INDEKS KEANDALAN GARDU INDUK GARUDA SAKTI BERDASARKAN *BASIC VALUE EXPECTED ENERGY NOT SUPPLIED*

Henricson Sitorus, Dian Yayan Sukma

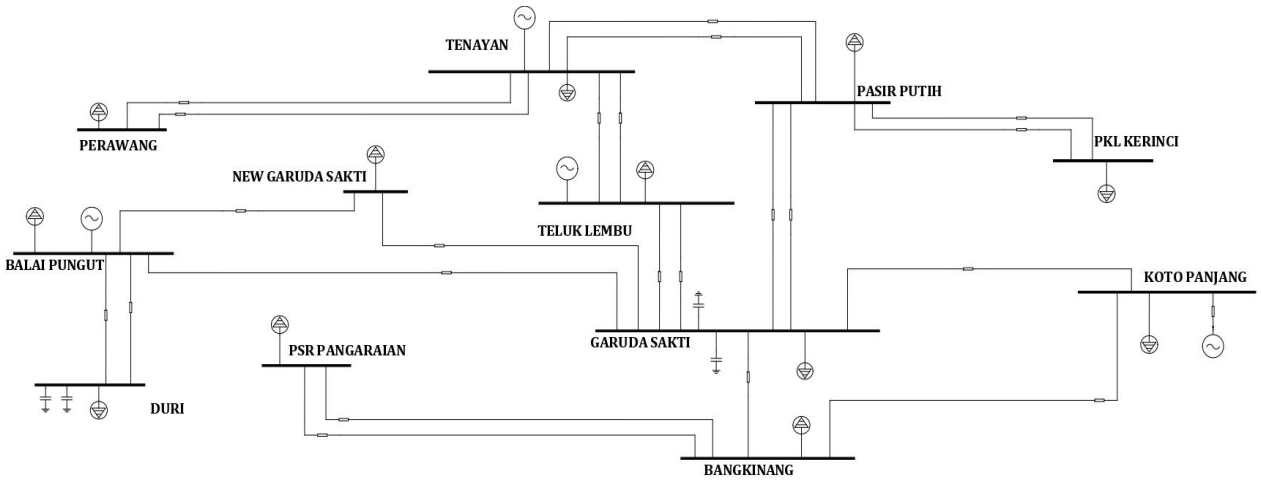
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru 28293

Email : henricson.sitorus@student.unri.ac.id

ABSTRACT

One of the significant purposes of reliability system analyzing is to evaluate the system's ability to complete the load system requirement. The real problems of assessing the adequacy of the generation and bulk power transmission system about providing a dependable and suitable supply at the terminal stations can be designated as composite system reliability evaluation. The electric power system of Pekanbaru is an isolated system consisting of 4 generations, 12 substations, and 22 transmission lines. The calculated reliability evaluation by using expected energy not supplied indices at each substation in the contingency N-1. The outage of the generation unit significantly affects the EENS value in the hybrid system, the amount of capacity that comes out of the system greatly affects the value of the load that can be served. There is no EENS value when the contingency N-1 of the transmission line is due to the ring system model and the radial system as well as the large current-carrying capacity of the transmission line, so that when a contingency N-1 occurs the transmission line system can still serve all load points. The results of this study show that the EENS value existed at the release of the PLTU tenayan 1 and PLTU Tenayan 2. The EENS value is 2347,5415 MWh/ year or 0.054% of the total energy consumption in 2019 at the Garuda Sakti substation.

Keywords: *composite reliability, contingency, load curtailment, EENS, ETAP 12.6.*



Gambar 1. Diagram satu garis sistem 150 kV pekanabaru

I. PENDAHULUAN

Salah satu hal terpenting dalam perencanaan sistem tenaga adalah menetukan besarnya kapasitas pembangkit yang diperlukan untuk menjamin keamanan dan kecukupan permintaan beban (billinton 1990). Hal kedua yang sama pentingnya adalah kemampuan saluran transmisi dalam menyalurkan energi dari sumber menuju jaringan distribusi (billinton 1990). Sehingga analisa gabungan dari kedua aspek tersebut merupakan evaluasi keandalan komposit (HL II).

Fokus utama evaluasi keandalan komposit pembangkit dan transmisi adalah memastikan terpenuhinya suplai energi pada titik beban dengan memperhitungkan keandalan dari gabungan pembangkit dan transmisi itu sendiri(Gupta 2009).

Setiap element memiliki kemungkinan keluar dari sistem, dan hal itu tidak dapat dihindari. Selain itu permintaan beban setiap tahunnya meningkat, hal ini juga sangat berpengaruh terhadap nilai keandalan sistem. Oleh karena itu perlunya dilakukan evaluasi keandalan sistem untuk mengetahui kemampuan sistem itu sendiri.

