

UPAYA PENINGKATAN INDEKS KEANDALAN SISTEM PEMBANGKIT DENGAN PENINGKATAN KAPASITAS SISTEM PEMBANGKIT

Ulil Albab¹⁾, Dian Yayan Sukma²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, ²⁾Dosen Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Binawidya Jl. H.R Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, Riau 28293
E-mail : ulil.albab@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The reliability of electric power system generation is a very important aspect of operation electrical power system because in operation of the plant that has been scheduled is not always able to operate in accordance with the predetermined scheduling, there are have a lot of obstacles that can cause that plant will be fail to operate properly, both due to interference from outside and from within generating system itself. Through probability value of the electric power system, it is obtained how much the continuity of operation from that power plant system with good quality. That is why reliability of the power system generation must maintain the value. In this article the calculation in finding the level of reliability of the generating system uses the recursive method of convolution which in this case is used to find the level of reliability of a private power plant system that exists in Riau Province. Analysis conducted using data for the last 5 years by taking the reliability index is Loss of Load Expectation (LOLE). Calculation in finding the reliability index of the generator system using software MATLAB and Microsoft Excel. In the search for reliability indexes at the generating system, it refers to international standard for the LOLE index itself, which is 0.1 days / year.

Keywords : LOLE, Power System Generation, Reliability

I. PENDAHULUAN

Dalam melayani beban, pembangkit yang sudah dijadwalkan tidak selamanya dapat beroperasi sesuai dengan penjadwalan yang telah ditetapkan, banyak sekali kendala yang dapat menyebabkan pembangkit tersebut gagal beroperasi sebagaimana mestinya, baik itu disebabkan gangguan dari luar maupun dari dalam sistem pembangkit itu sendiri. Unit pembangkit yang keluar dari sistem operasi tenaga listrik biasanya dipakai istilah *outage*. *Outage* adalah keadaan dimana suatu komponen tidak dapat bekerja sesuai fungsinya (Prasetyo, Sulasno, & Handoko, 2011). Sifat dari beban sistem yang berubah-ubah disertai dengan karakteristik beban listrik yang cenderung tumbuh seiring dengan berkembangnya teknologi maka keandalan sistem pembangkit semakin dibutuhkan agar tetap andal dalam beroperasi.

Aplikasi teknik probability untuk evaluasi keandalan sistem tenaga listrik dikemukakan pertama kali pada tahun 1933. Konsep dari *loss of load probability* diperkenalkan pada tahun 1947. LOLP didefinisikan sebagai kemungkinan dimana kapasitas daya yang mengalami *force outage* melebihi dari cadangan daya pada sistem. LOLP dievaluasi untuk beberapa beban puncak sebagai representasi dari keandalan suatu sistem.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Keandalan Sistem Pembangkit

Keandalan adalah kemungkinan bekerjanya suatu peralatan atau sistem sesuai dengan fungsinya dalam periode waktu tertentu dan dalam kondisi operasi tertentu, sehingga sering digunakan teknik probabilitas dalam mencari keandalan dari suatu sistem pembangkit. Dan dari cara yang ada terdapatlah

beberapa teknik perhitungan probabilitas seperti LOLP, LOLE dan EENS (Wang & McDonald, 1994).

Sistem tenaga listrik terdiri atas tiga bagian utama, yaitu sistem pembangkit listrik, saluran transmisi, dan jaringan distribusi. Permasalahan pada penyediaan energi listrik yaitu cara penyediaan yang handal dan ekonomis. Penyediaan kapasitas ini akan menghindari beban dari pemadaman karena kurangnya suplai energi dan meningkatkan keandalan dari sistem (Widiastuti, Pinanditho, & Prastyo, 2017).

2.2 Algoritma Konvolusi

Pada metode konvolusi yang akan digunakan dalam mencari indeks keandalan pada sistem pembangkit ini ialah merupakan jenis persamaan rekursif konvolusi (*Recursive Convolution Equation*). Fungsi rekursif adalah fungsi yang mengacu pada dirinya sendiri, fungsi ini tersusun atas dua bagian yaitu basis dan rekurens (Herlambang, 2018).

