

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Aliran Daya Saluran Transmisi 150 kV Sebelum Kontingensi (*Pra-Contingency*)

Gambar pemodelan sistem interkoneksi jaringan 150 kV Surabaya Selatan yang telah dibuat menggunakan ETAP 12 untuk simulasi aliran daya adalah sebagai berikut: (lihat dilampiran 1)

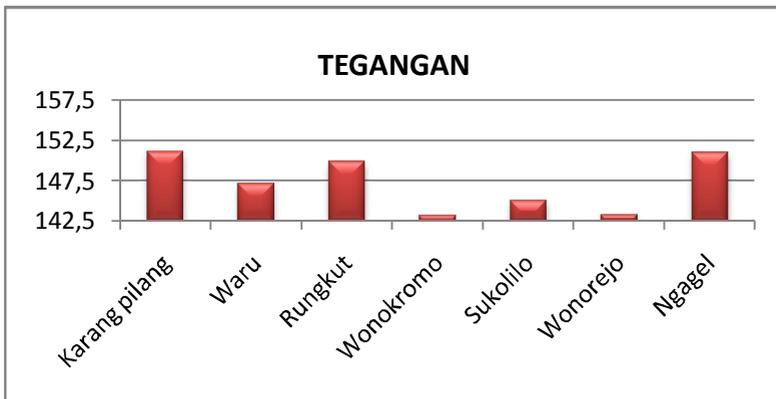
##### 4.1.1 Hasil Aliran Daya Untuk Tegangan Pada Bus 150 kV

Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral CC2.0:2007 tegangan 150 kV memiliki toleransi batasan nilai tegangan. Pada tegangan tinggi 150 kV nilai toleransi tegangan adalah +/- 5% untuk kondisi aman, sehingga batasan minimum standart tegangan 150 kV adalah 142,5 kV sedangkan standart tegangan maksimum adalah 157,5 kV. Berikut adalah tabel hasil aliran daya profil tegangan menggunakan *software* ETAP 12 yang terjadi pada setiap bus.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Aliran Daya Tegangan Pada Tiap Bus 150kV Menggunakan ETAP 12

No	Bus	Tegangan
1	Karang pilang	151,1

2	Waru	147,2
3	Rungkut	149,9
4	Wonokromo	143,3
5	Sukolilo	145,1
6	Wonorejo	143,4
7	Ngagel	151



Gambar 4.1 Grafik Tegangan Pada Tiap Bus 150kV Surabaya Selatan Saat Kondisi Normal

Dari hasil simulasi aliran tegangan yang dibuat grafik bisa diketahui jika pada bus Wonokromo dan Wonorejo mengalami *undervoltage*, hal ini bisa disebabkan karena berbagai kemungkinan yaitu besarnya reaktansi yang dipengaruhi oleh jarak transmisi , besarnya beban yang berada pada bus Wonokromo dan Wonorejo, karena semakin besar beban akan

mempengaruhi besarnya arus yang lewat pada transmisi menuju bus beban sehingga semakin besar arus yang melewati transmisi akan semakin besar pula *losses* daya reaktif yang akan mempengaruhi besarnya *drop voltage*.

#### 4.1.2 Hasil Aliran Daya Untuk Arus Pada Saluran Transmisi 150 kV

Hasil aliran daya pada saluran transmisi saat kondisi normal beban puncak ditunjukkan pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.2 Hasil Simulasi Aliran Daya Pada Saluran Transmisi 150kV Saat Kondisi Normal

NO	TRANSMISION LINE		MW	Mvar	AMPERE	AMPACITY (A)	% LOAD
	FROM BUS	TO BUS					
1	Karang pilang 1	Waru 1	15.070	19.150	93.1	890	10.46
2	Karang pilang 2	Waru 2	15.070	19.150	93.1	890	10.46
3	Rungkut 1	Waru 1	29.544	8.078	118	890	13.25
4	Rungkut 2	Waru 2	29.544	8.078	118	890	13.25
5	Rungkut 1	Sukolilo 1	52.425	11.747	207	890	23.25
6	Rungkut 2	Sukolilo 2	52.425	11.747	207	890	23.25
7	Ngagel 1	Sukolilo 1	24.729	35.402	165.1	890	18.55
8	Ngagel 2	Sukolilo 2	24.729	35.402	165.1	890	18.55
9	Sukolilo 1	Wonokromo 1	31.142	19.389	145.9	890	16.39
10	Sukolilo 2	Wonokromo 2	31.142	19.389	145.9	890	16.39
11	Sukolilo 1	Wonorejo 1	10.180	5.935	46.9	890	5.26
12	Sukolilo 2	Wonorejo 2	10.180	5.935	46.9	890	5.26