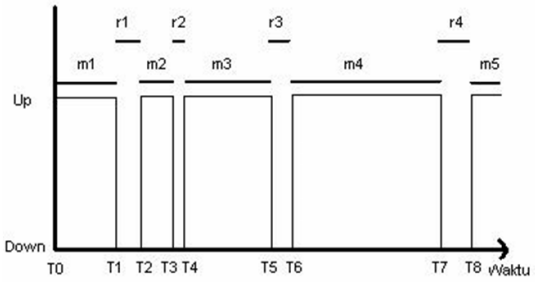
Sistem kelistrikan Riau terdiri dari sistem interkoneksi dan sistem *isolated* sehingga perlu dilakukan evaluasi keandalan. Dalam paper ini analisis keandalan kondisi sistem *isolated* seperti pada gambar 1. Nilai indeks keandalan sistem komposit yang akan dibahas pada *paper* ini adalah indeks *expected energy not supplied* (EENS) yaitu jumlah harapan energi yang tidak tersalurkan atau besarnya bebean yang tidak terlayani yang dievaluasi dalam basis satu tahun. parameter utama dalam menetukan nilai keandalan adalah waktu keluarnya elemen dari sistem (*force outage*). Analisa dilakukan dengan melibatkan satu elemen pada setiap skenario pelepasan (Kontingensi N-1).

Keandalan sistem tenaga listrik

Tingkat keandalan sistem kelistrikan perlu dikuantifikasikan untuk memberi gambaran kemampuan sistem memenuhi kebutuhan konsumen. Indeks keandalan secara kuantitatif didefinisikan sabagai perbandingan dari jam konsumen total pertahun dikurangi jam konsumen terinterupsi total pertahun dengan jam konsumen total pertahun.

$$\mathbf{IK} = \frac{\sum \boldsymbol{jam\ konsumen\ total} - \sum \boldsymbol{jam\ konsumen\ interupsi}}{\sum \boldsymbol{jam\ konsumen}}$$

Komponen-komponen yang ada pada sistem tenaga listrik tidak bisa secara kontinu sepanjang waktu beroperasi dikarenakan berbagai faktor. Sebuah komponen pada suatu sistem tenaga listrik adakalanya berada pada keadaan beroperasi atau pada keadaan tidak beroperasi. Keadaan – keadaan tersebut dapat kita istilahkan dengan istilah state "up" untuk keadaan beroperasi dan state "down" untuk keadaan tidak beroperasi dan dimodelkan dengan gambar 2.



Gambar 2. Model keadaan suatu komponen (roybillinton 1973)

Dimana,
m = durasi komponen beroperasi
r = durasi perbaikan komponen
indeks keandalan dapat diperoleh dengan memperhitungkan nilai ketersediaan dan ketiktersediaan dari pembangkit dan saluran transmisi. Nilai tersebut dipengaruhi oleh jumlah kegagalan dan perbaikan masing-masing komponen.

Ketidaktersediaan (FOR) = $\frac{\lambda}{\lambda+\mu}$ (1)

Ketersediaan (A) = $\frac{\mu}{\lambda+\mu}$ (2)

Dimana,
λ = laju kegagalan
μ = laju perbaikan

Keandalan Sistem Pembangkit

Suatu sistem pembangkit dikatakan andal ialah ketika dapat memenuhi permintaan energi pada konsumen, atau kapasitas yang terpasang cukup untuk memenuhi daya pada titik beban. Dalam operasi sistem tenaga, terkadang unit pembangkit akan mengalami kegagalan dan keluar dari sistem. Dalam penelitian keandalan pembangkit, jumlah daya yang terpasang harus diperhitungkan, sehingga dapat meminimalisir ketika terjadi pemadaman pembangkit.

Model sistem pembangkit yang digunakan untuk penelitian kecukupan kapasitas pembangkit adalah dengan membuat *Capacity Outage Probability Table*(COPT) (roy billinton 1992). Berikut persamaan COPT:

$$P(j)=\frac{N!}{j!(N-j)!}\times A^{N-j}U^{j} \quad (3)$$

Dimana,
U = ketidaktersediaan unit
A = ketersediaan unit
N = jumlah unit
j = status unit keluar
$P(j)$ = nilai probabilitas terjadinya kondisi j

$$\text{Dept rate (j)} = (N-j)\lambda + j\mu \quad (4)$$

Dimana,
λ = laju kegagalan
μ = laju perbaikan

$$F(j) = P(j) \times \text{dept rate} \quad (5)$$

Keandalan Sistem Transmisi

keandalan saluran transmisi juga harus dipertimbangkan dalam menyalurkan energi dari sumber ke titik beban. Keandalan sistem transmisi meliputi perhitungan probabilitas dan frekuensi kegagalan. Berikut persamaan yang digunakan.