Persamaan dari rekursif konvolusi untuk mencari keandalan sistem pembangkit dapat ditulis seperti persamaan (2.1) :

$$F^i(L_e) = F^{i-1}(L_e) \cdot p_i + F^{i-1}(L_e - C_i) \cdot q_i \quad \dots\dots(2.1)$$

Dimana:

L_e = Beban Efektif (*Effective Load*)

L_{oi} = Pemadaman Beban Acak (*random outage load*)

IC = Kapasitas Terpasang (*Install Capacity*)

$F^i(L_e)$ = Fungsi Peluang Beban Efektif

p = Kapasitas Tersedia (*availability*)

q = Kapasitas *Outage* (*unavailability*)

C_i = Kapasitas Generator yang *Outage*

2.3 Forced Outage Rate (FOR)

Dalam beroperasinya suatu sistem pembangkit pasti tidak terlepas dari yang namanya *outage*, yaitu kondisi dimana suatu unit dalam sistem pembangkit tersebut keluar dari jadwal bekerjanya, baik itu secara disengaja ataupun tidak disengaja. Tingkat kegagalan sistem unit pembangkit dinamakan *Forced Outage Rate* (FOR). Dimana keluaran terjadi akibat keadaan terpaksa yang langsung

berhubungan dengan suatu komponen sedemikian rupa sehingga dirasa perlu komponen tersebut segera dikeluarkan (*out of service*), baik secara otomatis maupun dengan bantuan operator (Yuvendius, 2012). Dengan kata lain diakibatkan oleh kesalahan operasi komponen peralatan atau kesalahan manusia.

Persamaan dalam mencari FOR:

$$FOR = \frac{\text{Jumlah Jam Unit Terganggu}}{\text{Jumlah Jam Unit Terganggu} + \text{Jumlah Jam Unit Beroperasi}} \quad \dots(2.2)$$

2.4 Loss Of Load Probability (LOLP)

Loss of Load Probability adalah indeks level resiko dalam mengoperasikan sistem tenaga listrik (Apriani & Thayib, 2015). LOLP didefinisikan sebagai probabilitas dari sebuah beban sistem. Melebihi kapasitas dari pembangkit yang tersedia dengan asumsi beban puncak setiap hari berlangsung sepanjang hari (Asheibi & Shuaib, 2015). Ukuran keandalan dinyatakan dalam hari pertahun, beban sistem akan sama, lebih besar, atau lebih rendah dari kapasitas sistem yang tersedia.

Bentuk persamaan dari LOLP ialah :

$$LOLP = \sum_{L_{oi}} P(L_{oi}) * f_{oi}(IC - L_{oi}) \quad \dots\dots(2.3)$$

Dimana: P = Probabilitas *availability* dan *unavailability* Pembangkit

L_{oi} = Kapasitas Pemadaman

f_{oi} = Fungsi dari Kapasitas Pemadaman

IC = Kapasitas Terpasang

2.5 Loss Of Load Expectation (LOLE)

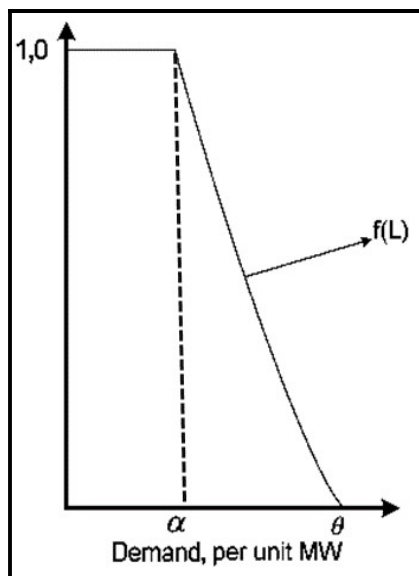
LOLE adalah indeks keandalan yang menunjukkan kondisi dengan beban puncak harian yang akan melebihi kapasitas yang tersedia (Widiastuti et al., 2017). Pengertian lainnya LOLE adalah jumlah unit dalam satu waktu (jam atau hari) per interval waktu (tahun) yang permintaan bebannya akan melebihi dari kapasitasnya. Indeks LOLE sendiri memiliki standar yang berbeda dari berbagai tempat, tergantung dari sistem pembangkit yang diteliti mengikuti aturan yang telah ditetapkan oleh asosiasi kelistrikan ataupun konsultannya.

