

**LAPORAN PENELITIAN
PENDIDIKAN BERBASIS LABORATORIUM
*LABORATORY BASED EDUCATION (LBE)***

**KOMPENSASI DAYA REAKTIF UNTUK PERBAIKAN KUALITAS
DAYA AKIBAT MASUKNYA PEMBANGKIT DENGAN LOKASI
YANG JAUH DARI PUSAT BEBAN PADA SISTEM KELISTRIKAN
SULAWESI SELATAN, BARAT DAN TENGGARA**

TIM PENELITI

Dr. Yusran, ST., MT.

Ir. Gassing, MT.

Nur Muh. Nuzran

NIP : 197504042000121001

NIP : 196007201987021001

NIM : D411 12 305



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
OKTOBER 2016**

Halaman Pengesahan

Judul Penelitian : Kompensasi Daya Reaktif Untuk Perbaikan Kualitas Daya Akibat Masuknya Pembangkit Dengan Lokasi Yang Jauh Dari Pusat Beban Pada Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan, Barat dan Tenggara

Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap : Dr. Yusran, ST., MT.
b. Jenis Kelamin : Laki-Laki
c. NIP : 19750404 200012 1 001
d. NIDN : 00047509
e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
f. Jabatan Struktural : -
g. Fakultas/Departemen : Teknik/Teknik Elektro
h. Alamat Institusi : Kampus Unhas, Jl. Perintis Kemerdekaan km 10, Tamalanrea, Makassar
i. Telp/E-mail : 0411 – 590125 / teknik@unhas.ac.id
j. Alamat Rumah : Jalan Bangkala Dalam 20 No. 177, Blok 1, Bumi Antang Permai, Makassar
k. Telpon/Faks/E-mail : 08124181907 / yusranibnu@yahoo.com
Jumlah Anggota Peneliti : 2 (dua) orang
Anggota (1): Ir. Gassing, MT/NIP: 19600720 198702 1 001
Anggota (2): Nur Muh. Nuzran/NIM: D411 12 305
Waktu Penelitian : 6 (enam) bulan
Lokasi Penelitian : Kota Makassar
Biaya Yang Diusulkan : Rp. 6.000.000,- (enam juta rupiah)

Makassar, 3 Oktober 2016

Mengetahui,
Ketua Departemen



Prof. Dr. Ir. Salama Manjang, MT.
NIP: 196212311990031024

Ketua Peneliti

Dr. Yusran, ST., MT.
NIP: 197504042000121001

Menyetujui,
Wakil Dekan I



Dr. Ir. Muhammad Ramli, MT.
NIP: 196807181993091001

KOMPARASI KUALITAS DAYA SISTEM KETENAGALISTRIKAN SULSELBAR UNTUK KONDISI SISTEM YANG TERHUBUNG DENGAN PEMBANGKIT YANG JAUH DARI PUSAT BEBAN DAN PEMBANGKIT YANG DEKAT DENGAN PUSAT BEBAN

Yusran*, Fauziah Haz, Ali Akbar, Arini Ridhowati, Gassing
Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea - Makassar, 90245
Telp./Fax: (0411) 588111
*e-mail: yusranibnu@yahoo.com

Abstrak

Akselerasi pembangunan di Provinsi Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat menuntut tersedianya daya listrik dalam jumlah yang cukup. Ketersediaan daya listrik tersebut dipenuhi melalui pembangunan pembangkit baru. Sistem ketenagalistrikan Sulselbar sendiri memiliki karakteristik unik yaitu keberadaan pusat-pusat pembangkit yang terletak di bagian utara dan pusat-pusat beban yang terletak di bagian selatan. Salahsatu pembangkit yang sudah terhubung dengan sistem tenaga listrik Sulselbar adalah PLTA Poso II. PLTA Poso II merupakan pembangkit terjauh dari pusat beban yaitu di daerah Poso, Sulawesi Tengah. Penelitian ini membahas tentang kualitas daya sistem setelah terhubung dengan PLTA Poso II dan komparasinya setelah terhubung dengan pembangkit baru yang terletak dekat pusat beban yaitu PLTU Jeneponto IPP. Metode yang digunakan adalah simulasi aliran daya dengan menggunakan metode Newton Raphson. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat terhubung dengan PLTA Poso II, nilai rugi-rugi daya meningkat dari 18,504 MW menjadi 22,919 MW. Sementara, saat sistem sudah terhubung dengan PLTU Jeneponto IPP, nilai-rugi daya turun menjadi 16,437 MW.

