

# ANALISIS KEBUTUHAN KAPASITOR BANK UNTUK MEMPERBAIKI FAKTOR DAYA PADA GARDU INDUK GARUDA SAKTI 150 kV

Anto<sup>1)</sup>, Azriyenni Azhari Zakri<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

E-mail : [anto.anto@student.unri.ac.id](mailto:anto.anto@student.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*Along with the growth of society and the improvement of technology, the need for electric power continues to increase. However, the development of the electric power system is not sufficient to supply the required electrical energy needs. For this reason, it is necessary to regulate and manage a good electricity distribution system so that the current growing needs of the community are met and have high reliability. Installation failure in the electric power system cannot be avoided because the distance between the generator and the substation is very far, this causes the voltage on the receiving side to decrease. To increase the voltage and power factor it is necessary to install a capacitor bank. Capacitor bank installed in parallel to the substation load. The results of research and simulation of Matlab Simulink capacitor bank condition  $2 \times 25$  MVar with output voltage is 146 kV, current is 470 A and power factor is 0.93 lagging. After analyzing the need for a capacitor bank to achieve a lagging factor value of 0.95. the method used is the method of calculating the need for a capacitor bank to increase the power factor to 0.95 lagging. After the calculation method is carried out, the capacitor bank capacity is 15 MVar. The simulation results with Matlab Simulink R2016a output voltage is 150 kV, current is 4500 A and power factor is 0.94 lagging.*

*Keywords: Electric Power System, Capacitor Bank, Matlab Simulink R2016a.*

## I. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik dan perluasan kapasitas pusat-pusat pembangkit di Indonesia khususnya di pulau sumatera mengakibatkan perlunya peningkatan kapasitas dalam penyaluran saluran transmisi. Upaya dalam meningkatkan kapasitas penyaluran dengan cara memaksimalkan saluran transmisi sesuai dengan kemampuan kuat hantar arusnya. Saluran transmisi yang baik harus mampu menyediakan tenaga listrik yang ekonomis secara andal dengan tegangan yang cukup baik. Untuk bisa membangun saluran transmisi yang demikian diperlukan pengetahuan teknis yang cukup, baik teoritis maupun praktis.

Gardu induk merupakan hal yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik, dimana gardu induk melayani beban seperti motor – motor listrik,

transformator, dan peralatan listrik lainnya. Peralatan listrik tersebut mengandung gulungan kawat yang bersifat induktif, yang mana beban yang bersifat induktif untuk keperluan membangkitkan medan magnet Bertambahnya beban yang bersifat induktif membutuhkan daya reaktif yang besar sehingga sumber (pembangkit listrik) harus mensuplai daya yang lebih besar. Keadaan seperti ini dapat menyebabkan jatuh tegangan, arus pada gardu induk yang jauh dari sisi pembangkit akan menyebabkan faktor daya rendah.

Berdasarkan Ahmad Dani dan Muhammad Hasanuddin telah melakukan penelitian perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor bank untuk memperbaiki faktor daya dengan studi kasus STT Sinar Husni. Pada penelitian ini dalam keadaan terpasang 11,67 KVAR dengan beban 9,53 KW, faktor daya sebelum perbaikan yaitu 0,84 *lagging*.

Pada penelitian ini peneliti menambahkan satu buah panel kapasitor bank yang berkapasitas 1,36 KVAR. Faktor daya setelah perbaikan yaitu 0,98 *lagging*.

Berdasarkan pemaparan diatas maka peneliti akan membahas beberapa ukuran kapasitor bank, untuk memperbaiki faktor daya yang ditargetkan peneliti pada gardu induk garuda sakti yaitu 0,95 *lagging*. Langkah awal yang dilakukan peneliti yaitu memodelkan rangkaian kapasitor bank yang ada pada gardu induk garuda sakti dan disimulasikan, jika faktor daya yang dihasil masih rendah, maka perlu ditambahkan kapasitor bank dengan cara menganalisa berapa kebutuhan untuk perbaikan.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Gardu Induk

Gardu induk merupakan tempat mentransformasikan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Gardu induk juga tempat peletakan peralatan sistem tenaga seperti *lightning arrester*, transformator, saklar pemutus, saklar pemisah, trafo arus, trafo tegangan, saklar pembumian, netral grounding resistansi, *circuit breaker* rel busbar, konduktor dan isolator.