Persamaan dalam mencari LOLE :

$$LOLE = \left(\sum_{L_{oi}} P(L_{oi}) * f_{oi} (IC - L_{oi}) \right) * 365 \quad \dots (2.4)$$

2.6 Load Probability Curve (LDC)

Dalam model probabilistik, sebuah pembangkit memiliki probabilitas dari kegagalan dan perkiraan waktu kegagalan pembangkit yang dimodelkan dalam variabel dengan kombinasi (Susan, 1979). Permintaan beban listrik memiliki probabilitas pada level tertentu dan perkiraan waktu kapan menjadi pada level tersebut. Maka dari itulah dibentuknya kurva durasi beban agar diketahui lama suatu pembangkit dalam melayani sebuah beban dari sistem kelistrikan. Berikut pada gambar 1 dibawah diperlihatkan bentuk sederhana dari kurva durasi beban dari sistem pembangkit listrik.



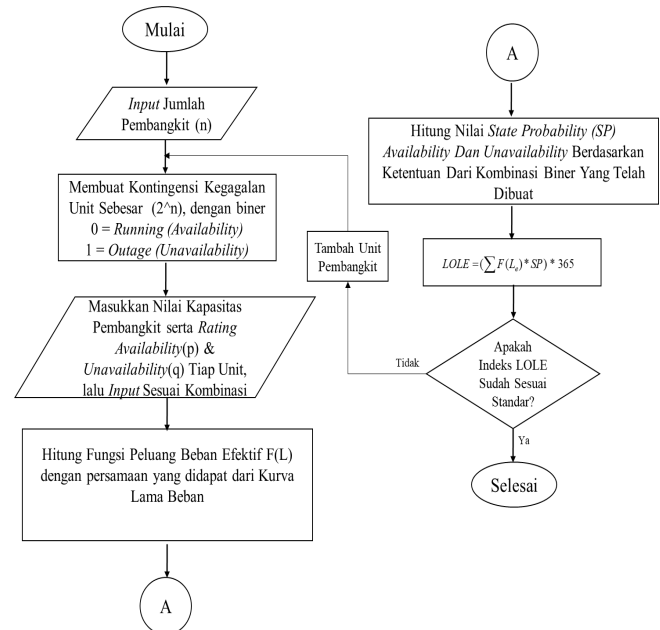
Gambar 1. Kurva Distribusi Peluang Beban

III. METODE PENELITIAN

3.1 Flowchart Menghitung Indeks LOLP

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan data sistem dari salah satu sistem pembangkit milik swasta yang ada di provinsi Riau. Data yang didapat tersebut akan di olah kembali agar didapat lama dari operasi sistem pembangkit pada perusahaan tersebut. Selanjutnya dari data tersebut akan dibuatkan kurva beban harian dan kurva lama beban yang kemudian akan digunakan dalam mencari indeks keandalan sistem pembangkit

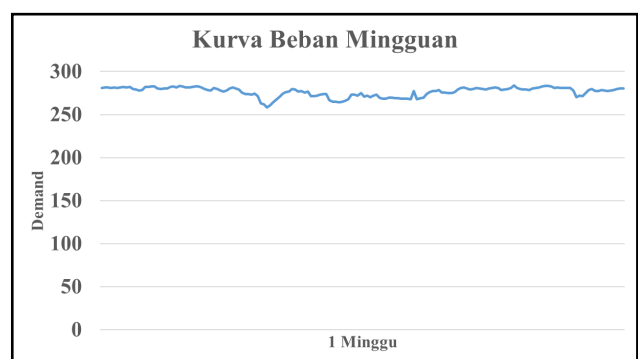
tersebut dengan menggunakan algoritma rekursif konvolusi (*Recursive Convolution*). Adapun tahapan-tahapan dalam melakukan proses penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Perbaikan Indeks Keandalan LOLE

