

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PEMASANGAN KAPASITOR *BANK* SEBAGAI KOMPENSASI BEBAN INDUKTIF DI PTPN IV PABRIK KEPALA SAWIT ADOLINA

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas-Tugas Dan Syarat-Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST)*

Disusun oleh:

ZULFIKAR ZAILANI
1407220064



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN PEMASANGAN KAPASITOR *BANK* SEBAGAI
KOMPENSASI BEBAN INDUKTIF DI PTPN IV
PABRIK KEPALA SAWIT ADOLINA**

*Diajukan Untuk Melengkapi Syarat-Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)*

**Telah Diuji dan Disidangkan Pada Tanggal :
(29 SEPTEMBER 2018)**

Oleh :
ZULFIKAR ZAILANI
1407220064

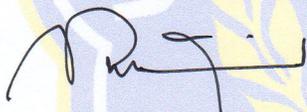
Pembimbing I


(Rohana, ST.MT)

Pembimbing II


(Muhammad Syafril, ST.MT)

Penguji I


(Rimbawati, ST.MT)

Penguji II


(Ir. Abdul Azis Hutasuht, MM)

**Diketahui dan Disahkan
Ketua Prodi Teknik Elektro**


(Faisal Irsan Pasaribu ST.MT)



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : ZULFIKAR ZAILANI
Tempat/tgl. Lahir : Hutarimbaru, 21 Juni 1995
NPM : 1407220064
Bidang Keahlian : Instrumentasi
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik



Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir yang berjudul :

“PERENCANAAN PEMASANGAN KAPASITOR *BANK* SEBAGAI KOMPENSASI BEBAN INDUKTIF DI PTPN IV PABRIK KEPALA SAWIT ADOLINA”

Dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Medan, 19 September 2018

Saya yang menyatakan,




ZULFIKAR ZAILANI

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang pemakaian daya reaktif (kVAR) di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina pada Pembangkit Listrik PLN dengan daya tersambung 555 kVA yang tergolong ke tarif Industri (I-3). Pabrik ini banyak menggunakan beban induktif seperti motor-motor listrik sehingga menghasilkan pemakaian daya reaktif yang cukup besar. Sebelum menggunakan kapasitor bank, faktor daya ($\cos \varphi$) diukur 0,65 lagging, maka Pabrik dikenakan denda biaya kelebihan pemakaian kVARH sesuai standar PLN ($\cos \varphi < 0,75$ lagging). Untuk mengurangi pemakaian kVARH, pihak Pabrik berencana memasang kapasitor bank dengan kapasitas (412,5 kVAR) untuk memperbaiki faktor daya dari 0,65 lagging menuju 0,99 lagging. Perencanaan pemasangan kapasitor bank menggunakan metode Tabel $\cos \varphi$. Biaya yang dibutuhkan dalam pemasangan kapasitor bank yaitu Rp 253.000.000,-. Lama waktu break even point setelah pemasangan kapasitor bank adalah 5 (lima) bulan.

Kata kunci : beban induktif, faktor daya, kapasitor *bank*, tabel $\cos \varphi$

ABSTRACT

This study discusses the use of reactive power (kVAR) in PTPN IV of the Adolina Palm Oil Plant in the PLN Power Plant with 555kVA connected power which is classified as Industrial tariff (I-3). This plant uses a lot of inductive loads such as electric motors, which results in the use of a large amount of reactive power. Before using a bank capacitor, the power factor ($\cos \phi$) was 0.65 lagging measured, so the factory was subject to a fine of excess kVARH usage according to PLN standard ($\cos \phi < 0.75$ lagging). To reduce the use of kVARH, the plant plans to install a bank capacitor with a capacity (412.5 kVAR) to improve the power factor from 0.65 lagging to 0.99 lagging. Planning installation of bank capacitors using Table $\cos \phi$ method. The cost required in installing a bank capacitor is Rp. 253,000,000. The length of the break even point time after installation of the bank's capacitor is 5 (five) months.

Keywords: inductive load, power factor, bank capacitor, $\cos \phi$ table

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh, Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam semoga senantiasa tercurah atas Nabi Muhammad Rasulullah SAW.

