

Analisis Pengaruh Peningkatan Beban Terhadap Sistem Ketenagalistrikan 150 kV Gorontalo Berbasis *Power System Analysis Toolbox-Matrix Laboratory*

Steven Humena¹, Frengki E.P. Surusa², Yusrianto Malago³, dan Taufik Libunelo⁴

^{1,2,4}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ichsan Gorontalo, Indonesia

³Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Ichsan Gorontalo, Indonesia

¹steven.humena@unisan.ac.id, ²kiki.alaska@gmail.com, ³yusrianto_malago@live.com,

⁴elektroteknik118@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mempelajari pengaruh peningkatan beban terhadap sistem ketenagalistrikan pada jaringan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV di PT.PLN (Persero) Gorontalo. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software Power System Analysis Toolbox* (PSAT) yang terintegrasi pada *Matrix Laboratory* (MATLAB). Proyeksi kebutuhan tenaga listrik Provinsi Gorontalo sesuai dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT.PLN (Persero) tahun 2019-2028, di mana beban puncak mengalami pertumbuhan rata – rata sebesar 7,5% pertahun. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan total beban tertinggi terjadi pada tahun ke-5 dengan daya aktif sebesar 179,73 MW. Dibandingkan dengan total beban awal, yaitu daya aktif sebesar 118,64 MW, peningkatan daya aktif pada tahun ke-5 adalah sebesar 66%. Rugi – rugi daya juga mengalami peningkatan dengan rata – rata kenaikan daya aktif sebesar 1,31 MW atau 23% pertahun. Sementara itu, profil tegangan mengalami penurunan dengan rentang batas atas 0,97 pu dan batas bawah 0,91 pu. Rentang tersebut mendekati batas tegangan yang di iijinkan, yaitu +5% (1,05 pu) dan -10% (0,90) dari tegangan nominal 1 pu.

Kata kunci: Analisis aliran daya, Power System Analysis Toolbox, Sistem 150 kV Gorontalo

Abstract

This research studied the effect of increased load on the electricity system of the 150 kV high voltage line network at PT PLN (Persero) Gorontalo. The analysis was performed using the Power System Analysis Toolbox (PSAT) software integrated with Matrix Laboratory (MATLAB). The projected demand for electricity in Gorontalo Province was related to the PT. PLN (Persero) Electric Power Supply (RUPTL) Business Plan for 2019-2028, where the peak loads had an average growth of 7.5% per year. The simulation results showed that the highest total load occurred in the 5th year with an active power of 179.73 MW. Compared to the initial total load value, i.e. active power of 118.64 MW, the increase in active power in the 5th year was 66%. The power losses also increased with an average rise in active power of 1.31 MW or 23% per year. Meanwhile, the stress profile was decreased with an upper limit of 0.97 pu and a lower limit of 0.91 pu. The mentioned range was close to the allowable voltage limit, i.e +5% (1.05 pu) and -10% (0.90) of the nominal voltage of 1 pu.

Keywords: Power flow analysis, Power System Analysis Toolbox, System 150 kV Gorontalo

1. Pendahuluan

Beban listrik Provinsi Gorontalo pada tahun 2017 masih berada dalam kondisi surplus dengan daya mampu sistem Gorontalo yaitu 114 MW dengan beban puncak 90 MW. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat cadangan daya listrik di Provinsi Gorontalo sebesar 24 MW (Solihin, 2017). Akan tetapi, kondisi beban puncak pada sistem kelistrikan Gorontalo tidak akan stabil secara terus menerus karena peningkatan beban yang terjadi di setiap tahunnya. Pada tahun 2015, rasio pelanggan rumah tangga berlistrik PLN di Provinsi Gorontalo adalah sebesar 79,18% (PT. PLN (Persero), 2017).

Analisis aliran daya di dalam sistem tenaga listrik merupakan analisis yang penting. Untuk menganalisis aliran daya, langkah awal yang harus dilakukan adalah membentuk matriks admitansi bus, dimana impedansinya dinyatakan dalam perunit MVA dan mengabaikan resistansi. Analisis aliran daya mengungkapkan kinerja dan aliran daya untuk keadaan tertentu yang bekerja pada sistem tunak (*steady state*). Analisis aliran daya juga memberikan informasi mengenai beban saluran transmisi di sistem, tegangan di setiap lokasi untuk evaluasi regulasi kinerja sistem tenaga dan bertujuan untuk menentukan besarnya daya nyata (*real power*), daya reaktif (*reactive power*) diberbagai titik pada sistem daya yang dalam keadaan berlangsung atau diharapkan untuk operasi normal (Suharko dkk, 2017). Nigara & Primadiyono (2015) menjelaskan bahwa hasil analisis aliran daya dapat digunakan untuk mengetahui besarnya rugi daya (*losses*) dan tegangan, serta alokasi daya reaktif dan kemampuan sistem untuk memenuhi pertumbuhan beban.

