

PENENTUAN BATAS MINIMUM *CIRCUIT BREAKER* DI SISTEM KELISTRIKAN RIAU 150 KV

M. Ilham, Dian Yayan Sukma

Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru 28293

Email : m.ilham@student.unri.ac.id

ABSTRACT

On this paper, simulation of short circuit fault is performed on electrical power system of Riau. The simulation is performed by using power system analysis software DIgSILENT PowerFactory and use international standard IEC 60909 for short circuit calculation. The simulation is performed by giving three phase fault to 150 kV busses on electrical power system of Riau. The simulation results are three phase short-circuit current, it used to calculate the minimum capacity of circuit breaker and for the selection of circuit breaker. With the selection of circuit breaker according the standard, it can ensure that circuit breaker can work properly as function on break the short-circuit fault and the it's not causing other damage on system. The final results showed that the minimum value circuit breaker capacity in riau electrical power system is variated base on the location of where the circuit breaker applied. The value of minimum circuit breaker on near generator is more greater than the far from generator. The highest value of safe or minimum circuit breaker capacity on Riau electrical system is 18.36 kA and the lowest is 2 kA.

Keywords: *short-circuit, minimum circuit breaker, DIgSILENT PowerFactory*

1. PENDAHULUAN

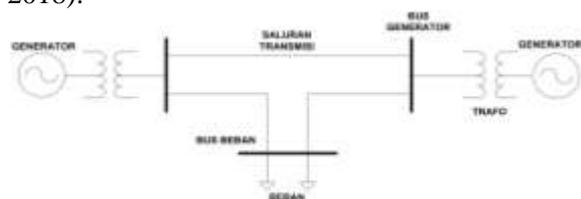
Ada tiga studi yang penting dalam sistem tenaga, yaitu studi aliran daya, studi hubung singkat dan studi stabilitas. Ketiga macam studi tersebut saling terkait dan perlu untuk dilaksanakan secara berkala untuk menjamin kontinuitas pembangkitan dan penyaluran maupun pengoperasian yang terbaik (Agil, 2013).

Studi hubung singkat merupakan hal yang penting terutama untuk perencanaan, perancangan serta perluasan sistem tenaga listrik. Data yang diperoleh dari perhitungan ini akan digunakan untuk menentukan setting relai dan kapasitas pemutus tenaga (*circuit breaker*). Pemilihan pemutus rangkaian untuk sistem tenaga listrik tidak hanya tergantung pada arus yang mengalir pada pemutus rangkaian dalam keadaan kerja normal saja tetapi juga pada arus maksimum (arus gangguan) yang mungkin mengalirinya beberapa waktu dan pada arus yang mungkin harus diputuskannya pada tegangan saluran dimana pemutus itu di tempatkan (Yelfianhar, 2009). Pemutus tenaga merupakan peralatan proteksi utama pada sistem tenaga listrik. Pemilihan pemutus tenaga yang sesuai dan telah memenuhi standar tentunya akan menambah jaminan agar sistem tenaga listrik dapat berjalan secara kontinu.

Sistem kelistrikan Riau senantiasa berubah seperti terdapat penambahan kapasitas pembangkit seiring dengan meningkatnya permintaan energi listrik sehingga juga perlu dilakukan studi yang berkala, salah satunya adalah studi hubung singkat. Adapun tujuan akhir dari penulisan artikel ini adalah memberikan gambaran tentang berapa nilai arus hubung singkat terbesar ketika terjadi gangguan di berbagai lokasi di sistem kelistrikan Riau 150 kV serta bagaimana cara menentukan rating peralatan pengamanan minimum yang sesuai.

Sistem Tenaga Listrik

Sistem ketenagalistrikan merupakan sistem yang sangat vital bagi keberlangsungan energi. Penyediaan energi yang handal dan berkualitas bagus tidak lepas dari adanya kualitas suatu sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik terbagi menjadi 3 poin penting seperti pada gambar 1, yaitu pembangkitan, penyaluran dan beban (Rahman, 2018).



Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik (Rahman, 2018)

Dalam penyaluran energi listrik, saluran transmisi menjadi sebuah bagian yang sangat penting dalam memberikan kualitas daya yang bagus dan efisien. Akan tetapi karena jarak antara pembangkitan dan beban sangat jauh, selain mengakibatkan rugi-rugi dan drop tegangan pada saluran transmisi juga sangat rentan terhadap gangguan. Gangguan itu baik berupa gangguan sambaran petir maupun gangguan fasa ke fasa, fasa ke tanah, dll (Rahman, 2018).

Studi Hubung Singkat

Studi hubung singkat dilakukan untuk mengetahui besarnya arus yang mengalir melalui sistem tenaga listrik pada berbagai jarak setelah gangguan berubah menurut waktu sampai mencapai kondisi tetap (Yelfianhar, 2009). Arus hubung singkat yang begitu besar sangat membahayakan peralatan, sehingga untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat hubung singkat maka hubungan kelistrikan pada bagian yang terganggu perlu diputuskan dengan peralatan pemutus tenaga atau *circuit breaker*.

Tujuan dari studi gangguan hubung singkat antara lain adalah (Suswanto, 2009):

- Untuk menentukan arus gangguan hubung singkat maksimum dan minimum
- Penyelidikan operasi relai-relai proteksi
- Untuk menentukan kapasitas pemutus daya
- Untuk menentukan distribusi arus gangguan dan tingkat tegangan busbar selama gangguan.

Perhitungan Arus Hubung Singkat Standar IEC 60909

Adapun langkah – langkah dalam perhitungan arus hubung singkat standar IEC 60909 adalah sebagai berikut (Muhammad, 2016) :

- Membangun / membuat model sistem dan melengkapi parameter-parameter peralatan, seperti generator (reaktansi sub-transien, daya, faktor daya), trafo (impedansi tegangan, daya, rating arus, rugi tembaga), saluran (panjang saluran, impedansi per km)
- Menghitung impedansi hubung singkat dari semua peralatan.
- Mengubah nilai impedansi ke nilai impedansi baru di tegangan referensi.
- Menentukan rangkaian ekuivalen thevenin pada titik gangguan dengan sebuah sumber tegangan dan sebuah impedansi ekuivalen.



Gambar 2. Rangkaian Ekuivalen Thevenin (Muhammad, 2016)

- Menghitung arus hubung singkat tiga fasa.

$$I_k'' = \frac{cV_n}{\sqrt{3}Z_k}$$

Dimana

- I_k'' = Arus Hubung Singkat Tiga Fasa (kA)
- V_n = Tegangan Nominal Sistem (kV)
- Z_k = Impedansi Hubung Singkat Ekuivalen (Ω)
- C = faktor tegangan (tegangan sistem <1 kV, $c=1.05$, tegangan sistem >1 kV, $c=1.1$)

Circuit Breaker

Berdasarkan IECV (*International Electrotechnical Vocabulary*) disebutkan bahwa *circuit breaker* (CB) atau pemutus tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar / *switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus dalam kondisi abnormal / gangguan seperti kondisi *short-circuit* / hubung-singkat (Irfan, 2017).

Syarat-syarat dalam pemilihan *circuit breaker* adalah sebagai berikut (Tobing, 2012):

- Mampu menyalurkan arus maksimum sistem tenaga listrik secara kontinyu / terus menerus.
- Mampu memutuskan dan menghubungkan jaringan dalam keadaan berbeban maupun dalam keadaan gangguan hubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
- Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan sangat cepat agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem dan tidak membuat sistem kehilangan kestabilan.

DIgSILENT PowerFactory

DIgSILENT (*Digital Simulation and Electrical Network Calculation Program*) PowerFactory adalah *software* komputer yang digunakan untuk pembuatan proyek sistem tenaga listrik berbasis diagram satu garis dalam melakukan berbagai bentuk analisis.

DIgSILENT dirancang dan dikembangkan oleh para insinyur berkualitas dan programmer dengan pengalaman bertahun-tahun di kedua bidang analisis sistem tenaga listrik dan bidang pemrograman. Akurasi dan validitas dari hasil yang diperoleh dengan perangkat lunak ini telah dikonfirmasi dalam jumlah besar dan diimplementasi oleh organisasi-organisasi yang terlibat dalam perencanaan dan operasi sistem tenaga (Jaelani, 2013).

