

ANALISIS KEANDALAN KOMPOSIT PEMBANGKIT DAN TRANSMISI (KONTINGENSI N-2) SISTEM TENAGA LISTRIK

Nandi Wardhana^{*)}

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}Email : nandi.wardhana@gmail.com

Abstrak

Sistem tenaga listrik berfungsi untuk menyuplai energi listrik ke pelanggan. Dalam fungsinya untuk menyalurkan energi listrik tersebut maka sistem tenaga listrik dituntut untuk menghasilkan energi dengan tingkat keandalan yang baik. Untuk itu dalam perencanaan sistem tenaga listrik perlu dilakukan suatu evaluasi keandalan. Dari evaluasi keandalan ini akan didapatkan besaran kuantitatif yang menggambarkan tingkat keandalan dari sistem tenaga listrik. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi untuk menghitung indeks keandalan sistem tenaga listrik dengan model komposit yang memperhitungkan keandalan pembangkit dan keandalan saluran. Teknik analisis data menggunakan analisis aliran daya dengan metode Newton-Rhapon, sedangkan sebagai program bantu (software) menggunakan software MATLAB. Sebagai batasan-batasan kendala operasi sistem yaitu batasan tegangan bus, batasan kapasitas arus saluran, batasan daya aktif pembangkit dan batasan daya reaktif pembangkit. Batasan tingkat kontingensi yang digunakan pada program simulasi adalah sampai dengan kontingensi tingkat kedua (kontingensi N-2) yang mana terjadi lepasnya dua komponen sekaligus dan sebagai komponen pemutusannya adalah komponen pembangkit dan komponen saluran.

Kata kunci : keandalan komposit pembangkit dan transmisi sistem tenaga listrik, kontingensi N-2, indeks keandalan.

Abstract

Power system serves to supply electrical energy to customers. In a function to distribute electrical energy, the power system is required to produce energy with a good level of reliability. From the evaluation of the reliability it can describe the reliability of the power system. This penelitian was carried out by a simulation to calculate the reliability index that take into account the reliability of generator and transmission lines. Data analysis techniques uses power flow analysis based Newton-Rhapon methods and uses MATLAB software. Constraints in this analysis are the system bus voltage, the lines current capacity, active and reactive generation. Limitation of contingency levels is contingency N-2. Contingencies components are generators and transmission lines.

Keywords: reliability of composite generation and transmission of electric power systems, contingency N-2, the reliability index

1. Pendahuluan

Yang dimaksud dengan keandalan adalah probabilitas suatu sistem untuk beroperasi dengan kondisi operasi tertentu dalam jangka waktu tertentu^[2]. Dengan kata lain, konsep keandalan sistem tenaga listrik mencakup semua aspek kemampuan sistem tenaga listrik untuk memenuhi kebutuhan konsumen dengan kondisi operasi tertentu. Untuk mengetahui tingkat keandalan sistem tenaga listrik perlu dilakukan suatu evaluasi. Dengan evaluasi akan didapatkan besaran-besaran kuantitatif yang menunjukkan tingkat keandalan sistem tenaga listrik. Selama ini kebanyakan evaluasi keandalan hanya memperhatikan kapasitas pembangkitan dan permodelan beban. Dalam evaluasi tersebut, keandalan saluran transmisi dan kemampuannya untuk menyalurkan energi ke titik-titik

beban konsumen diasumsikan tidak terbatas. Padahal dalam kenyataannya saluran transmisi juga mempunyai peranan yang penting dalam menentukan tingkat keandalan sistem tenaga listrik. Evaluasi keandalan komposit sistem tenaga listrik merupakan salah satu metode untuk mengevaluasi keandalan sistem tenaga listrik. Selain indeks keandalan pembangkitan, metode keandalan komposit juga memperhitungkan indeks keandalan saluran transmisi. Selain itu pada evaluasi keandalan komposit pembangkit dan transmisi sistem tenaga listrik ini juga memperhitungkan aspek keamanan, yaitu lepasnya satu sampai dua komponen sekaligus dari sistem (kontingensi N-2) dan pengaruhnya terhadap besarnya indeks keandalan sistem.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu program perhitungan indeks keandalan komposit pembangkit dan transmisi (kontingensi N-2) sistem tenaga listrik. Evaluasi keandalan yang digunakan adalah evaluasi keandalan komposit, yang hanya memandang sistem sebagai zona pembangkit dan zona transmisi. Evaluasi dibatasi dua kendala, yaitu kendala kecukupan dan kendala sekuriti. Sebagai bantuan untuk membuat program perhitungan analisa keandalan komposit sistem tenaga listrik digunakan perangkat lunak (*software*) MATLAB. Perhitungan dibatasi sampai kontingensi tingkat kedua (kontingensi N-2) untuk mengurangi waktu komputasi karena besarnya kerangka pengamatan seiring dengan jumlah bus pada sistem. Selain itu, indeks keandalan yang dihitung hanya berupa indeks probabilitas. Metode perhitungan aliran daya menggunakan metode aliran daya Newton-Raphson.

2. Metode

2.1. Indeks Keandalan

Indeks probabilitas dapat diperoleh dengan memperhitungkan kemungkinan ketersediaan dan ketidaktersediaan komponen pembangkit dan saluran transmisi. Nilai dari ketersediaan (*availability*) dan ketidaktersediaan (*unavailability*) dipengaruhi oleh jumlah kegagalan dan perbaikan masing-masing komponen, dirumuskan sebagai berikut[3] :

$$Unavailability (FOR) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{r}{r + m} = \frac{r}{T} = \frac{f}{\mu} \quad (1)$$

$$Availability = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{m}{r + m} = \frac{m}{T} = \frac{f}{\lambda} \quad (2)$$

dengan,

- λ = laju kegagalan yang diharapkan (*expected failure rate*)
- μ = laju perbaikan yang diharapkan (*expected repair rate*)
- m = waktu rata-rata untuk kegagalan (*mean time to failure*) = $1/\lambda$
- r = waktu rata-rata untuk perbaikan (*mean time to repair*) = $1/\mu$
- $m + r$ = waktu rata-rata antara kegagalan (*mean time between failures* = MTBF) = $1/f$
- f = frekuensi = $1/T$
- T = periode = $1/f$

Indeks probabilitas menyatakan besar kemungkinan suatu komponen berada pada keadaan operasi tertentu. Indeks ini merupakan hasil perkalian dari faktor ketersediaan komponen-komponen yang tidak mengalami gangguan dengan faktor ketidaktersediaan komponen-komponen yang mengalami gangguan. Indeks probabilitas untuk setiap kemungkinan/kontingensi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P_k = \prod_{i=1}^m p_i * \prod_{j=1}^n q_j \quad (3)$$

dengan,

P_k = indeks probabilitas saat-k

p_i = probabilitas ketersediaan komponen ke-i

q_j = probabilitas ketidaktersediaan komponen ke-j

m = jumlah komponen yang tidak terganggu

n = jumlah komponen yang terganggu

Indeks probabilitas berdasarkan keadaan operasi sistem dapat diperoleh dengan menjumlahkan indeks probabilitas masing-masing kontingensi yang mempunyai keadaan operasi yang sama. Jika Y kontingensi terdefinisi ke keadaan normal dari X kontingensi total maka indeks probabilitas pada keadaan normal adalah :

$$P_{normal} = \sum_{k=1}^Y P_k \quad (4)$$

Untuk probabilitas keadaan operasi lainnya dapat dihitung dengan cara yang sama, tergantung pada jumlah kontingensi masing-masing keadaan.