Pada penelitian ini, analisis aliran daya dilakukan dengan menggunakan simulasi *Power System Analysis Toolbox* (PSAT) yang terintegrasi pada *software Matrix Laboratory* (MATLAB). Milano, (2005) menjelaskan bahwa

Info Makalah:

Dikirim : 09-18-19;
Revisi 1 : 02-18-20;
Revisi 2 : 04-11-20;
Revisi 3 : 04-30-20;
Revisi 4 : 05-15-20;
Diterima : 05-16-20.

Penulis Korespondensi:

e-mail : steven.humena@gmail.com

PSAT merupakan *software* yang dapat digunakan untuk menganalisis dan mendesain sistem tenaga listrik, yang mencakup aliran daya, *continuations* aliran daya, aliran daya optimal, analisis stabilitas *small-signal*, dan simulasi *time-domain*, serta beberapa model statis dan dinamis, termasuk beban non-konvensional, mesin sinkron dan asinkron, regulator, dan FACTS. PSAT juga dilengkapi dengan set lengkap antarmuka grafis yang mudah digunakan dan editor berbasis Simulink untuk diagram jaringan satu-*line*. Metode *Newton-Raphson* menjadi alternatif pada simulasi ini karena sudah digunakan secara luas dalam analisis pada sistem tenaga listrik (Gunadin dkk., 2019).

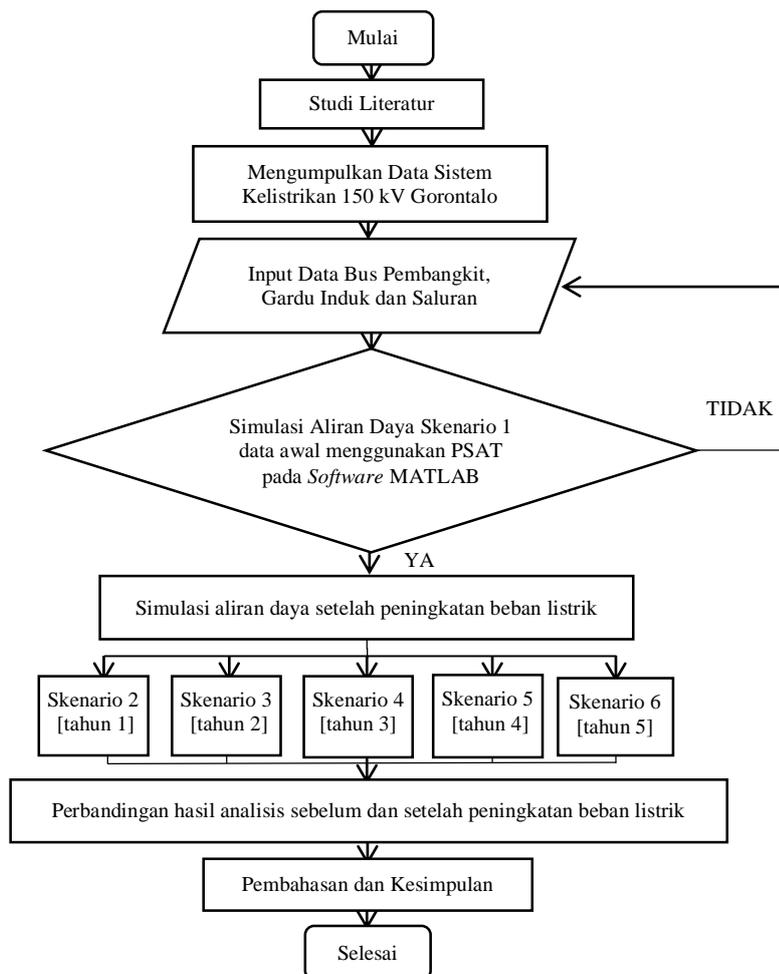
Diketahui bahwa proyeksi kebutuhan tenaga listrik di Provinsi Gorontalo sesuai dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT.PLN (Persero) tahun 2019-2028, dimana beban puncak mengalami pertumbuhan rata – rata 7,5 % pertahun (PT. PLN (Persero), 2019). Humena dkk (2018) mengatakan bahwa peningkatan beban yang terjadi akan menyebabkan perubahan pada sistem tenaga listrik. Pola aliran daya juga akan berubah sehingga perlu analisis untuk dapat mengetahui kondisi atau performa sistem ketika terjadi peningkatan beban pada 1 (satu) sampai 5 (lima) tahun kedepan. Penelitian ini menganalisis peningkatan beban untuk mengetahui pengembangan sistem yang diperlukan dimasa yang akan datang. Perlu adanya analisis aliran daya seiring dengan meningkatnya beban di setiap tahunnya, melalui desain dan input data sistem ketenagalistrikan gorontalo 150 kV pada *software* PSAT. Simulasi dilakukan dengan menggunakan metode aliran daya *Newton-Raphson* sebelum dan setelah peningkatan beban listrik dari tahun ke 1 hingga tahun ke 5.

