

Studi Karakteristik Hubung Singkat Simetris Berbasis Hybrid Generator Energi Terbarukan dan Termal

Fatmawati Azis¹, Akbar Naro Parawangsa², Sulistyaningsih Nur Fitri³

¹Program Studi Teknik Listrik dan Perawatan Perbaikan Mesin, Politeknik Bosowa

Jl. Kapasa Raya No. 23 Politeknik Bosowa

²Program Studi Teknik Listrik Politeknik Bosowa

Jl. Kapasa Raya No. 23 Politeknik Bosowa

*Email: fatmawati.azis@politeknikbosowa.ac.id

Abstrak

Sumber energi listrik saat ini tidak hanya di suplai dari energi fosil, namun juga disuplai dari energi terbarukan. Mulai dari energi air, matahari, angin, panas bumi, dan bio massa baik yang stand-alone maupun on-grid. Sistem on-grid yang saling terinterkoneksi satu sama lain seringkali mengalami kendala dalam hal gangguan baik dari internal maupun eksternal. Gangguan pada sistem kelistrikan telah banyak dikaji pada beberapa penelitian sebelumnya. Gangguan tersebut berupa hubung singkat tiga fasa seimbang, dan gangguan tiga fasa tidak seimbang. Penelitian ini dilakukan pada sistem 9 bus IEEE. Fokus penelitian pada perubahan-perubahan parameter saat terjadi hubung singkat seimbang dengan mempertimbangkan hibrid pembangkit. Sistem hibridnya memperlakukan 3 jenis generator yang berbeda yaitu termal, air dan angin. Hasil penelitian ini memperlihatkan $S_{k''}$ tertinggi berada pada bus 1 1496,1 MVA dengan S_b 1207,11 MVA, sementara yang terendah berada pada bus 6 yaitu 547,97 MVA dengan S_b 547,97 MVA. Parameter arus setiap bus dengan I_k , $I_{k''}$, I_{th} , I_b tertinggi masing-masing 52,35 kA, 52,35 kA, 53,57 kA, 42,24 kA, dan terendah berada pada bus 6 masing-masing 1,38 kA, 1,38 kA, 1,39 kA, 1,38 kA. Kesimpulannya, daya kompleks ketika terjadi gangguan tertinggi berada pada bus 1 dan terendah berada pada bus 6. Begitu pula arus gangguan yang terjadi pada sistem 9 bus IEEE ini, tertinggi berada pada bus 1 dan terendah berada pada bus 6.

Kata Kunci: Hubung Singkat, 9 Bus, Hibrid

Abstract

Sources of electrical energy today are not only supplied from fossil energy, but also supplied from renewable energy. Starting from the energy of water, sun, wind, geothermal, and biomass, both stand-alone and on-grid. On-grid systems that are interconnected with each other often experience problems in terms of interference from both internal and external. Disturbances in the electrical system have been studied in several previous studies. The disturbance is in the form of a balanced three-phase short circuit, and an unbalanced three-phase fault. This research was conducted on the IEEE 9 bus system. The research focus is on parameter changes when a balanced short circuit occurs by considering hybrid generators. The hybrid system parallelizes 3 different types of generators namely thermal, water and wind. The results of this study show that the highest $S_{k''}$ is on bus 1 1496.1 MVA with S_b 1207.11 MVA, while the lowest is on bus 6 which is 547.97 MVA with S_b 547.97 MVA. The current parameters of each bus with I_k , $I_{k''}$, I_{th} , I_b are the highest 52.35 kA, 52.35 kA, 53.57 kA, 42.24 kA, and the lowest is on bus 6, respectively 1.38 kA, 1.38 kA, 1.39 kA, 1.38 kA. In conclusion, the highest complex power when a disturbance occurs is on bus 1 and the lowest is on bus 6. Likewise, the fault current that occurs in this IEEE 9 bus system, the highest is on bus 1 and the lowest is on bus 6.

Key Word: Short Circuit, 9 Bus, Hybrid

1. Pendahuluan

Sumber energi listrik saat ini tidak hanya di suplai dari energi fosil [1]–[3], namun juga disuplai dari energi terbarukan [4]. Mulai dari energi air, matahari, angin, panas bumi, dan bio massa baik yang stand-alone maupun *on-grid* [4].