2.2. Kendala Operasi Sistem

Kendala yang dalam bahasa Inggris disebut *constraint*, sesungguhnya merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi agar suatu proses dapat dilaksanakan[12]. Dalam proses optimasi pada umumnya, khususnya optimasi operasi sistem tenaga listrik, selalu ada kendala-kendala (*constraints*). Persamaan kendala operasi yang digunakan pada Penelitian ini, yaitu :

$$\begin{aligned} P_i &\leq P_{i(max)} \\ Q_{i(min)} &\leq Q_i \leq Q_{i(max)} \\ I_{ij} &\leq I_{ij(max)} \\ V_{i(min)} &< V_i < V_{i(max)} \end{aligned} \quad (5)$$

dengan,

- P_i = daya aktif di bus-i
- $P_{i(max)}$ = daya maksimum pembangkit di bus-i
- Q_i = daya reaktif di bus-i
- $Q_{i(min)}$ dan $Q_{i(max)}$ = daya reaktif minimum dan maksimum pembangkit di bus-i
- I_{ij} = arus yang mengalir melalui saluran transmisi yang menghubungkan bus-i dan bus-j
- $I_{ij(max)}$ = arus maksimum yang diijinkan pada saluran transmisi yang menghubungkan bus-i dan bus-j
- V_i = tegangan di bus-i
- $V_{i(min)}$ dan $V_{i(max)}$ = tegangan minimum dan maksimum di bus-i

2.3. Model Keadaan Operasi Sistem

Model keadaan operasi sistem mengelompokkan perhitungan indeks keandalan sistem berdasarkan kondisi dan ketangguhan sistem yang ditinjau. Menurut Dy Liacco, keadaan operasi sistem dapat dibagi menjadi^[7]:

1. Normal
Semua komponen sistem bekerja pada kondisi normal dan kendala-kendala operasi dipenuhi dengan baik. Semua aspek kecukupan dan sekuriti dapat dipenuhi. Margin pembangkitan dan margin transmisi masih di atas ambang yang ditetapkan sehingga sistem masih mampu bertahan jika terjadi gangguan.
2. Siaga
Keadaan siaga hampir sama dengan keadaan normal, tetapi margin pembangkitan dan margin transmisi di bawah ambang tertentu. Sistem yang berada pada keadaan siaga tidak berada dalam batas yang cukup untuk bertahan jika terjadi gangguan.
3. Darurat
Sistem berada pada keadaan darurat jika kegagalan sistem menyebabkan pelanggaran kendala operasi sistem baik aspek kecukupan atau aspek sekuriti. Aksi koreksi harus segera dilakukan untuk memperbaiki kondisi operasi sistem.
4. Sangat Darurat
Jika aksi koreksi tidak cepat dilakukan maka sistem akan berubah dari keadaan darurat ke keadaan sangat darurat.

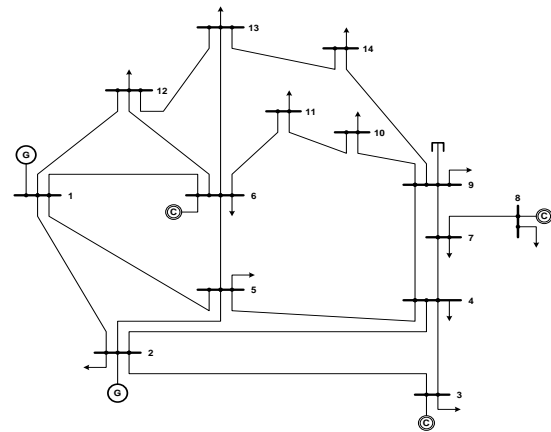
2.4. Diagram Alir Sistem



Gambar 1. Diagram Alir (flowchart)

3. Hasil dan Analisa

Berikut ini merupakan gambar sistem uji yang digunakan:



Gambar 2. Sistem uji yang dimodifikasi dari "IEEE 14-BUS TEST CASE SYSTEM" [19]

Persamaan kendala operasi yang digunakan :

$$90\text{kV} < V_i < 110\text{kV}$$

$$P_1 \leq 252,3\text{MW}$$

$$P_2 \leq 40\text{MW}$$

$$-60\text{M var} \leq Q_1 \leq 75\text{M var}$$

$$-40\text{M var} \leq Q_2 \leq 50\text{M var}$$

$$0 \leq Q_3 \leq 40\text{M var}$$

$$-6\text{M var} \leq Q_6 \leq 24\text{M var}$$

$$-6\text{M var} \leq Q_8 \leq 24\text{M var}$$

$$I_{1,5} \leq 184\text{A}$$

$$I_{1,6} \leq 457\text{A}$$

$$I_{1,12} \leq 105\text{A}$$

$$I_{2,3} \leq 315\text{A}$$

$$I_{2,4} \leq 184\text{A}$$

$$I_{2,5} \leq 105\text{A}$$

$$I_{3,4} \leq 184\text{A}$$

$$I_{4,5} \leq 457\text{A}$$

$$I_{4,7} \leq 140\text{A}$$

$$I_{4,9} \leq 140\text{A}$$

$$I_{5,6} \leq 276\text{A}$$

$$I_{6,11} \leq 105\text{A}$$

$$I_{6,12} \leq 105\text{A}$$

$$I_{6,13} \leq 105\text{A}$$

$$I_{7,8} \leq 105\text{A}$$

$$I_{7,9} \leq 105\text{A}$$

$$I_{9,10} \leq 105\text{A}$$

$$I_{9,14} \leq 105\text{A}$$

$$I_{10,11} \leq 105\text{A}$$

$$I_{12,13} \leq 105\text{A}$$

$$I_{13,14} \leq 105\text{A}$$

Tabel 1. Data pada file busdata.csv

No. bus	Mg Teg Bus (pu)	Sudut	Daya Beban		Daya Pembangkit		Q _{min}	Q _{max}
			P	Q	P	Q		
1	1	1.05	0.0	0.0	232.4	-16.9	0.0	0.0
2	2	1.03	0	21.7	12.7	40.0	42.4	-40.0
3	2	1.03	0	94.2	19.0	0.0	23.4	0.0
4	0	1.0	0	47.8	-3.9	0.0	0.0	0.0
5	0	1.0	0	7.6	1.6	0.0	0.0	0.0
6	2	1.03	0	11.2	7.5	0.0	12.2	-6.0
7	0	1.0	0	11.2	7.5	0.0	0.0	0.0
8	2	1.03	0	11.2	7.5	0.0	17.4	-6.0
9	0	1.0	0	29.5	16.6	0.0	0.0	0.0
10	0	1.0	0	9.0	5.8	0.0	0.0	0.0
11	0	1.0	0	3.5	1.8	0.0	0.0	0.0
12	0	1.0	0	6.1	1.6	0.0	0.0	0.0
13	0	1.0	0	13.5	5.8	0.0	0.0	0.0
14	0	1.0	0	14.9	5.0	0.0	0.0	0.0

Tabel 2. Data pada file linedata.csv

Dari bus-	Ke bus-	R (pu)	X (pu)	½ B	Ratio Trafo
1	2	0.01938	0.05917	0.0528	1
1	5	0.05403	0.22304	0.0492	1
1	6	0.01938	0.05917	0.0528	1
1	12	0.05403	0.22304	0.0492	1
2	3	0.04699	0.19797	0.0438	1
2	4	0.05811	0.17632	0.0340	1
2	5	0.05695	0.17388	0.0346	1
3	4	0.06701	0.17103	0.0128	1
4	5	0.01335	0.04211	0.0	1
4	7	0.01335	0.04211	0.0	1
4	9	0.01335	0.04211	0.0	1
5	6	0.01335	0.04211	0.0	1
6	11	0.09498	0.19890	0.0	1
6	12	0.12291	0.25581	0.0	1
6	13	0.06615	0.13027	0.0	1
7	8	0.01335	0.04211	0.0	1
7	9	0.01335	0.04211	0.0	1
9	10	0.03181	0.08450	0.0	1
9	14	0.12711	0.27038	0.0	1
10	11	0.08205	0.19207	0.0	1
12	13	0.22092	0.19988	0.0	1
13	14	0.17093	0.34802	0.0	1

Tabel 3. Data pada file rgendata.csv

No. Bus	No. Generator	Penjadwalan Pembangkit 50% (MW)	Q _{min} (Mvar)	Q _{max} (Mvar)	Tingkat Kegagalan per Tahun	Tingkat Perbaikan per Tahun
1	1	84.1	-20	25	3	146
1	2	84.1	-20	25	7.3	175.2
1	3	84.1	-20	25	9.22	175.2
2	1	20	-20	25	4.47	219
2	2	20	-20	25	9.13	219
3	1	0	0	40	4.47	219
6	1	0	-6	24	4.47	219
8	1	0	-6	24	4.47	219

Tabel 4. Data pada file rlinedata.csv

Dari bus-	Ke bus-	Tingkat Kegagalan per Tahun	Durasi Kegagalan (jam)	Rating Arus (A)
1	2	0.19	10	457
1	5	0.54	10	184
1	6	0.19	10	457
1	12	0.54	10	105
2	3	0.47	10	315
2	4	0.58	10	184
2	5	0.57	10	105
3	4	0.67	10	184
4	5	0.13	10	457
4	7	0.01	105	140
4	9	0.01	105	140
5	6	0.01	105	276
6	11	0.94	10	105
6	12	1.22	10	105
6	13	0.07	10	105
7	8	0.01	10	105
7	9	0.01	10	105
9	10	0.32	10	105
9	14	1.28	10	105
10	11	0.82	10	105
12	13	2	10	105
13	14	1.71	10	105

Setelah program simulasi dijalankan menghasilkan keluaran sebagai berikut :

```

=====
Total Pk
=====
Pk normal= 0.000000
Pk siaga= 0.798948
Pk darurat= 0.199584
Pk no problem= 0.000054
=====
Pk total= 0.998587
    
```