$$P_k = \prod_{i=1}^{m} A_i \times \prod_{j=1}^{n} U_j \quad (6)$$

Dimana,
P_k = Probabilitas saluran saat -k
A_i = Nilai ketersediaan elemen i
U_j = Nilai ketidak tersediaan elemen j
m = Jumlah elemen yang tidak terganggu
n = Jumlah elemen yang terganggu

Keandalan Sistem Komposit

sistem komposit pada penelitian ini merupakan gabungan dari sistem pembangkit dan transmisi, dimana penganalisaan dilakukan dengan memperhitungkan probablitas keandalan dari sistem pembangkit dan transmisi. Sehingga keseluruhan masalah mengenai kecukupan dari pembangkit dan transmisi untuk menyediakan suplai daya yang sesuai pada titik beban disebut dengan evaluasi keandalan sistem komposit.

Untuk melakukan perhitungan keandalan sistem komposit EENS, yang pertama dilakukan ialah menghitung nilai (P_{kj}) dan (L_{kj}) pada setiap skenario pelepasan. (roy billinton 1990).

$$P_{kj} = \begin{cases} 1, C \le BL \\ 1 + \frac{1}{BL-PL}(C-BL) \\ 0, C \ge PL \end{cases} \quad (7)$$

P_{kj} = perkiraan beban pada bus K melebihi daya maksimum yang dapat disuplai pada bus tersebut ketika terjadi ganguan kontingensi.

$$L_{kj} = P_{kj}\,(PL(1+\%Loss)-C_j) \quad (8)$$

L_{kj} = tidak tersuplai nya beban pada titik beban K akibat terjadinya kontingensi j

$$EENS = L_{kj} \times P_j \times 8760 \text{ MWh/year} \quad (9)$$

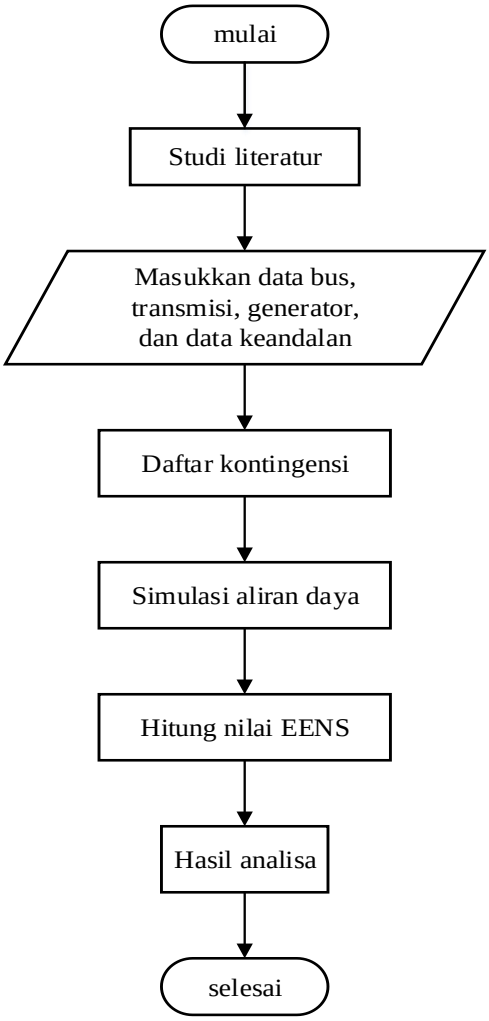
Dimana,
j = elemen keluar
P_j = probabilitas keluar elemen j
EENS = expected energy not supplied (MWh/year)

$$\text{Probability of failure } Q_k = P_j + P_{kj} \quad (10)$$

$$\text{Frequency of failure } F_k = F_j + P_{kj} \quad (11)$$

II. Metodelogy Penelitian

Data yang diperlukan dalam penelitian ini merupakan data ditahun 2019, berupa data pembangkit, saluran transmisi, gardu induk, pembebanan sistem, serta *report* gangguan dari tahun 2015 sampai dengan 2019 seperti yang dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Tabel 1. Saluran transmisi riau 150kV