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penulisan ilmiah ini adalah mengumpulkan data sistem transmisi 150 kV Riau berasal dari PT PLN (Persero) Unit Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban Sumatera (P3BS). Kemudian dilakukan simulasi gangguan hubung singkat tiga fasa pada kondisi tersebut untuk mengetahui besar arus hubung singkat yang selanjutnya digunakan untuk menentukan kapasitas minimum *circuit breaker*.

Instrumen Penelitian

Dalam penyelesaian penelitian ini dibantu dengan *software* analisis sistem tenaga DIgSILENT PowerFactory 15.1 dalam melakukan simulasi hubung singkat serta Microsoft Excel dalam pengolahan data dalam menentukan kapasitas minimum *circuit breaker*.

Data Penelitian

Data-data hasil observasi yang diperoleh dari berbagai sumber yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Single line diagram sistem kelistrikan Riau.
- Data generator seperti nama, tipe, daya (MVA, MW), *power factor*, reaktansi *subtransien*.
- Data transformator seperti nama, kapasitas (MVA), tegangan sisi primer dan sekunder, impedansi (% Z).
- Data saluran transmisi seperti jenis konduktor, panjang saluran, resistansi dan reaktansi.
- Data beban berupa daya aktif dan daya reaktif.
- Data *circuit breaker*.

Langkah-langkah Penelitian

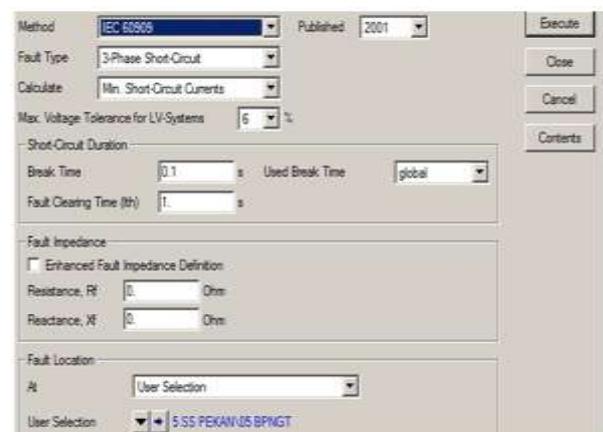
Langkah – langkah penelitian.



Gambar 3. Flowchart Penelitian

Gangguan Hubung-Singkat dengan *software* DIgSILENT PowerFactory

Setelah memodelkan sistem, untuk memulai analisis gangguan hubung-singkat, pada laman kerja di DIgSILENT, klik tab *Calculation* pilih *Short-Circuit Analysis*. Setelah itu muncul kotak dialog Short-Circuit Calculation yang diperlihatkan pada gambar 4.



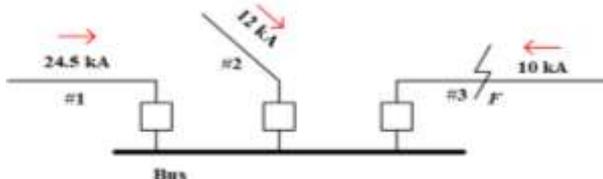
Gambar 4. Flowchart Penelitian

Selanjutnya mengisi parameter-parameter simulasi diantaranya :

- Method*, menentukan standar perhitungan arus hubung singkat. Penelitian ini menggunakan standar IEC 60909.
- Fault Type*, menentukan jenis gangguan. Penelitian ini memakai gangguan tiga fasa.
- Fault Location*, menentukan titik gangguan (pada bus atau saluran).

Menentukan Arus Hubung Singkat yang dilalui CB dan Kapasitas Minimum CB

Penentuan arus hubung singkat yang dilalui CB yaitu menggunakan metode yang terdapat pada buku “*Fundamentals of Modern Electrical Substations part : 3*”. Dimisalkan arus gangguan pada sebuah bus diperlihatkan pada gambar 5 berikut (Shvartsberg, 2012).