Hasil keluaran program simulasi tersebut menunjukkan bahwa sistem yang diujikan ternyata memiliki tingkat keandalan yang kurang baik dikarenakan sistem tersebut memiliki indeks keandalan pada keadaan NORMAL yang bernilai nol (Pk normal = 0). Nilai nol tersebut menunjukkan bahwa tidak ada kondisi-kondisi kontingensi pada kondisi awal sebelum terjadi

kontingensi (N-0) dan N-1 yang memenuhi persamaan kendala operasi yang telah ditentukan ketika dilakukan pengujian di tingkat kontingensi berikutnya. Keadaan SIAGA didapatkan jika suatu kondisi kontingensi yang bernilai *GOOD* kemudian ketika dilakukan pengujian di tingkat kontingensi selanjutnya tidak memenuhi persamaan kendala operasi yang telah ditentukan. Keadaan DARURAT didapatkan jika terjadi kondisi kontingensi, baik di N-0, N-1 dan N-2, yang bernilai *BAD* (tidak memenuhi persamaan kendala operasi yang telah ditentukan). Keadaan *NO PROBLEM* didapatkan ketika terjadi kondisi kontingensi N-2 yang bernilai *GOOD*. Kondisi tersebut tidak dapat diuji di tingkat kontingensi selanjutnya dikarenakan batasan tingkat kontingensi pada Penelitian ini adalah N-2.

3.1 Kontingensi pada Pembangkit

3.1.1 Kontingensi N-1 Pembangkit

Kontingensi N-1 pembangkit merupakan terjadinya putus/lepasnya satu buah unit pembangkit dari sistem. Gambar 2 menunjukkan bahwa sistem uji memiliki lima buah bus pembangkit. Bus-1 merupakan bus yang hanya menyuplai daya aktif. Bus-2 merupakan bus yang menyuplai daya aktif dan reaktif. Bus-3, bus-6 dan bus-8 merupakan bus-bus yang hanya menyuplai daya reaktif. Masing-masing bus tersebut memiliki jumlah unit pembangkit yang berbeda, sebagaimana terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Bus pembangkit dan unit pembangkit pada sistem uji

No. Bus	No. Unit	Daya Aktif Penjadwalan 50% (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	Qmin (Mvar)	Qmax (Mvar)
1	1	84.1	-5.6	-20	25
1	2	84.1	-5.6	-20	25
1	3	84.1	-5.6	-20	25
2	1	20	21,2	-20	25
2	2	20	21,2	-20	25
3	1	0	23,4	0	40
6	1	0	12,2	-6	24
8	1	0	17,4	-6	24

Kontingensi N-1 pembangkit merupakan terjadinya lepas/putusnya satu buah pembangkit dari sistem. Hasil keluaran program simulasi untuk kontingensi N-1 pembangkit :

```
Kondisi G[1, 1] out Pk=0.01602740 Status=BAD
Kondisi G[1, 2] out Pk=0.03250001 Status=BAD
Kondisi G[1, 3] out Pk=0.04104796 Status=BAD
Kondisi G[2, 1] out Pk=0.01592055 Status=BAD
Kondisi G[2, 2] out Pk=0.03251782 Status=BAD
Kondisi G[3, 1] out Pk=0.01592055 Status=BAD
Kondisi G[6, 1] out Pk=0.01592055 Status=GOOD
Kondisi G[8, 1] out Pk=0.01592055 Status=BAD
```

Hasil keluaran program simulasi untuk kontingensi N-1 pembangkit menunjukkan bahwa ketika terjadi kontingensi N-1 pada unit pembangkit daya aktif (pada bus-1 dan bus-2) menghasilkan kondisi-kondisi yang

semuanya bernilai *BAD*, dikarenakan ketika terjadi putus/lepasnya satu buah unit pembangkit daya aktif mengakibatkan kebutuhan daya aktif beban tidak mampu lagi dicukupi oleh unit-unit pembangkit daya aktif yang tersisa. Pada kondisi G[6, 1] out dapat menghasilkan status bernilai *GOOD* dikarenakan ketika terjadi kontingensi N-1 pada unit pembangkit daya reaktif di bus-6, kebutuhan daya aktif dan reaktif beban masih mampu dicukupi oleh unit-unit pembangkit yang tersisa.

3.1.2 Kontingensi N-2 Pembangkit

Kontingensi N-2 pembangkit merupakan terjadinya putus/lepasnya dua buah unit pembangkit secara bersamaan dari sistem. Hasil keluaran program simulasi untuk kontingensi N-2 pembangkit:

```
Kondisi G[1, 1]-G[1, 2] out Pk=0.00066781 Status=BAD
Kondisi G[1, 1]-G[1, 3] out Pk=0.00084345 Status=BAD
Kondisi G[1, 1]-G[2, 1] out Pk=0.00032713 Status=BAD
Kondisi G[1, 1]-G[2, 2] out Pk=0.00066817 Status=BAD
Kondisi G[1, 1]-G[3, 1] out Pk=0.00032713 Status=BAD
Kondisi G[1, 1]-G[6, 1] out Pk=0.00032713 Status=BAD
Kondisi G[1, 1]-G[8, 1] out Pk=0.00032713 Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-G[1, 3] out Pk=0.00171033 Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-G[2, 1] out Pk=0.00066336 Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-G[2, 2] out Pk=0.00135491 Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-G[3, 1] out Pk=0.00066336 Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-G[6, 1] out Pk=0.00066336 Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-G[8, 1] out Pk=0.00066336 Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-G[2, 1] out Pk=0.00083783 Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-G[2, 2] out Pk=0.00171127 Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-G[3, 1] out Pk=0.00083783 Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-G[6, 1] out Pk=0.00083783 Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-G[8, 1] out Pk=0.00083783 Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-G[2, 2] out Pk=0.00066372 Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-G[3, 1] out Pk=0.00032495 Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-G[6, 1] out Pk=0.00032495 Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-G[8, 1] out Pk=0.00032495 Status=BAD
Kondisi G[2, 2]-G[3, 1] out Pk=0.00066372 Status=BAD
Kondisi G[2, 2]-G[6, 1] out Pk=0.00066372 Status=BAD
Kondisi G[2, 2]-G[8, 1] out Pk=0.00066372 Status=BAD
Kondisi G[3, 1]-G[6, 1] out Pk=0.00032495 Status=BAD
Kondisi G[3, 1]-G[8, 1] out Pk=0.00032495 Status=BAD
Kondisi G[6, 1]-G[8, 1] out Pk=0.00032495 Status=BAD
```

Hasil keluaran program simulasi untuk kontingensi N-2 pembangkit menunjukkan bahwa semua kondisi pada kontingensi N-2 pembangkit menghasilkan nilai *BAD*. Putus/lepasnya dua buah unit pembangkit, baik pembangkit daya aktif maupun daya reaktif, menyebabkan persamaan kendala operasi tidak dapat terpenuhi.

3.2 Kontingensi pada Saluran Transmisi

3.2.1 Kontingensi N-1 Saluran Transmisi

Kontingensi N-1 saluran transmisi merupakan terjadi putus/lepasnya satu buah unit saluran transmisi dari sistem. Gambar 2 menunjukkan saluran-saluran transmisi yang menghubungkan bus-bus yang ada pada sistem uji. Tiap saluran transmisi memiliki besar impedansi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan juga memiliki kemampuan maksimal masing-masing dalam menghantarkan arus listrik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil keluaran program simulasi untuk kontingensi N-1 saluran transmisi sebagai berikut :

