

ANALISA KOORDINASI RELE ARUS LEBIH UNTUK PENAMBAHAN MOTOR BOILER CIRCULATING PUMP (BCP) 520 KW / 3 kV UNTUK KONTINUITAS SUPLAI SIRKULASI AIR PADA BOILER MENGGUNAKAN ETAP 12.6.0

Muhammad Ikhsan Fadhi¹, Muhamad Haddin², Agus Adhi Nugroho³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Universitas Islam Sultan Agung

^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Universitas Islam Sultan Agung

Jln Raya Kaligawe KM 4, Semarang Jawa Tengah Telp (024) 6583584, Fax (024) 62582455

email : ikhsan.bolets@gmail.com

***Abstrak** - Penelitian ini membahas tentang koordinasi rele arus lebih untuk penambahan motor BCP 520 kW tegangan 3 kV pada Bus 3 kV Unit Board A. Hasil yang diharapkan adalah untuk meningkatkan keandalan unit. Jika terjadi trip pada salah satu BCP, maka BCP yang standby dapat segera bekerja menggantikan BCP yang trip. ETAP 12.6.0 digunakan untuk membantu perhitungan dan simulasi arus dan waktu rele. Parameter yang digunakan meliputi tegangan pada beban 3 kV, kapasitas motor BCP 520 kW dengan faktor daya 83% dan efisiensi 88%, rasio trafo arus 200/5 A, karakter OCR Standar Invers.*

Hasil menunjukkan bahwa diketahui adanya overlapping koordinasi rele pada motor feeder BCP A dengan Incoming 3 kV Unit Board A. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan penyetelan ulang TMS sebesar 0,4 dengan Top 0,8 detik dan Iset 4,5 A pada sisi Incoming 3 kV Unit Board A, dan penyetelan ulang Iset sebesar 3,5 A dengan TMS sebesar 0,32 dan Top 0,5 detik pada rele BCP A. Sedangkan pada BCP C diperoleh hasil perhitungan Isc 3 fasa 10,5371 A, Iset primer 132,63 A dan Iset sekunder 3,32 A, dengan Time Dial 0,32 dan Top 0,5 detik

***Kata kunci** : Boiler Circulating Pump, derating, koordinasi rele arus lebih.*

PENDAHULUAN

1.1. Pendahuluan

Boiler Circulating Pump (BCP) merupakan suatu komponen yang sangat penting untuk menunjang keandalan pengoperasian pada PLTU Tanjung Jati B Unit 3&4. Berfungsi untuk mensirkulasikan air hasil pemisahan dengan uap dari Steamdrum yg kemudian disalurkan menuju Economizer melalui Waterwall untuk dipanaskan ulang sehingga menjadi uap kembali. Saat ini terdapat 2 unit BCP pada masing-masing Boiler yaitu BCP A dan BCP B. Ketika normal operasi BCP A dan BCP B dijalankan bersama. Jika terjadi kegagalan *running* atau *trip* pada salah satu BCP seperti yang terjadi pada BCP A Unit 4 PLTU Tanjung Jati B yang mengalami kerusakan pada sisi stator motor mengakibatkan sirkulasi air tidak dapat berjalan dengan lancar, tekanan dan aliran air untuk proses operasi tidak terpenuhi menyebabkan unit menjadi *runback* 50% (330 MW Nett) sehingga daya yang dihasilkan pembangkit tidak bisa optimal 100% (660 MW Nett) dan mengakibatkan unit menjadi derating dalam jangka waktu yang lama.

Penelitian ini *membahas* tentang koordinasi rele arus lebih untuk penambahan motor BCP 520 kW tegangan 3 kV pada Bus 3 kV Unit Board A. Hasil yang diharapkan adalah untuk meningkatkan keandalan unit. Jika terjadi trip pada salah satu BCP, maka BCP yang *standby* dapat segera bekerja menggantikan BCP yang *trip* dengan cepat. Sehingga waktu *derating* menjadi lebih singkat.

ETAP 12.6.0 digunakan untuk membantu perhitungan dan simulasi arus dan waktu rele. Parameter yang digunakan meliputi tegangan pada beban 3 kV, kapasitas motor BCP 520 kW dengan *faktor* daya 83% dan efisiensi 88%, rasio trafo arus 200/5 A, karakter OCR Standar Invers.

Berdasarkan uraian tersebut, maka tugas akhir ini membahas tentang analisa koordinasi rele arus lebih untuk penambahan motor Boiler *Circulating Pump* (BCP) 520 kW / 3 kV untuk kontinuitas suplai sirkulasi air pada Boiler menggunakan ETAP 12.6.0.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang dikemukakan maka perumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah :

1. Apakah kapasitas Trafo *3kV Unit Board* mampu untuk dilakukan penambahan motor BCP C 520 kW / 3 kV sebagai *back up* motor BCP A dan BCP B pada penyulang Bus *3 kV Unit Board A*?
2. Bagaimana menentukan konfigurasi rele arus lebih yang sesuai sebagai proteksi dan koordinasi untuk penambahan motor BCP C 520 kW pada Bus *3 kV Unit Board A*?

1.3. Batasan Masalah

Untuk memperjelas bahasan perlu adanya pembatasan masalah. Adapun batasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tempat pengambilan data di PLTU Tanjung Jati B Unit 3&4 Jepara
2. Hanya membahas arus hubung singkat 3 fasa pada motor sisi penyulang Bus 3 kV Unit Board A.
3. Hanya membahas koordinasi rele arus lebih untuk penambahan motor BCP C 520 kW pada sisi penyulang Bus 3

listrik terdiri dari dua bagian yang sangat penting yaitu stator atau bagian yang diam dan Rotor atau bagian berputar. Pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik secara langsung, tetapi secara induksi.

Penggunaan motor induksi yang banyak dipakai di kalangan industri mempunyai keuntungan sebagai berikut:

1. Bentuknya yang sederhana dan memiliki konstruksi yang kuat dan hampir tidak pernah mengalami kerusakan yang berarti.
2. Harga relatif murah dan dapat diandalkan.
3. Efisiensi tinggi pada keadaan berputar normal, tidak memerlukan sikat sehingga rugi-rugi daya yang diakibatkannya dari gesekan dapat dikurangi.
4. Perawatan waktu mulai beroperasi tidak memerlukan starting tambahan khusus dan tidak harus sinkron.

Namun disamping hal tersebut diatas, terdapat pula faktor-faktor kerugian yang tidak menguntungkan dari motor induksi yaitu sebagai berikut:

1. Pengaturan kecepatan dari motor induksi sangat mempengaruhi efisiensinya.
2. Kecepatan motor induksi akan menurun seiring dengan bertambahnya beban, tidak seperti motor DC atau motor shunt.
3. Kopel awal mutunya rendah dibandingkan dengan motor DC shunt.

2.4. Arus Nominal atau Arus Beban Penuh

Penghitungan arus beban penuh ini bergantung pada besaran nilai beban yang terpasang pada suatu instalasi listrik. Untuk mengetahuinya dapat dilakukan dengan dua cara sebagai berikut :

1. Daya Semu Untuk 3 Fasa [2]

$$S = \sqrt{3}.V.I \quad (2.2)$$

dengan :

S = Daya Semu Beban (VA)

V = Tegangan Beban (V)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

2. Daya Aktif Untuk 3 Fasa [2]

$$P = \sqrt{3}.V.I.Cos \emptyset \quad (2.3)$$

dengan :

P = Daya Aktif Beban (W)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

V = Tegangan Beban (V)

$Cos \emptyset$ = Faktor Daya Motor

2.5. Gangguan Arus Lebih Atau Hubung Singkat

Ketidaknormalan dalam sistem tenaga yang mengakibatkan mengalirnya alur tidak normal dalam sistem tiga fasa merupakan definisi dari gangguan. Definisi lain dari gangguan adalah semua ketidaknormalan/ kecacatan yang mengganggu aliran arus normal ke beban. Arus yang mengalir pada penghantar tidak boleh melebihi pengaturan maksimum arus yang melalui pemutus tenaga serta tidak melebihi kemampuan hantar dari suatu konduktor penghantar.

Adapun tujuan dari analisa gangguan adalah sebagai berikut:

- Untuk mengetahui kapasitas maksimum dari pemutus tenaga.
- Untuk menyelidiki unjuk kerja dari suatu rele proteksi
- Untuk mengetahui distribusi arus gangguan dan tingkat tegangan sistem pada saat terjadi gangguan.

2.6. Menentukan Nilai Gangguan Hubung Singkat

Berikut ini merupakan langkah perhitungan untuk menentukan besar gangguan hubung singkat antara lain:

2.6.1. Menentukan Impedansi Sumber

1. Menghitung impedansi sumber

Bila nilai impedansi sumber diketahui dalam satuan (Ω), maka impedansi sumber dalam satuan per unit dapat dihitung dengan menentukan base sumber terlebih dahulu, secara matematis dapat dihitung dengan persamaan [3]:

$$\text{Impedansi } Z_{S1} = \frac{kV^2}{MVA_{sc}} \quad (2.4)$$

Untuk sisi sekunder trafo maka:

$$Z_{S2} = \frac{KV_2^2}{KV_1^2} \times Z_{s1} \quad (2.5)$$

dengan :

Z_{S1} = Impedansi sumber lama (Ω)

Z_{S2} = Impedansi sumber baru (Ω)

KV_2^2 = Tegangan dekat sumber (kV)

KV_1^2 = Tegangan dekat trafo (kV)

KV^2 = Tegangan dasar (kV)

MVA_{sc} = MVA hubung singkat 3 fasa (MVA)

2. Menghitung impedansi pada transformator tenaga di gardu induk

Nilai impedansi pada transformator dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan [3]:

$$Z_{IT} = Z_{2T} = j \frac{kV^2}{MVA \text{ trafo}} \times X \text{ (pu) trafo}$$

$$= j \frac{kV^2}{MVA \text{ trafo}} \times \frac{X \text{ (%) trafo}}{100 \%}$$
(2.6)

dengan :

Z_{1T} = impedansi urutan positif transformator (Ω)

Z_{2T} = impedansi urutan negatif transformator (Ω)

X = impedansi *trafo* (pu)

$X \text{ (%)}$ = $X \text{ (pu)} \times 100\%$

3. Menghitung impedansi saluran

Impedansi saluran tergantung pada luas penampang kabel yang digunakan, panjang saluran, dan bahan yang digunakan.

