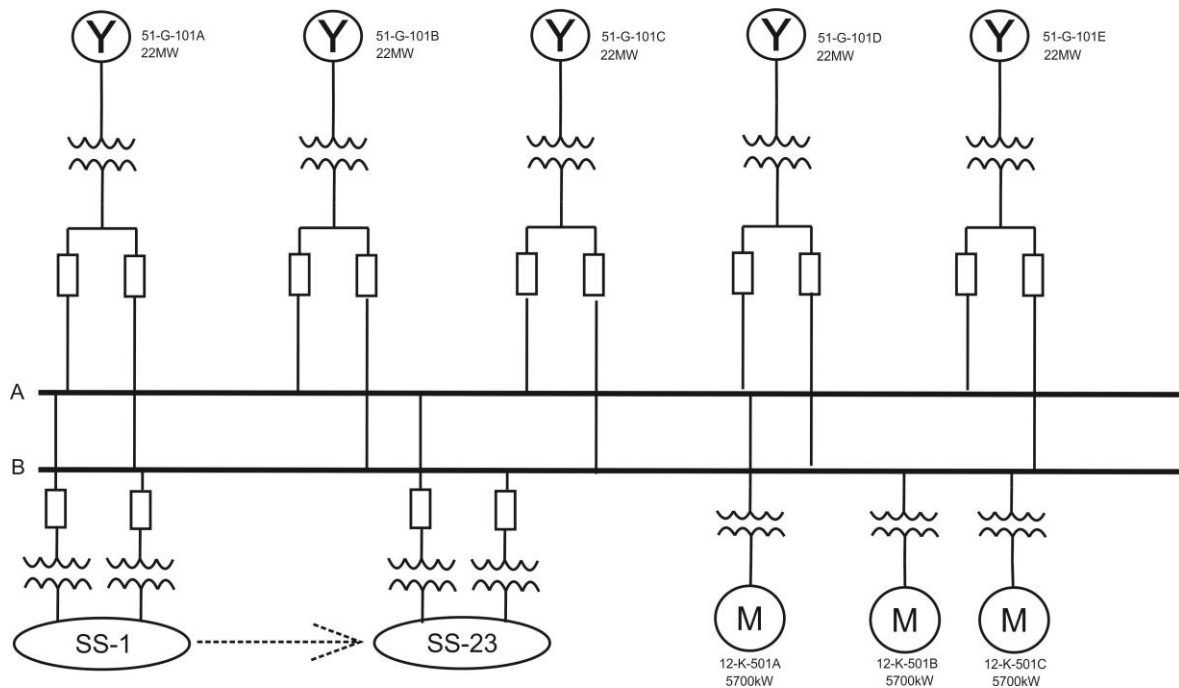


BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Kelistrikan PT PERTAMINA RU-VI Balongan

Sistem kelistrikan Pertamina RU-VI Balongan terdiri dari 4 *rating* tegangan yaitu 10 kV, 20 kV, 3,15 kV dan 0,42 kV dengan total *substation* sebanyak 15 *substation*. Pertamina RU-VI Balongan dipasok oleh 5 Generator Steam Turbin, yang masing-masing memiliki kapasitas 22 MW dengan 1 Generator dalam kondisi *standby*. Gambar 4.1 menunjukkan simplifikasi diagram satu garis Pertamina RU-VI Balongan..



Gambar 1.1 Simplifikasi diagram satu garis PT PERTAMINA RU-VI Balongan

Tabel 1.1 Data Generator

Tag Number	51-G-101A 51-G-101B 51-G-101C 51-G-101D 51-G-101D
Daya	22 MW
Faktor Daya	80 %
Tegangan	10 kV
Hubungan	<i>Wye ground</i>

Sumber: Schneider Indonesia

Tabel 1.2 Data Transformator *Step-Up*

Tag Number	51-PTR-101A 51-PTR-101B 51-PTR-101C 51-PTR-101D 51-PTR-101E
Daya	27,5 MVA
Tegangan	10 kV / 21 kV
Frekuensi	50 Hz
Hubungan	<i>Delta – Wye</i> (Resistor = 30 Ohm)

Sumber: Schneider Indonesia

Tabel 1.3 Data Tranformator *Step-Down*

No	Tag Number	Daya	Tegangan	Frekuensi	Hubungan
1	01-PTR-01B	10 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye</i> (Resistor = 4,5 Ohm)
2	01-PTR-02B	7,5 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye</i> (Resistor = 4,5 Ohm)
3	11-PTR-01B	7,5 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye</i> (Resistor = 4,5 Ohm)
4	12-PTR-01B	7,5 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye</i> (Resistor = 4,5 Ohm)
5	13-PTR-01B	7,5 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye</i> (Resistor = 4,5 Ohm)
6	14A-PTR-01B	10 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye</i> (Resistor = 4,5 Ohm)

7	14B-PTR-01B	7,5 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>
8	15-PTR-01B	7,5 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>
9	16-PTR-01B	5 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>
10	17-PTR-01B	11 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>
11	17-PTR-02B	11 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>
12	18-PTR-01B	7,5 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>
13	19-PTR-01B	9,5 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>
14	21-PTR-01B	3 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>
15	22-PTR-01B	5 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>
16	23-PTR-01B	5 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>
17	12-PTR-501A	12 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>
18	12-PTR-501B	12 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>
19	12-PTR-501C	12 MVA	20 kV / 3,15 kV	50 Hz	<i>Delta – Wye (Resistor = 4,5 Ohm)</i>

Sumber: Schneider Indonesia

Tabel 1.4 Data Motor pada Bus 20 kV

Tag Number	12-K-501A 12-K-501B 12-K-501C
Daya	5700 kW
Tegangan	3,15 kV
Frekuensi	50 Hz
Jumlah Kutub	16
Kecepatan Putar	375 rpm

Sumber: Schneider Indonesia

4.2 Data Penambahan Beban Baru

Beban baru yang akan ditambahkan kedalam sistem kelistrikan bus 20 kV sebagai berikut:

1. Beban H₂ Rich sebesar 1,2 MW ditambahkan pada SS#17.
2. Beban EWTP (*Effluent Water Treatment Plant*) sebesar 1,75 MW ditambahkan pada SS#1.
3. Beban SPL/SPM (*Submarine Pipe Line/Single Point Mooring*) sebesar 2,4 MW ditambahkan pada SS#21
4. Beban SWS & SRU (*Sour Water Stripper & Sulphur Recovery Unit*) sebesar 12 MW ditambahkan pada bus 20 kV

Tabel 1.5
Data Beban H₂ Rich

Daya	1,2 MW
Tegangan	3,15 kV
Frekuensi	50 Hz
Faktor Daya	80%

Sumber: Schneider Indonesia

Tabel 1.6
Data Beban EWTP

Daya	1,75 MW
Tegangan	3,15 kV
Frekuensi	50 Hz

Sumber: Schneider Indonesia

Tabel 1.7
Data Beban SPM/SPL

Daya	2,4 MW
Tegangan	3,15 kV
Frekuensi	50 Hz

Sumber: Schneider Indonesia

Tabel 1.8
Data Beban SWS & SRU

Daya	12 MW
Tegangan	3,15 kV
Frekuensi	50 Hz

Sumber: Schneider Indonesia

4.3 Kondisi Kelistrikan PT PERTAMINA RU-VI Balongan Sebelum Ditambahkan Beban Baru

Stabilitas terhadap kondisi eksisting jaringan dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran yang digunakan sebagai dasar acuan, disamping itu, kondisi ini ditunjukkan untuk keperluan pemodelan sistem dan mendapatkan limitasi-limitasi yang ada dikondisi *eksisting*.

4.3.1 Perhitungan Aliran Daya

Total beban pada operasi normal adalah 67 MW yang dapat disuplai oleh 4 STG ditunjukkan pada tabel 4.9:

Tabel 1.9 *Load Flow* pada bus 20 kV

	MW	MVAR	MVA
<i>Total Generated</i> (Swing Buses)	66,241	45,694	80,473
<i>Total Demand</i>	66,241	45,694	80,273

4.3.2 Perhitungan Impedansi

Pada tahap ini dilakukan proses simulasi hubung singkat yang terjadi pada kondisi sebelum ditambahkan beban. Hubung singkat yang disimulasikan meliputi hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, 1 fasa ke tanah dan 2 fasa ke tanah. Sebelum dilakukan hubung singkat, terlebih dahulu dilakukan perhitungan terhadap nilai impedansi sumber, reaktansi transformator, impedansi penyulang, impedansi ekivalen urutan positif, urutan negatif dan urutan nol. Untuk mengubah semua nilai impedansi komponen-komponen dalam satuan pu (per-unit) harus ditentukan terlebih dahulu daya dasar (MVA_{dasar}), tegangan dasar (kV_{dasar}).

4.3.2.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Perhitungan impedansi sumber diperoleh dari data generator, karena sumber yang digunakan adalah generator. Impedansi dasar untuk generator menggunakan $kV_{(\text{dasar})}$ yaitu 20,5 kV dengan $MVA_{(\text{dasar})}$ sebesar 100 MVA. Dari data generator yang terlihat pada tabel (4.1) dengan menggunakan *software* ETAP 12.6 maka diperoleh impedansi generator dalam bentuk persentase. Maka impedansi generator dengan menggunakan dasar baru dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z(\text{pu}) &= (0,302 + j 18,94)\% \times \left(\frac{10}{20,5}\right)^2 \times \left(\frac{100}{27,5}\right) \\ &= 0,003 + j 0,119 \text{ pu} \end{aligned}$$

4.3.2.2 Perhitungan Impedansi Transformator *Step Up*

Data sekunder impedansi transformator diketahui masih dalam bentuk persentase, yaitu sebesar 8,9%. Dengan tegangan 20,5 kV sebagai tegangan dasar dan daya transformator 100 MVA sebagai daya dasar, maka impedansi transformator dengan menggunakan dasar baru dapat diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_{1T}(\text{pu}) = Z_{2T}(\text{pu}) &= (j 8,9)\% \times \left(\frac{20}{20,5}\right)^2 \times \left(\frac{100}{27,5}\right) \\ &= j 0,311 \text{ pu} \end{aligned}$$

Pada transformator menggunakan sistem pentanahan melalui resistor sebesar 30 Ω jika diubah menjadi satuan per-unit maka resistor pentanahan transformator yaitu:

$$R(\text{pu}) = \frac{30}{\frac{20,5^2}{100}} = 7,223 \text{ pu}$$

Sehingga nilai dari impedansi urutan nol transformator sebagai berikut:

$$Z_{0T}(\text{pu}) = 7,223 + j 0,331 \text{ pu}$$

4.3.2.3 Perhitungan Impedansi Beban *Substation*

Dari besarnya impedansi *substation* yang terdapat pada *software* ETAP 12.6, maka diperoleh impedansi beban pada setiap *substation* dalam bentuk pu seperti pada tabel 4.10 berikut:

Tabel 1.10 Impedansi Beban *Substation*

No	Substation	$Z_1 = Z_2$ (pu)	Z_0 (pu)
1	#SS01A	0,234 + j 2,500	0,227 + j 3,179
2	#SS01B	0,307 + j 2,500	0,292 + j 3,952
3	#SS11	0,327 + j 3,344	0,301 + j 4,193
4	#SS12	0,307 + j 3,326	0,269 + j 4,028
5	#SS13	0,303 + j 2,821	0,298 + j 4,042
6	#SS14A	0,238 + j 3,442	0,248 + j 4,229
7	#SS14B	0,304 + j 2,400	0,292 + j 4,953
8	#SS15	0,296 + j 3,881	0,294 + j 4,701
9	#SS16	0,464 + j 2,386	0,68 + j 12,309
10	#SS17A	0,206 + j 3,301	0,206 + j 3,938
11	#SS17B	0,223 + j 2,502	0,222 + j 5,919
12	#SS18	0,258 + j 2,656	0,283 + j 4, 913
13	#SS19	0,241 + j 2,438	0,222 + j 3,657
14	#SS21	0,696 + j 3,459	0,771 + j 10,199
15	#SS22	1,649 + j 2,322	0
16	#SS23	0,481 + j 3,494	0,415 + j 4,814
17	Motor 12-K-501	0,045 + j 0,832	0,045 + j 0,883

Pembebanan pada bus 20 kV terpasang secara paralel maka nilai impedansi beban total diperoleh dari beban *substation* yang diparalel dengan beban *substation* yang lainnya. Maka jumlah impedansi beban total yang ada yaitu:

$$\frac{1}{Z_{\text{beban}}} = \frac{1}{Z_{\#SS01}} + \frac{1}{Z_{\#SS11}} + \frac{1}{Z_{\#SS12}} + \dots + \frac{1}{Z_{12-K-501}}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,019 + j 0,148 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 0,014 + j 0,228 \text{ pu}$$

4.3.2.4 Perhitungan Impedansi Saluran

Sesuai dengan data pada tabel 4.11 perhitungan impedansi kabel sesuai dengan masing-masing ukuran diameter kabel. Dengan memasukkan data tipe kabel, luas penampang dan jarak kabel pada *software* ETAP 12.6 dengan *Library* yang ada pada *software* tersebut maka diperoleh impedansi kabel urutan positif, negatif dan juga urutan nol sebagai berikut:

Tabel 1.11 Impedansi Saluran

Lokasi	Tipe Kabel	$Z_1 = Z_2 (\Omega)$	$Z_0 (\Omega)$
Trafo 10 / 20 kV (sekunder) – Input Feeder	BS662	0,0501 + j 0,1160	0,0798 + j 0,2946

Dari tabel diatas maka dengan menggunakan persamaan (2-14) maka bisa dihitung besar impedansi saluran dalam satuan per-unit (pu) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_1 (\text{pu}) = Z_2 (\text{pu}) &= \frac{0,0501 + j 0,1160}{\frac{20,5^2}{100}} \\ &= 0,0119 + j 0,0276 \text{ pu} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_0 (\text{pu}) &= \frac{0,0798 + j 0,2946}{\frac{20,5^2}{100}} \\ &= 0,0190 + j 0,071 \text{ pu} \end{aligned}$$

Untuk Generator, transformator, dan saluran pada bus 20 kV terpasang secara seri dengan demikian nilai impedansi masing-masing beban diperoleh dari penjumlahan impedansi kabel, transformator dan generator.

$$\begin{aligned} Z_1 (\text{pu}) = Z_2 (\text{pu}) &= (0,003 + j 0,119) + (j 0,311) + (0,0119 + j 0,0276) \\ &= 0,0149 + j 0,4576 \text{ pu} \end{aligned}$$

$$Z_0 \text{ (pu)} = (7,223 + j 0,331) + (0,0190 + j 0,071)$$

$$= 7,242 + j 0,3813 \text{ pu}$$

Generator, transformator, dan kabel pada bus 20 kV sebanyak 5 buah terpasang secara paralel maka nilai impedansi beban total diperoleh dari Generator, transformator, dan kabel yang diparalel dengan Generator, transformator, dan kabel yang lainnya. Maka jumlah impedansi total yang ada yaitu:

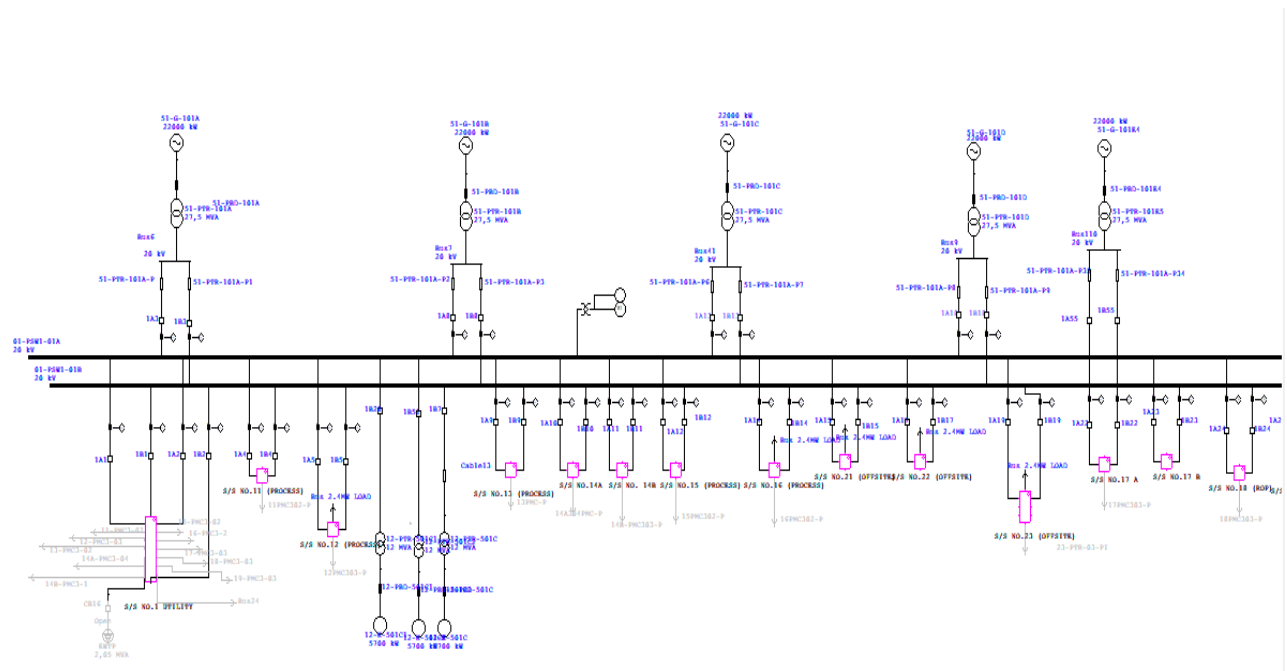
$$\frac{1}{Z_{\text{Total Incoming}}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_5}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,010 + j 0,103 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 0,047 + j 0,217 \text{ pu}$$

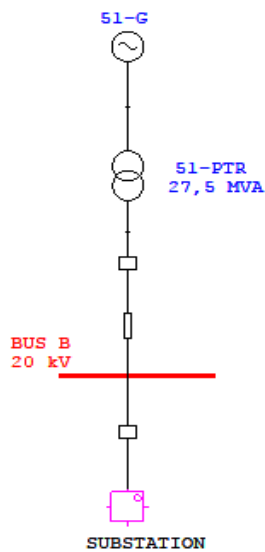
4.3.2.5 Perhitungan Nilai Impedansi Urutan pada Titik Gangguan

Untuk perhitungan nilai impedansi urutan pada titik gangguan maka perlu menyederhanakan diagram satu garis menjadi rangkain ekuivalen. Karena besar beban yang terhubung bus A dan bus B besarnya sama, maka gangguan diasumsikan terjadi pada bus B Diagram satu garis bus 20 kV PT PERTAMINA RU-VI Balongan dilihat pada gambar 4.2 berikut:



Gambar 1.2 Pemodelan diagram satu garis bus 20 kV PT PERTAMINA RU-VI Balongan

Pada diagram satu garis bus 20 kV pembebanan pada bus 20 kV terpasang secara paralel, sehingga beban-beban tersebut diparalel sehingga didapatkan diagram garis yang lebih sederhana.

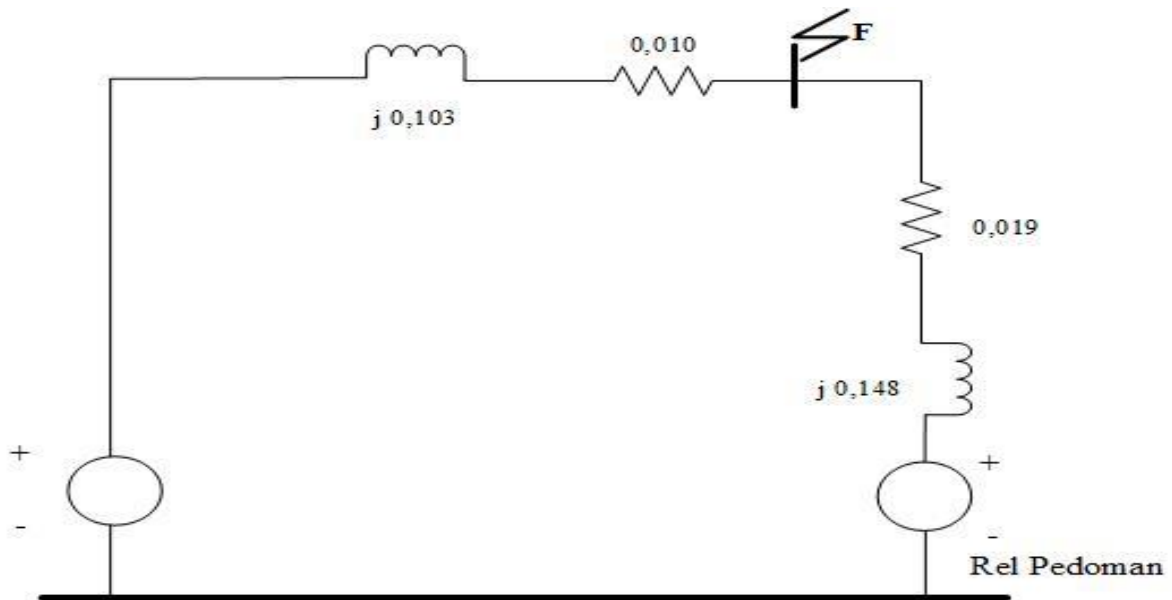


Gambar 1.3 Penyederhanaan diagram satu garis bus 20 kV PT PERTAMINA RU-VI Balongan

Dari gambar diagram satu garis bus 20 kV tersebut, maka analisis titik gangguan yang dilakukan yaitu gangguan pada bus 20 kV yang akan disimbolkan dengan huruf F.

4.3.2.5.1 Nilai Impedansi Urutan Positif

Setelah mendapatkan nilai impedansi urutan positif dari masing-masing komponennya, dengan mengubah diagram garis sistem kelistrikan seperti pada gambar (4.4) maka nilai impedansi urutan positif pada titik gangguan F



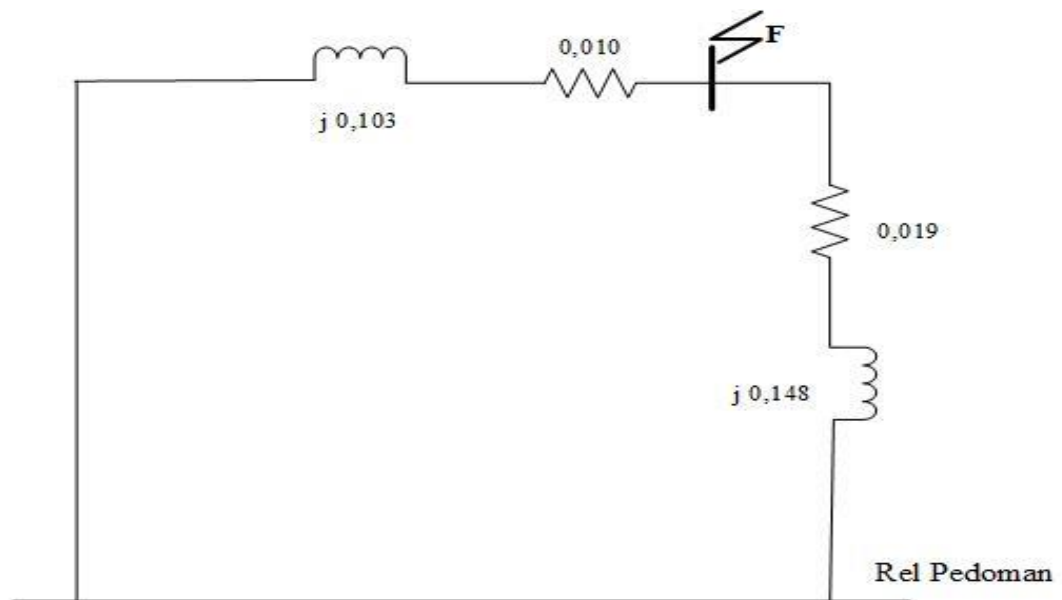
Gambar 1.4 Rangkaian Impedansi Urutan Positif

Dari gambar rangkaian diatas, maka untuk mendapatkan nilai impedansi ekivalennya dengan cara paralel sehingga diperoleh nilai Z_1 ekivalen sebagai berikut:

$$Z_1 (\text{pu}) = \frac{(0,010 + j 0,103) \times (0,019 + j 0,148)}{(0,010 + j 0,103) + (0,019 + j 0,148)} = 0,010 + j 0,103 \text{ pu}$$

4.3.2.5.2 Nilai Impedansi Urutan Negatif

Setelah mendapatkan nilai masing-masing komponennya, dengan mengubah diagram garis sistem kelistrikan seperti pada gambar (4.5) maka dapat dihitung nilai impedansi urutan negatif pada titik bus 20 kV



Gambar 1.5 Rangkaian Impedansi Urutan Negatif

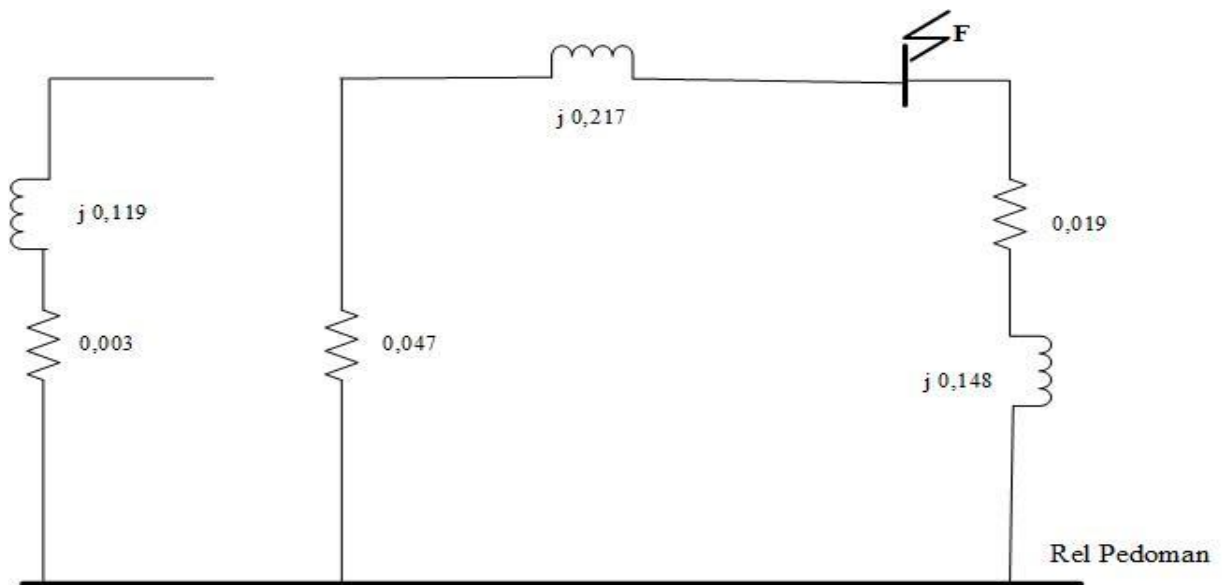
Dari rangkaian diatas nilai impedansi urutan negatif mempunyai nilai yang sama dengan impedansi urutan positif sehingga nilai dari impedansi urutan negatif sebagai berikut:

$$Z_2 (\text{pu}) = Z_1 (\text{pu}) = 0,010 + j 0,103 \text{ pu}$$

4.3.2.5.3 Nilai Impedansi Urutan Nol

Setelah mendapatkan nilai impedansi urutan nol dari masing-masing komponennya, dengan mengubah diagram garis sistem kelistrikan seperti pada gambar (4.6) maka dapat dihitung nilai impedansi urutan nol pada titik gangguan bus 20 kV.