Dari bus	Ke bus	Jenis	mm^2	Kms
duri	Balai Pungut	ACCC	310	41
Balai pungut	New garuda sakti	ACCC	360	63
Balai pungut	Garuda sakti	ACCC	360	77
New garuda sakti	Garuda sakti	ACCC	360	14
Garuda sakti	Bangkinang	ACSR	435	46
Garuda sakti	Koto panjang	ACSR	435	64
Bangkinang	Koto panjang	ACSR	435	18
Bangkinang	pasir pangaraian	ACSR	240	120
Garuda sakti	teluk lembu	HVRC	310	20
Garuda sakti	pasir putih	ACSR	240	28
teluk lembu	tenayan	ACSR	2x240	9
tenayan	perawang	ACSR	2x240	21
tenayan	pasir putih	ACSR	2x240	20
pasir putih	pangkalan kerinci	ACSR	2x240	37
koto panjang	payah kumbuh	ACSR	340	85
koto panjang	plta koto panjang	ACSR	435	1

Analisa Aliran Daya

Analisa aliran daya menggunakan metode fast de couple pada software ETA12.6 dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Aliran daya riau 150kV eksisting

No	Gardu induk	Tegangan (kV)	Beban dasar (MW)	Beban puncak (MW)
1	Balai pungut	150	25,42	37,74
2	Bangkinang	145,712	35,84	50,2
3	Duri	150,202	36,75	57,7
4	Garuda sakti	146,904	116	152
5	Koto panjang	147,764	12,84	22,7
6	New garuda sakti	146,876	10,06	20,3
7	Pasir putih	147,757	59,55	84,7
8	Perawang	148,932	11,93	22,4
9	Pangkalan kerinci	147721	15,13	24,4
10	Pasir pangaraian	145,689	12,8	17,7
11	Tenayan	150	9,459	16,3
12	Teluk lambu	149,186	54	88,3
Total			399,9	595,33

Dari hasil aliran daya menggunakan software ETAP 12.6 terlihat bahwa nilai tegangan tiap bus masih dalam kondisi aman sesuai dengan peraturan menteri energi dan sumber daya mineral no 8 tahun 2016 terkait unjuk kerja sistem transmisi 150kV masih dalam rentang +5% dan -10%.

III. Hasil dan Pembahasan

Force Outage Rate

Sesuai dengan metode komposit dimana keandalan dianalisa pada zona HLII yaitu pembangkit dan tranmsis, sehingga perlu dicari

nilai FOR dari pembangkit dan transmisi. Nilai FOR pembangkit dan transmisi dapat dilihat pada tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Nilai FOR pembangkit

ID	Unit Pembangkit	FOR (U)	A (1-U)
G1	Koto Panjang 1	0,0107	0,9892
G2	Koto Panjang 2	0,028	0,9720
G3	PLTMG BP Duri 1	0,008	0,99
G4	PLTMG BP Duri 2	0,134	0,87
G5	PLTMG BP Duri 3	0,174	0,83
G6	PLTMG BP Duri 4	0,197	0,803
G7	PLTMG BP Duri 5	0,132	0,868
G8	PLTMG BP Duri 6	0,108	0,892
G9	PLTMG BP Duri 7	0,095	0,91
G10	PLTG Mpp BP 3	0,033	0,967
G11	PLTG Mpp BP 1	0,072	0,93
G12	PLTG BP Duri 2	0,208	0,80
G13	Max Power	0,13	0,87
G14	PLTG Teluk Lembu 2	0,122	0,88
G15	PLTG Teluk Lembu 3	0,027	0,97
G16	PLTMG Sw Teluk Lembu 2 (Pt Pjbs)	0,089	0,91
G17	PLTMG Teluk Lembu 1 (Kso Hutan Alam)	0,012	0,99
G18	Tenayan 1	0,198	0,81
G19	Tenayan 2	0,158	0,85

Tabel 4. Nilai FOR saluran transmisi

ID	A	U
L1	0,999935164	0,000064836
L2	0,999935164	0,000064836
L3	0,99993384	0,00006616
L4	0,991162362	0,008837638
L5	0,999662215	0,000337785
L6	0,999484056	0,000515944
L7	0,995136102	0,004863898
L8	0,998181396	0,001818604
L9	0,99998561	0,0000143834
L10	0,999985617	0,0000143834
L11	0,999536744	0,000463256
L12	0,998914422	0,001085578
L13	0,999998813	0,00000118721
L14	0,999998813	0,00000118721
L15	0,997280475	0,002719525
L16	0,999691419	0,000308581
L17	0,999982649	0,0000173513
L18	0,999785434	0,000214566
L19	0,998877061	0,001122939
L20	0,999940643	0,0000593572
L21	0,999979909	0,0000200909
L22	0,999989498	0,0000105022

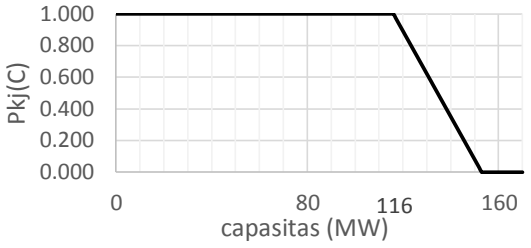
Skenario Pelepasan

Analisa dilakukan dengan melibatkan keluarnya satu elemen pada setiap skenario pelepasan (Kontingensi N-1). Sehingga total ada 41 kondisi yaitu jumlah pembangkit dan saluran transmisi yang ada pada sistem 150 kV Pekanbaru.