### 2.2 Saluran Transmisi

Saluran transmisi tenaga listrik merupakan suatu proses penyaluran energi listrik dari sumber pembangkit ke gardu induk. Kemudian gardu induk akan mentransformasikan energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah 20 kV, sehingga tegangan tersebut dapat disalurkan kepada pelanggan atau konsumen. Saluran transmisi memiliki dua cara dalam penyalurannya (Dr. A. Arismunandar)

### 2.3 Faktor Daya

Faktor Daya Faktor daya merupakan cosinus dari beda sudut fasa antara arus dan tegangan. Faktor daya disimbolkan dengan  $\cos \phi$  dan mempunyai rentang nilai antara 0 sampai 1. Sehingga didapat persamaan faktor daya yaitu:

$$\text{Cos}\phi = \frac{P \text{ (daya aktif)}}{S \text{ (daya semu)}} \dots\dots\dots (2.1)$$

### 2.4 Perbaikan faktor daya

Perbaikan faktor daya dengan kapasitor bank dilakukan dengan menentukan kapasitas kapasitor yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya beban. Kapasitas kapasitor bank dapat dihitung dengan persamaan berikut:( Edminister, Joseph 2013)

$$Q_c = (Q_1 - Q_2) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$Q_c$  = Daya reaktif kapasitor bank yang dibutuhkan

$Q_1$  = Daya reaktif sebelum perbaikan

$Q_2$  = Daya reaktif sesudah perbaikan

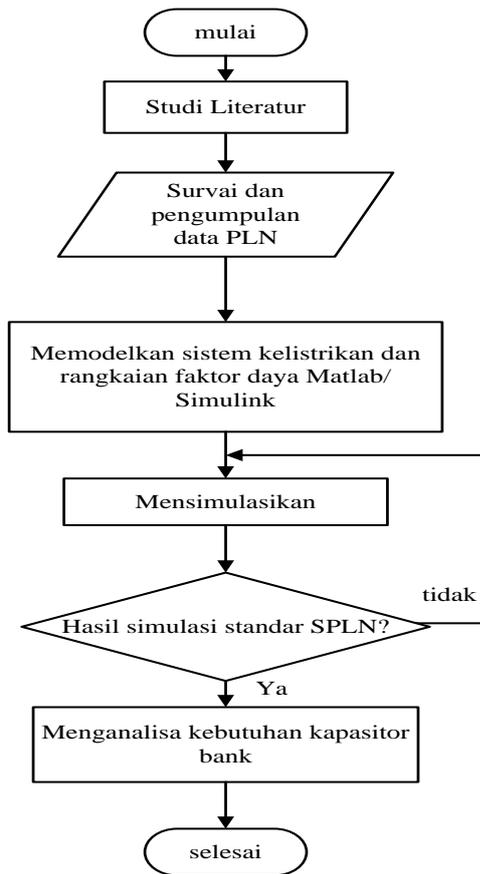
### 2.5 Kapasitor Bank

Kapasitor bank merupakan peralatan listrik yang mempunyai sifat kapasitif, terdiri dari beberapa kapasitor yang tersusun secara seri dan paralel dengan sumber tegangan, untuk mendapatkan kapasitas tertentu. Besaran parameter yang dipakai yaitu MVAR dan KVAR. Kapasitor bank berfungsi berfungsi untuk memperbaiki faktor daya ( $\cos \phi$ ), mengurangi terjadi drop tegangan dan mengurangi rugi- rugi daya, dan mengontrol penyerapan daya reaktif.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Diagram alir yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Ada beberapa tahapan alur pada penelitian ini yaitu:

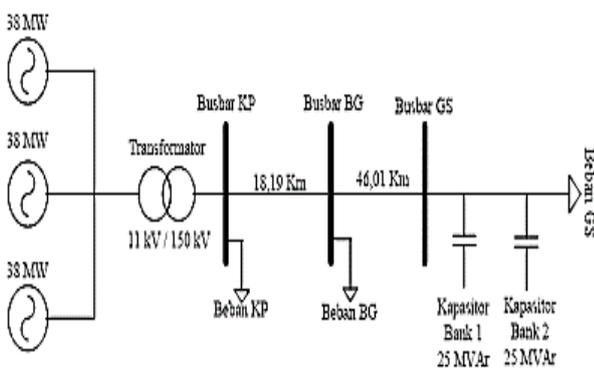
1. Membuat desain *single line* diagram penelitian menggunakan matlab Simulink R2016a.
2. Mengumpulkan data simulasi berupa data pembangkit, data penghantar saluran, impedansi saluran, beban dan data faktor daya.