2. Metode

Pada penelitian ini, sistem kelistrikan 150 kV Gorontalo akan dianalisis dalam beberapa skenario peningkatan beban listrik menggunakan metode *Newton-Raphson* yang disimulasikan menggunakan PSAT 2.1.9 dan terintegrasi pada *software* MATLAB R2014a. Hasil dari simulasi tersebut pada dasarnya dapat menjawab tantangan pertumbuhan beban listrik untuk menemukan solusi performansi sistem kelistrikan Gorontalo dimasa mendatang. Tahapan penelitian ditunjukkan dalam Gambar 1.

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, sebagai berikut:

- a. Tahapan pertama dimulai dengan pengumpulan data awal berupa data pembangkitan, gardu induk, saluran transmisi, dan beban pada tanggal 1 Maret 2019.
- b. Tahap kedua melakukan validasi data yang telah ada, selanjutnya skenario pertama data awal disimulasikan dalam PSAT menggunakan penyelesaian aliran daya metode *Newton Raphson*. Hasil analisis digunakan untuk sebelum peningkatan beban.
- c. Tahap ketiga melakukan simulasi skenario 2 – skenario 6 dengan peningkatan beban puncak pertahun sebesar 7,5% sesuai proyeksi kebutuhan tenaga listrik Provinsi Gorontalo pada RUPTL PLN 2019-2028. Hasil simulasi digunakan untuk setelah peningkatan beban tahun ke 1 sampai ke 5.
- d. Setelah didapatkan hasil sebelum dan setelah peningkatan beban pertahun, kemudian dilakukan analisis perbandingan sebelum dan setelah peningkatan beban dan hasil perbandingan tersebut dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi dalam rencana pengembangan sistem kelistrikan dimasa yang akan datang.

