

ANALISIS KONTINGENSI SALURAN TRANSMISI PADA JARINGAN 150 kV SURABAYA SELATAN

Disusun oleh:

Febry Johan Palasworo, Anang Widianoro
Program Studi Teknik Elektro FT, UM-Surabaya
Jalan Sutorejo No. 59, Surabaya
Email : anang.widianoro@yahoo.com

Abstrak

Sistem keamanan tenaga listrik mempengaruhi keandalan dan kinerja sistem tenaga listrik dari gangguan yang berupa lepasnya elemen sistem (*outage*). Analisis keamanan sistem tenaga bertujuan untuk melihat keandalan sistem terhadap gangguan, dan menjaga tetap beroperasi pada kondisi normal. Analisis ini didasarkan pada analisis kontingensi, yang merupakan suatu cara untuk memodelkan setiap gangguan yang terjadi. Tujuan penelitian ini adalah menentukan aliran daya aktif maupun reaktif pada saat kondisi normal dan saat terjadi kontingensi saluran transmisi N-1, menentukan urutan performansi indeks terhadap *outage contingency*, menentukan total jumlah *contingency violation*, dan untuk menentukan solusi yang harus dilakukan terhadap *outage contingency* yang terjadi guna mengatasi kemungkinan *contingency violation* yang terjadi pada jaringan 150 kV Surabaya Selatan. Metode yang digunakan adalah metode alirandaya *Newton-Raphson* dan metode *Performance Index*. Berdasarkan hasil analisis, urutan performansi indeks terhadap *outage contingency* pada jaringan 150 kV Surabaya Selatan yang pertama adalah saluran transmisi Rungkut – Sukolilo dengan nilai *PI average* sebesar 0.12967 dan yang terakhir adalah saluran Sukolilo – Wonorejo dengan nilai *PI average* sebesar 0.00311. total jumlah *contingency violation* adalah 2 kasus yaitu kontingensi saluran Rungkut 1 – Sukolilo 1 dan kontingensi saluran Ngagel 1 – Sukolilo 1, solusi yang harus dilakukan adalah penambahan saluran.

Kata Kunci:Keamanan Sistem, kontingensi, aliran daya *Newton Raphson*, Performansi Indeks

Abstract

Security system of power affect the reliability and performance of electrical power system from interference in the form of loss of system elements (*outage*). Power system security analysis aims to look at the reliability of the system against disturbance, and keep operating at normal conditions. This analysis was based on the analysis of contingency, which is a way to model any disturbance. The purpose of this study was to determine the active and reactive power flow during normal conditions and in the event of a contingency transmission channel N-1, determine the order of performance of the index against the contingency outage, determine the total amount of contingency violation, and to determine the solution that must be done on a contingency outage that occurred in order to overcome the possible violation contingency occurring on the network of 150 kV South Surabaya. The method used is the method of Newton-Raphson power flow and methods Performance Index Based on the analysis, the sequence of the performance of the index against the contingency outage on the network of 150 kV South Surabaya is the first transmission line Rungkut - Sukolilo with PI average value of 0.12967 and the last one is the channel Sukolilo - Wonorejo with PI average value of 0.00311. total number of contingency violation is 2 cases are contingency Rungkut channel 1 - Sukolilo 1 and contingency Ngagel channel 1 - Sukolilo 1, a solution that should be done is the addition of the channel.

Keywords: Security system, contingency, Newton Raphson power flow, performansi Index

I. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik sebagian besar menggunakan sistem interkoneksi agar keandalan system tetap terjaga. Namun, sistem interkoneksi ini apabila terjadi gangguan pada salah satu sistem karena adanya beban lebih dan ketidakstabilan tegangan, akan berpengaruh ke sistem yang lain. Gangguan yang pada awalnya bersifat sementara dan terjadi pada bagian sistem yang mengalami gangguan saja, jika tidak ada perbaikan, maka gangguan akan tetap berlangsung dan terjadi pelepasan bertingkat yang pada akhirnya akan mengakibatkan pemadaman total (*black out*).

Gangguan pelepasan elemen sistem (*outage*) dalam sistem tenaga listrik adalah sesuatu yang tidak dapat dihindarkan. Elemen terlepas dari sistem karena gangguan atau karena pemeliharaan. Pemeliharaan peralatan dari sistem tenaga listrik memerlukan pembebasan tegangan yang artinya bahwa peralatan yang dipelihara harus dikeluarkan dari operasi.