3.2 Kurva Beban Mingguan

Kurva beban mingguan dan kurva lama beban ialah sebuah kurva yang dibentuk dari pengumpulan data beban selama satu pekan yang bisa dilihat dalam orde 168 jam yaitu satu minggu penuh. Pada gambar dibawah diperlihatkan kurva beban harian selama 7 hari, yang berarti jumlah data sebanyak 168 jam . Berikut pada gambar 3 dibawah kurva beban mingguan dari sistem pembangkit yang diteliti.



Gambar 3. Kurva Beban Mingguan Sistem

Setelah kurva beban mingguan dari sistem pembangkit didapat, maka berikutnya

membuat kurva lama beban yang akan dipergunakan dalam menghitung indeks keandalan LOLE. Pada gambar 3 tersebut telah didapatkan beban puncak sistem pembangkit sebesar 284 MW dan beban dasar dari sistem pembangkit sebesar 258 MW, serta dari gambar kurva tersebut dapat terlihat bahwa fluktuasi dari beban sangat kecil perubahannya dan beban yang terjadi raltif sama pada setiap jamnya.

3.3 Data Sistem Pembangkit

Pada sistem pembangkit yang diteliti terdiri dari 3 unit pembangkit dengan penggerak utamanya ialah turbin gas dengan nilai kapasitas ketiga unit pembangkit memiliki nilai yang sama. Seperti yang ada pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kapasitas Unit Pembangkit

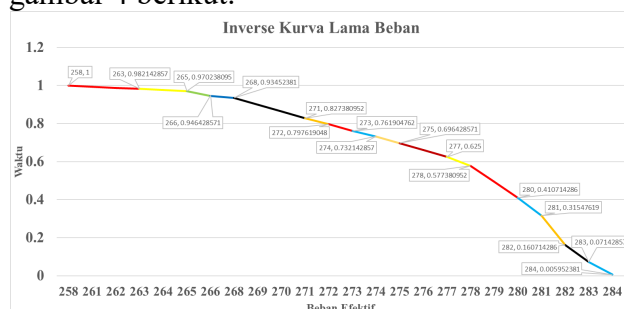
Unit	Kapasitas Unit (MVA)	Daya Maksimum	Nilai FOR
1	141	120	0,000379
2	141	120	0,000159
3	141	120	0,001

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap sistem pembangkit hingga hasil yang didapat sesuai standar internasional yang dikeluarkan oleh General Electric dan NERC (*North American Electric Reliability Corporation*) yaitu sebesar 1 hari/10 tahun atau 0,1 hari/tahun.

4.1. Hitung Indeks Keandalan

Dengan memanfaatkan data beban harian maka di buatlah kurva untuk mencari persamaan nilai $F^0(Le)$ dengan menginverskan kurva lama beban antara sumbu x (waktu) dan sumbu y (Beban). Sehingga tampak seperti pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Kurva Lama Beban

Pada gambar tersebut terlihat jelas memiliki warna garis yang berbeda disetiap terjadi patahan pada titik-titiknya, setiap warna tersebut memiliki *range* beban efektif dan persamaannya sendiri untuk menghitung nilai $F^0(Le)$ pada perhitungan keandalan.

Tabel 2 Probabilitas Kapasitas *Outage*

Unit Outage (Loi)	Le	$F^0(Le)$	State Probability
0	360	0	0,9985
120	240	1	0,001003
120	240	1	0,000159
240	120	1	1,59903e-07
120	240	1	0,000379
240	120	1	3,80702e-07
240	120	1	6,0439e-08
360	0	1	6,07035e-11

Perhitungan nilai probabilitas dapat dilakukan jika nilai beban efektif (Le) sama dengan kapasitas terpasang dari sistem pembangkit.