Kata kunci: *kualitas daya, pembangkit, pusat beban, sistem Sulselbar*

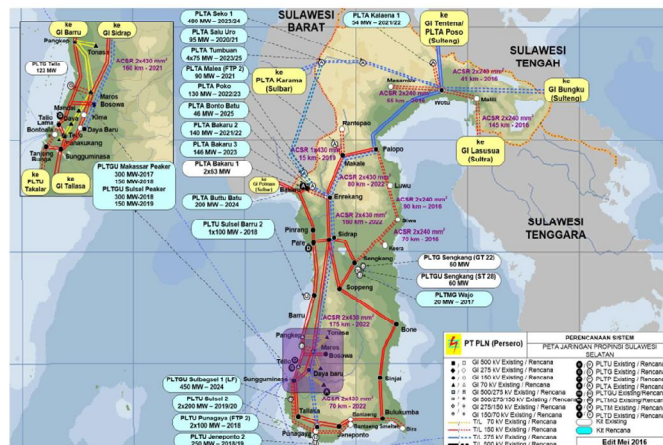
PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan yang mendasar bagi masyarakat. Kemajuan suatu daerah juga sangat ditentukan oleh tersedianya infrastruktur kelistrikan. Akselerasi pembangunan di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat menuntut tersedianya daya listrik dalam jumlah yang cukup. Pertumbuhan kebutuhan daya listrik setiap tahunnya menunjukkan angka yang meningkat setiap tahunnya. Proyeksi pertumbuhan beban pada sistem ketenagalistrikan Sulawesi Selatan dan Barat (Sulselbar) ditunjukkan pada Tabel 1. Adapun peta jaringan ketenagalistrikan Sulselbar ditunjukkan masing masing pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Proyeksi Pertumbuhan Beban Puncak Sistem Sulselbar 2016-2024

No	Tahun	Beban Puncak (MW)
1	2016	1.002
2	2017	1.195
3	2018	1.456
4	2019	1.582
5	2020	1.770
6	2021	1.916
7	2022	2.079
8	2023	2.256
9	2024	2.449
10	2025	2.661

Sumber : Data Olahan RUPTL PLN 2016-2024 [1]



Gambar 1. Peta Jaringan Ketenagalistrikan Provinsi Sulawesi Selatan [1]



Gambar 2. Peta Jaringan Ketenagalistrikan Provinsi Sulawesi Barat [1]

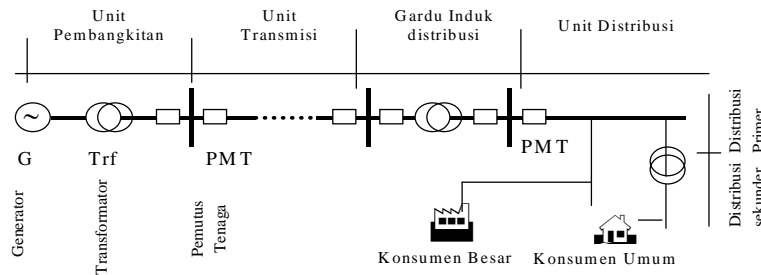
Pemenuhan kebutuhan daya listrik dipenuhi melalui pembangunan sejumlah pembangkit baru. Sistem ketenagalistrikan Sulselbar sendiri memiliki karakteristik yang unik. Mayoritas pusat-pusat pembangkit terletak di bagian utara. Hal disebabkan oleh ketersediaan sumber daya alam untuk pembangkitan listrik yang terletak di bagian utara. Adapun pusat-pusat beban termasuk keberadaan konsumen-konsumen daya listrik skala besar justru terletak di bagian selatan. Pembangunan pembangkit dengan letak yang sangat jauh dari pusat beban seperti PLTA Poso II di Provinsi Sulawesi Tengah, tentunya akan memberikan pengaruh terhadap kinerja sistem kelistrikan Sulselbar. Adapula pembangunan pembangkit baru yang berlokasi dekat dengan pusat beban yaitu PLTU Jeneponto-IPP. Pembangunan pembangkit ini juga tentunya juga akan memberikan efek terhadap Sistem Sulselbar. Analisis aliran daya perlu dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem Sulselbar setelah pembangunan kedua pembangkit tersebut. Penelitian ini membahas tentang komparasi kualitas daya khususnya rugi-rugi daya pada Sistem Sulselbar untuk kondisi sistem terhubung dengan pembangkit yang jauh dari pusat beban (PLTA Poso II) dan kondisi sistem sudah terhubung dengan pembangkit yang dekat dengan pusat beban (PLTU Jeneponto IPP).