Impedansi urutan positif dan negatif pada penyulang dalam analisis hubung singkat mempunyai nilai yang sama besar $Z_{1L} = Z_{2L}$. Secara umum impedansi pada penyulang dapat dihitung dengan rumus:

$$Z_L = \text{Panjang saluran} \times Z \text{ per km}$$
(2.7)

Jika nilai impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang telah di dapat, maka setiap nilai impedansi urutan dijumlahkan untuk mendapatkan impedansi ekuivalen urutan.

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{1S} + Z_{1T} + Z_{1L}$$
(2.8)

Sedangkan untuk impedansi ekuivalen urutan nol perlu dipertimbangkan besarnya tahanan pentanahan (R_n), sehingga didapat:

$$Z_{0eq} = Z_{0S} + Z_{0T} + 3R_n + Z_{0L}$$
(2.9)

2.6.2. Sistem Per Unit

Satuan perunit merupakan sistem penskalaan untuk mempermudah kalkulasi dari setiap harga didefinisikan sebagai nilai sebenarnya yang ada dari besaran tersebut dibagi dengan nilai dasar (nilai *base*) yang dipilih. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut[3]:

Sistem per unit (pu) =

$$\frac{\text{Nilai sebenarnya terhadap besaran yang di tinjau}}{\text{nilai dasar (base)besaran yang di pilih}}$$
(2.10)

keterangan:

$$\text{Base arus} \quad (I_{base}) = \frac{KVA \text{ base}}{\sqrt{3} \times KV \text{ base}}$$
(2.11)

$$\text{Base impedansi} \quad (Z_{base}) = \frac{V \text{ base}/\sqrt{3}}{I \text{ base}}$$
(2.12)

2.6.3. Arus Gangguan Hubung Singkat

Gangguan arus hubung singkat dapat dicari dengan persamaan dibawah ini [3]:

Persamaan arus hubung singkat 3 fasa:

$$I_f = I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_f}$$
(2.13)

Persamaan arus hubung singkat 2 fasa:

$$I_f = \sqrt{3}I_{a1} = \frac{\sqrt{3}E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f}$$
(2.14)

Persamaan arus hubung singkat 2 fasa dengan tanah:

$$I_f = 3I_{a0} = 3\left(-\left(\frac{E_a - Z_{1,1}I_{a1}}{Z_0}\right)\right)$$
(2.15)

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + \frac{Z_2(Z_0 + 3Z_f)}{Z_2 + Z_0 + 3Z_f}}$$

Persamaan arus hubung singkat 1 fasa dengan tanah:

$$I_f = 3I_{a0} = \frac{3E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$
(2.16)

2.7. Rele Arus Lebih / Over Current Relay (OCR)

Rele arus lebih atau OCR adalah rele yang melindungi sistem dari gangguan arus lebih dimana waktu kerjanya tergantung dari arus gangguan dan waktu. Rele ini akan memberikan perintah kepada PMT (pemutus tenaga) pada saat terjadi gangguan bila besar gangguannya melampaui arus penyetelannya berdasarkan perbandingan arus setting pada rele terhadap arus primer pada jaringan. Jika arus primer lebih kecil dari arus setting maka rele tidak akan bekerja. Sebaliknya bila arus primer melebihi arus setting maka rele akan bekerja/ beroperasi.

2.8. Menentukan Nilai Pickup Lowset Rele

Dari standart IEC *range* penyetelan I_{set} adalah 1.05-1.3 kali arus nominal. Mengacu dari standart tersebut maka perhitungannya dapat di lihat pada persamaan berikut[2]:

$$I_{set\ primer} = 1,1 \times I_{nominal} \quad (2.17)$$

$$I_{set\ sekunder} = I_{set\ primer} \times rCT \quad (2.18)$$

dengan:

$I_{set\ primer}$ = Arus *Pickup Lowset* Primer (A)

$I_{set\ sekunder}$ = Arus *Pickup Lowset* Sekunder (A)

$I_{nominal}$ = Arus Beban Penuh (A)

rCT = *ratio Current Transformer*

2.9. Rancangan Setting Rele Arus Lebih Menggunakan Standar IEC 60255

Menurut standar IEC (*International Electric Commition*) untuk menentukan waktu kerja relay dapat ditunjukkan pada persamaan- persamaan berikut ini.

1. *Standar Inverse*

$$t = \frac{0,14}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^{0,02} - 1} \times TMS \quad (2.19)$$

2. *Very Inverse*

$$t = \frac{13,2}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right] - 1} \times TMS \quad (2.20)$$

3. *Extremely Inverse*

$$t = \frac{80}{\left[\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right]^2 - 1} \times TMS \quad (2.21)$$

dengan ;

t = waktu kerja *relay* (detik)

I_{hs} = arus hubung singkat (ampere)

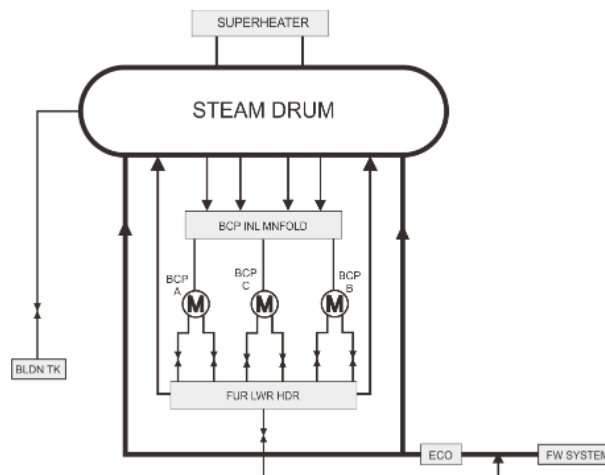
I_{set} = arus setelan *relay* (ampere)

TMS = *Time Multiple Setting* (karakteristik kerja rele yang diinginkan sesuai dengan hasil perhitungan).

II. METODE PENELITIAN

3.1. Model Penelitian

Pokok bahasan dalam tugas akhir ini adalah koordinasi proteksi arus lebih untuk penambahan motor BCP C dengan daya 520 kW pada penyulang 3 kV Unit Board A serta perhitungan setting rele arus lebih. Sebagaimana telah di jabarkan pada bab terdahulu.. Untuk itu diperlukan penambahan motor BCP C sebagaimana dijelaskan pada Gambar 3.1



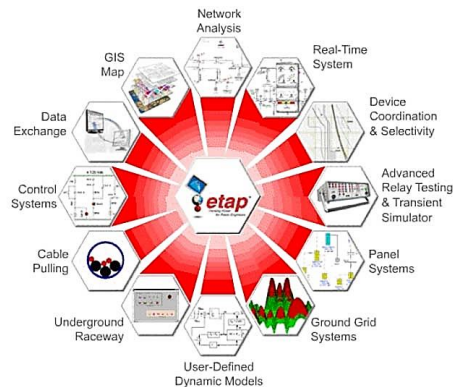
Gambar 3.1 Penambahan motor BCP C

Pada saat terjadi gangguan pada pada BCP A atau BCP B, maka secara langsung BCP C auto start untuk melakukan *backup*. Dengan begitu sirkulasi air pada Boiler akan tetap terjaga dan unit tidak mengalami *derating*.

3.2. Electric Transient and Analysis Program (ETAP)

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) adalah piranti analisis untuk mendesain dan mengujicoba sistem tenaga listrik secara komperehensif. Dengan menggunakan standars offline simulation module, ETAP dapat digunakan sebagai pengolah data real time suatu rangkaian utilitas untuk memonitor, simulasi keadaan sebenarnya, optimasi, sistem manajemen energi dan sistem pelimpahan beban[5].

ETAP didesain dan dikembangkan untuk memudahkan dalam membuat dan mengedit secara grafik serta menangani berbagai disiplin sistem tenaga pada industri secara menyeluruh dalam satu paket terintegrasi dengan berbagai tampilan antarmuka seperti jaringan AC dan DC dalam bentuk single line diagram, SLD, pembentangan kabel jaringan bawah tanah dan three-dimensional cable system, USG, goeographic information system, GIS, panel, arc-flash, WTG, koordinasi dan pemilihan alat proteksi serta penggambaran plot, dan diagram sistem kontrol AC dan DC.



Gambar 3.2 Fungsi ETAP

3.3. Data Penelitian

Dalam melakukan perhitungan dan analisa, maka komponen yang penting sehingga diperoleh hasil yang seakurat mungkin mendekati kondisi nyata, sehingga mampu dan layak untuk diterapkan, maka kelengkapan data merupakan salah satu syarat utama yang harus dipenuhi.