Kondisi L[1,2] out	Pk=0.00016918	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[3,4] out	Pk=0.00000013	Status=BAD
Kondisi L[1,5] out	Pk=0.00048082	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[4,5] out	Pk=0.00000003	Status=BAD
Kondisi L[1,6] out	Pk=0.00016918	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[4,7] out	Pk=0.00000002	Status=BAD
Kondisi L[1,12] out	Pk=0.00048082	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[4,9] out	Pk=0.00000002	Status=BAD
Kondisi L[2,3] out	Pk=0.00041849	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[5,6] out	Pk=0.00000002	Status=BAD
Kondisi L[2,4] out	Pk=0.00051644	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[6,11] out	Pk=0.00000018	Status=BAD
Kondisi L[2,5] out	Pk=0.00050753	Status=GOOD	Kondisi L[1,6]-L[6,12] out	Pk=0.00000024	Status=BAD
Kondisi L[3,4] out	Pk=0.00059658	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[6,13] out	Pk=0.00000001	Status=BAD
Kondisi L[4,5] out	Pk=0.00011575	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[7,8] out	Pk=0.00000001	Status=BAD
Kondisi L[4,7] out	Pk=0.00009349	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[7,9] out	Pk=0.00000000	Status=BAD
Kondisi L[4,9] out	Pk=0.00009349	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[9,10] out	Pk=0.00000006	Status=BAD
Kondisi L[5,6] out	Pk=0.00009349	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[9,14] out	Pk=0.00000025	Status=BAD
Kondisi L[6,11] out	Pk=0.00083699	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[10,11] out	Pk=0.00000016	Status=BAD
Kondisi L[6,12] out	Pk=0.00108630	Status=GOOD	Kondisi L[1,6]-L[12,13] out	Pk=0.00000039	Status=BAD
Kondisi L[6,13] out	Pk=0.00006233	Status=BAD	Kondisi L[1,6]-L[13,14] out	Pk=0.00000033	Status=BAD
Kondisi L[7,8] out	Pk=0.00000890	Status=BAD	Kondisi L[1,12]-L[2,3] out	Pk=0.00000026	Status=BAD
Kondisi L[7,9] out	Pk=0.00000890	Status=GOOD	Kondisi L[1,12]-L[2,4] out	Pk=0.00000032	Status=BAD
Kondisi L[9,10] out	Pk=0.00028493	Status=GOOD	Kondisi L[1,12]-L[2,5] out	Pk=0.00000031	Status=BAD
Kondisi L[9,14] out	Pk=0.00113973	Status=GOOD	Kondisi L[1,12]-L[3,4] out	Pk=0.00000037	Status=BAD
Kondisi L[10,11] out	Pk=0.00073014	Status=BAD	Kondisi L[1,12]-L[4,5] out	Pk=0.00000007	Status=BAD
Kondisi L[12,13] out	Pk=0.00178082	Status=BAD	Kondisi L[1,12]-L[4,7] out	Pk=0.00000006	Status=BAD
Kondisi L[13,14] out	Pk=0.00152260	Status=BAD	Kondisi L[1,12]-L[4,9] out	Pk=0.00000006	Status=BAD

Hasil keluaran program simulasi untuk kontingensi N-1 saluran transmisi menunjukkan kondisi-kondisi kontingensi mana saja yang dapat memenuhi persamaan kendala operasi dan yang tidak.

3.2.2 Kontingensi N-2 Saluran Transmisi

Kontingensi N-2 saluran transmisi merupakan terjadi putus/lepasnya dua buah unit saluran transmisi secara bersamaan dari sistem. Hasil keluaran program simulasi untuk kontingensi N-2 saluran transmisi sebagai berikut :

Kondisi L[1,2]-L[1,5] out	Pk=0.00000010	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[2,4] out	Pk=0.00000028	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[1,6] out	Pk=0.00000004	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[2,5] out	Pk=0.00000027	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[1,12] out	Pk=0.00000010	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[3,4] out	Pk=0.00000032	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[2,3] out	Pk=0.00000009	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[3,4] out	Pk=0.00000006	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[2,4] out	Pk=0.00000011	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[4,5] out	Pk=0.00000006	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[2,5] out	Pk=0.00000011	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[4,7] out	Pk=0.00000005	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[3,4] out	Pk=0.00000013	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[4,9] out	Pk=0.00000005	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[4,5] out	Pk=0.00000003	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[5,6] out	Pk=0.00000005	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[4,7] out	Pk=0.00000002	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[6,11] out	Pk=0.00000045	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[4,9] out	Pk=0.00000002	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[6,12] out	Pk=0.00000058	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[5,6] out	Pk=0.00000002	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[6,13] out	Pk=0.00000003	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[6,11] out	Pk=0.00000018	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[7,8] out	Pk=0.00000000	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[6,12] out	Pk=0.00000024	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[7,9] out	Pk=0.00000000	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[6,13] out	Pk=0.00000001	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[9,10] out	Pk=0.00000015	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[7,8] out	Pk=0.00000000	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[9,14] out	Pk=0.00000061	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[7,9] out	Pk=0.00000000	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[10,11] out	Pk=0.00000039	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[9,10] out	Pk=0.00000006	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[12,13] out	Pk=0.00000096	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[9,14] out	Pk=0.00000025	Status=BAD	Kondisi L[2,3]-L[13,14] out	Pk=0.00000082	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[10,11] out	Pk=0.00000016	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[2,5] out	Pk=0.00000034	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[12,13] out	Pk=0.00000039	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[3,4] out	Pk=0.00000039	Status=BAD
Kondisi L[1,2]-L[13,14] out	Pk=0.00000001	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[3,4] out	Pk=0.00000008	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[1,6] out	Pk=0.00000010	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[4,5] out	Pk=0.00000006	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[1,12] out	Pk=0.00000030	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[4,7] out	Pk=0.00000006	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[1,2,3] out	Pk=0.00000026	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[4,9] out	Pk=0.00000006	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[2,4] out	Pk=0.00000032	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[5,6] out	Pk=0.00000006	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[2,5] out	Pk=0.00000031	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[6,11] out	Pk=0.00000055	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[3,4] out	Pk=0.00000007	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[6,12] out	Pk=0.00000072	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[4,5] out	Pk=0.00000006	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[6,13] out	Pk=0.00000004	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[4,7] out	Pk=0.00000006	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[7,8] out	Pk=0.00000001	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[4,9] out	Pk=0.00000006	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[7,9] out	Pk=0.00000001	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[5,6] out	Pk=0.00000006	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[9,10] out	Pk=0.00000019	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[6,11] out	Pk=0.00000052	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[9,14] out	Pk=0.00000075	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[6,12] out	Pk=0.00000067	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[10,11] out	Pk=0.00000048	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[6,13] out	Pk=0.00000004	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[12,13] out	Pk=0.00000118	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[7,8] out	Pk=0.00000001	Status=BAD	Kondisi L[2,4]-L[13,14] out	Pk=0.00000101	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[7,9] out	Pk=0.00000001	Status=BAD	Kondisi L[2,5]-L[3,4] out	Pk=0.00000039	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[9,10] out	Pk=0.00000018	Status=BAD	Kondisi L[2,5]-L[4,5] out	Pk=0.00000008	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[9,14] out	Pk=0.00000070	Status=BAD	Kondisi L[2,5]-L[4,7] out	Pk=0.00000006	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[10,11] out	Pk=0.00000045	Status=BAD	Kondisi L[2,5]-L[4,9] out	Pk=0.00000006	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[12,13] out	Pk=0.00000110	Status=BAD	Kondisi L[2,5]-L[5,6] out	Pk=0.00000006	Status=BAD
Kondisi L[1,5]-L[13,14] out	Pk=0.00000094	Status=BAD	Kondisi L[2,5]-L[6,11] out	Pk=0.00000054	Status=BAD
Kondisi L[1,6]-L[1,12] out	Pk=0.00000010	Status=BAD	Kondisi L[2,5]-L[6,12] out	Pk=0.00000071	Status=BAD
Kondisi L[1,6]-L[2,3] out	Pk=0.00000009	Status=BAD	Kondisi L[2,5]-L[6,13] out	Pk=0.00000004	Status=BAD
Kondisi L[1,6]-L[2,4] out	Pk=0.00000011	Status=BAD	Kondisi L[2,5]-L[7,8] out	Pk=0.00000001	Status=BAD
Kondisi L[1,6]-L[2,5] out	Pk=0.00000011	Status=BAD	Kondisi L[2,5]-L[7,9] out	Pk=0.00000001	Status=GOOD
			Kondisi L[2,5]-L[9,10] out	Pk=0.00000019	Status=GOOD
			Kondisi L[2,5]-L[9,14] out	Pk=0.00000074	Status=BAD
			Kondisi L[2,5]-L[10,11] out	Pk=0.00000048	Status=BAD
			Kondisi L[2,5]-L[12,13] out	Pk=0.00000116	Status=BAD
			Kondisi L[2,5]-L[13,14] out	Pk=0.00000099	Status=BAD
			Kondisi L[3,4]-L[4,5] out	Pk=0.00000009	Status=BAD
			Kondisi L[3,4]-L[4,7] out	Pk=0.00000007	Status=BAD
			Kondisi L[3,4]-L[4,9] out	Pk=0.00000007	Status=BAD