Sistem kelistrikan *on-grid* yang saling terinterkoneksi satu sama lain seringkali mengalami kendala dalam hal gangguan baik dari internal maupun eksternal [5].

Gangguan pada sistem kelistrikan telah banyak dikaji pada beberapa penelitian sebelumnya [5]–[11]. Gangguan tersebut berupa hubung singkat tiga fasa seimbang (*symmetrical short circuit*), dan gangguan tiga fasa tidak seimbang (*asymmetrical short circuit*).

Hubung singkat yang dikaji pada paper [5] fokus pada gangguan asimetris pada sistem kelistrikan Sulawesi Selatan dan Barat pada saluran 150 kV. Penelitiannya berupa hubung singkat antar fasa. Penelitian [6] mengkaji hubung singkat 3 fasa pada Penyulang Nakula Gardu Induk Talang Kelapa dengan metode perhitungan manual. Penelitian tersebut Peneliti dari paper [7] mengkaji gangguan hubung singkat dari aspek proteksi oleh pemutus tenaga PMT yang dikoordinir oleh OCR dan relai gangguan tanah (GFR) yang diharapkan cepat dalam menangani gangguan. Penelitian [8] menganalisis hubung singkat yang terjadi pada saluran distribusi dan [9] mengkaji hubung singkat pada penyulang 20 kV. Penelitian [10] mengkaji gangguan hubung singkat yang terjadi pada jaringan saluran udara 20 kV, penelitian ini juga membandingkan hasil dari metode hitung manual dan simulasi. Penelitian [11] fokus pada koordinasi sistem proteksi saat terjadi gangguan hubung singkat di penyulang.

Penelitian hybrid telah pernah diteliti di [1] namun hanya fokus pada koordinasi waktu operasi antar pembangkit berdasarkan pola beban dengan mempertimbangkan *constraint* dan konsumsi air dari pembangkit. Sementara [3] hanya fokus pada metode perhitungan biaya operasi pada pembangkit listrik termal.

Penelitian ini dilakukan pada sistem 9 bus IEEE. Fokus penelitian pada perubahan-perubahan parameter saat terjadi hubung singkat seimbang dengan mempertimbangkan hibrid

pembangkit. Sistem hibrid pada penelitian ini memparalelkan 3 jenis generator yang berbeda.

2. Metode

Penelitian ini merupakan penelitian 9 bus IEEE dengan hibrid pembangkit termal, air dan angin. Sistem 9 bus IEEE dalam keadaan tanpa gangguan dapat dilihat pada Gambar 1. Lokasi titik gangguan berada pada Bus 7 line 2 dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 1. Memperlihatkan 3 pembangkit yang terhubung dengan masing-masing nama G1, G2 dan, G3 yang menyuplai 3 beban L1, L2, dan L3.

Penelitian ini dimulai dari studi literatur dengan mengkaji banyak penelitian gangguan hubung singkat yang terjadi dari sumber yang valid. Langkah kedua mendesain sistem 9 bus IEEE dengan memparalelkan 3 jenis pembangkit yang berbeda yaitu, termal, air dan angin untuk menyuplai 3 beban. Langkah ke tiga pengambilan data hubung singkat. Langkah selanjutnya adalah analisa, pada langkah ini adalah penentuan apakah penelitian ini diteruskan atau kembali pada penginputan data. Terakhir pengolahan data.

Hubungan matematis gangguan hubung singkat dengan hibrid pembangkit dapat dilihat pada persamaan (1), (2), dan (3) dan (4).

