

# Evaluasi Keandalan Perencanaan Pembangkit Wilayah Jawa-Bali dengan Mempertimbangkan Ketidakpastian Peramalan Beban

Avrin Nur Widiastuti<sup>1</sup>, Sarjiya<sup>2</sup>, Kukuh Arung Pinanditho<sup>3</sup>, Eko Tri Prastyo<sup>4</sup>

**Abstract**— Power system reliability is one of important aspects of power system operation. Lack of capacity in the generation system will affect reliability level of the power system. System evaluation needs to be done to know whether the system is still reliable to supply the load that is projected to increase 8.2% per year. Java-Bali system evaluation planning period 2015-2024 is conducted in this paper. Load forecast uncertainty (LFU) is one of the parameters that needs to be considered when conducting system planning. It is because load tends to be uncertain. This research uses two scenarios: without and with load forecast uncertainty. Reliability indexes LOLE and LOLP are used to evaluate the Java-Bali system. All calculations are based on a program using MATLAB. The result shows that reliability indexes LOLE and LOLP are higher with considering LFU. It means reliability decreases, rather than planning without considering LFU. Moreover, Java-Bali system reliability indexes meet the PLN's standard value with the best value acquired in 2019.

**Intisari**— Keandalan sistem tenaga listrik merupakan salah satu aspek penting pada operasi sistem tenaga listrik. Kekurangan kapasitas pada sistem pembangkit akan memengaruhi tingkat keandalan sistem tenaga listrik. Sistem Jawa-Bali memiliki rencana pengembangan sistem pembangkit pada periode perencanaan tahun 2015-2024. Evaluasi sistem perlu dilakukan untuk melihat apakah sistem ini masih andal untuk menyuplai beban yang diproyeksikan naik sebesar 8,2% per tahun. Ketidakpastian peramalan beban (LFU) merupakan salah satu parameter yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan perencanaan sistem. Hal ini dikarenakan besarnya beban memiliki kecenderungan yang tidak pasti. Makalah ini menggunakan dua skenario: tanpa dan dengan mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban. Indeks keandalan LOLE dan LOLP digunakan untuk melakukan evaluasi sistem Jawa-Bali. Secara keseluruhan, perhitungan ini menggunakan pemrograman yang dilakukan dengan perangkat lunak MATLAB. Berdasarkan hasil penelitian, indeks keandalan LOLE dan LOLP lebih tinggi saat mempertimbangkan LFU. Ini artinya kendala menurun dibandingkan perencanaan tanpa memperhitungkan LFU. Namun secara umum, sistem Jawa-Bali memiliki indeks keandalan yang memenuhi nilai standar PT. PLN (Persero) dengan nilai terbaik dicapai pada tahun 2019.

**Kata Kunci**— keandalan, sistem Jawa-Bali, LOLE, LOLP, LFU.

<sup>1, 2</sup> Dosen, Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika 2, Kampus UGM Yogyakarta 55281 INDONESIA (telp: 0274-552305; fax: 0274-552305; email: avrin@ugm.ac.id, sarjiya@ugm.ac.id)

<sup>3, 4</sup> Mahasiswa, Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Jln. Grafika 2, Kampus UGM Yogyakarta 55281 INDONESIA (telp: 0274-552305; fax: 0274-552305)

## I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik terdiri atas tiga bagian utama, yaitu sistem pembangkit listrik, saluran transmisi, dan jaringan distribusi [1]. Permasalahan pada sistem tenaga listrik yaitu cara menyediakan energi listrik yang andal dan ekonomis. Kapasitas berlebih pada sistem pembangkit dan jaringan disediakan untuk menjaga kontinuitas suplai energi listrik yang cukup saat terjadinya kegagalan atau gangguan pada pembangkit dan/atau terlepasnya suatu pembangkit dari sistem karena pemeliharaan [2], [3]. Penyediaan kapasitas ini akan menghindarkan beban dari pemadaman karena kurangnya suplai energi listrik dan meningkatkan keandalan dari sistem [4].

