

Peningkatan Keandalan Sistem Tenaga Listrik 20 Kv Pekanbaru Dengan Analisa Kontingensi (N-1)

Ishak Erawadi Barutu*, Firdaus**

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: ishakerawadi@gmail.com

ABSTRACT

To a give reliable service, the power system must remain intact and able to cope with various problems that may occur. Thus is something that is very important to plan a good the when system under normal circumstances and contingency or release of an element, the system remains able to distribute electrical energy in a good state.

In this study discussed contingency analysis (loss of one of the elements) on the 20kv power system. Contingency analysis which is based on the release of the transformer. Results analysis is used to look at the critical loading or experiencing overload. From the simulation results ETAP 12.6 is known that while contingency 1 in the substation garuda sakti when the transformer 1 out the transformers 2, transformers 3 and transformer 4 will be overloaded as big as 48.8 MVA, 48.8 MVA and 58.8 MVA. Contingency 4, that is the out of the transformer 4 the transformer 1, transformer 2 and 3 transformer overload of 55.7 MVA, 46.5 MVA and 46.5 MVA. At the substation teluk lembu contingency 2 transformer 4 off the generator 6 will overload 133.5%. contingency 3 out of the transformer 7, the transformer 11 overload 114.3%. Generator 7 and the generator 6 overload 129.3% and 104.7%. To cope the overload then made two solutions that load shedding and connection coupling.

Keywords: analysis contingency, reliability

1. PENDAHULUAN

Untuk memberikan pelayanan yang andal, sistem tenaga listrik harus tetap utuh dan mampu mengatasi berbagai macam gangguan yang mungkin terjadi. Dengan demikian merupakan suatu hal yang sangat penting bahwa sistem harus direncanakan agar dalam normal maupun dalam keadaan kontingensi atau terlepasnya suatu elemen, sistem tetap mampu menyalurkan energi listrik dengan baik. Disamping itu, agar kemungkinan keadaan kontingensi yang paling merugikan tidak menyebabkan pemutusan daya yang tidak terkontrol dan

meluas yang mengakibatkan pelepasan yang bertingkat dan pemadaan total.

Dengan demikian perlu dilakukan studi tentang keandalan dan keamanan sistem tenaga listrik yaitu dengan analisis aliran daya terhadap sejumlah kasus – kasus kontingensi N-1 (lepasnya salah satu elemen sistem). Hasil-hasil analisis tersebut digunakan untuk mengidentifikasi elemen-elemen sistem yang lemah. Elemen-elemen sistem yang lemah dapat berupa bus yang tegangannya melanggar batasan operasi dan saluran distribusi yang mengalami pembebanan kritis atau mengalami beban lebih. Setelah elemen-elemen sistem yang lemah teridentifikasi, selanjutnya dilakukan

perbaiki sistem agar sistem tenaga listrik menjadi lebih andal.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Keandalan Sistem Tenaga Listrik

Keandalan suatu sistem tenaga listrik ditentukan oleh penilaian kecukupan (*adequacy assessment*) dan penilaian keamanan (*security assessment*). Penilaian kecukupan berkaitan dengan kemampuan sistem untuk memasok energi listrik ke pelanggan yang memenuhi persyaratan dengan cara yang memuaskan. Penilaian keamanan berkaitan dengan gangguan yang mendadak seperti hubung singkat atau hilangnya elemen sistem yang tak dapat diantisipasi. Hal ini termasuk respon sistem yang diakibatkan oleh lepasnya pembangkit atau saluran transmisi (Pottonen, 2005; Kim, 2003; dan Yeu, 2005).

Keandalan dan keamanan sistem tenaga listrik dapat dicapai dengan melakukan operasi sistem yang toleran terhadap keluarnya salah satu elemen sistem (*single outage*) ataupun keluarnya lebih dari satu elemen sistem (*multiple outage*). Artinya, dengan keluarnya salah satu elemen sistem (atau lebih) seharusnya tidak menyebabkan keluarnya elemen sistem secara bertingkat (*cascading outage*) yang mengakibatkan pemadaman sebagian atau pemadaman total. Suatu sistem tenaga listrik yang mampu bertahan, utuh, dan tidak mengalami pemadaman akibat keluarnya salah satu elemen sistem dikatakan sistem tersebut andal atau aman dengan kriteria N-1 (Alvarado dan Oren, 2004).