ALIRAN DAYA

Aliran daya listrik senantiasa mengalir menuju beban, sehingga istilah aliran daya sering juga di sebut dengan istilah aliran beban. Untuk mengetahui aliran daya dalam operasi sistem tenaga listrik maka dibutuhkan suatu studi yang dikenal dengan nama studi aliran daya. Studi aliran daya ini sangat penting berkenaan dengan karakteristik operasi sistem pembangkitan/transmisi dalam keadaan *steady state* (normal). Untuk itu studi aliran daya menjadi bagian yang tak terpisahkan dalam perencanaan suatu sistem tenaga listrik dan sangat penting

bagi keperluan perluasan/pengembangan sistem di masa akan datang. Studi aliran daya pada prinsipnya dilakukan untuk menentukan besar sudut fasa tegangan pada setiap bus, besar daya reaktif dan reaktif yang mengalir pada jaringan transmisi, besar daya reaktif yang dibangkitkan maupun diserap oleh bus generator (*voltage controlled bus*) serta rugi-rugi daya yang terjadi dalam sistem.

Untuk studi aliran daya, sistem diasumsikan berada dalam keadaan seimbang (simetris). Komponan-komponen sistem seperti pembangkit, saluran transmisi, transformator, beban, kapasitor ataupun transformator dinyatakan dalam bentuk rangkaian ekuivalennya. Perhitungan tiga fasa dalam studi aliran daya dapat direpresentasikan melalui rangkaian satu fasanya yang dikenal dengan istilah diagram segaris. Untuk lebih jelasnya diagram segaris suatu sistem sederhana diperlihatkan pada Gambar 3



Gambar 3. Diagram segaris suatu sistem sederhana

METODE NEWTON-RAPHSON

Metode Newton-Raphson adalah salahsatu metode yang dapat digunakan untuk menghitung aliran daya pada suatu sistem ketenagalistrikan [2]. Metode Newton-Raphson memiliki hasil perhitungan yang akurat untuk sistem tenaga skala besar. Metode ini memiliki kelebihan berupa jumlah iterasi yang dibutuhkan dalam komputasi lebih sedikit serta konvergensinya jauh lebih cepat [3]. Adapun penyelesaian perhitungan aliran daya dengan menggunakan metode Newton-Raphson dijelaskan sebagai berikut [4].

Daya kompleks yang masuk dan keluar pada bus ke- *i* dinyatakan dengan persamaan:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle \delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \tag{1}$$

Bila persamaan (2.6), dipisahkan bagian nyata dan bagian khayalnya maka akan menjadi persamaan (2), (3) dan (4) berikut:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos (\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \tag{2}$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin (\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \tag{3}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \tag{4}$$

Perbedaan antara nilai yang dimasukkan ($\Delta P_i^{(k)}$) dengan nilai yang dihitung ($\Delta Q_i^{(k)}$) disebut sebagai residu daya yang dinyatakan dengan:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \tag{5}$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \tag{6}$$

