



Simulasi Analisis Gangguan Sistem Kelistrikan Sulselrabar Menggunakan PowerWorld Simulator

1st Ratih Puspita Siwi¹

Teknik Elektro, Universitas Teknologi Sulawesi, Makassar, Sulawesi Selatan¹

Article Info

Article History:

Received: August 20, 2024
Revised: November 22, 2024
Accepted: December 3, 2024

Keywords:

Interference;
Short Circuit;
PowerWorld Simulator.

Informasi Artikel

Kata Kunci:

Gangguan;
Hubung Singkat;
Power World Simulator.

Publishing Info

✉ **Corresponding Author:** (1) Ratih Puspita Siwi, (2) Teknik Elektro, (3) Universitas Teknologi Sulawesi, (4) Kota Makassar, Sulawesi Selatan (5) Email: ratihpuspitaswi@gmail.com

ABSTRACT

The South Sulawesi Electricity System consists of 51 buses with the highest peak load at 19.00 WITA of 1073.9 MW. The number of buses being simulated consists of 41 buses because the maximum number in the PowerWorld Simulator software only reaches 41 buses. In the simulated PowerWorld Simulator program, the Bakarlu Bus with a working voltage of 150 kV is assumed to be the reference bus. The simulation results show that for faults that occur on each bus, the largest fault current is 10892,400 A, namely when a 3-phase fault occurs on Bus 5 Sungguminasa smallest fault current is 9433,090 A, namely when it occurs on Bus 5 (Sungguminasa Bus). Meanwhile, the largest instantaneous voltage value lies in the Line to Line fault type, namely Bus 2 (Bontoala Bus) with a disturbance value of 1.01179 kV with a working voltage of 149.07 kV after the disturbance occurs and the smallest instantaneous voltage occurs in the Single Line to Ground fault type, namely Bus 22 (Sidera bus) with a disturbance value of 0.95961 kV, working voltage 70.83 kV after a disturbance occurs.

ABSTRAK

Sistem Kelistrikan Sulselrabar yang terdiri dari 51 bus dengan beban puncak tertinggi yang terjadi pada pukul 19.00 WITA pada tanggal 08 Desember 2017 sebesar 1073.9 MW. Jumlah bus yang disimulasikan terdiri dari 41 bus karena jumlah maksimum pada *software PowerWorld Simulator* hanya mencapai 41 bus. Pada program *PowerWorld Simulator* yang disimulasikan, Bus Bakarlu dengan tegangan kerja 150 kV diasumsikan sebagai bus referensi. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa untuk gangguan yang terjadi tiap bus, besar arus gangguan terbesar dengan nilai 10892.400 A yaitu ketika terjadi gangguan 3 Fasa di Bus 5 (Bus Sungguminasa) dan besar arus gangguan terkecil dengan nilai 9433.090 A yaitu ketika terjadi di Bus 5 (Bus Sungguminasa). Sedangkan untuk nilai tegangan sesaat terbesar terletak pada jenis gangguan *Line to Line* yaitu Bus 2 (Bus Bontoala) dengan nilai gangguan 1.01179 kV dengan tegangan kerja 149.07 kV setelah terjadi gangguan dan tegangan sesaat terkecil terjadi pada jenis gangguan *Single Line to Ground* yaitu di Bus 22 (Bus Sidera) dengan nilai gangguan 0.95961 kV tegangan kerja 70.83 kV setelah terjadi gangguan.

Copyright © 2021 The Author(s). Published by Jurnal Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Bali, Indonesia. This is an open access article licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik telah berperan sangat luas dalam perkembangan dan peningkatan kesejahteraan hidup manusia di segala bidang. Kualitas daya listrik dan penyalurannya harus selalu ditingkatkan untuk mencapai stabilitas daya dan efisiensi jaringan. Diantaranya

dengan optimasi jaringan dengan merekonfigurasi jaringan atau perbikan saluran agar diperoleh efisiensi yang baik. Dalam sistem tenaga listrik juga tidak terlepas dari gangguan-gangguan eksternal. Gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik hampir semua berupa gangguan yang tidak simetri yaitu gangguan satu jaringan ke tanah, gangguan jaringan ke jaringan dan gangguan tidak simetri tanah. Karena setiap gangguan tidak simetri menyebabkan adanya aliran arus tidak Simbang dalam sistem. (Triyanto et al. 2021).

Hubung singkat yang terjadi dalam sistem tenaga dapat berupa gangguan tiga fasa. Akibat dari hubung singkat tiga fasa yaitu mengakibatkan harga impedansi sama dengan nol yang disebut dengan *bolted* hubung singkat atau mengakibatkan harga impedansi tidak sama dengan nol. Tipe lain dari gangguan tiga fasa meliputi one-conductor -open dan two-conductor-open yaitu yang terjadi jika kerusakan konduktor atau Ketika satu atau dua fasa dari circuit breaker terbuka karena suatu gangguan atau kelalaian.