Kriteria keandalan keamanan N-1 merupakan kriteria yang fundamental

dalam operasi sistem tenaga listrik yang diterima dan dipergunakan hampir di seluruh dunia (universal). Dengan terpenuhinya tingkat keandalan keamanan N-1 secara kasar sama dengan terpenuhinya keseimbangan antara kebutuhan beban dengan jumlah pembangkitan. Dengan demikian suatu sistem tenaga listrik yang andal paling tidak harus memenuhi kriteria keandalan keamanan N-1. Pemenuhan kriteria keandalan N-1 tersebut harus dilakukan dengan tidak mempersoalkan biaya (Alvarado dan Oren, 2004).

2.2 Analisa Kontingensi

Analisis kontingensi merupakan suatu analisis yang digunakan untuk memprediksi aliran daya dan kondisi-kondisi tegangan bus bila terjadi gangguan-gangguan yang antara lain : outage saluran transmisi, outage transformer, outage beban, outage unit pembangkit, outage kapasitor/reaktor dan sebagainya. Kontingensi adalah suatu kejadian yang disebabkan oleh kegagalan atau pelepasan dari satu atau lebih generator dan/atau transmisi (Ditjen LPE, 2004). Kontingensi N-1 adalah kontingensi yang dihasilkan dari terlepasnya satu komponen sistem yaitu satu saluran transmisi atau satu generator. Kontingensi N-k adalah kontingensi yang dihasilkan dari terlepasnya sejumlah k komponen sistem.

2.3 Analisis Aliran Daya

Studi aliran daya adalah studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai magnitudo dan sudut fasa tegangan pada terminal atau bus (simpul) tertentu dalam sistem tenaga listrik. Dari dua besaran ini kemudian dapat diperoleh besaran-besaran lain seperti aliran daya aktif dan daya reaktif serta arus yang

mengalir pada semua peralatan yang terhubung antara bus dengan bus. Representasi fasa tunggal selalu dilakukan karena sistem dianggap seimbang.

Untuk mendapatkan penyelesaian aliran daya pada setiap bus (simpul) perlu diketahui dua buah parameter, tergantung pada parameter-parameter yang diketahui, maka setiap bus (simpul) di sistem dibagi dalam 3 macam, yaitu (Cekdin,2007):

1. *Slack bus* atau *swing bus* atau bus referensi

Slack bus berfungsi untuk menyuplai kekurangan daya real P dan daya reaktif Q pada sistem. Parameter yang diketahui adalah harga skalar tegangan $|V|$ dan sudut fasanya θ . Setiap sistem tenaga hanya terdapat 1 bus referensi, yaitu bus yang didalamnya terdapat pembangkit atau generator yang memiliki kapasitas terbesar di antara pembangkit yang lain didalam sistem.

2. *Voltage controlled bus* atau bus generator

Parameter yang diketahui adalah daya real P dan harga skalar tegangan $|V|$, sedangkan parameter yang tidak diketahui θ daya reaktif Q .

3. *Load bus* atau bus beban

Bus ini adalah bus yang terhubung dengan sistem. Parameter atau besaran yang ditentukan adalah daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), maka bus ini disebut juga PQ bus.

2.3.1 Persamaan Aliran Daya

Persamaan aliran daya adalah persamaan yang diformulasikan dari model

jaringan sistem tenaga listrik yang menggunakan hukum kirchoff. Aplikasi hukum kirchoff pada bus i diberikan dalam (Cekdin, 2007):

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\ = (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \quad (1)$$

Atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i \quad (2)$$

2.3.2 Metode Newton Raphson

Dasar dari metode newton raphson dalam penyelesaian aliran daya adalah deret taylor untuk suatu fungsi dengan dua variable lebih. Metode newton raphson menyelesaikan aliran daya dengan menggunakan suatu set persamaan non linier untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan tiap bus (Cekdin, 2007).