Tegangan bus yang baru diestimasi dengan:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \tag{7}$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \tag{8}$$

Arus pada saluran dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_{ij} = y_{ij} (V_i - V_j) + y_{i0} V_i \tag{9}$$

Daya kompleks S_{ij} dari bus *i* ke bus *j* dan S_{ji} dari bus *j* ke bus *i* dinyatakan dengan persamaan (10) dan (11):

Arsitektur	Elektro	Geologi	Mesin	Perkapalan	Sipil
------------	---------	---------	-------	------------	-------

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \tag{10}$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \tag{11}$$

Persamaan (11) digunakan untuk menghitung rugi-rugi daya saluran antara bus *i* dan bus *j*:

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \tag{12}$$

DATA SISTEM SULSELBAR

Sejumlah data dibutuhkan untuk melakukan studi aliran daya. Data-data tersebut antara lain berupa kondisi tegangan, pembangkitan, pembebanan dan impedansi sistem. Data-data yang dimaksud ditunjukkan pada Tabel 2, 3 dan 4. Data penelitian merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Wilayah Sulsel, Sulbar dan Sulawesi Tengah (Sultanbatara).

Tabel 2. Data Pembangkit pada Sistem Sulselbar [1]

No	Sistem/Pembangkit	Jenis	Jenis Bahan Bakar	Pemilik	Kapasitas Terpasang (MW)	Daya Mampu (MW)	Beban Puncak (MW)	
1	Sulsel	Bakaru 1	PLTA	Air	PLN	63.0	63.0	
		Bakaru 2	PLTA	Air	PLN	63.0	63.0	
		Bili Bili	PLTA	Air	PLN	20.0	18.0	
		Sawitto	PLTM	Air	PLN	1.6	1.0	
		Bala Mamasa	PLTM	Air	PLN	0.7	0.5	
		Kalukku mamuju	PLTM	Air	PLN	1.4	-	
		Bonehau mamasa	PLTM	Air	PLN	4.0	-	
		Budong2 mamuju	PLTM	Air	PLN	2.0	-	
		Barru #1	PLTU	Batubara	PLN	50.0	40.0	
		Barru #2	PLTU	Batubara	PLN	50.0	40.0	
		Westcan	PLTG	BBM	PLN	14.4	-	
		Alshom 1	PLTG	BBM	PLN	21.3	-	
		Alshom 2	PLTG	BBM	PLN	20.1	-	
		GE 1	PLTG	BBM	PLN	33.4	25.0	
		GE 2	PLTG	BBM	PLN	33.4	25.0	
		Mitsubishi 1	PLTD	BBM	PLN	12.6	8.0	
		Mitsubishi 2	PLTD	BBM	PLN	12.6	8.0	
		SWD 1	PLTD	BBM	PLN	12.4	8.0	
		SWD 2	PLTD	BBM	PLN	12.4	-	
		GT 11	PLTG	Gas	IPP	42.5	42.5	
		GT 12	PLTG	Gas	IPP	42.5	42.5	
		ST 18	PLTGU	CC Gas	IPP	50.0	50.0	
		GT 21	PLTG	Gas	IPP	60.0	60.0	
		GT 22	PLTG	Gas	IPP	60.0	60.0	
		ST 28	PLTGU	CC Gas	IPP	60.0	60.0	
		Suppa	PLTD	BBM	IPP	62.2	62.2	
		Jenepont#1	PLTU	Batubara	IPP	100.0	100.0	
		Jenepont#2	PLTU	Batubara	IPP	100.0	100.0	
		Tangka Manipi Sinjai	PLTM	Air	IPP	10.0	6.0	
		Simbuang Luwu	PLTM	Air	IPP	3.0	2.0	
		Siteba Palopo	PLTM	Air	IPP	7.5	5.0	
		Malea Talor	PLTM	Air	IPP	14.0	10.0	
Ranteballa palopo	PLTM	Air	IPP	2.4	2.0			
Bungin Enrekang	PLTM	Air	IPP	3.0	2.5			
Poso 1	PLTA	Air	IPP	65.0	40.0			
Poso 2	PLTA	Air	IPP	65.0	40.0			
Poso 3	PLTA	Air	IPP	65.0	-			
Saluanoa Luwu	PLTM	Air	IPP	2.0	1.5			
Tallasa	PLTD	BBM	Sewa	80.0	75.0			
Tallo Lama	PLTD	BBM	Sewa	20.0	20.0			
Sewatama Masamba	PLTD	BBM	Sewa	5.0	5.0			
Total Sistem Sulsel					1,347.4	1,085.7	934.0	
2	Isolated	Selayar	PLTD	BBM	PLN	8.8	5.6	5.1
		Mallii (PT Vale excess Power)	PLTA	Air	Sewa	10.7	10.7	10.7
		Total Sistem Sulsel					19.5	16.3
Total					1,366.9	1,102.0	949.8	

