

Pengoperasian Sistem Tenaga Listrik Dengan Penempatan *Slack Bus* Di Tiga Gardu Berbeda Pada Sistem Kelistrikan Sulselbar 56 Bus

S. Sofyan¹⁾, Jihan Hamidah Wartapane²⁾, Muhammad Alfattah³⁾, Muhammad Thalib⁴⁾,
Muhira Dzar Faraby⁵⁾, Ahmad Rizal Sultan⁶⁾

¹ Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
sofiantato@poliupg.ac.id,

² Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
jihanwartapane@gmail.com,

³ Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
fattah.mrpsqr@gmail.com,

⁴ Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
thalib270301@gmail.com,

⁵ Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
muhiradzfaraby@poliupg.ac.id,

⁶ Program Studi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang
rizal.sultan@poliupg.ac.id

Abstrak

Kontinuitas energi listrik tidak terlepas dari keandalan gardu induk. *Slack bus* digunakan untuk mengalihkan fungsi dari gardu induk yang satu ke gardu induk yang lain jika terjadi gangguan. *Slack Bus* dipersiapkan untuk memenuhi perbedaan antara beban yang terjadi dengan daya pembangkitan yang disebabkan oleh *losses* pada jaringan. Pada Penelitian ini, dilakukan simulasi pengoperasian sistem tenaga listrik dengan penempatan *slack bus* pada tiga gardu yang berbeda, yaitu pada *bus-1* (Bakaru), *bus-31* (Punagaya), dan *bus-37* (Sengkang). Pada sistem kelistrikan SULSELBAR 56 bus tahun 2022, simulasi dilakukan dengan menggunakan *software MATLAB 2013a*. Hasil simulasi total *losses* terkecil terjadi saat Bus Sengkang dipilih menjadi *slack bus* dengan total *losses* sebesar 123.11 MW dan 499.72 MVar.

Keywords: *slack bus, MATLAB, distribusi listrik, keandalan sistem*

I. PENDAHULUAN

Keandalan tenaga listrik adalah menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan terutama pelanggan daya besar yang membutuhkan kontinuitas penyaluran tenaga listrik secara mutlak. Apabila tenaga listrik tersebut putus atau tidak tersalurkan akan mengakibatkan proses produksi dari pelanggan besar tersebut terganggu [1]. Jika kontinuitas tidak terjaga maka akan timbul banyak kerugian pada konsumen, utamanya pada perkantoran, industri, dan semua bidang usaha bahkan hingga ke rumah-rumah.

Berbagai upaya dilakukan oleh penyedia tenaga listrik dalam menjaga kontinuitas energi listrik dan keandalan sistem. Kontinuitas energi listrik tidak terlepas dari keandalan gardu induk. Oleh karena itu, keberlangsungan dan keandalan gardu induk sangatlah penting.

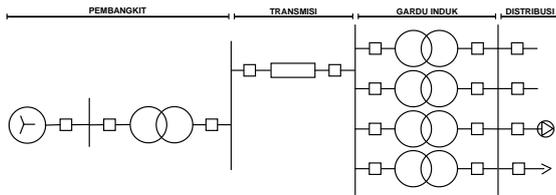
Pada sistem distribusi, masing-masing gardu induk melayani area tertentu. Namun, jika terjadi gangguan pada suatu gardu induk, maka gardu induk lain harus bisa menggantikan fungsi dari gardu induk yang bermasalah tersebut. Oleh karena itu, peralihan fungsi dari gardu induk ke gardu induk yang lain harus cepat. Untuk tujuan tersebut, maka digunakan *slack bus* yang secara otomatis akan mengalihkan fungsi dari gardu induk yang satu ke gardu induk yang lain jika terjadi gangguan.