Menurut Efendi (2019), Hubung singkat terjadi ketika konduktor atau penghantar bertegangan terhubung dengan penghantar bertegangan atau terhubung dengan penghantar netral (*ground*) secara langsung. Gangguan hubung singkat terjadi akibat faktor internal dan faktor eksternal. Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran 3 Fasa. Terjadinya gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik umumnya pada pembangkit, busbar dan saluran transmisi. Ketika hubung singkat terjadi, arus yang mengalir menuju titik hubung singkat menjadi sangat besar. Arus hubung singkat yang begitu besar sangat membahayakan peralatan, sehingga untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat arus hubung singkat maka hubungan kelistrikan pada bagian yang terganggu perlu diputuskan dengan peralatan pemutus tenaga atau *Circuit Breaker (CB)*.

Sistem tenaga listrik yang terinterkoneksi memiliki daya cadangan lebih besar daripada suatu sistem bekerja tersendiri. Secara efektif, suatu sistem besar akan lebih mampu meresap suatu gangguan besar, sehingga sistem tersebut lebih stabil. Misalnya, beban dari distribusi wilayah 1 mendadak naik, pusat-pusat tenaga listrik 2 dan 3 dapat membantu melalui saluran interkoneksi apabila diperlukan. Dengan demikian beban dipikul bersama oleh ketiga pusat tenaga listrik.

Kemungkinan terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa sangat kecil, Ketika gangguan keseimbangan tiga fasa terjadi dalam sistem tenaga listrik maka kemungkinan komponen yang terjadi adalah persamaan urutan positif, persamaan urutan negatif dan persamaan urutan nol. Perhitungan dari arus gangguan yang dilakukan dengan cara menyederhanakan perhitungan dengan menggunakan persamaan urutan. Seperti pada gangguan keseimbangan tiga fasa, gangguan ketidakseimbangan mempunyai dua komponen arus gangguan yaitu pada komponen AC meliputi arus subtransient, arus transient, arus stady-state dan pada komponen DC. Perhitungan-perhitungan untuk menentukan besar arus pada saat terjadi gangguan yang mungkin mengakibatkan lepasnya unit pembangkit atau pada saluran transmisi sangat memerlukan kecepatan dan ketelitian, karena itu untuk menganalisis sistem yang terinterkoneksi diperlukan komputer. Penggunaan komputer untuk keperluan sistem tenaga listrik terbagi atas dua, ada yang digunakan secara *online* dan ada juga yang digunakan secara *offline*.

Pada penelitian ini menggunakan Power World Simulator untuk menganalisis arus gangguan hubung singkat. Power world Simulator adalah bentuk tampilan simulasi desain sistem tenaga yang seluruh desain simulasi menggunakan hubungan dan interaksi yang tinggi antar elemen-elemen dari sistem tenaga listrik. (Kerur and Chakrasali n.d. 2020). *Software* ini dapat digunakan untuk menghitung arus hubung singkat pada berbagai tempat untuk berbagai kondisi operasi. Hasil perhitungan dari program ini dipergunakan untuk

mengetahui kemampuan pemutus tenaga (PMT) untuk memutus arus hubung singkat. *Software* ini juga dilengkapi dengan program simulasi yang memungkinkan untuk melihat kondisi sistem pengoperasian pembangkit pada saat terjadi gangguan.

Penelitian ini adalah untuk analisis gangguan dengan cara mensimulasikan pada kondisi Sistem Kelistrikan Sulselrabar yang merupakan sistem terinterkoneksi. Dimana sistem terinterkoneksi adalah suatu sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat listrik (pembangkit) dan beberapa gardu induk (GI) yang saling terhubung antara satu dengan yang lain melalui saluran transmisi dan melayani beban yang ada pada semua gardu induk yang terhubung. Daya mampu pasok PLN wilayah Sulselrabar adalah 1.141 MW. Perhitungan arus hubung singkat perlu dilakukan sebagai bahan perencanaan sistem dimasa mendatang, khususnya perencanaan sistem proteksi (Djalal and Faisal 2019).

Gangguan terjadi Ketika dua atau lebih konduktor beroperasi normal dengan potensial yang berbeda saling berhubungan satu sama lain. Hubungan tersebut mungkin terjadi karena pergesekan konduktor dengan konduktor atau hubungan langsung konduktor dengan tanah.

Analisis gangguan atau hubung singkat adalah suatu sistem analisis yang esensial untuk digunakan pada teknik sistem tenaga listrik. Analisis disini digunakan untuk memperoleh arus gangguan dan tegangan phasa terganggu dengan cara menghitung persamaan urutan dari komponennya. Permasalahan disini yaitu menganalisis gangguan pada sistem tenaga listrik Sulselrabar menggunakan bentuk simulasi. Untuk mensimulasikan sistem digunakan Power world simulator. Tujuan dari penulisan penelitian ini yaitu untuk mengklarifikasi dan menganalisis jenis-jenis gangguan pada sistem tenaga listrik Sulselrabar menggunakan Power World Simulator.