Karena hubungan transformator step up adalah *delta* – *wye* yang dihubungkan dengan resistor maka rangkalaian ekivalen impedansi urutan 0 adalah:



Gambar 1.6 Rangkaian Impedansi Urutan Nol

Dari gambar rangkaian diatas, maka untuk mendapatkan nilai impedansi ekivalennya dengan cara paralel sehingga diperoleh nilai Z_0 ekivalen sebagai berikut:

$$Z_0 (\text{pu}) = \frac{(0,047 + j 0,217) \times (0,019 + j 0,148)}{(0,047 + j 0,217) + (0,019 + j 0,148)} = 0,047 + j 0,217 \text{ pu}$$

Sehingga nilai impedansi gangguan pada titik bus 20 kV ditunjukkan pada tabel 4.12

Tabel 1.12 Impedansi Gangguan pada Titik 20 kV

$Z_1 (\text{pu})$	$0,010 + j 0,103$
$Z_2 (\text{pu})$	$0,010 + j 0,103$
$Z_0 (\text{pu})$	$0,047 + j 0,217$

4.3.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Setelah mendapatkan nilai dari impedansi gangguan pada titik gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung. Tegangan sebelum gangguan adalah:

$$\begin{aligned}V_f &= \frac{20}{20,5} \\ &= 0,9756 \angle 0^\circ \text{ pu}\end{aligned}$$

Nilai tegangan sebelum gangguan diatas digunakan untuk menghitung nilai arus gangguan hubung singkat.

4.3.3.1 Perhitungan Arus Dasar

Berdasarkan tabel (4.2), nilai daya dasar dalam satuan kilovoltampere sebesar 100 MVA sedangkan untuk tegangan dasar sebesar 20,5 kV. Dengan menggunakan persamaan (2-10) didapat nilai arus dasar sebagai berikut:

$$\begin{aligned}I_{\text{dasar}} &= \frac{\text{MVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}} \\ &= \frac{100}{\sqrt{3} \times 20,5} \\ &= 2,816 \text{ kA}\end{aligned}$$

Arus dasar digunakan untuk mendapatkan nilai arus gangguan hubung singkat yang sebenarnya, karena perhitungan yang dilakukan menggunakan sistem per unit sehingga untuk mendapatkan nilai arus gangguan yang sebenarnya perlu nilai arus dasar.

4.3.3.2 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada titik bus 20 kV sebagai berikut:

$$\begin{aligned}I_{\text{hs}} &= \frac{V_f}{Z_1} \\ &= \frac{0,9756}{(0,010 + j 0,103)} \\ &= 9,427 \angle - 84,455^\circ \text{ pu}\end{aligned}$$

Untuk hubung singkat tiga fasa, arus tiap fasanya sama sehingga dari hasil perhitungan arus hubung singkat tersebut dalam satuan per unit (pu) bisa didapatkan nilai sebenarnya dengan perhitungan sebagai berikut:

$$I_{hs\ 3\phi} \text{ (kA)} = I_{hs} \text{ (pu)} \times I_{dasar} \text{ (kA)}$$

$$\begin{aligned} I_{hs\ 3\phi} \text{ (kA)} &= (9,427 \angle -84,455^\circ \text{ pu}) \times 2,816 \text{ kA} \\ &= 26,548 \angle -84,455 \text{ kA} \end{aligned}$$

4.3.3.3 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Antar Fasa

Arus gangguan hubung antar fasa pada titik bus 20 kV sebagai berikut:

$$I_{fa0} = 0$$

$$I_{fa1} = -I_{fa2}$$

$$\begin{aligned} I_{fa1} &= \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \\ &= \frac{0,9756}{(0,010 + j\ 0,103) + (0,010 + j\ 0,103)} \end{aligned}$$

$$= 4,432 \angle -85,192^\circ \text{ pu}$$

$$I_{fa2} = -I_{fa1} = -(4,432 \angle -85,192^\circ) = 4,432 \angle 94,808^\circ \text{ pu}$$

$$\begin{aligned} I_{fb} &= a^2 I_{fa1} + a I_{fa2} + I_{fa0} \\ &= (1 \angle 120^\circ)^2 (4,432 \angle -85,192^\circ) + (1 \angle 120^\circ) (4,432 \angle 94,808^\circ) + 0 \\ &= 7,67 \angle -175,192^\circ \text{ pu} \end{aligned}$$

$$I_{fc} = -I_{fb} = -(7,67 \angle -175,192^\circ) = 7,67 \angle 4,808^\circ \text{ pu}$$

Dari hasil perhitungan arus hubung singkat tersebut dalam satuan per unit (pu) bisa didapatkan nilai sebenarnya dengan perhitungan sebagai berikut:

$$I_f \text{ (A)} = I_f \text{ (pu)} \times I_{dasar} \text{ (A)}$$

$$\begin{aligned} I_{fb} \text{ (A)} &= (7,67 \angle -175,192^\circ \text{ pu}) \times 2,816 \text{ kA} \\ &= 21,607 \angle -175,192^\circ \text{ kA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{fc} \text{ (A)} &= (7,67 \angle 4,808^\circ \text{ pu}) \times 2,816 \text{ kA} \\ &= 21,607 \angle -4,808^\circ \text{ kA} \end{aligned}$$

4.3.3.4 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada titik bus 20 kV sebagai berikut:

$$I_{fb} = 0$$

$$I_{fc} = 0 \text{ (diasumsikan bahwa fasa yang mengalami gangguan adalah fasa a)}$$

$$\begin{aligned}
I_{fa} &= 3I_{fa0} = 3 \times \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \\
&= 3 \times \frac{0,9756}{(0,010 + j 0,103) + (0,010 + j 0,103) + (0,047 + j 0,217)} \\
&= 6,697 \angle -81,313^\circ \text{ pu}
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan arus hubung singkat tersebut dalam satuan per unit (pu) bisa didapatkan nilai sebenarnya dengan perhitungan sebagai berikut:

$$I_f (\text{A}) = I_f (\text{pu}) \times I_{\text{dasar}} (\text{A})$$

$$\begin{aligned}
I_{fa} (\text{A}) &= (6,697 \angle -81,313^\circ \text{ pu}) \times 2,816 \text{ kA} \\
&= 18,859 \angle -81,313^\circ \text{ kA}
\end{aligned}$$

4.3.3.5 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Arus gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah pada titik bus 20 kV sebagai berikut:

$$I_{fa} = 0$$

$$\begin{aligned}
I_{fa1} &= \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}} \\
&= \frac{0,9756}{(0,010 + j 0,103) + \frac{(0,010 + j 0,103)(0,047 + j 0,217)}{(0,010 + j 0,103) + (0,047 + j 0,217)}} \\
&= 5,4829 \angle -84,129^\circ \text{ pu}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{fa2} &= -I_{fa1} \frac{Z_0}{Z_2 + Z_0} \\
&= -(5,4829 \angle -84,129^\circ) \frac{(0,047 + j 0,217)}{(0,010 + j 0,103) + (0,047 + j 0,217)} \\
&= 3,7092 \angle 93,401^\circ \text{ pu}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{fa0} &= -I_{fa1} \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0} \\
&= -(5,4829 \angle -84,129^\circ) \frac{(0,010 + j 0,103)}{(0,010 + j 0,103) + (0,047 + j 0,217)} \\
&= 1,784 \angle 101,016^\circ \text{ pu}
\end{aligned}$$

Dan untuk arus pada masing-masing fasa yang terkena gangguan yaitu fasa *b* dan *c* adalah sebagai berikut:

$$I_{fb} = I_{fa0} + a^2 I_{fa1} + a I_{fa2}$$

$$= (1,784 \angle 101,016^\circ) + (1 \angle 120^\circ)^2 (5,4829 \angle -84,129^\circ) + (1 \angle 120^\circ) (3,7092 \angle 93,401^\circ)$$

$$= 8,663 \angle 166,988^\circ \text{ pu}$$

$$I_{fc} = I_{fa0} + aI_{fa1} + a^2I_{fa2}$$

$$= (1,784 \angle 101,016^\circ) + (1 \angle 120^\circ) (5,4829 \angle -84,129^\circ) + (1 \angle 120^\circ)^2 (3,7092 \angle 93,401^\circ)$$

$$= 8,120 \angle 24,006^\circ \text{ pu}$$

Dari hasil perhitungan arus hubung singkat tersebut dalam satuan per unit (pu) bisa didapatkan nilai sebenarnya dengan perhitungan sebagai berikut:

$$I_f (\text{kA}) = I_f (\text{pu}) \times I_{\text{dasar}} (\text{kA})$$

$$I_{fb} (\text{kA}) = (8,663 \angle 166,988^\circ \text{ pu}) \times 2,816 \text{ kA}$$

$$= 22,867 \angle 166,988^\circ \text{ kA}$$

$$I_{fc} (\text{kA}) = (8,120 \angle 24,006^\circ \text{ pu}) \times 2,816 \text{ kA}$$

$$= 24,395 \angle 24,006^\circ \text{ kA}$$

Sehingga besarnya arus hubung singkat sebelum ditambahkan beban ditunjukkan pada tabel 4.13

Tabel 1.13 Besarnya arus gangguan hubung singkat sebelum ditambahkan beban

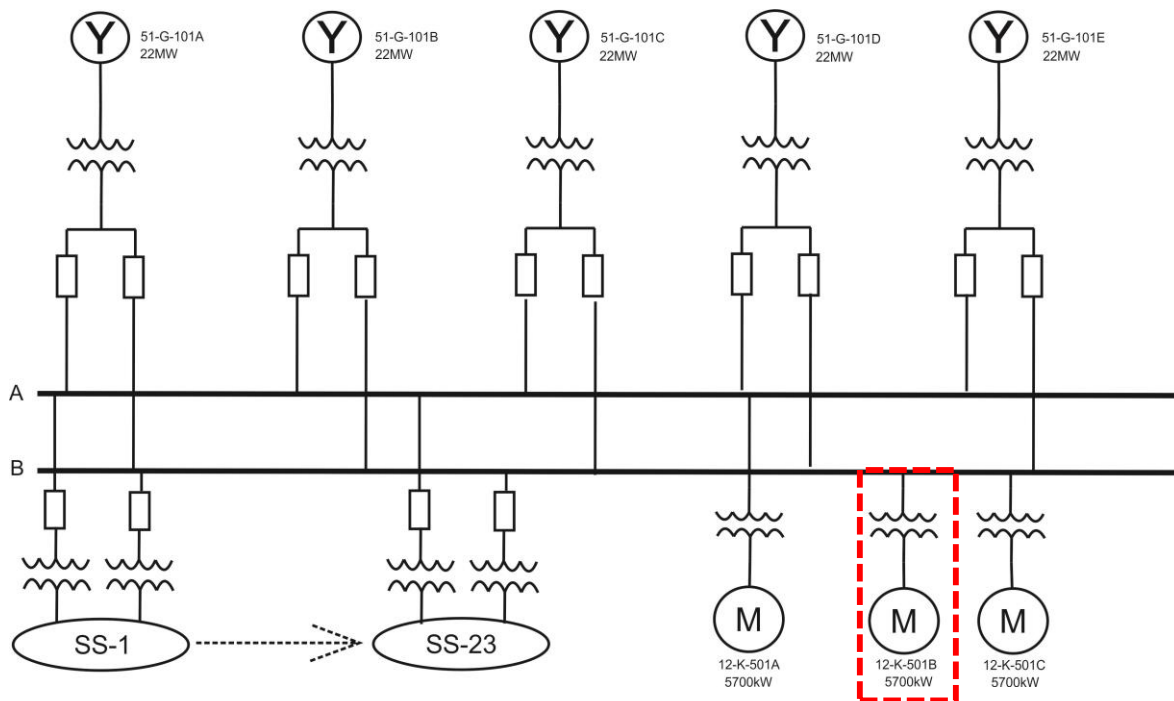
Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	26,548 \angle - 84,455
Antar Fasa	$I_{fb} = 21,607 \angle -175,192^\circ$ $I_{fc} = 21,607 \angle -4,808^\circ$
Satu fasa ke tanah	18,859 \angle -81,313 $^\circ$
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 22,867 \angle 166,988^\circ$ $I_{fc} = 24,395 \angle 24,006^\circ$

Dari hasil perhitungan arus hubung singkat menunjukkan bahwa besarnya arus hubung singkat dari busbar dan CB main switchgear 20 kV sudah melewati batas rating arus busbar. Dimana rating arus busbar adalah 25 kA dan besarnya arus gangguan hubung singkat yang paling besar yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada busbar 20 kV adalah 26,548 kA. Dengan demikian perlu dilakukan rekonfigurasi terhadap busbar untuk mengatasi masalah ini, dan kondisi ini akan semakin kritis bila beban baru akan ditambah pada sistem kelistrikan dimana beban baru tersebut umumnya adalah beban motor yang akan ikut menyumbang arus hubung singkat.

4.3.4 Simulasi *Starting Motor*

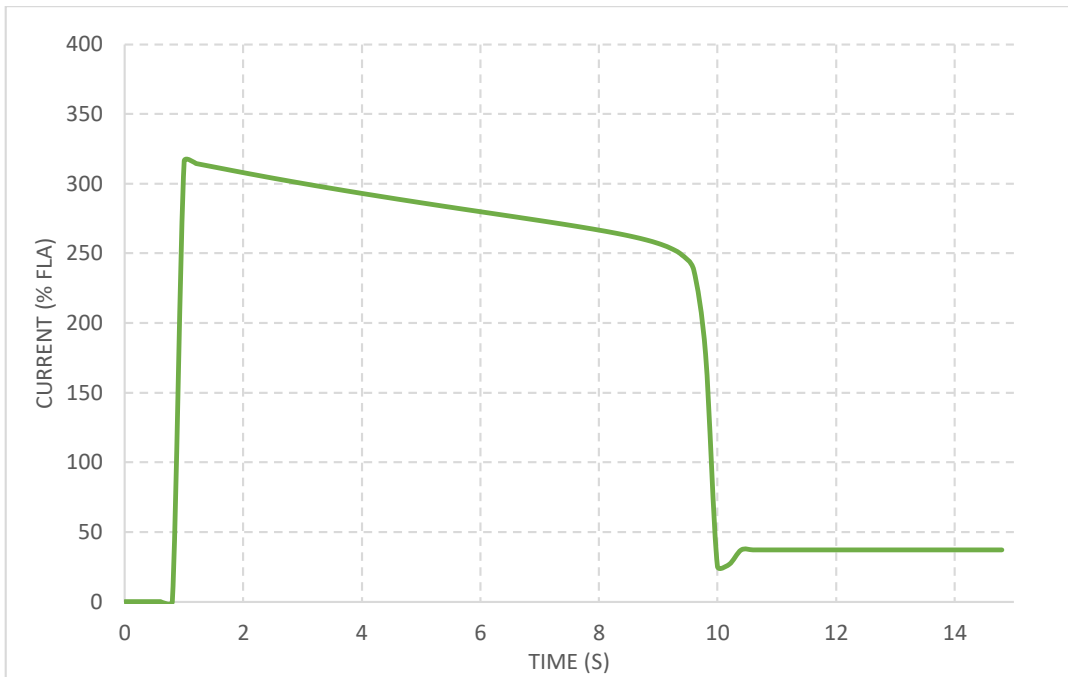
Simulasi ini dilakukan untuk melihat besarnya kontribusi arus di busbar 20 kV pada saat motor *start*. Simulasi dilakukan dengan membuat model dari motor kompresor 12-K-501 dengan kapasitas 5700 kW yang terhubung dengan switchgear 20 kV dan membuat simulasi starting motor tersebut pada kondisi kelistrikan eksisting

Motor yang akan disimulasikan pada analisis ini adalah 12-K-501B dengan kondisi 1 unit motor lainnya beroperasi (pada kasus ini motor 12-K-501C beroperasi) dan menggunakan 4 STG sebagai sumber seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7.

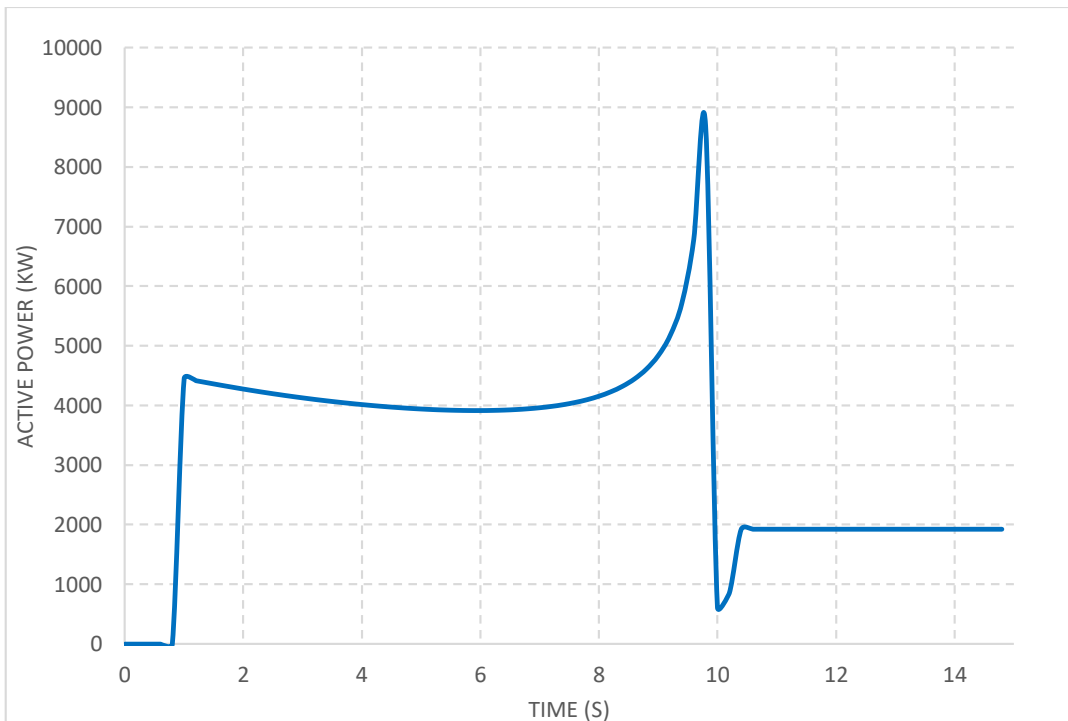


Gambar 1.7 Simulasi *starting motor* pada kondisi sebelum ditambahkan beban baru

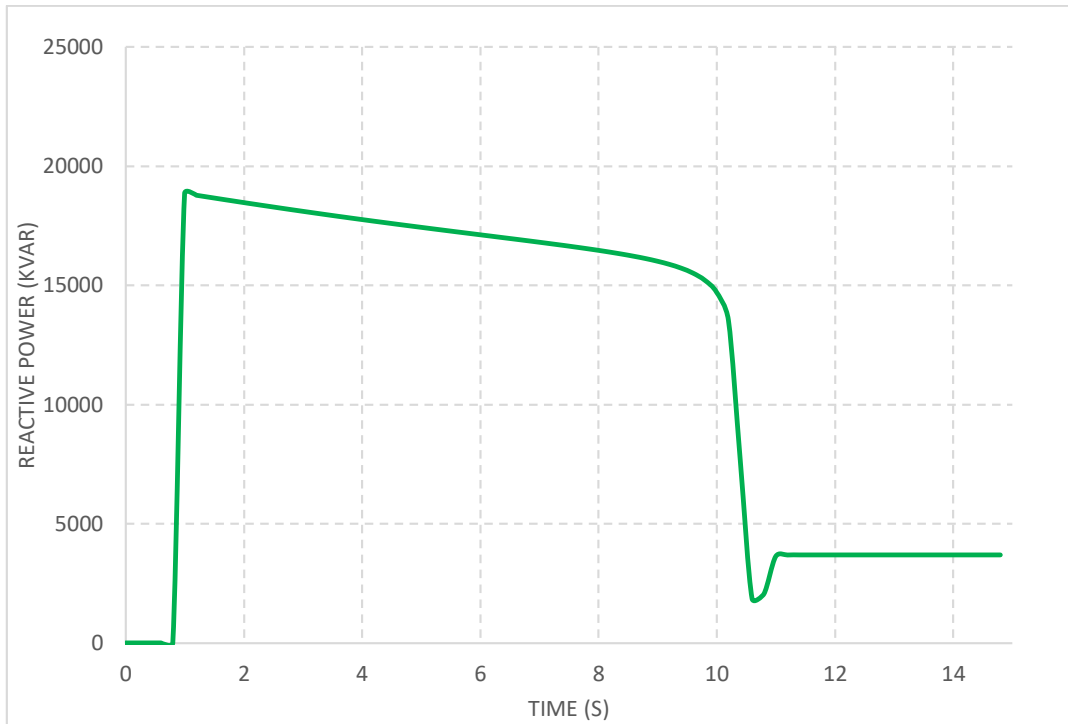
hasil simulasi *starting* motor ditunjukkan pada kurva-kurva adalah sebagai berikut:



