu, sehingga arus listrik hubung singkat yang mengalir menjadi besar dan tegangan yang ada menjadi 0 volt.. Apabila hubung singkat tersebut terjadi pada jaringan kelistrikan maka akan menyebabkan gangguan dalam jaringan kelistrikan. Oleh karena itu, perlu adanya sistem pengamanan untuk melindungi sistem kelistrikan tersebut apabila terjadi gangguan seperti hubung singkat.

Salah satu penganan proteksi yang dapat melindungi atau menetralkan gangguan adalah relay arus lebih. Relay ini bekerja dengan cara membaca nilai arus hubung singkat yang terjadi pada sistem kelistrikan dan akan bekerja dengan cara mengetrikan atau memutuskan aliran arus dengan pemutus tenaga listrik. Untuk itu dilakukan analisis arus hubung singkat (*short circuit*). Tujuan untuk menganalisis hubung singkat ialah mengetahui besar arus yang mengalir ketika hubung singkat terjadi pada titik-titik tertentu pada gagguan. Hubung singkat ini akan disimulasikan menggunakan *software Etap Power Station*.

Arus hubung singkat tersebut digunakan untuk perhitungan *setting* relay proteksi arus lebih (*Overcurrent Relay*). Parameter yang digunakan pada analisis arus hubung singkat ini adalah nilai maksimum dan nilai minimum arus hubung singkat tersebut. Nilai arus hubung singkat maksimum adalah nilai ketika terjadi hubung singkat 3 fasa pada 4 cycle sedangkan nilai arus hubung singkat minimum adalah nilai ketika terjadi hubung singkat 3 fasa pada 30 cycle.

4.3.1. Analisis Hubung Singkat Pada Bus Bar 21-MC-401

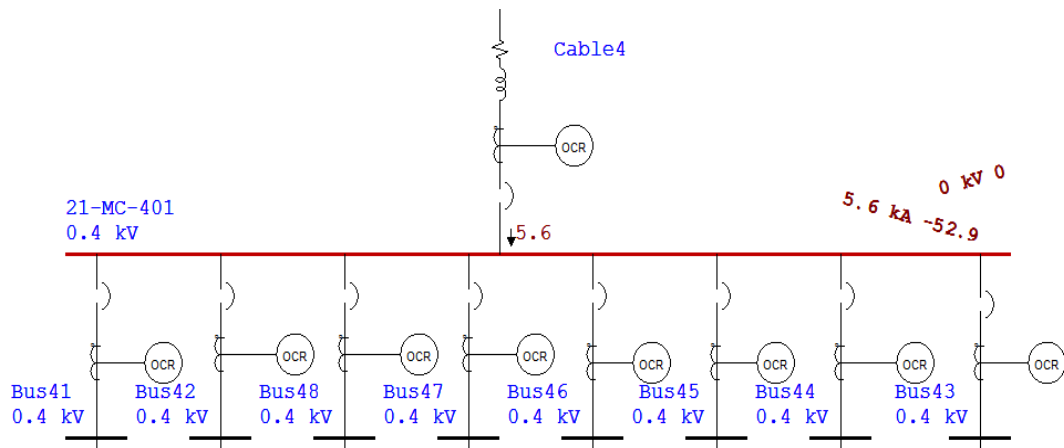
Analisis hubung singkat ini dilakukan pada bus bar 21-MC-401 yang bertegangan 0.4 kv atau 400 volt. Untuk mempermudah menganalisis hubung singkat pada bus bar 21-MC-401, dilakukan dengan menggunakan *software Etap Power Station*.



Gambar 10. Simulasi Hubung Singkat Maksimum Pada Bus Bar 21-MC-401

Seperti pada gambar 10. Simulasi hubung singkat maksimum pada bus bar 21-MC-401 merupakan simulasi hubung singkat yang dilakukan dengan menggunakan software *Etap Power Station*. Dari hasil simulasi hubung singkat yang dilakukan terhadap bus bar 21-MC-401 besar arus hubung singkat maksimum yang terjadi pada bus bar tersebut adalah sebesar 6.33 kA atau sebesar 6330 Amper. Sedangkan untuk tegangan yang ada pada bus bar 21-MC-401 ialah sebesar 0 Volt. Besar tegangan 0 volt tersebut disebabkan karena tidak adanya hambatan (R) yang terjadi saat hubung singkat.

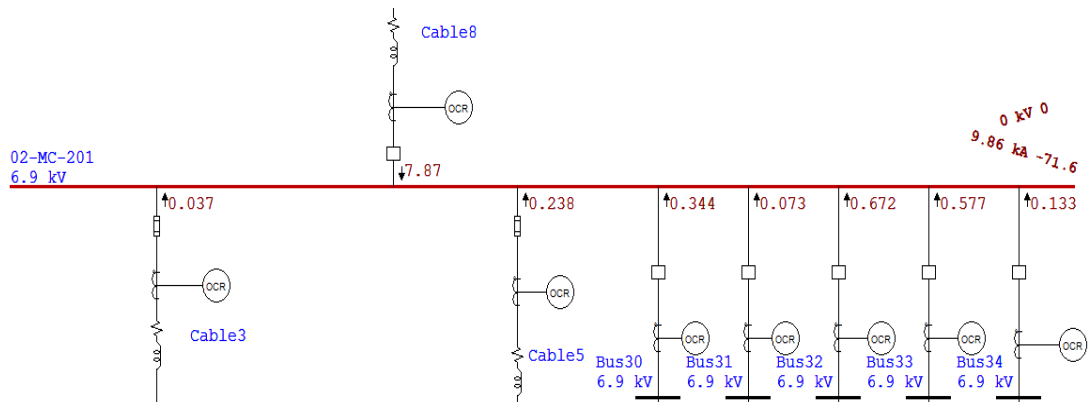
Sedangkan untuk nilai arus hubung singkat minimum pada bus bar 21-MC-401 yang terjadi adalah sebesar 5.6 kA atau setara dengan 5600 Amper. Dan untuk tegangannya sebesar 0 Volt. Gambar simulasi dari hubung singkat minimum pada bus bar 21-MC-401 dapat dilihat pada gambar 11. Simulasi hubung singkat minimum pada bus bar 21-MC-401.



Gambar 11. Simulasi Hubung Singkat Minimum Pada Bus Bar 21-MC-401

4.3.2. Analisis Hubung Singkat Pada Bus Bar 02-MC-201

Analisis hubung singkat yang selanjutnya akan dilakukan pada bus bar 02-MC-201 yang memiliki tegangan sebesar 6.9 kv. Untuk mempermudah analisis hubung singkat pada bus bar 02-MC-201, dilakukan simulasi hubung singkat juga dilakukan dengan menggunakan *software Etap Power Station*.

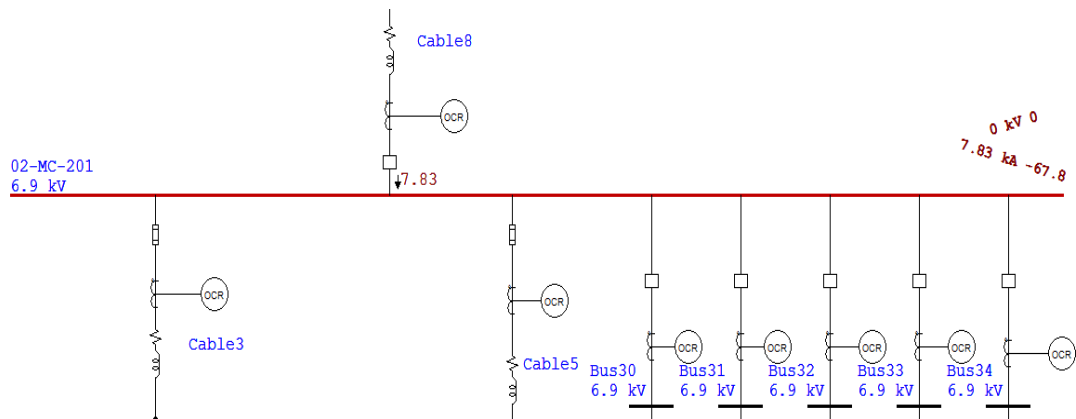


Gambar 12. Simulasi Hubung Singkat Maksimum Pada Bus Bar 02-MC-201

Gambar 12. yang merupakan gambar dari simulasi hubung singkat pada bus bar 02-MC-201 yang dilakukan dengan menggunakan *software Etap Power Station*. Pada bus bar 02-MC-201 yang memiliki tegangan 6.9 kv, arus hubung singkat maksimum yang terjadi ialah sebesar 9.86 kA atau sebesar 9860 Amper. Untuk tegangan yang terjadi pada bus bar 02-MC-201

ialah sebesar 0 volt. Faktor yang mempengaruhi tegangan pada bus bar 02-MC-201 menjadi 0 volt ialah karena tidaknya hambatan atau nilai R pada saat terjadi hubung singkat bernilai 0.