2.2. Aliran arus gangguan 3 fasa

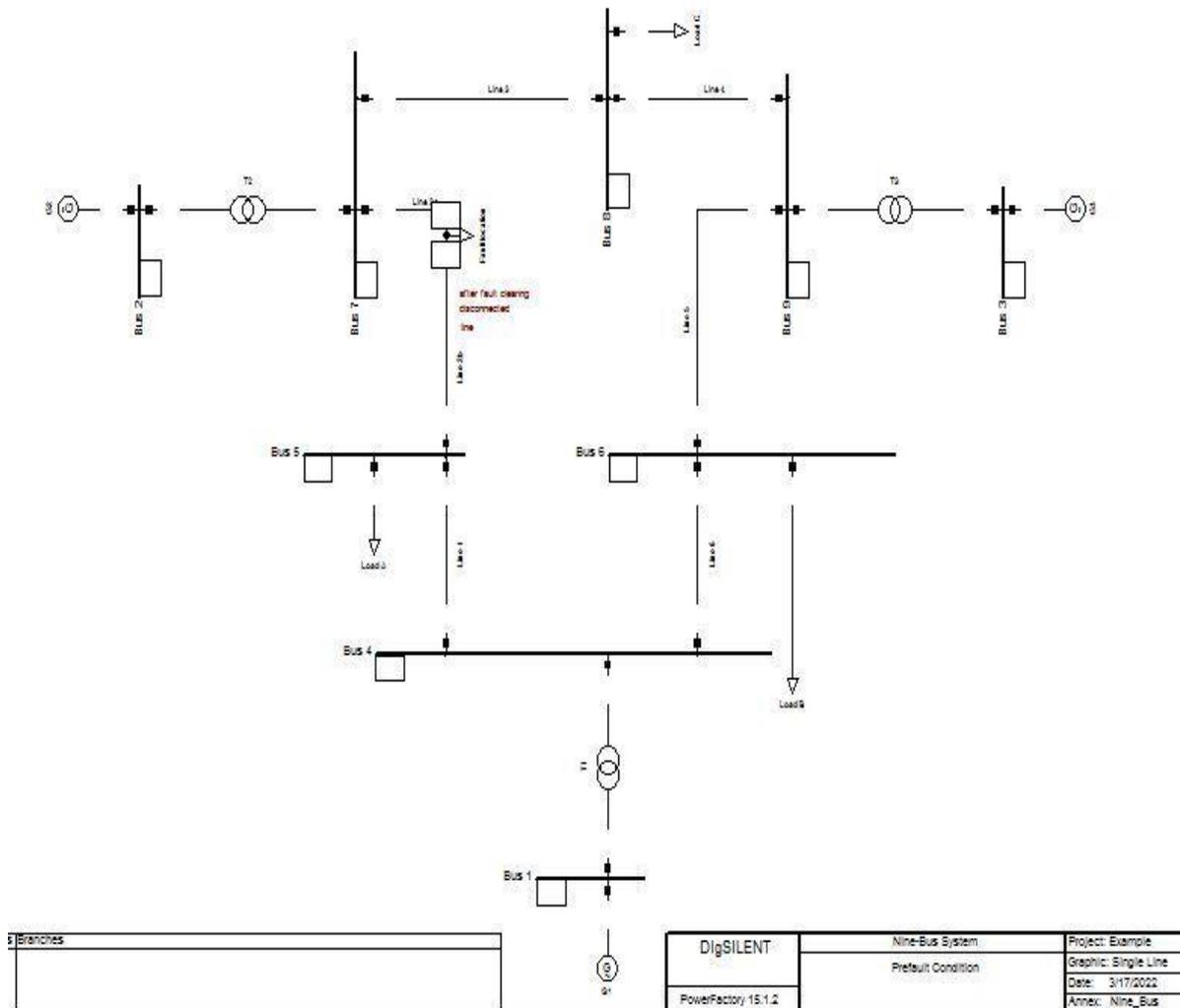
Persamaan daya yang mengalir pada setiap saluran [6] dapat dilihat pada persamaan (1). Daya aktif merupakan hasil kali daya kompleks (S) dan faktor daya ($\cos \theta$).

$$\theta \quad (1)$$

P adalah daya aktif dinyatakan dalam kW, S adalah daya kompleks yang dinyatakan dalam kVA. $\cos \theta$ adalah nilai cosinus dari sudut fasa yang terbentuk antara daya aktif (P) dan reaktif (Q).

Persamaan (2) memperlihatkan persamaan tegangan satu fasa ke netral (line to neutral) V_{LN} yang dapat dihitung dengan membagi tegangan tiga fasa V_3 dengan $\sqrt{3}$.

$$V_{LN} = \frac{V_3 \theta}{\sqrt{3}} \quad (2)$$



Gambar 1. Sistem 9 Bus IEEE.