2. Metode

Pemodelan sistem untuk mendapatkan simulasi gangguan menggunakan single-line diagram pada power world simulator, parameter-parameter yang digunakan untuk sistem tenaga listrik Sulselrabar adalah dalam satuan parameter per-unit. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif yang bersifat *ex post facto* dengan tujuan dapat mengungkapkan hasil perhitungan perubahan arus gangguan. Data dalam penelitian ini merupakan data yang berhubungan dengan analisis hubung singkat yang bersumber dari Unit Pengaturan Beban (UPB) sistem tenaga listrik Sulselrabar, antara lain data pembangkit yang meliputi kapasitas, tegangan kerja pembangkit dan reaktansi sub transien urutan positif, negatif, dan nol. Data impedansi urutan positif, negatif, dan nol pada saluran transmisi, data tegangan dan beban tiap bus, reaktansi bocor transformator. Dengan teknik pengumpulan data yang digunakan adalah dokumentasi dan wawancara untuk memperoleh data dan informasi melalui pencatatan dokumen yang berhubungan dengan sistem kelistrikan Sulselrabar. Kemudian di analisis data-data hasil penelitian dan disimulasikan menggunakan power world simulator.

Gangguan hubung singkat tidak menimbulkan kenaikan arus pada saluran yang terganggu, melainkan mempengaruhi saluran lain dengan kenaikan arus yang cukup besar. Secara garis besar gangguan hubung singkat terbagi dalam 2 jenis yaitu, gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat tak simetri. Gangguan tersebut jika dikelompokkan akan menjadi empat jenis yaitu:

- a. Gangguan 3 fasa
- b. Gangguan fasa ke tanah

- c. Gangguan dua fasa
d. Gangguan dua fasa ke tanah

Gangguan hubung singkat mengakibatkan arus yang besar sehingga terjadi gangguan penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Analisis hubung singkat merupakan salah satu teknik analisis sistem tenaga listrik untuk mengetahui besarnya arus yang mengalir apabila terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, fasa ke fasa maupun 3 fasa disuatu Lokasi (Haikal and Djalal 2015).

Distribusi frekuensi relatif dari beberapa jenis gangguan pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tiga fasa sebesar 5%, dua fasa ke tanah sebesar 10%, fasa ke fasa sebesar 15% dan satu fasa ke tanah sebesar 70%. Untuk menganalisis gangguan-gangguan hubung singkat tersebut, maka diperlukan suatu metode perhitungan arus gangguan yang merupakan sebuah persamaan umum yang berbentuk matriks yaitu (Sultanbatara 2017):

$$\begin{pmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ V_f \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{pmatrix}$$

Atau: $V_{a0} = -Z_0 I_{a0}$

$$V_{a1} = V_f - Z_1 I_{a1}$$

$$V_{a2} = -Z_2 I_{a2}$$

Dimana: Fasa a selalu diambil sebagai referensi

Subscript₀ = untuk urutan nol.

Subscript₁ = untuk urutan positif.

Subscript₂ = untuk urutan negatif.

V_f = tegangan pragangguan, tegangan titik gangguan pada keadaan normal besar tegangan ini biasanya dianggap 1 pu.

Z_0, Z_1, Z_2 = impedansi urutan nol, positif, dan negative ditinjau dari titik gangguan.

Dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat, arus beban dapat diabaikan ataupun diperhitungkan, tetapi biasanya selalu diasumsikan tidak ada arus yang mengalir sebelum gangguan terjadi untuk menyederhanakan perhitungan. Adapun pengaruh dari arus pragangguan jika dimasukkan dalam perhitungan arus gangguan akan mengakibatkan tidak ada arus pragangguan.

Sistem Proteksi

Fungsi sistem proteksi tenaga listrik Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal, mengurangi kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal, mempersempit daerah yang tidak terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas (Nugraha et al. 2022).

Keandalan dan kemampuan suatu sistem tenaga listrik dalam melayani konsumen sangat tergantung pada sistem proteksi yang digunakan. Oleh sebab itu dalam perancangan suatu sistem tenaga listrik, perlu dipertimbangkan kondisi-kondisi gangguan yang mungkin terjadi pada sistem, melalui analisa gangguan. Berdasarkan hasil analisa gangguan, dapat ditentukan sistem proteksi yang akan digunakan, seperti: spesifikasi *switchgear*, *Circuit Breaker* (CB) serta penetapan besaran-besaran yang menentukan bekerjanya suatu relay (*setting reley*) untuk keperluan proteksi.