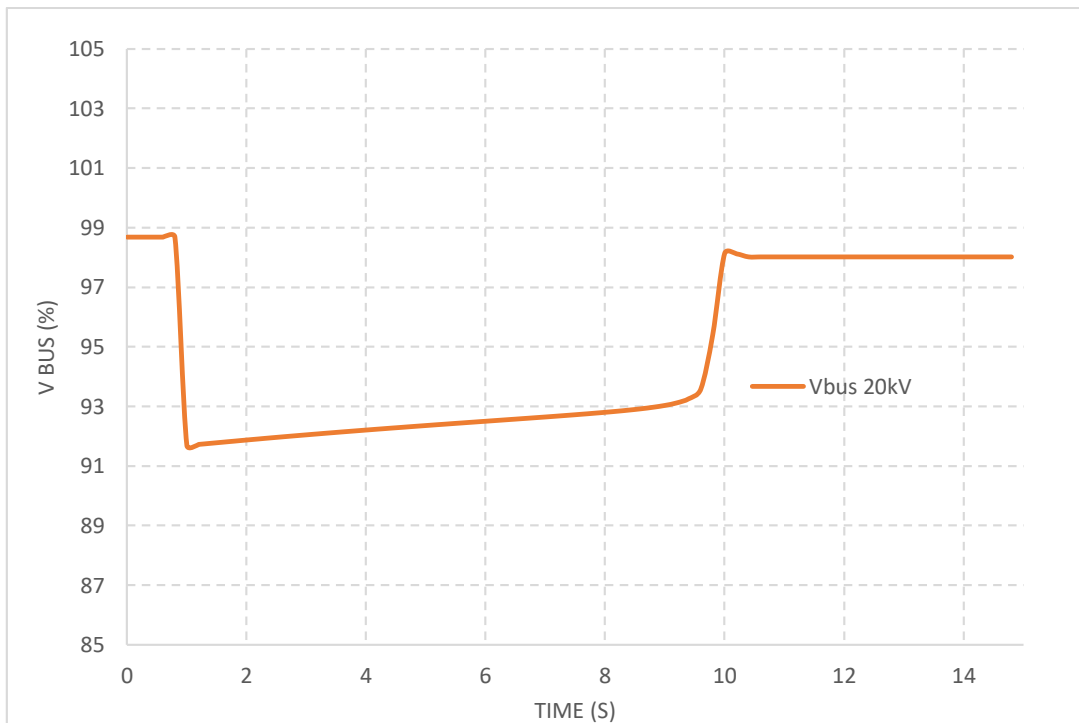
Gambar 1.8 Kurva arus pada motor 12-K-501B terhadap waktu



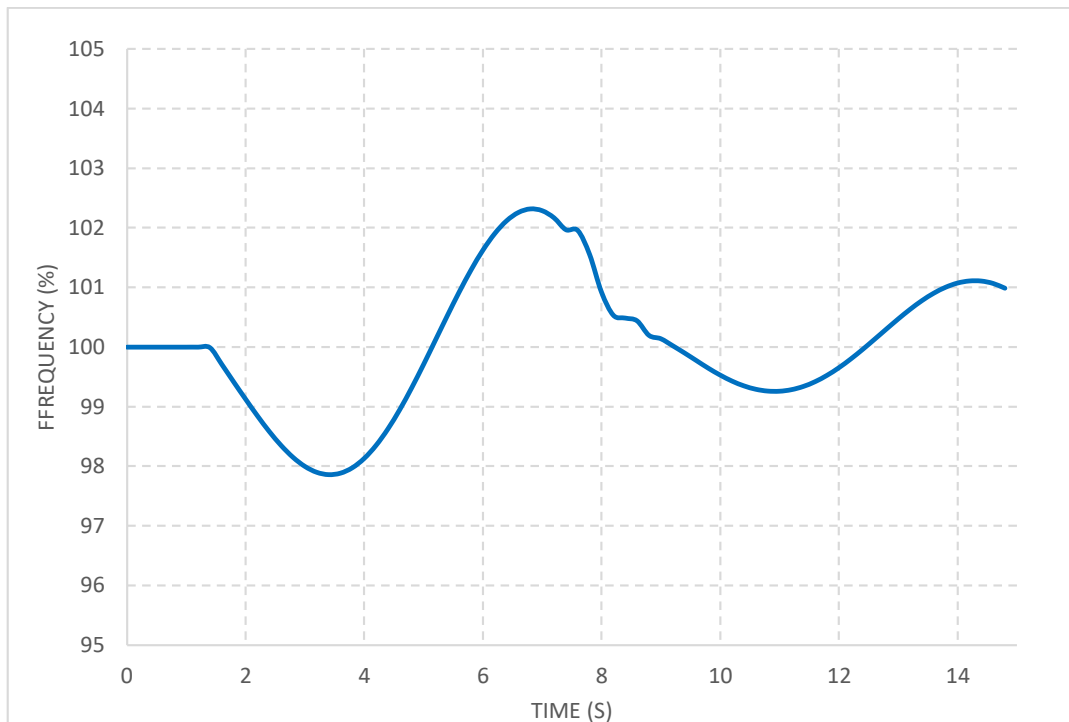
Gambar 1.9 Kurva daya aktif pada motor 12-K-501B terhadap waktu



Gambar 1.10 Kurva daya reaktif pada motor 12-K-501B terhadap waktu



Gambar 1.11 Kurva tegangan pada bus 20 kV terhadap waktu



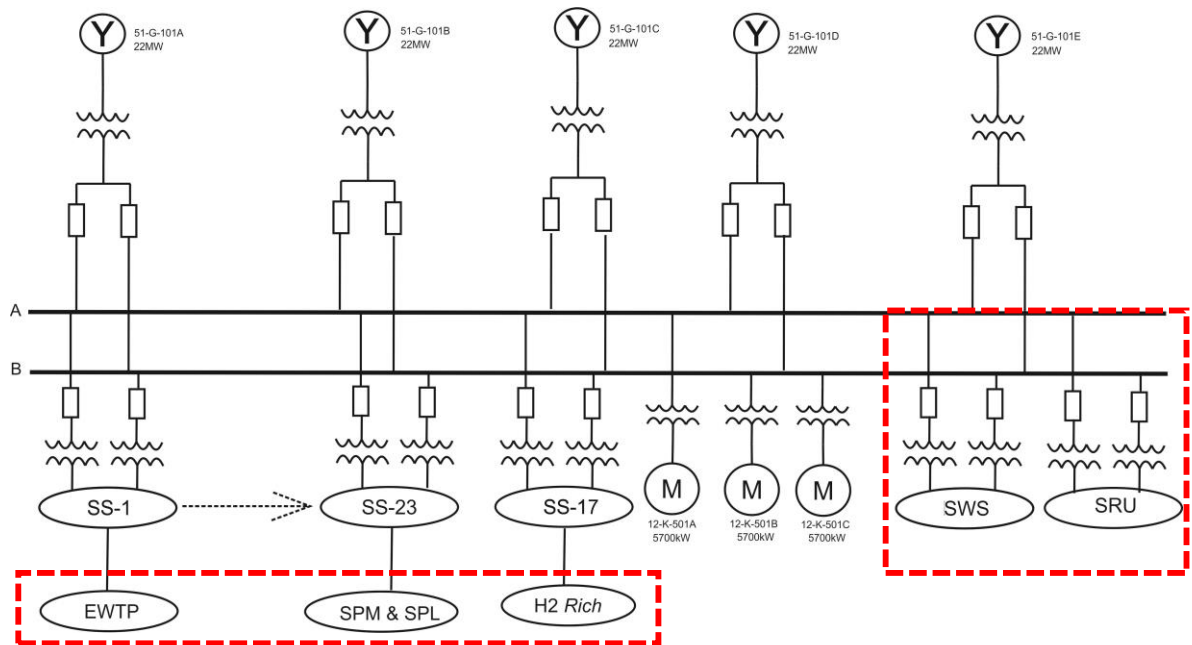
Gambar 1.12 Kurva frekuensi pada bus 20 kV terhadap waktu

Berdasarkan hasil simulasi pada tabel 4.11 dan kurva-kurva pada gambar 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, dan 4.12 menunjukkan bahwa motor 12-K-501B berhasil melakukan *start*, akan tetapi berberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Tegangan di bus 20 kV jatuh pada level 91,6% pada saat motor *start*, dan kembali ke kondisi normal selama 9-10 detik setelah motor *start*.
2. Frekuensi di bus 20 kV berada pada level 98,2% - 101,7%, sehingga masih belum melewati batasan.

4.4 Kondisi Sistem Kelistrikan PT PERTAMINA RU-VI Balongan Setelah Ditambahkan Beban Baru

Dengan menggunakan jaringan eksisting ditambahkan beban baru yang dijelaskan pada subbab 4.2. hal ini dilakukan untuk mendapatkan limitasi-limitasi yang ada pada kondisi jaringan tersebut. Untuk mendapatkan limitasi arus hubung singkat yang paling ekstrem, maka seluruh beban akan terhubung pada simulasi ini. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan solusi yang paling terbaik untuk meminimalkan arus hubung singkat pada bus 20 kV. Gambar 4.13 menunjukkan simplifikasi *single line diagram* jaringan 20 kV pada saat ditambahkan beban baru.



Gambar 1.13 Single Line Diagram jaringan 20 kV pada saat ditambahkan beban baru

4.4.1 Perhitungan Aliran Daya

Besarnya aliran daya pada jaringan bus 20 kV ditunjukkan pada tabel 4.14:

Tabel 1.14 Load Flow pada bus 20 kV

	MW	MVAR	MVA
Total Generated (Swing Buses)	66,241	45,694	80,473
Total Demand	84,191	63,364	105,371

Hasil simulasi sesuai dengan tabel 4.15 menunjukkan bahwa besarnya daya sumber dan total daya beban berbeda yaitu pada daya sumber sebesar 66,241 MW dan daya beban 84,191 MW hal ini menunjukkan perlu ditambahkan sumber baru (STG#6) untuk mensuplai adanya penambahan beban baru yang terhubung pada sistem jaringan 20 kV dengan mempertahankan kondisi N+1.

4.4.2 Perhitungan Impedansi

Seperti yang telah disebutkan pada subbab 4.3.2 diperlukan perhitungan terhadap nilai impedansi sumber, reaktansi transformator, impedansi penyulang, impedansi ekivalen urutan positif, urutan negatif dan urutan nol sebelum menghitung arus gangguan hubung singkat.

4.4.2.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Besarnya impedansi sumber sama dengan pada subbab 4.3.2.1 sehingga

$$Z(\text{pu}) = 0,003 + j 0,119 \text{ pu}$$

4.4.2.2 Perhitungan Impedansi Transformator *Step Up*

Besarnya impedansi sumber sama dengan pada subbab 4.3.2.2 sehingga

$$Z_{1T}(\text{pu}) = Z_{2T}(\text{pu}) = j 0,311 \text{ pu}$$

$$Z_{0T}(\text{pu}) = 7,223 + j 0,331 \text{ pu}$$

4.4.2.3 Perhitungan Impedansi Beban *Substation*

Pada perhitungan impedansi beban *substation*, penambahan terjadi pada #SS01A, #SS17B, #SS21, SWS dan SRU pada bus 20 kV sehingga diperoleh impedansi beban pada setiap *substation* dalam bentuk pu seperti pada tabel 4.15 berikut:

Tabel 1.15 Impedansi Beban *Substation*

No	Substation	$Z_1 = Z_2$ (pu)	Z_0 (pu)
1	#SS01A	0,235 + j 2,511	0,228 + j 3,234
2	#SS01B	0,307 + j 2,500	0,292 + j 3,952
3	#SS11	0,327 + j 3,344	0,301 + j 4,193
4	#SS12	0,307 + j 3,326	0,269 + j 4,028
5	#SS13	0,303 + j 2,821	0,298 + j 4,042
6	#SS14A	0,238 + j 3,442	0,248 + j 4,229
7	#SS14B	0,304 + j 2,400	0,292 + j 4,953
8	#SS15	0,296 + j 3,881	0,294 + j 4,701
9	#SS16	0,464 + j 2,386	0,68 + j 12,309
10	#SS17A	0,206 + j 3,301	0,206 + j 3,938
11	#SS17B	0,225 + j 2,556	0,224 + j 5,939
12	#SS18	0,258 + j 2,656	0,283 + j 4, 913
13	#SS19	0,241 + j 2,438	0,222 + j 3,657
14	#SS21	0,698 + j 3,509	0,772 + j 10,229
15	#SS22	1,649 + j 2,322	0
16	#SS23	0,481 + j 3,494	0,415 + j 4,814
17	Motor 12-K-501	0,045 + j 0,832	0,045 + j 0,883
18	SWS	0,296 + j 3,799	0,296 + j 3,799
19	SRU	0,296 + j 3,799	0,296 + j 3,799

Pembebanan pada bus 20 kV terpasang secara paralel maka nilai impedansi beban total diperoleh dari beban *substation* yang diparalel dengan beban *substation* yang lainnya. Maka jumlah impedansi beban total yang ada yaitu:

$$\frac{1}{Z_{\text{beban}}} = \frac{1}{Z_{\#SS01}} + \frac{1}{Z_{\#SS11}} + \frac{1}{Z_{\#SS12}} + \dots + \frac{1}{Z_{\text{SRU}}}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,017 + j 0,137 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 0,013 + j 0,204 \text{ pu}$$

4.4.2.4 Perhitungan Impedansi Saluran

Besarnya impedansi saluran beserta generator dan transformator sama dengan pada subbab 4.3.2.4 sehingga

$$Z_1(\text{pu}) = Z_2(\text{pu}) = 0,0149 + j 0,4576 \text{ pu}$$

$$Z_0 \text{ (pu)} = 7,242 + j 0,3813 \text{ pu}$$

Generator, transformator, dan kabel pada bus 20 kV sebanyak 6 buah terpasang secara paralel maka nilai impedansi beban total diperoleh dari Generator, transformator, dan kabel yang diparalel dengan Generator, transformator, dan kabel yang lainnya. Maka jumlah impedansi total yang ada yaitu:

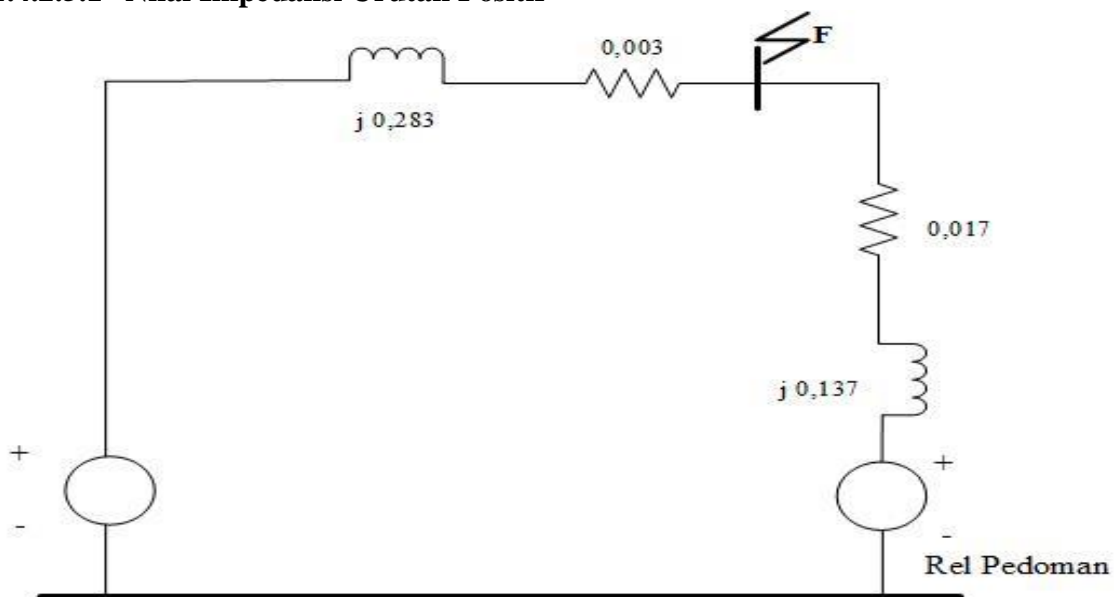
$$\frac{1}{Z_{\text{Total Incoming}}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_5}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,003 + j 0,283 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 1,205 + j 0,025 \text{ pu}$$

4.4.2.5 Perhitungan Nilai Impedansi Urutan pada Titik Gangguan

4.4.2.5.1 Nilai Impedansi Urutan Positif

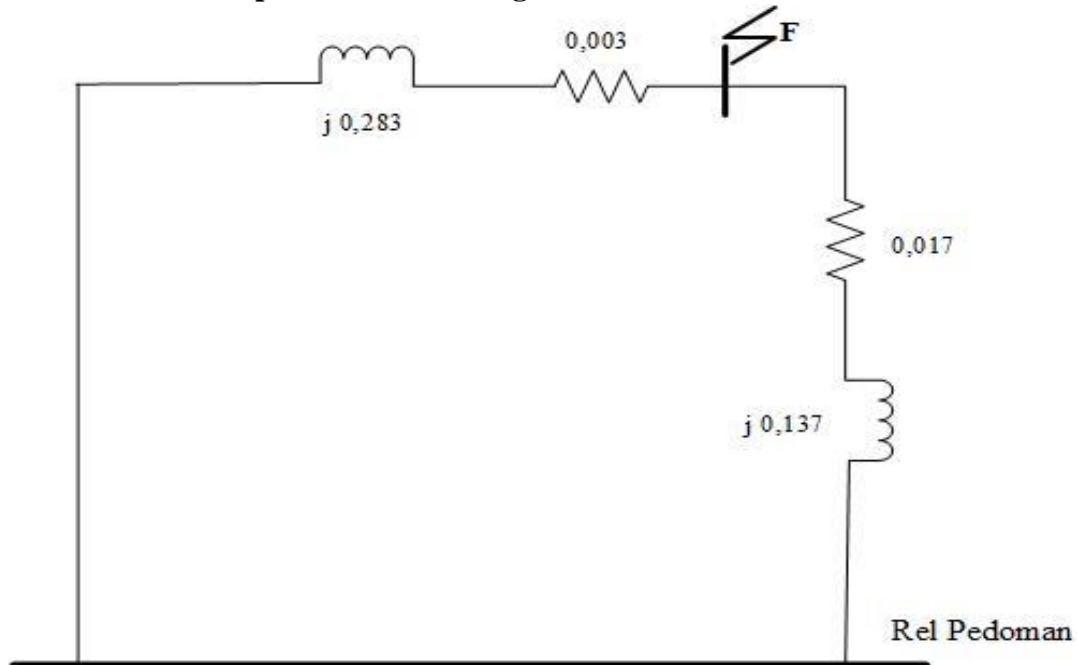


Gambar 1.14 Rangkaian impedansi urutan positif

Dari gambar rangkaian diatas, maka untuk mendapatkan nilai impedansi ekivalennya dengan cara paralel sehingga diperoleh nilai Z_1 ekivalen sebagai berikut:

$$Z_1 \text{ (pu)} = \frac{(0,003 + j 0,283) \times (0,017 + j 0,137)}{(0,003 + j 0,283) + (0,017 + j 0,137)} = 0,008 + j 0,093 \text{ pu}$$

4.4.2.5.2 Nilai Impedansi Urutan Negatif

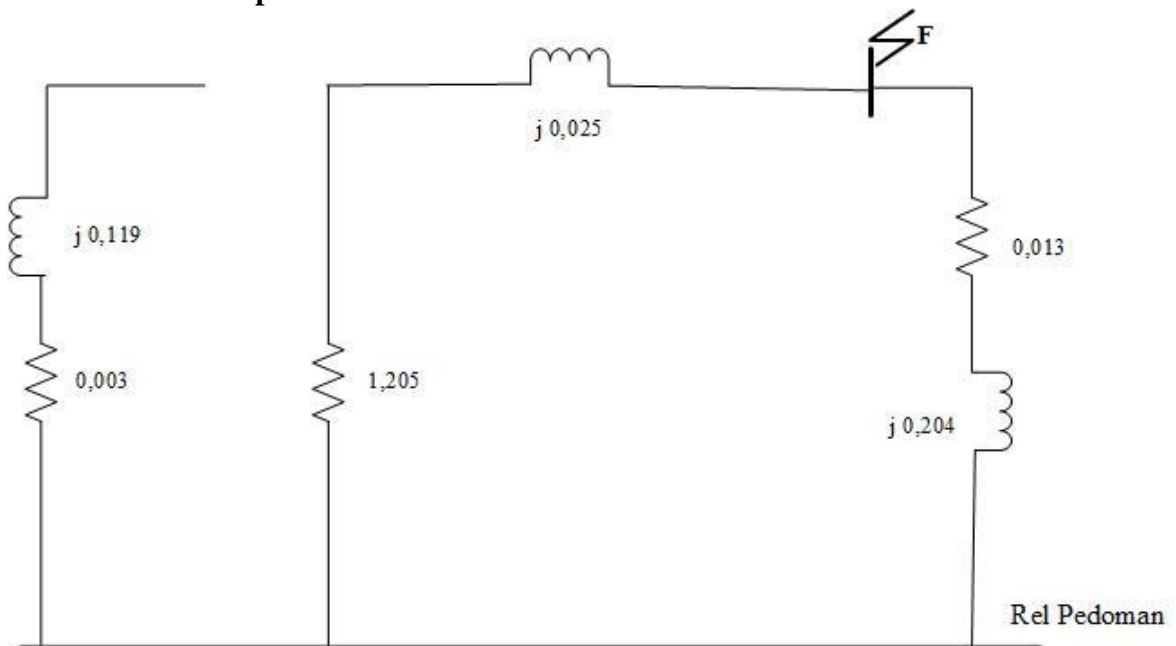


Gambar 1.15 Rangkaian impedansi urutan negatif

Dari rangkaian diatas nilai impedansi urutan negatif mempunyai nilai yang sama dengan impedansi urutan positif sehingga nilai dari impedansi urutan negatif sebagai berikut:

$$Z_2 (\text{pu}) = Z_1 (\text{pu}) = 0,008 + j 0,093 \text{ pu}$$

4.4.2.5.3 Nilai Impedansi Urutan Nol



Gambar 1.16 Rangkaian impedansi urutan nol

Dari gambar rangkaian diatas, maka untuk mendapatkan nilai impedansi ekivalennya dengan cara paralel sehingga diperoleh nilai Z_0 ekivalen sebagai berikut:

$$Z_0 (\text{pu}) = \frac{(1,205 + j 0,025) \times (0,013 + j 0,204)}{(1,205 + j 0,025) + (0,019 + j 0,204)} = 0,045 + j 0,193 \text{ pu}$$

Sehingga nilai impedansi gangguan pada titik bus 20 kV ditunjukkan pada tabel 4.16

Tabel 1.16 Impedansi Gangguan pada Titik 20 kV

Z_1 (pu)	0,008 + j 0,093
Z_2 (pu)	0,008 + j 0,093
Z_0 (pu)	0,045 + j 0,193

4.4.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Setelah mendapatkan besarnya impedansi urutan positif, negatif, dan nol maka dengan cara yang sama pada subbab 4.3.3 besarnya arus gangguan hubung singkat tiga dasa, antar fasa, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah ditunjukkan pada tabel 4.17

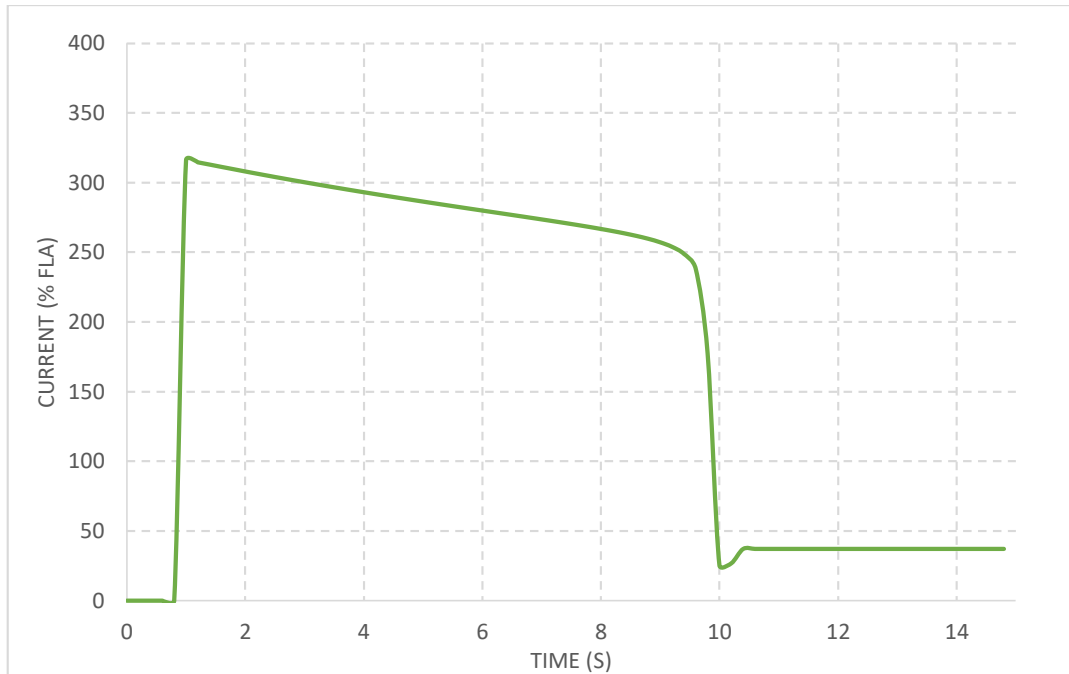
Tabel 1.17 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat Setelah Ditambahkan Beban

Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	29,916 $\angle -84,752^\circ$
Antar Fasa	$I_{fb} = 20,799 \angle -170,537^\circ$ $I_{fc} = 20,799 \angle 9,462^\circ$
Satu fasa ke tanah	15,588 $\angle -81,853^\circ$
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 23,309 \angle 166,947^\circ$ $I_{fc} = 24,930 \angle 24,629^\circ$

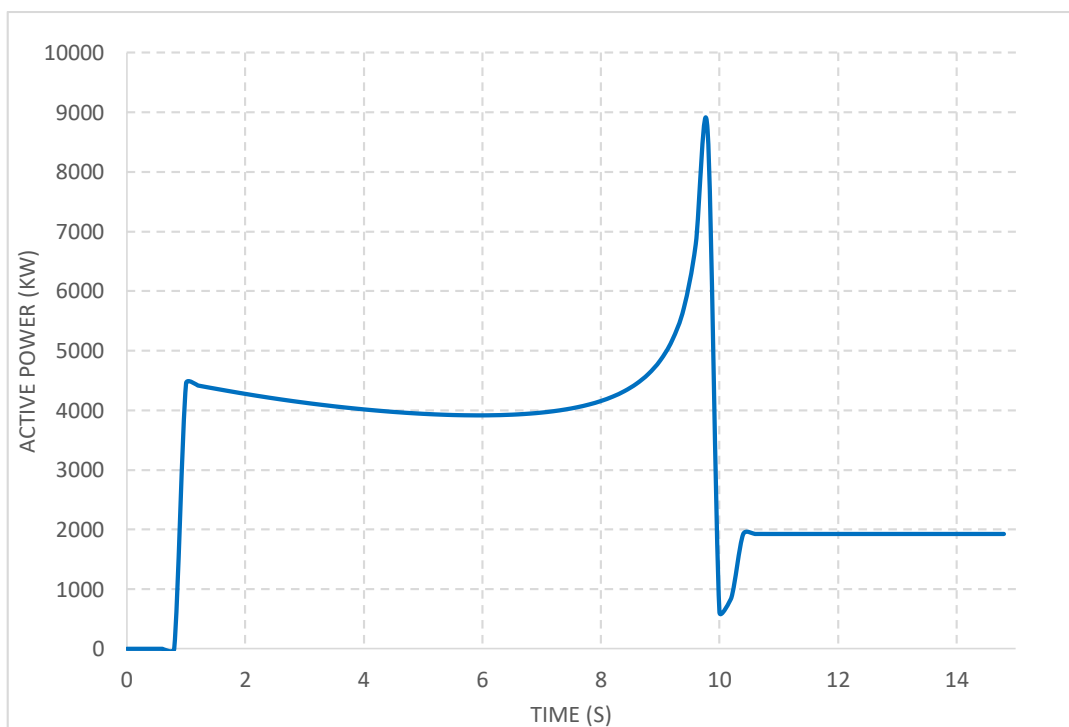
Dari hasil perhitungan arus hubung singkat menunjukkan bahwa besarnya arus hubung singkat dari busbar dan CB main switchgear 20 kV sudah melewati batas rating arus busbar. Dimana rating arus busbar adalah 25 kA dan besarnya arus gangguan hubung singkat yang paling besar yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada busbar 20 kV adalah 29,916 kA. Dengan hasil ini, maka tidak memungkinkan adanya penambahan beban baru pada kilang PERTAMINA RU-VI Balongan tanpa dilakukan rekonfigurasi.