#### 4.2 Analisis Kondisi Sebelum Kontingensi (*Pra-Contingency*) Saluran Transmisi Pada Sistem Interkoneksi 150 kV Surabaya Selatan

Sistem interkoneksi 150 kV Surabaya Selatan sebelum terjadinya kasus kontingensi (*Pra-Contingency*) saluran transmisi terdapat 2 bus yang hampir tidak memenuhi standart yaitu terjadinya *drop voltage* pada bus Wonokromo dan Wonorejo. Tegangan paling parah terjadi pada bus Wonokromo yaitu sebesar 143,3kV akan tetapimasih dalam batas standart untuk kondisi normal +/- 5% tegangan nominal sesuai dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor : 03 Tahun 2007 tentang aturan jaringan sistem tenaga listrik Jawa-Madura-Bali tegangan sistem harus dipertahankan dalam batasan.

Dalam mengatasi *drop voltage* di bus Wonokromo dapat dilakukan penambahan *shunt capacitor*, untuk menentukan besarnya *shunt capacitor* dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$P_{\text{Total beban bus Wonokromo}} = 62.284 \text{ MW}$$

$$S_{\text{Total beban bus Wonokromo}} = 73.361 \text{ MVA}$$

$$\begin{aligned} \text{Cos } \varphi_1 &= \frac{P_{\text{beban}}}{S_{\text{beban}}} \\ &= \frac{62.284}{73.361} \\ &= 0.849 \text{ lagging} \end{aligned}$$

$$\varphi_1 = \cos^{-1} 1 = \cos^{-1} (0.849) = 31.89^\circ$$

Jika dari  $\cos_1 = 0.849$  akan diperbaiki menjadi  $\cos_2 = 0.95$ , maka untuk menghitung besar VAR kapasitor yang akan dipasang pada bus beban dapat digunakan cara sebagai berikut :

$$\cos \varphi_2 = 0.95 \text{ lagging}$$

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \cos^{-1} 2 \\ &= \cos^{-1} (0.95) \\ &= 18.195 \end{aligned}$$

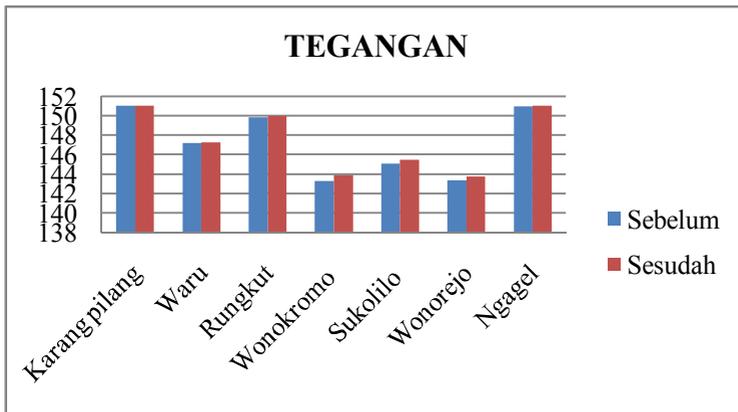
$$\begin{aligned} Q_c &= P_{\text{beban}} (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \\ &= 62.284 \text{ MW} (\tan(31.89^\circ) - \tan(18.195^\circ)) \\ &= 18.281 \text{ MVAR} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas kebutuhan *shunt capacitor* yang diperlukan adalah sebesar 18.281 MVAR untuk memperbaiki *drop voltage* pada bus Wonokromo. Berikut adalah hasil simulasi aliran daya untuk tegangan 150 kV setelah dipasang *shunt capacitor* pada bus Wonokromo :

Tabel 4.3 Hasil Simulasi Aliran Daya Tegangan Pada Tiap Bus 150kV Setelah Pemasangan Shunt Capacitor di Bus Wonokromo

No	Bus	Tegangan
1	Karang pilang	151,1
2	Waru	147,3

3	Rungkut	150
4	Wonokromo	143,9
5	Sukolilo	145,5
6	Wonorejo	143,8
7	Ngagel	151,1



Gambar 4.2 Grafik Tegangan Pad Tiap Bus 150 kV Setelah Pemasangan *Shunt Capacitor* di Bus Wonokromo

Dari tabel 4.3 dan Grafik 4.3 diatas tegangan setelah pemasangan *shunt capacitor* pada bus Wonokromo sebesar 18.281 MVAR memberikan perubahan tegangan terhadap bus Wonokromo dan seluruh jaringan 150 kV. Sebelumnya tegangan di bus Wonokromo 143,3 kV , setelah pemasangan *shunt capacitor* menjadi 143,9 kV.