Power World Simulator

Power World Simulator (PWS) adalah suatu *software* analisis sistem tenaga yang dapat digunakan untuk menganalisis sistem tenaga seperti analisis aliran daya, analisis kontingensi, studi hubung singkat, analisis transien, analisis kestabilan dinamis, analisis kestabilan tegangan, dan lain-lain. Selain itu *software* ini juga dilengkapi dengan program simulasi yang memungkinkan penggunaanya melihat kondisi sistem yang telah dirancangnya (Syafaruddin and Latief 2018).

Dalam kapabilitasnya sebagai perangkat lunak untuk bidang keilmuan teknik tenaga listrik, simulator ini telah teruji memiliki kemampuan yang setara dalam memecahkan permasalahan-permasalahan di area sistem ketenagalistrikan dengan perangkat lunak sejenis, namun mempunyai kelebihan pada tampilannya yang tersaji secara interaktif melalui tampilan visualisasi grafik. *PowerWorld Simulator* mampu menjalankan analisis hingga 100.000 bus (Siswanto et al. 2019). Tidak seperti perangkat lunak simulasi sistem tenaga listrik lainnya yang hanya menampilkan deretan angka-angka hasil analisis atau diagram garis (*Single Line Diagram*).

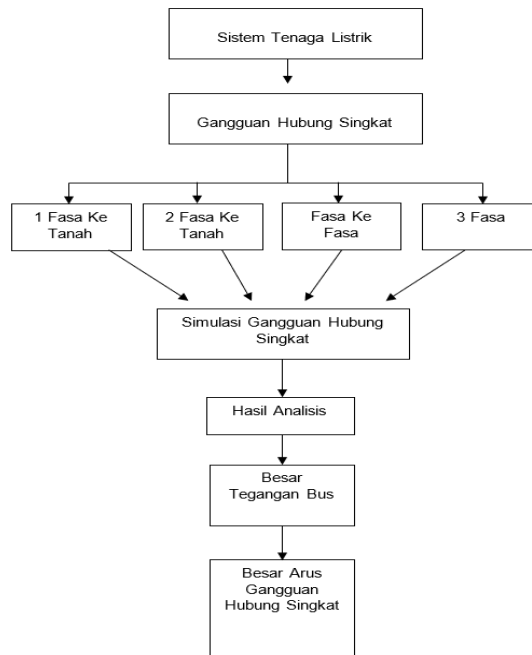
Dalam *software* PWS, generator dinyatakan sebagai suatu lingkaran dengan suatu baling-baling, panah besar melambangkan beban, garis tebal melambangkan bus dan jalur transmisi digambar sederhana seperti garis. Di dalam PWS, kuat arus dapat divisualisasikan dengan panah dilapiskan diatas generator, beban dan jalur transmisi. Ukuran dan kecepatan dari panah menandai adanya arah arus.



Gambar 2.1 Simbol-Simbol Pada *PowerWorld Simulator*

Sistem tenaga listrik selalu berkembang seiring dengan perkembangan beban. Perkembangan ini mempengaruhi besarnya arus hubung singkat atau arus gangguan pada setiap bagian dalam sistem. Khususnya jika terdapat penambahan unit pembangkit maka arus hubung singkat akan naik. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu adanya studi yang mengevaluasi sistem dalam perkembangan pengoperasiannya. Kajian-kajian yang biasa

digunakan adalah studi hubung singkat, studi aliran daya dan lain sebagainya. Dari hasil tersebut dapat digunakan untuk memperoleh gambaran mengenai situasi sistem pada saat terjadi arus gangguan, sehingga dapat digunakan sebagai bahan acuan dalam perencanaan ataupun mengevaluasi sistem dan peralatan sistem (Saini and Fauzan 2020). Agar lebih memudahkan dalam penelitian ini, maka disusun kerangka pikir pada proses pemecahan masalah:



Gambar 2.2 Kerangka Pikir

Gambar 2.2 menunjukkan kerangka pikir pada proses pemecahan masalah yang dimana data sistem tenaga listrik Sulselrabar di input dalam sistem, kemudian di simulasikan untuk mendeteksi jenis-jenis gangguan dan di analisis untuk mendapatkan hasil analisis pada power world simulator yang digunakan sebagai tools. Kemudian di dapatkan nilai besar tegangan bus dan besar arus gangguan hubung singkat.

3. Results and Discussion

Berdasarkan data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Unit Pengatur Beban, Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Sulawesi Barat terdiri dari 51 bus dengan beban puncak tertinggi yaitu terjadi pada pukul 19.00 WITA sebesar 1073.9 MW. Bus yang dianalisis adalah bus yang terinterkoneksi pada sistem dengan tegangan kerja 275 kV sebanyak 1 bus, 150 kV sebanyak 32 bus, dan 70 kV sebanyak 8 bus.