Gambar 5. Aliran Arus Gangguan (Shvartsberg, 2012)

Nilai arus gangguan tiga fasa yang mungkin dilalui *circuit breaker* line #3 dihitung dengan cara mengurangi total arus gangguan pada bus dengan arus gangguan yang dikontribusi dari line #3, contoh : $46,5 - 10 = 36,5$ kA adalah arus gangguan tiga fasa yang mungkin dilalui *circuit breaker* pada line #3. Begitu pula untuk *circuit breaker* line #2 adalah $46,5 - 12 = 34,5$ kA dan untuk *circuit breaker* line #1 adalah $46,5 - 24,5 = 22$ kA. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk menentukan kapasitas minimum sebuah *circuit breaker*, dengan cara mengalikan nilai tersebut dengan sebuah faktor pengali.

Tabel 1. Faktor pengali kapasitas minimum CB

Rasio X/R	Faktor Pengali
< 15	1
Tidak Diketahui	1.25
Secara Umum	1.6

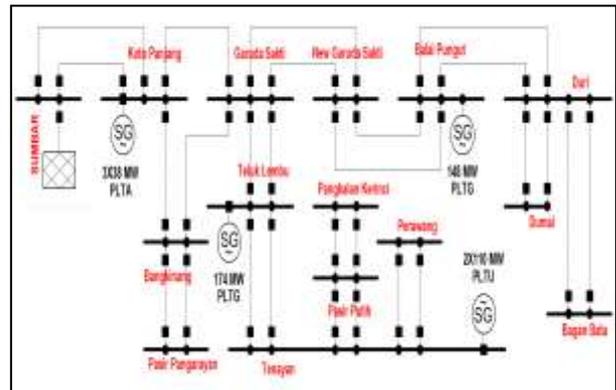
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini berisikan data-data sistem, hasil simulasi serta analisis hasil. Adapun studi

kasus pada penelitian ini yaitu sistem tenaga listrik Riau 150 kV 2019.

Kondisi Sistem

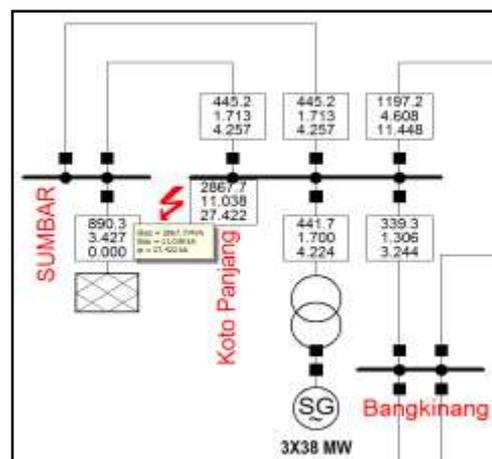
Pada sistem kelistrikan Riau 150 kV terdapat 14 bus. Dengan 4 bus pembangkit dan 10 bus beban. Single line diagram sistem kelistrikan Riau 150 kV diperlihatkan pada gambar 6.



Gambar 6. Single Line Diagram Riau

Hasil Simulasi

Adapun hasil simulasi hubung singkat tiga fasa pada DiGSILENT PowerFactory 15.02 berupa nilai arus gangguan tiga fasa yang mengalir pada setiap saluran dan contoh simulasi diperlihatkan pada gambar 7 yang menunjukkan besar dan aliran arus hubung singkat ketika terjadi gangguan di gardu induk / bus Koto Panjang.



Gambar 7. Hasil Simulasi DiGSILENT PowerFactory

Adapun keseluruhan hasil simulasi dirangkum dalam tabel 2 berikut.