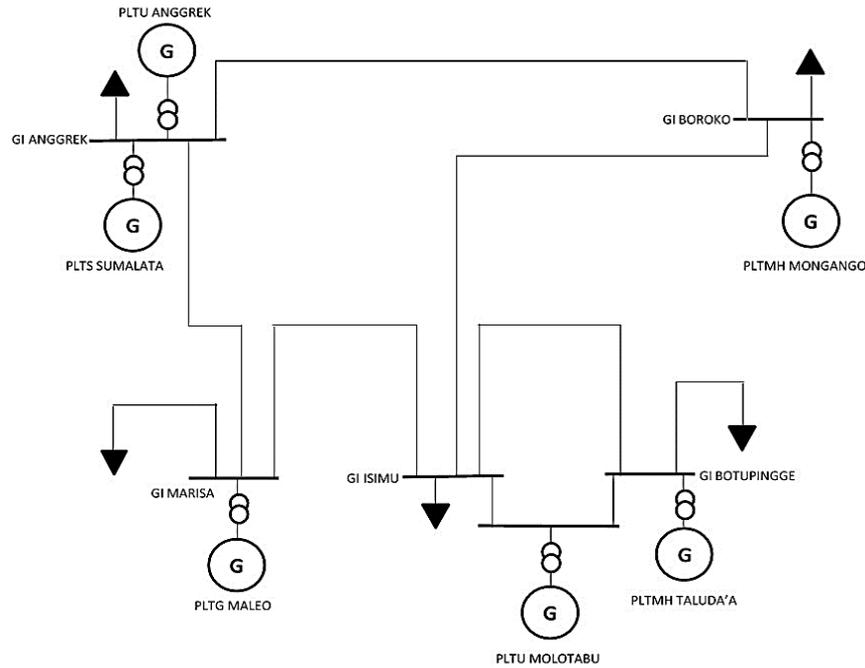


Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Pengumpulan data awal berupa data *single line* diagram sistem kelistrikan 150 kV Gorontalo, data pembangkit beserta parameter mesinnya, data saluran transmisi, data gardu induk dan data beban. Data generator berupa daya mampu, tegangan, faktor daya dan data tipikal. Data trafo diambil dari data pada gardu induk berupa daya trafo, frekuensi, tegangan primer dan sekunder. Data saluran yang dibutuhkan adalah tegangan, jenis kabel, luas penampang, kuat penghantar arus, panjang saluran dan impedansi saluran. Data beban yang dibutuhkan adalah beban pada masing-masing Gardu Induk berupa tegangan, daya aktif dan daya reaktif. Data-data tersebut dianalisis dan divalidasi. Selanjutnya dilakukan permodelan *single line* dan kondisi sistem daya sebelum peningkatan beban listrik untuk mengetahui aliran daya (*load flow*) pada sistem. Permodelannya menggunakan bantuan perangkat lunak PSAT versi 2.1.9 yang terintegrasi dengan program MATLAB R.2014a dengan menggunakan metode penyelesaian aliran daya *Newton-Raphson* dan menyimulasikannya. Hasil dari *load flow* dievaluasi untuk mengetahui profil tegangan dan rugi-rugi daya (*losses*). Peningkatan beban listrik dilakukan dalam 5 skenario yaitu 1-5 tahun yang akan datang, sehingga dilakukan permodelan kondisi sistem daya kembali dan menyimulasikannya. Setelah mengetahui hasil dari *load flow* kelima skenario tersebut maka hasilnya dibandingkan dengan hasil simulasi sebelum adanya peningkatan beban listrik. Hasil perbandingan tersebut dievaluasi dan disimpulkan dalam rangka rencana pengembangan sistem tenaga listrik di Provinsi Gorontalo dimasa yang akan datang.

3. Hasil dan Pembahasan

Sistem tenaga listrik Gorontalo 150 kV dipasok dari beberapa pusat pembangkit yang tersebar di Provinsi Gorontalo. Berdasarkan Gambar 2. *single line* diagram sistem kelistrikan Gorontalo memiliki 5 (lima) Gardu Induk (GI) yaitu GI Angrek, GI Boroko, GI Botupingge, GI Isimu dan GI Marisa, serta 6 (enam) Pembangkit yaitu PLTU Angrek, PLTS Sumalata, PLTMH Mongango, PLTMH Taludaa, PLTU Molotabu dan PLTG Maleo yang saling terhubung melalui saluran transmisi 150 kV. Data Gardu Induk dan Pembangkit terlihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Single Line Sistem Kelistrikan 150 kV Gorontalo

Tabel 1. Data Daya Terpasang Pembangkit dan Beban Gardu Induk

Bus	V (kV)	Arus (A)	P_g (MW)	Q_g (MVar)	P_b (MW)	Q_b (MVar)
GI Anggrek	150	321	-	-	10,56	3,47
GI Boroko	150	320	-	-	10,53	3,46
GI Botupingge	150	1688	-	-	55,55	18,26
GI Isimu	150	807	-	-	26,56	8,73
GI Marisa	150	468	-	-	15,40	5,06
PLTG Maleo	150	-	100	75	-	-
PLTMH Mongango	150	-	1,00	0,75	-	-
PLTMH Taludaa	150	-	3,20	2,40	-	-
PLTS Sumalata	150	-	1,60	1,20	-	-
PLTU Anggrek	150	-	50,00	37,50	-	-
PLTU Molotabu	150	-	25,00	18,75	-	-

Pada Tabel 1. terlihat bahwa beban terbesar terlihat pada GI Botupingge yaitu P_b sebesar 55,55 MW dan Q_b sebesar 18,26 MVar, sedangkan daya terbesar yang dibangkitkan terlihat ada pada pembangkit PLTG Maleo yaitu sebesar P_g 100 MW dan Q_g 75 MVar.

Saluran transmisi tenaga listrik Gorontalo merupakan saluran udara (*overhead line*) tiga fasa dengan tegangan kerja 150 kV. Data saluran transmisinya diperlihatkan pada Tabel 2. Saluran transmisi terpanjang yaitu antara GI Marisa ke GI Anggrek sebesar 143 KM dan saluran Transmisi terpendek antara GI Isimu ke GI Botupingge sebesar 36,28 KM.