Maka :

$$LOLP = \sum_{Loi} P(L_{oi}) * f_{oi} (IC - L_{oi})$$

$$= (0 * 0,99845) + (1 * 0,0010028) + (1 * 0,0001592) + (1 * 1,5990288e-07) + (1 * 0,00037904) + (1 * 3,8070191e-07) + (1 * 6,0438753e-08) + (1 * 6,070346e-11) = 0,00154167983504556$$

Maka didapat nilai LOLP sebesar : 0,00154167983504556

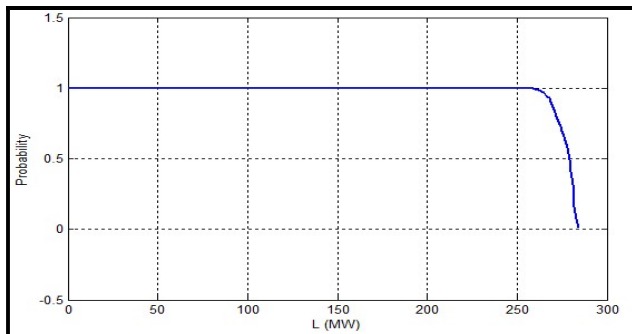
Untuk menghitung indeks keandalan LOLE maka :

$$LOLE = 0,00154167983504556 * 365 = 0,562713139791628 \text{ hari/tahun}$$

Jadi indeks LOLE dari sistem pembangkit tersebut ialah sebesar 0,5627 hari/tahun. Dan hasil tersebut belum memenuhi standar dari indeks keandalan LOLE yaitu sebesar 0,1 hari/tahun, maka dilakukanlah

perhitungan indeks keandalan dengan skenario penambahan unit pembangkit.

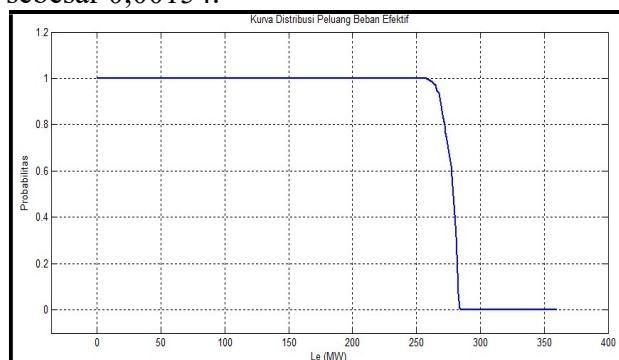
Dengan memanfaatkan fitur plot grafik pada matlab maka bisa didapatkan bentuk kurva distribusi peluang beban dari sistem pembangkit yang diteliti, seperti terlihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Kurva Distribusi Peluang Beban

Dari kurva distribusi peluang beban disaat beban yang muncul berada didalam *range* 0 (nol) hingga beban dasar maka nilai probabilitasnya adalah satu (1), sehingga memperlihatkan karakteristik beban dasar yang tinggi dengan durasi yang lama, kemudian nilai beban dasar dan beban puncak memiliki jarak yang berdekatan maka dapat diketahui bahwa beban yang dilayani oleh sistem pembangkit berupa industri yang beroperasi selama 24 jam dalam sehari.

Kemudian titik terjadinya LOLP ialah ketika beban efektif berada atau sama dengan kapasitas terpasang dari sistem pembangkit. Seperti yang terlihat pada gambar 6 dibawah ketika nilai L_e pada posisi sebesar IC yaitu 360 MW maka nilai probabilitas yang didapat ialah sebesar 0,00154.



Gambar 6. Kurva Distribusi Peluang Beban Efektif

4.2. Skenario Penambahan Pembangkit

Skenario pada perbaikan indeks keandalan pada sistem pembangkit berikut akan dilakukan dengan penambahan unit pembangkit hingga indeks yang didapat memenuhi standar yang ingin dicapai.

4.2.1. Skenario 1 Penambahan Unit 1x25 MW

Penambahan unit pembangkit yang dilakukan dengan kapasitas 25 MW dan nilai FOR sebesar 0,01. Setelah perhitungan maka didapat hasil LOLP sebesar 0,001495 dengan indeks LOLE sebesar 0,546 hari/tahun. Dari hasil tersebut maka indeks keandalan yang dihasilkan belum memenuhi standar yang ingin dicapai.