Tabel 3.1 Data beban terpasang pada Trafo 3 kV Unit Board A

No	Peralatan	Volt (V)	Kapasitas	PF.	EF.
1	INCOMING	3k	2000 A		
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A	3k	185 kW	0.690	0.940
3	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A	3k	540 kW	0.870	0.960
4	RO HIGH PRESSURE PUMP A ONLOAD DISCONNECTOR	3k	850 kVA		0.980
5	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A	3k	520 kW	0.830	0.880
6	COAL PULVERIZER A	3k	800 kW	0.810	0.960
7	COAL PULVERIZER B	3k	800 kW	0.810	0.960
8	COAL PULVERIZER C	3k	800 kW	0.810	0.960
9	AIR COMPRESSOR A	3k	400 kW	0.830	0.950

Tabel 3.2 Data beban terpasang pada Trafo 3 kV Unit Board B

No.	Peralatan	Volt (V)	Kapasitas	PF	EF
1	INCOMING	3k	2000 A		
2	SEAWATER BOOSTER PUMP B	3k	185 kW	0.690	0.940
3	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP B	3k	540 kW	0.870	0.960
4	RO HIGH PRESSURE PUMP B ONLOAD DISCONNECTOR	3k	850 kVA		0.980
5	ELECTRIC PUMP CONTROL	3k	315 kW	0.860	0.950
6	BOILER WATER CIRCULATION PUMP B	3k	520 kW	0.830	0.880
7	COAL PULVERIZER D	3k	800 kW	0.810	0.960
8	COAL PULVERIZER E	3k	800 kW	0.810	0.960
9	COAL PULVERIZER F	3k	800 kW	0.810	0.960
10	AIR COMPRESSOR B	3k	400 kW	0.830	0.950

Tabel 3.3 Data kabel NA2XSEYFGbY 120 mm² Dari Trafo 3 kV Unit Board A dan Trafo 3kV Unit Board B

No	Ke	Panjang (m)	Z ₁ , Z ₂ (ohm/km)		Z ₀ (ohm/km)	
			R	jX	R	jX
1	INCOMING A/B					
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A/B	115 / 118	0,153	0,089	0,3116	0,236
3	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A/B	95 / 91	0,153	0,089	0,3116	0,236
4	RO HIGH PRESSURE PUMP A/B ONLOAD DISCONNECTOR	587 / 592	0,153	0,089	0,3116	0,236
5	FIRE FIGHTING PUMP	850	0,153	0,089	0,3116	0,236
6	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A	172 / 182	0,153	0,089	0,3116	0,236
7	COAL PULVERIZER A/D	131 / 140	0,153	0,089	0,3116	0,236
8	COAL PULVERIZER B/E	131 / 140	0,153	0,089	0,3116	0,236
9	COAL PULVERIZER C/F	131 / 129	0,153	0,089	0,3116	0,236
10	AIR COMPRESSOR A/B	59 / 49	0,153	0,089	0,3116	0,236

Tabel 3.4 Data sumber penyulang 10kV Unit Board A dan 10kV Unit Board B

No.	Deskripsi	Keterangan
1	Tegangan	22,8/10,5 kV
2	Impedansi	12,5 %
3	Kapasitas	54 MVA
4	Arus Nominal	2969,2 A
5	Hubung Singkat 3 Fasa	23.754 A
6	Arus Rata-rata Bus 10kv	3150 A

Tabel 3.5 Data Trafo 3 kV Unit Board A dan Trafo 3 kV Unit Board B

No	Deskripsi	Keterangan
1	Form	Cast - resin dry type
2	Standard	IEC60076-11 (2004)
3	Installation	Indoor
4	Phase	3
5	Rated Power (MVA)	6.0 (AN) / 9.0 (AF)
6	Cooling Methode	AN / AF
7	Frequency (Hz)	50
8	Primary Voltage (kV)	10
9	HV tappings (%)	+2*2,5 , -2*2,5
10	Secondary Voltage (kV)	3,15
11	Impedance HV-LV1 (%)	12.0 (at 9,0MVA)
12	AN Current Primary (A)	346
13	AN Current Secondary (A)	1100
14	AF Current Primary (A)	520
15	AF Current Secondary (A)	1650
16	X/R Ratio of The Impedance	12/0,5

Tabel 3.6 Data Trafo Arus / CT

No	Deskripsi CT	CT Rasio	Kelas Ketelitian	Rating (VA)
1	INCOMING BUS 3 kV UNIT BOARD A/B	2000/5A	5P10	10
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A/B	75/5A	5P10	5
3	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A/B	200/5A	5P10	10
4	RO HIGH PRESSURE PUMP A/B ONLOAD DISCONNECTOR	300/5A	5P10	10
5	FIRE FIGHTING PUMP	150/5A	5P10	10
6	BOILER WATER CIRCULATION	200/5A	5P10	10

	<i>PUMP A/B</i>			
7	<i>COAL PULVERIZER A/D</i>	300/5A	5P10	10
8	<i>COAL PULVERIZER B/E</i>	300/5A	5P10	10
9	<i>COAL PULVERIZER C/F</i>	300/5A	5P10	10
10	<i>AIR COMPRESSOR A/B</i>	300/5A	5P10	10

Tabel 3.7 Data *Setting* Rele 3 kV Unit Board A dan 3 kV Unit Board B *Existing*

No	Peralatan	OCR		
		Karakter	Arus (A)	Time Dial
1	<i>INCOMING 3KV UNIT BOARD A</i>	EI	5	0,1
2	<i>BUS SECTION A</i>	EI	3,5	0,1
3	<i>SEAWATER BOOSTER PUMP A</i>	SI	4,5	0,3
4	<i>CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A</i>	SI	3,5	0,7
5	<i>RO HIGH PRESSURE PUMP A/B ONLOAD DISCONNECTOR</i>	EI	6,5	2
6	<i>BOILER WATER CIRCULATION PUMP A</i>	SI	5,5	0,5
7	<i>BOILER WATER CIRCULATION PUMP C</i>	SI	5,5	0,5
8	<i>COAL PULVERIZER A</i>	SI	4	1
9	<i>COAL PULVERIZER B</i>	SI	4	1
10	<i>COAL PULVERIZER C</i>	SI	4	1
11	<i>AIR COMPRESSOR A</i>	SI	4	0,6
12	<i>INCOMING 3KV UNIT BOARD B</i>	EI	5	0,1
13	<i>BUS SECTION B</i>	EI	3,5	0,1
14	<i>SEAWATER BOOSTER PUMP B</i>	SI	4,5	0,3
15	<i>CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP B</i>	SI	3,5	0,7
No	Peralatan	OCR		
		Karakter	Arus (A)	Time Dial
16	<i>RO HIGH PRESSURE PUMP B ONLOAD DISCONNECTOR</i>	EI	6,5	2
17	<i>FIRE FIGHTING PUMP</i>	EI	10	2
18	<i>BOILER WATER CIRCULATION PUMP B</i>	SI	5,5	0,5
19	<i>COAL PULVERIZER D</i>	SI	4	1
20	<i>COAL PULVERIZER E</i>	SI	4	1
21	<i>COAL PULVERIZER F</i>	SI	4	1
22	<i>AIR COMPRESSOR B</i>	SI	4	0,6

3.4. Kapasitas Trafo 3 kV Unit Board A/B Berdasarkan Mode Pengoperasian Unit

Untuk mengetahui kemampuan daya trafo maka harus diketahui kapasitas rata-rata MVA pada trafo tersebut. Beban yang digunakan untuk perhitungan kapasitas pada masing-masing trafo dihitung berdasarkan mode pengoperasian pembangkit. Kebutuhan beban normal trafo, kebutuhan beban ketika starting, dan kebutuhan beban intermittern trafo dapat dilihat pada Pada Tabel 3.8, Tabel 3.9, Tabel 3.10.

Tabel 3.8 Kebutuhan Beban Normal pada Trafo 3 kV Unit Board A dan Trafo 3 kV Unit Board B

No	Peralatan	Kapasitas Beban Normal (kVA)	
		A	B
1	<i>SEAWATER BOOSTER PUMP A/B</i>	0	213
2	<i>CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A/B</i>	0	490
3	<i>RO HIGH PRESSURE PUMP A/B</i>	697	697
4	<i>FIRE FIGHTING PUMP</i>	-	0
5	<i>BOILER WATER CIRCULATION PUMP A/B</i>	474	474
6	<i>COAL PULVERIZER A/D</i>	844	844

7	COAL PULVERIZER B/E	844	844
8	COAL PULVERIZER C/F	844	844
9	AIR COMPRESSOR A/B	0	372
	SUB TOTAL	3703	4778

Tabel 3.9 Kebutuhan Beban Ketika *Starting* pada Trafo 3 kV Unit Board A dan Trafo 3 kV Unit Board B

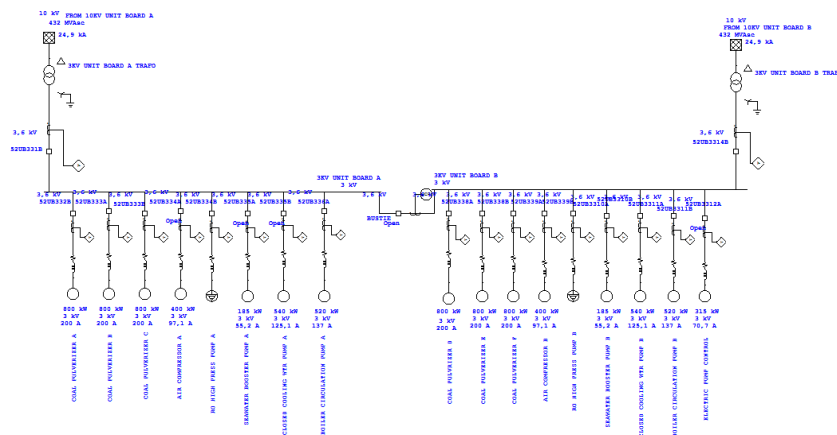
No	Peralatan	Kapasitas Beban <i>Starting</i> (kVA)	
		A	B
1	SEAWATER BOOSTER PUMP A/B	0	213
2	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A/B	0	490
3	RO HIGH PRESSURE PUMP A/B	697	697
4	FIRE FIGHTING PUMP	-	0
5	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A/B	612	612
6	COAL PULVERIZER A/D	938	0
7	COAL PULVERIZER B/E	938	0
8	COAL PULVERIZER C/F	938	0
9	AIR COMPRESSOR A/B	0	372
	SUB TOTAL	4123	2384

Tabel 3.10 Kebutuhan Beban *Intermitten* pada Trafo 3 kV Unit Board A dan Trafo 3 kV Unit Board B

No	Peralatan	Kapasitas Beban <i>Intermitten</i> (kVA)	
		A	B
1	SEAWATER BOOSTER PUMP A/B	0	0
2	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A/B	0	0
3	RO HIGH PRESSURE PUMP A/B	0	0
No	Peralatan	Kapasitas Beban <i>Intermitten</i> (kVA)	
		A	B
4	FIRE FIGHTING PUMP	-	0
5	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A/B	0	0
6	COAL PULVERIZER A/D	0	0
7	COAL PULVERIZER B/E	0	0
8	COAL PULVERIZER C/F	0	0
9	AIR COMPRESSOR A/B	0	0
	SUB TOTAL	0	0