Dalam metode ini persamaaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar. Arus yang memasuki bus i dapat dicari dengan persamaan (2.3). Persamaan tersebut dapat ditulis ulang menjadi:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij}V_{ij} \quad (3)$$

Persamaan di atas bila di tulis dalam bentuk polar adalah:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (4)$$

Daya kompleks pada bus i adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (5)$$

Substitusikan persamaan (4) untuk I_i kedalam persamaa (5) menghasilkan:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (6)$$

Pisahkan bagian real dengan imajiner:

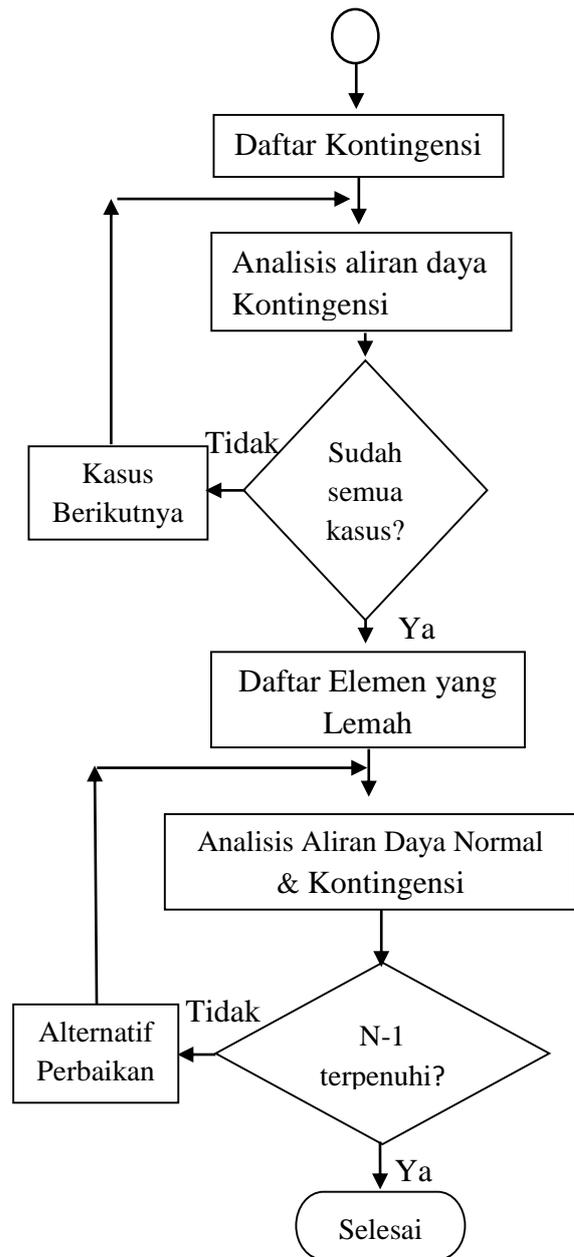
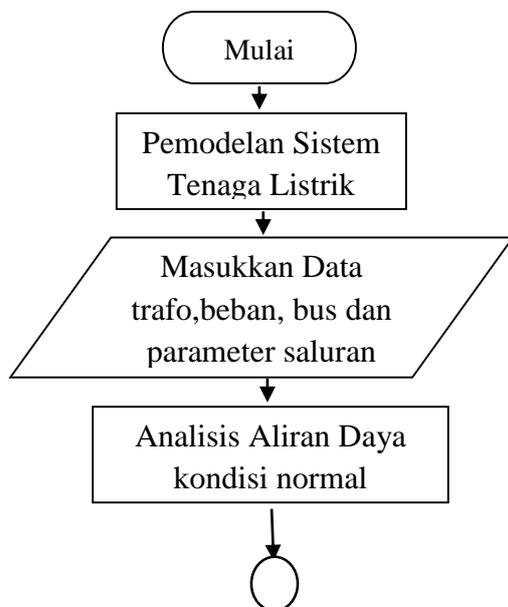
$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (7)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (8)$$