Pertumbuhan beban puncak yang diproyeksikan oleh PT. PLN (Persero) untuk periode tahun 2015-2024 naik dengan nilai rerata sebesar 8,2% per tahun [5]. Pembangkit listrik yang tersedia saat ini tidak mampu memenuhi kebutuhan beban pada beberapa tahun ke depan. Pemerintah Indonesia, saat ini, sedang melangsungkan proyek pembangunan pembangkit listrik dengan kapasitas 35.000 MW sampai dengan tahun 2019. Selain itu, perencanaan jangka panjang dilakukan oleh PT. PLN (Persero) untuk menyediakan pembangkit-pembangkit baru hingga tahun 2024. Rencana ini dibuat untuk menopang pembangunan infrastruktur yang lebih besar dalam beberapa tahun ke depan. Jika rencana tersebut tertunda pelaksanaannya, maka akan menyebabkan kurangnya kapasitas energi listrik untuk pembangunan skala besar di masa yang akan datang, sehingga terjadi krisis pasokan listrik [6].

Perencanaan perlu dilakukan sebelum menambahkan pembangkit listrik baru untuk menghasilkan kualitas sistem tenaga listrik yang baik. Salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas sistem tenaga listrik yaitu indeks keandalan sistem. Peramalan beban dilakukan saat melakukan perencanaan sistem untuk menentukan kapasitas pembangkit yang akan ditambahkan. Nilai beban yang sesungguhnya pada masa yang akan datang bisa jadi berbeda dengan beban yang diramalkan. Ketidakpastian peramalan beban merupakan salah satu parameter yang penting dalam menentukan keandalan sistem tenaga listrik.

Penelitian ini melakukan evaluasi terhadap sistem kelistrikan Jawa dan Bali pada periode perencanaan tahun 2015-2024. Evaluasi ini menggunakan indeks keandalan *loss of load expectation* (LOLE) dan *loss of load probability* (LOLP) dengan dan tanpa mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban (LFU). Indeks keandalan LOLE dan LOLP yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai standar yang diterapkan oleh PT. PLN (Persero).

II. KEANDALAN DAN KETIDAKPASTIAN PERAMALAN BEBAN

Penentuan kapasitas sistem pembangkit untuk memenuhi suplai yang memadai merupakan aspek penting dari perencanaan dan operasi sistem tenaga listrik. Teknik probabilistik yang digunakan untuk evaluasi kecukupan dari konfigurasi pembangkit dengan perhitungan LOLP dan LOLE.

A. Probabilitas Kumulatif

Metode yang digunakan untuk menghitung nilai probabilitas kumulatif yaitu algoritme *recursive* untuk pembentukan model kapasitas. Karakteristik operasi pembangkit diasumsikan *derated*, yaitu unit pembangkit dapat memiliki keadaan yang sepenuhnya beroperasi, sepenuhnya tidak beroperasi, maupun beroperasi secara parsial. Perhitungan probabilitas pembangkit menggunakan (1) [7].

$$P(X) = \sum_{i=1}^n p_i P'(X-C_i) \tag{1}$$

dengan P(X) merupakan probabilitas kumulatif dari keadaan *capacity outage* sebesar X MW sesudah sebuah unit ditambahkan, n merupakan jumlah keadaan dari unit, C<sub>i</sub> merupakan *capacity outage* dari keadaan i untuk unit yang ditambahkan, dan p<sub>i</sub> merupakan probabilitas keadaan i dari unit yang ada.

B. Indeks Keandalan

LOLE menunjukkan kondisi dengan beban puncak harian akan melebihi kapasitas yang tersedia. Indeks keandalan LOLE dihitung menggunakan (2) [7].

$$LOLE = \sum_{i=1}^n P_i(C_i-L_i) \text{ hari/periode} \tag{2}$$

dengan C<sub>i</sub> merupakan kapasitas yang tersedia pada hari ke-i, L<sub>i</sub> merupakan ramalan beban puncak pada hari ke-i, dan P<sub>i</sub>(C<sub>i</sub>-L<sub>i</sub>) merupakan probabilitas dari kehilangan beban pada hari ke-i.