Dari seluruh sistem kelistrikan Surabaya yang telah ada, dalam operasi sistem dibutuhkan sebuah kemampuan dalam menjaga keamanan sistem (*securitysystem*) karena suatu sistem dapat mengalami gangguan atau perubahan kondisi lain-lain yang dapat merugikan. Sebagai contoh kasus kegagalan operasi yang pernah dialami pada jaringan 150 kV Jawa Timur, yaitu :

- a. Pada tanggal 12 Juli 2014, sekitar pukul 19.49 Wib, terjadi gangguan transmisi SUTT Situbondo – Banyuwangi. Akibat kejadian tersebut kabel laut yang menghubungkan pulau Jawa dan Bali tidak dapat menyalurkan listrik dari Jawa ke Bali sebesar 234,5 megawatt.
- b. Pada tanggal 17 April 2013, jam 16.30 Wib terjadi gangguan transmisi SUTT Waru – Rungkut yang mengakibatkan padamnya beberapa kawasan di Surabaya bagian timur.

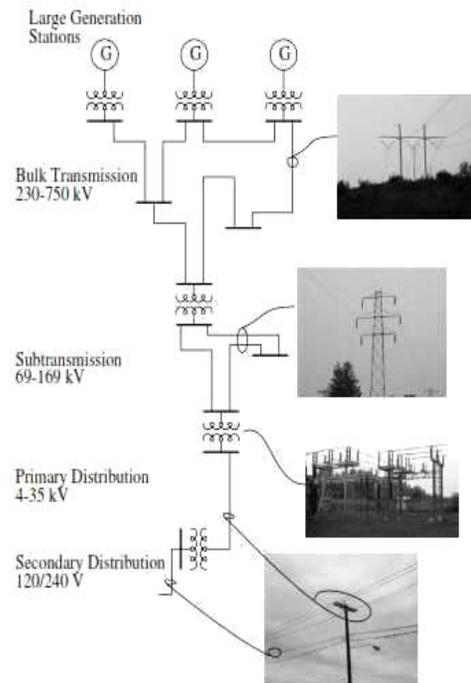
Analisis kontingensi (*contingency analysis*) adalah analisis aliran daya dari suatu kejadian yang disebabkan oleh kegagalan dari lepasnya saluran transmisi. Efek dari gangguan lepasnya transmisi tersebut akan menyebabkan perubahan aliran daya pada setiap cabang-cabang transmisi lainnya dan perubahan besar pada bus-bus lain. Dengan analisis kontingensi dapat dilakukan perhitungan terhadap gangguan (*outage*) yang terjadi pada saluran transmisi sehingga dapat diprediksikan besaran tegangan bus, maupun kapasitas transmisi yang tersisa sudah *overload* atau masih bisa dibebani saat dalam kondisi gangguan (*post-outage*).

Analisis ini dilakukan dengan mengacu keadaan sistem yang diperoleh dari studi aliran daya. Sehingga merupakan suatu hal yang sangat penting bahwa sistem harus direncanakan dan dioperasikan agar dalam keadaan kontingensi atau terlepasnya suatu elemen sistem saluran transmisi tidak akan mengakibatkan pemadaman pada sebagian atau seluruh sistem.

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan metode performansi indeks sebagai dasar dalam menentukan daftar kontingensi yang layak. Performansi Indeks tidak secara langsung memperlihatkan jenis pelanggaran yang terjadi, beban lebih atau violasi tegangan, namun hanya menunjukkan besarnya dampak gangguan antara satu kontingensi. Makin besar nilai PI, makin besar pula dampak dari suatu kasus kontingensi. Dengan diwakilinya tiap kasus kontingensi dengan besarnya nilai PI, maka selanjutnya kasus-kasus tersebut dapat diurutkandari nilai PI yang terbesar hingga kecil.

2. Tinjauan Pustaka

Sistem tenaga listrik terdiri atas lima sub sistem utama, yaitu : pusat pembangkit, transmisi, gardu induk, jaringan distribusi, dan beban.



Gambar 2.1 Gambaran luas infrastruktur listrik (Hermawan,2008)

Pada pusat pembangkit terdapat generator dan transformator penaik tegangan (*step-up transformer*). Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi listrik yang dimana pada umumnya generator membangkitkan daya listrik bertegangan rata-rata 11 kV hingga 25 kV. Melalui transformator penaik tegangan energi listrik dinaikan menjadi antara 66 kV hingga 500 kV atau lebih. Pada saluran transmisi tegangan dinaikan dengan tujuan mengurangi jumlah arus yang melewati saluran transmisi sehingga dapat memperkecil kebutuhan luas penampang penghantar yang digunakan. Dengan demikian saluran transmisi bertegangan tinggi akan membawa aliran arus yang rendah dan dapat mengurangi rugi-rugi transmisi.