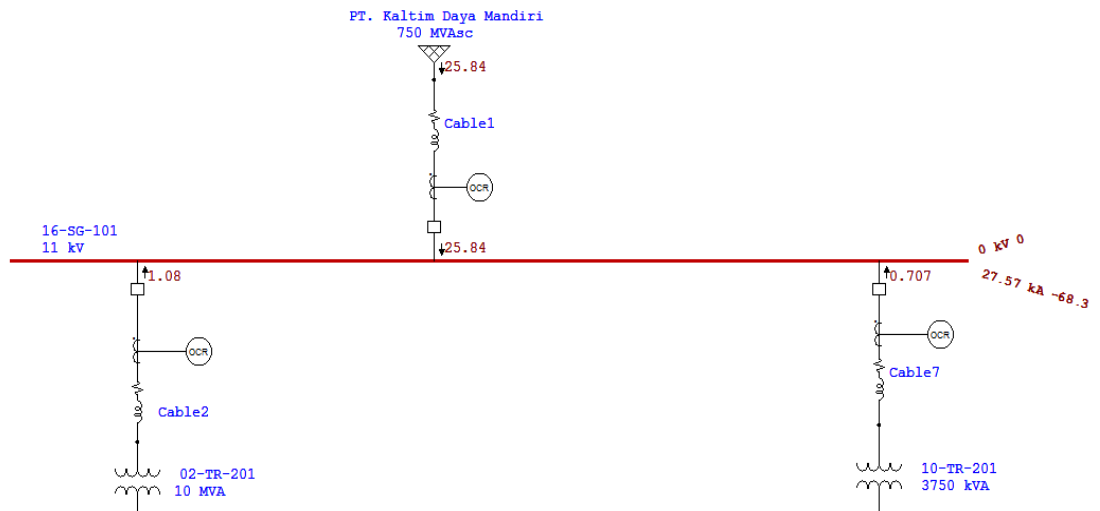
Sedangkan hubung singkat minimum yang terjadi pada bus bar 02-MC-201 ialah sebesar 7.83 kA atau sebesar 7.830 Amper. Dan untuk tegangan yang ada pada bus bar 02-MC-201 adalah sebesar 0 volt. Gambar hubung singkat minimum pada bus bar 02-MC-201 dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 13. Simulasi Hubung Singkat Minimum Pada Bus Bar 02-MC-201

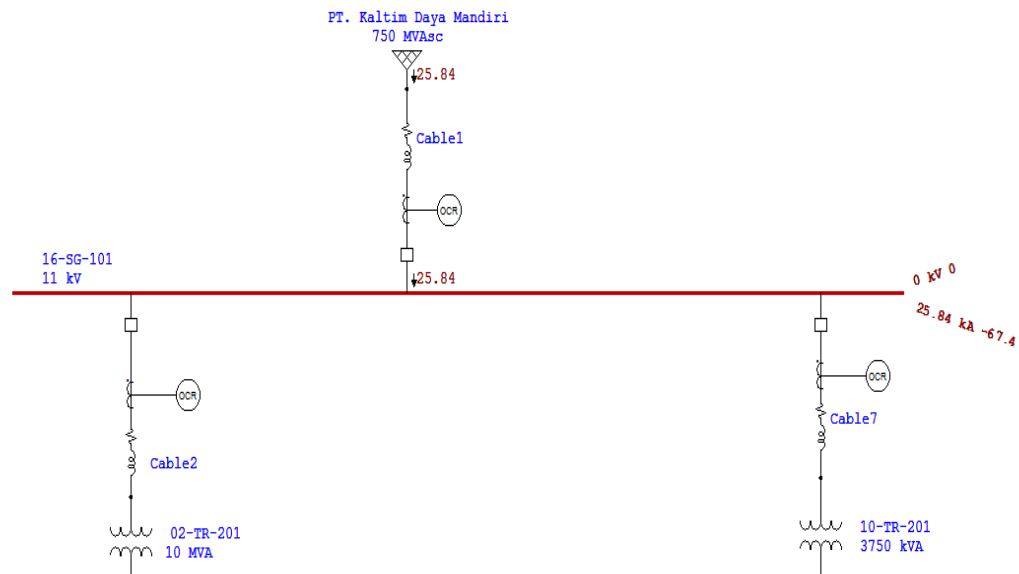
4.3.3. Analisis Hubung Singkat Pada Bus Bar 16-SG-101

Seperti halnya dengan bus bar 21-MC-401 dan bus bar 02-MC-201, analisis hubung singkat pada bus bar 16-SG-101 juga dilakukan dengan menggunakan *software Etap Power Station* untuk mempermudah analisis hubung singkat pada bus bar 16-SG-101. Pada bus bar 16-SG-101 arus hubung singkat maksimum yang terjadi adalah sebesar 27.57 kA atau sebesar 27.570 Amper. Sedangkan pada tegangan bus bar 16-SG-101 saat terjadi hubung singkat ialah sebesar 0 volt. Tegangan tersebut berubah menjadi 0 volt disebabkan oleh tidak adanya hambatan atau nilai R yang bernilai 0.



Gambar 14. Simulasi Hubung Singkat Maksimum Pada Bus Bar 16-SG-101

Setelah melakukan hubung singkat maksimum untuk mengetahui besar arus maksimum hubung singkat yang terjadi pada bus bar 16-SG-101, maka selanjutnya dilakukan hubung singkat minimum pada bus bar 16-SG-101. Gambar 13. Merupakan gambar simulasi hubung singkat minimum yang dilakukan pada bus bar 16-SG-101. Tampak pada gambar hubung singkat minimum yang terjadi pada bus bar 16-SG-101 adalah sebesar 25.84 kA atau 25.840 Amper. Sedangkan tegangan pada bus bar 16-SG-101 saat terjadi hubung singkat menjadi 0 Volt. Hal ini, disebabkan oleh tidak adanya hambatan pada saat hubung singkat terjadi atau bisa dikatakan bahwa R bernilai 0.



Gambar 15. Simulasi Hubung Singkat Minimum Pada Bus Bar 16-SG-101

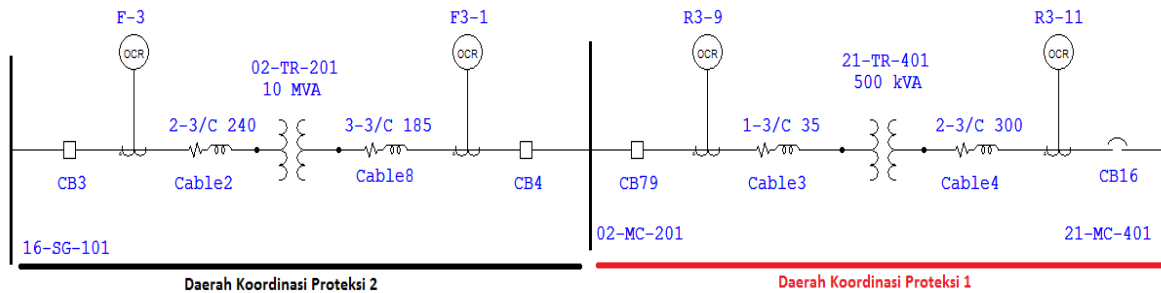
Tabel 1.5. Data Arus Hubung Singkat

No.	ID Bus Bar	Tegangan (kV)	Arus Hubung Singkat	
			I _{sc} Maksimum (kA)	I _{sc} Minimum (kA)
1.	21-MC-401	0,4	6,33	5,6
2.	02-MC-201	6,9	9,86	7,83
3.	16-SG-101	11	27,57	25,84

4.4. Analisis Koordinasi Proteksi Kondisi Eksisting

Untuk mempermudah melakukan analisis terhadap koordinasi proteksi, daerah koordinasi proteksi pada pabrik Kaltim-1A dibagi dalam 2 daerah kondisi eksisting. Pada kondisi eksisting 1 yaitu daerah diatas bus bar 21-MC-401 dengan tegangan bus bar sebesar 0.4 kv sampai dengan bus bar 02-MC-201 dengan tegangan bus bar sebesar 6.9 kv. Pada kondisi eksisting 1 terdapat 2 buah relay arus lebih yang terpasang pada kondisi ini. Relay tersebut ialah relay R3-11 dan relay R3-9. Sedangkan untuk kondisi eksisting 2 yaitu daerah diatas bus bar 02-MC-201 dengan tegangan bus bar sebesar 6.9 kv sampai dengan bus bar 16-SG-101 dengan tegangan sebesar 11 kv. Dan pada kondisi eksisting 2 terdapat 2 buah relay arus lebih. Relay tersebut adalah reay F3-1 dan relay F-3.