Kondisi L[3,4]-L[5,6] out Pk=0.00000007 Status=BAD
 Kondisi L[3,4]-L[6,11] out Pk=0.00000064 Status=BAD
 Kondisi L[3,4]-L[6,12] out Pk=0.00000083 Status=BAD
 Kondisi L[3,4]-L[6,13] out Pk=0.00000005 Status=BAD
 Kondisi L[3,4]-L[7,8] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[3,4]-L[7,9] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[3,4]-L[9,10] out Pk=0.00000022 Status=BAD
 Kondisi L[3,4]-L[9,14] out Pk=0.00000087 Status=BAD
 Kondisi L[3,4]-L[10,11] out Pk=0.00000056 Status=BAD
 Kondisi L[3,4]-L[12,13] out Pk=0.00000136 Status=BAD
 Kondisi L[3,4]-L[13,14] out Pk=0.00000116 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[4,7] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[4,9] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[5,6] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[6,11] out Pk=0.00000012 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[6,12] out Pk=0.00000016 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[6,13] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[6,13] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[7,9] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[9,10] out Pk=0.00000004 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[9,14] out Pk=0.00000017 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[10,11] out Pk=0.00000011 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[12,13] out Pk=0.00000026 Status=BAD
 Kondisi L[4,5]-L[13,14] out Pk=0.00000023 Status=BAD
 Kondisi L[4,7]-L[4,9] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[4,7]-L[5,6] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[4,7]-L[6,11] out Pk=0.00000010 Status=BAD
 Kondisi L[4,7]-L[6,12] out Pk=0.00000013 Status=BAD
 Kondisi L[4,7]-L[6,13] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[4,7]-L[7,8] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[4,7]-L[7,9] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[4,7]-L[9,10] out Pk=0.00000003 Status=BAD
 Kondisi L[4,7]-L[9,14] out Pk=0.00000014 Status=BAD
 Kondisi L[4,7]-L[10,11] out Pk=0.00000009 Status=BAD
 Kondisi L[4,7]-L[12,13] out Pk=0.00000021 Status=BAD
 Kondisi L[4,7]-L[13,14] out Pk=0.00000018 Status=BAD
 Kondisi L[4,9]-L[5,6] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[4,9]-L[6,11] out Pk=0.00000010 Status=BAD
 Kondisi L[4,9]-L[6,12] out Pk=0.00000013 Status=BAD
 Kondisi L[4,9]-L[6,13] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[4,9]-L[7,8] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[4,9]-L[7,9] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[4,9]-L[9,10] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[4,9]-L[9,14] out Pk=0.00000003 Status=BAD
 Kondisi L[4,9]-L[10,11] out Pk=0.00000003 Status=BAD
 Kondisi L[4,9]-L[12,13] out Pk=0.00000009 Status=BAD
 Kondisi L[4,9]-L[13,14] out Pk=0.00000018 Status=BAD
 Kondisi L[5,6]-L[6,11] out Pk=0.00000010 Status=BAD
 Kondisi L[5,6]-L[6,12] out Pk=0.00000013 Status=BAD
 Kondisi L[5,6]-L[6,13] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[5,6]-L[7,8] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[5,6]-L[7,9] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[5,6]-L[9,10] out Pk=0.00000003 Status=BAD
 Kondisi L[5,6]-L[9,14] out Pk=0.00000014 Status=BAD
 Kondisi L[5,6]-L[10,11] out Pk=0.00000009 Status=BAD
 Kondisi L[5,6]-L[12,13] out Pk=0.00000021 Status=BAD
 Kondisi L[5,6]-L[13,14] out Pk=0.00000018 Status=BAD
 Kondisi L[6,11]-L[6,12] out Pk=0.00000117 Status=BAD
 Kondisi L[6,11]-L[6,13] out Pk=0.00000007 Status=BAD
 Kondisi L[6,11]-L[7,8] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[6,11]-L[7,9] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[6,11]-L[9,10] out Pk=0.00000031 Status=BAD
 Kondisi L[6,11]-L[9,14] out Pk=0.00000122 Status=BAD
 Kondisi L[6,11]-L[10,11] out Pk=0.00000078 Status=BAD
 Kondisi L[6,11]-L[12,13] out Pk=0.00000191 Status=BAD
 Kondisi L[6,11]-L[13,14] out Pk=0.00000163 Status=BAD
 Kondisi L[6,12]-L[6,13] out Pk=0.00000009 Status=BAD
 Kondisi L[6,12]-L[7,8] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[6,12]-L[7,9] out Pk=0.00000001 Status=GOOD
 Kondisi L[6,12]-L[9,10] out Pk=0.00000040 Status=GOOD
 Kondisi L[6,12]-L[9,14] out Pk=0.00000159 Status=GOOD
 Kondisi L[6,12]-L[10,11] out Pk=0.00000102 Status=BAD
 Kondisi L[6,12]-L[12,13] out Pk=0.00000248 Status=BAD
 Kondisi L[6,12]-L[13,14] out Pk=0.00000212 Status=BAD
 Kondisi L[6,13]-L[7,8] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[6,13]-L[7,9] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[6,13]-L[9,10] out Pk=0.00000002 Status=BAD
 Kondisi L[6,13]-L[9,14] out Pk=0.00000009 Status=BAD
 Kondisi L[6,13]-L[10,11] out Pk=0.00000006 Status=BAD
 Kondisi L[6,13]-L[12,13] out Pk=0.00000014 Status=BAD
 Kondisi L[6,13]-L[13,14] out Pk=0.00000012 Status=BAD
 Kondisi L[7,8]-L[7,9] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[7,8]-L[9,10] out Pk=0.00000000 Status=BAD
 Kondisi L[7,8]-L[9,14] out Pk=0.00000001 Status=BAD

Kondisi L[7,8]-L[10,11] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[7,8]-L[12,13] out Pk=0.00000002 Status=BAD
 Kondisi L[7,8]-L[13,14] out Pk=0.00000002 Status=BAD
 Kondisi L[7,9]-L[9,10] out Pk=0.00000000 Status=GOOD
 Kondisi L[7,9]-L[9,14] out Pk=0.00000001 Status=GOOD
 Kondisi L[7,9]-L[10,11] out Pk=0.00000001 Status=BAD
 Kondisi L[7,9]-L[12,13] out Pk=0.00000002 Status=BAD
 Kondisi L[7,9]-L[13,14] out Pk=0.00000002 Status=BAD
 Kondisi L[9,10]-L[9,14] out Pk=0.00000042 Status=GOOD
 Kondisi L[9,10]-L[10,11] out Pk=0.00000027 Status=BAD
 Kondisi L[9,10]-L[12,13] out Pk=0.00000065 Status=BAD
 Kondisi L[9,10]-L[13,14] out Pk=0.00000056 Status=BAD
 Kondisi L[9,14]-L[10,11] out Pk=0.00000107 Status=BAD
 Kondisi L[9,14]-L[12,13] out Pk=0.00000260 Status=BAD
 Kondisi L[9,14]-L[13,14] out Pk=0.00000222 Status=BAD
 Kondisi L[10,11]-L[12,13] out Pk=0.00000167 Status=BAD
 Kondisi L[10,11]-L[13,14] out Pk=0.00000143 Status=BAD
 Kondisi L[12,13]-L[13,14] out Pk=0.00000348 Status=BAD

Hasil keluaran program simulasi untuk kontingensi N-2 saluran transmisi menunjukkan hasil yang beragam, yaitu ada yang bernilai *GOOD* dan ada yang bernilai *BAD*. Kondisi-kondisi kontingensi N-2 yang bernilai *GOOD* selalu memiliki kondisi-kondisi di tingkat pertamanya (N-

1) yang bernilai *GOOD*, sebagaimana berikut ini:

Kontingensi N-2 yang bernilai GOOD :

Kondisi L[2,5]-L[7,9] out Pk=0.00000001 Status=GOOD
 Kondisi L[2,5]-L[9,10] out Pk=0.00000019 Status=GOOD
 Kondisi L[6,12]-L[7,9] out Pk=0.00000001 Status=GOOD
 Kondisi L[6,12]-L[9,10] out Pk=0.00000040 Status=GOOD
 Kondisi L[6,12]-L[9,14] out Pk=0.00000159 Status=GOOD
 Kondisi L[7,9]-L[9,10] out Pk=0.00000000 Status=GOOD
 Kondisi L[7,9]-L[9,14] out Pk=0.00000001 Status=GOOD
 Kondisi L[9,10]-L[9,14] out Pk=0.00000042 Status=GOOD

Kontingensi N-1 yang bernilai GOOD :

Kondisi L[2,5] out Pk=0.00050753 Status=GOOD
 Kondisi L[6,12] out Pk=0.000108630 Status=GOOD
 Kondisi L[7,9] out Pk=0.00000890 Status=GOOD
 Kondisi L[9,10] out Pk=0.00028493 Status=GOOD
 Kondisi L[9,14] out Pk=0.00113973 Status=GOOD

Sebaliknya, kondisi-kondisi kontingensi N-1 yang bernilai *BAD* selalu memiliki kondisi-kondisi kontingensi di tingkat keduanya (N-2) yang bernilai *BAD*.