Tabel 2. Data Saluran Transmisi

Dari Bus	Ke Bus	Panjang Saluran (Km)	Impedansi Urutan Positif (pu)	
			R	X
GI Isimu	GI Botupingge	36,28	0,018437	0,065623
GI Isimu	GI Marisa	110,25	0,056028	0,199420
GI Isimu	GI Buroko	72,92	0,037057	0,131898
GI Marisa	GI Anggrek	143,44	0,072894	0,259454
GI Anggrek	GI Buroko	59,54	0,030257	0,107696

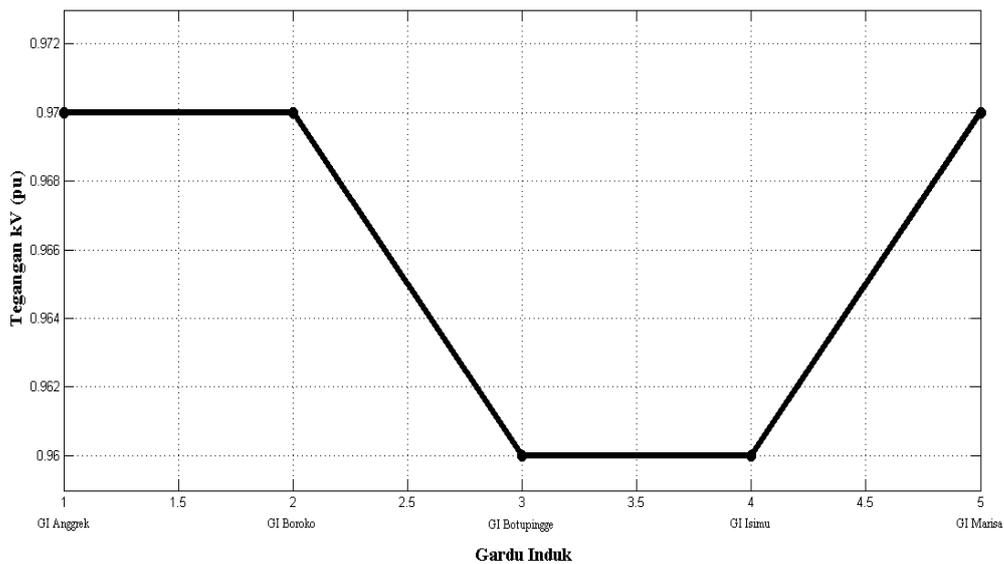
3.1 Skenario Pembebanan Awal

Hasil simulasi aliran daya sebelum adanya peningkatan beban terlihat pada Tabel 3. Tampak bahwa total beban daya aktif adalah sebesar 118,64 MW, daya reaktif sebesar 38,71 MVar, total pembangkit daya aktif sebesar 122,22 MW dengan daya reaktif sebesar 84,11 MVar, dan total rugi-rugi daya aktif adalah sebesar 3,58 MW (3%) dengan daya reaktif sebesar 45,39 MVar (54%),

Tabel 3. Hasil Simulasi Aliran Daya Beban Awal

Bus	V p,u	P _g MW	Q _g MVar	P _b MW	Q _b MVar
GI Anggrek	0,97	-	-	10,56	3,45
GI Boroko	0,97	-	-	10,53	3,44
GI Botupingge	0,96	-	-	55,55	18,13
GI Isimu	0,96	-	-	26,60	8,68
GI Marisa	0,97	-	-	15,40	5,03
PLTG Maleo	1	41,42	11,24	-	-
PLTMH Mongango	1	1,00	7,64	-	-
PLTMH Taludaa	1	3,20	43,11	-	-
PLTS Sumalata	1	1,60	6,85	-	-
PLTU Anggrek	1	50,00	9,46	-	-
PLTU Molotabu	1	25,00	5,81	-	-
Total Beban	P (MW)	118,64			
	Q (MVar)	38,71			
Total Pembangkit	P (MW)	122,22			
	Q (MVar)	84,11			
Rugi – Rugi Daya	P (MW)	3,58 (3%)			
	Q (MVar)	45,39 (54%)			

Pada Tabel 3 terlihat bahwa beban tertinggi terdapat pada GI Botupingge yaitu sebesar 55,55 MW dan yang terendah terdapat pada GI Marisa 15,40 MW, Profil tegangan pada GI Anggrek, GI Boroko, GI Marisa sebesar 0,97 pu dan tegangan paling rendah berada pada GI Botupingge, GI Isimu sebesar 0,96 pu seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Profil Tegangan Pada Beban Awal