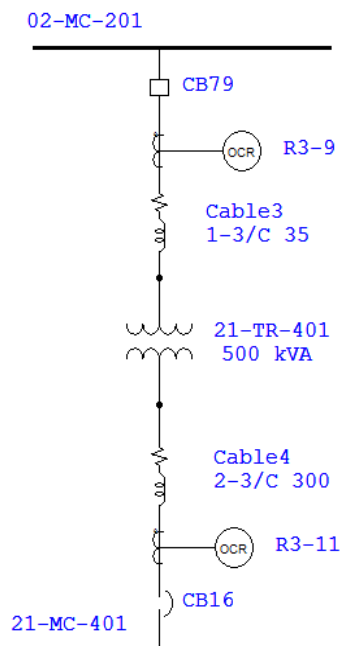
Sehingga pada daerah koordinasi proteksi pabrik Kaltim-1A yang akan di analisis sebanyak 4 buah relay arus lebih antara lain relay F-3, relay F3-1, relay R3-9, dan relay R3-11 terhadap kondisi eksisting relay arus lebih tersebut.



Gambar 16. Daerah Koordinasi Proteksi

4.4.1. Analisis Koordinasi Proteksi Kondisi Eksisting 1

Analisis koordinasi proteksi kondisi eksisting 1 merupakan analisis yang dilakukan terlebih dahulu pada jaringan distribusi bus 21-MC-401 0,4 kv sampai dengan bus 02-MC-201 6,9 kv. Yang mana jaringan tersebut merupakan jaringan yang terdekat dengan jaringan beban-beban listrik seperti motor-motor listrik milik pabrik Kaltim-1A.



Gambar 17. Daerah Koordinasi Proteksi Relay R3-11 Dan Relay R3-9

Pada jaringan distribusi bus 21-MC-401 0,4 kv sampai dengan bus 02-MC-201 6,9 kv terdapat 2 buah pengaman relay arus lebih yang berguna untuk melindungi daerah jaringan distribusi tersebut. Kedua relay arus lebih tersebut ialah relay R3-11 dan relay R3-9. R3-11 merupakan relay arus lebih utama atau dapat dikatakan sebagai pengaman utama yang berfungsi terlebih dahulu apabila terjadi hubung singkat yang dekat dengan relay R3-11. Relay ini pun terhubung dengan pemutus tegangan yaitu CB16 yang akan beroperasi sesuai dengan perintah dari relay R3-11.

Tabel 1.6. Data *Setting* Relay R3-11 Dan Relay R3-9

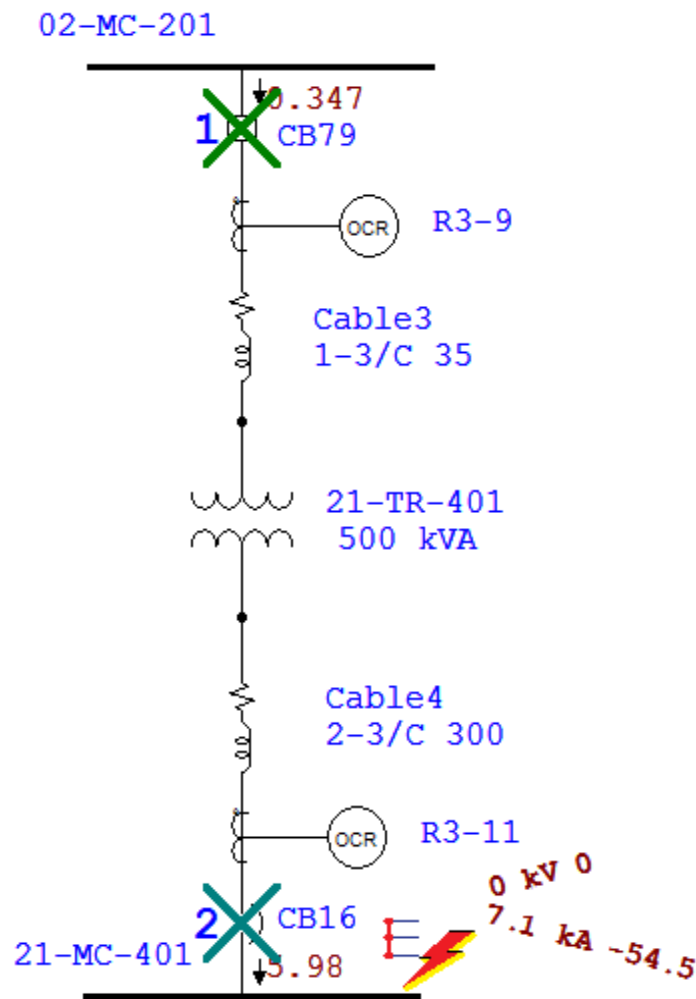
ID	Merk	Tipe	CT Rasio	Data Eksisting		
				Curve	Tap (Pick Up)	Time Dial
R3-11	Siemens	ISGS	1000/5	Short	9	5
				Inverse		
R3-9	Siemens	ISGS	100/5	Short	6	4
				Inverse		

Sedangkan untuk relay R3-9 merupakan relay pengaman *back-up* atau relay pengaman cadangan. Relay ini akan berkerja apabila relay pengaman utama yaitu R3-11 tidak berfungsi dengan baik dalam mengamankan atau menetralsir gangguan yang terjadi. Relay R3-9 ini pun terhubung dengan pemutus tegangan yaitu CB79 yang akan beroperasi sesuai dengan perintah dari relay R3-9.

Pada tabel 1.6. Data *Setting* Relay R3-11 Dan Relay R3-9 merupakan tabel dari *setting* relay arus lebih R3-11 dan R3-9 yang diperoleh dari lokasi pabrik Kaltim-1A yang hingga saat ini relay arus lebih tersebut menggunakan data setting seperti pada tabel 1.6.