Tegangan satu fasa V_{LN} dan tegangan $V_{3\theta}$ dinyatakan dalam satuan kV. $\sqrt{3}$ adalah konstanta pengali dari parameter daya, tegangan dan arus tiga fasa (3θ).

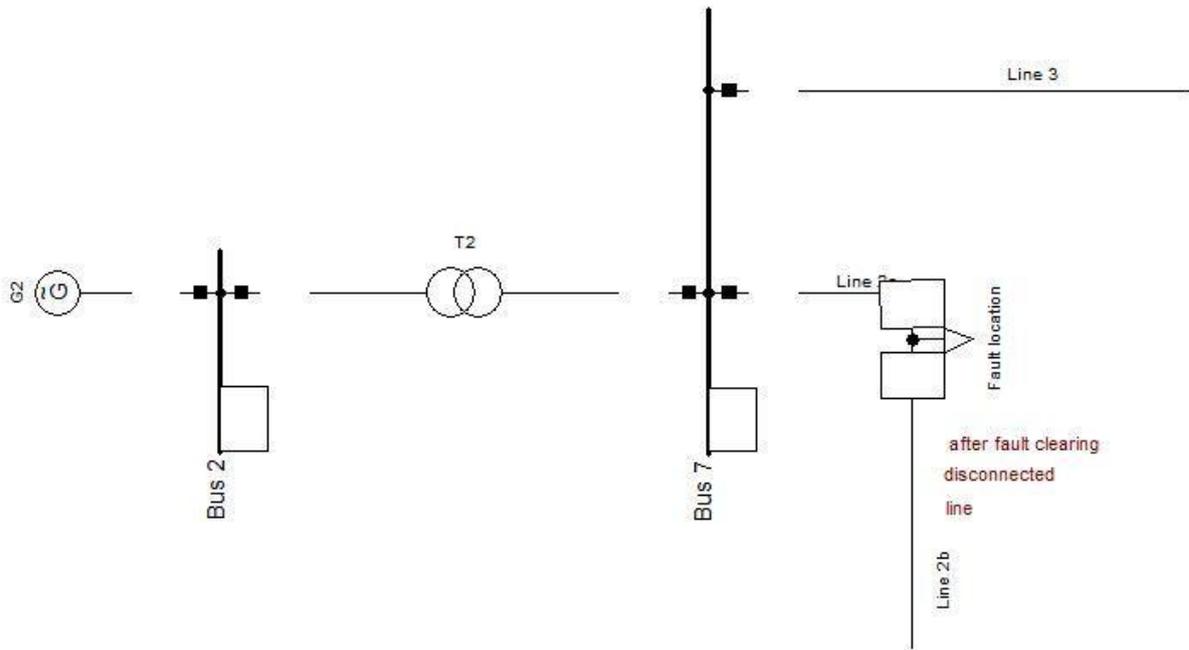
Arus gangguan yang yang mengalir dapat dilihat pada persamaan (3). Persamaan (3) memperlihatkan arus yang mengalir dipengaruhi oleh tegangan fasa ke saluran V_{LN} dengan impedansi ekuivalen urutan positif, negatif dan nol yang mengalir. Impedansi tersebut masing-masing dinyatakan Z_{1eq} , Z_{2eq} , dan Z_{0eq} yang dalam satuan ohm (Ω) [6].

$$I_f = \frac{3xV_{LN}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}} \tag{3}$$

Gangguan hubung singkat 3 fasa adalah gangguan kelistrikan yang seimbang, dimana setiap parameter baik tegangan dan arus setiap fasa juga seimbang setelah terjadinya gangguan. Gangguan hubung singkat 3 fasa pada sistem ini setiap fasanya dapat dianalisa hanya dengan menggunakan komponen urutan positif yang diformulasikan pada persamaan (4).