Gambar 1. Blok Diagram Rancangan Sistem

### 3.1 Permodelan Sistem Tenaga Listrik

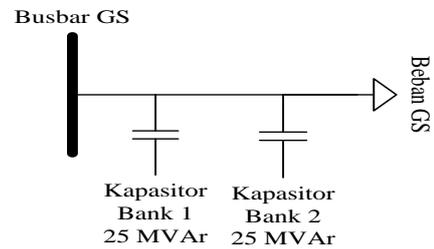
Permodelan sistem tenaga listrik yang digunakan sebagai objek penelitian dan parameter yang digunakan untuk permodelan dan simulasi sistem tenaga listrik pada Matlab Simulink R2016a. gambar 2 merupakan *single line* diagram objek penelitian, mulai dari Koto Panjang Sampai busbar Gardu Induk Garuda Sakti



Gambar 2. Permodelan sistem tenaga listrik

### 3.3 Permodelan Posisi Kapasitor Bank Pada Gardu Induk

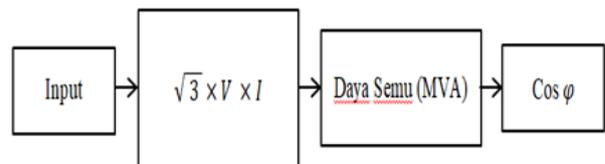
Konfigurasi dari tata letak kapasitor bank pada gardu induk garuda sakti, yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Posisi Kapasitor Bank

### 3.4 Blok Perancangan Rangkaian Faktor Daya

Gambar 4 merupakan blok diagram perancangan rangkaian faktor daya yang akan dimodelkan pada aplikasi Matlab Simulink R2016a.



Gambar 4. Blok diagram Faktor Daya

### 3.5 Data Beban Gardu Induk Garuda Sakti

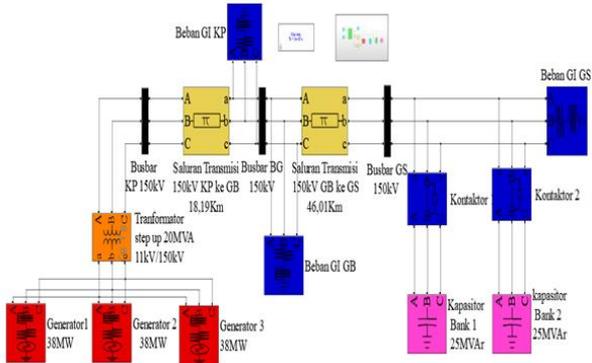
Tabel 1 merupakan tabel data beban Gardu Induk Garuda Sakti, dimana data ini merupakan data penelitian dengan waktu sepuluh hari. Data tabel 1 yaitu data real beban Gardu Induk Garuda Sakti

Tabel 1. Data parameter sistem kelistrikan

Daya semu (KVA)	Beban Aktif (MW)	Beban Reaktif (Mvar)
105	103,17	33,69
103	101,73	33,37
108	106,51	36,71
106	104,69	36,46
109	107,69	32,30
110	108,69	39,45
110	108,63	33,38
116	114	43,07
112	110,87	42,88
109	109,08	40,09

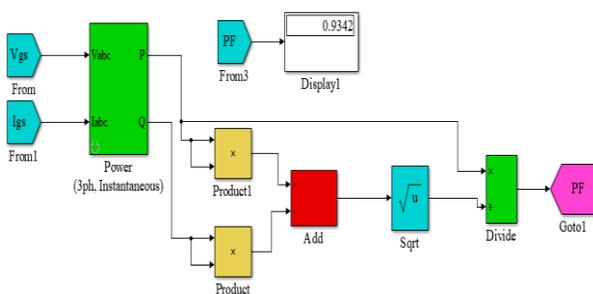
#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permodelan saluran transmisi tenaga listrik dari Busbar Koto Panjang ke Busbar Bangkinang, Bangkinang ke Busbar Garuda Sakti dengan pemasangan dua buah kapasitor bank pada Busbar Garuda Sakti via Matlab Simulink dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Permodelan Sistem Transmisi Tenaga Listrik

Untuk rangkaian faktor daya terdapat pada Gambar 6, yang menunjukkan modeling rangkaian faktor daya Gardu Induk Garuda Sakti Via Matlab Simulink R2016a. Pada permodelan ini dalam keadaan terpasang dua buah kapasitor bank 2\*25 MVar, dengan hasil keluaran faktor daya 0,9342 lagging. Dimana hasil keluaran 0,9342 lagging ini sebagai pembuktian data yang diambil, apakah hasil simulasi sama dengan data yang didapat pada saat penelitian.