Jumlah bus yang disimulasikan terdiri dari 41 bus karena jumlah maximum pada *software PowerWorld Simulator* hanya mencapai 41 bus maka dibatasi pembuatan busnya. Pada program *PowerWorld Simulator* yang disimulasikan, Bus Bakaru dengan nominal voltage 150 kV yang diasumsikan sebagai bus referensi. Bus Tallo Lama, Bus Tello, Bus Borongloe, Bus GI Balusu, Bus Pare-pare, Bus Pinrang, Bus Tallise, Bus PLTU PJPP (Pusaka Jaya Palu Power), Bus Pamona, Bus Palopo, Bus Makale, Bus Sungguminasa, Bus

Tallasa, Bus Pgay, Bus Sinjai, dan Bus Sengkang diasumsikan sebagai bus generator. Sedangkan Bus Bontoala, Bus Panakukang, Bus Kima, Bus Bosowa, Bus Pangkep, Bus Tonasa, Bus Mandai, Bus Daya, Bus Barru, Bus Polmas, Bus Majene, Bus Mamuju, Bus Sidera, Bus Silae, Bus Poso, Bus Parigi, Bus Sidrap, Bus Maros, Bus Bolangi, Bus Tanjung Bunga, Bus Jeneponto, Bus Bulukumba, Bus Bone dan Bus Soppeng diasumsikan sebagai Bus beban.

Penomoran Bus

Berdasarkan tabel 4.1 menunjukkan penomoran bus yang bersumber atau di peroleh dari PT. PLN (Persero) Unit Pengatur Beban yang terdiri dari 51 bus.

Tabel 1. Penomoran bus pada data yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Unit Pengatur Beban untuk Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Sulawesi Barat (Sulselrabar)

No. Bus	Nama Bus	Tegangan Bus (kV)	No. Bus	Nama Bus	Tegangan Bus (kV)
1	Tallo Lama	150	27	Parigi	70
2	Bontoala 1	150	28	Poso	150
3	Bontoala 2	70	29	Pamona	150
4	Tello 1	150	30	Latupa	150
5	Tello 2	70	31	Palopo	150
6	Panakukang	150	32	Makale	150
7	Barawaja	30	33	Sidrap	150
8	Borongloe	70	34	Soppeng	150
9	Kima	150	35	Sengkang	150
10	Bosowa	150	36	Pwatu	70
11	Pangkep	150	37	Ntnsa	70
12	Tonasa	70	38	PLTA Bili-Bili	70
13	Mandai	70	39	Bone	150
14	Daya	70	40	Sinjai	150
15	Barru	150	41	Bulukumba	150
16	GI Balusu	150	42	Bantaeng	150
17	Pare-Pare	150	43	Jeneponto	150
18	Pinrang	150	44	Pgay	150
19	Polmas	150	45	JPT Expisi	150
20	Majene	150	46	PLTU Jeneponto	150
21	Mamuju	150	47	Talasa	150
22	Bakaru	150	48	Sungguminasa	150
23	Sidera	150	49	Tanjung Bunga	150
24	Silae	150	50	Bolangi	150
25	Tallise	70	51	Maros	150
26	PLTU PJPP	70			

Penomoran Bus Pada Power World Simulator

Berikut adalah penomoran bus sesuai simulasi yang terdapat pada program *PowerWorld Simulator*.

Tabel 2. Penomoran bus pada *PowerWorld Simulator* untuk Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Sulawesi Barat (Sulselrabar)

No. Bus	Nama Bus	Tegangan Bus (kV)	No. Bus	Nama Bus	Tegangan Bus (kV)
1	Tallo Lama	150	22	Sidera	150
2	Bontoala	150	23	Silae	150
3	Tello	150	24	Tallise	70
4	Tanjung Bunga	150	25	Poso	150
5	Sungguminasa	150	26	PLTU PJPP	70
6	Panakukang	150	27	Parigi	70
7	Borongloe	70	28	Pamona	275
8	Kima	150	29	Palopo	150
9	Bosowa	150	30	Makale	150
10	Pangkep	150	31	Sidrap	150
11	Tonasa	70	32	Soppeng	150
12	Mandai	70	33	Sengkang	150
13	Daya	70	34	Bone	150
14	Barru	70	35	Sinjai	150
15	GI Balusu	150	36	Bulukumba	150
16	Pare – pare	150	37	Jeneponto	150
17	Pinrang	150	38	Pgaya	150
18	Polmas	150	39	Talasa	150
19	Majene	150	40	Bolangi	150
20	Mamuju	150	41	Maros	150
21	Bakaru	150			

Berdasarkan tabel 4.2 dapat dijelaskan bahwa pada *PowerWorld Simulator* penempatan *Slack Bus* terletak pada Bus 21 (Bus Bakaru) dengan tegangan kerja 150 kV.