### 4.3 Analisis Setelah Kontingensi (*Post-Contingency*) Saluran Transmisi 150 kV Menggunakan Metode Performansi Indeks

Pada sistem interkoneksi 150 kV Surabaya Selatan terdapat 12 saluran transmisi 150 kV yang melayani seluruh pembangkit untuk menyalurkan aliran daya ke seluruh bus beban. Dengan jumlah saluran tersebut maka dalam melakukan analisa kontingensi saluran transmisi kondisi *single contingency* akan terjadi kemungkinan kontingensi saluran transmisi sebanyak 12 kasus.

Tabel 4.4 Urutan Kontingensi Saluran Transmisi Menggunakan Metode Performansi Indeks

NO	KONTINGENSI SALURAN TRANSMISI		PI AVERAGE	RANGKING
	FROM BUS	TO BUS		
1	Rungkut 1	Sukolilo 1	0.12967	1
2	Rungkut 2	Sukolilo 2	0.12967	1
3	Ngagel 1	Sukolilo 1	0.08370	2
4	Ngagel 2	Sukolilo 2	0.08370	2
5	Sukolilo 1	Wonokromo 1	0.06177	3
6	Sukolilo 2	Wonokromo 2	0.06177	3
7	Rungkut 1	Waru 1	0.08370	4
8	Rungkut 2	Waru2	0.08370	4
9	Karang pilang 1	Waru 1	0.06177	5

---

---

10	Karang pilang 2	Waru 2	0.06177	5
11	Sukolilo 1	Wonorejo 1	0.00311	6
12	Sukolilo 2	Wonorejo 2	0.00311	6

Dari tabel 4.4 diatas memperlihatkan tentang urutan Performansi Indeks kontingensi dari yang terbesar sampai terendah. Urutan pertama Performansi Indeks kontingensi terjadi pada saluran transmisi Rungkut – Sukolilo dengan nilai PI *Average* sebesar 0.12967, dan urutan terakhir dari performansi indeks kontingensi terjadi pada saluran transmisi Sukolilo – Wonorejo dengan nilai PI *Average* sebesar 0.00311. Sehingga dapat diklasifikasikan bahwa besarnya nilai Performansi Indeks merupakan kejadian kontingensi yang terburuk dari sistem dan dapat mempengaruhi keandalan sistem.

#### **4.4 Analisis Pelanggaran (*Violation*) Yang Terjadi Akibat Kontingensi Saluran Transmisi 150 kV**

Dari hasil tabel 4.4 sebelumnya perhitungan performansi indeks pada kontingensi tiap saluran transmisi sudah ditentukan urutan peringkat pertama sampai peringkat terakhir besar nilai performansi indeks yang terjadi, dari besarnya nilai performansi indeks akan memungkinkan terjadinya pelanggaran (*violation*) pada kasus kontingensi

saluran transmisi. Berikut adalah *violation* yang terjadi akibat kasus kontingensi saluran transmisi berdasarkan urutan peringkat Performansi Indeks.

#### 4.4.1 Kontingensi Pada Saluran Transmisi Rungkut 1 – Sukolilo 1

Dari kasus kontingensi saluran transmisi Rungkut 1 – Sukolilo 1 menghasilkan perubahan aliran daya pada saluran sebagai berikut :(lihat dilampiran 2)