Tabel 2. Arus Gangguan Hubung Singkat

Lokasi Gangguan	Kontribusi Arus		Line No.	I _{sc30} (kA)
	Dari Bus	Menuju Bus		
Koto Panjang (KTPJG)	GSKTI	KTPJG	#1	4.61
	BNKNG	KTPJG	#1	1.31
	SUMBAR	KTPJG	#1	1.71
	SUMBAR	KTPJG	#2	1.71
	Pembangkit	KTPJG		1.71
Bangkinang (BNKNG)	GSKTI	BNKNG	#1	2.86
	KTPJG	BNKNG	#1	5.38
	PAYAN	BNKNG	#1	0
Garuda Sakti (GSKTI)	TLKBU	GSKTI	#1	2.49
	TLKBU	GSKTI	#2	2.49
	NGSKTI	GSKTI	#1	1.54
	NGSKTI	GSKTI	#2	1.54
	KTPJG	GSKTI	#1	3.25
	BNKNG	GSKTI	#1	0.92
New Garuda Sakti (NGSKTI)	GSKTI	NGSKTI	#1	3.34
	GSKTI	NGSKTI	#2	3.34
	BPNGT	NGSKTI	#1	1.76
	BPNGT	NGSKTI	#2	1.76
Pasir Putih (PSTIH)	TEYAN	PSTIH	#1	4.48
	TEYAN	PSTIH	#2	4.48
	PKRNC	PSTIH	#1	0
	PKRNC	PSTIH	#2	0
Pangkalan Kerinci (PKRNC)	PSTIH	PKRNC	#1	3.27
	PSTIH	PKRNC	#2	3.27
Tenayan (TEYAN)	TLKBU	TEYAN	#1	3.44
	TLKBU	TEYAN	#2	3.44
	PSTIH	TEYAN	#1	0
	PSTIH	TEYAN	#2	0
	PWANG	TEYAN	#1	0
	PWANG	TEYAN	#2	0
	Pembangkit	TEYAN		4.6
Pasir Pangarayan (PAYAN)	BNKNG	PAYAN	#1	1.32
	BNKNG	PAYAN	#1	1.32
Teluk Lembu (TLKBU)	GSKTI	TLKBU	#1	3.03
	GSKTI	TLKBU	#2	3.03
	TEYAN	TLKBU	#1	2.2
	TEYAN	TLKBU	#2	2.2
	Pembangkit	TLKBU		1.32
Perawang (PWANG)	TEYAN	PWANG	#1	3.94
	TEYAN	PWANG	#2	3.94
Balai Pungut (BPNGT)	NGSKTI	BPNGT	#1	1.75
	NGSKTI	BPNGT	#2	1.75
	DURI	BPNGT	#1	0
	DURI	BPNGT	#2	0
	Pembangkit	BPNGT		6.75
Duri (DURI)	DUMAI	DURI	#1	0
	DUMAI	DURI	#2	0
	BBATU	DURI	#1	0
	BBATU	DURI	#2	0
	BPNGT	DURI	#1	3.26
	DURI	#2	3.26	
Dumai (DUMAI)	DURI	DUMAI	#1	2.17
	DURI	DUMAI	#2	2.17
Bagan Batu (BBATU)	DURI	BBATU	#1	1.25
	DURI	BBATU	#2	1.25

Pada sistem tenaga listrik di Riau adapun pusat – pusat pembangkit berada disekitar gardu induk / bus Garuda Sakti, Teluk Lembu, Tenayan, Koto Panjang dan Balai Pungut, sehingga ketika terjadi gangguan pada bus tersebut arus gangguan yang dihasilkan nilai-nya lebih besar dibandingkan ketika terjadi gangguan pada bus lainnya. Arus gangguan total terbesar yaitu 12,23 kA ketika terjadi gangguan di bus Garuda Sakti dan terendah yaitu 2,5 kA pada bus Bagan Batu.

Hasil Perhitungan Kapasitas Minimum

Selanjutnya dengan data-data hasil simulasi yang ada pada tabel bisa digunakan untuk menentukan kapasitas minimum *circuit breaker*. Hasil perhitungan diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Kapasitas CB Minimum