Jika nilai LOLE dibagi dengan 365, maka akan dihasilkan probabilitas dalam satu tahun saat kehilangan beban terjadi akibat *forced outage* atau dikenal sebagai indeks keandalan LOLP [8]. LOLP adalah probabilitas dari keseluruhan permintaan beban yang tidak dapat terlayani [9]. Semakin kecil nilai LOLP, semakin kecil pula probabilitas sistem tenaga tidak dapat melayani beban, sehingga keandalan sistem tenaga menjadi semakin baik [10]. Indeks keandalan LOLP dihitung menggunakan (3).

$$LOLP = LOLE/365 \tag{3}$$

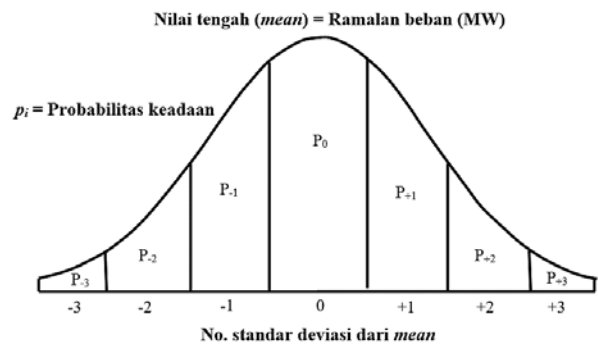
dengan 365 merupakan asumsi jumlah hari dalam waktu satu tahun.

Standar yang digunakan adalah standar dari PT. PLN (Persero) yaitu untuk LOLE adalah 1hari/tahun dan LOLP sebesar 0,274%.

C. Ketidakpastian Peramalan Beban

Dalam melakukan evaluasi keandalan, diperlukan representasi beban di masa yang akan datang dengan menggunakan data beban puncak harian tahun sebelumnya. Beban puncak harian ini selanjutnya diurutkan berdasarkan

yang tertinggi sampai yang terendah selama satu tahun, untuk mendapatkan *load duration curve* (LDC) atau kurva lama beban.



Gbr. 1 Pemodelan ketidakpastian peramalan beban.

Pemodelan ketidakpastian peramalan beban atau *load forecast uncertainty* (LFU) dilakukan menggunakan distribusi normal dengan tujuh kelas interval. Ilustrasi pemodelan ketidakpastian peramalan beban ditunjukkan pada Gbr. 1. Setiap kelas interval merepresentasikan probabilitas beban dapat terjadi dan nilai beban yang diramalkan direpresentasikan dengan nilai tengah kelas intervalnya. Ketidakpastian dapat direpresentasikan dengan distribusi normal dengan rerata sebesar 0 dan standar deviasi sesuai dengan (4).

$$\sigma = \frac{\% \text{ketidakpastian} * \text{ramalan beban}}{100} \tag{4}$$

dengan σ merupakan standar deviasi peramalan.

Besar resiko keandalan diperoleh dari hasil perkalian antara indeks keandalan pada setiap beban yang direpresentasikan oleh interval kelas dengan probabilitas bebannya. Indeks keandalan LOLE dengan mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban merupakan penjumlahan dari hasil perkalian tersebut. Secara matematis, perhitungan indeks keandalan LOLE ditunjukkan pada (5) [11], [12].

$$LOLE = \sum_{i=1}^m LOLE_i(m) PL_i(m) \tag{5}$$

dengan m merupakan jumlah interval kelas dan PL merupakan probabilitas beban terjadi.

III. METODOLOGI

A. Perhitungan Indeks Keandalan

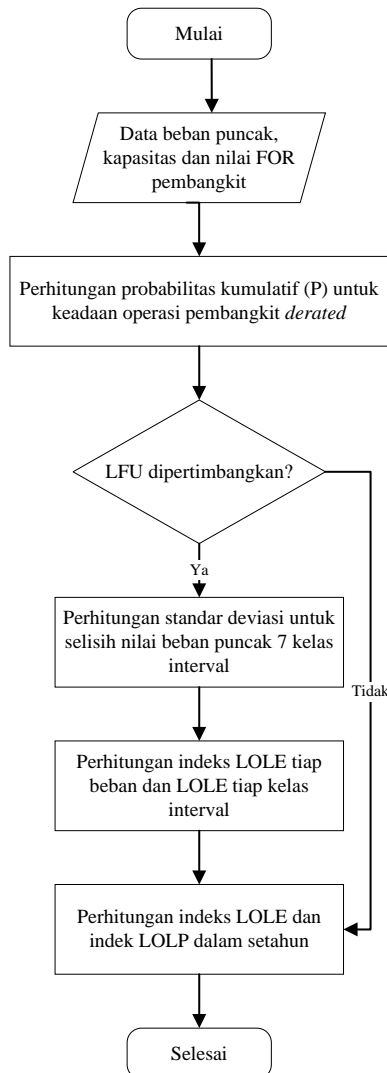
Pada makalah ini terdapat dua skenario perhitungan indeks keandalan LOLE, yaitu tanpa mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban dan dengan mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban. Perhitungan indeks keandalan diawali dengan masukan data beban puncak, kapasitas, dan nilai *force outage rate* (FOR) pembangkit.