Tegangan tinggi yang dikirim melewati saluran transmisi akan menuju pusat-pusat beban yang kemudian tegangan tersebut akan diturunkan lagi melalui transformator tegangan (*step-down transformer*) yang ada pada gardu induk menjadi tegangan menengah yaitu 20 kV dan terakhir tegangan akan diturunkan lagi pada jaringan distribusi melalui gardu tiang trafo menjadi tegangan rendah 220/380 V.

2.1 Sistem Interkoneksi

Sistem Interkoneksi adalah suatu sistem kelistrikan yang terdiri lebih dari satu pusat pembangkit, transmisi dan satu pusat beban yang saling tergabung menjadi satu dan membentuk sistem jaringan (*Network*). Pada jaringan interkoneksi di Indonesia transmisi berdasarkan tegangan kerjanya dibedakan menjadi tiga, yaitu, 70 kV, 150 kV, 500 kV dan sebagainya seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Topologi Interkoneksi Jawa Timur – Bali (Sutrisna, Kadek Fendy, 2011)

2.2 Diagram Segaris (*Single Line*)

Suatu sistem tiga fasa yang simetris selalu dipecahkan per satu fasa dengan menggambarkan diagram segaris (*single line diagram*). Diagram segaris memiliki tujuan untuk memberikan semua informasi yang perlu dalam bentuk yang sesuai dengan kondisi sistem sebenarnya.

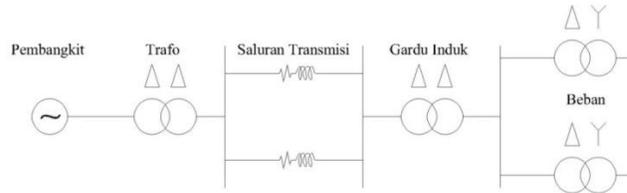
Persoalan-persoalan dalam sistem tenaga adalah : aliran daya (*load flow*), hubung singkat (*short circuit*), operasi ekonomi, kestabilan peralihan, pengaturan-pengaturan daya reaktif dan tegangan seta pelepasan beban. Menurut batasan waktu, persoalan-persoalan diatas dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok keadaan yaitu : keadaan mantap, keadaan peralihan, dan keadaan sub-peralihan.

Pada studi aliran daya dan operasi ekonomi yang dibutuhkan adalah besaran-besaran dalam keadaan mantap. Untuk studi kestabilan peralihan dibutuhkan besaran-besaran dalam keadaan peralihan dan saat hubung singkat dibutuhkan besaran-besaran dalam keadaan sub-peralihan. Sedangkan untuk studi pengaturan dan pelepasan beban besar, besaran yang dibutuhkan tergantung dari keadaan yang diinginkan, mantap atau peralihan.

Oleh karena itu, representasi sistem tenaga listrik itu digambarkan sesuai dengan studi-studi yang akan dilakukan, dan banyaknya keterangan yang dimasukkan dalam diagram tergantung pada maksud diagram tersebut dibuat. Misalnya dalam studi aliran daya beban-beban dan tahanan-tahanan harus digambarkan. Sedangkan tempat pemutus tenaga dan rele, impedansi hubungan netral ke tanah tidak perlu digambarkan.

Dalam studi hubung singkat, tempat dan spesifikasi pemutus tenaga dan rele harus diberikan, sedangkan tahanan dan beban static dapat diabaikan. Pengabaian ini dilakukan untuk menyederhanakan perhitungan, tetapi bila perhitungan dilakukan dengan komputer digital pengabaian ini tidak perlu, dengan demikian diperoleh hasil yang lebih teliti.

Representasi sistem untuk studi kestabilan peralihan hampir sama dengan representasi sistem untuk hubung singkat. Pada studi peralihan digunakan reaktansi peralihan sedangkan pada studi hubung singkat digunakan sub-peralihan. Gambar 3.3 menunjukkan contoh diagram segaris sistem tenaga listrik.