Dari data tabel 1.6. Data *Setting* Relay R3-11 Dan Relay R3-9 kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan *software Etap Power Station* untuk mengetahui mekanisme kerja pengaman relay arus lebih tersebut dan

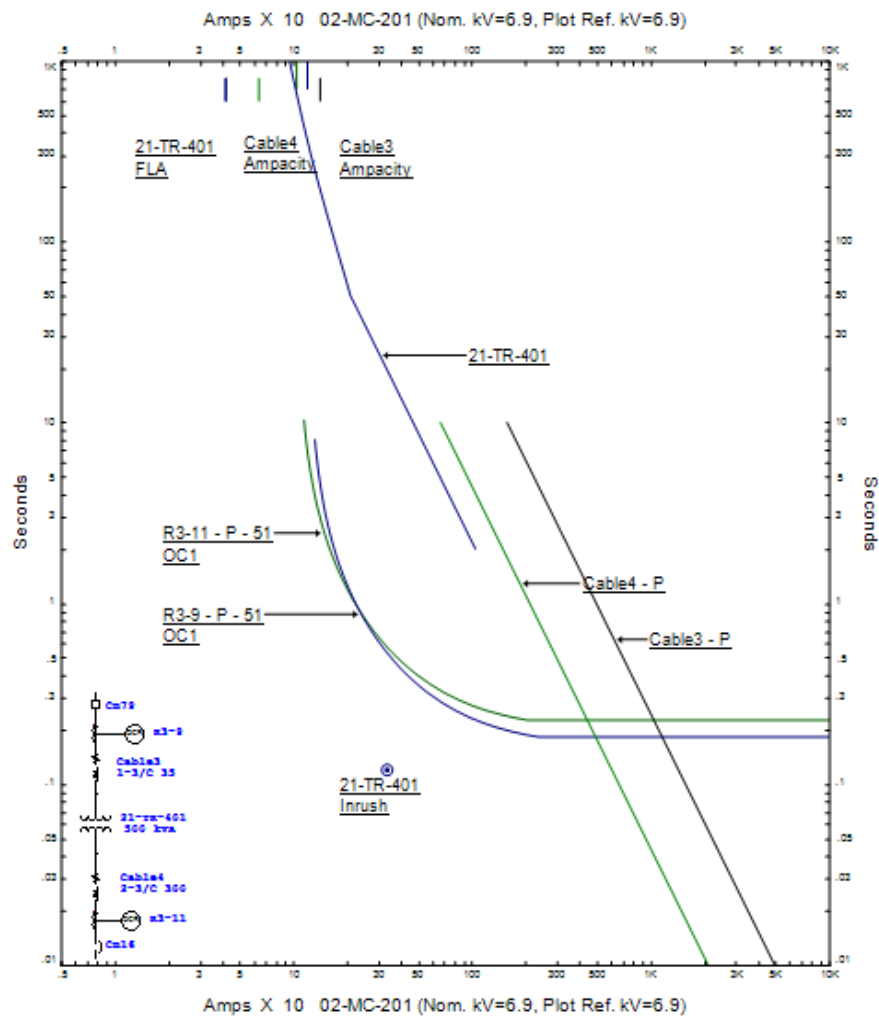
untuk mengetahui sejauh mana koordinasi relay berkeja. Gambar dibawah ini merupakan gambar dari hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *software Etap Power Station*.



Gambar 18.
Simulasi Koordinasi Eksisting Pada Relay R3-11 Dan Relay R3-9

Gambar merupakan simulasi koordinasi proteksi yang dilakukan pada relay R3-11 dan R3-9 terhadap bus 21-MC-401 0,4 kv yang sedang mengalami gangguan hubung singkat. Simulasi tersebut dilakukan dengan menggunakan *software Etap Power Station*. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan terhadap pengaman relay arus lebih milik pabrik Kaltim-1A yaitu

relay R3-11 dan relay R3-9. Tampak terlihat pada gambar bahwa terjadi kesalahan terhadap *settingan* yang dimiliki oleh kedua relay arus lebih tersebut. Hal ini ditunjukkan pada gambar dengan pengaman R3-9 yang merupakan pengaman back-up atau cadangan yang terlebih dahulu bekerja dan kemudian relay R3-11 baru bekerja. Selain dari itu, pada gambar yang merupakan hasil simulasi dari bentuk kurva relay R3-11 dan relay R3-9 juga menunjukkan bahwa terjadi kesalahan pada setting relay dengan adanya perpotongan terhadap kurva relay R3-11 dan kurva relay R3-9 yang menyebabkan tidak adanya koordinasi yang baik antara relay R3-11 dan relay R3-9.



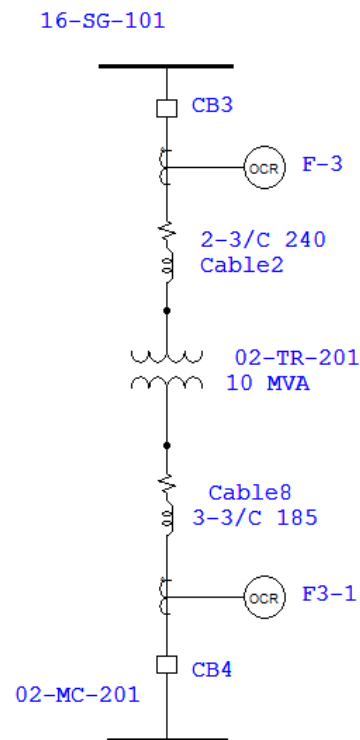
Gambar 19.

Kurva Koordinasi Eksisting Relay R3-11 Dan Relay R3-9

Dengan simulasi yang telah dilakukan terhadap pengaman relay arus lebih, yaitu relay R3-11 dan relay R3-9 perlu dilakukan evaluasi kembali dengan cara menentukan ulang settingan yang cocok dari kedua relay agar terbentuk koordinasi yang baik.

4.4.2. Analisis Koordinasi Proteksi Kondisi Eksisting 2

Analisis koordinasi proteksi kondisi eksisting 2 merupakan analisis yang dilakukan terhadap jaringan distribusi pada bus 02-MC-201 6,9 kv sampai dengan bus 16-SG-101 11 kv milik pabrik Kaltim-1A. Jaringan distribusi tersebut merupakan jaringan yang terdekat dengan daerah sumber yang mensuplay listrik ke pabrik Kaltim-1A sehingga diperlukannya pengaman proteksi yang handal. Pada jaringan distribusi tersebut terdapat 2 buah pengaman relay arus lebih. Relay pengaman arus lebih tersebut ialah relay F3-1 dan F-3.



Gambar 20.

Daerah Koordinasi Proteksi Relay F3-1 Dan Relay F-3

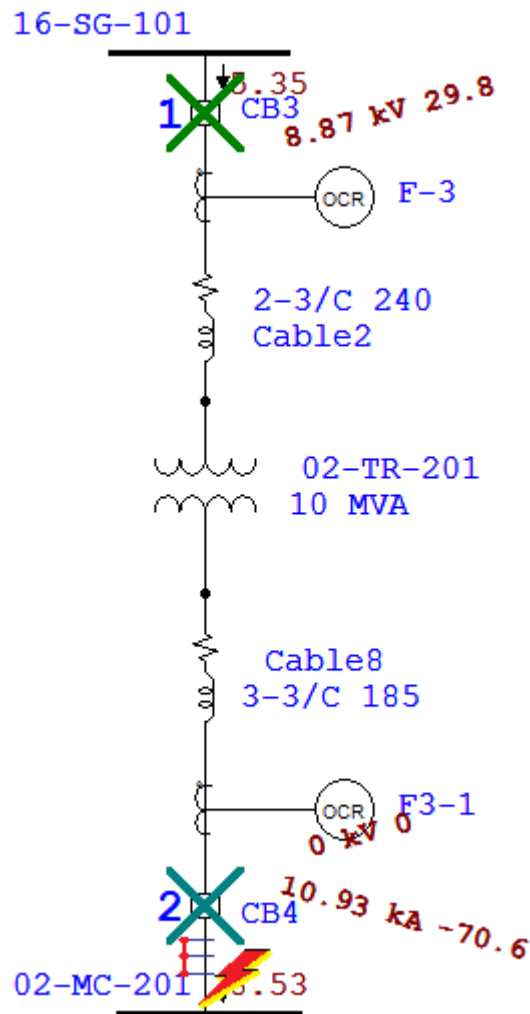
Relay F3-1 yang terpasang pada jaringan distribusi, merupakan relay pengaman arus lebih utama yang akan berkerja terlebih dahulu apa bila terjadi hubung singkat pada bus 02-MC-201 6,9 kv atau pun hubung singkat yang terjadi di dekat dengan relay F3-1. Sedangkan relay F-3 yang terpasang pada jaringan distribusi ini merupakan pengaman cadangan atau back-up apabila terjadi kesalahan pengaman gangguan hubung singkat seperti relay F3-1 tidak bekerja dengan baik maka pengaman relay F-3 inilah yang akan kemudian bekerja dan mengaktifkan Circuit Breaker yang yang terhubung dengan relay F-3.