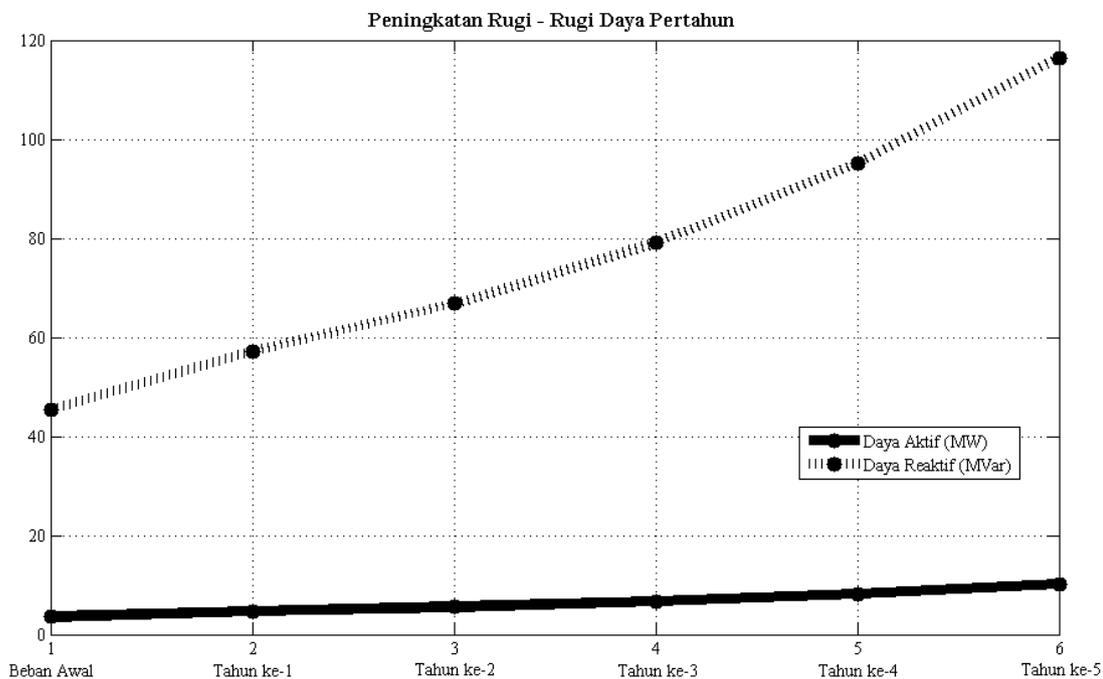
3.2 Skenario Peningkatan Beban Tahun ke 1 sampai ke 5

Skenario simulasi setelah adanya peningkatan beban ditunjukkan pada Tabel 4. Berdasarkan hasil simulasi dari tahun ke 1 sampai ke 5, total beban tertinggi terjadi pada tahun ke 5 dengan daya aktif sebesar 179,73 MW dan daya reaktif sebesar 58,65 MVar. Dibandingkan dengan total beban saat pembebanan awal yaitu daya aktif sebesar 118,64 MW dan daya reaktif sebesar 38,71 MVar maka tahun ke 5 terjadi peningkatan beban daya aktif dan reaktif sebesar 66 %.

Tabel 4. Beban Gardu Induk saat Peningkatan Beban Tahun ke 1 sampai ke 5

Bus	Tahun ke-1		Tahun ke-2		Tahun ke-3		Tahun ke-4		Tahun ke-5	
	P _b MW	Q _b MVar								
GI Anggrek	11,99	3,91	12,89	4,20	13,85	4,52	14,89	4,86	16,01	5,22
GI Boroko	11,95	3,90	12,85	4,19	13,81	4,51	14,84	4,84	15,96	5,21
GI Botupingge	63,03	20,57	67,76	22,11	72,84	23,77	78,31	25,55	84,18	27,47
GI Isimu	30,14	9,83	32,40	10,57	34,83	11,36	37,44	12,22	40,24	13,13
GI Marisa	17,48	5,70	18,79	6,13	20,20	6,59	21,71	7,08	23,34	7,62
Total Beban	P (MW)	134,58	144,68	155,53	167,19	179,73				
	Q (MVar)	43,92	47,21	50,75	54,56	58,65				
Total Rugi – Rugi Daya	P (MW)	4,65 (3%)	5,52 (4%)	6,65 (4%)	8,14 (5%)	10,13 (5%)				
	Q (MVar)	57,24 (57%)	66,77 (59%)	79,07 (61%)	95,11 (64%)	116,43 (67%)				

Pada pengamatan simulasi dari pembebanan awal hingga adanya peningkatan beban dari tahun ke 1 sampai ke 5, terjadi peningkatan rugi-rugi daya dengan rata – rata kenaikan daya aktif sebesar 1,31 MW atau 23 % pertahun dan daya reaktif sebesar 14,21 MVar atau 21 % pertahun. Total rugi – rugi daya tertinggi terjadi pada tahun ke-5, yaitu daya aktif sebesar 10,13 MW dan daya reaktif sebesar 116,43 MVar (Gambar 4),



Gambar 4. Peningkatan Rugi – Rugi Daya Pertahun

Pada Tabel 5 tampak bahwa peningkatan beban tahun ke 5 mengalami kelebihan 9,06 MW daya aktif dari kapasitas daya aktif terpasang pembangkit yaitu sebesar 180,80 MW. Karena itu perlu adanya penambahan pembangkit pada saat beban tahun ke 5 tersebut.