**Gambar 6.** Rangkaian Faktor Daya

##### 4.1 Data Hasil Simulasi Matlab Simulink

Tabel 2 merupakan data hasil simulasi Matlab Simulink, berupa tegangan arus dan faktor daya keadaan dua buah kapasitor bank 2\*25 MVar yang sudah terpasang pada Gardu Induk Garuda Sakti sebelumnya.

**Tabel 2.** Hasil simulasi Matlab Simulink

Tegangan (kV)	Arus (A)	Kapasitor bank 1 (MVar)	Kapasitor bank 2 (MVar)	(Cos φ)
148	394	25	25	0,93 lag
148	394	25	25	0,93 lag
148	394	25	25	0,92 lag
148	394	25	25	0,92 lag
148	394	25	25	0,93 lag
148	394	25	25	0,91 lag
148	394	25	25	0,91 lag
147	365	25	25	0,89 lag
147	385	25	25	0,90 lag
148	394	25	25	0,93 lag

Tabel 2. Menampilkan data hasil simulasi faktor daya pada Matlab Simulink, dimana sebagai input rangkaian faktor daya yaitu tegangan pada busbar Garuda Sakti dan arus busbar Garuda Sakti yang dapat dilihat pada tabel 1. hasil simulasi ini dalam keadaan terpasang dua panel kapasitor bank yang berkapasitas masing masing 25 MVar, yang tersusun secara seri setiap selnya dan terpasang secara paralel terhadap beban. Berdasarkan hasil keluaran simulasi faktor daya yang dihasilkan telah mencapai standar (cos φ) (SPLN T5.003-1, 2008) yaitu 0,85 lagging. Namun pada penelitian ini peneliti menargetkan faktor daya gardu induk garuda sakti mencapai 0,95 lagging, dengan penambahan kapasitor bank pada Gardu Induk Garuda Sakti. Maka dari itu peneliti menganalisis berapa kebutuhan kapasitor bank yang akan ditambahkan supaya mencapai faktor daya 0,95 lagging.

##### 4.2 Analisis Kebutuhan Kapasitor Bank Perbaikan Faktor Daya 0,93 menjadi 0,95 lagging

Pada tabel 1 daya aktif 103,17 MW dan daya semu Gardu Induk Garuda Sakti yaitu 105 MVA dengan faktor daya yang terbaca pada simulasi matlab 0,93 lagging diubah menjadi 0,95 dengan kebutuhan daya reaktif kapasitor bank sebagai berikut menggunakan persamaan 2.2, Tabel 1, memaparkan data faktor daya 0,93 lagging diperoleh dari data hasil simulasi merupakan data faktor daya sebelum perbaikan.

$$Q_c = (Q_1 - Q_2)$$

Diketahui

$$S = 105 \text{ MVA}$$

$$P = 105 \times 0,93$$

$$= 103,17 \text{ MW}$$

$$\text{Maka } Q_1 = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$= \sqrt{105^2 - 103,17^2}$$

$$= \sqrt{11025 - 9535,52}$$

$$= \sqrt{1489,48}$$

$$= 38,59 \text{ MVAr}$$

Diketahui

$$P = 103,17$$

$$S = 103,17 : 0,95$$

$$= 108,6 \text{ MVA}$$

Maka

$$Q_2 = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$= \sqrt{108,6^2 + 103,17^2}$$

$$= \sqrt{11793,96 - 10644}$$

$$= \sqrt{1149,96}$$

$$= 33,91 \text{ MVAr}$$

Maka untuk menganalisis kebutuhan kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya 0,93 *lagging* menjadi 0,95 *lagging*.

$$Q_c = (Q_1 - Q_2)$$

$$= 38,59 \text{ MVAr} - 33,91 \text{ MVAr}$$

$$= 4,68 \text{ MVAr}$$

Karena kapasitor yang tersedia pada pasaran 5MVAr, maka kapasitor bank yang digunakan penelitian 5 MVAr.