Menentukan Nilai Impedansi Pada Saluran Transmisi dan Limit MVA

Untuk menentukan nilai impedansi pada saluran transmisi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Z_{dasar} = \frac{(V)^2}{I} \dots\dots\dots (1)$$

$$Z_{Pu} = \frac{X_{sebenarnya}}{Z_{dasar}} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- a. Z_{dasar} = Impedansi dasar (Ω)
- b. V = Tegangan dasar (v)
- c. I = Arus dasar (ampr)
- d. Z_{Pu} = Impedansi dalam satuan per unit (p_u)

Berdasarkan rumus diatas, memperlihatkan bahwa untuk menentukan nilai impedansi dasar misalnya saluran transmisi Tello-Panakukang dengan kapasitas tegangan kerja 150 kV maka untuk menentukan nilai impedansi dasar, digunakan persamaan (1) sedangkan untuk menentukan nilai impedansi dalam satuan per unit digunakan persamaan (2).

Untuk menentukan limit MVA pada saluran transmisi, dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \times V_{LL} \times KHA \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

- a. S = Kemampuan maksimum saluran (MVA)
- b. V_{LL} = Tegangan kerja *Line to Line* tempat penghantar dipasang (kV)
- c. KHA = Kemampuan Hantar Arus pengantar (KA)

Berdasarkan rumus diatas, memperlihatkan bahwa untuk menentukan nilai limit MVA pada saluran transmisi, misalnya saluran Tello - Sungguminasa dengan kapasitas tegangan kerja 150 kV, maka digunakan persamaan (3).

Pemberian Gangguan Pada Sistem Transmisi

Setelah di berikan jenis gangguan pada saluran transmisi didapatkan hasil seperti pada pada tabel dibawah:

Tabel 3. Besar arus gangguan yang terjadi pada masing-masing bus untuk jenis gangguan *Single Line to Ground, Line to Line, Gangguan 3 Fasa, Double Line to Ground*

No. Bus	Nama Bus	Besar Arus Gangguan (pu)	Sudut	Gangguan (A)
1	Tallo Lama	25.070	-80.59	9649.490
2	Bontoala	6.757	-78.01	5572.910
3	Tello	27.378	-80.79	10537.800
4	Tanjung Bunga	10.674	-80.91	4108.560
5	Sungguminasa	27.009	-80.49	10395.800
6	Panakukang	21.052	-79.37	8102.940
7	Borongloe	7.960	-82.00	6565.580
8	Kima	9.537	-77.99	3670.960
9	Bosowa	11.532	-73.67	4438.820
10	Pangkep	14.572	-76.25	5608.820
11	Tonasa	5.990	-79.38	4940.670
12	Mandai	5.325	-73.17	4391.830
13	Daya	5.561	-77.82	4586.590
14	Barru	11.581	-75.79	4457.360
15	GI Balusu	12.193	-76.03	4693.040
16	Pare – pare	18.164	-92.48	6691.250
17	Pinrang	10.211	-103.00	3930.220
18	Polmas	5.348	-108.59	2058.550
19	Majene	0.141	-54.49	54.388

20	Mamuju	0.132	-62.37	50.738
21	Bakaru	13.495	-149.99	5194.240
22	Sidera	5.947	-84.01	2288.930
23	Silae	4.110	-85.76	1581.890
24	Tallise	5.788	-82.94	4773.450
25	Poso	6.792	-84.27	2614.080
26	PLTU PJPP	5.221	-82.38	4297.630
27	Parigi	2.927	-84.19	2414.150
28	Pamona	9.105	-83.25	1911.590
29	Palopo	9.424	-86.09	3627.440
30	Makale	9.965	-88.14	3835.420
31	Sidrap	20.272	-91.02	7802.810
32	Soppeng	15.066	-88.70	5798.910
33	Sengkang	17.696	-91.35	6811.380
34	Bone	10.461	-84.49	4026.420
35	Sinjai	7.851	-81.59	3021.960
36	Bulukumba	9.425	-68.92	3627.710
37	Jeneponto	12.406	-58.60	4775.080
38	Pgaya	20.607	-66.85	7931.790
39	Talasa	23.939	-77.03	9214.020
40	Bolangi	12.242	-85.09	4712.130
41	Maros	14.966	-86.74	5760.280

Pada program *PowerWorld Simulator* yang disimulasikan, Bus Bakaru dengan tegangan kerja 150 kV diasumsikan sebagai bus referensi. Bus Tallo Lama, Bus Tello, Bus Borongloe, Bus GI Balusu, Bus Pare-pare, Bus Pinrang, Bus Tallise, Bus PLTU PJPP (Pusaka Jaya Palu Power), Bus Pamona, Bus Palopo, Bus Makale, Bus Sungguminasa, Bus Tallasa, Bus Pgaya, Bus Sinjai, dan Bus Sengkang diasumsikan sebagai bus generator. Sedangkan Bus Bontoala, Bus Panakukang, Bus Kima, Bus Bosowa, Bus Pangkep, Bus Tonasa, Bus Mandai, Bus Daya, Bus Barru, Bus Polmas, Bus Majene, Bus Mamuju, Bus Sidera, Bus Silae, Bus Poso, Bus Parigi, Bus Sidrap, Bus Maros, Bus Bolangi, Bus Tanjung Bunga, Bus Jeneponto, Bus Bulukumba, Bus Bone dan Bus Soppeng diasumsikan sebagai Bus Beban.