Slack bus adalah bus yang diambil sebagai referensi dimana *magnitude* dan sudut fasa diketahui. Bus ini dipersiapkan untuk memenuhi perbedaan antara beban yang terjadi dengan daya pembangkitan yang disebabkan oleh *losses* pada jaringan. Pada Penelitian ini, akan dilakukan simulasi pengoperasian sistem tenaga listrik dengan penempatan *slack bus* pada tiga gardu yang berbeda, yaitu pada Bus Bakaru, Bus Punagaya, dan Bus Sengkang. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software MATLAB 2013a*.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk yang mana antara satu dengan yang lainnya dihubungkan oleh sistem penyaluran (transmisi dan distribusi) sehingga menjadi suatu kesatuan interkoneksi. Batasan untuk suatu sistem kelistrikan yang kompleks memiliki tiga unsur, yaitu sistem pembangkit, sistem penyaluran dan sistem instalasi beban/pengguna tenaga listrik. sistem tenaga listrik dimulai dari bagian pembangkit kemudian disalurkan ke gardu induk penaik tegangan [2].



Gambar 1. Struktur Jaringan Sistem Tenaga Listrik Sederhana [3]

A.1 Sistem Distribusi

Dalam menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit kepada konsumen diperlukan suatu jaringan tenaga listrik. Sistem jaringan ini terdiri dari jaringan transmisi (sistem tegangan ekstra tinggi dan tegangan tinggi) dan jaringan distribusi (sistem tegangan menengah dan tegangan rendah).

Suatu sistem distribusi menghubungkan semua beban yang terpisah satu dengan yang lain dengan saluran transmisi. Hal ini terjadi pada gardu induk (*substation*) dimana juga dilaksanakan transformasi tegangan dan fungsi-fungsi pemutusan dan penghubungan beban (*switching*).

Fungsi utama sistem distribusi adalah menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk distribusi (*distribution substation*) kepada pelanggan listrik dengan mutu pelayanan yang memadai [4]. Salah satu unsur dari mutu pelayanan adalah kontinuitas pelayanan yang tergantung pada topologi dan konstruksi jaringan serta peralatan tegangan menengah.

A.2 Gardu Induk (GI)

Pada bagian ini jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah Pusat Pembangkit Tenaga Listrik dan umumnya terletak di pinggiran kota. Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat - pusat beban (konsumen) dilakukan dengan jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jika sistem pendistribusian tenaga listrik dilakukan secara tak langsung, maka bagian pertama dari sistem pendistribusian tenaga listrik adalah Gardu Induk yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan transmisi dan menyalurkan tenaga listrik melalui jaringan distribusi primer [5].

B. Studi Aliran Daya

Pada dasarnya studi aliran daya digunakan untuk menganalisa keadaan sekarang dari sistem dan merancang pengembangan sistem selanjutnya. Persoalan aliran daya ini terdiri dari perhitungan aliran daya dan tegangan dari suatu jaring pada suatu kondisi tertentu.

Studi ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode manual maupun menggunakan bantuan *software* yang pada dasarnya studi ini tetap menggunakan faktor utama, yaitu Tegangan Bus, Faktor daya, Arus dan Aliran Daya dari pembangkitan ke pembebanan pada sistem tenaga listrik yang dianalisa.

Besaran awal yang dibutuhkan sebagai input dalam loadflow adalah tegangan magnitudo dan sudut fasa bus

swing, daya aktif dan reaktif bus beban, serta daya aktif dan tegangan bus generator [6].

Masalah aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal tertentu atau bus tertentu. Representasi fasa tunggal selalu dilakukan karena sistem dianggap seimbang. Dalam studi aliran daya terdapat tiga tipe bus, dalam masing-masing tipe bus minimal diketahui dua dari empat besaran yang ada. Pada setiap perhitungan harus dipilih salah satu bus sebagai slack bus. Hubungan antar bus oleh jaringan dijelaskan dengan memakai nomor bus. Kondisi kerja harus selalu ditentukan untuk setiap studi [7].

C. Rugi-Rugi Daya

Rugi daya atau susut daya listrik merupakan kebocoran daya atau daya yang hilang disepanjang jalur penyaluran tenaga listrik. Hal ini disebabkan oleh resistansi yang ada pada bahan pembentuk konduktor. Sedangkan jatuh tegangan adalah kondisi tegangan di ujung titik terima yang lebih rendah daripada ujung kirim.