Kemudian, nilai probabilitas kumulatif dihitung menggunakan algoritme *recursive* untuk pembentukan model kapasitas pada keadaan operasi *derated*. Pada skenario tanpa mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban, langkah selanjutnya adalah menghitung indeks keandalan LOLE kemudian dikonversikan menjadi indeks keandalan LOLP (3).

Pada skenario dengan mempertimbangkan ketidakpastian pemrograman beban, setelah pembentukan model kapasitas dan menentukan probabilitas beban terjadi.

Secara keseluruhan, perhitungan ini menggunakan pemrograman yang dilakukan dengan perangkat lunak MATLAB. Diagram alir perhitungan indeks keandalan LOLE dan LOLP ditunjukkan pada Gbr. 2.

Nilai standar deviasi dihitung untuk mendapatkan nilai selisih beban di setiap kelas interval. Selanjutnya indeks keandalan LOLE pada periode tersebut dihitung menggunakan (5). Seperti pada skenario sebelumnya, indeks keandalan LOLE dikonversi menjadi indeks keandalan LOLP (3). Setelah mendapatkan nilai indeks keandalan LOLE dan LOLP, kemudian nilai indeks keandalan tersebut dibandingkan dengan nilai standar yang ditetapkan oleh PT. PLN (Persero), sehingga diperoleh hasil dan dapat digunakan untuk studi beban dan pembangkit pada periode 2015-2024. Untuk mengurangi beban komputasi saat proses perhitungan, dilakukan pembulatan kapasitas pembangkit dengan nilai kelipatan 10.



Gbr. 2 Diagram alir perhitungan indeks keandalan.

TABEL I  
ASUMSI NILAI FOR PEMBANGKIT LISTRIK UNTUK PERIODE PERENCANAAN 2015-2024

Tipe Pembangkit	Kapasitas (MW)	FOR (%)
PLTU	1.000	12
	600	12
	200	12
	100	12
	50	10
	25	10
PLTP	0 - 110	5
PLTA	1 s/d tak terhingga	1
PLTG	25 - 200	7
PLTMG	1 s/d tak terhingga	7
PLTGU	0 - 750	10

TABEL II  
BEBAN PUNCAK MAKSIMAL YANG MAMPU DISUPLAI SISTEM JAWA-BALI PADA TAHUN 2015-2024

Tahun	Kapasitas pembangkit (MW)	Beban maksimal (MW)
2015	33.420	29.650
2016	35.190	31.200
2017	38.090	33.750
2018	43.210	38.700
2019	56.350	49.250
2020	58.530	49.300
2021	60.850	51.500
2022	63.180	53.500
2023	66.740	57.050
2024	69.740	60.100

B. Data dan Pendekatan Sistem Jawa Bali

Penelitian ini menggunakan data evaluasi operasi sistem tenaga listrik Jawa-Bali [13]. Rencana penambahan nilai kapasitas pembangkit untuk evaluasi perencanaan sistem Jawa-Bali menggunakan RUPTL [3]. Dalam melakukan evaluasi perencanaan sistem tenaga listrik, asumsi nilai FOR pembangkit yang akan ditambahkan pada periode perencanaan menggunakan data korespondensi dengan PT. PLN (Persero) yang ditunjukkan pada Tabel I.