Persamaan (7) dan (8) membentuk persamaan aljabar non linier dengan variable sendiri. Besar setiap variabel dinyatakan dalam satuan per unit dan untuk sudut fasa dinyatakan dalam satuan radian.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 3.1 alur penelitian

3.2 Metode Pengumpulan data

Metode pengumpulan data adalah proses dalam pencarian data. Dalam penelitian ini penulis melakukan pengumpulan data yang dapat mendukung peningkatan keandalan sistem tenaga listrik 20Kv pekanbaru dengan analisa kontingensi (N-1). Adapun data-data yang dibutuhkan antara lain:

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari *survey* langsung terhadap objek penelitian, hal ini dilakukan dengan pengumpulan data dari PT PLN Area Pekanbaru yang menyediakan data-data untuk analisis penyaluran tenaga listrik.

b. Data Sekunder

Data sekunder ini diperoleh melalui *literatur* dan jurnal-jurnal pendukung dengan tujuan mencari teori-teori yang sesuai dengan penelitian sehingga penelitian tersebut memiliki landasan yang kuat .

3.2.1 Studi Literatur

Melakukan studi keperpustakaan dan kajian dari buku-buku teks pendukung, jurnal-jurnal ilmiah yang relevan yang dapat menunjang untuk penelitian tugas akhir ini.

3.3 Software Yang Di Gunakan

Sistem tenaga listrik industri saat ini telah demikian kompleks sehingga perhitungan ataupun analisis keandalan sistem tenaga listrik dengan analisa kontingensi (N-1) yang dilakukan secara manual akan membutuhkan waktu dan energi yang sangat besar dan berbagai keterbatasan pun memaksa diterapkannya asumsi-asumsi. Untuk itu, perhitungan aliran daya disimulasikan dengan menggunakan bantuan program ETAP *Powerstation 12.6*. Pengoperasian program ini hampir sama dengan sistem tenaga listrik secara nyata. Data lengkap dari setiap peralatan listrik dibutuhkan pada proses pemasukan data.

Program ETAP *Powerstation 12.6* terdapat fasilitas untuk membuat *single line diagram* yang sesuai dengan objek

penelitian dari menu-menu program yang ada pada program ETAP *Powerstation 12.6*, sehingga memberikan kemudahan bagi pengguna untuk menjalankan program tersebut.

Single line diagram atau diagram segaris sistem tenaga listrik merupakan data awal sebagai masukan pada ETAP *Powerstation 12.6*. Selain itu, juga diperlukan data-data masukan berupa karakteristik komponen tenaga listrik seperti generator,trafo, beban, dan jenis penghantar.

3.4 Data Masukkan Program

Data-data yang diperlukan untuk perhitungan aliran daya dalam melakukan analisa kontingensi (N-1) menggunakan software ETAP antara lain:

1. Data Bus, terdiri dari
 - ID bus
 - Nominal kV
2. Data Generator, terdiri dari
 - ID generator
 - Nominal kV
 - Rating MW/MVA
3. Data Transformator, terdiri dari
 - ID transformator
 - Nominal kV primer dan sekunder
 - Rating KVA/MVA
 - % Z
4. Data Beban, terdiri dari
 - ID beban
 - Rating KVA/MVA
 - Nominal kV
 - Faktor daya

Untuk data atau parameter yang diperlukan tetapi tidak tercantum pada peralatan, maka digunakan data atau parameter yang terdapat dalam *library* ETAP *Powerstation 12.6*, kemudian

disesuaikan dengan data peralatan sebenarnya.

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Simulasi Kontingensi Pada Gardu Induk Garuda Sakti

1. Kontingensi 1

Kontingensi 1 adalah kondisi dimana terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan pada trafo 1 terlepas dari sistem. Pada saat terlepas akan terjadi perubahan daya dan tegangan. Berikut adalah hasil simulasi saat kontingensi 1.