$$I_f = \frac{V_f}{Z_1} \tag{4}$$

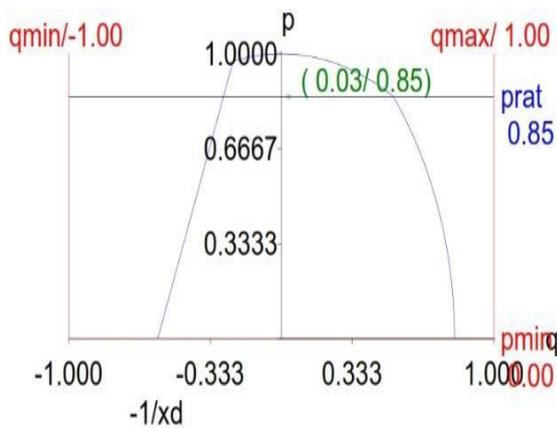
Dimana I_f adalah arus gangguan hubung singkat 3 fasa yang dinyatakan dalam kA, V_f adalah tegangan gangguan yang dinyatakan kV, dan Z_1 adalah impedansi urutan positif dalam satuan ohm (Ω).



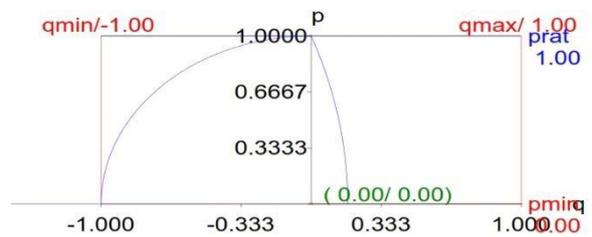
Gambar 2. Lokasi gangguan pada Bus 7 Line 2.

3.1 Hasil

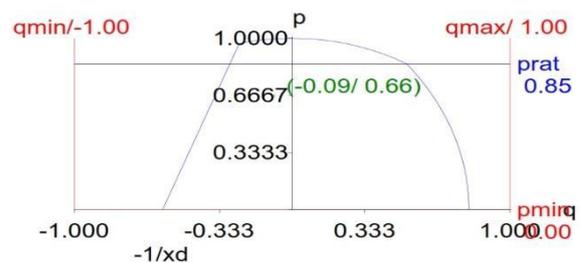
Kapabilitas saat terjadi hubung singkat masing-masing pembangkit termal dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5. Pembangkit termal bertindak sebagai pembangkit *reference*.



Gambar 3. Grafik kapabilitas Pembangkit termal.



Gambar 4. Grafik kapabilitas pembangkit hidro.



Gambar 5. Grafik kapabilitas pembangkit angin.

Data sistem setelah terjadi hubung singkat 3 fasa dapat dilihat pada **Tabel 1**.

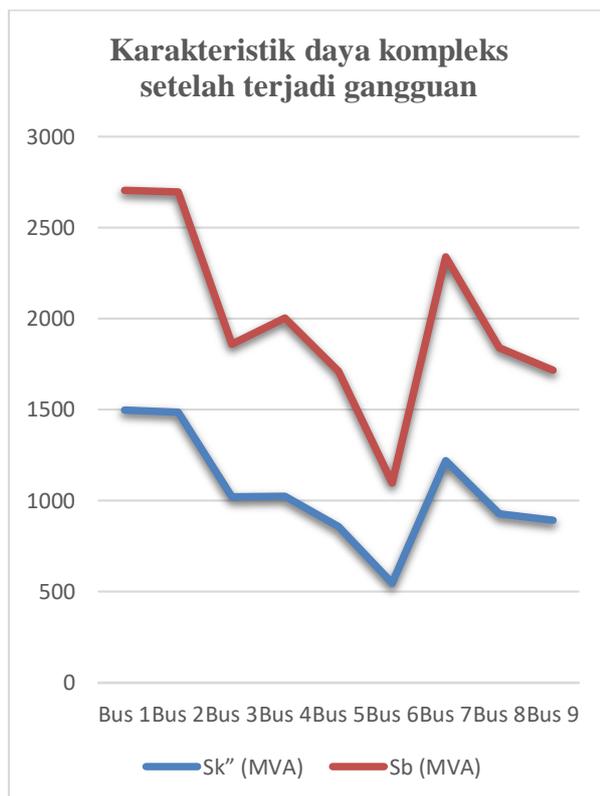
Tabel 1. Daya kompleks S_k'' dan S_b

| Bus | S_k'' (MVA) | S_b (MVA) |
|-------|---------------|-------------|
| Bus 1 | 1496.1 | 1207.11 |
| Bus 2 | 1484.5 | 1211.85 |
| Bus 3 | 1021.06 | 839.96 |
| Bus 4 | 1022.55 | 981.67 |
| Bus 5 | 855.94 | 855.94 |
| Bus 6 | 547.97 | 547.97 |
| Bus 7 | 1220.19 | 1120.04 |
| Bus 8 | 928.38 | 912.15 |
| Bus 9 | 891.5 | 823.92 |