4.4.4 Simulasi *Starting* Motor

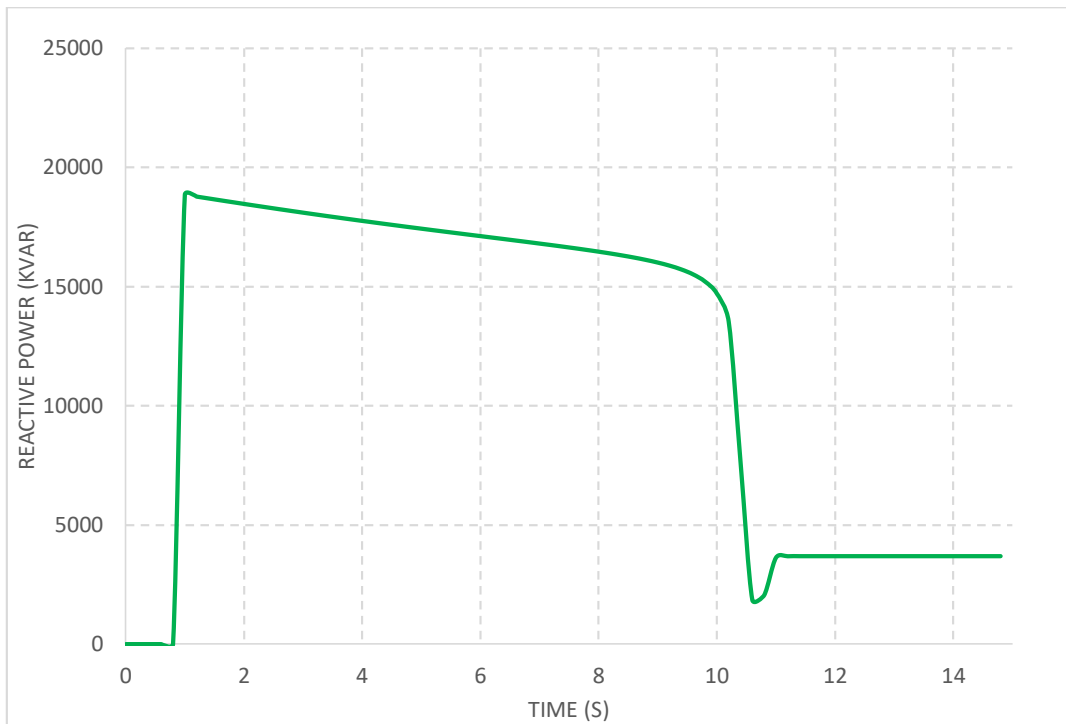
Dengan cara yang sama dengan subbab 4.3.4, motor yang akan disimulasikan pada analisis ini adalah 12-K-501B dengan kondisi 1 unit motor lainnya beroperasi (pada kasus ini motor 12-K-501C beroperasi) dan menggunakan 4 STG sebagai sumber. Hasil simulasi *starting* motor ditunjukkan pada kurva-kurva adalah sebagai berikut:



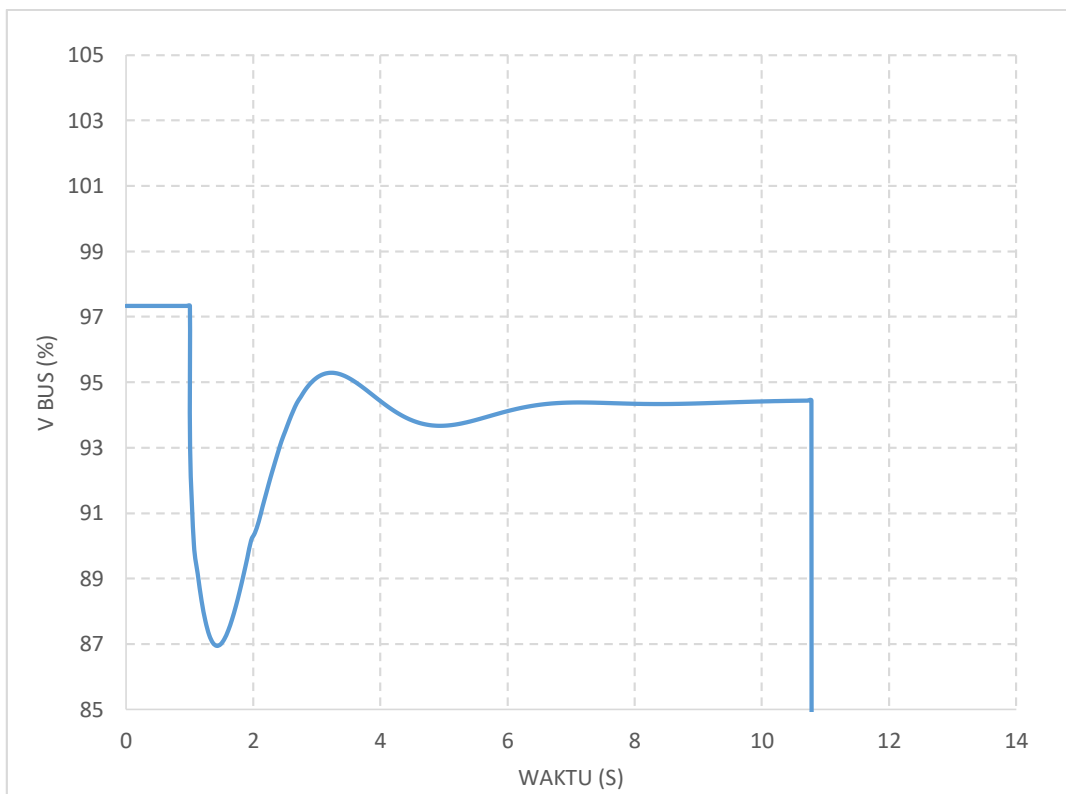
Gambar 1.17 Kurva arus pada motor 12-K-501B terhadap waktu



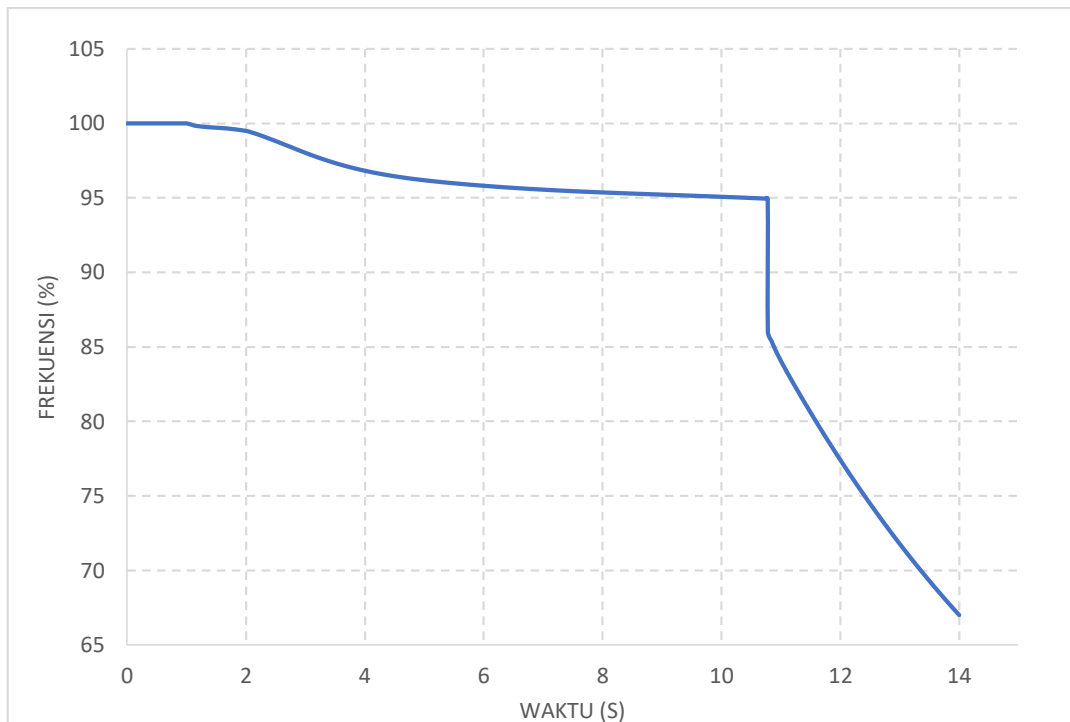
Gambar 1.18 Kurva daya aktif pada motor 12-K-501B terhadap waktu



Gambar 1.19 Kurva daya reaktif pada motor 12-K-501B terhadap waktu



Gambar 1.20 Kurva tegangan pada bus 20 kV terhadap waktu



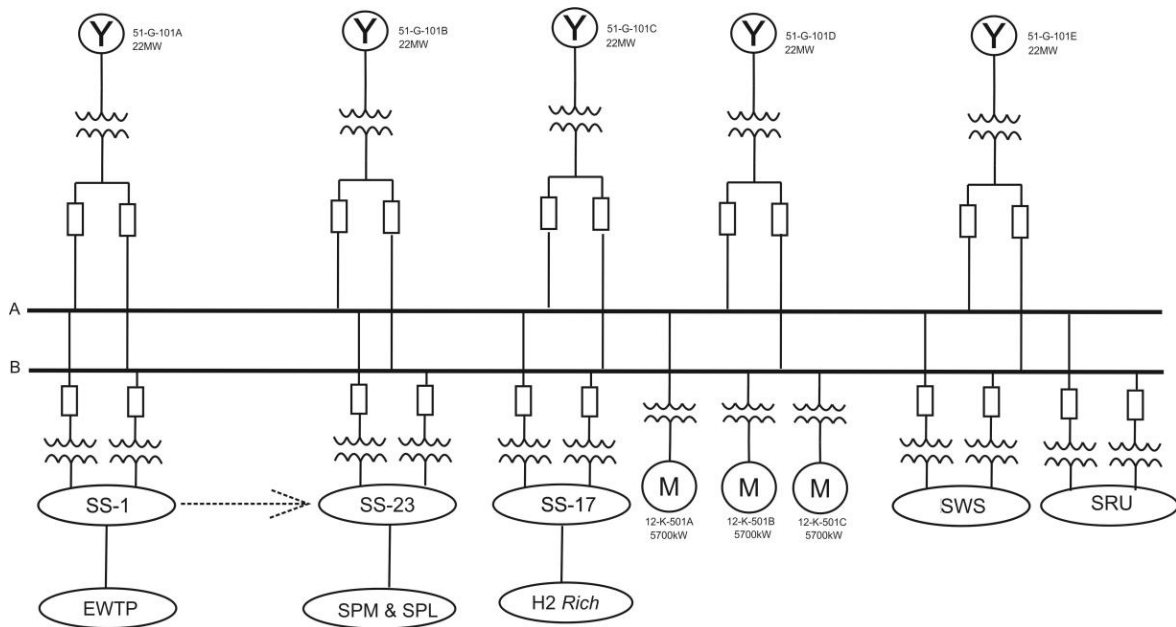
Gambar 1.21 Kurva frekuensi pada bus 20 kV terhadap waktu

Berdasarkan hasil simulasi pada tabel 4.11 dan kurva-kurva pada gambar 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, dan 4.21 menunjukkan bahwa motor 12-K-501B tidak berhasil melakukan *start*, karena level tegangan pada bus 20 kV jatuh mencapai kurang dari 90% dan level frekuensi jatuh mencapai kurang dari 70% sehingga perlu dilakukan rekongfigurasi bus 20 kV. Maka, solusi rekonfigurasi yang perlu dilakukan untuk membatasi isu arus hubung singkat pada bus 20 kV PERTAMINA RU-VI Balongan adalah:

1. Peningkatan kapasitas panel menjadi 40 kA
2. Pemisahan 2 Section dengan kapasitas panel 25 kA
3. Pemisahan 3 Section dengan kapasitas panel 25 kA

4.5 Peningkatan kapasitas panel menjadi 40 kA

Konsep solusi ini tidak membatasi arus hubung singkat, tetapi meningkatkan kemampuan level hubung singkat busbar/switchgear menjadi 40 kA, dengan mengganti substation utama 20 kV eksisting dengan Switchgear baru 40 kA. Alternatif ini memerlukan penggantian menyeluruh terhadap line-up 20 kV. Sementara itu, jika untuk mencapai pembangkitan 80 MW adalah dengan menggunakan 5 STG, maka diperlukan 1 STG tambahan (disebut: STG#6) untuk memenuhi operasi N+1. Gambar 4.22 menunjukkan diagram satu garis dengan rating bus 40 kA.



Gambar 1.22 Simplifikasi diagram satu garis dengan rating 40 kA

4.5.1 Perhitungan Aliran Daya

4.5.1.1 Perhitungan Aliran Daya Sebelum Ditambahkan Beban

Besarnya aliran daya sebelum ditambahkan beban baru ditunjukkan pada tabel 4.18:

Tabel 1.18 *Load Flow* pada bus 20 kV

	MW	MVAR	MVA
<i>Total Generated</i> (Swing Buses)	84,191	63,364	105,371
<i>Total Demand</i>	62,417	40,527	74,419

4.5.1.2 Perhitungan Aliran Daya Setelah Ditambahkan Beban

Besarnya aliran daya setelah ditambahkan beban baru ditunjukkan pada tabel 4.19:

Tabel 1.19 *Load Flow* pada bus 20 kV

	MW	MVAR	MVA
<i>Total Generated</i> (Swing Buses)	84,191	63,364	105,371
<i>Total Demand</i>	84,191	63,364	105,371

4.5.2 Perhitungan Impedansi

Seperti yang telah disebutkan pada subbab 4.3.2 diperlukan perhitungan terhadap nilai impedansi sumber, reaktansi transformator, impedansi penyulang, impedansi ekivalen

urutan positif, urutan negatif dan urutan nol sebelum menghitung arus gangguan hubung singkat.

4.5.2.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Besarnya impedansi sumber sama dengan pada subbab 4.3.2.1 sehingga

$$Z(\text{pu}) = 0,003 + j 0,119 \text{ pu}$$

4.5.2.2 Perhitungan Impedansi Transformator *Step Up*

Besarnya impedansi sumber sama dengan pada subbab 4.3.2.2 sehingga

$$Z_{1T}(\text{pu}) = Z_{2T}(\text{pu}) = j 0,311 \text{ pu}$$

$$Z_{0T}(\text{pu}) = 7,223 + j 0,331 \text{ pu}$$

4.5.2.3 Perhitungan Impedansi Beban *Substation*

Besarnya impedansi sumber sama dengan pada subbab 4.4.2.3 sehingga

Tabel 1.20 Impedansi Beban *Substation*

No	Substation	$Z_1 = Z_2$ (pu)	Z_0 (pu)
1	#SS01A	0,235 + j 2,511	0,228 + j 3,234
2	#SS01B	0,307 + j 2,500	0,292 + j 3,952
3	#SS11	0,327 + j 3,344	0,301 + j 4,193
4	#SS12	0,307 + j 3,326	0,269 + j 4,028
5	#SS13	0,303 + j 2,821	0,298 + j 4,042
6	#SS14A	0,238 + j 3,442	0,248 + j 4,229
7	#SS14B	0,304 + j 2,400	0,292 + j 4,953
8	#SS15	0,296 + j 3,881	0,294 + j 4,701
9	#SS16	0,464 + j 2,386	0,68 + j 12,309
10	#SS17A	0,206 + j 3,301	0,206 + j 3,938
11	#SS17B	0,225 + j 2,556	0,224 + j 5,939
12	#SS18	0,258 + j 2,656	0,283 + j 4, 913
13	#SS19	0,241 + j 2,438	0,222 + j 3,657
14	#SS21	0,698 + j 3,509	0,772 + j 10,229
15	#SS22	1,649 + j 2,322	0
16	#SS23	0,481 + j 3,494	0,415 + j 4,814
17	Motor 12-K-501	0,045 + j 0,832	0,045 + j 0,883
18	SWS	0,296 + j 3,799	0,296 + j 3,799
19	SRU	0,296 + j 3,799	0,296 + j 3,799

Pembebanan pada bus 20 kV terpasang secara paralel maka nilai impedansi beban total diperoleh dari beban *substation* yang diparalel dengan beban *substation* yang lainnya. Maka jumlah impedansi beban total yang ada yaitu:

$$\frac{1}{Z_{\text{beban}}} = \frac{1}{Z_{\#SS01}} + \frac{1}{Z_{\#SS11}} + \frac{1}{Z_{\#SS12}} + \dots + \frac{1}{Z_{\text{SRU}}}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,017 + j 0,137 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 0,013 + j 0,204 \text{ pu}$$

4.5.2.4 Perhitungan Impedansi Saluran

Besarnya impedansi saluran beserta generator dan transformator sama dengan pada subbab 4.3.2.4 sehingga

$$Z_1 (\text{pu}) = Z_2 (\text{pu}) = 0,0149 + j 0,4576 \text{ pu}$$

$$Z_0 (\text{pu}) = 7,242 + j 0,3813 \text{ pu}$$

Generator, transformator, dan kabel pada bus 20 kV sebanyak 6 buah terpasang secara paralel maka nilai impedansi beban total diperoleh dari Generator, transformator, dan kabel yang diparalel dengan Generator, transformator, dan kabel yang lainnya. Maka jumlah impedansi total yang ada yaitu:

$$\frac{1}{Z_{\text{Total Incoming}}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_6}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,003 + j 0,283 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 1,205 + j 0,025 \text{ pu}$$

4.5.2.5 Perhitungan Nilai Impedansi Urutan pada Titik Gangguan

4.5.2.5.1 Nilai Impedansi Urutan Positif

Seperti yang disebutkan pada subbab 4.3.2.5.1 dengan cara yang sama besarnya nilai Z_1 ekuivalen adalah:

$$Z_1 (\text{pu}) = \frac{(0,003 + j 0,283) \times (0,017 + j 0,137)}{(0,003 + j 0,283) + (0,017 + j 0,137)} = 0,008 + j 0,085 \text{ pu}$$

4.5.2.5.2 Nilai Impedansi Urutan Negatif

Seperti yang disebutkan pada subbab 4.3.2.5.2, nilai impedansi urutan negatif mempunyai nilai yang sama dengan impedansi urutan positif sehingga nilai dari impedansi urutan negatif sebagai berikut:

$$Z_2 (\text{pu}) = Z_1 (\text{pu}) = 0,008 + j 0,085 \text{ pu}$$

4.5.2.5.3 Nilai Impedansi Urutan Nol

Seperti yang disebutkan pada subbab 4.3.2.5.3 dengan cara yang sama besarnya nilai Z_0 ekuivalen adalah:

$$Z_0 (\text{pu}) = \frac{(1,205 + j 0,025) \times (0,013 + j 0,204)}{(1,205 + j 0,025) + (0,013 + j 0,204)} = 0,045 + j 0,188 \text{ pu}$$

4.5.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

4.5.3.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat Sebelum Ditambahkan Beban Baru

Setelah mendapatkan besarnya impedansi urutan positif, negatif, dan nol maka dengan cara yang sama pada subbab 4.3.3 besarnya arus gangguan hubung singkat tiga dasa, antar fasa, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah ditunjukkan pada tabel 4.21

Tabel 1.21 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat bus 20 kV dengan rating 40 kA

Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	$30,028 \angle -86,624^\circ$
Antar Fasa	$I_{fb} = 20,413 \angle -171,254^\circ$ $I_{fc} = 20,413 \angle 7,265^\circ$
Satu fasa ke tanah	$15,723 \angle -88,311^\circ$
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 22,564 \angle 148,127^\circ$ $I_{fc} = 23,911 \angle 17,233^\circ$

4.5.3.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat Setelah Ditambahkan Beban Baru

Besarnya arus gangguan hubung singkat tiga dasa, antar fasa, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah ditunjukkan pada tabel 4.22

Tabel 1.22 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat bus 20 kV dengan rating 40 kA

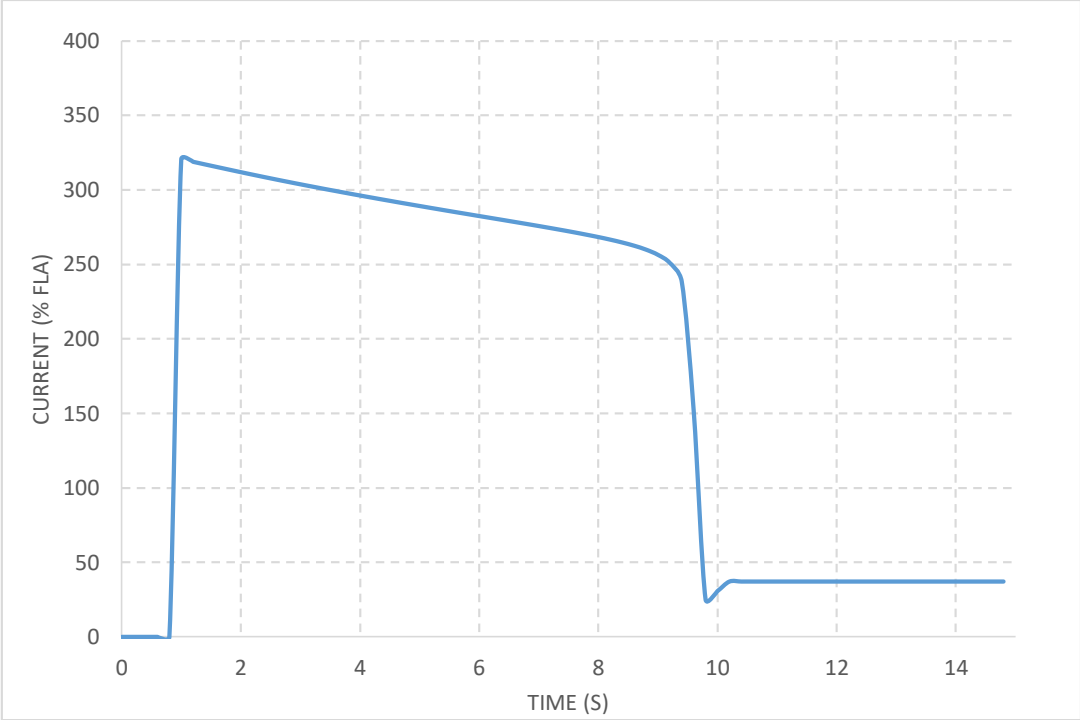
Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	$35,216 \angle -64,752^\circ$
Antar Fasa	$I_{fb} = 23,823 \angle -190,427^\circ$ $I_{fc} = 23,823 \angle 8,462^\circ$
Satu fasa ke tanah	$18,699 \angle -78,213^\circ$
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 24,609 \angle 154,327^\circ$ $I_{fc} = 25,735 \angle 21,469^\circ$

Dari hasil simulasi arus hubung singkat sesuai dengan tabel 4.21 menunjukkan bahwa besarnya arus hubung singkat dari busbar dan CB main switchgear 20 kV sudah tidak melewati batas rating arus busbar. Dimana rating arus busbar adalah 40 kA dan besarnya arus hubung singkat pada busbar 20 kV adalah 29,916 kA Dengan demikian upgrade switchgear menjadi 40 kA dapat mengakomodir besarnya arus hubung singkat pada operasi tersebut.