Tabel 1.7. Data Setting Relay F3-1 Dan Relay F-3

ID	Merk	Tipe	Rasio CT	Data Eksisting		
				Curve	Tap (Pick Up)	Time Dial
F3-1	Siemens	ISGS	300/5	Inverse	8	3
F-3	Siemens	ISGS	800/5	Inverse	2	2

Tabel 1.7. Data Setting Relay F3-1 Dan Relay F-3 merupakan data setting dari relay F3-1 dan relay F-3 yang diperoleh di lokasi pabrik Kaltim-1A. Data setting tersebut merupakan data yang hingga saat ini digunakan untuk setting dari pengaman relay F3-1 dan relay F-3 pada jaringan distribusi bus 02-MC-201 6,9 kv sampai dengan bus 16-SG-101 11 kv pabrik Kaltim-1A.

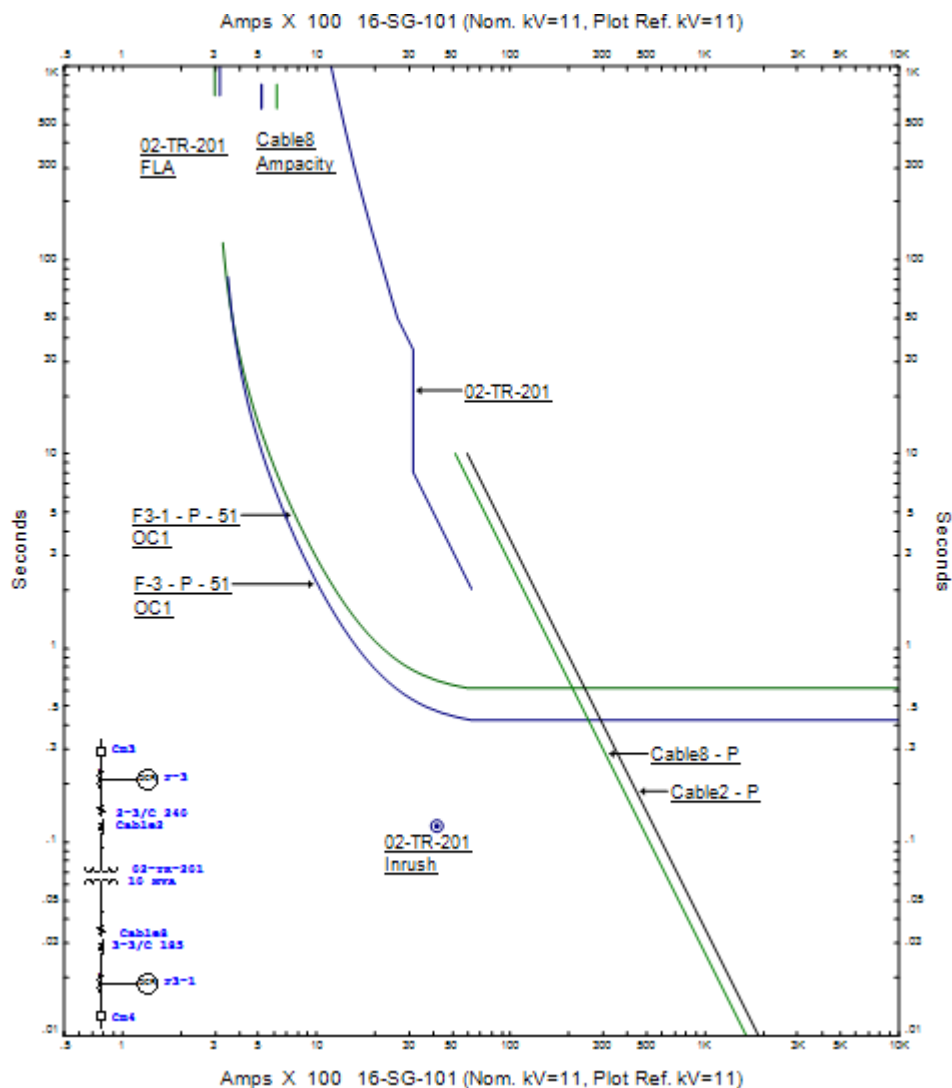
Dari data tabel 1.7. Data *Setting* Relay F3-1 Dan Relay F-3 kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan *software Etap Power Station* untuk mengetahui mekanisme kerja pengaman relay arus lebih tersebut dan untuk mengetahui sejauh mana koordinasi relay berkerja. Gambar dibawah ini merupakan gambar dari hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *software Etap Power Station*.



Gambar 21.
Simulasi Koordinasi Eksisting Pada Relay F3-1 Dan Relay F-3

Gambar diatas merupakan gambar simulasi yang dilakukan terhadap koordinasi proteksi dari relay F3-1 dan relay F-3 pada jaringan distribusi bus 02-MC-201 6,9 kv sampai dengan 16-SG-101 11 kv dengan menggunakan data setting dari lokasi pabrik Kaltim-1A. Dari simulasi yang dilakukan saat terjadi hubung singkat pada bus 02-MC-201 6,9 kv hasilnya ialah relay pengaman F-3 terlebih dahulu yang bekerja. Yang mana relay F-3 merupakan relay *back-up* atau cadangan yang seharusnya tidak bekerja saat terjadi hubung singkat pada bus 02-MC-201 6,9 kv. Seharusnya saat terjadi hubung singkat pada bus 02-MC-201 6,9 kv, relay pengaman F3-1

yang akan bekerja dikarenakan gangguan terjadi dekat dengan pengaman relay. Hal ini dapat dikatakan bahwa terjadi kegagalan pada pengaman relay yang gagal mengatasi gangguan hubung singkat yang terjadi.



Gambar 22.

Kurva Koordinasi Eksisting Relay F3-1 Dan Relay F-3

Dari hasil simulasi yang dilakukan terhadap relay F3-1 dan relay F-3 diperoleh juga kurva dari kedua relay pengaman. Yang mana kurva relay pengaman F3-1 dan relay pengaman F-3 dapat dilihat pada gambar diatas. Untuk relay F3-1 yang merupakan pengaman utama memiliki kurva

berwarna hijau sedangkan untuk relay F-3 yang merupakan relay cadangan memiliki kurva berwarna biru.

Dari gambar kurva koordinasi relay F3-1 dan relay F-3 pun menunjukkan bahwa pengaman relay gagal dalam mengatasi gangguan hubung singkat yang terjadi pada bus 02-MC-201 6,9 kv. Hal ini ditunjukkan dengan posisi dari kedua kurva yang saling tumpang tindih yang menyebabkan tidak diketahuinya relay pengaman mana yang seharusnya terlebih dahulu bekerja dalam mengatasi gangguan hubung singkat yang terjadi pada bus 02-MC-201 6,9 kv. Sehingga dari hasil simulasi yang dilakukan terhadap kedua relay pengaman arus lebih yaitu relay F3-1 dan relay F-3 yang terpasang pada jaringan distribusi bus 02-MC-201 6,9 kv sampai dengan bus 16-SG-101 11 kv harus dilakukan penyetelan ulang terhadap setting relay arus lebih yang terpasang pada jaringan distribusi tersebut.

4.5. Analisis Perhitungan Setting Relay Arus Lebih

Setelah mengetahui kondisi koordinasi relay arus lebih yang terdapat pada relay F-3, relay F3-1, relay R3-9 dan relay R3-11 maka perlu dilakukan penyetelan ulang (*Resetting*) terhadap keempat relay arus lebih. Perlu diketahui bahwa dalam perhitungan setting relay arus lebih yang dicari ialah nilai dari *pick up lowset*, *pick up higtset*, *time dial*, dan *time delay*. Akan tetapi, dalam perhitungan yang dilakukan untuk menentukan setingan yang tepat terhadap relay arus lebih pada relay F-3, relay F3-1, relay R3-9, dan relay R3-11 ialah nilai *pick up lowset* dan *time dial* saja. Berikut adalah perhitungan terhadap penyetelan ulang (*Resetting*) terhadap relay arus lebih tersebut.