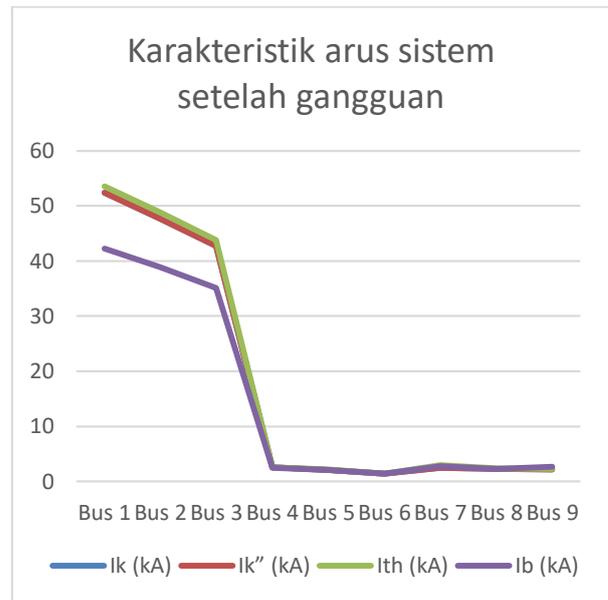
Tabel 2. Arus I_k , I_k'' , I_{th} , I_b .

| Bus | I_k (kA) | I_k'' (kA) | I_{th} (kA) | I_b (kA) |
|-------|------------|--------------|---------------|------------|
| Bus 1 | 52.35 | 52.35 | 53.57 | 42.24 |
| Bus 2 | 47.62 | 47.62 | 48.81 | 38.87 |
| Bus 3 | 42.72 | 42.72 | 43.75 | 35.14 |
| Bus 4 | 2.57 | 2.57 | 2.63 | 2.46 |
| Bus 5 | 2.15 | 2.15 | 2.18 | 2.15 |
| Bus 6 | 1.38 | 1.38 | 1.39 | 1.38 |
| Bus 7 | 2.47 | 2.47 | 2.96 | 2.81 |
| Bus 8 | 2.33 | 2.33 | 2.38 | 2.29 |
| Bus 9 | 2.24 | 2.24 | 2.29 | 2.72 |

Parameter daya setelah terjadi gangguan pada Gambar 6. Merupakan bentuk grafik dari **Tabel 1**. Parameter arus sistem pada **Gambar 7**. Merupakan grafik dari **Tabel 2**.



Gambar 6. Karakteristik daya setelah gangguan



Gambar 7. Karakteristik arus setelah gangguan

3.2 Pembahasan

Kapabilitas pembangkit termal setelah terjadi gangguan yang tampak pada **Gambar 3.**, **Gambar 4.**, dan **Gambar 5.**, memperlihatkan daya aktif dan reaktif yang sama dengan sebelum terjadi gangguan. Kapabilitas dari pembangkit termal dinyatakan dalam P_{max} , P_{min} , Q_{max} dan Q_{min} .

Kapabilitas pembangkit termal saat terjadi gangguan memiliki 0,03/0,85. Kapabilitas pembangkit hidro 0,00/0,00. Sedangkan kapabilitas untuk pembangkit angin -0,09/0,66.

Tegangan saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa adalah 0 dengan sudut fasa 0^0 serta c-factor 1.10. sementara karakteristik arus gangguan yang ada pada Tabel 1 dan Gambar 6 memperlihatkan karakteristik daya kompleks S_b , S_k'' , dimana S_b adalah daya kompleks dasar yang dipakai sebagai acuan, dan S_k'' adalah daya kompleks saat terjadi gangguan. S_k'' tertinggi berada pada bus 1 1496,1 MVA dengan S_b 1207,11 MVA, sementara yang terendah berada pada bus 6 yaitu 547,97 MVA dengan S_b 547,97 MVA.