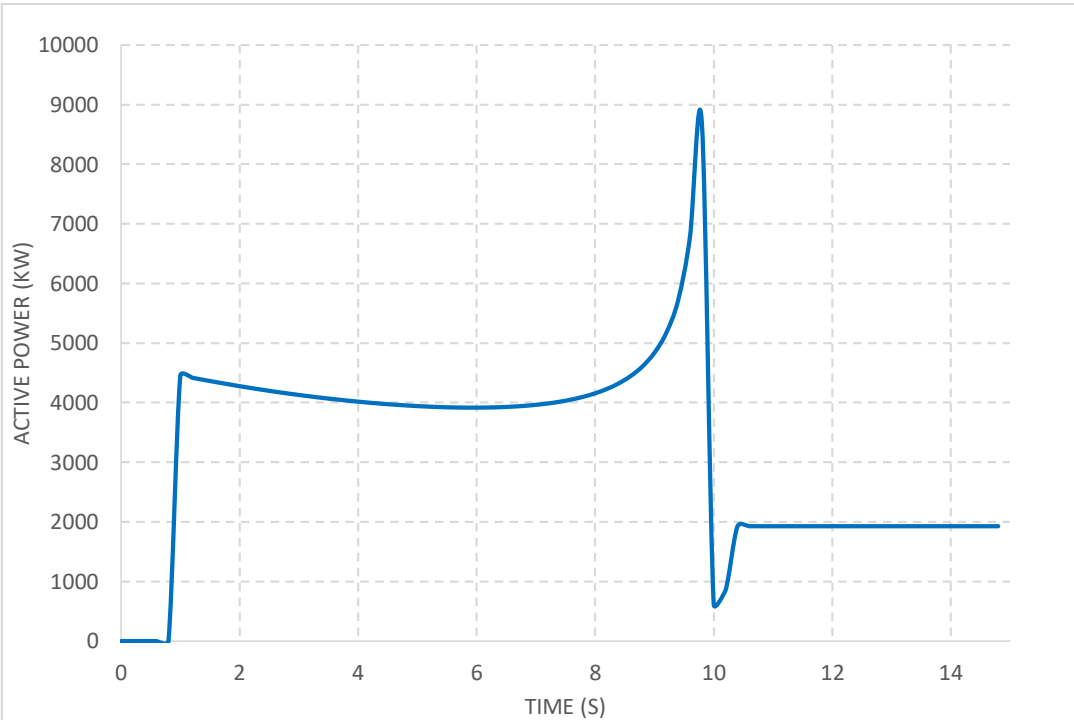
4.5.4 Simulasi Starting Motor

Sama dengan simulasi sebelumnya, motor yang akan disimulasikan pada analisis ini adalah 12-K-501B dengan kondisi 1 unit motor lainnya beroperasi (pada kasus ini motor 12-

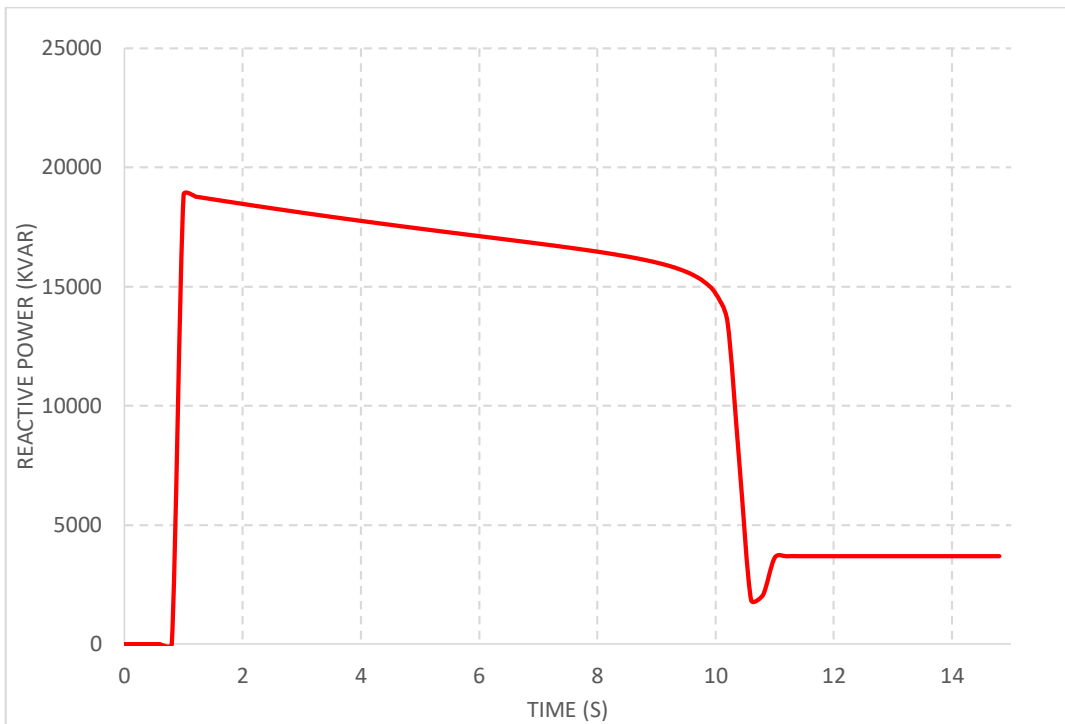
K-501C beroperasi). Menimbang dari hasil *Load flow balance* pada subbab sebelumnya, dimana kapasitas beban ada pada 80MW, maka jumlah STG yang beroperasi adalah 4 STG. hasil simulasi *starting* motor ditunjukkan pada kurva-kurva adalah sebagai berikut:



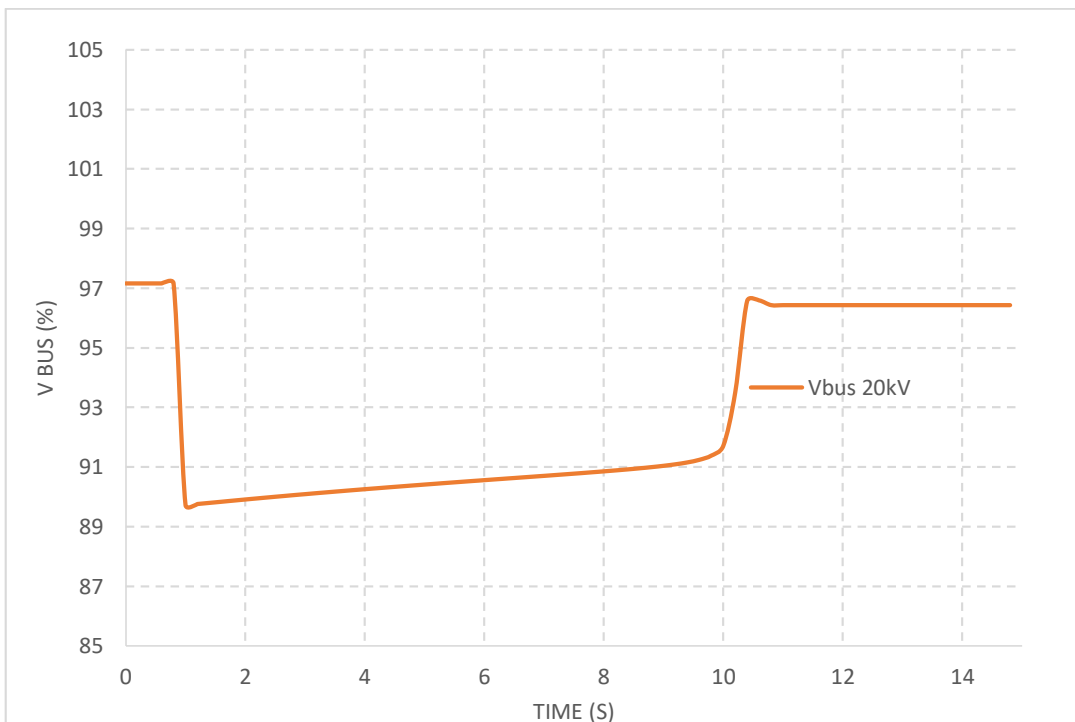
Gambar 1.23 Kurva arus pada motor 12-K-501B terhadap waktu



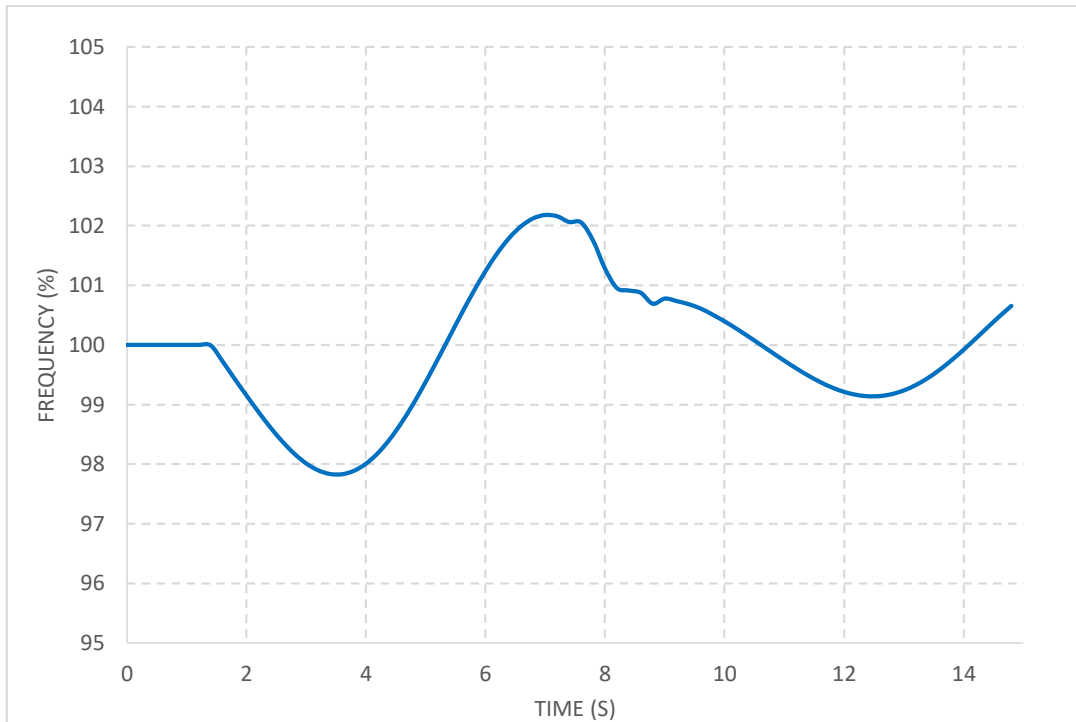
Gambar 1.24 Kurva daya aktif pada motor 12-K-501B terhadap waktu



Gambar 1.25 Kurva daya aktif pada motor 12-K-501B terhadap waktu



Gambar 1.26 Kurva tegangan pada bus 20 kV terhadap waktu



Gambar 1.27 Kurva frekuensi pada bus 20 kV terhadap waktu

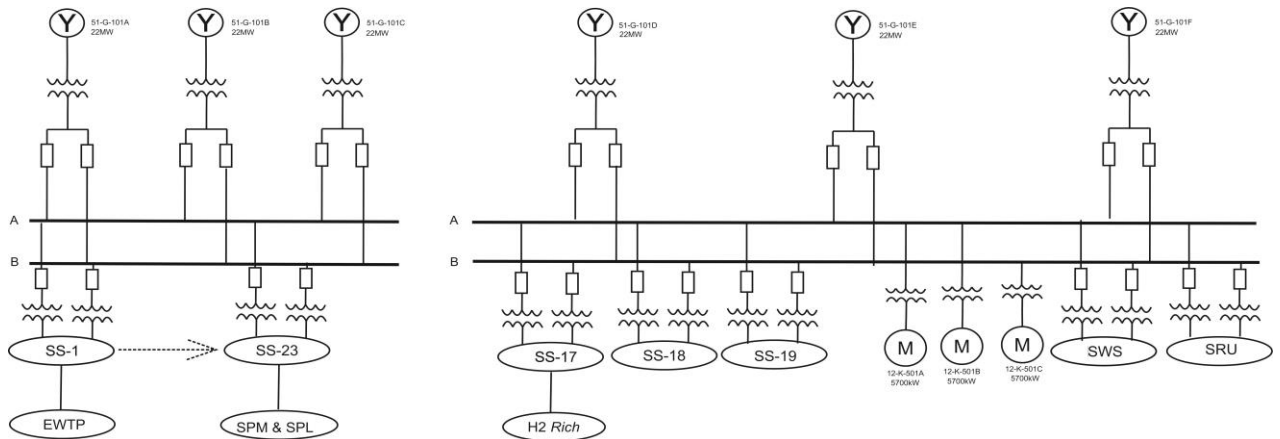
Berdasarkan hasil simulasi pada kurva-kurva pada gambar 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, dan 4.27 menunjukkan bahwa motor 12-K-501B berhasil melakukan *start*, akan tetapi berberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Starting dengan menggunakan 4 STG pada kondisi ini masih bisa dilakukan, namun cukup riskan mengingat spinning reserve saat operasi dengan 4 STG sangat terbatas (Sebesar 88 MW), dimana beban sendiri sudah ada pada 80 MW. Dianjurkan untuk melakukan starting motor besar dengan menggunakan 5 STG.
2. Tegangan di 20kV sempat mencapai nilai 89% namun untuk waktu yg singkat (<1detik), kemudian kembali ke kondisi normal setelah 9 detik sejak motor start.
3. Frekuensi di bus 20 kV berada pada level 97,8% - 102,5%, sehingga masih belum melewati batasan.

4.6 Pemisahan 2 Section dengan Rating Bus 25 kA

Solusi pemisahan 2 section bertujuan untuk membatasi arus hubung singkat di *switchgear* 20 kV yaitu dengan mengurangi kontribusi arus hubung singkat dengan memisahkan kontributor utama; dalam hal ini 1 STG dipindah incomer ke section 2, sehingga ada 3 STG yang incomernya terhubung ke section 2. Dengan memisahkan incomer 3 STG ke section lain maka level arus hubung singkat akan berkurang menjadi <25 kA.

Selain pemindahan incomer STG, pada konsep pemisahan 2 Section juga dilakukan re-routing 3 Motor 5700 kW ke Section 2. Gambar 4.23 menunjukkan diagram satu garis dengan pemisahan 2 section.



Gambar 1.28 Simplifikasi diagram satu garis dengan pemisahan 2 section

4.6.1 Perhitungan Aliran Daya

4.6.1.1 Perhitungan Aliran Daya Sebelum Ditambahkan Beban

Besarnya aliran daya sebelum ditambahkan beban baru ditunjukkan pada tabel 4.23:

Tabel 1.23 Load Flow pada bus 20 kV

	MW	MVAR	MVA
Total Generated (Swing Buses)	84,198	63,428	105,416
Total Demand	68,679	46,319	82,939

4.6.1.2 Perhitungan Aliran Daya Setelah Ditambahkan Beban

Besarnya aliran daya setelah ditambahkan beban baru ditunjukkan pada tabel 4.24:

Tabel 1.24 Load Flow pada bus 20 kV

	MW	MVAR	MVA
Total Generated (Swing Buses)	84,198	63,428	105,416
Total Demand	84,198	63,428	105,416

4.6.2 Perhitungan Impedansi

Seperti yang telah disebutkan pada subbab 4.3.2 diperlukan perhitungan terhadap nilai impedansi sumber, reaktansi transformator, impedansi penyulang, impedansi ekivalen

urutan positif, urutan negatif dan urutan nol sebelum menghitung arus gangguan hubung singkat.

4.6.2.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Besarnya impedansi sumber sama dengan pada subbab 4.3.2.1 sehingga

$$Z(\text{pu}) = 0,003 + j 0,119 \text{ pu}$$

4.6.2.2 Perhitungan Impedansi Transformator *Step Up*

Besarnya impedansi sumber sama dengan pada subbab 4.3.2.2 sehingga

$$Z_{1T}(\text{pu}) = Z_{2T}(\text{pu}) = j 0,311 \text{ pu}$$

$$Z_{0T}(\text{pu}) = 7,223 + j 0,331 \text{ pu}$$

4.6.2.3 Perhitungan Impedansi Beban *Substation*

Pada perhitungan impedansi beban *substation*, terdapat pemisahan beban yang terbagi menjadi 2 *section*. Beban pada setiap *section* adalah sebagai berikut:

1. *Section 1*: #SS01A, #SS01B, #SS11, #SS12, #SS13, #SS14A, #SS14B, #SS15, #SS16, #SS21, #SS22, #SS23.
2. *Section 2*: #SS17, #SS18, #SS19, Motor 12-K-501, SWS & SRU.

Sehingga diperoleh impedansi beban pada setiap *substation* pada *section 1* & *section 2* dalam bentuk pu seperti pada tabel 4.25, dan 4.26 berikut:

Tabel 1.25 Impedansi Beban *Substation* pada *section 1*

No	Substation	$Z_1 = Z_2$ (pu)	Z_0 (pu)
1	#SS01A	0,235 + j 2,511	0,228 + j 3,234
2	#SS01B	0,307 + j 2,500	0,292 + j 3,952
3	#SS11	0,327 + j 3,344	0,301 + j 4,193
4	#SS12	0,307 + j 3,326	0,269 + j 4,028
5	#SS13	0,303 + j 2,821	0,298 + j 4,042
6	#SS14A	0,238 + j 3,442	0,248 + j 4,229
7	#SS14B	0,304 + j 2,400	0,292 + j 4,953
8	#SS15	0,296 + j 3,881	0,294 + j 4,701
9	#SS16	0,464 + j 2,386	0,68 + j 12,309
10	#SS21	0,698 + j 3,509	0,772 + j 10,229
11	#SS22	1,649 + j 2,322	0
12	#SS23	0,481 + j 3,494	0,415 + j 4,814

Maka jumlah impedansi beban total pada *section 1* yang ada yaitu:

$$\frac{1}{Z_{\text{beban}}} = \frac{1}{Z_{\#SS01}} + \frac{1}{Z_{\#SS11}} + \frac{1}{Z_{\#SS12}} + \dots + \frac{1}{Z_{\#23}}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,040 + j 0,245 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 0,030 + j 0,425 \text{ pu}$$

Tabel 1.26 Impedansi Beban *Substation* pada *section 2*

No	Substation	$Z_1 = Z_2$ (pu)	Z_0 (pu)
1	#SS17A	0,206 + j 3,301	0,206 + j 3,938
2	#SS17B	0,225 + j 2,556	0,224 + j 5,939
3	#SS18	0,258 + j 2,656	0,283 + j 4, 913
3	#SS19	0,241 + j 2,438	0,222 + j 3,657
5	Motor 12-K-501	0,045 + j 0,832	0,045 + j 0,883
6	SWS	0,296 + j 3,799	0,296 + j 3,799
7	SRU	0,296 + j 3,799	0,296 + j 3,799

Pembebanan pada bus 20 kV terpasang secara paralel maka nilai impedansi beban total diperoleh dari beban *substation* yang diparalel dengan beban *substation* yang lainnya. Maka jumlah impedansi beban total yang ada yaitu:

$$\frac{1}{Z_{\text{beban}}} = \frac{1}{Z_{\#SS01}} + \frac{1}{Z_{\#SS11}} + \frac{1}{Z_{\#SS12}} + \dots + \frac{1}{Z_{\text{SRU}}}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,023 + j 0,310 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 0,022 + j 0,391 \text{ pu}$$

4.6.2.4 Perhitungan Impedansi Saluran

Besarnya impedansi saluran beserta generator dan transformator sama dengan pada subbab 4.3.2.4 sehingga

$$Z_1 \text{ (pu)} = Z_2 \text{ (pu)} = 0,0149 + j 0,4576 \text{ pu}$$

$$Z_0 \text{ (pu)} = 7,242 + j 0,3813 \text{ pu}$$

Generator, transformator, dan kabel pada bus 20 kV sebanyak 3 buah terpasang secara paralel pada section 1 & 2 maka nilai impedansi beban total diperoleh dari Generator, transformator, dan kabel yang diparalel dengan Generator, transformator, dan kabel yang lainnya. Maka jumlah impedansi total pada section 1 & 2 yang ada yaitu:

$$\frac{1}{Z_{\text{Total Incoming}}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_6}$$

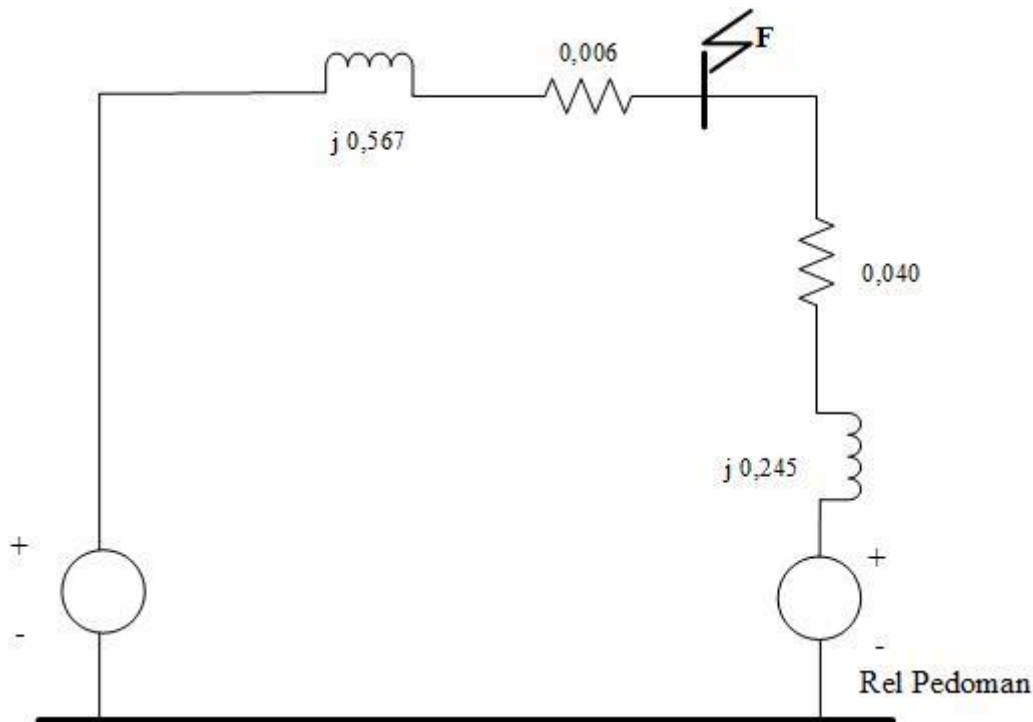
$$Z_1 = Z_2 = 0,006 + j 0,567 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 2,411 + j 0,049 \text{ pu}$$

4.6.2.5 Perhitungan Nilai Impedansi Urutan Pada Titik Gangguan

4.6.2.5.1 Nilai Impedansi Urutan Positif

Perhitungan impedansi urutan positif dilakukan pada *section 1* dan *section 2*.