Data beban puncak harian tahun 2013 digunakan sebagai acuan untuk menentukan beban puncak harian pada tahun-tahun selanjutnya [13]. Untuk periode perencanaan tahun 2015-2024, beban puncak harian diproyeksikan naik dengan nilai rerata 8,2% per tahun [3]. Hasil perhitungan nilai beban puncak yang mampu disuplai sistem Jawa-Bali pada periode perencanaan tahun 2015-2024 ditunjukkan pada Tabel II.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pembangkit Jawa-Bali pada tahun 2013 memiliki 248 unit pembangkit [13]. Pada periode perencanaan tahun

2015-2024 terdapat rencana penambahan 78 unit pembangkit baru [5]. Dari data tersebut dilakukan evaluasi perhitungan indeks keandalan LOLE dan LOLP sistem tenaga listrik Jawa-Bali pada periode perencanaan tahun 2015-2024 dengan dua skenario evaluasi: tanpa mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban dan dengan mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban. Hasil dari perhitungan kedua skenario tersebut akan dibandingkan dengan standar yang digunakan. Kemudian dianalisis perbedaan hasil dari skenario yang mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban dengan tanpa mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban.

**A. Analisis Keandalan Tanpa Mempertimbangkan Ketidakpastian Beban**

Evaluasi sistem Jawa-Bali tanpa mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban dilakukan untuk periode perencanaan tahun 2015-2024. Nilai beban puncak harian mempengaruhi nilai LOLE harian yang dihasilkan. Hasil perhitungan indeks keandalan LOLE dan LOLP pada periode perencanaan tahun 2015-2024 tanpa mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban disajikan pada Tabel III.

TABEL III  
INDEKS KEANDALAN SISTEM JAWA-BALI TANPA MEMPERTIMBANGKAN KETIDAKPASTIAN PERAMALAN BEBAN

Tahun	LOLE (hari/tahun)	LOLP (%)
2015	$6,34 \times 10^{-7}$	$1,74 \times 10^{-7}$
2016	$3,59 \times 10^{-5}$	$9,84 \times 10^{-6}$
2017	$3,46 \times 10^{-5}$	$9,47 \times 10^{-6}$
2018	$1,64 \times 10^{-6}$	$4,50 \times 10^{-7}$
2019	$2,27 \times 10^{-11}$	$6,23 \times 10^{-12}$
2020	$4,98 \times 10^{-9}$	$1,36 \times 10^{-9}$
2021	$1,16 \times 10^{-7}$	$3,17 \times 10^{-8}$
2022	$3,77 \times 10^{-6}$	$1,03 \times 10^{-6}$
2023	$7,00 \times 10^{-6}$	$1,92 \times 10^{-6}$
2024	$6,91 \times 10^{-5}$	$3,17 \times 10^{-6}$

TABEL IV  
INDEKS KEANDALAN SISTEM JAWA-BALI DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KETIDAKPASTIAN PERAMALAN BEBAN

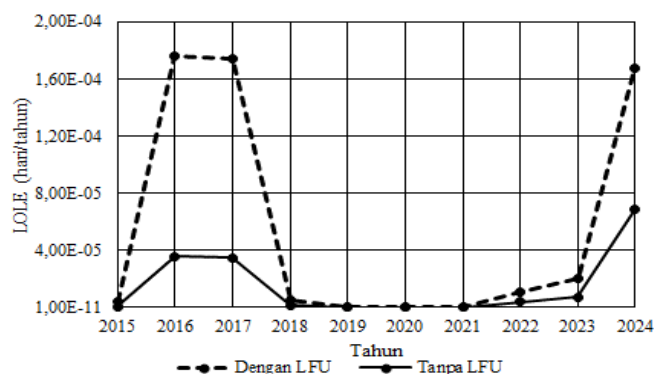
Tahun	LOLE (hari/tahun)	LOLP (%)
2015	$3,97 \times 10^{-6}$	$1,09 \times 10^{-6}$
2016	$1,76 \times 10^{-4}$	$4,82 \times 10^{-5}$
2017	$1,74 \times 10^{-4}$	$4,77 \times 10^{-5}$
2018	$5,17 \times 10^{-6}$	$1,42 \times 10^{-6}$
2019	$8,39 \times 10^{-11}$	$2,30 \times 10^{-11}$
2020	$1,87 \times 10^{-8}$	$5,12 \times 10^{-9}$
2021	$3,77 \times 10^{-7}$	$1,03 \times 10^{-7}$
2022	$1,04 \times 10^{-5}$	$2,84 \times 10^{-6}$
2023	$1,99 \times 10^{-5}$	$5,47 \times 10^{-6}$
2024	$1,67 \times 10^{-4}$	$4,58 \times 10^{-5}$