Tabel 3 hasil Q setelah perbaikan

Q <sub>1</sub> Sebelum perbaikan	Q <sub>2</sub> sesudah perbaikan	Q <sub>c</sub>
38,59	33,91	4,68
37,93	33,16	4,77
42,33	35,02	7,31
41,54	33,88	7,66
40,06	35,40	4,66
46,03	35,72	10,31
46,03	35,72	10,31
52,89	37,47	16
51,32	36,42	14,50
40,06	35,40	4,66

Tabel 3 menampilkan hasil perhitungan kebutuhan kapasitor bank yang akan ditambahkan untuk perbaikan faktor daya. Dimana Q<sub>1</sub> (sebelum perbaikan), Q<sub>2</sub> (setelah perbaikan) perhitungan ini menggunakan data sepuluh hari penelitian, setelah didapatkan hasil sebelum perbaikan dan sesudah perbaikan maka kapasitas kapasitor bank yang dibutuhkan untuk perbaikan faktor daya yaitu Q<sub>c</sub> = (Q<sub>1</sub> - Q<sub>2</sub>).

Tabel 4 hasil perhitungan kapasitor bank

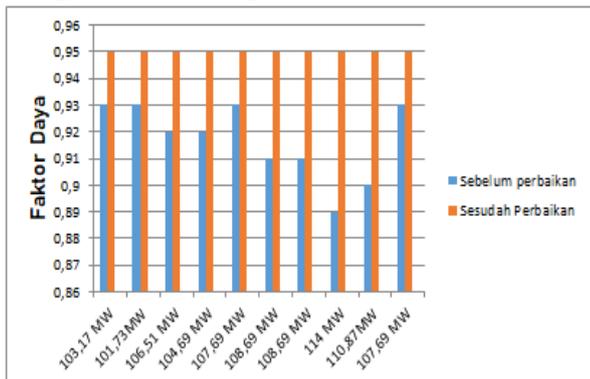
Kapasitor bank 1 (MVAr)	Kapasitor bank 2 (MVAr)	Kapasitor bank ditambahkan (MVAr)
25	25	4,68
25	25	4,77
25	25	7,31
25	25	7,66
25	25	4,66
25	25	10,31
25	25	10,31
25	25	16
25	25	14,50
25	25	4,66

Tabel 4 menampilkan hasil perhitungan kebutuhan perbaikan faktor daya selama data 10 hari mencapai target 0,95 *lagging*. Penambahan kapasitor bank ini dimodelkan ke sistem tenaga listrik tepatnya pada Gardu Induk Garuda Sakti, yang tersusun secara paralel terhadap beban

Tabel 5 hasil simulasi setelah perbaikan faktor daya

Tegangan (kV)	Arus (A)	Pf Sebelum Perbaikan	Pf Setelah perbaikan
150	704	0,93 lag	0,95 lag
150	704	0,93 lag	0,95 lag
150	704	0,92 lag	0,95 lag
150	704	0,92 lag	0,95 lag
150	704	0,93 lag	0,95 lag
150	704	0,91 lag	0,95 lag
150	704	0,91 lag	0,95 lag
150	704	0,89 lag	0,95 lag
150	704	0,90 lag	0,95 lag
150	704	0,93 lag	0,95 lag

Tabel 5 menampilkan hasil simulasi perbaikan faktor daya pada Matlab Simulink, dengan cara menambahkan kapasitor bank pada Gardu Induk Garuda Sakti dengan hasil perhitungan. Berdasarkan hasil simulasi Matlab Simulink faktor daya yang dihasilkan yaitu 0,94 *lagging*. Dengan tegangan input busbar Garuda Sakti 150 kV dan arus 704 A. Kapasitor yang digunakan yaitu kapasitor jenis shunt yang terpasang secara seri setiap selnya dan terpasang secara paralel terhadap beban.



Gambar 7. Merupakan chart perbandingan faktor daya sebelum dan sesudah perbaikan. Chart menampilkan perbandingan faktor daya sebelum dan sesudah perbaikan. Pada chart biru merupakan hasil faktor daya sebelum perbaikan, dapat dilihat pada gambar 7 nilai faktor daya yang dihasilkan sebelum perbaikan memiliki nilai yang bervariasi dengan nilai faktor daya terendah yaitu 0,89 *lagging* pada saat beban 114 MW dan nilai faktor daya tertinggi yaitu 0,93 *lagging* pada saat beban 107,69 MW dengan nilai faktor daya sebelum perbaikan ini masih belum mencapai target dalam penelitian ini sehingga ditambahkan kapasitas dari kapasitor bank tersebut yang dapat dilihat pada chart merah.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, rangkaian perbaikan faktor daya dengan keadaan terpasang dua panel kapasitor bank dengan kapasitas 2\* 25 MVar, terpasang secara paralel terhadap beban menghasilkan faktor daya yaitu 0,89 *lagging*. Faktor daya Gardu Induk Garuda Sakti sudah mencapai standar ketetapan PT.PLN (persero) tahun 2008 yaitu 0,85 *lagging*. Namun pada penelitian ini peneliti menetapkan target faktor daya 0,95 *lagging*. Maka dari itu peneliti melakukan analisa kebutuhan kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya menjadi 0,95 *lagging*.