Gambar 1.29 Rangkaian Impedansi Urutan Positif pada section 1

Dari gambar rangkaian diatas, maka untuk mendapatkan nilai impedansi ekivalennya dengan cara paralel sehingga diperoleh nilai Z_1 ekivalen pada section 1 sebagai berikut:

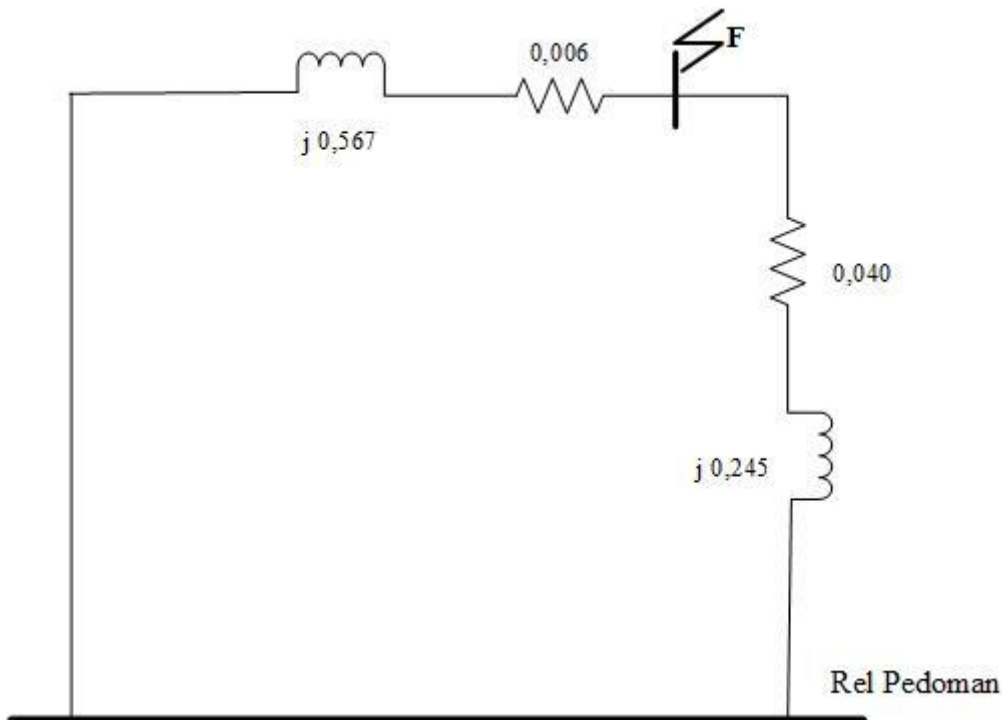
$$Z_{1 \text{ section1}} (\text{pu}) = \frac{(0,006 + j 0,567) \times (0,040 + j0,245)}{((0,006 + j 0,567) + (0,040 + j0,245))} = 0,020 + j 0,172 \text{ pu}$$

Dengan cara yang sama maka nilai Z_1 ekivalen pada section 2 adalah:

$$Z_{1 \text{ section2}} (\text{pu}) = \frac{(0,023 + j 0,310) \times (0,006 + j0,567)}{(0,023 + j 0,310) + (0,006 + j0,567)} = 0,010 + j 0,200 \text{ pu}$$

4.6.2.5.2 Nilai Impedansi Urutan Negatif

Perhitungan impedansi urutan negatif dilakukan pada section 1 dan section 2.



Gambar 1.30 Rangkaian Impedansi Urutan Negatif pada section 1

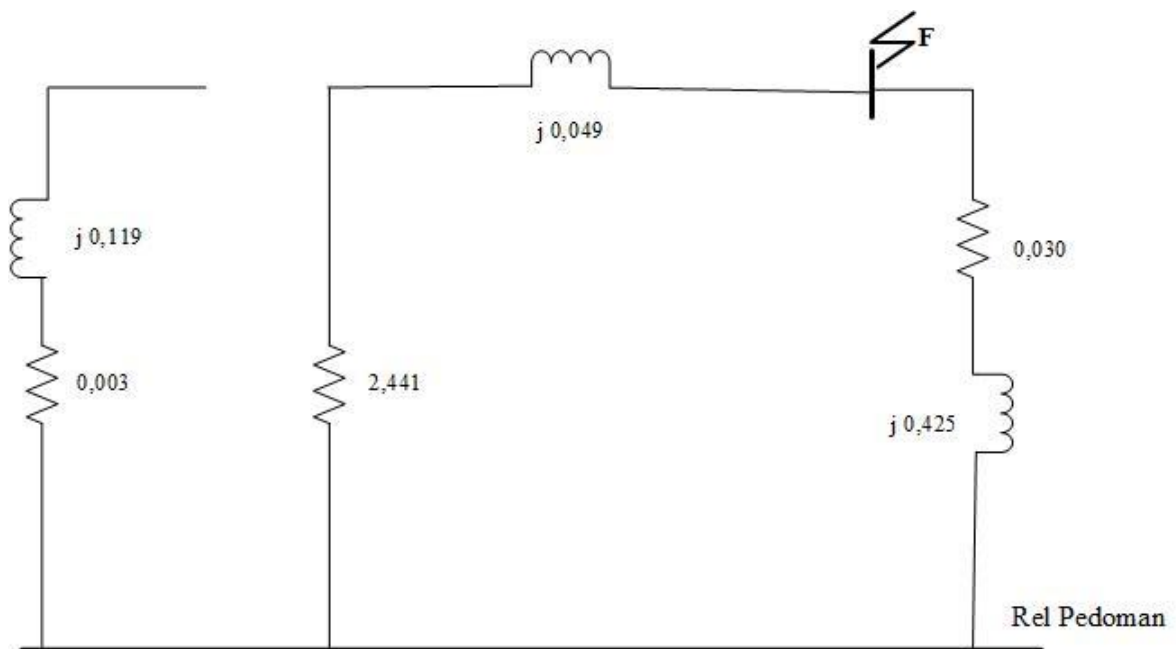
Dari rangkaian diatas nilai impedansi urutan negatif mempunyai nilai yang sama dengan impedansi urutan positif sehingga nilai dari impedansi urutan negatif sebagai berikut:

$$Z_{2 \text{ section1}} (\text{pu}) = Z_{1 \text{ section1}} (\text{pu}) = 0,020 + j 0,172 \text{ pu}$$

$$Z_{2 \text{ section2}} (\text{pu}) = Z_{1 \text{ section2}} (\text{pu}) = 0,010 + j 0,200 \text{ pu}$$

4.6.2.5.3 Nilai Impedansi Urutan Nol

Perhitungan impedansi urutan nol dilakukan pada section 1 dan section 2.



Gambar 1.31 Rangkaian Impedansi Urutan Nol pada *section 1*

Dari gambar rangkaian diatas, maka untuk mendapatkan nilai impedansi ekivalennya dengan cara paralel sehingga diperoleh nilai Z_0 ekivalen pada *section 1* sebagai berikut:

$$Z_{0 \text{ section1}} (\text{pu}) = \frac{(2,441 + j 0,049) \times (0,030 + j 0,425)}{(2,441 + j 0,049) + (0,030 + j 0,425)} = 0,099 + j 0,401 \text{ pu}$$

Dengan cara yang sama maka nilai Z_0 ekivalen pada *section 2* adalah:

$$Z_{0 \text{ section2}} (\text{pu}) = \frac{(2,441 + j 0,049) \times (0,022 + j 0,391)}{(2,441 + j 0,049) + (0,022 + j 0,391)} = 0,082 + j 0,373 \text{ pu}$$

Sehingga nilai impedansi gangguan pada titik bus 20 kV pada *section 1* dan *section 2*

Tabel 1.27 Impedansi Gangguan pada Titik 20 kV

<i>Section 1</i>	Z_1 (pu)	0,020 + j 0,172
	Z_2 (pu)	0,020 + j 0,172
	Z_0 (pu)	0,099 + j 0,401
<i>Section 2</i>	Z_1 (pu)	0,010 + j 0,200
	Z_2 (pu)	0,010 + j 0,200
	Z_0 (pu)	0,082 + j 0,373

4.6.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

4.6.3.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat Sebelum Ditambahkan Beban Baru

Setelah mendapatkan besarnya impedansi urutan positif, negatif, dan nol maka dengan cara yang sama pada subbab 4.3.3 besarnya arus gangguan hubung singkat tiga dasa, antar fasa, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah ditunjukkan pada tabel 4.28 dan tabel 4.29.

Tabel 1.28 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat pada *section 1*

Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	19,342 \angle -83,367°
Antar Fasa	$I_{fb} = 14,435 \angle -111,404^\circ$ $I_{fc} = 14,435 \angle 4,563^\circ$
Satu fasa ke tanah	12,531 \angle -68,241°
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 17,221 \angle 145,233^\circ$ $I_{fc} = 16,455 \angle 27,677^\circ$

Tabel 1.29 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat pada *section 2*

Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	11,463 \angle -87,156°
Antar Fasa	$I_{fb} = 8,845 \angle -145,537^\circ$ $I_{fc} = 8,845 \angle 6,243^\circ$
Satu fasa ke tanah	7,780 \angle -41,125°
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 10,244 \angle 146,237^\circ$ $I_{fc} = 10,954 \angle 19,241^\circ$

4.6.3.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat Setelah Ditambahkan Beban Baru

Besarnya arus gangguan hubung singkat tiga dasa, antar fasa, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah ditunjukkan pada tabel 4.30 dan tabel 4.31.

Tabel 1.30 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat pada *section 1*

Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	23,342 \angle -83,367°
Antar Fasa	$I_{fb} = 17,233 \angle -173,507^\circ$ $I_{fc} = 17,233 \angle 6,483^\circ$
Satu fasa ke tanah	14,872 \angle -79,431°
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 19,753 \angle 170,474^\circ$ $I_{fc} = 18,931 \angle 23,769^\circ$

Tabel 1.31 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat pada *section 2*

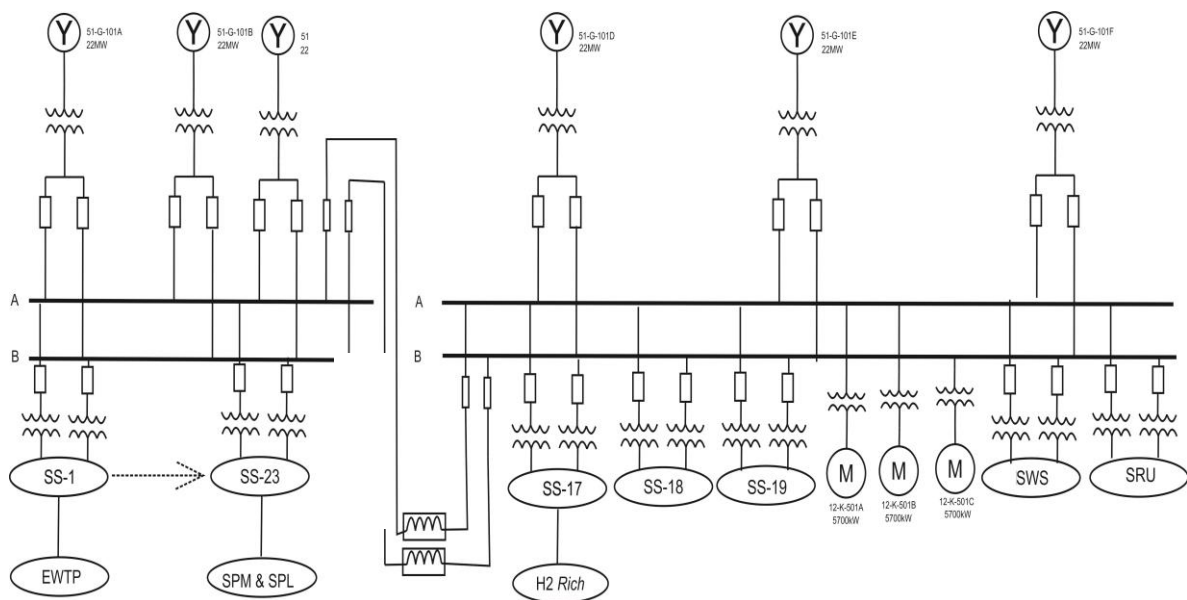
Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	20,322 \angle -84,752°
Antar Fasa	$I_{fb} = 15,237 \angle -170,537^\circ$ $I_{fc} = 15,237 \angle 9,462^\circ$
Satu fasa ke tanah	11,231 \angle -81,853°
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 17,809 \angle 166,947^\circ$ $I_{fc} = 17,126 \angle 24,629^\circ$

Dari hasil perhitungan arus hubung singkat menunjukkan bahwa besarnya arus hubung singkat dari busbar dan CB main switchgear 20 kV dengan pemisahan 2 *section*, besarnya arus hubung singkat dari busbar dan CB main switchgear 20 kV dapat dikurangi sehingga sudah tidak melewati batas rating arus busbar. Dimana rating arus busbar adalah 25 kA dan besarnya arus gangguan hubung singkat yang paling besar yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa sebesar 23,342 kA pada *section 1* dan 20,322 kA pada *section 2*. Dengan demikian dengan pemisahan 2 *section* dapat mengakomodir besarnya arus hubung singkat

pada operasi tersebut. Akan tetapi hal yang perlu diperhatikan adalah kemungkinan penambahan tambahan di masa datang akan menyebabkan arus hubung singkat melebihi rating dari busbar.

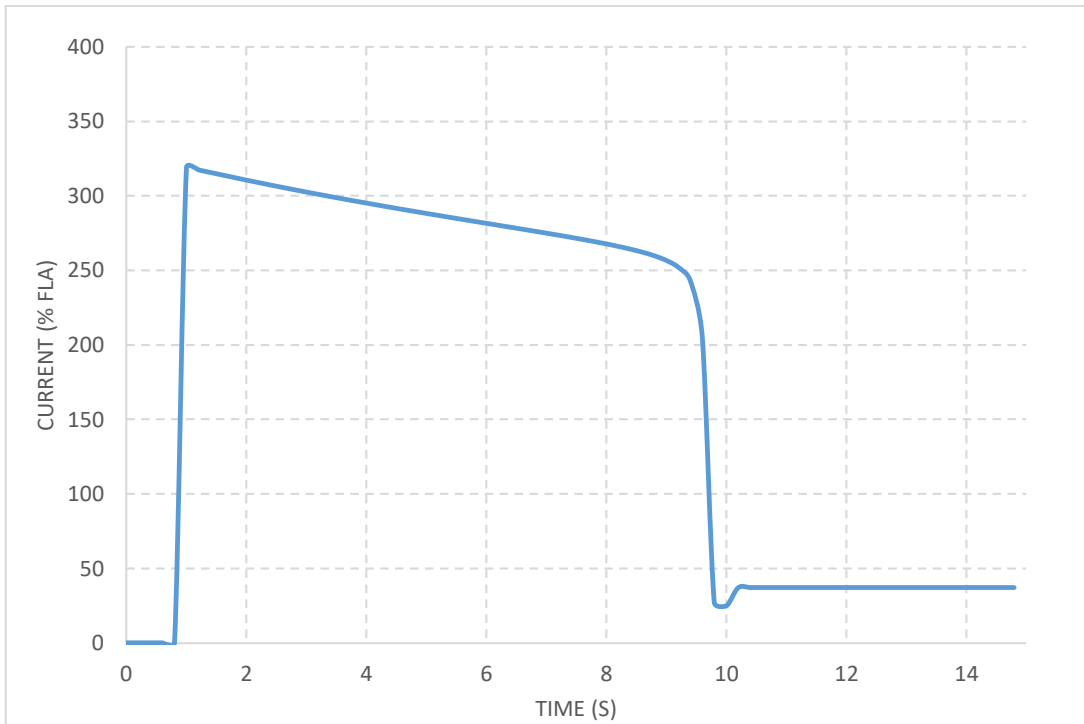
4.6.4 Simulasi *Starting Motor*

Seperti halnya dengan simulasi sebelumnya, motor yang akan disimulasikan pada analisis ini adalah 12-K-501C pada *section 2* dengan kondisi 1 unit motor lainnya beroperasi (pada kasus ini motor 12-K-501C beroperasi). Berkaitan dengan hal ini *section 2* dibutuhkan 3 STG yang beroperasi dan 2 STG pada *section 1*. Antara *section 1* dan 2 dihubungkan dengan reaktor.

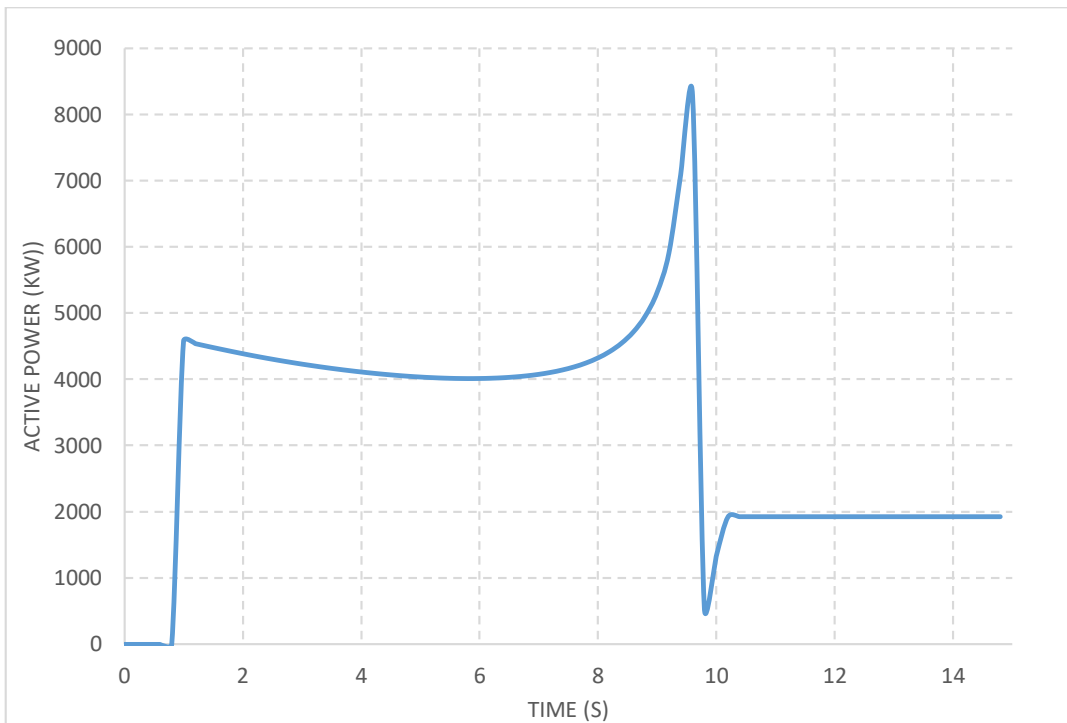


Gambar 1.32 Simulasi *starting motor* pada kondisi 2 *section*

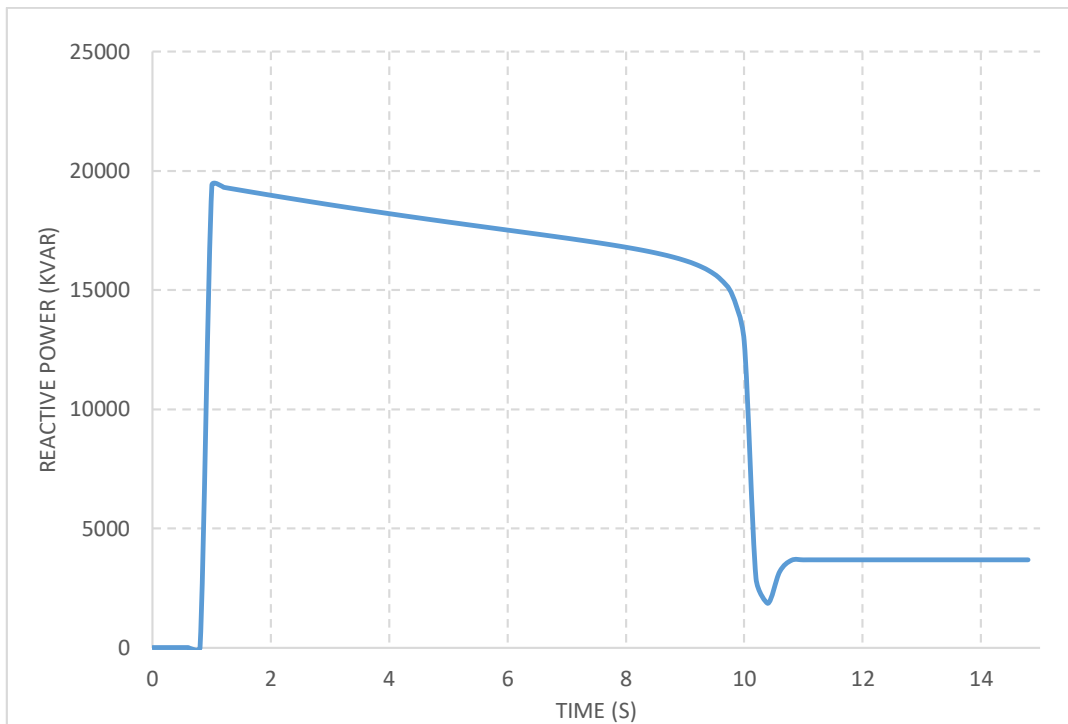
.Kurva-kurva dari simulasi *starting motor* 12-K-501B dengan 5 STG adalah sebagai berikut:



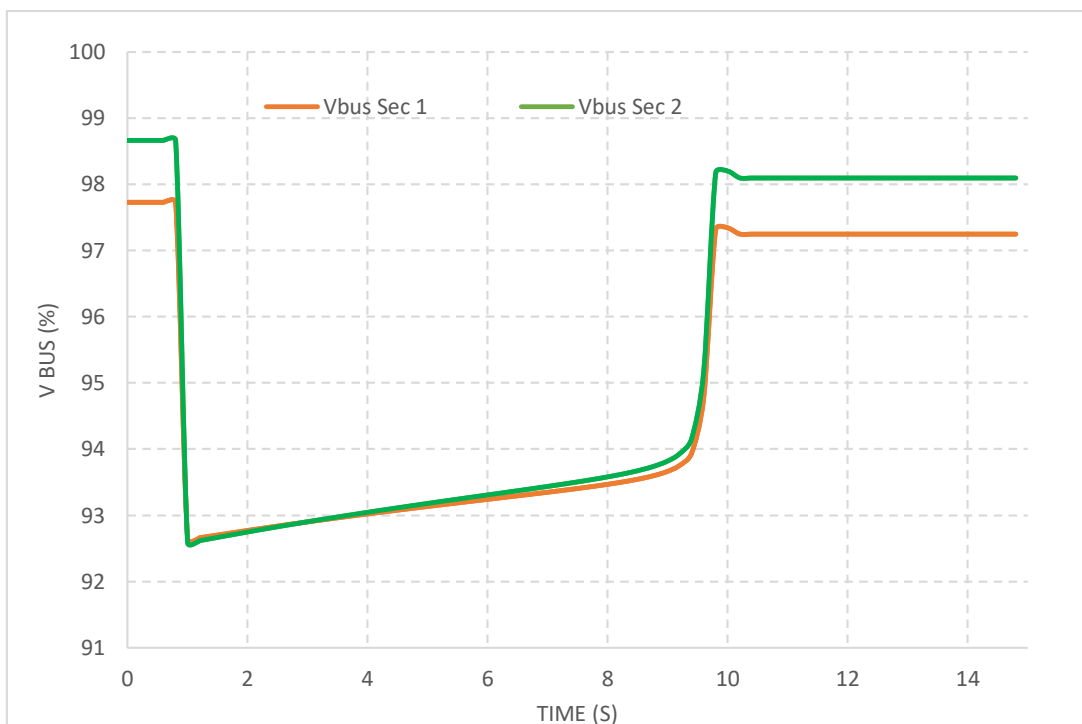
Gambar 1.33 Kurva arus pada motor 12-K-501B terhadap waktu