Relay R3-11

Manufacture	: Siemens
Tipe	: ISGS
Curve	: Inverse
Rasio CT	: 1200/5
$I_{sc \text{ Max } 21\text{-MC-401}}$: 6,33 kA

$I_{sc \text{ Min } 21\text{-MC-401}}$: 5,6 kA
 Waktu Operasi : 0,2 detik

Full Load Ampere (FLA) atau arus beban penuh dari trafo dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ;

$$FLA = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times kV} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 0,4} = 721,68 \text{ A}$$

Untuk menentukan setelan nilai *pick up* relay arus lebih dapat menggunakan persamaan berikut dengan ketentuan I_{set} berdasarkan standart British BS 142 dengan batas penyetelannya adalah $1,05 - 1,3 I_{set}$.

$$\begin{aligned} \frac{1,05}{CT} \times FLA &\leq I_p \leq \frac{1,3}{CT} \times FLA \\ 1,05 \times 721,68 &\leq I_p \leq 1,3 \times 721,68 \\ \frac{757,76}{1200} &\leq I_p \leq \frac{938,18}{1200} \\ 0,63 &\leq I_p \leq 0,78 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan nilai *pick up* dari relay arus lebih maka dipilih *nilai pick up* atau *Tap* sebesar 0,63.

Setelah menentukan nilai setting (*pick up*) dari relay arus lebih maka selanjutnya melakukan perhitungan untuk Time Multiplier Setting (TMS) atau Time Dial dari relay arus lebih. Time Multiplier Setting (TMS) dapat dicari dengan adanya data arus hubung singkat maksimum di titik terdekat relay dan arus aktual pada setting relay yang terdapat pada perhitungan berikut.

Waktu Operasi = 0,2 detik
 Arus Aktual (I_{set}) = $0,63 \times 1200 = 756$

$$T = \frac{td \times \beta \times \left[\left(\frac{I}{I_s} \right)^\alpha - 1 \right]}{k}$$

$$T = \frac{td \times \beta \times \left[\left(\frac{I_{sc \max}}{tap \times CT} \right)^\alpha - 1 \right]}{k}$$

$$T = \frac{0,2 \times 10 \times \left[\left(\frac{6330}{0,63 \times 1200} \right)^1 - 1 \right]}{13,5}$$

$$T = 1,09$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, maka setting relay yang lain dapat dicari dengan cara yang sama dan dengan tetap mempertimbangkan waktu operasi relay. Tabel merupakan hasil perhitungan yang telah dilakukan terhadap relay arus lebih.

Tabel 1.8. Hasil Perhitungan Data Setting Relay Arus Lebih

ID	Merk	Tipe	Rasio CT	Data Resetting		
				Curve	Tap (Pick Up)	TMS (Time Dial)
R3-11	Siemens	ISGS	1200/5	Inverse	0,63	1,09
R3-9	Merlin Gerin	SPAM 1000	100/5	Standard Inverse	0,43	0,97
F3-1	Merlin Gerin	SPAM 2000	1250/5	Standard Inverse	0,7	0,63
F-3	Merlin Gerin	SPAM 2000	700/5	Standard Inverse	0,78	1,2

Setelah melakukan perhitungan ulang terhadap setelan (*setting*) relay arus lebih, diperoleh data *resetting* dari arus lebih seperti pada tabel. Jika dilihat hanya pada relay R3-11 saja yang tidak mengalami perubahan merk relay dikarenakan *range tap* yang tidak sesuai dengan hasil yang diperoleh. Oleh karena itu, dari 4 buah relay arus lebih yang dilakukan penyetelan ulang (*resetting*) terhadap setelah relay arus lebih hanya satu buah relay yang dipertahankan dengan menggunakan merk Siemens sedangkan 3 buah relay

yang lain mengalami perubahan dengan mengubah relay dari relay siemens menjadi relay Merlin Gerin. Adanya perubahan merk relay ini dikarenakan dengan menggunakan Merlin Gerin lebih mudah dalam melakukan penyetelan ulang dikarenakan curve pada Merlin Gerin hanya terdapat 4 jenis kurva yang memudahkan dalam menentukan kurva mana yang akan digunakan dan memudahkan melakukan perhitungan dalam penyetelan relay arus lebih.

Untuk mempermudah mengetahui perbedaan yang terjadi terhadap data eksisting dan reseting dapat dilihat pada tabel. Pada tabel tersebut terlihat bahwa terjadi perubahan tidak pada penggunaan relay saja melainkan pada nilai *pick up* atau *tap* settingan dari relay arus lebih dan juga pada *time dial* dari relay arus lebih itu sendiri.

Tabel 1.9. Perbandingan Data Setting Relay Arus Lebih

ID	Merk	Tipe	Data Eksisting				Merk	Tipe	Data Resetting			
			Rasio CT	Curve	Tap	TMS			Rasio CT	Curve	Tap	TMS
R3-11	Siemens	ISGS	1000/5	Short Inverse	7	5	Siemens	ISGS	1200/5	Inverse	0,63	1,09
R3-9	Siemens	ISGS	100/5	Short Inverse	6	4	Merlin Gerin	SPAM 1000	100/5	Standard Inverse	0,43	0,97
F3-1	Siemens	ISGS	300/5	Inverse	8	3	Merlin Gerin	SPAM 2000	1250/5	Standard Inverse	0,7	0,63
F-3	Siemens	ISGS	800/5	Inverse	2	2	Merlin Gerin	SPAM 1000	700/5	Standard Inverse	0,78	1,2

4.6. Analisis Koordinasi Proteksi Kondisi Resetting

Setelah melakukan pemodelan terhadap kelistrikan pabrik Kaltim-1A untuk menentukan proteksi relay arus lebih mana yang akan dilakukan analisa, kemudian melakukan analisis terhadap nilai maksimum dan nilai minimum arus hubung singkat pada *bus bar*, menganalisis koordinasi proteksi kondisi eksisting, dan melakukan perhitungan *setting* relay arus lebih (*resetting*). Selanjutnya adalah menganalisis kurva koordinasi proteksi hasil resetting dari perhitungan setting relay arus lebih. Dan analisis ini terbagi atas 2 kondisi resetting.

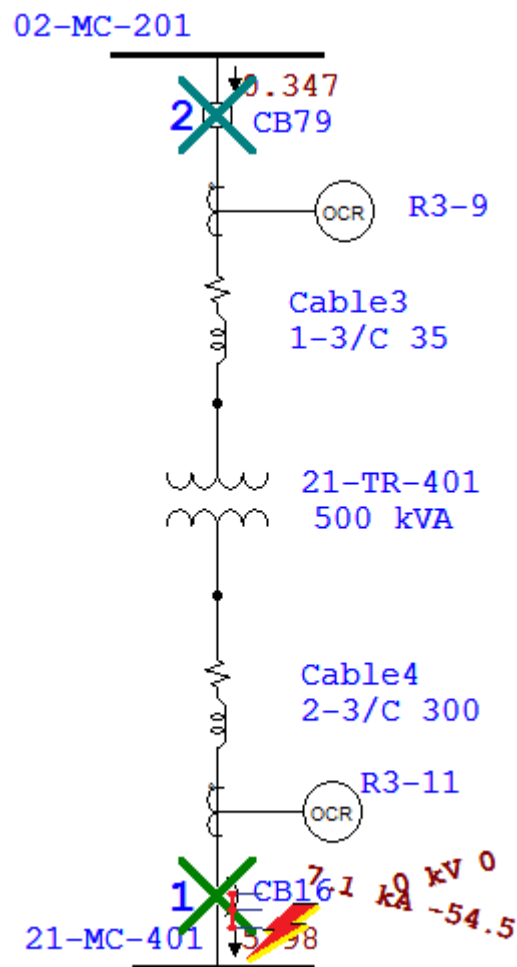
4.6.1. Analisis Koordinasi Proteksi Kondisi Resetting 1

Analisis koordinasi proteksi kondisi resetting 1 merupakan analisis yang dilakukan terhadap jaringan distribusi bus 21-MC-401 0,4 kv sampai dengan bus 02-MC-201 6,9 kv yang memiliki 2 buah pengaman relay arus lebih. relay arus lebih tersebut ialah relay R3-11 dan R3-9. Kedua relay yang terpasang pada jaringan distribusi tersebut sebelumnya telah dilakukan analisis dengan cara mensimulasikan mekanisme kerja dari pengaman arus lebih tersebut. Dan hasilnya ialah pengaman relay R3-11 dan relay R3-9 mengalami kegagalan dalam menangani gangguan hubung singkat yang terjadi pada bus 21-MC-201 0,4 kv. Sehingga perlu dilakukan penyetelan ulang terhadap setting dari relay R3-11 dan relay R3-9.