Tabel 4.1 hasil simulasi trafo 1 out

Trafo	Mva	Persen (%)	Bus	Tegangan (Kv)
Trafo 1 60 mva	-	-	1	19,432
Trafo 2 50 mva	48,8	97,7	2	19,432
Trafo 3 50 mva	48,8	97,7	3	19,432
Trafo 4 60 mva	58,0	97,7	4	19,432

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa saat trafo 1 out dari sistem, maka trafo 2, trafo 3, dan trafo 4 akan mengalami kondisi *overload*. Dan bus akan mengalami *undervoltage* hingga mencapai 97,2 %.

2. Kontingensi 2

Kontingensi 2 adalah kondisi dimana terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan trafo 2 terlepas dari sistem. Pada saat terlepas akan terjadi perubahan daya dan tegangan pada bus. Berikut adalah hasil simulasi saat kontingensi 2.

Tabel 4.2 hasil simulasi trafo 2 out

Trafo	Mva	Persen (%)	Bus	Tegangan (Kv)
Trafo 1 60 mva	55,1	91,8	1	19,482
Trafo 2 50 mva	-	-	2	19,482
Trafo 3 50 mva	45,9	91,8	3	19,482
Trafo 4 60 mva	54,5	90,8	4	19,482

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa saat trafo 2 out. Maka trafo 1, trafo 3, dan trafo 4 akan mengalami pertambahan beban, tetapi masih mampu di tampung oleh ketiga trafo. Dan bus akan mengalami *undervoltage* hingga mencapai 97,4%.

3. Kontingensi 3

Kontingensi 3 adalah kondisi dimana terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan trafo 3 terlepas dari sistem. Pada saat terlepas akan terjadi perubahan daya dan tegangan pada bus. Berikut adalah hasil simulasi saat kontingensi 3.

Tabel 4.3 hasil simulasi trafo 3 out

Trafo	Mva	Persen (%)	Bus	Tegangan (Kv)
Trafo 1 60 mva	55,1	91,8	1	19,482
Trafo 2 50 mva	45,9	91,8	2	19,482
Trafo 3 50 mva	-	-	3	19,482
Trafo 4 60 mva	54,5	90,8	4	19,482

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa saat trafo 3 out. Maka trafo 1, trafo 2 dan trafo 4 akan mengalami pertambahan beban. Tetapi masih mampu di tampung oleh dari ketiga trafo. Dan bus akan mengalami *undervoltage* hingga mencapai 97,4%.

4. Kontingensi 4

Kontingensi 4 adalah kondisi di mana terjadi gangguan pada sistem yang mengakibatkan trafo 4 terlepas dari sistem. Pada saat terlepas akan terjadi perubahan daya dan tegangan pada bus. Berikut adalah hasil simulasi saat kontingensi 4.

Tabel 4.4 hasil simulasi trafo 4 out

Trafo	Mva	Persen (%)	Bus	Tegangan (Kv)
Trafo 1 60 mva	55,7	97,4	1	19,477
Trafo 2 50 mva	46,5	97,4	2	19,477
Trafo 3 50 mva	46,5	97,4	3	19,477
Trafo 4 60 mva	-	-	4	19,477

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa saat trafo 3 out. Maka trafo 1, trafo 2 dan trafo 3 akan mengalami *overload* hingga mencapai 97,4%. Dan bus akan mengalami *undervoltage* hingga mencapai 97,3%.

4.2 Simulasi Kontingensi Pada Garudu Induk Teluk Lembu.

1 Kontingensi 1

Kontingensi 1 adalah kondisi dimana terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan pada trafo 5 terlepas dari sistem. Pada saat terlepas akan terjadi perubahan daya dan tegangan. Berikut adalah hasil simulasi saat kontingensi 1.

Tabel 4.5 hasil simulasi trafo 5 out

Trafo	Mva	Persen (%)	Bus	Tegangan (Kv)
Trafo 14	17,1	68,4	1	19,462
Trafo 17	17,1	68,4	2	19,462
Trafo 18	17,1	68,4	3	19,462

Dari tabel dapat dilihat bahwa saat trafo 5 terlepas masih dapat di tampung oleh generator 1, generator 2 dan generator 3.