3.5. Single Line Diagram

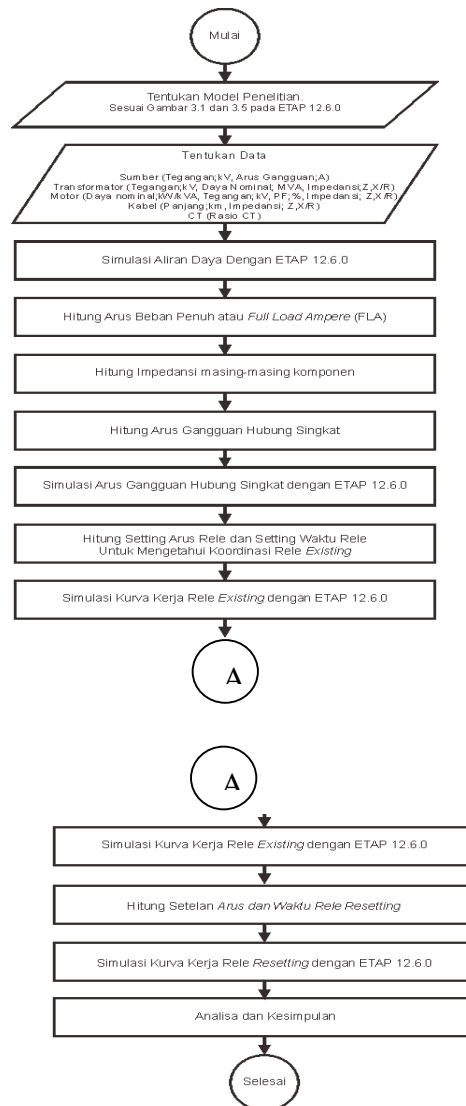
Single Line Diagram digunakan untuk mengetahui alur pembebanan pada masing-masing Bus.



Gambar 3.3 Single Line Diagram Existing 3 kV Unit Board A dan 3 kV Unit Board B

3.6. Diagram Alir / Flowchart

Ilustrasi dan urutan yang digunakan dalam perhitungan serta analisis ditunjukkan Gambar 3.4 sebagai berikut:



Gambar 3.4 Diagram Alir Koordinasi Rele Arus Lebih

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Menghitung Kapasitas Trafo 3 kV Unit Board A dan 3 kV Unit Board B Berdasarkan Mode Pengoperasian Unit Setelah Penambahan Motor BCP C

Untuk mengetahui kemampuan daya trafo setelah terjadi penambahan motor BCP C maka harus diketahui kapasitas rata-rata MVA pada trafo tersebut. Beban yang digunakan untuk perhitungan kapasitas pada masing-masing trafo dihitung berdasarkan mode pengoperasian pembangkit pada Tabel 3.8, Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 dan menggunakan Persamaan (2.1). Permintaan beban sesuai mode operasi pembangkit setelah penambahan BCP C dapat dikalkulasikan sebagai berikut :

- 1) kebutuhan beban normal setelah penambahan BCP C.
 (Kapasitas beban Bus A + BCP C) + Kapasitas Beban Bus B
 $(3703 + 474) + 4778 = 8955 \text{ kVA}$
- 2) Kebutuhan beban *starting* setelah penambahan BCP C

(Kapasitas beban Bus A + Beban BCP C) + Kapasitas Beban Bus B
 $(4123 + 612) + 2384 = 7119 \text{ kVA}$

- 3) Kebutuhan Beban *Intermittent* setelah penambahan BCP C
 (Kapasitas beban Bus A + Beban BCP C) + Kapasitas Beban Bus B
 $(0 + 0) + 0 = 0 \text{ kVA}$

Dari perhitungan diatas dapat diketahui bahwa kapasitas kebutuhan beban normal setelah penambahan motor BCP C lebih besar dari kebutuhan beban starting setelah penambahan BCP C, $8955 \text{ kVA} > 7119 \text{ kVA}$. Sehingga kapasitas yang terbesar yang digunakan untuk perhitungan.

Maka,
 $8955 \text{ kVA} + (0 \text{ kVA} \times 50\%) = 8955 \text{ kVA}$

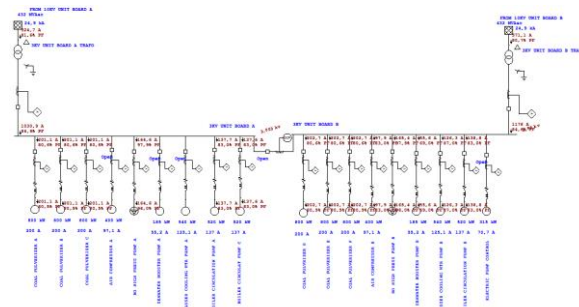
Sehingga dengan adanya penambahan motor BCP C dalam mode pengoperasian unit seperti pada Tabel 4.1 dengan kapasitas trafo sebesar 9000 kVA masih mampu mensuplai kebutuhan beban pada 3 kV Unit Board A dan 3 kV Unit Board B.

Tabel 4.1 Kebutuhan Beban pada Trafo 3 kV Unit Board A dan Trafo 3 kV Unit Board B setelah penambahan Motor BCP C

No	Peralatan	Kapasitas Beban Normal (kVA)		Kapasitas Beban Starting (kVA)		Kapasitas Beban Intermitten (kVA)	
		Board A	Board B	Board A	Board B	Board A	Board B
1	SEAWATER BOOSTER PUMP A/B	0	213	0	213	0	0
2	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A/B	0	490	0	490	0	0
3	RO HIGH PRESSURE PUMP A/B ONLOAD DISCONNECTOR	697	697	697	697	0	0
4	FIRE FIGHTING PUMP	-	0	-	0	-	0
5	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A/B	474	474	612	612	0	0
6	BOILER WATER CIRCULATION PUMP C	474	-	612	-	0	-
7	COAL PULVERIZER A/D	844	844	938	0	0	0
8	COAL PULVERIZER B/E	844	844	938	0	0	0
9	COAL PULVERIZER C/F	844	844	938	0	0	0
10	AIR COMPRESSOR A/B	0	372	0	372	0	0
	SUB TOTAL	4177	4778	4735	2384	0	0

4.2. Simulasi Aliran Daya

Dari hasil simulasi aliran daya menggunakan ETAP 12.6.0 didapat nilai arus yang mengalir melewati saluran trafo 3 kV Unit Board A dan 3 kV Unit Board B seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Simulasi aliran daya menggunakan ETAP 12.6.0 dengan penambahan Motor BCP C pada 3 kV Unit Board A

Motor BCP C yang akan ditambahkan spesifikasinya sama dengan motor BCP A dan Motor BCP B yang sudah terpasang, yaitu daya 520 KW dengan suplai tegangan 3 kV, dengan proteksi *Over Current Relay* 51, CT Ratio 200/5A, Kelas kelititan 5P10, dengan kapasitas 10VA. Penambahan motor BCP C ditempatkan pada 3 kV Unit Board A dikarenakan 3 kV Unit Board A menanggung beban lebih sedikit dibanding dengan 3 kV Unit Board B

4.3. Arus Nominal atau Arus Beban Penuh (FLA)

Jika diperhatikan, pembebanan rata-rata tiap mesin listrik saat beroperasi normal adalah 60 ~ 90 % kapasitas. Dilihat dari segi desain, sisa kapasitas dapat digunakan sewaktu terjadi hal diluar kendali yang dapat ditoleransi pada mesin listrik. Misalnya rating *Boiler Circulating Pump* (BCP) A berkapasitas 520 kW dengan FLA 129,3 A. Dalam Table 4.2 besar arus dalam kondisi operasi normal adalah 88 A sehingga dengan demikian kapasitas yang terpakai

68,06 % dari kapasitas rating.

Tabel 4.2 Hasil simulasi arus pada masing-masing Existing Bus dan Load Demand berdasar Mode Pengoperasian Unit

No	Peralatan	FLA Simulasi (A)		Operating Current (A)		Load Demand (%)	
		Board A	Board B	Board A	Board B	Board A	Board B
1	INCOMING A/B	268,9	355	156,6	203,4	58,24	57,30
2	BUS SECTION A/B	853,7	1127	489	578	57,28	51,29
3	SEAWATER BOOSTER PUMP A/B	0	52,6	0	49,9	0,00	94,87
4	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A/B	0	119,4	0	106	0,00	88,78
5	RO HIGH PRESSURE PUMP A/B ONLOAD DISCONNECTOR	158,9	160,1	82	90,3	51,60	56,40
6	FIRE FIGHTING PUMP		0		0		0,00
7	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A/B	129,3	131	88	88	68,06	67,18
8	COAL PULVERIZER A/D	189	191,5	120	107	63,49	55,87
9	COAL PULVERIZER B/E	189	191,5	106	127	56,08	66,32
10	COAL PULVERIZER C/F	189	191,5	128	101	67,72	52,74
11	AIR COMPRESSOR A/B	0	92,6	0	48,9	0,00	52,81

Tabel 4.3 Hasil simulasi arus pada masing-masing Bus dan Load Demand Pengoperasian Unit setelah penambahan BCP C

No	Peralatan	FLA Simulasi (A)		Operating Current (A)		Load Demand (%)	
		Board A	Board B	Board A	Board B	Board A	Board B
1	INCOMING A/B	311,4	355	156,6	203,4	50,29	57,30
2	BUS SECTION A/B	988,7	1127	489	578	49,46	51,29
3	SEAWATER BOOSTER PUMP A/B	0	52,6	0	49,9	0,00	94,87
4	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A/B	0	119,4	0	106	0,00	88,78
5	RO HIGH PRESSURE PUMP A/B ONLOAD DISCONNECTOR	159,5	160,1	82	90,3	51,41	56,40
No	Peralatan	FLA Simulasi (A)		Operating Current (A)		Load Demand (%)	
		Board A	Board B	Board A	Board B	Board A	Board B
6	FIRE FIGHTING PUMP		0		0		0,00
7	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A/B	130,1	131	88	88	67,64	67,18
8	BOILER WATER CIRCULATION PUMP C	130,1		88		67,64	
9	COAL PULVERIZER A/D	190,2	191,5	120	107	63,09	55,87
10	COAL PULVERIZER B/E	190,2	191,5	106	127	55,73	66,32
11	COAL PULVERIZER C/F	190,2	191,5	128	101	67,30	52,74
12	AIR COMPRESSOR A/B	0	92,6	0	48,9	0,00	52,81

Pada Tabel 4.3 menunjukkan nilai arus yang melewati masing-masing Bus. Nilai arus operating pada feeder BCP C direpresentasikan berdasarkan data BCP A dan BCP B yang diambil dari DCS System. Dan arus yang melewati BUS SECTION 3 kV Unit Board A setelah ditambahkan motor BCP C adalah 988,7 A dan BUS SECTION 3 kV Unit Board B adalah 1127 A.