Tabel 5, Daya Pembangkit saat Peningkatan Beban Tahun ke 1 sampai ke 5

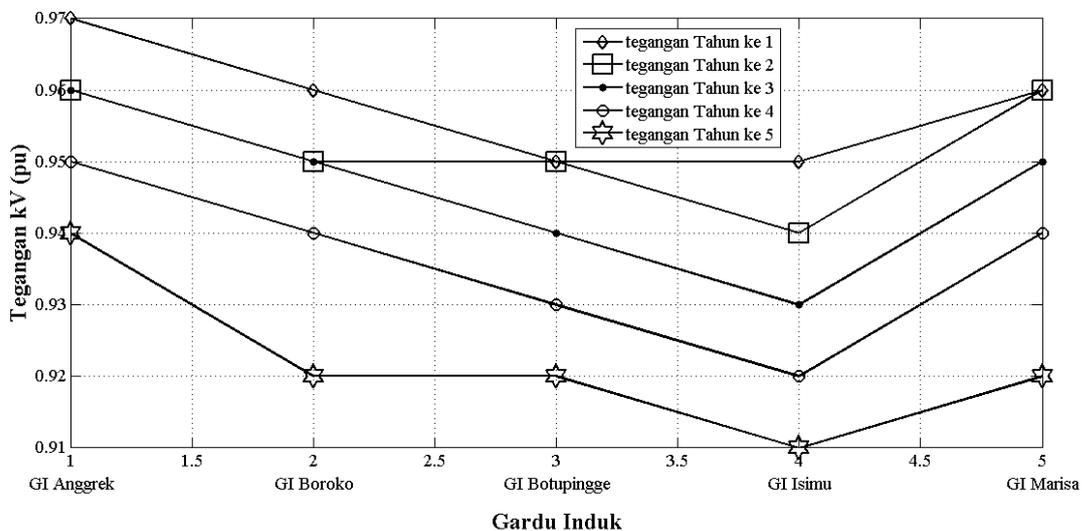
Pembangkit	Tahun ke-1		Tahun ke-2		Tahun ke-3		Tahun ke-4		Tahun ke-5	
	P _g MW	Q _g MVar								
PLTG Maleo	58,43	15,42	69,40	19,04	81,38	23,90	94,53	30,43	109,06	39,31
PLTMH Mongango	1,00	9,10	1,00	10,14	1,00	11,37	1,00	12,85	1,00	14,67
PLTMH Taludaa	3,20	51,26	3,20	57,01	3,20	63,80	3,20	71,95	3,20	81,94
PLTS Sumalata	1,60	8,20	1,60	9,15	1,60	10,29	1,60	11,66	1,60	13,35
PLTU Anggrek	50,00	10,66	50,00	11,59	50,00	12,77	50,00	14,27	50,00	16,24
PLTU Molotabu	25,00	6,51	25,00	7,04	25,00	7,69	25,00	8,51	25,00	9,56
Total Pembangkitan	P (MW)	139,23	150,20	162,18	175,33	189,86				
	Q (MVar)	101,15	113,98	129,82	149,66	175,08				

Berdasarkan profil tegangan yang ditunjukkan pada Tabel 6. tampak bahwa terjadi penurunan profil tegangan seiring dengan peningkatan beban dengan rentang batas atas sebesar 0,97 pu dan batas bawah sebesar 0,91 pu, yang tidak lebih atau kurang dari batas tegangan yang di ijin +5 % (1,05 pu) dan -10 % (0,90 pu) dari tegangan nominal 1 pu.

Tabel 6. Profil Tegangan saat Peningkatan Beban Tahun ke 1 sampai ke 5

Bus	Tahun ke-1	Tahun ke-2	Tahun ke-3	Tahun ke-4	Tahun ke-5
	V p,u				
GI Anggrek	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94
GI Boroko	0,96	0,95	0,95	0,94	0,92
GI Botupingge	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92
GI Isimu	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
GI Marisa	0,96	0,96	0,95	0,94	0,92

Pada Gambar 5. terlihat simulasi tahun ke-5 yang mengalami penurunan tegangan sangat drastis yaitu tegangan GI Anggrek sebesar 0,94 pu, GI Boroko 0,92 pu, GI Botupingge 0,92 pu, GI Isimu 0,91 pu dan GI Marisa 0,92 pu, Sehingga besar tegangan yang ada pada GI Isimu yang paling terendah dari semua GI yaitu sebesar 0,91 pu.