3.3 Kontingensi N-2 Pembangkit dan Transmisi

Kontingensi N-2 pembangkit dan transmisi merupakan terjadi putus/lepasnya satu buah unit pembangkit dan satu buah unit saluran transmisi secara bersamaan dari sistem. Hasil keluaran program simulasi untuk kontingensi N-2 pembangkit dan transmisi sebagai berikut :

Kondisi G[1, 1]-L[1,2] out Pk=0.00000348 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[1,5] out Pk=0.00000988 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[1,6] out Pk=0.00000348 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[1,12] out Pk=0.00000988 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[2,3] out Pk=0.00000860 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[2,4] out Pk=0.00001061 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[2,5] out Pk=0.00001043 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[3,4] out Pk=0.00001226 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[4,5] out Pk=0.00000238 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[4,7] out Pk=0.00000192 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[4,9] out Pk=0.00000192 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[5,6] out Pk=0.00000192 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[6,11] out Pk=0.00001720 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[6,12] out Pk=0.00002232 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[6,13] out Pk=0.00000128 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[7,8] out Pk=0.00000018 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[7,9] out Pk=0.00000018 Status=BAD
 Kondisi G[1, 1]-L[9,10] out Pk=0.00000585 Status=BAD

Kondisi G[1, 1]-L[9,14] out	Pk=0.00002342	Status=BAD	Kondisi G[2, 1]-L[13,14] out	Pk=0.00003108	Status=BAD
Kondisi G[1, 1]-L[10,11] out	Pk=0.00001500	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-G[3, 1] out	Pk=0.00066372	Status=BAD
Kondisi G[1, 1]-L[12,13] out	Pk=0.00003659	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-G[6, 1] out	Pk=0.00066372	Status=BAD
Kondisi G[1, 1]-L[13,14] out	Pk=0.00003129	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-G[8, 1] out	Pk=0.00066372	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-G[1, 3] out	Pk=0.00171033	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[1,2] out	Pk=0.00000705	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-G[2, 1] out	Pk=0.00066336	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[1,5] out	Pk=0.00002005	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-G[2, 2] out	Pk=0.00135491	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[1,6] out	Pk=0.00000705	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-G[3, 1] out	Pk=0.00066336	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[1,12] out	Pk=0.00002005	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-G[6, 1] out	Pk=0.00066336	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[2,3] out	Pk=0.00001745	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-G[8, 1] out	Pk=0.00066336	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[2,4] out	Pk=0.00002153	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[1,2] out	Pk=0.00000705	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[2,5] out	Pk=0.00002116	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[1,5] out	Pk=0.00002003	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[3,4] out	Pk=0.00002487	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[1,6] out	Pk=0.00000705	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[4,5] out	Pk=0.00000483	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[1,12] out	Pk=0.00002003	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[4,7] out	Pk=0.00000390	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[2,3] out	Pk=0.00001744	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[4,9] out	Pk=0.00000390	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[2,4] out	Pk=0.00002152	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[5,6] out	Pk=0.00000390	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[2,5] out	Pk=0.00002115	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[6,11] out	Pk=0.00003489	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[3,4] out	Pk=0.00002486	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[6,12] out	Pk=0.00004529	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[4,5] out	Pk=0.00000482	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[6,13] out	Pk=0.00000260	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[4,7] out	Pk=0.00000390	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[7,8] out	Pk=0.00000037	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[4,9] out	Pk=0.00000390	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[7,9] out	Pk=0.00000037	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[5,6] out	Pk=0.00000390	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[9,10] out	Pk=0.00001188	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[6,11] out	Pk=0.00003487	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[9,14] out	Pk=0.00004751	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[6,12] out	Pk=0.00004526	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[10,11] out	Pk=0.00003044	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[6,13] out	Pk=0.00000260	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[12,13] out	Pk=0.00007424	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[7,8] out	Pk=0.00000037	Status=BAD	Kondisi G[2, 2]-L[13,14] out	Pk=0.00006348	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[7,9] out	Pk=0.00000037	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-G[6, 1] out	Pk=0.00032495	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[9,10] out	Pk=0.00001187	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-G[8, 1] out	Pk=0.00032495	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[9,14] out	Pk=0.00004749	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[1,2] out	Pk=0.00000345	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[10,11] out	Pk=0.00003042	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[1,5] out	Pk=0.00000981	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[12,13] out	Pk=0.00007420	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[1,6] out	Pk=0.00000345	Status=BAD
Kondisi G[1, 2]-L[13,14] out	Pk=0.00006344	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[1,12] out	Pk=0.00000981	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-G[2, 1] out	Pk=0.00083783	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[2,3] out	Pk=0.00000854	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-G[2, 2] out	Pk=0.00171127	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[2,4] out	Pk=0.00001054	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-G[3, 1] out	Pk=0.00083783	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[2,5] out	Pk=0.00001036	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-G[6, 1] out	Pk=0.00083783	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[3,4] out	Pk=0.00001218	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-G[8, 1] out	Pk=0.00083783	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[4,5] out	Pk=0.00000236	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[1,2] out	Pk=0.00000890	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[4,7] out	Pk=0.00000191	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[1,5] out	Pk=0.00002530	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[4,9] out	Pk=0.00000191	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[1,6] out	Pk=0.00000890	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[5,6] out	Pk=0.00000191	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[1,12] out	Pk=0.00002530	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[6,11] out	Pk=0.00001708	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[2,3] out	Pk=0.00002202	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[6,12] out	Pk=0.00002217	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[2,4] out	Pk=0.00002718	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[6,13] out	Pk=0.00000127	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[2,5] out	Pk=0.00002671	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[7,8] out	Pk=0.00000018	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[3,4] out	Pk=0.00003140	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[7,9] out	Pk=0.00000018	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[4,5] out	Pk=0.00000609	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[9,10] out	Pk=0.00000582	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[4,7] out	Pk=0.00000492	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[9,14] out	Pk=0.00002326	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[4,9] out	Pk=0.00000492	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[10,11] out	Pk=0.00001490	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[5,6] out	Pk=0.00000492	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[12,13] out	Pk=0.00003635	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[6,11] out	Pk=0.00004405	Status=BAD	Kondisi G[3, 1]-L[13,14] out	Pk=0.00003108	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[6,12] out	Pk=0.00005717	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-G[8, 1] out	Pk=0.00032495	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[6,13] out	Pk=0.00000328	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[1,2] out	Pk=0.00000345	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[7,8] out	Pk=0.00000047	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[1,5] out	Pk=0.00000981	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[7,9] out	Pk=0.00000047	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[1,6] out	Pk=0.00000345	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[9,10] out	Pk=0.00001499	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[1,12] out	Pk=0.00000981	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[9,14] out	Pk=0.00005998	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[2,3] out	Pk=0.00000854	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[10,11] out	Pk=0.00003842	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[2,4] out	Pk=0.00001054	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[12,13] out	Pk=0.00009372	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[2,5] out	Pk=0.00001036	Status=BAD
Kondisi G[1, 3]-L[13,14] out	Pk=0.00008013	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[3,4] out	Pk=0.00001218	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-G[2, 2] out	Pk=0.00066372	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[4,5] out	Pk=0.00000236	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-G[3, 1] out	Pk=0.00032495	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[4,7] out	Pk=0.00000191	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-G[6, 1] out	Pk=0.00032495	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[4,9] out	Pk=0.00000191	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-G[8, 1] out	Pk=0.00032495	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[5,6] out	Pk=0.00000191	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[1,2] out	Pk=0.00000345	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[6,11] out	Pk=0.00001708	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[1,5] out	Pk=0.00000981	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[6,12] out	Pk=0.00002217	Status=GOOD
Kondisi G[2, 1]-L[1,6] out	Pk=0.00000345	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[6,13] out	Pk=0.00000127	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[1,12] out	Pk=0.00000981	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[7,8] out	Pk=0.00000018	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[2,3] out	Pk=0.00000854	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[7,9] out	Pk=0.00000018	Status=GOOD
Kondisi G[2, 1]-L[2,4] out	Pk=0.00001054	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[9,10] out	Pk=0.00000582	Status=GOOD
Kondisi G[2, 1]-L[2,5] out	Pk=0.00001036	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[9,14] out	Pk=0.00002326	Status=GOOD
Kondisi G[2, 1]-L[3,4] out	Pk=0.00001218	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[10,11] out	Pk=0.00001490	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[4,5] out	Pk=0.00000236	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[12,13] out	Pk=0.00003635	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[4,7] out	Pk=0.00000191	Status=BAD	Kondisi G[6, 1]-L[13,14] out	Pk=0.00003108	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[4,9] out	Pk=0.00000191	Status=BAD	Kondisi G[8, 1]-L[1,2] out	Pk=0.00000345	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[5,6] out	Pk=0.00000191	Status=BAD	Kondisi G[8, 1]-L[1,5] out	Pk=0.00000981	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[6,11] out	Pk=0.00001708	Status=BAD	Kondisi G[8, 1]-L[1,6] out	Pk=0.00000345	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[6,12] out	Pk=0.00002217	Status=BAD	Kondisi G[8, 1]-L[1,12] out	Pk=0.00000981	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[6,13] out	Pk=0.00000127	Status=BAD	Kondisi G[8, 1]-L[2,3] out	Pk=0.00000854	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[7,8] out	Pk=0.00000018	Status=BAD	Kondisi G[8, 1]-L[2,4] out	Pk=0.00001054	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[7,9] out	Pk=0.00000018	Status=BAD	Kondisi G[8, 1]-L[2,5] out	Pk=0.00001036	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[9,10] out	Pk=0.00000582	Status=BAD	Kondisi G[8, 1]-L[3,4] out	Pk=0.00001218	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[9,14] out	Pk=0.00002326	Status=BAD	Kondisi G[8, 1]-L[4,5] out	Pk=0.00000236	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[10,11] out	Pk=0.00001490	Status=BAD	Kondisi G[8, 1]-L[4,7] out	Pk=0.00000191	Status=BAD
Kondisi G[2, 1]-L[12,13] out	Pk=0.00003635	Status=BAD	Kondisi G[8, 1]-L[4,9] out	Pk=0.00000191	Status=BAD