2. Kontingensi 2

Kontingensi 2 adalah kondisi dimana terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan trafo 6 terlepas dari sistem. Pada saat terlepas akan terjadi perubahan daya dan tegangan pada bus. Berikut adalah hasil simulasi saat kontingensi 2.

Tabel 4.6 hasil simulasi trafo 6 out

Trafo	Mva	Persen (%)	Bus	Tegangan (Kv)
Trafo 13	22,4	90	48	19,257
Trafo 14	22,4	90	48	19,257

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa saat trafo 2 terlepas maka generator 4 akan mengalami *overload* hingga mencapai 21,365 mw atau 133,5%.

3. Kontingensi 3

Kontingensi 3 adalah kondisi di mana terjadi gangguan pada sistem yang mengakibatkan trafo 7 terlepas dari sistem. Pada saat terlepas akan terjadi perubahan daya dan tegangan pada bus. Berikut adalah hasil simulasi saat kontingensi 4.

Tabel 4.7 hasil simulasi trafo 7 out.

Trafo	Mva	Persen (%)	Bus	Tegangan (Kv)
Trafo 11	28,58	114,3	49	19,09
Trafo 12	21,8	87,2	49	19,09

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa saat trafo 7 terlepas maka trafo 11 *overload* hingga mencapai 28,58% atau 114,3%.

Generator 7 *overload* hingga 20,683 mw atau 129,3% dan generator 6 *overload* hingga 26,181 mw atau 104,7%.

4.3 Solusi Simulasi Kontingensi

4.3.1 Solusi Simulasi Untuk Gardu Induk Garuda Sakti

Berdasarkan kondisi sistem keadaan listrik sekarang ini maka perlu dicarikan solusi. Cara yang tepat adalah melakukan *load shedding* atau pelepasan beban.

1. Kontingensi 1

Solusi untuk simulasi kontingensi 1 yaitu dengan melepaskan beban yaitu penyulang tambusai dan penyulang suka jaya yaitu masing-masing 5,4 mva dan 7,1 mva.

Tabel 4.8 solusi perbaikan saat kontingensi 1

	Trafo	Mva	Persen (%)
Sebelum load Shedding	Trafo 1	-	
	Trafo 2	48,8	97,7
	Trafo 3	48,8	97,7
	Trafo 4	58,0	97,7
Setelah load Shedding	Trafo 1	-	
	Trafo 2	44,7	89,4
	Trafo 3	44,7	89,4
	Trafo 4	53,1	88,5

Terlihat pada tabel diatas dengan melepaskan dua penyulang maka trafo 2, trafo 3 dan trafo 4 dapat menyuplai daya dengan normal pada bus yang semula di suplai dari trafo1.

2. Kontingensi 4

Solusi untuk simulasi kontingensi 4 yaitu dengan melepas beban yaitu penyulang lipat kain sebesar 9,6 mva.

Tabel. 4.9 solusi perbaikan saat kontingensi 4

	Trafo	Mva	Persen (%)
Sebelum load shedding	Trafo 1	55,7	97,4
	Trafo 2	46,5	97,4
	Trafo 3	46,5	97,4
	Trafo 4	-	-
Setelah load shedding	Trafo 1	54,6	91
	Trafo 2	45,5	91
	Trafo 3	45,5	91
	Trafo 4		

Dapat di lihat dengan melepaskan penyulang lipat kain maka beban yang semula di tampung oleh trafo 4 akan dapat di suplai dengan normal oleh trafo 1, trafo 2 dan trafo 3.

4.3.2 Solusi Simulasi Untuk Gardu Induk Teluk Lembu

1. Kontingensi 2

Solusi untuk simulasi kontingensi 2 adalah dengan menyambungkan kopel antara bus 47 dengan bus 48.

Tabel 4.10 solusi perbaikan saat kontingensi 2

	Trafo	Mva	Persen (%)	Bus	Tegangan (Kv)
Sebelum	Trafo 13	22,4	90	48	19,257
Menyambungkan	Trafo 12	22,4	90	48	19,257

	Trafo 13	13,8	55,2	48	19,574
Setelah	Trafo 12	13,8	55,2	47	19,574
menyambungkan	Trafo 5	27	45		

Dari tabel dapat dilihat bahwa dengan menyambungkan kopel bus 47 dengan bus 48, maka yang semulanya generator 4 mengalami *overload* hingga mencapai 133,5% akan kembali menjadi normal karena mendapat suplai dari trafo 5. Dan beban yang berada pada bus 48 tidak akan ada yang di lepas karena masih dapat di tampung oleh trafo 7.