Tabel 3. Nama Bus dan Tegangan pada Sistem Sulselbar

No Bus	Nama Bus	Tegangan (kV)	No Bus	Nama Bus	Tegangan (kV)
1	Bakaru	150	23	Barangloe	70
2	Mamuju	150	24	Kima	150
3	Majene	150	25	Tello30	30
4	Polmas	150	26	Barawaja	30
5	Pinrang	150	27	Tello Lama	150
6	Parepare	150	28	Tello Lama 70	70
7	Sidrap	150	29	Bontoala	70
8	Makale	150	30	Panakukang	150
9	Palopo	150	31	TanjungBunga	150
10	Soppeng	150	32	Sungguminasa	150
11	Sengkang	150	33	Tallasa	150
12	Suppa	150	34	Jeneponto	150
13	Barru	150	35	Bulukumba	150
14	Pangkep	150	36	Sinjai	150
15	Pangkep 70	70	37	Bone	150
16	Tonasa3	70	38	Latupa	150
17	Maros	70	39	Latupa275	275
18	Bosowa	150	40	Poso275	275
19	Mandai	70	41	Pamona	150
20	Daya	70	42	Poso	150
21	Tello	150	43	GI Mobile	150
22	Tello70	70			

Tabel 4. Impedansi pada Sistem Sulselbar

No/Nama Bus				kV	IL/ 2L	km	Total Impedansi (Ohm/Mho)		
Dari	Ke	R	jX				Y/2		
								1	Tallo
2	Tello	3	Bsw	150	1L	32.1	3.7860	13.6094	0.00003
2	Tello	23	Sgmns	150	2L	10.9	0.4326	2.9648	0.00001
2	Tello	25	Pnakkg	150	2L	4.50	1.0618	1.9497	0.00000
2	Tello	4	Pngkep	150	2L	45.3	5.3599	19.2047	0.00005
3	Bosowa	4	Pngkep	150	1L	20.8	2.4533	8.8185	0.00002
4	Pangkep	5	Barru	150	1L	46.0	5.4420	19.5015	0.00005
4	Pangkep	6	Pare2	150	2L	90.0	10.647	38.1551	0.00010
5	Barru	6	Pare2	150	1L	44.0	5.2054	18.6536	0.00005
6	Pare-pare	7	Pinrang	150	1L	26.4	3.1233	11.1922	0.00003
6	Pare-pare	12	Suppa	150	2L	7.5	0.8849	3.1796	0.00000
6	Pare-pare	13	Sidrap	150	2L	19.1	2.2536	8.0974	0.00001
6	Pare-pare	8	Polmas	150	1L	91.9	8.2421	29.6081	0.00008
8	Polmas	9	Bakaru	150	1L	50.1	5.9113	21.2396	0.00003
7	Pinrang	9	Bakaru	150	1L	58.5	6.9208	24.8021	0.00004
8	Polmas	9	Bakaru	150	2L	50.1	5.9113	21.2396	0.00003
8	Polmas	10	Majene	150	2L	50.1	5.9184	21.2651	0.00003
10	Majene	11	Mamuju	150	2L	135.48	6.1123	41.8884	0.00016
13	Sidrap	16	Sppeng	150	2L	53.80	6.3479	22.8095	0.00004
13	Sidrap	14	Makale	150	2L	105.48	7.0585	42.4717	0.00011
14	Makale	15	Palopo	150	2L	37.35	4.4071	15.8349	0.00002
15	Palopo	275	Poso	150	2L	209	7.21	60.09	0.00022
16	Soppeng	17	Sgkang	150	2L	35.40	2.3688	14.2534	0.00004
16	Soppeng	18	Bone	150	2L	43.27	4.1502	18.3441	0.00004
18	Bone	19	Sinjai	150	1L	77.50	9.1442	32.8557	0.00005
18	Bone	20	Blkuba	150	2L	137.20	16.188	58.1657	0.00009
19	Sinjai	20	Blkuba	150	1L	59.50	7.0204	25.2247	0.00004
20	Bulukumba	21	Jnponto	150	2L	46.35	5.4687	19.6495	0.00003
21	Jeneponto	22	Tlassa	150	2L	24.49	2.8892	10.3812	0.00002
22	Tallasa	23	Sgmnsa	150	2L	19.06	0.7567	5.18556	0.00002
23	Sgmns	24	Tbunga	150	2L	11.89	0.7958	4.7883	0.00001
23	Sgmns	26	Maros	150	2L	40	1.38	11.50	0.00005
26	Maros	13	Sidrap	150	2L	130	4.49	37.38	0.00009