Dari total 41 skenario pelepasan elemen pada sistem, didapat dua skenario yang menyebabkan beberapa beban pada gardu induk garuda sakti tidak terlayani, yaitu saat keluarnya PLTU tenayan 1 (G18) dan PLTU tenayan 2 (G19).

Expected Energy Not Supplied

Nilai indeks keandalan sistem komposit yang akan dibahas pada penelitian ini adalah indeks *expected energy not supplied (EENS)* yang menggambarkan besar energi yang tidak tersuplai pada titik beban atau besarnya beban yang tidak terlayani pada setiap titik beban atau gardu induk. Indeks EENS dipilih sebagai nilai keandalan sistem agar besarnya kekurangan energi yang seharusnya sampai ketitik beban dapat diketahui.



Gambar 4. probabilitas beban GI melebihi daya yang dapat disalurkan

Dari gambar 4, dapat dilihat adanya energi yang tidak tersalurkan ke GI garuda sakti yaitu ketika kapasitas daya yang tersedia lebih kecil daya beban puncak GI atau saat nilai probabilitas besar dari nol. Tabel 5 merupakan hasil perhitungan nilai keandalan komposit EENS pada gardu induk garuda sakti.

Tabel 5. Nilai EENS pada GI Garuda Sakti

Outage	EENS (MWh/year)	Outage	EENS (MWh/year)
G1	0	L3	0
G2	0	L4	0

G3	0	L5	0
G4	0	L6	0
G5	0	L7	0
G6	0	L8	0
G7	0	L9	0
G8	0	L10	0
G9	0	L11	0
G10	0	L12	0
G11	0	L13	0
G12	0	L14	0
G13	0	L15	0
G14	0	L16	0
G15	0	L17	0
G16	0	L18	0
G17	0	L19	0
G18	1339,67	L20	0
G19	1007,86	L21	0
L1	0	L22	0
L2	0		
		Total	**2347,53**

KESIMPULAN

Faktor utama yang mempengaruhi nilai EENS adalah waktu keluar unit pembangkit dan transmisi. Semakin kecil waktu keluarnya saluran transmisi maka semakin kecil nilai FOR, dimana nilai FOR berbanding lurus dengan nilai keandalan komposit EENS.

Nilai EENS saat keluarnya unit PLTU tenayan 1 lebih besar dari saat keluarnya unit PLTU tenayan 2. Hal ini dikarenakan nilai FOR dari PLTU tenayan 1 lebih besar dari nilai FOR unit PLTU tenayan 2. Total *Expected Energy Not Supplied* pada gardu induk Garuda Sakti sebesar 2347,53 MW/year atau 0,054% dari total konsumsi energi pada tahun 2019.

DAFTAR PUSTAKA

Bilinton, R., & Allan, R. N. (1996). *reliability evaluation of power systems.* new york: plenum Press.

Billinton, R., & Kumar, S. (1990). Indices for use in composite generation and transmission system adequacy evaluation. *Power Systems Research Group*, (pp. 147-155). Saskatchewan.

Gupta, L. (2009). *composite system reliability evaluation.* patiala: thapar university.

PLN, P. (2019). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2019-2028.* Jakarta : PT PLN.

Roy Billinton, R. J. (1993). *power system reliability calculations.* new york: the colonial press Inc.

Roy Billinton, R. N. (1992). *reliability evaluation of engineering systems.* new york: plenum press.

Roy Billinton, w. l. (1994). *reliability assesment of electric power systems using monte carlo methods.* new york: plenum press.

saadat, h. (1999). *power system analysis.* milwaukee, wisconsin: kevin kane.

Sarjiya, S. P. (2017). Composite Reliability Evaluation of Existing 500 kV Jawa Bali Power System.

Tim penyusun. (2020). *Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik.* jakarta: kemeterian energi dan sumber daya mineral.

Tumiran, S. S. (2017). *Composite Reliability Analysis of 500 kV Jawa-Bali System Related to the Northern Jawa Generation and Transmission Expansion Plan*.