Skripsi ini dengan judul **“PERENCANAAN PEMASANGAN KAPASITOR BANK SEBAGAI KOMPENSASI BEBAN INDUKTIF DI PTPN IV PABRIK KELAPA SAWIT ADOLINA”** ini diajukan untuk memenuhi syarat akhir untuk menyelesaikan pendidikan Program Strata 1 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Perlu disadari bahwa penyusunan karya tulis ini tidak dapat selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Teristimewa saya ucapkan terima kasih kepada Kedua Orang Tua saya, Ibu saya Rosliana Nst, Spd., Ayah saya Zulkifli Lubis, keluarga dan sahabat yang telah memberikan Doa, bimbingan dan dorongan semangat untuk keberhasilan dan kesuksesan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu ST, MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4. Ibu Rohana, S.T., M.T., selaku Dosen Pemimbing I yang telah memberikan masukan dan membantu saya menyelesaikan skripsi ini
5. Bapak Muhammad Syafril, S.T, M.T., selaku Dosen Pemimbing II yang telah memberikan masukan dan membantu saya menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak dan Ibu dosen pengajar program studi Teknik Elektro yang telah banyak mengajarkan ilmu kepada saya.
7. Bapak Rudi Syahputra, ST., selaku pembimbing di lapangan pada pelaksanaan Penelitian di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina, yang telah banyak memberikan ilmu dan nasihat bagi saya.
8. Teman saya Anggi Juliansyah, Andrian Sasmita dan Darkon Siregar selaku teman yang membantu dalam penulisan Tugas Akhir ini.
9. Dan semua pihak yang membantu, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Saya menyadari bahwa Tugas Akhir ini bukanlah tanpa kelemahan, untuk itu kritik dan saran sangat diharapkan. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi saya sendiri dan bagi orang lain.