Data-data tersebutnya selanjutnya diolah dengan menggunakan program komputer berbasis Metode Newton-Raphson pada *platform* MATLAB [4].

HASIL

Hasil simulasi aliran daya dengan menggunakan Metode Newton-Raphson pada program MATLAB, memperlihatkan bahwa pada saat terhubung dengan PLTA Poso II rugi-rugi daya mengalami peningkatan sebesar 4,415 MW yaitu dari 18,504 MW menjadi 22,919 MW. Adapun setelah terhubung dengan PLTU Jeneponto IPP rugi-rugi daya mengalami penurunan sebesar 6,482 MW yaitu menjadi 16,437 MW. Nilai rugi-rugi daya yang terjadi pada Sistem Sulsebar untuk beberapa kondisi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Rugi-Rugi Daya Sistem Sulsebar

No	Kondisi Sistem	Rugi – Rugi Daya Sistem	
		P (MW)	Q (MVar)
1	Sebelum Terhubung dengan PLTA Poso II	18,504	78,921
2	Setelah Terhubung dengan PLTA Poso II	22,919	198,239
3	Setelah Terhubung dengan PLTU Jeneponto IPP	16,437	30,111

KESIMPULAN

1. Rugi-rugi daya Sistem Sulsebar setelah terhubung dengan pembangkit yang jauh dari pusat beban (PLTA Poso II) mengalami peningkatan sebesar 4,415 MW bila dibandingkan dengan kondisi sebelumnya.
2. Rugi-rugi daya Sistem Sulsebar setelah terhubung dengan pembangkit yang berlokasi dekat dengan pusat beban (PLTU Jeneponto IPP), mengalami penurunan sebesar 6,482 MW bila dibandingkan dengan kondisi sebelumnya.
3. Rugi-rugi daya Sistem Sulsebar setelah terhubung dengan PLTU Jeneponto IPP menunjukkan nilai yang lebih rendah yaitu 2,067 MW bila dibandingkan dengan kondisi awal sistem sebelum terhubung dengan PLTA Poso II.

REFERENSI

- [1] Kementerian ESDM RI, *Rencana Umum Pengusahaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN 2016 – 2024*, 2016
- [2] Stevenson Jr, W.D., *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Empat, Penerbit Erlangga, 2005
- [3] Glover, J.D. and Sarma, M.S., *Power System Analysis and Design*, Third Edition, Brooks/Cole – Thomson Learning, 2002
- [4] Saadat, H., *Power System Analysis*, Second Edition International Edition, McGraw-Hill Book Co, Singapore, 2004.