4.4. Perhitungan Arus Nominal atau Arus Beban Penuh (FLA) Manual

Pada Bus 3 kV Unit Board A dan Bus 3 kV Unit Board B terdapat beberapa beban motor yang bersifat dinamis dan beban lainnya yang bersifat static sehingga terdapat dua cara untuk menghitung nilai arus nominal dari beban yang terpasang. Berikut adalah contoh perhitungan seperti pada Persamaan (2.2) dan Persamaan (2.3):

1. Diketahui Daya Semu Beban

$$I_{\text{nominal}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{850}{1,732 \cdot 3} = 163,59 \text{ A}$$

Jadi arus nominal RO High Press Pump sebesar 163,59 A

2. Diketahui Daya Aktif Beban

$$I_{\text{nominal BCP A}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_{\text{ef}} \cdot \text{pf}} = \frac{520}{1,732 \cdot 3 \cdot 0,83} = 120,57 \text{ A}$$

Jadi arus nominal BCP A sebesar 120,57 A

Untuk perhitungan beban lainnya dapat menggunakan cara yang sama seperti diatas, hasil perhitungan arus nominal untuk setiap beban pada Bus 3 kV Unit Board A dan Bus 3 kV Unit Board B dapat dilihat pada Tabel 4.4. Untuk motor BCP C karena parameternya sama dengan BCP A, maka arus nominalnya juga sama yaitu sebesar 120,57 A. Nilai arus tersebut yang nantinya akan digunakan untuk menentukan perhitungan setting rele.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Arus Nominal atau Arus Beban Penuh Manual

No	Peralatan	Daya	Tegangan (kV)	FLA (A)
1	INCOMING 3 kV UNIT BOARD A	9000 kVA	3	1.649,62
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A	185 KW	3	51,60
3	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A	540 KW	3	119,46
4	RO HIGH PRESSURE PUMP A/B ONLOAD DISCONNECTOR	850 KVA	3	163,59
5	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A	520 KW	3	120,57
6	BOILER WATER CIRCULATION PUMP C	520 KW	3	120,57
7	COAL PULVERIZER A	800 KW	3	190,08
8	COAL PULVERIZER B	800 KW	3	190,08
9	COAL PULVERIZER C	800 KW	3	190,08
10	AIR COMPRESSOR A	400 KW	3	92,75
11	INCOMING 3 kV UNIT BOARD B	9000 kVA	3	1.649,62
12	SEAWATER BOOSTER PUMP B	185 KW	3	51,60
13	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP B	540 KW	3	119,46
14	RO HIGH PRESSURE PUMP B ONLOAD DISCONNECTOR	850 KVA	3	163,59
15	FIRE FIGHTING PUMP	315 KW	3	70,49
16	BOILER WATER CIRCULATION PUMP B	520 KW	3	120,57
17	COAL PULVERIZER D	800 KW	3	190,08
18	COAL PULVERIZER E	800 KW	3	190,08
19	COAL PULVERIZER F	800 KW	3	190,08
20	AIR COMPRESSOR B	400 KW	3	92,75

4.5. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Langkah perhitungan untuk mencari arus gangguan hubung singkat pada Trafo 3 kV Unit Board A dan Trafo 3 kV Unit Board B, 9 MVA antara lain:

4.5.1. Menghitung Impedansi Penyulang

Dengan menggunakan Persamaan (2.7) dan data Tabel 3.3 sampai Tabel 3.7 dapat dihitung nilai impedansi total pada saluran. Berikut ini adalah contoh perhitungan impedansi pada Bus *Boiler Circulating Water Pump A*:

$$\begin{aligned} Z_{1L} &= Z_{2L} \text{ (NA2XSEYFGbY 120 mm}^2\text{)} \\ &= (R_1 + j X_1) \times \text{jarak bus} \\ &= (0,153 + j 0,089) \times 0,172 \text{ km} \\ &= 0,02632 + j 0,01531 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{0L} &= Z_{0L} \text{ (NA2XSEYFGbY 120 mm}^2\text{)} \\ &= (R_0 + j X_0) \times \text{jarak bus} \\ &= (0,3116 + j 0,236) \times 0,172 \text{ km} \\ &= 0,05360 + j 0,04066 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Dengan demikian nilai impedansi di tentukan dengan rumus:

$$\begin{aligned} Z_{1L} &= Z_{2L} = (R_1 + j X_1) \times \text{jarak bus} \\ Z_{0L} &= (R_0 + j X_0) \times \text{jarak bus} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka didapat besar impedansi saluran dari panjang masing-masing Bus saluran Trafo 3 kV Unit Board A dan 3 kV Unit Board B menuju beban. Hasil perhitungan impedansi saluran seluruh saluran dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan impedansi saluran masing-masing bus urutan positif, negative, dan nol.

No	Ke Peralatan	Panjang (Km)	$Z_1 = Z_2$		Z_0	
			R (ohm)	X (ohm)	R (ohm)	X (ohm)
1	Bus Section A	0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	Seawater Booster Pump A	0,115	0,01760	0,01024	0,03583	0,02719
3	Closed Cycle Cooling Water Pump A	0,095	0,01454	0,00846	0,02960	0,02246
4	Ro High Pressure Pump A/B Onload Disconnecter	0,587	0,08981	0,05224	0,18291	0,13877
5	Boiler Water Circulation Pump A	0,172	0,02632	0,01531	0,05360	0,04066
6	Boiler Water Circulation Pump C	0,172	0,02632	0,01531	0,05360	0,04066
7	Coal Pulverizer A	0,131	0,02004	0,01166	0,04082	0,03097
8	Coal Pulverizer B	0,131	0,02004	0,01166	0,04082	0,03097
9	Coal Pulverizer C	0,131	0,02004	0,01166	0,04082	0,03097
10	Air Compressor A	0,059	0,00903	0,00525	0,01838	0,01395
11	Bus Section B	0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
12	Seawater Booster Pump B	0,118	0,01805	0,01050	0,03677	0,02790
13	Closed Cycle Cooling Water Pump B	0,091	0,01392	0,00810	0,02836	0,02151
14	Ro High Pressure Pump B Onload Disconnecter	0,592	0,09058	0,05269	0,18447	0,13995
15	Fire Fighting Pump	0,85	0,13005	0,07565	0,26486	0,20094
16	Boiler Water Circulation Pump B	0,182	0,02785	0,01620	0,05671	0,04302
17	Coal Pulverizer D	0,14	0,02142	0,01246	0,04362	0,03310
18	Coal Pulverizer E	0,14	0,02142	0,01246	0,04362	0,03310
19	Coal Pulverizer F	0,129	0,01974	0,01148	0,04020	0,03050
20	Air Compressor B	0,049	0,00750	0,00436	0,01527	0,01158

Berdasarkan Tabel 4.5 menunjukkan hasil perhitungan impedansi saluran Trafo 3 kV Unit Board A dan 3 kV Unit Board B urutan positif, negative dan nol. Hasil perhitungan tersebut kemudian akan dikonversi menjadi satuan per unit (pu) sebelum dimasukkan dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat.

4.5.2. Menghitung Impedansi Jaringan dalam Satuan per Unit (pu)

Menghitung impedansi sumber dengan persamaan (2.4)

Pada sisi 10 kV, dengan kapasitas 54 MVA, Tegangan 22,8kV/10,5kV, %Z = 12,5% maka,

$$X_s = \frac{kV^2}{\frac{MVA}{10,5^2}} = 0,255208 \text{ j ohm}$$

Pada sisi 3,15 kV

$$X_s = \frac{3,15^2}{10,5^2} \times 0,255208 = 0,022969 \text{ j ohm}$$

Menghitung impedansi trafo dengan Persamaan (2.6)

$$X_T = j \frac{kV^2}{\frac{MVA \text{ trafo}}{9}} \times \% \text{ trafo} = \frac{3,15^2}{9} \times \frac{12}{100} = 0,1323 \text{ j ohm}$$

Menghitung I_{base} dan Z_{base} dengan Persamaan (2.11) dan Persamaan (2.12)

$$I_{base} = \frac{kVA_{base}}{\sqrt{3} \times kV_{base}} = \frac{9000}{\sqrt{3} \times 3,15} = 1649,6 \text{ Ampere}$$

$$Z_{base} = \frac{kV_{base} \div \sqrt{3}}{I_{base}} = \frac{3,15 \div \sqrt{3}}{1649,6} = 1,1025 \text{ ohm}$$

Sehingga didapat nilai R dan X dalam per unit (pu) di Bus *Boiler Circulating Pump* (BCP) A :

Untuk saluran pada Bus BCP A yaitu:

$$Z_{1L}=Z_{2L} = 0,02632 + j 0,01531$$

$$Z_{0L} = 0,05360 + j 0,04066$$

Urutan positif dan negative dengan Persamaan (2.8)

$$\begin{aligned} Z_{1eq} &= R_L + X_L + X_S + X_T \\ &= 0,02632 + j 0,01531 + j 0,022969 + j 0,1323 \\ &= 0,02632 + j 0,170579 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{pu} &= \frac{R}{Z_{base}} = \frac{0,02632}{1,1025} = 0,02387 \text{ pu} \\ X_{pu} &= \frac{X}{Z_{base}} = \frac{0,170579}{1,1025} = j 0,15472 \text{ pu} \end{aligned}$$

Urutan nol dengan Persamaan (2.9)

$$\begin{aligned} Z_{0eq} &= R_L + X_L + X_S + X_T \\ &= 0,05360 + j 0,04066 + j 0,022969 + j 0,1323 \\ &= 0,05360 + j 0,195929 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{pu} &= \frac{R}{Z_{base}} = \frac{0,05360}{1,1025} = 0,04861 \text{ pu} \\ X_{pu} &= \frac{X}{Z_{base}} = \frac{0,195929}{1,1025} = j 0,17771 \text{ pu} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka diperoleh besar impedansi jaringan Z1 , Z2 dan Z0 dalam satuan pu pada tiap bus saluran. Hasil dari perhitungan impedansi jaringan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Impedansi saluran masing-masing Bus urutan positif, negatif dan nol dalam satuan per unit.