Karakteristik arus saat terjadi gangguan yang ada pada Gambar 7 merupakan karakteristik yang memperlihatkan parameter arus setiap bus dengan I_k , I_k'' , I_{th} , I_b tertinggi

masing-masing 52,35 kA, 52.35 kA, 53.57 kA, 42.24 kA, dan terendah berada pada bus 6 masing-masing 1.38 kA, 1.38 kA, 1.39 kA, 1.38 kA.

3. Kesimpulan dan Saran

Gangguan Tiga fasa pada 3 pembangkit termal, hidro, dan angina yang terkoneksi tidak menyebabkan perubahan pada kapabilitas masing-masing pembangkit.

Daya kompleks ketika terjadi gangguan tertinggi berada pada bus 1 dan terendah berada pada bus 6. Begitu pula arus gangguan yang terjadi pada sistem 9 bus IEEE ini, tertinggi berada pada bus 1 dan terendah berada pada bus 6.

Saran dari penulis penelitian ini bisa dikembangkan pada sistem kelistrikan Sulbagsel. Sistem Sulbagsel yang terinterkoneksi dengan energi terbarukan.

Referensi

- [1] R. M. Mangewa, L. S. Patras, M. Tuegeh, F. Lisi, and J. T. E. Unsrat, "Koordinasi Pembangkit Hidro-Termal di Sistem Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 2, no. 4, pp. 27–38, 2013.
- [2] S. Syafii and K. Ika Putri, "Analisa Operasi Ekonomis Pembangkit Termal untuk Melayani Beban Puncak Sistem Kelistrikan Sumbar," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 1, p. 1, 2018, doi: 10.25077/jnte.v7n1.458.2018.
- [3] M. Marwan, F. N. Fajriana, and N. Muchtar, "Operasi Pembangkit Thermal PLTU Mamuju dengan Metode Iterasi Lambda," *J. Teknol. Elekterika*, vol. 18, no. 1, p. 13, 2021, doi: 10.31963/elekterika.v18i1.2934.
- [4] F. Azis, A. Arief, and M. B. Nappu, "Fuzzy logic based active power generation dispatching considering intermittent wind power plants output," in *ICCREC 2017 - 2017 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy, and Communications, Proceedings*, 2017, vol. 2017-Janua, doi: 10.1109/ICCREC.2017.8226689.
- [5] F. Aziz, A. R. Idris, and A. Muchtar, "Analisis Hubung Singkat Asimetris Pada Kelistrikan Sulawesi Selatan dan Barat Dengan Menggunakan Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)," pp. 19–25, 2016.
- [6] N. Nurdiana, "Analisa Gangguan Arus Hubung Singkat pada Penyulang Nakula Gardu Induk Talang Kelapa," *J. Ampere*, vol. 1, no. 1, pp. 26–35, 2016.
- [7] T. Darmana, W. Yuliansyah, and W. S., "Arus Hubung Singkat Diamankan Oleh Pengaruh Kecepatan Pmt," *Sutet*, vol. 5, no. 2, pp. 85–90, 2015.
- [8] Hendriyadi, "Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi di Kota Pontianak," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 1, p. 7, 2017.
- [9] W. F. Galla, A. S. Sampeallo, and J. I. Daris, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Udara 20 Kv Di Penyulang Naioni Pt. Pln (Persero) Ulp Kupang Untuk Menentukan Kapasitas Pemutusan Fuse Cut Out Menggunakan Etap 12.6," *J. Media Elektro*, vol. IX, no. 2, pp. 101–112, 2020, doi: 10.35508/jme.v0i0.3208.
- [10] A. Gaffar, A. Agussalim, and D. Arisandi, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Gardu Induk kukang," *J. Teknol. Elekterika*, vol. 14, no. 2, p. 156, 2017, doi: 10.31963/elekterika.v14i2.1221.
- [11] D. T. Nugorho, A. W. Wardhana, and A. Wahyumi, "Analisis Koordinasi Sistem Proteksi Penyulang Dieng-2 (Dng02) Terhadap Gangguan Arus Hubung Singkat Gardu Induk Dieng Pt Pln (Persero) Up3 Purwokerto," *Din. Rekayasa*, vol. 16, no. 1, pp. 69–82, 2020, doi: 10.20884/1.dr.2020.16.1.327.