Gambar 2.3 Diagram Segaris Suatu Sistem Listrik (Hermawan,2008)

2.3 Analisis Kontingensi

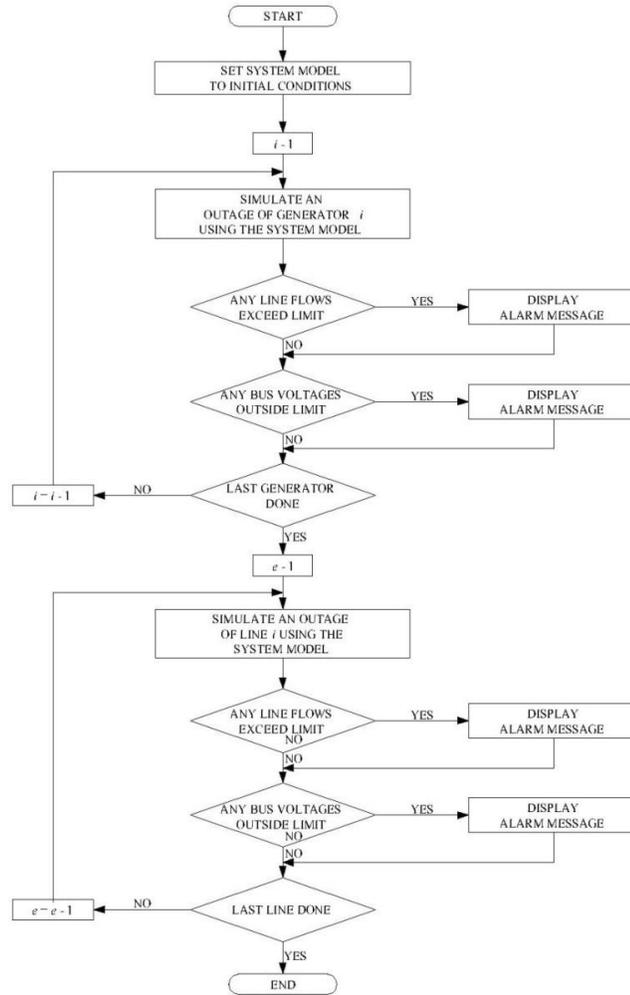
Kontingensi adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh kegagalan atau pelepasan dari satu atau lebih generator /transmisi. Istilah ini berkaitan erat dengan kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk melayani beban bila terjadi gangguan pada salah satu komponennya. Karena adanya kontingensi, sehingga lebih dari satu saluran digunakan untuk menyalurkan daya listrik ke beban, walaupun sebenarnya dalam keadaan normal. Analisis kontingensi adalah komponen yang berfungsi untuk pengujian system keamanan dan merupakan kelanjutan hasil program *load flow* untuk mempertimbangkan berbagai kondisi yang mungkin terjadi dalam sistem dimasa yang akan datang dengan pengoperasian sistem untuk mengatasi terjadinya kasus-kasus yang ditimbulkan oleh kontingensi saluran transmisi.

Analisis ini digunakan sebagai alat studi untuk analisis kejadian kontingensi secara *off-line*, dan sebagai alat *on-line* untuk menunjukkan operator bagaimana efek dari *outage* yang akan datang. Sehingga operator telah dipersiapkan untuk menghadapi *outage* dengan operasi pemulihan yang telah direncanakan sebelumnya. Setelah kontingensi terjadi, masalah sistem tenaga bisa diukur dari :

- a. Tidak sama sekali : saat sistem tenaga dapat diseimbangkan kembali setelah kontingensi, tanpa adanya beban berlebih pada semua elemen.
- b. Keras : saat beberapa elemen seperti saluran dan transformator menjadi terbeban lebih dan mempunyai resiko kerusakan.
- c. Kritis : saat sistem tenaga menjadi tidak stabil dan akan dengan cepat menjadi kacau.

Dengan mengikuti prosedur sesuai dengan gambar 2.29, operator akan dapat mengevaluasi bagaimana aliran daya dalam saluran dan tegangan bus akan diubah menjadi *steady-state* yang baru. Beban berlebih, tegangan yang terlalu tinggi atau terlalu rendah membuat system menjadi rentan untuk terjadi *outage* bertingkat. Besarnya dampak kemungkinan keluarnya komponen dapat dianalisa dengan analisis kontingensi atau program evaluasi kontingensi.

Berikut adalah flow chart analisis kontingensi seperti gambar 3.4 :



Gambar 2.4 Contoh prosedur analisis kontingensi (Wood, 1996)

Sehingga, untuk menguji efek keluarnya saluran dan keluarnya transformer pada tegangan bus dan aliran saluran pada jaringan, perkiraan teknik AC *power-flow* dikerjakan sejak mereka bisa memberikan solusi cepat pada banyak kasus pengujian yang mana perlu dijalankan (Grainger dan Stevenson, 1994).