2. Kontingensi 3

Solusi untuk kontingensi 3 adalah dengan menyambungkan kopel bus 47 dengan kopel 48 dan kopel bus 48 dengan bus 49.

Tabel 4.11 solusi perbaikan saat kontingensi 3

	Trafo	Mva	Persen (%)	Bus	Tegangan (Kv)
Sebelum	Trafo 11	28,58	114,3	49	19,09
Menyambungkan	Trafo 9	21,8	87,2	49	19,09
	Trafo 11	13,6	54,4	47	19,585
Setelah	Trafo 9	10,9	43,6	48	19,585
menyambungkan	Trafo 7	26,7	44,5	49	19,585
	Trafo 8	26,7	44,5		

Dari tabel dapat dilihat dari trafo 11 yang mengalami *overload* hingga mencapai 114,3%, begitu juga dengan generator 7 yang mengalami *overload* hingga 129,3%.

Dengan disambungkannya kopel antara bus 47 dengan bus 48 dan bus 48 dengan 49, maka semula yang mengalami *overload* akan kembali normal karena mendapat suplai dari trafo 7 dan trafo 8. Dengan demikian maka beban tidak ada yang di *load shedding* atau di lepas.

4.4 Perbandingan Kehilangan Beban Saat Kontingensi Dan Tanpa Kontingensi

Untuk dapat melihat keandalan sistem tenaga listrik pekanbaru 20kv saat kontingensi dan tanpa kontingensi dapat kita lihat pada tabel berikut.

1. Pada Gardu Induk Garuda Sakti

Tabel 4.12 perbandingan kehilangan beban saat kontingensi dan tanpa kontingensi pada gardu induk garuda sakti

No	Trafo Out	Beban yang hilang	
		Tanpa kontingensi (Mva)	Dengan kontingensi (Mva)
1	Trafo 1 out	43,9	12,5
2	Trafo 2 out	37,3	0
3	Trafo 3 out	35,9	0
4	Trafo 4 out	37,6	9,6
Rata-rata		38,675	5,525

Dari tabel diatas dapat kita lihat bahwa saat terjadi trafo out tanpa kontingensi maka rata-rata beban yang akan hilang sebesar 38,675 Mva dalam hal ini maka keandalan akan menurun. Saat terjadi trafo out dengan kontingensi maka rata-rata beban hilang akan berkurang menjadi 5,525

Mva dalam hal ini maka keandalan sistem tenaga listrik menjadi meningkat.

2. Pada Gardu Induk Teluk Lembu

Tabel 4.13 perbandingan kehilangan beban saat kontingensi dan tanpa kontingensi pada gardu induk teluk lembu

No	Trafo Out	Beban yang hilang	
		Tanpa kontingensi (Mva)	Dengan kontingensi (Mva)
1	Trafo 5 out	19,9	0
2	Trafo 6 out	22,5	0
3	Trafo 7 out	26,1	0
Rata-rata		22,83	0

Dari tabel diatas dapat kita lihat bahwa saat terjadi trafo out tanpa kontingensi maka beban yang hilang rata-rata sebesar 22,83 Mva dalam hal ini maka keandalan akan menurun. Saat terjadi trafo out dengan kontingensi maka beban yang hilang rata-rata 0 Mva, maka dalam hal ini bahwa sistem keandalan tenaga listrik pada gardu induk teluk lembu keandalannya sangat baik karena beban yang di suplai tidak ada yang di *load shedding*/ dilepas.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kontingensi 1 pada gardu induk garuda sakti yaitu dengan lepasnya trafo 1 maka saat di hubungan dengan trafo 2, trafo 3 dan trafo 4 akan membuat ketiga trafo mengalami *overload* sebesar 48,8 mva, 48,8 mva dan 58,8 mva atau 97,7%. Kontingensi 4 pada gardu induk garuda sakti yaitu

lepasnya trafo 4 dalam hal ini saat dihubungkan dengan trafo 1,trafo 2 dan trafo 3 juga akan membuat ketiga trafo mengalami *overload* masing – masing sebesar 55,7 mva, 46,5 mva dan 46,5 mva atau 97,4.