No	Ke Peralatan	Panjang (Km)	Z ₁ = Z ₂		Z ₀	
			R (pu)	X (pu)	R (pu)	X (pu)
1	BUS SECTION A	0	0,00000	0,14083	0,00000	0,14083
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A	0,115	0,01596	0,15012	0,03250	0,16549
3	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A	0,095	0,01318	0,14850	0,02685	0,16120
4	RO HIGH PRESSURE PUMP A/B ONLOAD DISCONNECTOR	0,587	0,08146	0,18822	0,16590	0,26670
5	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A	0,172	0,02387	0,15472	0,04861	0,17771
6	BOILER WATER CIRCULATION PUMP C	0,172	0,02387	0,15472	0,04861	0,17771
7	COAL PULVERIZER A	0,131	0,01818	0,15141	0,03702	0,16892
8	COAL PULVERIZER B	0,131	0,01818	0,15141	0,03702	0,16892
9	COAL PULVERIZER C	0,131	0,01818	0,15141	0,03702	0,16892
10	AIR COMPRESSOR A	0,059	0,00819	0,14560	0,01668	0,15348
No	Ke Peralatan	Panjang (Km)	Z ₁ = Z ₂		Z ₀	
			R (pu)	X (pu)	R (pu)	X (pu)
11	BUS SECTION B	0	0,00000	0,14083	0,00000	0,14083
12	SEAWATER BOOSTER PUMP B	0,118	0,01638	0,15036	0,03335	0,16614
13	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP B	0,091	0,01263	0,14818	0,02572	0,16035
14	RO HIGH PRESSURE PUMP B ONLOAD DISCONNECTOR	0,592	0,08216	0,18862	0,16732	0,26777
15	FIRE FIGHTING PUMP	0,85	0,11796	0,20945	0,24024	0,32309
16	BOILER WATER CIRCULATION PUMP B	0,182	0,02526	0,15553	0,05144	0,17986
18	COAL PULVERIZER E	0,14	0,01943	0,15213	0,03957	0,17085
19	COAL PULVERIZER F	0,129	0,01790	0,15125	0,03646	0,16849
20	AIR COMPRESSOR B	0,049	0,00680	0,14479	0,01385	0,15134

4.6. Menghitung Arus Hubung Singkat

1) Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Secara Manual

Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Secara Manual. Perhitungan arus gangguan hubung singkat secara manual dapat dilakukan dengan menggunakan data Tabel 4.5 dan rumus gangguan hubung singkat 3 fasa seperti pada Persamaan (2.13) hingga Persamaan (2.16). Berikut perhitungan arus hubung singkat pada saluran pada bus BCP A:

$$\begin{aligned} I_{base} &= \frac{kVA_{base}}{\sqrt{3} \times kV_{base}} \\ &= \frac{9000}{\sqrt{3} \times 3,15} = 1649,6 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Rumus gangguan hubung singkat 3 fasa

$$I_{3\text{fasa}} \text{ (pu)} = \frac{V_{ps}}{Z_{1eq}} = \frac{E_a}{Z_{1eq}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{\sqrt{(0,02387^2 + 0,15472^2)}} \\
 &= 6,3878 \text{ pu} \\
 I_{3\text{fasa}} \text{ (A)} &= I_{3\text{fasa}} \text{ (pu)} \times I_{\text{base}} \\
 &= 6,3878 \times 1649,6 \text{ Ampere} \\
 &= 10,5371 \text{ Ampere}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung besar arus gangguan hubung singkat 3 fasa pada masing-masing Bus saluran 3 kV Unit Board A dan 3 kV Unit Board B seperti Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan arus hubung singkat masing-masing Bus.

No	Peralatan	Hubung Singkat 3 Fasa (A)
1	INCOMING 3KV UNIT BOARD A	11,7129
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A	10,9270
3	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A	11,0645
4	RO HIGH PRESSURE PUMP A ONLOAD DISCONNECTOR	8,0431
5	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A	10,5371
6	BOILER WATER CIRCULATION PUMP C	10,5371
7	COAL PULVERIZER A	10,8172
8	COAL PULVERIZER B	10,8172
9	COAL PULVERIZER C	10,8172
10	AIR COMPRESSOR A	11,3119
11	INCOMING 3KV UNIT BOARD B	11,7129
12	SEAWATER BOOSTER PUMP B	10,9064
13	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP B	11,0921
14	RO HIGH PRESSURE PUMP B ONLOAD DISCONNECTOR	8,0178
15	FIRE FIGHTING PUMP	6,8623
16	BOILER WATER CIRCULATION PUMP B	10,4693
17	COAL PULVERIZER D	10,7555
18	COAL PULVERIZER E	10,7555
19	COAL PULVERIZER F	10,8309
20	AIR COMPRESSOR B	11,3804

Pada Tabel 4.7 menunjukkan hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat pada Bus saluran 3 kV Unit Board A dan Bus 3 kV Unit Board B urutan positif, negatif dan nol. Semakin panjang jarak gangguan pada saluran maka semakin kecil arus gangguan hubung singkat yang terjadi karena besar impedansi dikalikan dengan panjang saluran dan arus berbanding terbalik dengan impedansi.

4.7. Simulasi Gangguan Hubung Singkat Pada ETAP 12.6.0

Untuk hasil simulasi gangguan arus hubung singkat saluran Bus 3 kV Unit Board A dan Bus 3 kV Unit Board B dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil simulasi arus hubung singkat 3 fasa masing-masing Bus.

No	Peralatan	Hubung Singkat 3 Fasa (A)
1	INCOMING 3KV UNIT BOARD A	12,1500
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A	11,2580
3	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A	11,4650
4	RO HIGH PRESSURE PUMP A ONLOAD DISCONNECTOR	8,1830
5	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A	10,8270
6	BOILER WATER CIRCULATION PUMP C	10,8270
7	COAL PULVERIZER A	11,1360
8	COAL PULVERIZER B	11,1360
9	COAL PULVERIZER C	11,1360
10	AIR COMPRESSOR A	11,6900
11	INCOMING 3KV UNIT BOARD B	12,1500
12	SEAWATER BOOSTER PUMP B	11,2350
13	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP B	11,4430
14	RO HIGH PRESSURE PUMP B ONLOAD DISCONNECTOR	8,1570
15	FIRE FIGHTING PUMP	6,9710

16	BOILER WATER CIRCULATION PUMP B	10,7530
17	COAL PULVERIZER D	11,0680
18	COAL PULVERIZER E	11,0680
19	COAL PULVERIZER F	11,1510
20	AIR COMPRESSOR B	11,7680

Tabel 4.9 Perbandingan besar arus hubung singkat 3 fasa pada saluran 3 kV Unit Board A dan 3 kV Unit Board B.

No	Peralatan	Hubung Singkat 3 Fasa (A)		
		Hitung	Simulasi	Error
1	INCOMING 3 KV UNIT BOARD A	11,7129	12,1500	3,7314%
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A	10,9270	11,2580	3,0290%
3	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A	11,0645	11,4650	3,6192%
4	RO HIGH PRESSURE PUMP A ONLOAD DISCONNECTOR	8,0431	8,1830	1,7392%
5	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A	10,5371	10,8270	2,6773%
6	BOILER WATER CIRCULATION PUMP C	10,5371	10,8270	2,7509%
7	COAL PULVERIZER A	10,8172	11,1360	2,9475%
8	COAL PULVERIZER B	10,8172	11,1360	2,9475%
9	COAL PULVERIZER C	10,8172	11,1360	2,9475%
10	AIR COMPRESSOR A	11,3119	11,6900	3,3424%
11	INCOMING 3 KV UNIT BOARD B	11,7129	12,1500	3,7314%
12	SEAWATER BOOSTER PUMP B	10,9064	11,2350	3,0128%
13	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP B	11,0921	11,4430	3,1639%
14	RO HIGH PRESSURE PUMP B ONLOAD DISCONNECTOR	8,0178	8,1570	1,7356%
15	FIRE FIGHTING PUMP	6,8623	6,9710	1,5842%
16	BOILER WATER CIRCULATION PUMP B	10,4693	10,7530	2,7099%
17	COAL PULVERIZER D	10,7555	11,0680	2,9057%
18	COAL PULVERIZER E	10,7555	11,0680	2,9057%
19	COAL PULVERIZER F	10,8309	11,1510	2,9556%
20	AIR COMPRESSOR B	11,3804	11,7680	3,4058%

4.8. Penghitungan Arus Pickup Lowset Rele

Untuk menghitung nilai lowset Rele variabel yang digunakan adalah nilai arus nominal yang melewati jalur di setiap CB. Untuk variable yang dibutuhkan sudah disediakan pada Tabel 3.7 dan Tabel 4.4.