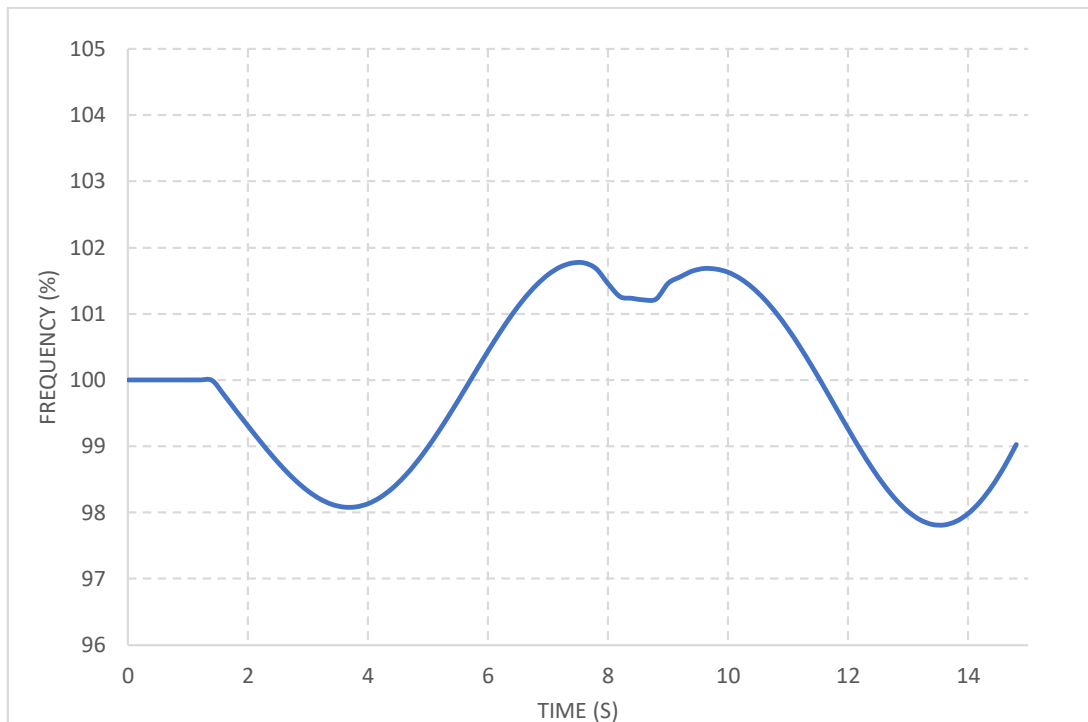
Gambar 1.34 Kurva daya aktif pada motor 12-K-501B terhadap waktu



Gambar 1.35 . Kurva daya reaktif pada motor 12-K-501B terhadap waktu



Gambar 1.36 . Kurva tegangan pada bus 20 kV *section 1* dan *section 2* terhadap waktu Dengan 5 STG



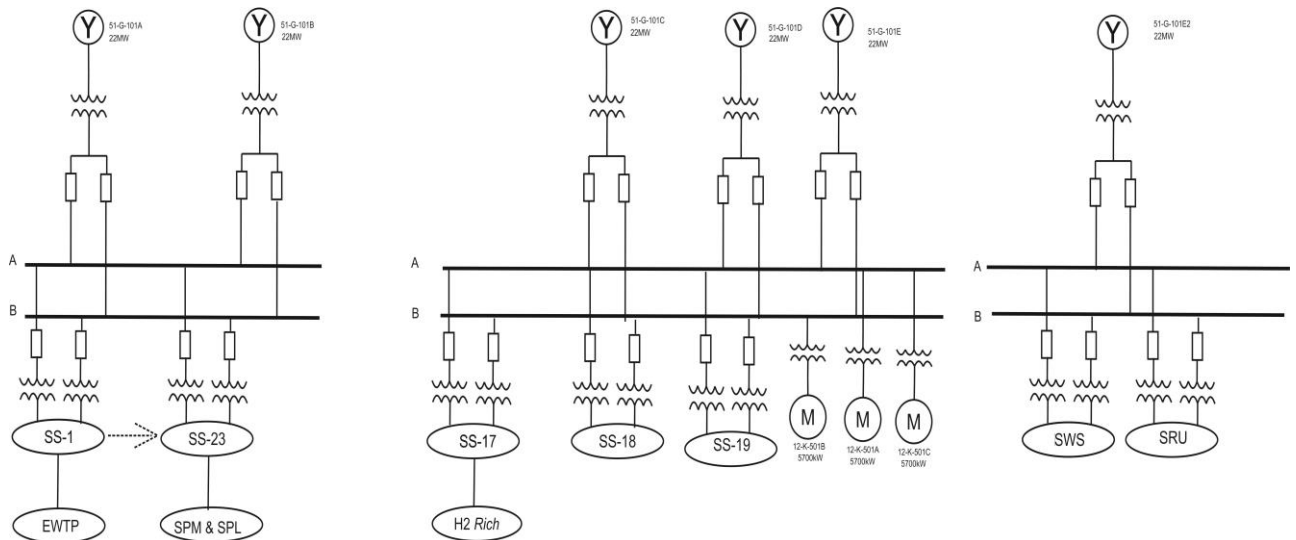
Gambar 1.37 . Kurva frekuensi pada bus 20 kV terhadap waktu

Berdasarkan hasil simulasi pada tabel 4.19 dan kurva-kurva pada gambar 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 dan 4.37 menunjukkan bahwa motor 12-K-501B berhasil melakukan *start*, akan tetapi berberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. *Starting* motor hanya dilakukan dengan menggunakan 5 STG
2. Tegangan di 20kV masih diatas 90% sehingga tidak ada masalah dengan tegangan jatuh pada bus.
3. Frekuensi di bus 20 kV berada pada level 98% - 102,5% apabila dilakukan menggunakan 5 STG sehingga masih belum melewati batasan.

4.7 Pemisahan 3 Section dengan Rating Bus 25 kA

Sama dengan pemisahan 2 *section*, solusi pemisahan 3 *section* bertujuan untuk membatasi arus hubung singkat di *switchgear* 20 kV yaitu dengan mengurangi kontribusi arus hubung singkat dengan memisahkan kontributor utama; dalam hal ini 2 STG dipindah incomer ke *section* 2, sehingga ada 3 STG yang incomernya terhubung ke *section* 2, 1 STG baru pada *section* 3. Dengan memisahkan incomer 3 STG ke *section* 2, 1 STG pada *section* 3 dan memasang reaktor maka level arus hubung singkat akan berkurang menjadi <25 kA. Gambar 4.38 menunjukkan diagram satu garis dengan pemisahan 3 *section*.



Gambar 1.38. Simplifikasi diagram satu garis dengan pemisahan 3 section

4.7.1 Perhitungan Aliran Daya

4.7.1.1 Perhitungan Aliran Daya Setelah Ditambahkan Beban Baru

Besarnya aliran daya sebelum ditambahkan beban baru ditunjukkan pada tabel

4.32:

Tabel 1.32 Load Flow pada bus 20 kV

	MW	MVAR	MVA
Total Generated (Swing Buses)	84,334	62,152	104,762
Total Demand	64,841	45,414	79,163

4.7.1.2 Perhitungan Aliran Daya Sebelum Ditambahkan Beban Baru

Besarnya aliran daya setelah ditambahkan beban baru ditunjukkan pada tabel 4.33:

Tabel 1.33 Load Flow pada bus 20 kV

	MW	MVAR	MVA
Total Generated (Swing Buses)	84,334	62,152	104,762
Total Demand	84,334	62,152	104,762

4.7.2 Perhitungan Impedansi

Seperti yang telah disebutkan pada subbab 4.3.2 diperlukan perhitungan terhadap nilai impedansi sumber, reaktansi transformator, impedansi penyulang, impedansi ekivalen urutan positif, urutan negatif dan urutan nol sebelum menghitung arus gangguan hubung singkat.

4.7.2.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Besarnya impedansi sumber sama dengan pada subbab 4.3.2.1 sehingga

$$Z(\text{pu}) = 0,003 + j 0,119 \text{ pu}$$

4.7.2.2 Perhitungan Impedansi Transformator *Step Up*

Besarnya impedansi sumber sama dengan pada subbab 4.3.2.2 sehingga

$$Z_{1T}(\text{pu}) = Z_{2T}(\text{pu}) = j 0,311 \text{ pu}$$

$$Z_{0T}(\text{pu}) = 7,223 + j 0,331 \text{ pu}$$

4.7.2.3 Perhitungan Impedansi Beban *Substation*

Pada perhitungan impedansi beban *substation*, terdapat pemisahan beban yang terbagi menjadi 2 *section*. Beban pada setiap *section* adalah sebagai berikut:

1. *Section 1*: #SS01A, #SS01B, #SS11, #SS12, #SS13, #SS14A, #SS14B, #SS15, #SS16, #SS21, #SS22, #SS23.
2. *Section 2*: #SS17, #SS18, #SS19, Motor 12-K-501.
3. *Section 3*: SWS & SRU.

Sehingga diperoleh impedansi beban pada setiap *substation* pada *section 1* & *section 2* dalam bentuk pu seperti pada tabel berikut:

Tabel 1.34 Impedansi Beban *Substation* pada *section 1*

No	Substation	$Z_1 = Z_2$ (pu)	Z_0 (pu)
1	#SS01A	0,235 + j 2,511	0,228 + j 3,234
2	#SS01B	0,307 + j 2,500	0,292 + j 3,952
3	#SS11	0,327 + j 3,344	0,301 + j 4,193
4	#SS12	0,307 + j 3,326	0,269 + j 4,028
5	#SS13	0,303 + j 2,821	0,298 + j 4,042
6	#SS14A	0,238 + j 3,442	0,248 + j 4,229
7	#SS14B	0,304 + j 2,400	0,292 + j 4,953
8	#SS15	0,296 + j 3,881	0,294 + j 4,701
9	#SS16	0,464 + j 2,386	0,68 + j 12,309
10	#SS21	0,698 + j 3,509	0,772 + j 10,229
11	#SS22	1,649 + j 2,322	0
12	#SS23	0,481 + j 3,494	0,415 + j 4,814

Maka jumlah impedansi beban total pada *section 1* yang ada yaitu:

$$\frac{1}{Z_{\text{beban}}} = \frac{1}{Z_{\#SS01}} + \frac{1}{Z_{\#SS11}} + \frac{1}{Z_{\#SS12}} + \dots + \frac{1}{Z_{\#23}}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,040 + j 0,245 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 0,030 + j 0,425 \text{ pu}$$

Tabel 1.35 Impedansi Beban *Substation section 2*

No	Substation	$Z_1 = Z_2$ (pu)	Z_0 (pu)
1	#SS17A	0,206 + j 3,301	0,206 + j 3,938
2	#SS17B	0,225 + j 2,556	0,224 + j 5,939

3	#SS18	0,258 + j 2,656	0,283 + j 4, 913
3	#SS19	0,241 + j 2,438	0,222 + j 3,657
5	Motor 12-K-501	0,045 + j 0,832	0,045 + j 0,883
6	SWS	0,296 + j 3,799	0,296 + j 3,799
7	SRU	0,296 + j 3,799	0,296 + j 3,799

Pembebanan pada bus 20 kV terpasang secara paralel maka nilai impedansi beban total diperoleh dari beban *substation* yang diparalel dengan beban *substation* yang lainnya. Maka jumlah impedansi beban total yang ada yaitu:

$$\frac{1}{Z_{\text{beban}}} = \frac{1}{Z_{\#SS01}} + \frac{1}{Z_{\#SS11}} + \frac{1}{Z_{\#SS12}} + \dots + \frac{1}{Z_{\text{SRU}}}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,027 + j 0,370 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 0,022 + j 0,391 \text{ pu}$$

Tabel 1.36 Impedansi Beban *Substation section 3*

No	Substation	$Z_1 = Z_2$ (pu)	Z_0 (pu)
1	SWS	0,296 + j 3,799	0,296 + j 3,799
2	SRU	0,296 + j 3,799	0,296 + j 3,799

Pembebanan pada bus 20 kV terpasang secara paralel maka nilai impedansi beban total diperoleh dari beban *substation* yang diparalel dengan beban *substation* yang lainnya. Maka jumlah impedansi beban total yang ada yaitu:

$$\frac{1}{Z_{\text{beban}}} = \frac{1}{Z_{\text{SWS}}} + \frac{1}{Z_{\text{SRU}}}$$

$$Z_1 = Z_2 = 0,148 + j 1,510 \text{ pu}$$

$$Z_0 = 0,148 + j 1,510 \text{ pu}$$

4.7.2.4 Perhitungan Impedansi Saluran

Besarnya impedansi saluran beserta generator dan transformator sama dengan pada subbab 4.3.2.4 sehingga

$$Z_1 \text{ (pu)} = Z_2 \text{ (pu)} = 0,0149 + j 0,4576 \text{ pu}$$

$$Z_0 \text{ (pu)} = 7,242 + j 0,3813 \text{ pu}$$

Generator, transformator, dan kabel pada bus 20 kV sebanyak 2 pada *section 1*, dan 3 pada *section 2*, 1 pada *section 3* terpasang secara paralel pada *section 1,2*, dan 3 maka nilai impedansi beban total diperoleh dari Generator, transformator, dan kabel yang diparalel dengan Generator, transformator, dan kabel yang lainnya. Maka jumlah impedansi total pada *section 1, 2 & 3* yang ada yaitu:

$$\frac{1}{Z_{\text{Total Incoming}}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \dots + \frac{1}{Z_6}$$

$$Z_{1 \text{ section 1}} = Z_{2 \text{ section 1}} = 0,009 + j 0,850 \text{ pu}$$

$$Z_{1 \text{ section 2}} = Z_{2 \text{ section 2}} = 0,006 + j 0,567 \text{ pu}$$

$$Z_{1 \text{ section } 3} = Z_{2 \text{ section } 3} = 0,014 + j 0,457 \text{ pu}$$

$$Z_{0 \text{ section } 1} = 2,411 + j 0,049 \text{ pu}$$

$$Z_{0 \text{ section } 2} = 3,616 + j 0,074 \text{ pu}$$

$$Z_{0 \text{ section } 3} = 7,242 + j 0,3813 \text{ pu}$$

4.7.2.5 Perhitungan Nilai Impedansi Urutan

4.7.2.5.1 Nilai Impedansi Urutan Positif

Seperti yang disebutkan pada subbab 4.3.2.5.1 dengan cara yang sama besarnya nilai Z_1 ekuivalen pada *section 1*, *section 2*, dan *section 3* adalah:

$$Z_{1 \text{ section } 1} (\text{pu}) = \frac{(0,009 + j 0,850) \times (0,040 + j 0,245)}{(0,009 + j 0,850) + (0,040 + j 0,245)} = 0,025 + j 0,191 \text{ pu}$$

$$Z_{1 \text{ section } 2} (\text{pu}) = \frac{(0,006 + j 0,567) \times (0,027 + j 0,370)}{(0,006 + j 0,567) + (0,027 + j 0,370)} = 0,014 + j 0,258 \text{ pu}$$

$$Z_{1 \text{ section } 3} (\text{pu}) = \frac{(0,014 + j 0,457) \times (0,148 + j 1,510)}{(0,014 + j 0,457) + (0,148 + j 1,510)} = 0,038 + j 0,898 \text{ pu}$$

4.7.2.5.2 Nilai Impedansi Urutan Negatif

Seperti yang disebutkan pada subbab 4.3.2.5.2, nilai impedansi urutan negatif mempunyai nilai yang sama dengan impedansi urutan positif sehingga nilai dari impedansi urutan negatif sebagai berikut:

$$Z_{2 \text{ section } 1} (\text{pu}) = Z_{1 \text{ section } 1} (\text{pu}) = 0,025 + j 0,191 \text{ pu}$$

$$Z_{2 \text{ section } 2} (\text{pu}) = Z_{1 \text{ section } 2} (\text{pu}) = 0,014 + j 0,258 \text{ pu}$$

$$Z_{2 \text{ section } 3} (\text{pu}) = Z_{1 \text{ section } 3} (\text{pu}) = 0,038 + j 0,898 \text{ pu}$$

4.7.2.5.3 Nilai Impedansi Urutan Nol

Seperti yang disebutkan pada subbab 4.3.2.5.3 dengan cara yang sama besarnya nilai Z_0 ekuivalen pada *section 1*, *section 2*, dan *section 3* adalah:

$$Z_{0 \text{ section } 1} (\text{pu}) = \frac{(2,441 + j 0,049) \times (0,030 + j 0,425)}{(2,441 + j 0,049) + (0,030 + j 0,425)} = 0,077 + j 0,441 \text{ pu}$$

$$Z_{0 \text{ section } 2} (\text{pu}) = \frac{(3,616 + j 0,074) \times (0,022 + j 0,391)}{(3,616 + j 0,074) + (0,022 + j 0,391)} = 0,063 + j 0,381 \text{ pu}$$

$$Z_{0 \text{ section } 3} (\text{pu}) = \frac{(0,038 + j 0,898) \times (0,148 + j 1,510)}{(0,038 + j 0,898) + (0,148 + j 1,510)} = 0,038 + j 0,898 \text{ pu}$$

4.7.3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

4.7.3.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat Sebelum Ditambahkan Beban Baru

Setelah mendapatkan besarnya impedansi urutan positif, negatif, dan nol maka dengan cara yang sama pada subbab 4.3.3 besarnya arus gangguan hubung singkat tiga dasa, antar fasa, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah ditunjukkan pada tabel 4.37, 4.38, 4.39.

Tabel 1.37 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat pada *section 1*

Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	11,244 \angle -86,342°
Antar Fasa	$I_{fb} = 8,478 \angle -141,889^\circ$ $I_{fc} = 8,478 \angle 4,261^\circ$
Satu fasa ke tanah	6,244 \angle -65,186°
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 9,997 \angle 143,211^\circ$ $I_{fc} = 10,219 \angle 18,931^\circ$

Tabel 1.38 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat pada *section 2*

Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	8,541 \angle -85,221°
Antar Fasa	$I_{fb} = 6,118 \angle -146,164^\circ$ $I_{fc} = 6,118 \angle 2,267^\circ$
Satu fasa ke tanah	4,326 \angle -85,356°
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 7,732 \angle 159,574^\circ$ $I_{fc} = 7,453 \angle 65,870^\circ$

Tabel 1.39 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat pada *section 3*

Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	3,542 \angle -85,522°
Antar Fasa	$I_{fb} = 1,056 \angle -124,455^\circ$ $I_{fc} = 1,056 \angle 8,969^\circ$
Satu fasa ke tanah	0,788 \angle -86,237°
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 2,825 \angle 143,325^\circ$ $I_{fc} = 2,744 \angle 24,545^\circ$

4.7.3.2 Perhitungan Arus Hubung Singkat Setelah Ditambahkan Beban Baru

Besarnya arus gangguan hubung singkat tiga dasa, antar fasa, satu fasa ke tanah, dan dua fasa ke tanah ditunjukkan pada tabel 4.40, 4.41, 4.42.

Tabel 1.40 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat pada *section 1*

Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	14,266 \angle -82,542°
Antar Fasa	$I_{fb} = 12,349 \angle -172,542^\circ$ $I_{fc} = 12,349 \angle 7,457^\circ$
Satu fasa ke tanah	10,340 \angle -79,226°
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 13,420 \angle 151,471^\circ$ $I_{fc} = 13,549 \angle 13,731^\circ$

Tabel 1.41 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat pada *section 2*

Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	10,632 \angle -86,893°
Antar Fasa	$I_{fb} = 8,208 \angle -176,894^\circ$ $I_{fc} = 8,208 \angle 3,106^\circ$
Satu fasa ke tanah	7,899 \angle -82,946°
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 9,729 \angle 160,578^\circ$ $I_{fc} = 9,341 \angle 65,871^\circ$

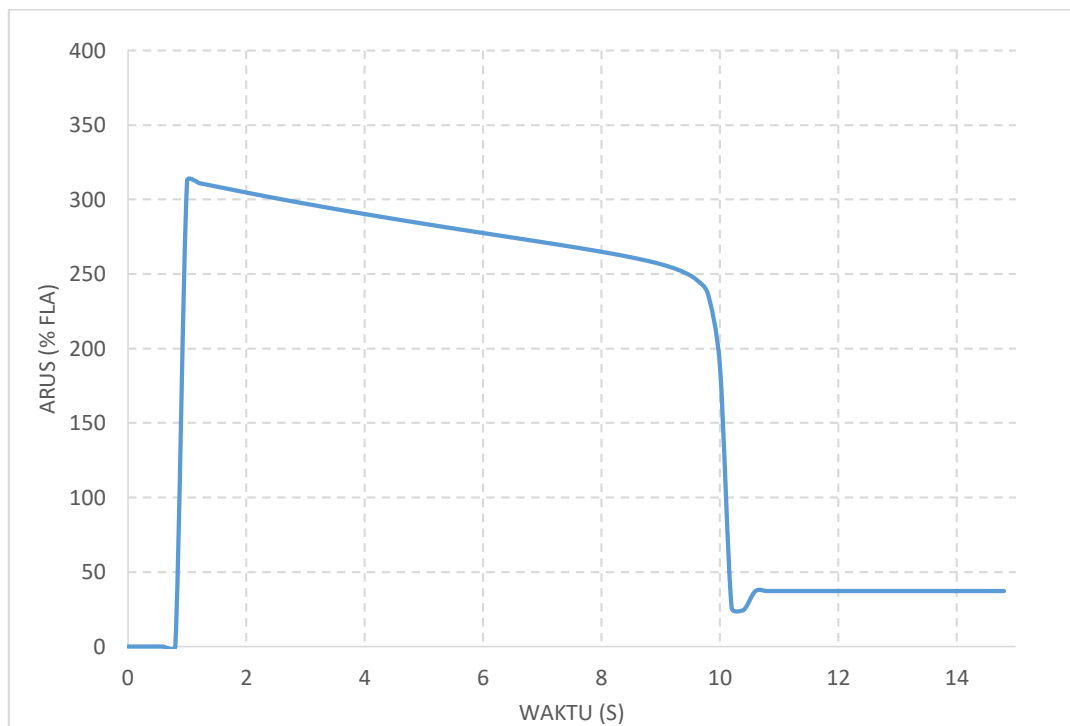
Tabel 1.42 Besarnya Arus Gangguan Hubung Singkat pada *section 3*

Arus gangguan hubung singkat	Nilai (kA)
3 fasa	5,462 \angle -87,752°
Antar Fasa	$I_{fb} = 3,056 \angle -118,825^\circ$ $I_{fc} = 3,056 \angle 9,462^\circ$
Satu fasa ke tanah	2,588 \angle -87,577°
Dua Fasa ke tanah	$I_{fb} = 4,105 \angle 152,425^\circ$ $I_{fc} = 4,003 \angle 32,425^\circ$

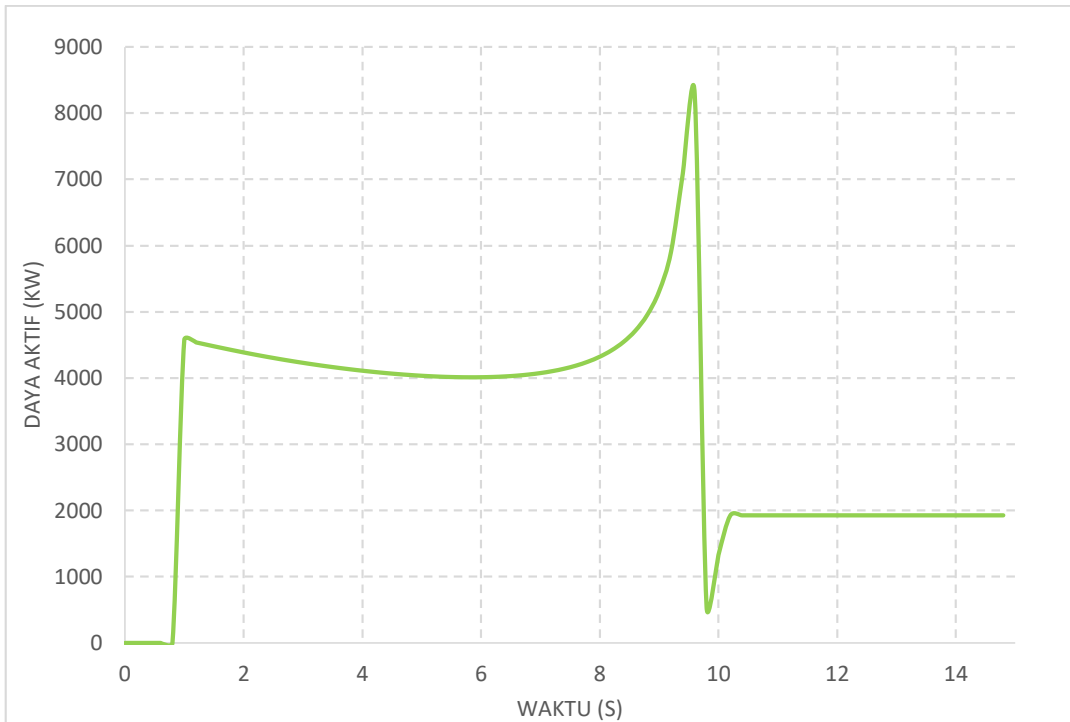
Dari hasil perhitungan arus hubung singkat menunjukkan bahwa besarnya arus hubung singkat dari busbar dan CB main switchgear 20 kV dengan pemisahan 3 *section*, besarnya arus hubung singkat dari busbar dan CB main switchgear 20 kV dapat dikurangi sehingga sudah tidak melewati batas rating arus busbar. Dimana rating arus busbar adalah 25 kA dan besarnya arus gangguan hubung singkat yang paling besar yaitu arus gangguan hubung singkat tiga fasa sebesar 14,266 kA pada *section 1*, 10,632 kA pada *section 2* dan 5,462 pada *section 3*. Dengan demikian dengan pemisahan 3 *section* dapat mengakomodir besarnya arus hubung singkat pada operasi tersebut.