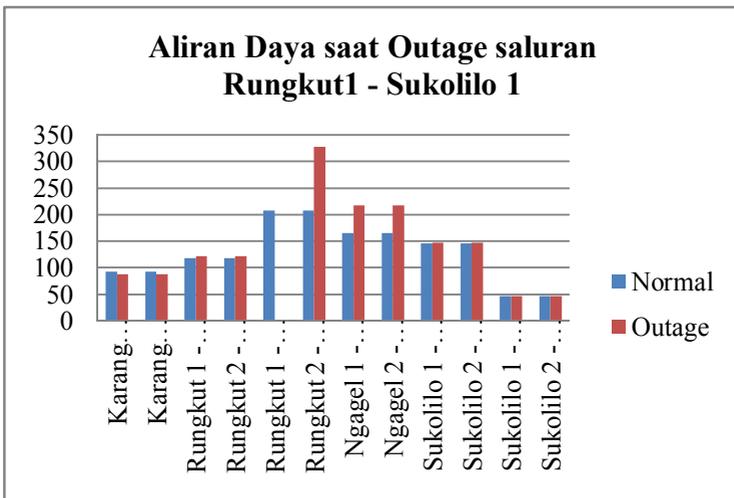
Dari kasus kontingensi saluran transmisi Rungkut 1 – Sukolilo 1 menghasilkan aliran daya pada saluran berikut :

Tabel 4.5 Aliran daya pada saluran transmisi setelah *outages* saluran Rungkut 1– Sukolilo 1

NO	TRANSMISION LINE		MW	Mvar	AMPERE	AMPACITY (A)	% LOAD	
	FROM BUS	TO BUS						
1	Karang pilang 1	Waru 1	14.268	18.281	88.6	890	9.9	
2	Karang pilang 2	Waru 2	14.268	18.281	88.6	890	9.9	
3	Rungkut 1	Waru 1	30.382	8.915	121.7	890	13.7	
4	Rungkut 2	Waru 2	30.382	8.915	121.7	890	13.7	
5	Rungkut 1	Sukolilo 1	OUTAGE					
6	Rungkut 2	Sukolilo 2	84.743	8.445	327.3	890	36.8	
7	Ngagel 1	Sukolilo 1	35.329	44.024	216.7	890	24.3	
8	Ngagel 2	Sukolilo 2	35.329	44.024	216.7	890	24.3	

9	Sukolilo 1	Wonokromo 1	30.975	19.295	147.6	890	16.6
10	Sukolilo 2	Wonokromo 2	30.975	19.295	147.6	890	16.6
11	Sukolilo 1	Wonorejo 1	10.123	5.917	47.4	890	5.3
12	Sukolilo 2	Wonorejo 2	10.123	5.917	47.4	890	5.3

Dari tabel 4.5 dapat diketahui bahwa perubahan aliran daya ketika saluran Rungkut – Sukolilo mengalami *outage* terjadi penambahan beban pada saluran Ngagel – Sukolilo dengan arus yang melewati saluran menjadi 216.7 A. Pelanggaran (*violation*) ini terjadi karena saat saluran Rungkut 1 – Sukolilo 1 mengalami *outage*, saluran Ngagel – Sukolilo menanggung beban pada bus Sukolilo.



Gambar 4.3 Grafik perbandingan arus pada saluran saat kondisi normal dan setelah *outage* saluran Rungkut 1– Sukolilo 1

Dari grafik 4.5 diatas perbandingan aliran daya untuk arus pada saluran transmisi saat kondisi normal dan setelah kontingensi saluran Rungkut 1 – Sukolilo 1 dapat diketahui bahwa dampak yang ditimbulkan setelah *outage* mempengaruhi perubahan arus yang besar pada saluran Rungkut 2 – Sukolilo 2 ,dan Ngagel – Sukolilo.

#### **4.4.2 Kontingensi Pada Saluran Transmisi Ngagel 1– Sukolilo 1**

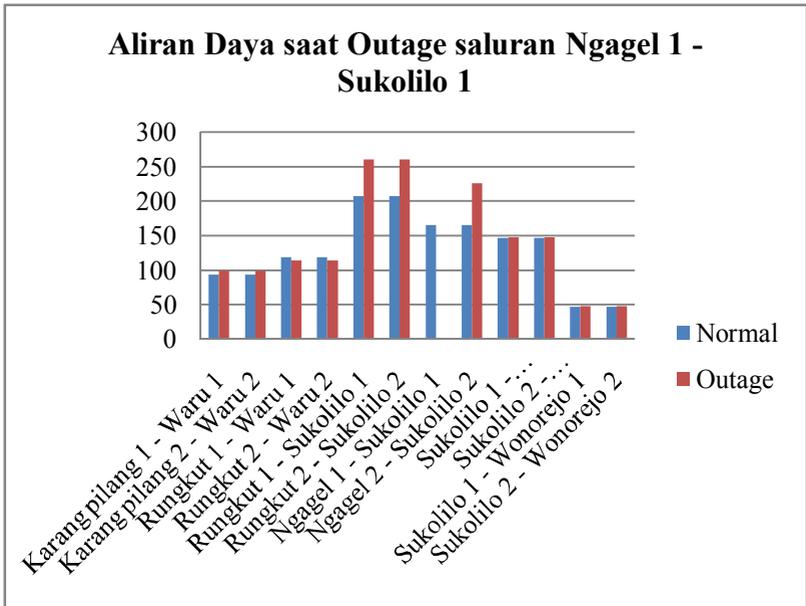
Dari kasus kontingensi saluran transmisi Ngagel – Sukolilo menghasilkan perubahan aliran daya pada saluran sebagai berikut :(lihat dilampiran 3)