Tahanan dalam suatu konduktor akan menghasilkan jatuh tegangan yang sebanding dengan panjang konduktor (kabel), jatuh tegangan berpengaruh pada ujung penerimaan (beban) [8].

Penempatan *slack bus* pada tiga gardu induk yang berbeda juga dapat membantu dalam mengurangi rugi daya dalam sistem tenaga listrik. Dengan mendistribusikan aliran daya melalui gardu-gardu induk yang berbeda, jarak perjalanan daya dapat dikurangi, sehingga mengurangi jumlah rugi daya yang terjadi dalam sistem.

Adapun untuk besarnya rugi-rugi daya aktif dapat ditentukan oleh besarnya arus yang mengalir dan besarnya tahanan pada penghantar, yaitu: [9].

$$\Delta P = I^2 \times R \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- ΔP = Rugi-rugi daya (W)
- I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)
- R = Tahanan Penghantar (Ω)

Rugi-rugi daya reaktif adalah:

$$\Delta Q = I^2 \cdot X \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

- ΔQ = Rugi-rugi daya reaktif (VAr)
- I = Arus pada penghantar (A)
- X = Reaktansi Induktor atau reaktansi kapasitor (Ω)

D. Penyeimbangan Beban

Penempatan *slack bus* pada tiga gardu induk yang berbeda dapat membantu dalam penyeimbangan beban di dalam sistem tenaga listrik. Dengan mendistribusikan beban ke gardu-gardu induk yang berbeda, dapat dihindari terjadinya kelebihan beban pada satu gardu induk tertentu, sementara gardu-gardu lainnya memiliki beban yang

lebih rendah. Hal ini dapat membantu menjaga stabilitas dan kinerja sistem secara keseluruhan.

E. Peningkatan Keandalan

Dengan menggunakan tiga gardu induk yang berbeda sebagai *slack bus*, sistem tenaga listrik dapat menjadi lebih andal. Jika terjadi gangguan pada salah satu gardu induk, *slack bus* dapat dengan cepat beralih ke gardu induk yang lainnya untuk menjaga kontinuitas pasokan listrik. Hal ini dapat mengurangi dampak pemadaman listrik dan meningkatkan keandalan sistem.

F. Peningkatan Stabilitas

Penempatan *slack bus* pada tiga gardu induk yang berbeda juga dapat membantu dalam meningkatkan stabilitas sistem tenaga listrik. Dengan menggunakan gardu-gardu induk yang terpisah, sistem memiliki redundansi dan toleransi terhadap gangguan atau kegagalan yang mungkin terjadi. Hal ini dapat membantu mencegah terjadinya penyebaran gangguan dan mempertahankan stabilitas operasi sistem.