4.2.2. Skenario 2 Penambahan Unit 2x25 MW

Berdasarkan skenario sebelumnya dengan penambahan satu unit pembangkit masih belum menghasilkan indeks sesuai standar. Pada skenario kedua akan dilakukan penambahan unit pembangkit dengan kapasitas 25 MW sebanyak 2 unit pembangkit, dengan nilai FOR sebesar 0,01 di masing-masing unit pembangkit. Kemudian hasil dari perhitungan didapat nilai LOLP sebesar $3,60016 \times 10^{-6}$ dengan indeks LOLE sebesar 0,001314 hari/tahun. Berdasarkan hasil yang didapat maka indeks keandalan telah memenuhi standar yang diinginkan.

4.2.3. Skenario 3 Penambahan Unit 1x50 MW

Dari skenario kedua jika kapasitas unit pembangkit dijumlahkan maka akan menghasilkan nilai kapasitas sebesar 50 MW. Sehingga pada skenario ketiga akan dilakukan penambahan dari unit pembangkit dengan kapasitas sebesar 50 MW sebanyak 1 unit, dengan nilai FOR sebesar 0,01. Dan dari perhitungan didapat nilai LOLP sebesar $2,14738 \times 10^{-6}$ dengan indeks LOLE 0,000784 hari/tahun. Berdasarkan hasil yang didapat terlihat indeks keandalan yang didapat juga memenuhi standar yang diinginkan bahkan lebih kecil dari pada skenario kedua.

V. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang dilakukan pada sistem pembangkit milik salah satu perusahaan swasta dengan memanfaatkan data 5 tahun 8 bulan terakhir dari 2014 - 2019 telah didapat nilai indeks keandalan *Loss Of Load Expectation* sebesar 0,5627 hari/tahun. Dengan mempertimbangkan standar yang digunakan pada sistem pembangkit maka nilai tersebut belum memenuhi standar yang diinginkan, sehingga dilakukan skenario penambahan unit pembangkit. Dari skenario yang dilakukan didapatkan pada skenario 2 dan 3 memenuhi standar indeks keandalan yaitu sebesar 0,001314 hari/tahun dan 0,000784 hari/tahun.

Dengan mempertimbangkan biaya dalam pembangunan suatu unit pembangkit maka skenario ke 3 lah yang lebih tepat digunakan dalam perbaikan indeks keandalan LOLE.

Perencanaan Pembangkit Wilayah Jawa-Bali dengan Mempertimbangkan Ketidakpastian Peramalan Beban. 6(2), 230–234.

Yuvendius, H. (2012). *Analisa Perencanaan Keandalan Pembangkit Proyek IPP Wilayah Riau Tahun 2012-2025.* University Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriani, R., & Thayib, R. (2015). *Perhitungan Loss Of Load Probability Sistem Tenaga Listrik Di Pt . Pupuk Sriwidjaja.* 2(1), 22–27.
- Asheibi, A., & Shuaib, S. (2015). *Generation System Reliability Evaluation based on Convolution Algorithm and data modeling.* 2–6.
- Herlambang, S. (2018). *Implementasi Fungsi Rekursif Dalam Algoritma dan Perbandingannya dengan Fungsi Iteratif.* Bandung.
- Prasetyo, G. eko, Sulasno, & Handoko, S. (2011). *Studi Tentang Indeks Keandalan Pembangkit Tenaga Listrik Wilayah Jawa Tengah Dan Daerah Istimewa Yogyakarta.* 1–11.
- Susan, F. (1979). *Electric Power System Production Costing And Reliability Analysis Including Hydro Electric, Storage, And Time Dependent Power Plants.* MIT Energy Laboratory Technical Report, (February), 74.
- Wang, X., & McDonald, J. R. (1994). *Modern Power System Planning* (1st ed.; X. Wang & J. R. McDonald, Eds.). London: McGraw-Hill.
- Widiastuti, A. N., Pinanditho, K. A., & Prastyo, E. T. (2017). *Evaluasi Keandalan*