Untuk perhitungan arus primer menggunakan nilai koreksi hubung singkat (c) = 110 % merujuk pada standar IEC. Faktor Koreksi Tegangan Menurut Standar IEC 60909-0 dengan tegangan pada feeder BCP A 3.000 V maka termasuk kategori tegangan menengah dan nilai c menggunakan 110 % = 1,1. Dibawah ini merupakan contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai *lowset* pada rele OCR CB10 BCP A:

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ primer BCP A}} &= 1,1 \times I_{nominal} \\
 &= 1,1 \times 120,57 \\
 &= 132,63 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{set \text{ sekunder BCP A}} &= I_{set \text{ primer}} \times rCT \\
 &= 132,63 \times 5/200 \\
 &= 3,32 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Nilai yang akan dimasukkan dalam arus *pickup* sisi *lowset* adalah nilai I_{set} sekunder, sehingga pada CB10 BCP A memiliki nilai arus pickup lowset sebesar 4,11 A. Untuk mendapatkan nilai arus pickup lowset CB lainnya menggunakan cara perhitungan yang sama dan hasilnya ada pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Arus Pickup Lowset Rele

No	Peralatan	Arus Pickup Lowset Rele		
		Primer (A)	Sekunder (A)	Terpakai (A)
1	INCOMING 3 KV UNIT BOARD A	1.814,58	4,54	4,5
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A	56,76	3,78	4
3	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A	131,40	3,29	3,5
4	RO HIGH PRESSURE PUMP A/B ONLOAD DISCONNECTOR	179,95	3,00	3
5	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A	132,63	3,32	3,5

6	BOILER WATER CIRCULATION PUMP C	132,63	3,32	3,5
7	COAL PULVERIZER A	209,09	3,48	3,5
8	COAL PULVERIZER B	209,09	3,48	3,5
9	COAL PULVERIZER C	209,09	3,48	3,5
10	AIR COMPRESSOR A	102,02	3,40	3,5
11	INCOMING 3 KV UNIT BOARD B	1.814,58	4,54	5,5
12	SEAWATER BOOSTER PUMP B	56,76	3,78	4
13	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP B	131,40	3,29	3,5
14	RO HIGH PRESSURE PUMP B ONLOAD DISCONNECTOR	179,95	3,00	3
15	FIRE FIGHTING PUMP	77,54	2,58	3
16	BOILER WATER CIRCULATION PUMP B	132,63	3,32	3,5
17	COAL PULVERIZER D	209,09	3,48	3,5
18	COAL PULVERIZER E	209,09	3,48	3,5
19	COAL PULVERIZER F	209,09	3,48	3,5
20	AIR COMPRESSOR B	102,02	3,40	3,5

Dari Tabel 4.10 dilihat bahwa Arus Pickup Lowset pada *Circuit Breaker* BCP A sisi primer adalah 132,63 A, dan sisi sekunder adalah 3,32 A. dan arus yang dipakai untuk penyetelan rele sebesar 3,5 A. dan *Circuit Breaker* pada BCP C sama seperti pada BCP A, yaitu sisi primer adalah 132,63 A, dan sisi sekunder adalah 3,32 A. dan arus yang dipakai untuk penyetelan rele sebesar 3,5 A.

Tabel 4.11 Perbandingan Arus Pickup Lowset rele Existing dengan hasil hitung manual

No	Peralatan	Arus Pickup Lowset Rele	
		Existing (A)	Hitung Manual (A)
1	INCOMING 3KV UNIT BOARD A	5	4,5
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A	4,5	4
3	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A	3,5	3,5
4	RO HIGH PRESSURE PUMP A ONLOAD DISCONNECTOR	6,5	3
5	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A	5,5	3,5
6	BOILER WATER CIRCULATION PUMP C	5,5	3,5
7	COAL PULVERIZER A	4	3,5
8	COAL PULVERIZER B	4	3,5
9	COAL PULVERIZER C	4	3,5
10	AIR COMPRESSOR A	4	3,5
11	INCOMING 3KV UNIT BOARD B	5	4,5
12	SEAWATER BOOSTER PUMP B	4,5	4
No	Peralatan	Arus Pickup Lowset Rele	
		Existing (A)	Hitung Manual (A)
13	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP B	3,5	3,5
14	RO HIGH PRESSURE PUMP B ONLOAD DISCONNECTOR	6,5	3
15	FIRE FIGHTING PUMP	10	3
16	BOILER WATER CIRCULATION PUMP B	5,5	3,5
17	COAL PULVERIZER D	4	3,5
18	COAL PULVERIZER E	4	3,5
19	COAL PULVERIZER F	4	3,5
20	AIR COMPRESSOR B	4	3,5

4.9. Penghitungan Waktu Operasi Rele (t_{op})

Untuk menentukan waktu operasi rele harus diketahui karakteristik rele yang digunakan, hal ini dikarenakan setiap rele memiliki karakteristik yang berbeda sehingga rele jenis satu dengan yang lain menggunakan konstanta yang berbeda namun dengan metode yang sama. Nilai Arus Hubung singkat tiap BUS pada Tabel 4.7 dan Arus setting Primer pada Tabel 4.10, sedangkan TMS pada Tabel 3.7. Dengan menggunakan Persamaan (2.19) dan Persamaan (2.21), berikut ini adalah perhitungan penentuan waktu operasi rele (t_{op}) normal invers BCP A:

$$TMS_{BCP A} = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{hubung\ singkat\ 3\ fasa}}{I_{set\ primer}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$t_{op} = \frac{0,14}{\left[\frac{10537,13}{132,63} \right]^{0,02} - 1} \times 0,5$$

$$t_{op} = 0,765 \text{ s}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan waktu operasi (t_{op}) rele BCP A adalah 0,789 detik. Untuk hasil perhitungan waktu operasi rele yang lainnya seperti perhitungan diatas dan dapat dilihat hasilnya dalam Tabel 4.12 berikut.

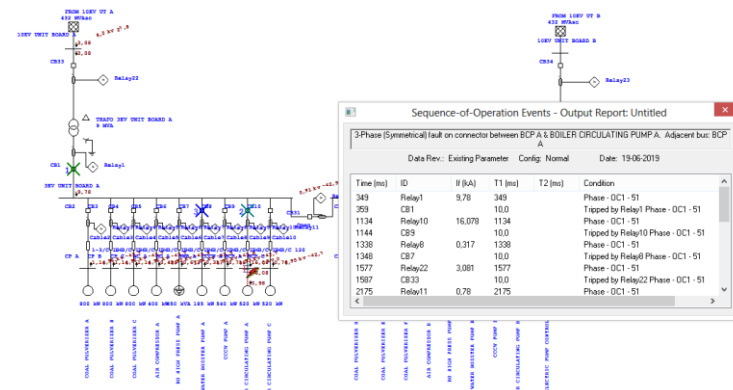
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Nilai Waktu Operasi Rele (t_{op}).

No	OCR	TMS	t_{op} (s)
1	INCOMING 3 kV UNIT BOARD A	0,1	0,141878
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A	0,3	0,378596
3	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP A	0,7	1,057008
4	RO HIGH PRESSURE PUMP A/B ONLOAD DISCONNECTOR	2	-160,32
5	BOILER WATER CIRCULATION PUMP A	0,5	0,765495
6	BOILER WATER CIRCULATION PUMP C	0,5	0,765495
7	COAL PULVERIZER A	1	1,704808
8	COAL PULVERIZER B	1	1,704808
9	COAL PULVERIZER C	1	1,704808
10	AIR COMPRESSOR A	0,6	0,850683
11	INCOMING 3 kV UNIT BOARD B	0,1	0,141878
12	SEAWATER BOOSTER PUMP B	0,3	0,378596
13	CLOSED CYCLE COOLING WATER PUMP B	0,7	1,057008
14	RO HIGH PRESSURE PUMP B ONLOAD DISCONNECTOR	2	-160,32
15	FIRE FIGHTING PUMP	2	0,020432
16	BOILER WATER CIRCULATION PUMP B	0,5	0,765495
17	COAL PULVERIZER D	1	1,704808
18	COAL PULVERIZER E	1	1,704808
19	COAL PULVERIZER F	1	1,704808
20	AIR COMPRESSOR B	0,6	0,850683

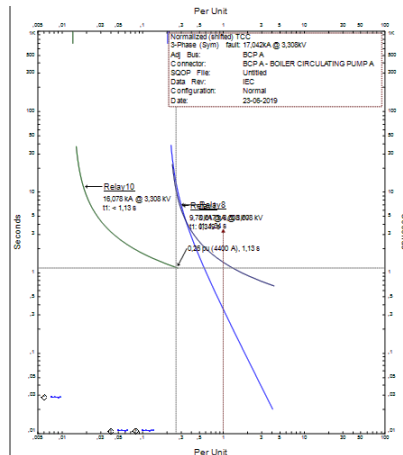
Pada Tabel 4.12 rele 3 kV Unit Board A dengan waktu operasi 0,141878 detik dan rele BCP C dengan waktu operasi 0,765495 detik.

4.10. Analisa Kerja Koordinasi Proteksi Rele

4.10.1. Koordinasi Proteksi Rele pada BCP A



Gambar 4.2 Tampilan sequence viewer ETAP 12.6.0 gangguan pada beban BCP A data Existing.



Gambar 4.3 Kurva koordinasi OCR pada BCP A data *Existing*

Dari Gambar 4.2 diberikan gangguan hubung singkat 3 fasa pada beban BCP A. Pada kondisi ini rele yang bekerja secara berurutan adalah rele 1,10,8. Terlihat kondisi abnormal pada jaringan kelistrikan 3 kV Unit Board A dan kurangnya koordinasi pada sistem pengamanan rele OCR. Terlihat juga kurva pada Gambar 4,3 yang menunjukkan bahwa kurva rele 1 aktif terlebih dahulu, kemudian disusul kurva rele 10, kemudian diikuti kurva rele 8 menjadi bekerja. Untuk urutan kerja rele yang seharusnya secara berurutan adalah rele 10,1 dan 22.

Dari Tabel 4.12 jarak waktu operasi rele antara BCP A dengan *Incoming* 3 kV Unit Board A terpaut lebih dari 0,4 detik. Sedangkan Standart BS 142 dan IEC 60255 dimana *time interval* antara *relay incoming* dan *outgoing* harus diantara 0,3 - 0,4 detik. Untuk itu diperlukan setelan ulang waktu operasi rele. Dengan menggunakan Persamaan (2.21) dan Persamaan (2.23), berikut ini adalah perhitungan penyetelan ulang waktu operasi rele (t_{op}) *normal invers* SWB A:

$$TMS_{SWB A} = \frac{t_{op} \times \left[\left(\frac{I_{hubung\ singkat\ 3\ fasa}}{I_{set\ primer}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$t_{op} = \frac{0,14}{\left[\frac{10297,02}{56,760} \right]^{0,02} - 1} \times 0,6$$

$$t_{op} = 0,51\ s$$

Hasil perhitungan penyetelan ulang lainnya ada pada Tabel 4.13.