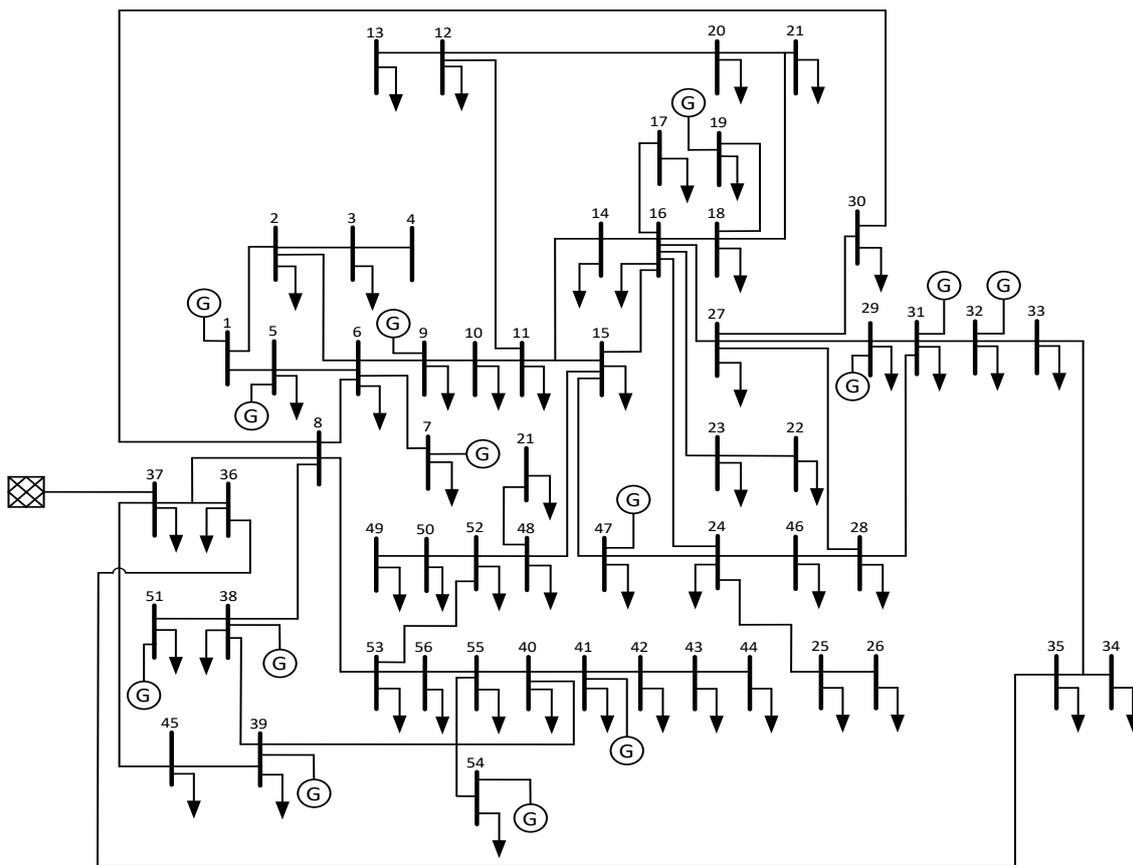
G. Aliran Daya Menggunakan MATLAB

Studi dan Analisa *Load Flow* atau Aliran Daya dilakukan penempatan *slack bus* pada sistem SULSELBAR. Pengolahan data dan simulasi dikerjakan menggunakan *software matlab 2013a* [10]. Pada Analisa yang akan dilakukan nantinya akan dilakukan perhitungan terhadap tegangan jalur, total daya *losses*, total daya pembangkitan, dan total daya beban. Simulasi pada *software* ini menggunakan Sumber daya *slack bus*, tegangan pada banyak sumber dan beban.

III. METODE PENELITIAN

A. Sistem Kelistrikan Sulselbar 56-bus

Data yang dihimpun atau dikumpulkan adalah data yang menyangkut komponen-komponen di dalam *single line diagram* SULSELBAR sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Simulasi yang akan dilakukan menggunakan *software MATLAB 2013a*. Jumlah *bus* pembangkit sebanyak 15 *bus*, jumlah *bus* beban sebanyak 41 *bus*, dan total daya beban yang disalurkan sebesar 1809.61 MW dan 692.27 MVAR.



Gambar 2. Single Line Diagram SULSELBAR 56-bus.

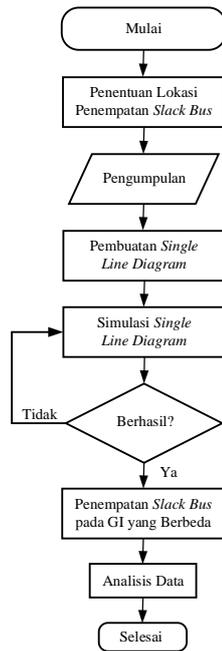
B. Studi Kasus

Pada Penelitian ini, dilakukan simulasi pengoperasian sistem tenaga listrik dengan penempatan *slack bus* pada tiga gardu yang berbeda, yaitu pada Bus Bakar, Bus Punagaya, dan Bus Sengkang.

C. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian adalah level atau tingkatan dalam penelitian yang dilakukan secara terstruktur, runtut, baku, logis dan juga sistematis. Tahapan Penelitian

digambarkan dengan bagan alir seperti pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Flow chart diagram penelitian

D. Prosedur Penelitian

Penentuan lokasi penempatan *slack bus* (terdapat 3 kandidat bus, yaitu Bus Bakaru, Bus Punagaya, dan Bus Sengkang); Pengumpulan data, yaitu data Pembangkit, Transformator, Saluran Transmisi, dan beban; Pemodelan Sistem tenaga listrik SULSELBAR menggunakan *Software MATLAB 2013a* dan memasukkan data, yaitu data Pembangkit, Transformator, Saluran Transmisi, dan beban; Simulasi *Single Line* untuk mengetahui aliran daya pada Sistem Interkoneksi; Pengujian data, hasil simulasi apakah sudah sesuai dengan standar yang telah ditentukan; Analisa hasil simulasi, tahap terakhir dimana pengujian *single line diagram* sistem interkoneksi SULSELBAR Tahun 2022, setelah dilakukan simulasi *load flow*; Kesimpulan, hasil simulasi *load flow* sistem

interkoneksi SULSELBAR menggunakan *software MATLAB 2013a*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil studi aliran daya akan menampilkan kondisi tegangan setiap bus dalam p.u, sudut tegangan beban dalam MW dan MVAR, dan injeksi MVAR.

Untuk menentukan *slack bus* terbaik, maka perlu membandingkan rugi-rugi yang terjadi setiap kemungkinan *slack bus* ditempatkan.

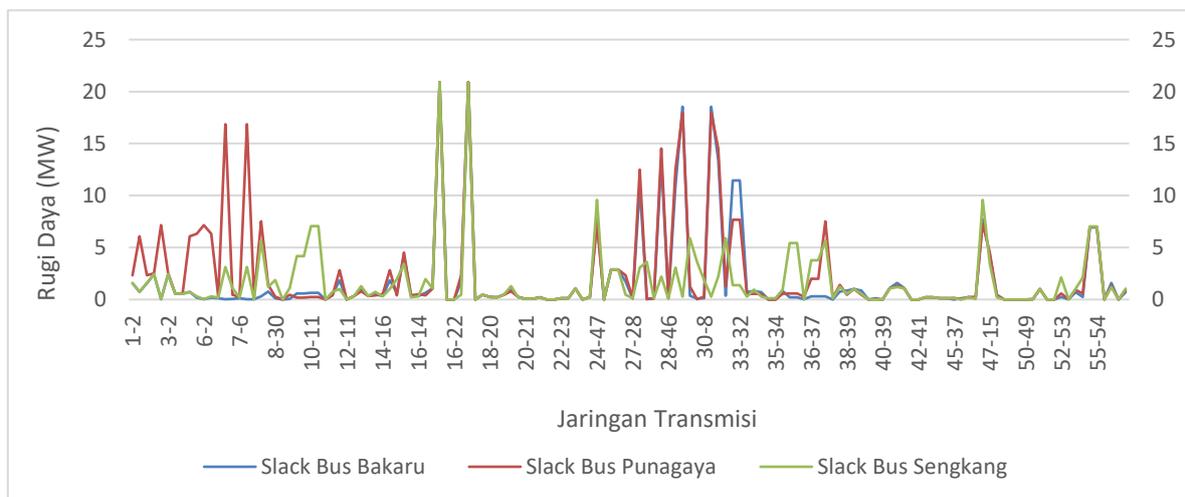
Untuk itu, Dari Tabel 1. dapat dilihat total rugi-rugi daya, dan total daya yang dibangkitkan untuk setiap posisi *slack bus*.

Tabel 1. Total Rugi-Rugi Daya dan Total Daya Pembangkitan

Posisi Slack Bus	Total Losses			Total Generation	
	MW	MVAr	MVA	MW	MVAr
Bakaru	169,32	710,03	729,94	170,16	146,92
Punagaya	117,39	528,11	541,03	84,78	5,04
Sengkang	123,11	499,72	514,66	80,45	106,80