Metode perhitungan kapasitas kapasitor bank untuk perbaikan faktor daya dari 0,89 *lagging* menjadi 0,95 *lagging*, kapasitas kapasitor bank yang ditambahkan yaitu 15 MVar. Hasil simulasi keadaan terpasang tiga unit kapasitor bank pada Gardu Induk Garuda Sakti, yang terpasang secara paralel terhadap beban menghasilkan faktor daya 0,94 *lagging*. Sedangkan tegangan keadaan kapasitor bank yang sudah terpasang pada Gardu Induk Garuda Sakti sebelumnya yaitu 147 kV dan arus 346 A, sedangkan setelah difasok kapasitor bank 5 MVar yang terpasang secara paralel tegangan naik menjadi 150 kV dengan 704 A.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Dani, dkk. (2018). *Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Sebagai Kompensator Daya Reaktif*. Medan : Sekolah Tinggi Teknologi Sinar Husni.
- Arismunandar, M.A.Sc & Kurwahara (1972), Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II.
- Edminister, Joseph A & Nahvi, Mahmud (2004) *Rangkaian Listrik*. Jakarta: .
- Gonen, (2014) *Electrical Power Transmission System Engineering, Analysis and Design*
- Hosea Emmy, Penangsang Ontoseno, Tinus Algavient, (2017) pengaruh *capasitor bank switching* terhadap kualitas daya Vol. 06 No. 24
- Kartonis julen, ( 2016 ), Analisis Rekonfigurasi Pembebanan Untuk Mengurangi Rugi – rugi daya Pada Saluran Distribusi 20kV.
- Ramdhani Mohamad, (2008) Rangkaian Listrik, Institut Teknologi Telkom, Bandung.
- Muhamad Fadli Biya Lubis ( 2016 ), Analisis Alternatif Perbaikan Untuk Mengatasi Drop Tegangan Pada Feeder Kota 20kV Rokan Hulu, Teknik Elektro, Universitas Riau
- Nizam Khairul Muhammad ( 2019), Analisis Perbaikan Kualitas Daya Menggunakan Kapasitor Bank Pada Penyulang Lumuba PT.PLN ngagel Surabaya.
- Ulya, Amid (2018) Analisis dan Simulasi Pengaruh Pemasangan Kapasitor bank untuk Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Matlab Simulink Pada Sistem Tenaga Listrik di PT. Bogowonto Primalaras, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang.

- PT. PLN ( persero), Nomor 0520-2K/DIR/( 2014 ),  
Himpunan Buku Pedoman Pemeliharaan  
Peralatan Primer Gardu Induk.
- Rahmanto budi irwan ( 2017), Prototype  
Pengendalian Kapasitor bank Untuk  
perbaikan faktor Faktor daya berbasis  
mikrokontroler ATmega 328 Arduino uno,  
Teknik elektro, Fakultas Teknik, Universitas  
tidar, magelang, jawa timur.
- Shiddiq Ubadillah, ( 2018 ), Analisa Rugi – rugi  
Daya Pada Saluran Transmisi 150kV Gardu  
Induk Palur – Gardu Induk Gondangrejo.
- Soewingnaing, (2017), Application of distribution  
System Automatic capacitor banks for Power  
Factor Improvement (132/66/33 kV, 90 MVA,  
Aung Chan thar (Monywa) Substation in  
Myanmar), Department of Electrical Power  
Engineering, Technological University,  
Monywa, Myanmar
- Tampubolon David ( 2014 ), Optilimasi  
Penggunaan Kapasitor Bank Pada Jaringan 20  
kV Dengan Simulasi Etap, Teknik Elektro,  
Universitas Sumatra Utara.
- Yusmartato, Ramayulis Nasution dan Armansyah,  
( 2018 ), teknik elektro, fakultas teknik UISU,  
Penggunaan Kapasitor *Bank* Pada Gardu  
Induk.