2.4 Metode Line MVA Performance Indeks (PI_{MVA})

Kondisi beban sangat berpengaruh terhadap aliran daya pada saluran yang berbeda dan performa system. *Line MVA Performance Indeks* (PI_{MVA}) adalah metode untuk mengindikasikan peringkat *overloads* pada saluran. Didefinisikan oleh (K. Verma dan K. R Niazi, 2012) :

$$PI_{MVA} = \sum_{i=1}^{N_L} \frac{W_{Li} S_i^{post M}}{M S_i^{max}} \quad (2-38)$$

PI = Performansi indeks

S_i^{post} = Post-contingency MVA aliran dari saluran i

S_i^{max} = Kemampuan MVA dari saluran i

- N_L = Jumlah line dalam sistem tenaga listrik
 W_{Li} = Faktor *real non-negative weighting* (=1)
M = Urutan eksponen untuk *penalty function* (=2)

2.5 Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)

ETAP merupakan suatu perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisa pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik.

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aliran daya, hubung singkat, starting motor, *transient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diubah langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan

3. Metode Penelitian

3.1 Waktu dan Lokasi Objek Penelitian

- Waktu penyelesaian : Februari- Juli 2015
Tempat Penyelesaian : Universitas Muhammadiyah Surabaya dan PT. PLN (Persero) APP Surabaya

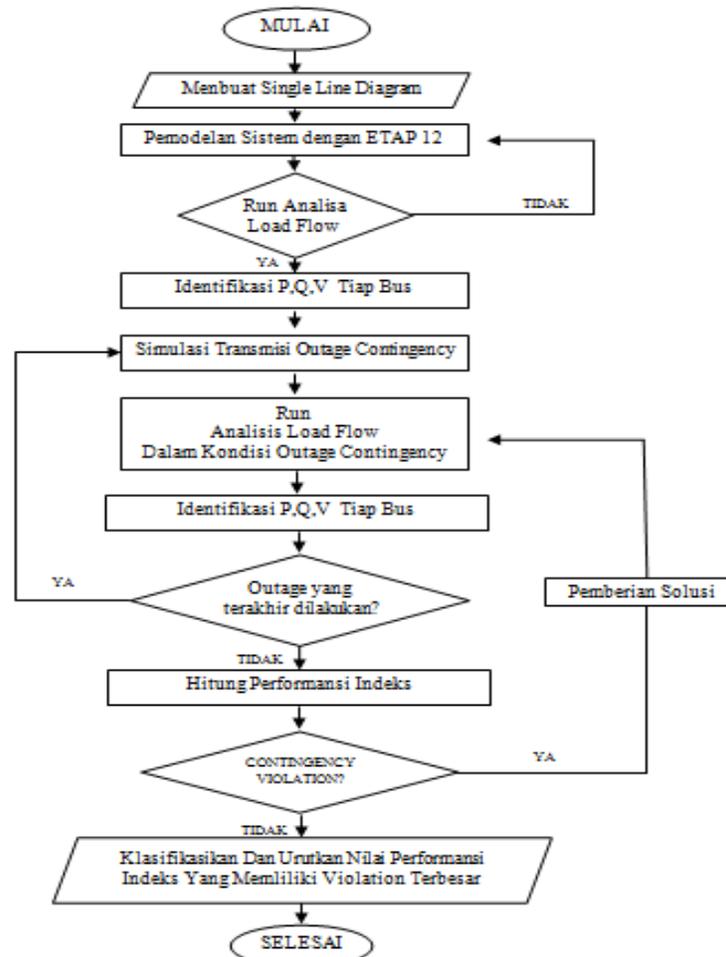
3.2 Tahapan Penelitian

Regional Control Center (R.C.C) merupakan salah satu milik PT. PLN (Persero) APB Jatim yang berada di wilayah yang mempunyai wewenang mengatur tegangan, menjaga kualitas frekuensi, manajemen energy, dan *switching* di seluruh sistem transmisi 150 kV Surabaya.

Untuk melakukan analisis kontingensi saluran transmisi 150 kV di Surabaya dibutuhkan data :

1. Single line diagram Sistem Interkoneksi Jaringan 150 kV Surabaya
2. Data transformator.
3. Data saluran transmisi

3.3 Diagram Alir Penyelesaian Masalah



Gambar 3.1 Flow Chart Penyelesaian Masalah

Keterangan *Flowchat* Penyelesaian Masalah:

1. Mulai untuk menyelesaikan masalah
2. Membuat *single line* diagram jaringan 150 kV Surabaya di *software* ETAP 12.
3. Melakukan permodelan jaringan 150 kV di *software* ETAP 12 dengan memasukkan parameter disetiap komponen dengan data observasi yang sudah ada.
4. Memulai *running load flow* jaringan 150 kV yang sudah dibuat di *software* ETAP 12 menggunakan metode Newton Rhapsion dan dengan ketentuan apabila gagal *running load flow* memulai proses pemeriksaan pada tahap permodelan sebelumnya.
5. Jika simulasi menggunakan ETAP 12 sudah dapat dilakukan maka hasil simulasi *load flow* dilakukan identifikasi P, Q, V, sudut tiap bus.
6. Kemudian lakukan sebuah simulasi transmisi *outage contingency* yang mengkondisikan salah satu dari transmisi jaringan 150 kV Surabaya lepas.
7. Melakukan proses *running load flow* pada jaringan 150 kV Surabaya dengan kondisi transmisi *outage contingency* yang sudah dilakukan sebelumnya secara berurutan.
8. Melakukan identifikasi kembali terhadap P,Q, V, dan sudut tiap bus yang telah dilakukan simulasi aliran daya setelah transmisi *outage contingency*.
9. Melakukan proses transmisi *outage contingency* sampai yang terakhir dilakukan, jika masih terdapat transmisi yang belum dilakukan *outage contingency* maka dilakukan ulang simulasi *outage contingency*.

10. Menghitung performansi indeks pada tiap *outage contingency* yang sudah ada dilakukan pada seluruh saluran transmisi 150 kV Surabaya.
11. Melakukan analisa terhadap *contingency violation* yang terjadi akibat transmisi *outage* dan menentukan solusi untuk mencegah *contingency violation*.
12. Mengklasifikasikan dan mengurutkan nilai *performance indeks* yang mempunyai dampak *violation* terbesar.
13. Memberikan kesimpulan.
14. Selesai.

4. Hasil Dan Pembahasan

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

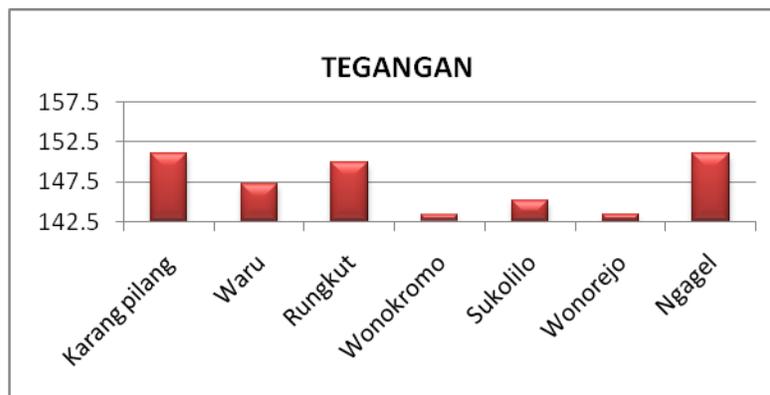
Gambar pemodelan sistem interkoneksi jaringan 150 kV Surabaya Selatan yang telah dibuat menggunakan ETAP 12 untuk simulasi aliran daya adalah sebagai berikut: (lihat dilampiran 1)

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 pada grafik di atas, dapat diketahui jika pada bus Wonokromo dan Wonorejo mengalami *undervoltag*. Hal ini bisa disebabkan karena beberapa halantara lain

besarnya reaktansi yang dipengaruhi oleh jarak transmisi ,besarnya beban yang berada pada bus Wonokromo dan Wonorejo. Karena semakin besar beban akan mempengaruhi besarnya arus pada transmisi menuju bus beban sehingga semakin besar arus yang melewati transmisi akan semakin besar pula *losses* daya reaktif yang akan mempengaruhi *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	AMPACIT Y (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 kontingensi (*Pra-Contingency*) saluran transmisi terdapat 2 bus yang hampir tidak memenuhi standart yaitu terjadinya *drop voltage* pada bus Wonokromo dan Wonorejo. Tegangan paling rendah terjadi pada bus Wonokromo yaitu sebesar 143,3kV namun masih 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.

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

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

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

$$\text{Cos } \phi_1 = \frac{P_{\text{beban}}}{S_{\text{beban}}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{62.284}{73.361} \\ &= 0.849 \text{ lagging} \\ \phi_1 &= \cos^{-1} 0.849 = 31.89^\circ \end{aligned}$$