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa ketika *slack bus* yang ditempatkan pada Bus Bakaru, yaitu total daya pembangkitan yang disalurkan ke sistem sebesar 170,16 MW dan 146,92 MVAr, serta total rugi-rugi daya sebesar 169,32 MW dan 710.03 MVAr. Untuk *slack bus* yang ditempatkan pada Bus Punagaya, yaitu total daya pembangkitan yang disalurkan ke sistem sebesar 84.78 MW dan 5.04 MVAr, serta total rugi-rugi daya sebesar 117.39 MW dan 528,11 MVAr. Untuk *slack bus* yang ditempatkan pada Bus Sengkang, yaitu total daya pembangkitan yang disalurkan ke sistem sebesar 80,45 MW dan 106,80 MVAr, serta total rugi-rugi daya sebesar 123,11 MW dan 499,72 MVAr. Dapat dilihat bahwa total losses terkecil sebesar 514,66 MVA dengan penempatan *slack bus* pada Bus Sengkang

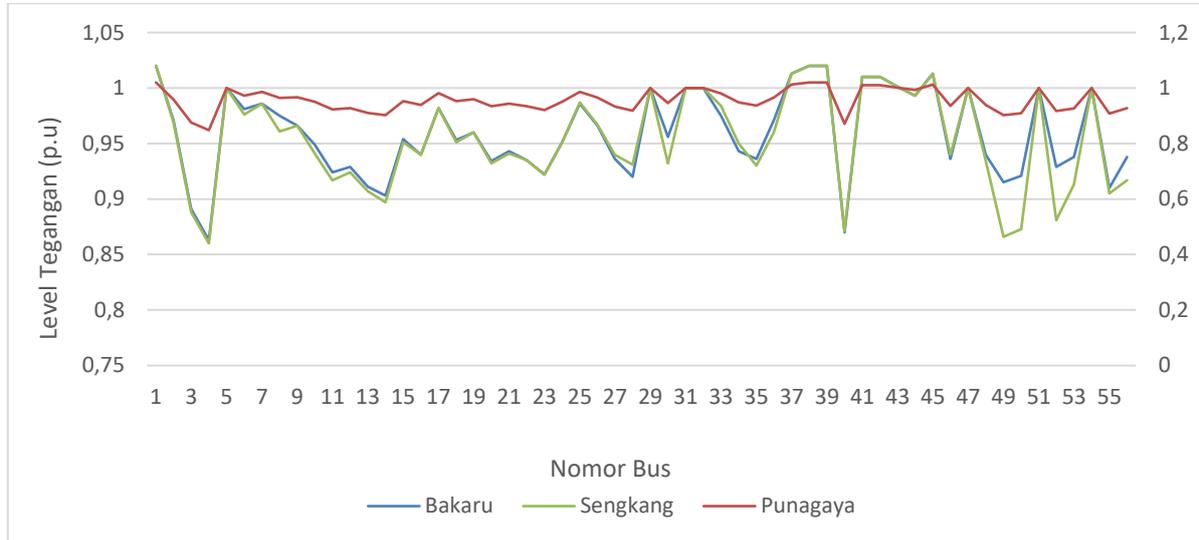
Adapun rincian hasil rugi daya pada setiap koneksi kabel transmisi pada sistem sulselbar dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rugi Daya di setiap Koneksi Kabel Transmisi pada Sistem Sulselbar

Dari Grafik di atas dapat dilihat bahwa terdapat rugi daya pada jaringan transmisi yang terbesar, terdapat pada *slack bus* Bakaru, sedangkan rugi daya rata - rata terkecil terdapat pada *Slack Bus* Sengkang. Rugi daya terbesar terdapat pada *Line* 16-17 yakni sebesar 20.91 MW dengan penempatan *slack bus* di Bus Bakaru.

Dari hasil simulasi juga di dapatkan data level tegangan yang menjelaskan tentang perbandingan level tegangan p.u di pada setiap bus di ketiga kandidat *slack bus* pada Sistem Sulselbar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Level Tegangan (p.u) di tiga kandidat *slack bus* pada Sistem Sulselbar

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa level tegangan rata-rata berada di atas 0,9 p.u di setiap penempatan ketiga kandidat *slack bus*. Level tegangan tertinggi berada pada bus-1 di ketiga kandidat *slack bus*, dengan level tegangan berada pada 1,02 p.u dan level tegangan terendah berada pada Bus-4 dengan penempatan *slack bus* di Bus Bakaru, level tegangannya berada pada 0,848 p.u.