Pada *software PowerWorld Simulator*, terdapat empat jenis gangguan yaitu *Single Line to Ground*, *Line to Line*, 3 Fasa, dan *Double Line to Ground*. Berdasarkan hasil perhitungan hubung singkat dengan menggunakan *PowerWorld Simulator*, besar arus gangguan yang terjadi pada tiap bus untuk jenis gangguan *Single Line to Ground* terletak pada Bus 3 (Bus Tello) dengan besar gangguan 10537.800 A yang merupakan nilai arus gangguan tertinggi pada jenis gangguan tersebut. Kemudian, untuk besar arus gangguan yang terjadi pada tiap bus pada jenis gangguan *Line to Line* terletak pada Bus 5 (Bus Sungguminasa) dengan besar arus gangguan 9433.090 A yang merupakan nilai tertinggi pada jenis gangguan tersebut. Selanjutnya, besar arus gangguan yang terjadi pada tiap bus untuk jenis gangguan 3 Fasa terletak pada Bus 5 (Bus Sungguminasa) dengan besar gangguan 10892.400 A yang merupakan nilai tertinggi pada jenis gangguan tersebut. Dan terakhir untuk besar arus gangguan yang terjadi pada tiap bus untuk jenis gangguan *Double Line to Ground* terletak pada Bus 3 (Bus Tello) dengan besar nilai gangguan 10355.000 A yang merupakan nilai arus gangguan tertinggi pada jenis gangguan tersebut. Jadi dari hasil

perhitungan hubung singkat menggunakan *PowerWorld Simulator* dapat disimpulkan bahwa diantara keempat jenis gangguan tersebut nilai arus gangguan tertinggi terletak pada jenis gangguan 3 Fasa yaitu dengan besar arus gangguan 10892.400 A yang terletak pada Bus 5 (Bus Sungguminasa) dan nilai arus gangguan terkecil terletak pada Bus *Line to Line* dengan besar arus gangguan 9433.090 A.

Sedangkan untuk besar tegangan tiap bus sesaat setelah terjadi gangguan dengan mengasumsikan gangguan terjadi pada Bus 21 (Bus Bakaru), tegangan sesaat pada jenis gangguan *Single Line to Ground* terletak pada Bus 22 (Bus Sidera) dengan besar gangguan 0.95961 kV. Kemudian untuk tegangan sesaat pada jenis gangguan *Line to Line* terletak pada Bus 2 (Bus Bontoala) dengan besar gangguan 1.01179 kV. Selanjutnya untuk tegangan sesaat pada jenis gangguan 3 Fasa terletak pada Bus 26 (Bus PLTU PJPP) dengan besar gangguan 0.96951 kV. Dan terakhir untuk tegangan sesaat pada jenis gangguan *Double Line to Ground* terletak pada Bus 26 (Bus PLTU PJPP) dengan besar gangguan 0.99443 kV. Jadi untuk tegangan sesaat terbesar terjadi pada jenis gangguan *Line to Line* yang terletak pada Bus 2 (Bus Bontoala) dengan besar gangguan 1.01179 kV dengan tegangan kerja 70.83 kV setelah terjadi gangguan dan tegangan sesaat terkecil terjadi pada jenis gangguan *Single Line to Ground* yang terletak pada Bus 22 (Bus Sidera) dengan besar gangguan 0.95961 kV dengan tegangan kerja 149.07 kV setelah terjadi gangguan.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil simulasi yang dijalankan dengan menggunakan *PowerWorld Simulator*, maka dapat disimpulkan:

1. Dari hasil simulasi pada *software PowerWorld Simulator*, diperoleh bahwa besar tegangan tiap bus sesaat setelah terjadi gangguan dengan mengasumsikan gangguan terjadi pada Bus 21 (Bus Bakaru), tegangan sesaat pada jenis gangguan *Single Line to Ground* terletak pada Bus 22 (Bus Sidera) dengan besar gangguan 0.95961 kV. Kemudian untuk tegangan sesaat pada jenis gangguan *Line to Line* terletak pada Bus 2 (Bus Bontoala) dengan besar gangguan 1.01179 kV. Selanjutnya untuk tegangan sesaat pada jenis gangguan 3 Fasa terletak pada Bus 26 (Bus PLTU PJPP) dengan besar gangguan 0.96951 kV. Dan terakhir untuk tegangan sesaat pada jenis gangguan *Double Line to Ground* terletak pada Bus 26 (Bus PLTU PJPP) dengan besar gangguan 0.99443 kV. Jadi untuk tegangan sesaat terbesar terjadi pada jenis gangguan *Line to Line* terletak pada Bus 2 (Bus Bontoala) dengan besar gangguan 1.01179 kV dengan tegangan kerja 70.83 kV setelah terjadi gangguan dan tegangan sesaat terkecil terjadi pada jenis gangguan *Single Line to Ground* yang terletak pada Bus 22 (Bus Sidera) dengan besar gangguan 0.95961 kV dengan tegangan kerja 149.07 kV setelah terjadi gangguan.
2. Besar arus gangguan yang terjadi tiap bus, besar arus gangguan terbesar dengan nilai 10892.400 A yaitu ketika terjadi gangguan 3 Fasa di Bus 5 (Bus Sungguminasa). Untuk jenis gangguan yang lainnya seperti, *Single Line to Ground* besar arus gangguannya yaitu 10537.800 A pada Bus 3 (Bus Tello), kemudian *Double Line to Ground* besar arus gangguannya adalah 10355.000 A pada Bus 3 (Bus Tello), dan *Line to Line* besar arus gangguannya yaitu 9433.090 A pada Bus 5 (Bus Sungguminasa).

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan simulator yang lebih besar kapasitas jumlah bus yang dapat dioperasikan oleh simulator tersebut agar lebih maksimal lagi.
2. Saran untuk peneliti selanjutnya yaitu menghitung *critical clearing time* pada simulasi berikutnya.

Daftar Pustaka

- Djalal, Muhammad Ruswandi, and Faisal Faisal. 2019. "Studi Kestabilan Generator Sistem Sulsebar (Stability Study of Sulsebar System Generator)." 3(1).
- Haikal, Muhammad Agil, and Muhammad Ruswandi Djalal. 2015. "Studi Hubung Singkat 3 Fasa Simetri (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 KV Studi Hubung Singkat 3 Fasa Simetri (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 Kv Sulawesi Selatan)." (December).
- Kerur, Prakash, and R L Chakrasali. 2020. "Power Transfer Capability Recognition in Deregulated System under Line Outage Condition Using Power World Simulator." 3(4): 277–85.
- Nugraha, Candra Febri, Lukman Subekti, Departemen Teknik, and Universitas Gadjah Mada. 2022. "Optimisasi Penjadwalan Pembangkit Pada Microgrid Dengan Mempertimbangkan Respons Beban." 3(1): 20–24.
- Saini, Makmur, and Muhammad Ikram Fauzan. 2020. "Analisis Kestabilan Transien Dan Djalal, Muhammad Ruswandi, and Faisal Faisal. 2019. "Studi Kestabilan Generator Sistem Sulsebar (Stability Study of Sulsebar System Generator)." 3(1).
- Haikal, Muhammad Agil, and Muhammad Ruswandi Djalal. 2015. "Studi Hubung Singkat 3 Fasa Simetri (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 KV Studi Hubung Singkat 3 Fasa Simetri (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 Kv Sulawesi Selatan)." (December).
- Kerur, Prakash, and R L Chakrasali. 2020. "Power Transfer Capability Recognition in Deregulated System under Line Outage Condition Using Power World Simulator." 3(4): 277–85.
- Nugraha, Candra Febri, Lukman Subekti, Departemen Teknik, and Universitas Gadjah Mada. 2022. "Optimisasi Penjadwalan Pembangkit Pada Microgrid Dengan Mempertimbangkan Respons Beban." 3(1): 20–24.
- Saini, Makmur, and Muhammad Ikram Fauzan. 2020. "Analisis Kestabilan Transien Dan Mekanisme Pelepasan Beban Pada Jaringan Listrik Wilayah Sulsebar Setelah Penambahan PLTU Punagaya." 18(1): 113–25.
- Siswanto, A., I. C. Gunadin, S. M. Said, and A. Suyuti. 2019. "Stability Improvement by Reducing Voltage Fluctuation Using SVC in Penetration Wind Power System." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 676(1).
- Sultanbatara, Dan Tenggara. 2017. "Analisis Hubung Singkat Asimetris Pada Sistem Kelistrikan Sulawesi." 1(April): 81–91.
- Syafaruddin, Syafaruddin, and Satriani Latief. 2018. "Lesson Learned from Power System

Design with PowerWorld Simulator.” *2018 Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE)*: 1–6.

Triyanto, April et al. 2021. “Analisis Gangguan Hubung Singkat Untuk Penentuan Breaking Capacity Circuit Breaker Pada Sistem Distribusi Pltd Di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia.”