Jika dari $\cos \phi = 0.849$ akan diperbaiki menjadi $\cos \phi = 0.95$, maka untuk menghitung besar VAR

kapasitor yang akan dipasang pada bus beban dapat digunakan cara sebagai berikut :

$$C = 0.95 \text{ lagging}$$

$$= \cos \phi$$

$$= \cos^{-1}(0.95)$$

$$= 18.195^\circ$$

$$= P_{\text{beban}} (\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

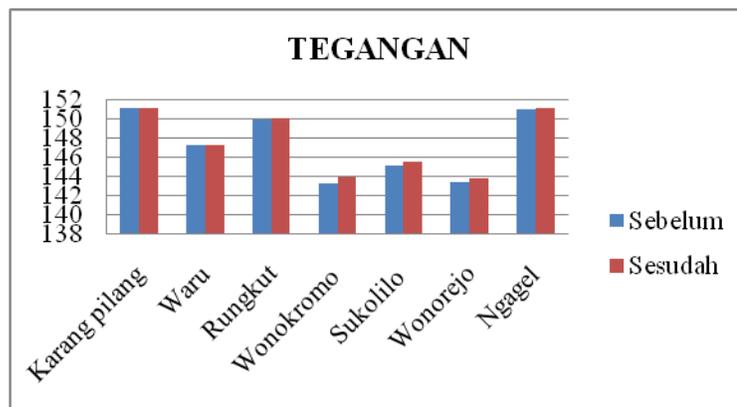
$$= 62.284 \text{ MW} (\tan(31.89^\circ) - \tan(18.195^\circ))$$

$$= 18.281 \text{ MVAR}$$

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, 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

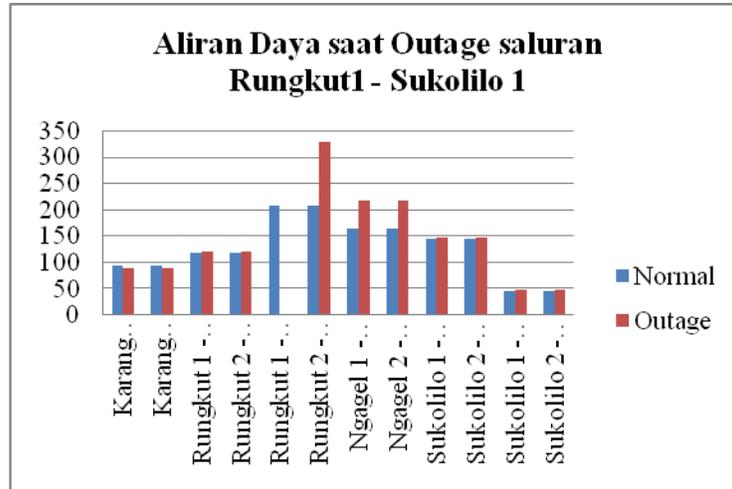
Dari kasus kontingensi saluran transmisi Rungkut 1 – Sukolilo 1 menghasilkan perubahan aliran daya pada saluran sebagai berikut : (lihat dilampiran 2)

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

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

NO	TRANSMISION LINE		MW	Mvar	AMPERE	AMPACIT Y (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 Rugkut 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

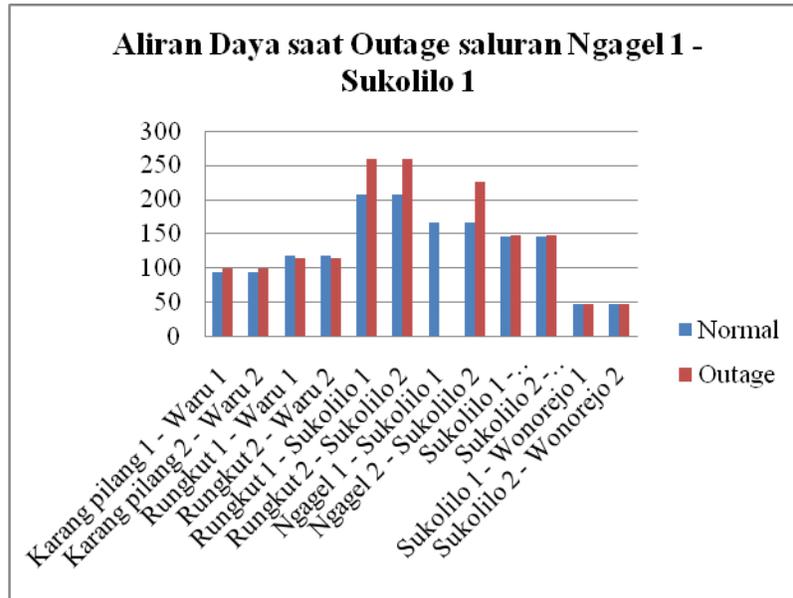
Dari kasus kontingensi saluran transmisi Ngagel – Sukolilo menghasilkan perubahan aliran daya pada saluran sebagai berikut :(lihat dilampiran 3)

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 1 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 4.4 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*. Untuk menentukan solusi 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.