V. KESIMPULAN

Dari ketiga kandidat, yang dipilih sebagai *Slack Bus* berdasarkan nilai rugi-rugi terkecil adalah Bus Sengkang dengan total rugi daya sebesar 123,11 MW dan 499,72 MVar, serta total daya pembangkitan yang disalurkan ke sistem sebesar 80,45 MW dan 106,80 MVar. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa letak *slack bus* berada pada bus generator yang memiliki kapasitas paling besar. Hal ini sesuai dengan pemilihan *slack bus* yang umumnya dilakukan untuk studi aliran daya, yaitu memilih bus generator yang memiliki kapasitas generator yang besar.

REFERENCE

[1] Ibnu Hajar and Muhammad Hasbi Pratama, “Analisa Nilai Saidi Saifi Sebagai Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik Pada Penyulang Cahaya PT. PLN (PERSERO) Area Ciputat”, Energi & Kelistrikan Vol. 10 No.1 Hal. 70 – 77, 2018, DOI: 10.33322/energi.v10i1.330.

[2] Adrianto Fariris and Ir. Sumpena. MM, “Penggunaan Teleproteksi Digital Untuk Mendukung Keandalan Sistem Proteksi *Defense Scheme*”, Jakarta Timur, Indonesia, 2022, DOI: 10.35968/jti.v11i1.

[3] Riza Samsinar and Witji Wiyono, “Studi Keandalan Rekonfigurasi Jaringan Program *Zero Down Time* (Zdt) di Kawasan *Sudirman Central Business Distric* (Scbd) Menggunakan *Software ETAP 12.6*”, 2019, Jakarta Pusat, Indonesia, DOI: 10.24853/resistor.2.1.65-72.

[4] Nurmiati Pasra and Syarif Hidayat and Enry Idil Fitriani, “ Pemadaman Jaringan Distribusi 20 kV Gardu Induk Simpang Haru”, SUTET Vol. 5 No. 2 Hal. 62 – 67, 2015, DOI: 10.33322/sutet.v5i2.595.

[5] Dasman and Huria Handayani, “Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Metode Saidi dan Saifi di PT. PLN (PERSERO) Rayon Lubuk Alung Tahun 2015”, ITP Vol. 6 No. 2, Padang, Indonesia. DOI: 10.21063/JTE.2017.3133624.

[6] Umar Faruq and Akmal Ridho and Maurisio Vrayulis and Ezra Julio, “Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan ETAP 12.6”, SainETIn Vol. 6 No. 1, 2021, DOI: 10.31849/sainetin.v6i1.7031.

[7] Syukri Yunus and Heru Dibyo Laksono and Putri Nidia, “Memperbaiki Tegangan dan Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Transmisi Dengan Optimasi Penempatan Kapasitor Menggunakan Algoritma Genetika”, Electrical Power and Energy Vol. 5 No. 2, 2016, Padang, Indonesia, DOI: 10.20569/jnte.v5i2.291.

[8] Muhammad Irsyam and Missyamsu Algusri and Linggom Pandapotan Marpaung, “Analisa Rugi-Rugi Daya (*Losses Power*) Pada Jaringan Tegangan Rendah PT. Musimmas Batam, Sigma Teknika Vol.

6 No. 1, 2023, Riau Kepulauan, DOI:
10.33373/sigmateknika.v6i1.5117.

- [9] Irene Kartika, "Analisa Rugi-Rugi Daya Diakibatkan Arus Kapasitif", 2017, Palembang, DOI: 10.32502/jse.v1i2.600. Ahmad Zakaria H and Sjamsjul Anam and Imam Robandi, "Penempatan dan Penentuan Kapasitas Optimal *Distributed Generator* (DG) Menggunakan *Artificial Bee Colony* (ABC)", 2012, Surabaya, DOI: 10.12962/j23373539.v1i1.81.