Tabel 1.10. Data *Resetting* Relay R3-11 Dan Relay R3-9

ID	Merk	Type	Rasio CT	Data Resetting		
				Curve	Tap	TMS
R3-11	Siemens	ISGS	1200/5	Inverse	0,63	1,09
R3-9	Merlin Gerin	SPAM 1000	100/5	Standard Invese	0,43	0,97

Data tabel diatas merupakan hasil dari perhitungan yang dilakukan terhadap setting dari pengaman relay R3-11 dan relay R3-9. Dari data tabel diatas kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan *software Etap Power Station* untuk mengetahui apakah data setting dari tabel tersebut telah benar atau belum.

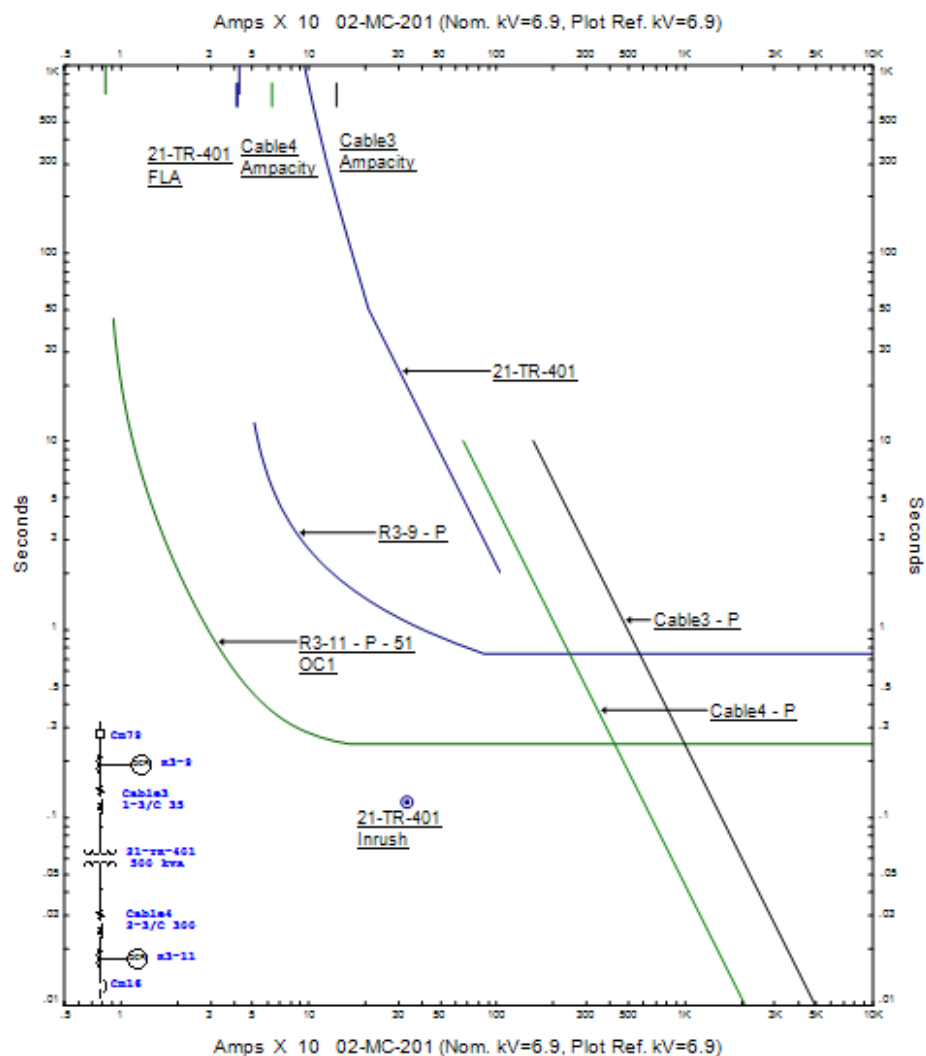


Gambar 23.

Simulasi Koordinasi Proteksi Resetting Relay R3-11 dan Relay R3-9

Gambar merupakan hasil dari simulasi koordinasi proteksi yang dilakukan dengan menggunakan software Etap Power Station dan dengan data setting pengaman relay arus lebih yang baru. Dari hasil gambar simulasi dapat dilihat

bahwa setelah melakukan perhitungan ulang terhadap setting pengaman relay R3-11 dan relay R3-9 tampak terjadi perubahan dimana yang sebelumnya saat terjadi gangguan hubung singkat terjadi pada bus 21-MC-401 0,4 kv yang bekerja terlebih dahulu adalah relay R3-9. Dan sekarang dengan dilakukannya penyetelan ulang terhadap setting pengaman relay R3-11 dan R3-9, saat terjadi gangguan hubung singkat pada bus 21-MC-401 0,4 kv maka relay R3-11 yang merupakan pengaman utamalah yang bekerja dahulu kemudian pengaman cadangan yaitu relay R3-9. Sehingga telah bisa dikatakan bahwa pengaman relay R3-11 dan relay R3-9 sekarang telah bekerja dengan baik dalam mengatasi gangguan hubung singkat yang terjadi.



Gambar 24. Kurva Koordinasi Proteksi Relay R3-11 dan R3-9 Resetting

Sedangkan untuk koordinasi antara relay R3-11 dengan relay R3-9 dapat dilihat pada gambar kurva koordinasi diatas. Tampak pada gambar dapat dilihat terdapat 2 kurva koordinasi proteksi. Yang mana kurva relay R3-11 yang merupakan pengaman relay arus lebih utama ditunjukkan dengan kurva berwarna hijau, sedangkan untuk kurva relay R3-9 yang merupakan pengaman relay arus lebih cadangan ditunjukkan dengan kurva berwarna biru. Dari kedua kurva relay dapat dilihat bahwa tidak adanya kurva yang saling berpotongan atau pun bersentuhan seperti pada kurva koordinasi proteksi kondisi eksisting 1. Hal ini dapat dikatakan bahwa koordinasi dari kedua relay telah mengalami perbaikan dengan menggunakan data resetting yang telah dilakukan. Koordinasi dari kedua relay ini dapat dikatakan dengan baik ialah dengan tidak adanya kurva yang saling berpotongan atau pun saling bersentuhan satu dengan yang lain. Karena apabila terjadi hal tersebut maka bisa terjadi kegagalan pembacaan terhadap relay untuk mengoperasikan pengaman *circuit breaker* saat terjadi gangguan hubung singkat

4.6.2. Analisis Koordinasi Proteksi Kondisi Resetting 2

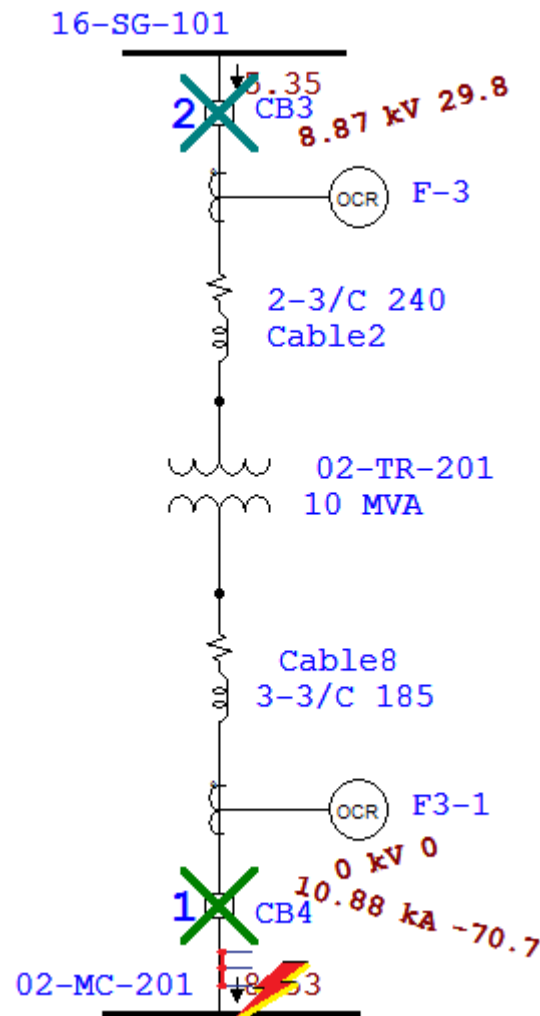
Analisis koordinasi proteksi kondisi resetting 2 merupakan analisis yang dilakukan terhadap 2 buah pengaman relay arus lebih yang terpasang pada jaringan distribusi bus 02-MC-201 6,9 kv sampai dengan bus 16-SG-101 11 kv milik pabrik Kaltim-1A. Pada jaringan distribusi tersebut terdapat 2 buah pengaman relay arus lebih yang terpasang, yaitu relay F3-1 dan relay F-3. Kedua relay tersebut sebelumnya telah dilakukan evaluasi dan analisis terhadap setting dari relay tersebut dengan menggunakan *software Etap Power Station*. Dan hasil yang diperoleh ialah pengaman relay F3-1 dan relay F-3 bisa dikatakan tidak bekerja dengan baik atau gagal dalam mengatasi suatu gangguan hubung singkat dan dengan koordinasi yang kurang baik. Oleh karena itu, dilakukan kembali penyetelan ulang terhadap resetting dari kedua relay tersebut.