Nama Circuit Breaker	Isc Max (kA)	Kapasitas CB Min	
		(kA)	(MVA)
CB _{kotopanjang – garuda sakti}	6.44	10.3	1545
CB _{koto panjang – bangkinang}	9.74	15.58	2337
CB _{koto panjang – sumbar}	9.34	14.94	2241
CB _{bangkinang – garuda sakti}	5.38	8.6	1290
CB _{bangkinang – koto panjang}	2.86	4.57	685.5
CB _{bangkinang – pasir pangarayan}	8.24	13.18	1977
CB _{garuda sakti – teluk lembu}	9.74	15.58	2337
CB _{garuda sakti – new garuda sakti}	10.69	17.1	2565
CB _{garuda sakti – kotopanjang}	8.98	14.36	2154
CB _{garuda sakti – bangkinang}	11.31	18.09	2713.5
CB _{new garuda sakti – garuda sakti}	6.86	10.97	1645.5
CB _{new garuda sakti – balai pungut}	8.44	13.5	2025
CB _{pasir putih – tenayan}	4.48	7.16	1074
CB _{pasir putih – pangkalan kerinci}	8.96	14.33	2149.5
CB _{pangkalan kerinci – pasir putih}	3.27	5.23	784.5
CB _{tenayan – teluk lembu}	8.04	12.86	1929
CB _{tenayan – pasir putih}	11.48	18.36	2754
CB _{pasir pangarayan – bangkinang}	1.32	2.11	316.5
CB _{teluk lembu – garuda sakti}	8.75	14	2100
CB _{teluk lembu – tenayan}	9.58	15.32	2298
CB _{perawang – tenayan}	3.94	6.3	945
CB _{balai pungut – new garuda sakti}	8.5	13.6	2040
CB _{balai pungut – duri}	10.25	16.4	2460
CB _{duri – dumai}	6.52	10.43	1564.5
CB _{duri – bagan batu}	6.52	10.43	1564.5
CB _{duri – balai pungut}	3.26	5.21	781.5
CB _{dumai – duri}	2.17	3.47	520.5
CB _{dumai – bagan siapiapi}	4.34	6.94	1041
CB _{bagam batu – duri}	1.25	2	300

Dari tabel terlihat nilai dari kapasitas minimum setiap *circuit breaker* bervariasi dan tergantung dengan nilai arus hubung singkat yang mungkin terjadi gangguan. Kapasitas minimum *circuit breaker* yang berlokasi dekat dengan

pembangkit memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding dengan kapasitas *minimum circuit breaker* yang berlokasi jauh dengan pembangkit.

4. KESIMPULAN

Total nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa pada sistem kelistrikan Riau 150 kV yang terbesar adalah pada bus Garuda Sakti dengan nilai 12,23 kA dan yang terkecil adalah pada bus Bagan Batu dengan nilai 1,25 kA.

Batas minimum circuit breaker pada sistem kelistrikan Riau 150 kV yang terbesar adalah pada CB Tenaya-Pasir Putih dengan kapasitas sebesar 18,36 kA dan yang terkecil adalah pada CB Bagan Batu-Duri dengan kapasitas sebesar 2 kA.

Arus gangguan dan batas minimum circuit breaker dengan nilai yang relatif besar yaitu bus dan circuit breaker yang berlokasi dekat dengan pusat pembangkit sebaliknya bus dan circuit breaker yang berlokasi jauh dengan pusat pembangkit adapaun arus gangguan dan batas minimum circuit breaker-nya bernilai lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Agil, M. H., & Ali, M. (2013). *Studi Hubung Singkat 3 Fasa Simetri (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 kV Sulawesi Selatan)*. Ujung Pandang: Politeknik Ujung Pandang.
- Irfan, M. H. (2017). *Jurnal Pembuatan Alat Monitoring Status Pemutus Tenaga 150 kV Berbasis Web Menggunakan Arduino Mega 2560 dan Ethernet Shield*. Semarang: Universtias Muhammadiyah Semarang.
- Jaelani, Z. (2013). *Analisis Rugi-Rugi Daya pada Saluran Transmisi 500 kV dengan Menggunakan DIgSILENT*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Muhammad, T. H. (2016). *Simulasi Short-Circuit Tiga Fasa Standar IEC 60909 untuk Perhitungan Kapasitas CB (Circuit Breaker) pada Jaringan Distribusi PLN 20 kV Banda Aceh dengan ETAP 12.6*. Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala Darussalam.
- Rahman, A. (2018). *Analisa Pembebanan Ekonomis pada Pembangkit Sistem 500 kV Jawa - Bali menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO)*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Shvartsberg, B. (2012). *Fundamentals of Modern Electrical Substations Part 3: Electrical*

Substation Engineering Aspects. New York: Continuing Education and Development.

Suswanto, D. (2009). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang: Universitas Negeri Padang.

Tobing, B. L. (2012). *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta: Erlangga.

Yelfianhar, I. (2009). *Studi Hubung Singkat Gangguan Dua Fasa Antar Saluran pada Sistem Tenaga Listrik*. Padang: Universitas Negeri Padang.