5. Kesimpulan

Dari analisis kontingensi unit saluran transmisi yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya adalah :

1. Berdasarkan hasil *load flow* pada Etap 12, saat kondisi normal dan saat terjadi kontingensi saluran transmisi N-1 aliran daya aktif terbesar terdapat pada saluran Rungkut – Sukolilo , dan daya reaktif terbesar pada saluran Ngagel – Sukolilo.
2. Dari hasil perhitungan performansi indeks diketahui bahwa kontingensi saluran transmisi Rungkut – Sukolilo menempati urutan pertama dengan nilai performansi indeks *average* sebesar 0.12967 dan saluran Sukolilo – Wonorejo menempati urutan terakhir dengan nilai performansi indeks *average* sebesar 0.00311. Ranking ini ditinjau pada *violation* yang terjadi dan perubahan aliran daya pada saluran.
3. Dari 12 skenario kontingensi saluran transmisi jaringan 150 kV terdapat 2 kasus pelanggaran (*violation*) yang mengakibatkan perubahan pada saluran yaitu dari skenario kontingensi saluran Rungkut 1 – Sukolilo 1 yang mengakibatkan penambahan beban Pada saluran Rungkut 2 – Sukolilo 2 sebesar 120.3A, dan Ngagel – Sukolilo masing-masing sebesar 51.6A. Skenario kontingensi saluran Ngagel 1 – Sukolilo 1 yang mengakibatkan penambahan beban pada saluran Ngagel 2 – Sukolilo 2 sebesar 60.4A, dan Rungkut – Sukolilo masing-masing sebesar 52.6A
4. Solusi penambahan saluran merupakan solusi yang lebih baik daripada solusi *load shedding* karena tidak merugikan pihak konsumen. Namun dibutuhkan investasi yang cukup besar dalam penambahan saluran penghantar.

DAFTAR PUSTAKA

- Boylestad, Robert L (2010). *Electronic Device and Circuit Theory*.
- Chibuzo Joseph, Nnonyeludan Madueme, Theopilus C. (2013). *Power System Contingency Analysis: A Study of Nigeria's 330 kV Transmission Grid*. Department of Electrical Engineering University of Nigeria, Nsukka.
- Chung Hsin Electric & Machinery Mfg. 2009. *Power Equipment Product*. Web.Taoyuan Country, Taiwan.
- Das, Debapriya (2006). *Electrical Power Systems*. West Bengal, India: New Age International (P) Ltd., Publishers.
- Grainger, JJ, Stevenson, W.D. (1994). *Power System Analysis*. New York: Mc. Graw Hill Inc.
- Murty, P.S.R. (2007). *Power System Analysis*. Hyderabad, India: B.S Publication.
- Theodore, Wildi (1997). *Electrical Machines, Drives and Power System 3rd*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Verma, Kusum dan Niazi K. R. (2012). *Contingency Constrained power System Security Assessment using Cascade Neural Network*, J. Electrical System
- Wood, Allen J dan Woolenber, Bruce F. (1996). *Power Generation Operation and Control*. New York : John Wiley & Sons, Inc.

- Firmansyah, Fery, 2010. "Peningkatan Keandalan Sistem Tenaga Listrik Jawa Barat 150 kV dengan Analisa Kontingensi (N-1)", Jurusan Teknik Elektro-FTI ITS.
- Hermawan, Ahmad. 2008. *Distribusi dan Transmisi Sistem Tenaga Listrik*. Malang: Politeknik Negeri Malang.
- Kundur, Prabha (1994). *Power System Stability and Control*. New York: Mc. Graw Hill Inc.
- Rachman, Arif, 2010. "Analisis Kontingensi Sistem Jawa-Bali 500 kV Untuk Mendesain Keamanan Operasi" Jurusan Teknik Elektro FTI ITS.
- Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. Singapore: Mc. Graw-Hill.
- Sumardjati, Prih. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik*. Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- Sutrisna, Kadek Fendy. 2011. *Kondisi Kelistrikan di Beberapa Wilayah Indonesia*.
- Cundoko. 2015. *Feedback Infra Kantongi Proyek Listrik di Sumut*, <http://www.migasreview.com/>.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2007) . *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor : 03 Tahun 2007 : CC 2.1 Tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali*.
- PT PLN (Persero) P3B. 2003. *Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga*.
- Gardu Induk. 2013. <https://scadaku.wordpress.com/tag/indonesia/>.

LAMPIRAN 2

Kontingensi Pada Saluran Rungkut 1 – Sukolilo 1