Dari kasus kontingensi saluran transmisi Ngagel 1 – Sukolilo 1 menghasilkan perubahan aliran daya pada saluran sebagai berikut :

Tabel 4.6 Aliran daya pada saluran transmisi setelah *outage* uran Ngagel 1 – Sukolilo 1

NO	TRANSMISION LINE		MW	Mvar	AMPERE	AMPACITY (A)	% LOAD	
	FROM BUS	TO BUS						
1	Karang pilang 1	Waru 1	15.964	20.222	98.5	890	11.1	
2	Karang pilang 2	Waru 2	15.964	20.222	98.5	890	11.1	
3	Rungkut 1	Waru 1	28.612	7.048	113.8	890	12.8	
4	Rungkut 2	Waru 2	28.612	7.048	113.8	890	12.8	
5	Rungkut 1	Sukolilo 1	63.763	21.199	259.6	890	29.2	
6	Rungkut 2	Sukolilo 2	63.763	21.199	259.6	890	29.2	
7	Ngagel 1	Sukolilo 1	OUTAGE					
8	Ngagel 2	Sukolilo 2	28.035	52.177	225.5	890	25.3	
9	Sukolilo 1	Wonokromo 1	31.032	19.327	147	890	16.5	
10	Sukolilo 2	Wonokromo 2	31.032	19.327	147	890	16.5	
11	Sukolilo 1	Wonorejo 1	10.142	5.923	47.2	890	5.3	
12	Sukolilo 2	Wonorejo 2	10.142	5.923	47.2	890	5.3	

Dari tabel 4.6 dapat diketahui bahwa perubahan aliran daya ketika saluran Ngagel 1 – Sukolilo 1 mengalami *outage* terjadi penambahan beban pada saluran Rungkut 1 – Sukolilo 1 dengan arus yang melewati saluran menjadi 259.6 A. Pelanggaran (*violation*) ini terjadi karena saat saluran Ngagel 1 – Sukolilo 1 mengalami *outage*, saluran Rungkut – Sukolilo menanggung beban pada bus Sukolilo.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan arus pada saluran saat kondisi normal dan setelah *outage* saluran Ngagel 1 – Sukolilo 1

Dari grafik 4.7 diatas perbandingan aliran daya untuk arus pada saluran transmisi saat kondisi normal dan setelah kontingensi saluran Ngagel 1 – Sukolilo 1 dapat diketahui bahwa dampak yang ditimbulkan setelah outage mempengaruhi perubahan arus yang besar pada saluran Ngagel 2 – Sukolilo 2 ,dan Rungkut – Sukolilo.

#### 4.5 Solusi *Contingency Violation* Pada Saluran Transmisi

Pada analisa kontingensi saluran transmisi sebelumnya terdapat beberapa kasus *violation* yang terjadi. Dalam menentukan solusi untuk kasus *contingency violation* yang terjadi dapat dilakukan 3 cara yaitu :

##### 1. Pengalihan Beban

Mengalihkan atau mengurangi daya pembangkit yang mensuplai kebutuhan daya pada beban melalui saluran transmisi yang mengalami *overload* dengan mengalihkannya ke saluran transmisi lain yang memiliki saluran kondisi aman.

##### 2. Load shedding

Melakukan tindakan pelepasan beban terhadap saluran transmisi yang mengalami *overload* agar terhindar dari gangguan yang memungkinkan terjadinya *blackout*.

##### 3. Penambahan Saluran

Melakukan penambahan transmisi baru untuk menambah tingkat kehandalan sistem pada sisi saluran transmisi dari segala jenis gangguan yang kemungkinan terjadi.