4.7.4 Simulasi *Starting Motor*

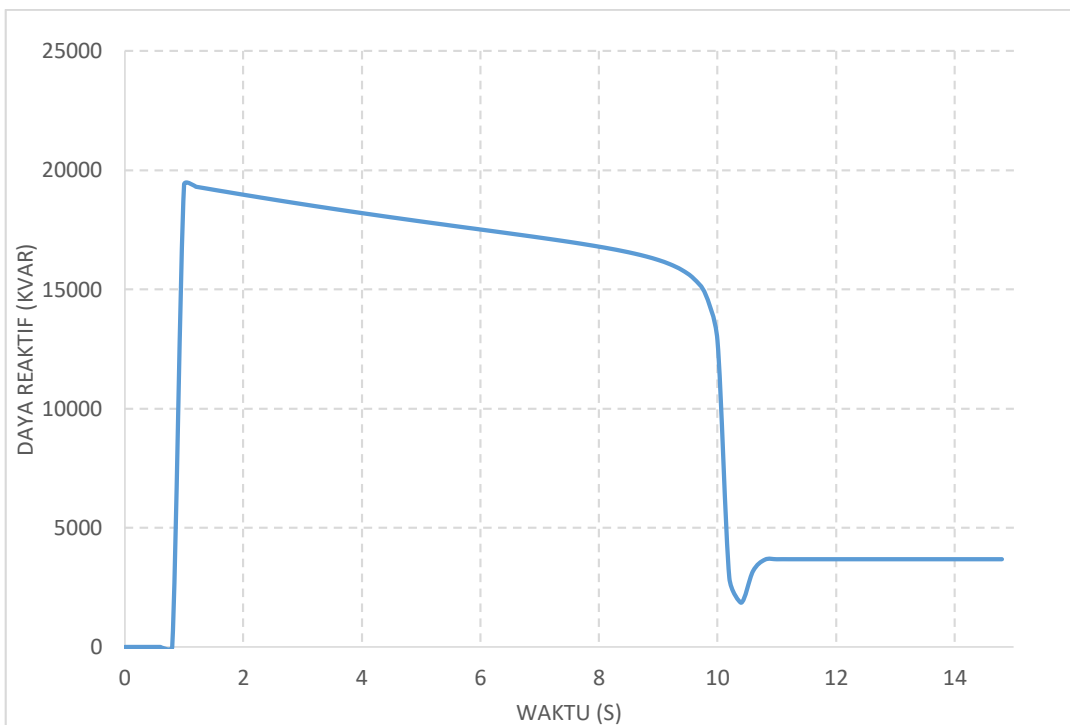
Sama dengan simulasi sebelumnya, motor yang akan disimulasikan pada analisis ini adalah 12-K-501B pada *section 2* dengan kondisi 1 unit motor lainnya beroperasi (pada kasus ini motor 12-K-501C beroperasi). Dan menggunakan 5 STG untuk *start* (4 STG akan mengakibatkan tegangan jatuh pada bus). dan beban SWS dan SRU di *section 3*, sehingga STG yang beroperasi adalah 2 STG pada *section 1* dan 2 serta 1 STG pada *section 3*. Hasil simulasi *starting* motor ditunjukkan pada kurva-kurva sebagai berikut:



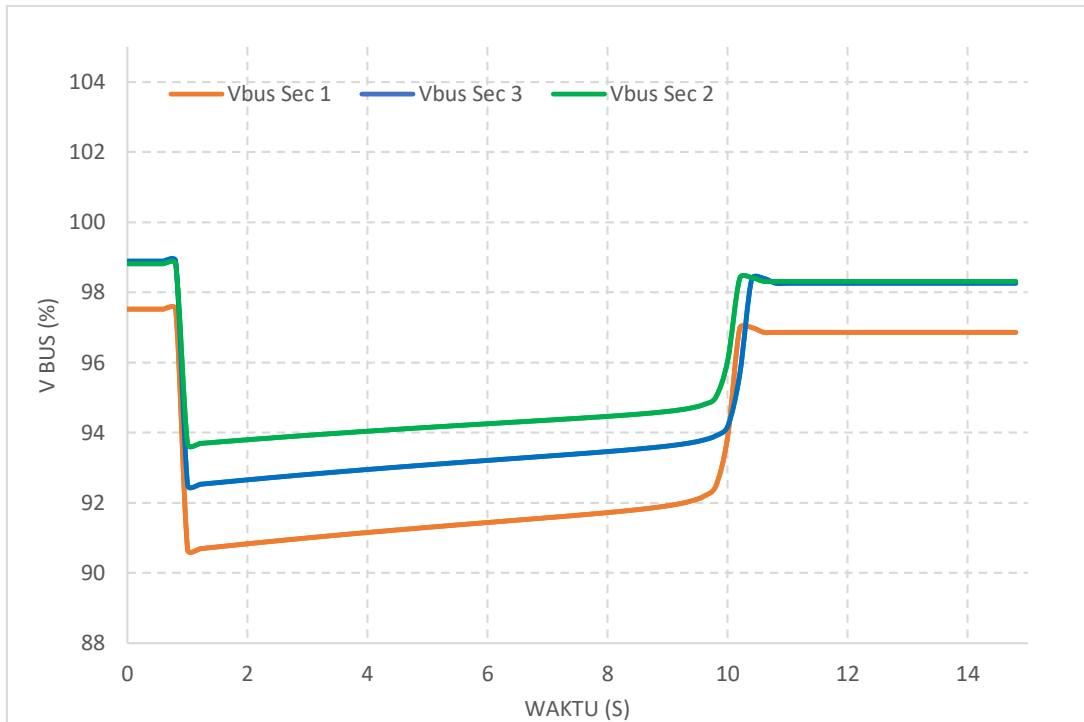
Gambar 1.39. Kurva arus pada motor 12-K-501B terhadap waktu



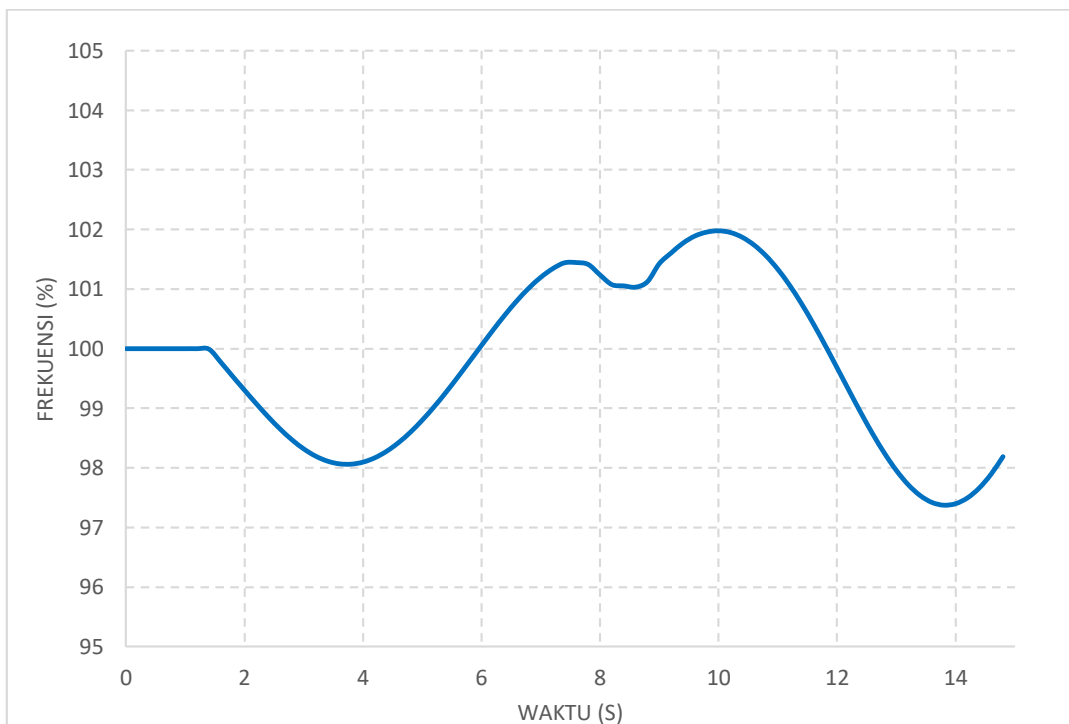
Gambar 1.40. Kurva daya aktif pada motor 12-K-501B terhadap waktu



Gambar 1.41. Kurva daya reaktif pada motor 12-K-501B terhadap waktu



Gambar 1.42. Kurva tegangan pada bus 20 kV *section 1* dan *section 2* dan *section 3* terhadap waktu



Gambar 1.43. Kurva frekuensi pada bus 20 kV pada pemisahan 3 *section* terhadap waktu

Berdasarkan hasil simulasi pada tabel 4.21 dan kurva-kurva pada gambar 4.40, 4.41, 4.42 dan 4.43 menunjukkan bahwa motor 12-K-501A berhasil melakukan *start*, akan tetapi beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Starting dengan menggunakan 4 STG pada kondisi ini tidak bisa dilakukan, karena masalah tegangan jatuh sehingga *starting* motor hanya bisa dilakukan dengan menggunakan 5 STG.
2. Tegangan pada bus 20 kV di semua *section* berada diatas 90%
3. Frekuensi di bus 20 kV pada semua *section* berada pada level 97,8% - 101,5%, sehingga masih belum melewati batasan.

4.8 Perbandingan Solusi Konfigurasi Bus 20 kV Terhadap Gangguan Arus Hubung Singkat.

Untuk mempermudah pembacaan maka perbandingan impedansi dan arus gangguan hubung singkat sebelum dan sesudah ditambahkan beban ditunjukkan pada tabel 4.43 dan 4.44.

Tabel 1.43 Perbandingan rekonfigurasi antara eksisting, peningkatan kapasitas panel, pemisahan 2 *section* dan 3 *section* sebelum ditambahkan beban

No	Parameter	Ekisting	Peningkatan kapasitas panel menjadi 40 kA	Pemisahan 2 Section	Pemisahan 3 Section
1	*Arus hubung singkat gangguan 3 Fasa	26,548 kA (106,192%)	30,028 kA (75,070%)	Section 1: 19,342 kA (77,368%) Section 2: 11,463 kA (45,852%)	Section 1: 11,244 kA (44,976%) Section 2: 8,541 kA (34,164%) Section 3: 3,542 kA (14,168%)
2	*Arus hubung singkat gangguan antar fasa	$I_{fb} = 21,607 \text{ kA}$ (86,428%) $I_{fc} = 21,607 \text{ kA}$ (86,428%)	$I_{fb} = 20,413 \text{ kA}$ (51,032%) $I_{fc} = 20,413 \text{ kA}$ (51,032%)	Section 1: $I_{fb} = 14,435 \text{ kA}$ (57,740%) $I_{fc} = 14,435 \text{ kA}$ (57,740%) Section 2: $I_{fb} = 8,845 \text{ kA}$ (35,380%) $I_{fc} = 8,845 \text{ kA}$ (35,380%)	Section 1: $I_{fb} = 8,478 \text{ kA}$ (33,912%) $I_{fc} = 8,478 \text{ kA}$ (33,912%) Section 2: $I_{fb} = 6,118 \text{ kA}$ (24,472%) $I_{fc} = 6,118 \text{ kA}$ (24,472%) Section 3: $I_{fb} = 1,056 \text{ kA}$ (4,224%) $I_{fc} = 1,056 \text{ kA}$ (4,224%)

3	*Arus hubung singkat gangguan 1 fasa ke tanah	18,859 kA (75,436%)	15,723 kA (39,307%)	Section 1: 12,531 kA (50,124%) Section 2: 7,780 kA (31,120%)	Section 1: 6,244 kA (24,976%) Section 2: 4,326 kA (17,304%) Section 3: 0,788 kA (3,152%)
4	*Arus hubung singkat gangguan 2 fasa ke tanah	$I_{fb} = 22,867$ kA (91,468%) $I_{fc} = 24,395$ kA (97,580%)	$I_{fb} = 22,564$ kA (56,410%) $I_{fc} = 23,911$ kA (59,777%)	Section 1: $I_{fb} = 17,221$ kA (68,884%) $I_{fc} = 16,455$ kA (65,820%) Section 2: $I_{fb} = 10,244$ kA (40,976%) $I_{fc} = 10,954$ kA (43,816%)	Section 1: $I_{fb} = 9,997$ kA (39,988%) $I_{fc} = 10,219$ kA (40,876%) Section 2: $I_{fb} = 7,732$ kA (30,928%) $I_{fc} = 7,453$ kA (29,812%) Section 3: $I_{fb} = 2,825$ kA (11,300%) $I_{fc} = 2,744$ kA (10,976%)

*Besarnya persen arus gangguan adalah besarnya arus gangguan terhadap rating arus bus 25 kA dan 40 kA (khusus peningkatan kapasitas panel)

Tabel 1.44 Perbandingan rekonfigurasi antara eksisting, peningkatan kapasitas panel, pemisahan 2 *section* dan 3 *section* setelah ditambahkan beban

No	Parameter	Ekisting	Peningkatan kapasitas panel menjadi 40 kA	Pemisahan 2 Section	Pemisahan 3 Section
1	**Impedansi Ekuivalen (pu)	0,010 + j 0,103	0,008 + j 0,093 (90,2%)	Section 1: 0,020 + j 0,172 (166,9%) Section 2: 0,010 + j 0,200 (194,2%)	Section 1: 0,025 + j 0,191 (185,4%) Section 2: 0,014 + j 0,258 (250,5%) Section 3: 0,038 + j 0,345 (334,9%)
2	*Arus hubung singkat gangguan 3 Fasa	26,548 kA (106,192%)	29,916 kA (74,790%)	Section 1: 23,342 kA (93,368%) Section 2: 20,322 kA (81,288%)	Section 1: 14,266 kA (57,064%) Section 2: 10,632 kA (42,528%) Section 3: 5,462 kA (21,848%)
3	*Arus hubung singkat gangguan antar fasa	$I_{fb} = 21,607 \text{ kA}$ (86,428%) $I_{fc} = 21,607 \text{ kA}$ (86,428%)	$I_{fb} = 20,799 \text{ kA}$ (51,997%) $I_{fc} = 20,799 \text{ kA}$ (51,997%)	Section 1: $I_{fb} = 17,233 \text{ kA}$ (68,932%) $I_{fc} = 17,233 \text{ kA}$ (68,932%) Section 2: $I_{fb} = 15,237 \text{ kA}$ (60,948%) $I_{fc} = 15,237 \text{ kA}$ (60,948%)	Section 1: $I_{fb} = 12,349 \text{ kA}$ (49,396%) $I_{fc} = 12,349 \text{ kA}$ (49,396%) Section 2: $I_{fb} = 8,208 \text{ kA}$ (32,832%) $I_{fc} = 8,208 \text{ kA}$ (32,832%) Section 3: $I_{fb} = 3,056 \text{ kA}$

					(12,224%) I _{fc} = 3,056 kA (12,224%)
4	*Arus hubung singkat gangguan 1 fasa ke tanah	18,859 kA (75,436%)	15,588 kA (38,970%)	Section 1: 14,872 kA (59,488%) Section 2: 11,231 kA (44,924%)	Section 1: 10,340 kA (41,360%) Section 2: 7,899 kA (31,594%) Section 3: 2,588 kA (10,352%)
5	*Arus hubung singkat gangguan 2 fasa ke tanah	I _{fb} = 22,867 kA (91,468%) I _{fc} = 24,395 kA (97,580%)	I _{fb} = 23,309 kA (58,272%) I _{fc} = 24,930 kA (62,325%)	Section 1: I _{fb} = 19,753 kA (79,012%) I _{fc} = 18,931 kA (75,724%) Section 2: I _{fb} = 17,809 kA (71,236%) I _{fc} = 17,126 kA (68,504%)	Section 1: I _{fb} = 13,420 kA (53,680%) I _{fc} = 13,549 kA (54,196%) Section 2: I _{fb} = 9,729 kA (38,196%) I _{fc} = 9,341 kA (37,364%) Section 3: I _{fb} = 4,105 kA (16,420%) I _{fc} = 4,003 kA (16,012%)

*Besarnya persen arus gangguan adalah besarnya arus gangguan terhadap rating arus bus 25 kA dan 40 kA (khusus peningkatan kapasitas panel)

**Besarnya persen impedansi ekivalen adalah besarnya impedansi ekivalen terhadap impedansi *eksisting*

Berdasarkan tabel 4.34 menunjukkan bahwa besarnya impedansi sebelum ditambahkan beban adalah $0,010 + j 0,103$ pu . Kemudian setelah dilakukan peningkatan kapasitas panel menjadi 40 kA maka besarnya impedansi ekivalen ada $0,008 + j 0,093$ pu atau mengecil sebesar 90,290% dari impedansi awal. Pada pemisahan 2 *section* besarnya impedansi ekivalen pada *section* 1 adalah $0,020 + j 0,172$ pu atau membesar sebesar 51,500% dan *section* 2 adalah $0,010 + j 0,200$ pu atau sebesar 59,920% dari impedansi awal. Pada pemisahan 3 *section* besarnya impedansi ekivalen adalah $0,025 + j 0,191$ pu pada *section* 1, $0,014 + j 0,258$ pu pada *section* 2, dan $0,038 + j 0,898$ pu pada *section* 3 atau membesar sebesar 54,920% pada *section* 1, 70,920% pada *section* 2, dan 105,460% pada *section* 3.

Sehingga untuk besarnya arus gangguan hubung singkat jika dilihat pada gangguan arus paling besar (gangguan 3 fasa) menunjukkan bahwa besarnya arus gangguan pada kondisi eksisting adalah 26,548 kA atau sebesar 106,920% dari *rating* arus busbar 25 kA, kemudian setelah dilakukan peningkatan kapasitas panel menjadi 40 kA maka besar arus gangguan hubung singkat adalah 29,916 kA atau sebesar 119,664% dari *rating* arus busbar 25 kA. Pada pemisahan 2 *section* besarnya arus gangguan hubung singkat adalah 23,342 kA atau sebesar 93,368% pada *section* 1 dan 20,322 kA atau sebesar 81,288% pada *section* 2, dan pada 3 *section* besarnya arus gangguan hubung singkat adalah 14,266 kA atau sebesar 57,064% pada *section* 1, 10,632 kA atau sebesar 42,528% pada *section* 2, 5,462 kA atau sebesar 21,848% pada *section* 3 dari rating bus 25 kA.

Yang menjadi catatan adalah menurut peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral nomor 03 tahun 2007 tentang aturan jaringan sistem tenaga listrik menunjukkan bahwa besarnya arus maksimal gangguan hubung singkat adalah 90% dari rating arus bus tersebut. Dapat dilihat pada arus gangguan hubung singkat pada 2 *section* besarnya arus gangguan tersebut adalah 23,342 kA atau naik sebesar 93,368% maka solusi yang paling tepat adalah dengan mengganti bus dengan rating yang lebih tinggi yaitu 40 kA.

4.9 Spesifikasi penambahan material pada penambahan bus baru

Pada solusi pembagian secara 2 *section* dan 3 *section* diperlukan tambahan material. Penambahan material pada pembagian 2 *section* ditunjukkan pada tabel 4.45.

Tabel 1.45 Penambahan material pada 2 *Section*

Jenis Material	Spesifikasi	Jumlah
MV Panel	20kV 2500A 25kA 3 sec, TYPE MCSET AD4 .	6
Circuit Breaker	Rated Current: 1250 A Breaking Capacity: 25 kA / 3s	
Current Transformer	400-600/5-5 A	
Voltage Transformer	20kV/sqrt3:110V/sqrt3.	
Relay	Digital Protection Relay type SEPAM/Micom.	
Metering	Digital Power Meter PM5650 series	

Sumber: Schneider Indonesia

Untuk penempatan pada solusi pembagian secara 2 section ditunjukkan pada gambar 4.44.

Gambar 1.44. Penempatan panel pada solusi 2 *section*

Sumber: Schneider Indonesia

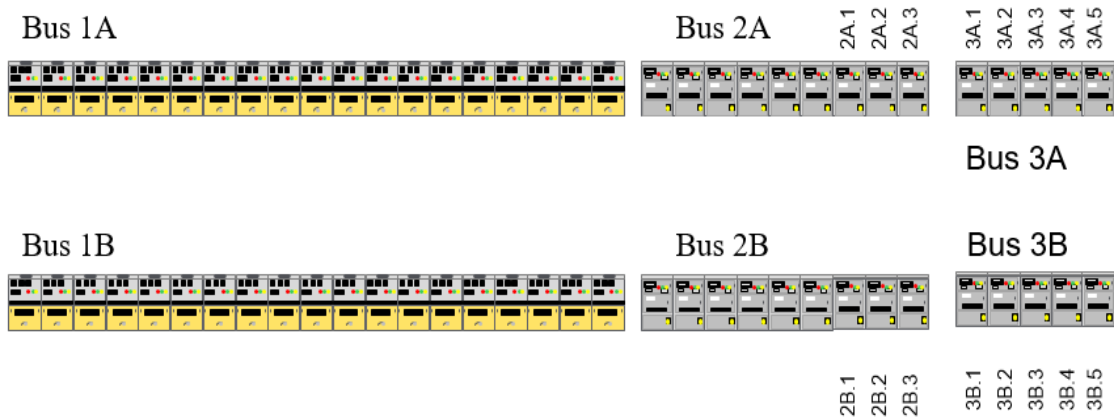
Untuk penambahan alat pada pemisahan 3 *section* ditunjukkan pada tabel 4.46.

Tabel 1.46 Penambahan material pada 3 *Section*

Jenis Alat	Spesifikasi	Jumlah
MV Panel	20kV 2500A 25kA 3 sec, TYPE MCSET AD4 .	10
Circuit Breaker	Rated Current: 1250 A Breaking Capacity: 25 kA / 3s	
Current Transformer	400-600/5-5 A	
Voltage Transformer	20kV/sqrt3:110V/sqrt3.	
Relay	Digital Protection Relay type SEPAM/Micom.	
Metering	Digital Power Meter PM5650 series	

Sumber: Schneider Indonesia

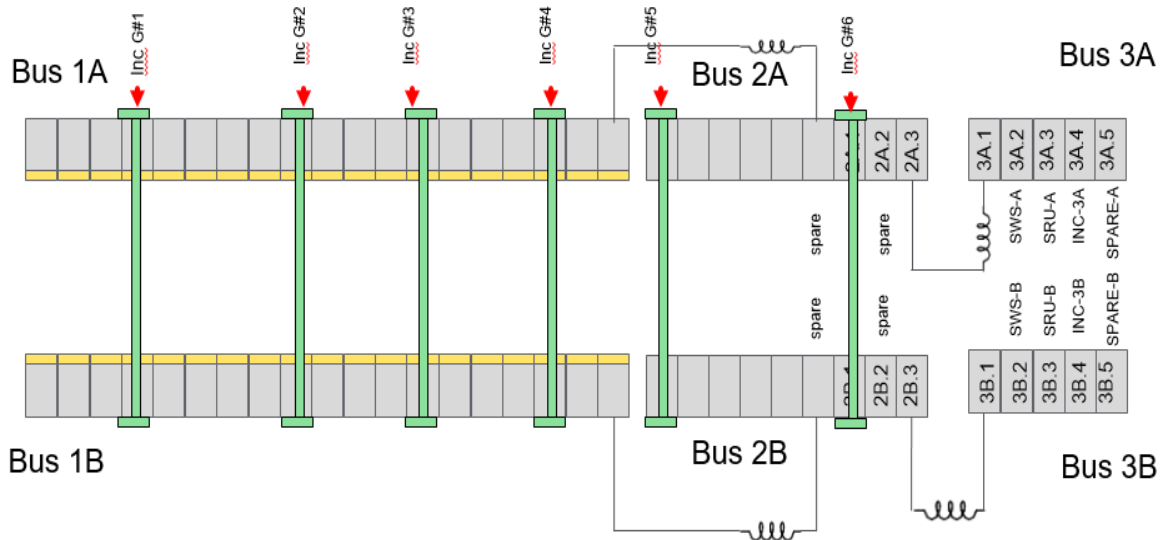
Untuk penempatan pada solusi pembagian secara 3 section ditunjukkan pada gambar 4.45.



Gambar 1.45. Penempatan panel pada solusi 3 section

Sumber: Schneider Indonesia

Untuk konfigurasi penambahan beban pada pemisahan 2 section dan 3 section ditunjukkan pada gambar 4.46



Gambar 1.46. Konfigurasi panel pada solusi 3 section

Sumber: Schneider Indonesia