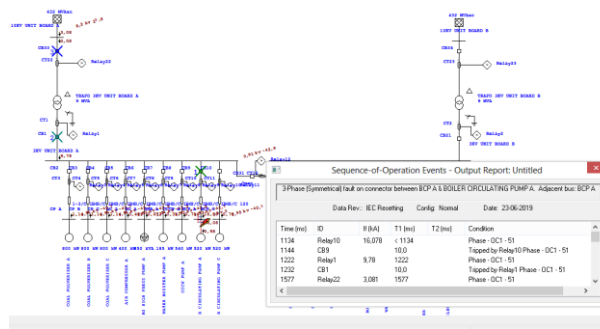
Tabel 4.13 Hasil Penyetelan Ulang Waktu Operasi Rele (t_{op}).

No	OCR	TMS	t_{op} (s)	I_{set} (A)
1	INCOMING 3 kV UNIT BOARD A	0,4	0,8	4,5
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A	0,4	0,51	4
3	BOILER CIRCULATING PUMP A	0,32	0,5	3,5
4	BOILER CIRCULATING PUMP C	0,32	0,5	3,5

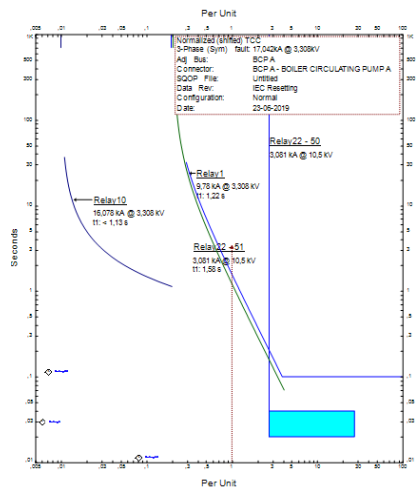
Pada Tabel 4.13 dilihat hasil penyetelan ulang waktu operasi rele pada *Incoming* 3 kV Unit Board A sebesar 0,8 detik, dengan TMS 0,4 detik. Untuk *Seawater Bosster Pump* A sebesar 0,51 detik dengan TMS 0,4 detik, sedangkan I_{set} BCP A dan I_{set} BCP C dari data *existing* sebesar 5,5 A kemudian dilakukan perhitungan dan penyetelan ulang menjadi 3,5 A.

Tabel 4. 14 Perbandingan Penyetelan Waktu Operasi Rele (t_{op}) *Existing* dengan Waktu Operasi Rele (t_{op}) *Resetting*.

No	OCR	<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>	
		TMS	t_{op} (s)	TMS	t_{op} (s)
1	INCOMING 3 kV UNIT BOARD A	0,1	0,14	0,4	0,8
2	SEAWATER BOOSTER PUMP A	0,3	0,37	0,4	0,51
3	BOILER CIRCULATING PUMP A	0,5	0,76	0,32	0,5
4	BOILER CIRCULATING PUMP C	0,5	0,76	0,32	0,5



Gambar 4.4 Tampilan sequence viewer ETAP 12.6.0 gangguan pada beban BCP A Resetting.

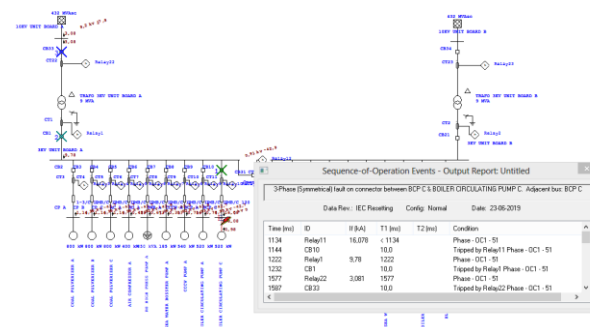


Gambar 4.5 Kurva koordinasi OCR pada BCP A Resetting.

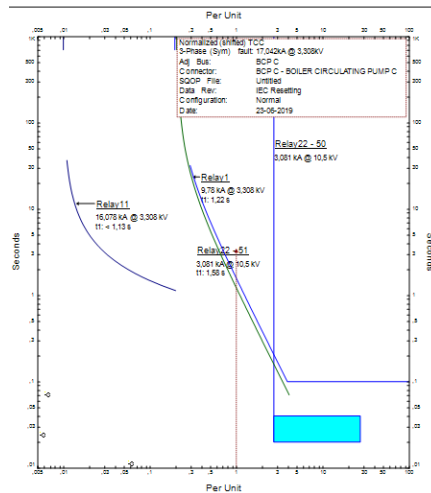
Pada Gambar 4.5 menunjukkan hasil simulasi *resetting* yang dilakukan. Dapat dilihat bahwa ketika diberikan gangguan pada BCP A maka CB yang akan memutus pertama kali sebagai pengaman utama adalah CB 9 kemudian apabila CB 9 tidak dapat bekerja, maka CB 1 akan menjadi pengaman backupnya. Apabila CB 1 juga tidak dapat beroperasi dengan baik maka CB 33 yang akan bekerja. Pada kondisi ini rele yang bekerja secara berurutan adalah rele 10, 1, 22.

Terlihat kondisi normal pada jaringan kelistrikan 3 kV Unit Board A ketika diberi gangguan pada BCP A. Dari Tabel 4.13 jarak waktu operasi rele antara BCP A dengan Incoming 3 kV Unit Board A kurang dari 0,4 detik. Terlihat juga kurva pada Gambar 4,5 yang menunjukkan bahwa kurva rele 10 aktif terlebih dahulu, kemudian disusul kurva rele 1, kemudian diikuti kurva rele 22.

4.10.2. Koordinasi Proteksi Rele pada BCP C



Gambar 4.6 Tampilan sequence viewer ETAP 12.6.0 gangguan pada beban BCP C.



Gambar 4.7 Kurva koordinasi OCR pada BCP C.

Pada Gambar 4.6 menunjukkan hasil simulasi koordinasi proteksi rele dapat dilihat bahwa ketika diberikan gangguan pada BCP C maka CB yang akan memutuskan pertama kali sebagai pengaman utama adalah CB 10 kemudian apabila CB 10 tidak dapat bekerja, maka CB 1 akan menjadi pengaman *backupnya*. Apabila CB 1 juga tidak dapat beroperasi dengan baik maka CB 33 yang akan bekerja. Pada kondisi ini rele yang bekerja secara berurutan adalah rele 11, 1, 22.

Terlihat kondisi normal pada jaringan kelistrikan 3 kV Unit Board A ketika diberi gangguan pada BCP C. Dari Tabel 4.13 jarak waktu operasi rele antara BCP C dengan Incoming 3 kV Unit Board A kurang dari 0,4 detik. Terlihat juga kurva pada gambar 4,7 yang menunjukkan bahwa kurva rele 11 aktif terlebih dahulu, kemudian disusul kurva rele 1, kemudian diikuti kurva rele 22.

IV. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan manual dan simulasi menggunakan ETAP 12.6.0 untuk analisa koordinasi proteksi rele arus lebih pada penyulang Trafo 3 kV Unit Board A dan Motor feeder BCP A dan BCP C dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan adanya penambahan motor BCP C, kapasitas beban pada Trafo 3 kV Unit Board A menjadi sebesar 8.955 kVA dan trafo masih mampu mensuplai kebutuhan beban pada line 3 kV unit Board A dan 3 kV Unit Board B dengan Metode Pengoperasian Unit..
2. Berdasarkan dari hasil perbandingan setting koordinasi proteksi hasil perhitungan (resetting) dengan kondisi existing, menunjukkan bahwa :
 - Hasil perhitungan rele proteksi pada sisi Incoming 3 kV Unit Board A hasil perhitungan dan kondisi existing memiliki perbedaan TMS dan top, di mana untuk TMS OCR resetting = 0,406 dan TMS OCR existing = 0,1, sedangkan untuk top OCR resetting = 0,8 detik dan top OCR existing = 0,1418 detik.
 - Hasil perhitungan rele proteksi pada motor feeder BCP A hasil perhitungan dan kondisi existing memiliki perbedaan arus pickup low set, dimana data existing 5,5 A sedangkan hasil perhitungan 3,5 A.
 - Hasil perhitungan rele proteksi pada sisi motor feeder SWB A hasil perhitungan dan kondisi existing memiliki perbedaan TMS dan top, di mana untuk TMS OCR resetting = 0,4 dan TMS OCR existing = 0,3, sedangkan untuk top OCR resetting = 0,51 detik dan top OCR existing = 0,37 detik.
 - Setelah dilakukan simulasi koordinasi kerja rele menggunakan ETAP 12.6.0 menunjukkan bahwa setting koordinasi proteksi resetting dapat bekerja dengan baik dibanding dengan setting koordinasi proteksi existing, sehingga nilai resetting tersebut dapat dijadikan acuan untuk di terapkan pada rele pada motor BCP A dan pada penambahan motor baru pada BCP C.

5.2. Saran

Saran yang dapat penulis berikan dalam Tugas Akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Hasil dari analisis dalam tugas akhir ini dapat dijadikan referensi sebagai penentuan setting rele proteksi di sisi BCP A dan BCP C dengan parameter dan peralatan yang sama.
2. Pemantauan dari kerja rele di lapangan secara berkala perlu dilakukan agar kerja peralatan proteksi tetap berjalan dengan baik.

3. Selalu melakukan pemeriksaan data yang relevan agar setiap perubahan yang terjadi pada beban selalu tercatat. Dikarenakan penengaturan pickup pada jaringan sangat bergantung pada besar beban yang terpasang pada jaringan.
4. Pada penelitian selanjutnya, untuk dapat selalu memperbaharui standar yang dikeluarkan oleh IEEE, ANSI, IEC dan sebagainya agar pengaturan pengaman dapat lebih baik.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Manual Book “CALCULATION OF CAPACITIES FOR 3 kV UNIT BOARD TRANSFORMERS” TOSHIBA’s Doc. Number : CA1-GEH-XIT3-0003 Rev. 2.
- [2]. Theraja, B.L, Worked examples in Electrical Technology, (New Delhi : S. Chand & Company Ltd., 1983), hlm. 394..
- [3]. Saadat, Hadi. “*Power System Analysis*”. McGraw Hill. 1999.
- [4]. IEC 60255, *Overcurrent Protection for Phase and Earth Faults*.
- [5]. ETAP 12.6.0H *Enterprise Solution for Electrical Power System Help. Operation Technology, Inc*