Gambar 5. Profil Tegangan saat Peningkatan Beban Tahun ke 1 sampai ke 5

Kesimpulan

Studi tentang pengaruh peningkatan beban listrik terhadap sistem ketenagalistrikan 150 kV Gorontalo dilakukan untuk merencanakan dan mengetahui besarnya daya dalam suatu sistem tenaga listrik, Analisis dilakukan untuk mengetahui profil tegangan, besarnya daya, dan rugi – rugi daya pada setiap tahunnya, Hasil simulasi skenario – skenario peningkatan beban pertahun sebesar 7,5% sesuai proyeksi kebutuhan tenaga listrik Provinsi Gorontalo pada RUPTL PLN 2019-2028, total beban daya aktif pada skenario tahun ke 5 mencapai 179,73 MW dan daya reaktif 58,68 MVar, dengan rugi – rugi daya aktif sebesar 10,13 MW dan daya reaktif 116,43 MVar, Total daya aktif yang disuplai oleh pembangkit pada skenario tahun ke 5 melebihi kapasitas daya aktif terpasang yaitu sebesar 180,80 MW dan daya reaktif terpasang sebesar 135 MVar, Untuk itu disarankan kepada penyedia tenaga listrik yaitu PT, PLN (Persero) untuk melakukan pengembangan sistem kelistrikannya yang berada di Provinsi Gorontalo sesuai dengan keperluan dimasa yang akan datang, Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi stabilitas sistem kelistrikan seiring dengan meningkatnya beban, sehingga dimasa yang akan datang kondisi sistem kelistrikan dalam keadaan mantap dan handal,

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRPM RISTEKDIKTI atas dukungannya finansialnya pada skema Penelitian Dosen Pemula Tahun 2018-2019 dengan nomor kontrak 115/SP2H/LT/DRPM/2019, kemudian Universitas Ihsan Gorontalo atas dukungannya dalam keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini dan PT, PLN (Persero) SULBAGUT telah memberikan data kelistrikan Gorontalo sehingga tahapan proses penelitian terselesaikan dengan baik, Penulis juga berterima kasih kepada teman - teman Dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Ihsan Gorontalo atas diskusinya yang bermanfaat,

Daftar Pustaka

- Gunadin, I, C., Putra Az, E, S., Akil, Y, S., & Humena, S, (2019), The impact of the injection of wind power plant on the steady state condition and the dynamics of SULSELBAR power system, *International Journal of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications*, 8(6), 327–333, <https://doi.org/10.18178/ijeetc.8.6.327-333>
- Humena, S., Surusa, F, E, P., & Anang, H, (2018), DAMPAK MASUKNYA PLTS ISIMU 10 MW TERHADAP PROFIL TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN 150 KV GORONTALO, *Dielektrika*, 5(2), 125–132, <http://dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/view/170>
- Milano, F, (2005), An open source power system analysis toolbox, *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(3), 1199–1206, <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2005.851911>
- Nigara, A, G., & Primadiyono, Y, (2015), Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik pada Bagian Texturizing di PT Asia Pasific Fibers Tbk Kendal menggunakan Software ETAP Power Station 4,0, *Jurnal Teknik Elektro*, 7(1), 7–10,
- PT, PLN (Persero), (2017), Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT,PLN (Persero) Tahun 2017 s/d 2026, In *Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*, Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, [http://www.djk.esdm.go.id/pdf/RUPTL/RUPTL PLN 2017-2026.pdf](http://www.djk.esdm.go.id/pdf/RUPTL/RUPTL%20PLN%202017-2026.pdf)
- PT, PLN (Persero), (2019), Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT,PLN (Persero) Tahun 2019 s/d 2028, In *Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*, Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, <http://www.djk.esdm.go.id/index.php/rencana-ketenagalistrikan/ruptl-pln>
- Solihin, A, (2017), *PLN _ Suplai Listrik Di Gorontalo Masih Cukup*, ANTARA News Gorontalo, <https://gorontalo.antaranews.com/berita/39461/pln-suplai-listrik-di-gorontalo-masih-cukup>
- Suharko, Taqiyyuddin, H, M., & Sugiono, (2017), ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN PADA BUS 6,3 KV SUBSTATION 2A DAN SUBSTATION 2B DENGAN MENGGUNAKAN ETAP 12,6, *SCIENCE ELECTRO*, 6(2), 40–51, <http://www.riset.unisma.ac.id/index.php/jte/article/view/1672>