Tabel 1.11. Data Resetting Dari Relay F3-1 Dan Relay F-3

ID	Merk	Type	Rasio CT	Data Resetting		
				Curve	Tap	TMS
F3-1	Merlin Gerin	SPAM 2000	1250/5	Inverse	0,7	0,63
F-3	Merlin Gerin	SPAM 1000	700/5	Standard Invese	0,43	1,2

Data tabel diatas merupakan data dari hasil perhitungan penyetelan ulang terhadap setting pengaman relay F3-1 dan relay F-3 yang terpasang pada jaringan distribusi bus 02-MC-201 6,9 kv sampai dengan 16-SG-101 11 kv milik pabrik Kaltim-1A. Sebelumnya , pengaman relay F3-1 dan relay F-3 telah dilakukan evaluasi dan analisis dari pengaman tersebut. Dan hasilnya ialah pengaman relay F3-1 dan realay F-3 tidak bekerja dengan baik saat terjadi gangguan hubung singkat di bus 02-MC-201 6,9 kv. Tidak hanya itu saja, koordinasi dari kedua pengaman relay pun tidak baik. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyetelan ulang dan diperoleh data tabel seperti diatas.

Dari data tebal, kemudian dilakukan analisis dan simulasi terhadap data setting yang telah diperoleh dengan menggunakan software Etap Power Station untuk menentukan apakah settingan telah cocok atau tidak. Dan berikut adalah hasil terhadap data resetting dari relay F3-1 dan relay F-3.

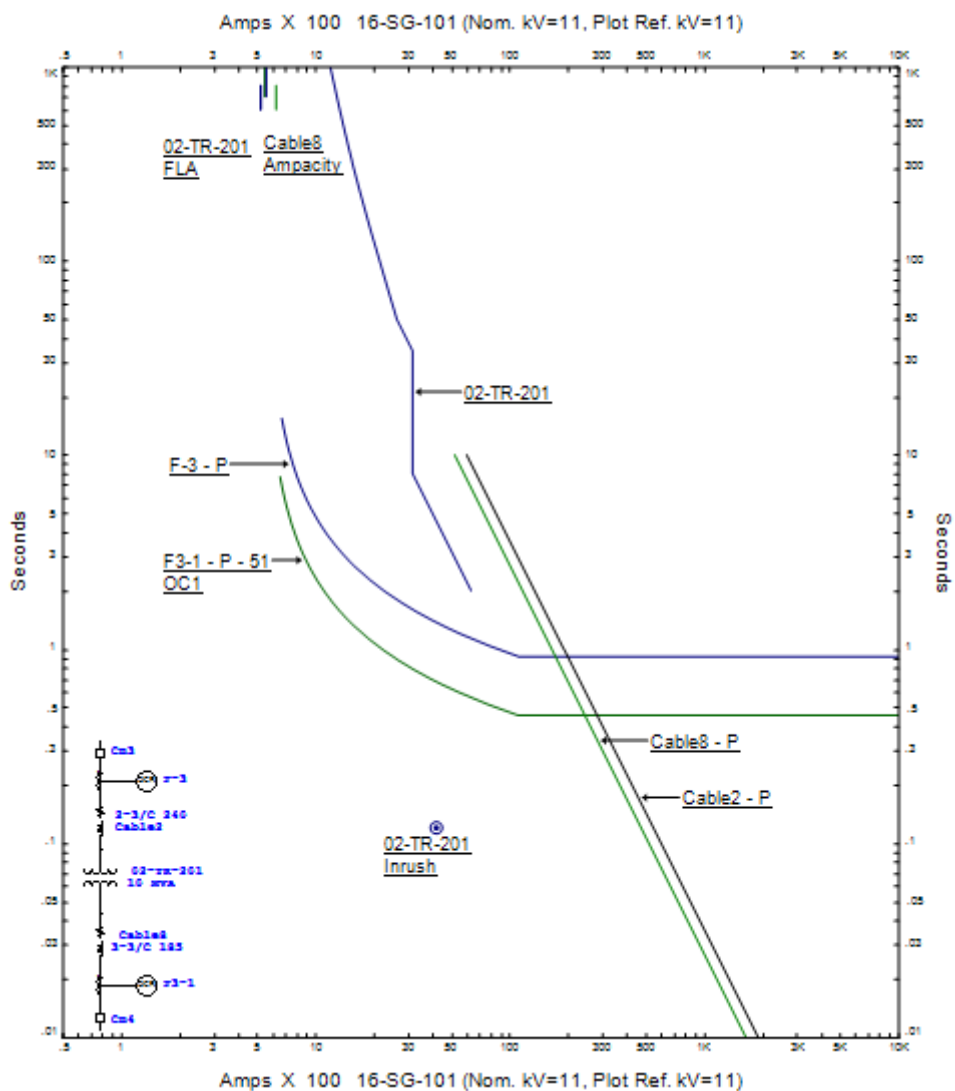


Gambar 25.

Simulasi Koordinasi Proteksi Resetting Relay F3-1 dan Relay F-3

Gambar diatas merupakan simulasi koordinasi proteksi yang dilakukan dengan menggunakan data resetting terhadap relay F3-1 dan relay F-3 yang sebelumnya mengalami kesalahan dalam mengatasi gangguan hubung singkat yang terjadi pada bus 02-MC-201 6,9 kv di jaringan distribusi pabrik Kaltim-1A. Setelah dilakukannya simulasi dengan data resetting dari pengaman relay F3-1 dan relay F-3. Tampak seperti digambar bahwa pengaman relay F3-1 dan relay F-3 telah bekerja dengan benar. Hal ini terlihat pada gambar bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat pada bus

02-MC-201 6,9 kv relay F3-1 yang merupakan pengaman relay utama bekerja terlebih dahulu dikarenakan gangguan hubung singkat tersebut dekat dengan pengaman relay F3-1. Kemudian relay F-3 yang merupakan pengaman cadangan bekerja setelah pengaman utama relay F3-1 bekerja. Hal ini pun ditunjukkan dengan koordinasi yang baik yang dapat dilihat pada gambar kurva koordinasi dari kedua relay.



Gambar 26. Kurva Koordinasi Relay F3-1 Dan Relay F-3 Resetting

Gambar merupakan gambar kurva koordinasi dari relay F3-1 dan relay F-3 yang telah mengalami perbaikan. Dan hasilnya ialah relay bekerja dengan

baik dan koordinasi dari kedua relay F3-1 dan relay F-3 pun baik. Ini ditunjukkan pada gambar yang mana pada gambar kurva koordinasi dapat terlihat terdapa 2 kurva relay, yang berwarna hijau ialah kurva dari relay F3-1 yang merupakan relay pengaman utama. Sedangkan kurva berwarna biru ialah kurva dari relay F-3. Dari kedua kurva tidak saling berpotongan atau pun bersinggungan dan tumpang tindih seperti pada sebelumnya (Gambar Kurva Koordinasi Proteksi Relay F3-1 Dan Relay F-3 Eksisting 2).