**B. Analisis Keandalan dengan Mempertimbangkan Ketidakpastian Beban**

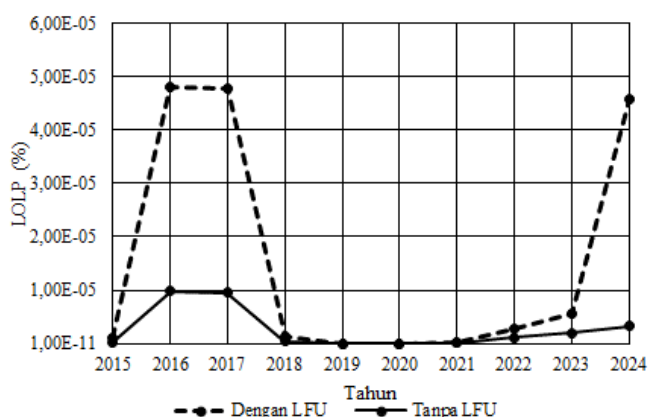
Evaluasi sistem Jawa-Bali dengan mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban dilakukan untuk periode perencanaan tahun 2015-2024. Dalam melakukan evaluasi ini, perlu ditentukan nilai standar deviasi dengan menggunakan data proyeksi dan realisasi pertumbuhan beban puncak sebelumnya [14]. Ketidakpastian peramalan diperoleh dari nilai standar deviasi galat, yaitu sebesar 1,58%. Dengan menggunakan (4), diperoleh nilai standar deviasi peramalan sebesar 380,259 MW. Hasil perhitungan indeks keandalan LOLE dan LOLP pada periode perencanaan tahun 2015-2024 dengan mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban disajikan pada Tabel IV.

**C. Komparasi Hasil Evaluasi**

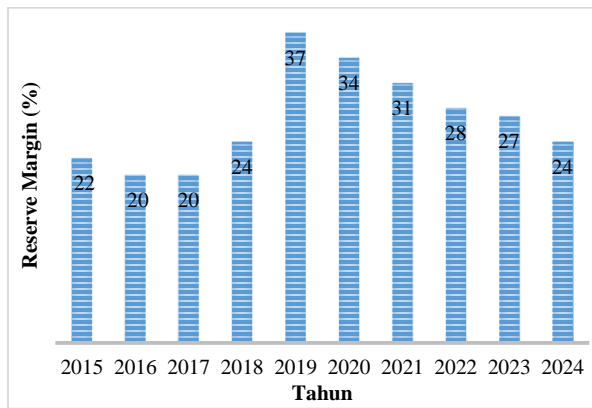
Indeks keandalan LOLE dan LOLP hasil evaluasi memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan PT. PLN (Persero), yaitu 1 hari/tahun untuk LOLE dan 0,274% untuk LOLP. Nilai ini dipengaruhi oleh tersedianya *reserve margin* yang cukup untuk memenuhi kebutuhan beban. Perbandingan indeks keandalan LOLE dan LOLP sistem Jawa-Bali untuk dua skenario ditunjukkan oleh Gbr. 3 dan Gbr. 4.



Gbr. 3 Perbandingan indeks keandalan LOLE tanpa dan dengan mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban.



Gbr. 4 Perbandingan indeks keandalan LOLP tanpa dan dengan mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban.



Gbr. 5 Reserve margin periode tahun 2015-2024.

Indeks keandalan LOLE dan LOLP dengan dan tanpa mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban memiliki perbedaan. Jika mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban, nilai LOLE dan LOLP lebih tinggi daripada tanpa mempertimbangkan LFU, yang artinya keandalan menjadi lebih buruk. Hal ini perlu diperhatikan oleh pihak PT. PLN (Persero) dalam merencanakan penyediaan tenaga listrik di sistem Jawa-Bali.

Secara umum, nilai indeks keandalan tertinggi diperoleh pada tahun 2016, dengan penambahan pembangkit relatif lebih rendah dibandingkan dengan pertumbuhan beban, sehingga *reserve margin* terendah terjadi pada tahun 2016, seperti ditunjukkan pada Gbr. 5.

Indeks keandalan terendah dicapai pada tahun 2019, dikarenakan program pembangunan pembangkit 35.000 MW oleh Pemerintah telah terselesaikan, sehingga *reserve margin* tahun 2019 merupakan nilai yang tertinggi. Dari Gbr. 5 dapat dilihat bahwa di tahun 2019 *reserve margin* adalah sebesar 37%.