Kondisi G[8, 1]-L[5,6] out	Pk=0.00000191	Status=BAD
Kondisi G[8, 1]-L[6,11] out	Pk=0.00001708	Status=BAD
Kondisi G[8, 1]-L[6,12] out	Pk=0.00002217	Status=BAD
Kondisi G[8, 1]-L[6,13] out	Pk=0.00000127	Status=BAD
Kondisi G[8, 1]-L[7,8] out	Pk=0.00000018	Status=BAD
Kondisi G[8, 1]-L[7,9] out	Pk=0.00000018	Status=BAD
Kondisi G[8, 1]-L[9,10] out	Pk=0.00000582	Status=BAD
Kondisi G[8, 1]-L[9,14] out	Pk=0.00002326	Status=BAD
Kondisi G[8, 1]-L[10,11] out	Pk=0.00001490	Status=BAD
Kondisi G[8, 1]-L[12,13] out	Pk=0.00003635	Status=BAD
Kondisi G[8, 1]-L[13,14] out	Pk=0.00003108	Status=BAD

Hasil keluaran program simulasi untuk kontingensi N-2 pembangkit dan transmisi menunjukkan hasil yang beragam, yaitu ada yang bernilai *GOOD* dan ada yang bernilai *BAD*. Kondisi-kondisi N-2 pembangkit dan transmisi yang bernilai *GOOD* selalu memiliki kondisi-kondisi di tingkat pertamanya (N-1) yang bernilai *GOOD*, sebagaimana berikut ini:

Kontingensi N-2 pembangkit dan transmisi yang bernilai GOOD :

Kondisi G[6, 1]-L[6,12] out	Pk=0.00002217	Status=GOOD
Kondisi G[6, 1]-L[7,9] out	Pk=0.00000018	Status=GOOD
Kondisi G[6, 1]-L[9,10] out	Pk=0.00000582	Status=GOOD
Kondisi G[6, 1]-L[9,14] out	Pk=0.00002326	Status=GOOD
Kondisi G[6, 1]-L[6,12] out	Pk=0.00002217	Status=GOOD

Kontingensi N-1 pembangkit yang bernilai GOOD :

Kondisi G[6, 1] out	Pk=0.01592055	Status=GOOD
---------------------	---------------	-------------

Kontingensi N-1 transmisi yang bernilai GOOD :

Kondisi L[2,5] out	Pk=0.00050753	Status=GOOD
Kondisi L[6,12] out	Pk=0.00108630	Status=GOOD
Kondisi L[7,9] out	Pk=0.00000890	Status=GOOD
Kondisi L[9,10] out	Pk=0.00028493	Status=GOOD
Kondisi L[9,14] out	Pk=0.00113973	Status=GOOD

3.4 Pengaruh Kapasitas Pembangkit di Bus-1

Data-data pada sistem uji menunjukkan bahwa penjadwalan awal kapasitas pembangkit di bus-1 adalah 50% dari kapasitas daya aktif maksimumnya, sehingga diharapkan dengan menaikkan kapasitas daya aktif pembangkit di bus-1 diharapkan dapat meningkatkan keandalan sistem. Pada studi aliran daya, *slack bus* merupakan bus yang nantinya menutup kekurangan kebutuhan daya sistem dari yang sudah dijadwalkan oleh *regulated buses*, sehingga lepasnya satu ada dua unit pembangkit dapat menyebabkan kebutuhan daya aktif pada bus-bus beban tidak dapat terpenuhi dan keandalan sistem akan berkurang. Sistem uji memiliki lima pembangkit yang menyuplai daya aktif ke sistem. Tiga pembangkit ada di bus-1 dan dua pembangkit ada di bus-2, sebagaimana tertera pada Tabel 6.

Tabel 6. Daftar pembangkit yang menyuplai daya aktif

Bus	Nomor pembangkit	Daya aktif yang disuplai (MW)	Penjadwalan
1	1.1	84,1	50 %
	1.2	84,1	
	1.3	84,1	
2	2.1	20	100 %
	2.2	20	

Daftar penjadwalan kapasitas pembangkit di bus-1 dapat dilihat pada Tabel 7.

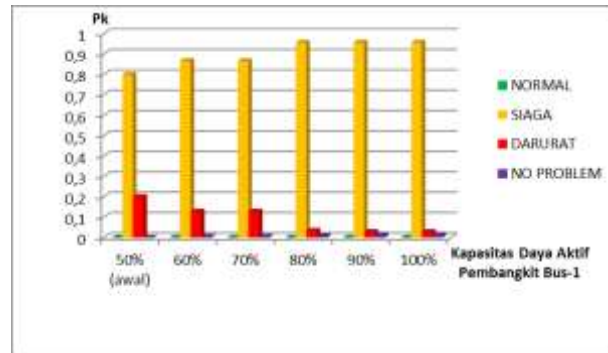
Tabel 7. Daftar penjadwalan kapasitas daya aktif pembangkit di bus-1

Nomor pembangkit	50 % (awal)	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
1.1	84,1	100,92	117,74	134,56	151,38	168,2
	MW	MW	MW	MW	MW	MW
1.2	84,1	100,92	117,74	134,56	151,38	168,2
	MW	MW	MW	MW	MW	MW
1.3	84,1	100,92	117,74	134,56	151,38	168,2
	MW	MW	MW	MW	MW	MW

Tabel 8. Pengaruh penambahan daya aktif pembangkit bus-1 terhadap indeks keandalan system

Pk	50 % (awal)	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
NORMAL	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	00	00	00	00	00	00
SIAGA	0.7989	0.8661	0.8661	0.9557	0.9557	0.9557
	48	79	79	54	54	54
DARURAT	0.1995	0.1283	0.1283	0.0344	0.0288	0.0288
	84	67	67	58	95	95
NO PROBLE	0.0000	0.0040	0.0040	0.0083	0.0139	0.0139
M	54	41	41	75	38	38

Grafik pengaruh penambahan daya aktif pembangkit di bus-1 terhadap indeks keandalan sistem dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 3. Grafik pengaruh penambahan daya aktif pembangkit di bus-1 terhadap indeks keandalan sistem

Tabel 8 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin besar nilai penambahan daya aktif pada bus-1 dapat semakin meningkatkan indeks keandalan sistem, yang ditunjukkan dengan semakin besarnya nilai indeks keandalan pada keadaan SIAGA dan NO PROBLEM dan juga semakin kecilnya nilai indeks keandalan pada keadaan DARURAT. Nilai indeks keadaan SIAGA yang semakin besar menunjukkan bahwa semakin banyak kondisi-kondisi kontingensi pada tingkat kontingensi N-1 yang memenuhi persamaan kendala operasi yang ditentukan atau kondisinya bernilai *GOOD*. Nilai indeks

keadaan *NO PROBLEM* yang semakin besar menunjukkan bahwa semakin banyak kondisi-kondisi kontingensi pada tingkat kontingensi N-2 yang bernilai *GOOD* atau kondisi tersebut memenuhi persamaan kendala operasi yang ditentukan. Nilai indeks keadaan DARURAT yang semakin kecil menunjukkan semakin sedikit kondisi-kondisi kontingensi pada tingkat kontingensi N-1 dan N-2 yang bernilai *BAD* atau tidak memenuhi persamaan kendala operasi. Tabel 8 menunjukkan tingkat keandalan terbaik dicapai saat penjadwalan 90% dan 100% dikarenakan pada penjadwalan tersebut, unit-unit pembangkit yang tersedia mampu memenuhi kebutuhan daya aktif beban ketika terjadi kontingensi N-1 dan N-2 pada unit-unit pembangkit.