2. Kontingensi 2 pada gardu induk teluk lembu lepasnya trafo 6. Trafo 13 dan trafo 12 masih dapat menyuplai ke beban tetapi pada generator akan mengalami *overload* sebesar 21,365 mw atau 133,5%. Kontingensi 3 yaitu lepasnya trafo 7 akan membuat trafo 11 akan mengalami *overload* sebesar 28,58 mw atau 114,3%. Begitu juga dengan generator 7 dan generator 6 juga mengalami *overload* masing – masing 20,683 mw atau 129,3% dan 26,181 mw atau 104,7%.
3. Terdapat dua solusi untuk kontingensi pada gardu induk garuda sakti dan gardu induk teluk lembu yaitu :
 - Pada gardu induk garuda sakti yaitu dengan melakukan load shedding atau pelepasan beban, kontingensi 1; yaitu melepaskan penyulang tambusai dan suka jaya. Kontingensi 2; yaitu melepaskan penyulang lipat kain.
 - Pada gardu induk teluk lembu yaitu dengan melakukan penyambungan kopel pada bus. Kontingensi 1; Menyambungkan kopel bus 47 dengan bus 48. Kontingensi 2; menyambungkan kopel bus 47 dengan bus 48 dan bus 48 dengan bus 49.

Berdasarkan perbandingan kehilangan beban saat tanpa kontingensi dan dengan kontingensi pada gardu induk garuda sakti yang seharusnya kehilangan beban rata-rata sebesar 38,675 Mva, dengan kontingensi menjadi rata-rata sebesar 5,525 Mva. Dan

pada gardu induk teluk lembu yang seharusnya beban hilang sebesar 22,83 Mva, dengan kontingensi menjadi 0 Mva. Dalam hal ini berarti tingkat keandalan sistem tenaga listrik pada gardu induk teluk lembu sangat baik. Upaya perbaikan yang dilakukan adalah sangat efektif karena kriteria keandalan keamanan N-1 terpenuhi. Perbaikan sistem yang dilakukan dapat mengatasi kelemahan sistem, yaitu dapat menurunkan pembebanan pada trafo dan generator yang *overload*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarado, Fernando. dan Oren, Shmuel. 2004. *Transmission System Operation and Interconnection*. University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.
- Cekdin, Cekmas. 2007. *Sistem Tenaga Listrik*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Firmansyah, Ferry 2012. Peningkatan Keandalan Sistem Tenaga Listrik Jawa Barat 150 kV dengan Analisa Kontingensi (N-1). Jurusan teknik elektro FTI – ITS.
- Harun, Ervan Hasan. 2012. Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik 150 Kv Gorontalo Menggunakan Metode Newton Rhapsion. Laporan Penelitian, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo.
- Hartoyo, 2008. Perbaikan Keandalan (n-1) Sistem Tenaga Listrik Pln Jawa Tengah Dan Diy. Jurusan Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- Mohamad, Yasin. 2005. Perbaikan Tegangan Bus Akibat Gangguan Kontingensi Dengan Menggunakan Injeksi Sumber Daya Reaktif. Jurusan Elektro Universitas Negeri Gorontalo.
- PLN. 2015. Laporan bulanan PT. PLN (Persero) P3b Sumatera Upt Pekanbaru tragi Teluk Lembu.
- Pottonen, Liisa. 2005. *A Method for The Probabilistic Security Analysis of Transmission Grid*. Doctoral Dissertation, Helsinki University of Technology.
- Salman,Rudi. 2014. Simulasi Dan Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Perangkat Lunak *Electrical Transient Analyser Program* (Etap) Versi 4.0. Pendidikan Teknik Elektro FT Unimed.