Dari Gbr. 3 dapat dilihat bahwa dengan mempertimbangkan LFU, maka nilai indeks LOLE menjadi lebih tinggi, yang artinya tingkat keandalan lebih rendah dibandingkan dengan tanpa LFU. Dari Gbr. 4 dapat dicermati bahwa dengan mempertimbangkan LFU maka nilai indeks LOLP menjadi lebih tinggi, yang artinya tingkat keandalan lebih rendah dibandingkan dengan tanpa LFU. Namun, nilai LOLE dan LOLP dengan LFU tersebut masih dalam nilai andal sesuai standar PLN, sehingga dapat dikatakan bahwa perencanaan untuk sistem Jawa-Bali telah memenuhi standar.

## V. KESIMPULAN

Evaluasi keandalan sistem Jawa-Bali untuk periode perencanaan tahun 2015-2024 ditunjukkan pada makalah ini. Terdapat dua skenario analisis yaitu dengan dan tanpa

mempertimbangkan ketidakpastian peramalan beban (LFU). Tanpa LFU, kondisi terbaik dari sistem Jawa-Bali dicapai pada tahun 2019 dengan nilai indeks keandalan yaitu 2,27E-11 hari/tahun untuk LOLE dan 6,23E-12% untuk LOLP. Sementara kondisi terburuk terjadi pada tahun 2016, dikarenakan penambahan pembangkit lebih rendah daripada pertumbuhan beban, sehingga *reserve margin* relatif rendah.

## REFERENSI

- [1] W. D. Stevenson and J. J. Grainger, *Power System Analysis*, New York: McGraw-Hill, 1994.
- [2] R. Billinton and R. N. Allan, "Power System Reliability in Perspective," *IEEE J. Electronics Power*, vol. 30, pp. 231-6, 1984.
- [3] Bambang Winardi, Heru Winarno, and Kurnanda Rizky Aditama, "Perbaikan Losses dan Drop Tegangan PWI 9 dengan Pelimpahan Beban Ke Penyulang Baru PWI 11 di PT PLN (Persero) Area Semarang," *TRANSMISI*, vol. 2, no. 18, pp. 65-69, 2016.
- [4] Rudy Gianto, Hendro Priyatman, "Optimalisasi Peralatan Kontrol Sistem Tenaga Listrik Untuk Meningkatkan Kestabilan Sistem Berukuran Besar," *TRANSMISI*, vol. Oktober 2015, no. 17, pp. 218-225, 2015.
- [5] "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2015-2024", PT. PLN (Persero), 2015.
- [6] Aditya, Reza, (2002) Tempo.co. [Online]. Available: <http://bisnis.tempo.co/read/news/2015/09/10/092699460/alasan-jokowi-lanjutkan-proyek-listrik-35-ribu-mw>, Diakses pada 10 November 2015.
- [7] Billinton, Roy, Allan, Ronald N., *Reliability Evaluation of Power System*, New York: Plenum Press, 1996. Prasetyo,
- [8] V. P. N, "Loss of Load Probability of a Power System," Munich Personal RePEc Archive, Muenchen, 2008.
- [9] Kurniawan, Nanang, "Studi Peningkatan Keandalan Sistem Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tambak Lorok Berdasarkan Probabilistik Kehilangan Beban," Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia, 2003.
- [10] Gunawan Eko, Sulasno, Susatyo Handoko, "Studi Tentang Indeks Keandalan Pembangkit Tenaga Listrik Wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta," Skripsi, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 2011.
- [11] Vega Hernandez, Nahun Bulmaro, "Load Forecast Uncertainty Considerations In Bulk Electrical System Adequacy Assessment," M.Sc. Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, 2009.
- [12] Wijayanti, Daniar Rizki, "Penjadwalan Pembangkit Dengan Constraint Keandalan Menggunakan Algoritma Genetika Mempertimbangkan Ketidakpastian Beban," Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2014.
- [13] PT. PLN (persero) P3B Jawa Bali, "Evaluasi Operasi Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali," PT. PLN (persero) P3B Jawa Bali, Jakarta, 2013.
- [14] PT. PLN (persero), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2009-2018," PT. PLN (persero), Jakarta, 2008.