3.5. Pengaruh Seting Tegangan Bus Generator

Generator memiliki tegangan kerja yang dapat diatur besarnya. Perubahan tegangan bus generator akan menghasilkan aliran daya yang berbeda sehingga pengoperasian sistem tenaga dengan seting tegangan yang berbeda dapat menghasilkan indeks keandalan yang berbeda. Pengaruh seting tegangan bus generator pada Penelitian ini akan disimulasikan dengan menambahkan seting tegangan pada bus-1 dan bus-2 dengan penambahan nilai +0,01 pu, +0,02 pu, +0,04 pu dan +0,05 pu, seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Penambahan seting tegangan bus generator pada sistem uji

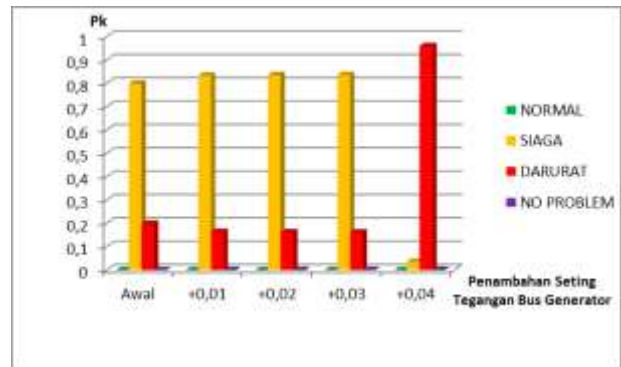
Nomor bus -	Seting tegangan awal (pu)	+0,01 (pu)	+0,02 (pu)	+0,03 (pu)	+0,04 (pu)
1	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09
2	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07

Hasil simulasi pengaruh seting tegangan bus generator dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Pengaruh seting tegangan bus generator terhadap indeks keandalan sistem

Pk	Awal	+0,01 pu	+0,02 pu	+0,03 pu	+0,04 pu
NORMAL	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
SIAGA	0.79894	0.83330	0.83566	0.83623	0.03700
DARURAT	0.19958	0.16468	0.16237	0.16137	0.96018
NO PROBLEM	0.00005	0.00060	0.00055	0.00098	0.00139

Grafik pengaruh seting tegangan bus generator terhadap indeks keandalan sistem dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. Grafik pengaruh pengaruh seting tegangan bus generator terhadap indeks keandalan sistem

Tabel 10 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa pada penambahan seting tegangan +0,01 pu sampai +0,03 pu terjadi peningkatan keandalan pada sistem yang diujikan, yang ditunjukkan dengan kenaikan pada besarnya indeks keandalan pada keadaan SIAGA dan *NO PROBLEM* dan juga semakin kecilnya nilai indeks keandalan pada keadaan DARURAT. Nilai indeks keadaan SIAGA yang semakin besar menunjukkan bahwa semakin banyak kondisi-kondisi kontingensi pada tingkat kontingensi N-1 yang memenuhi persamaan kendala operasi yang ditentukan atau kondisinya bernilai *GOOD*. Nilai indeks keadaan *NO PROBLEM* yang semakin besar menunjukkan bahwa semakin banyak kondisi-kondisi kontingensi pada tingkat kontingensi N-2 yang bernilai *GOOD* atau kondisi tersebut memenuhi persamaan kendala operasi yang ditentukan. Nilai indeks keadaan DARURAT yang semakin kecil menunjukkan semakin sedikit kondisi-kondisi kontingensi pada tingkat kontingensi N-1 dan N-2 yang bernilai *BAD* atau tidak memenuhi persamaan kendala operasi. Salah satu faktor yang menyebabkan kenaikan nilai indeks keandalan sistem tersebut adalah turunnya nilai rugi-rugi daya pada saluran transmisi akibat dari kenaikan tegangan bus generator,

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut, kontingensi N-1 dan N-2 pada pembangkit dapat menyebabkan kebutuhan daya beban tidak dapat terpenuhi oleh unit-unit pembangkit yang masih terhubung pada sistem; Kontingensi N-1 dan N-2 pada saluran transmisi dapat menyebabkan perubahan besar dan arah aliran daya sehingga persamaan kendala operasi yang ditentukan tidak dapat terpenuhi; Kontingensi N-2 pembangkit dan transmisi selain dapat menyebabkan kebutuhan daya beban tidak dapat terpenuhi oleh unit-unit pembangkit yang masih tersedia, juga dapat menyebabkan perubahan besar dan arah aliran daya sehingga persamaan kendala operasi yang ditentukan tidak dapat terpenuhi; Penambahan kapasitas daya aktif pada bus-1 dapat

meningkatkan keandalan sistem dikarenakan ketika terjadi kontingensi N-1 dan N-2 pada pembangkit, kebutuhan daya aktif beban masih dapat dipenuhi oleh unit-unit pembangkit yang tersedia; Penambahan seting tegangan bus generator pada batas tertentu dapat meningkatkan keandalan sistem dikarenakan dengan menambah seting tegangan bus generator dapat mengurangi besarnya rugi-rugi daya (*losses*) pada saluran transmisi sehingga persamaan kendala operasi menjadi dapat terpenuhi. Saran pengembangan yang lebih lanjut sebagai berikut, program simulasi ini hanya dapat menghitung pada model *single line circuit*, sehingga dapat dibuat program simulasi sejenis namun dengan model *double/multi line circuit* agar perhitungan dan analisis keandalannya dapat lebih akurat; Program simulasi ini hanya melakukan perhitungan pada indeks probabilitas, sehingga supaya lebih lengkap lagi dapat ditambahkan indeks-indeks keandalan yang lain; Persamaan kendala operasi pada program simulasi ini hanya dibatasi pada empat buah parameter, yaitu daya aktif pembangkit, daya reaktif pembangkit, tegangan bus dan arus saluran, sehingga dapat ditambahkan parameter-parameter lainnya; Tingkat kontingensi pada program simulasi hanya dibatasi pada kontingensi N-2, sehingga dapat dilakukan penambahan tingkat kontingensi yang lebih tinggi.

Referensi

- [1] Balagurusamy, *Reliability Engineering*, Tata McGraw-Hill, New Delhi, 2002.
- [2] Billinton, R, *Power System Reliability Evaluation*, Gordon and Breach, Science Publisher, New York, 1970.
- [3] Billinton, R., N. Allen, R., *Reliability Evaluation of Power Systems*, Plenum Express, New York, 1994.
- [4] Cekdin, C., *Sistem Tenaga Listrik, Contoh Soal dan Penyelesaian Menggunakan MATLAB*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2007.
- [5] Chen-Ching, L., *Introduction to Security and Reliability*, University of Washington.
- [6] Cross, G., *Power System Security, Monitoring, Analysis and Control*, University of Illinois.
- [7] Eldgerd, O. I., *Electric Energy Systems Theory*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd, New Delhi, 1983.
- [8] Endrenyi J., *Reliability Modeling in Electric Power Systems*, John Wiley & Sons, Toronto, 1978.
- [9] Gonen, T., *Modern Power System Analysis*, John Wiley & Sons, Toronto, 1988.
- [10] Handoko, Susatyo, *Pendekatan Indeks Keandalan Untuk Menentukan Posisi dan Kapasitas Saluran Pengikat Interkoneksi Sistem Tenaga Listrik*, Institut Teknologi Bandung, 1997
- [11] Hartoyo, *Perbaikan Keandalan (N-1) Sistem Tenaga Listrik PLN Jawa Tengah dan DIY*, Universitas Teknologi Yogyakarta, 2008.
- [12] Marsudi, D, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Balai Penerbit ISTN, 1990.
- [13] NERC Planning Standards (1997, Sept.). [Online]. Available: <http://www.nerc.com/~filez/pss-psg.html>
- [14] Oak Ridge National Laboratory (ORNL), *Measurement Practices for Reliability and Power Quality*, 2004
- [15] Saadat, H., *Power System Analysis*, McGraw-Hill, Singapore, 1999.
- [16] Stevenson, W. D., *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1990.
- [17] Sulasno, Ir., *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, 2001.
- [18] Wang, X., McDonald, J.R., *Modern Power System Planning*, McGraw-Hill, Singapore, 1994.
- [19] www.ee.washington.edu/penelitian/pstca/pf14/pg_tca14bus.htm. *IEEE 14-Bus Test Case System*.