Medan, 19 September 2018

Hormat Saya

ZULFIKAR ZAILANI

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| ABSTRAK | i |
| KATA PENGANTAR..... | iii |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR GAMBAR..... | viii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GRAFIK..... | x |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xi |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka Relevan | 5 |
| 2.2 Daya | 8 |
| 2.2.1 Daya Semu..... | 9 |
| 2.2.2 Daya Aktif | 10 |
| 2.2.3 Daya Reaktif | 10 |
| 2.3 Faktor Daya | 11 |
| 2.3.1 Faktor Daya Tertinggal (<i>lagging</i>) | 12 |
| 2.3.2 Faktor Daya Mendahului (<i>leading</i>)..... | 12 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4 Pembangkit..... | 13 |
| 2.5 Beban | 19 |
| 2.5.1 Beban Resistif..... | 20 |
| 2.5.2 Beban Induktif..... | 20 |
| 2.5.3 Beban Kapasitif | 21 |
| 2.6 Pemasangan Kapasitor <i>Bank</i> | 22 |
| 2.6.1 <i>Individual Compensation</i> | 22 |
| 2.6.2 <i>Sectoral Compensation</i> | 23 |
| 2.6.3 <i>Global Compensation</i> | 24 |
| 2.7 Komponen-Komponen Panel Kapasitor <i>Bank</i> | 24 |
| 2.7.1 Pengaman..... | 24 |
| 2.7.2 <i>Contactora</i> Khusus Kapasitor | 26 |
| 2.7.3 Kapasitor <i>Bank</i> | 27 |
| 2.7.4 <i>Power Factor Regulator</i> | 28 |
| 2.7.5 <i>Current Transformator (CT)</i> | 29 |
| 2.8 Metode Kelayakan Investasi..... | 29 |
| 2.8.1 Metode <i>Payback Period</i> | 30 |
| 2.8.2 Metode <i>Net Present Value (NPV)</i> | 30 |
| 2.8.3 Metode <i>Internal Rate of Return</i> | 31 |
| 2.8.4 Metode <i>Profitability Index</i> | 32 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 34 |
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian | 34 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 34 |
| 3.3 Metode Penelitian | 35 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.1 Studi Literatur | 35 |
| 3.3.2 Studi Bimbingan..... | 35 |
| 3.3.3 Pengambilan Data (Riset)..... | 35 |
| 3.3.4 Pembuatan Laporan..... | 35 |
| 3.4 Diagram Alir Penelitian | 36 |
| 3.5 Pembangkit Listrik PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina | 37 |
| 3.6 Beban di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina | 39 |
| 3.7 <i>Wiring</i> Diagram Kapasitor <i>Bank</i> | 40 |
| 3.8 Metode Menghitung Daya Reaktif | 41 |
| 3.8.1 Metode Sederhana | 41 |
| 3.8.2 Metode Kwitansi PLN..... | 42 |
| 3.8.3 Metode $\cos \phi$ | 42 |
| BAB IV ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN | 44 |
| 4.1 Analisa Faktor Daya ($\cos \phi$) di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina Sebelum menggunakan kapasitor <i>bank</i> | 44 |
| 4.2 Analisa Faktor Daya ($\cos \phi$) di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina Setelah Menggunakan Kapasitor <i>Bank</i> | 46 |
| 4.3 Analisa Investasi Penggunaan Kapasitor <i>Bank</i> | 49 |
| 4.4 Analisa <i>Break Even Point</i> Menggunakan Kapasitor <i>Bank</i> | 50 |
| BAB V PENUTUP | 51 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 51 |
| 5.2 Saran..... | 51 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Segitiga daya | 9 |
| Gambar 2.2 Gelombang sinus pada faktor daya <i>lagging</i> | 12 |
| Gambar 2.3 Gelombang sinus pada faktor daya <i>leading</i> | 12 |
| Gambar 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)..... | 13 |
| Gambar 2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)..... | 14 |
| Gambar 2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)..... | 15 |
| Gambar 2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) | 15 |
| Gambar 2.8 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) | 16 |
| Gambar 2.9 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)..... | 17 |
| Gambar 2.10 Trafo daya 555kVA | 18 |
| Gambar 2.11 Gelombang arus dan tegangan pada beban induktif..... | 21 |
| Gambar 2.12 Gelombang arus dan tegangan pada beban kapasitif..... | 21 |
| Gambar 2.13 <i>Low Voltage Individual Compensation</i> | 23 |
| Gambar 2.14 <i>Low Voltage Sectoral Compensation</i> | 23 |
| Gambar 2.15 <i>Low Voltage Global Compensation</i> | 24 |
| Gambar 2.16 LBS (<i>Load Break Switch</i>) | 25 |
| Gambar 2.17 MCCB (<i>Molded Case Circuit Breaker</i>)..... | 26 |
| Gambar 2.18 <i>Contact</i> or LC1-DWK12 Kontakto | 27 |
| Gambar 2.19 Kapasitor BLRCH 50kVAR <i>VarPlus Can</i> | 27 |
| Gambar 2.20 <i>Power Factor Regulator VART-RT 12 Schneider</i> | 28 |
| Gambar 2.21 <i>Current Transformer (CT) CIC</i> | 29 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian Tugas Akhir | 36 |
| Gambar 3.2 <i>Single Line Diagram</i> Pembangkit Listrik PTPN IV Adolina..... | 38 |
| Gambar 3.4 <i>Wiring Diagram</i> Kapasitor <i>Bank</i> | 40 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Sumber Pembangkit Listrik PTPN IV Adolina | 19 |
| Tabel 2.2 Data Beban Listrik di PTPN IV Adolina..... | 22 |
| Tabel 4.1 Rincian Total Harga Pemasangan Kapasitor <i>Bank</i> | 50 |
| Tabel 4.2 Data hasil <i>Net Present Value</i> (NPV) | 51 |

DAFTAR GRAFIK

| | |
|--|----|
| Grafik 4.1 Grafik <i>Net Present Value</i> (NPV) | 51 |
|--|----|

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|--|
| Lampiran (1) <i>Single Line</i> Kelistrikan PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina..... | |
| Lampiran (2) Tarif Tenaga Dasar Listrik PLN 2017..... | |
| Lampiran (3) Tabel $\cos \varphi$ <i>Schneider Electric</i> Indonesia | |
| Lampiran (4) Perincian panel kapasitor <i>bank</i> | |
| Lampiran (5) Surat pengajuan riset | |
| Lampiran (6) Surat izin riset | |
| Lampiran (7) Riset di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina..... | |
| Lampiran (8) Laporan Skripsi Dalam Bentuk Jurnal | |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya pertumbuhan industri berdampak pada bertambahnya pertumbuhan beban dalam sistem tenaga listrik. Pertumbuhan beban tersebut diikuti dengan meningkatnya daya reaktif akibat beban induktif pada bus beban maupun pada saluran distribusi yang menyebabkan meningkatnya pemakaian daya reaktif. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan dalam melakukan analisis studi pemasangan kapasitor *bank* untuk menanggulangi beban induktif [1].

Pada sistem distribusi, jika suatu jaringan tidak memiliki sumber daya reaktif di daerah sekitar beban, maka semua kebutuhan beban reaktifnya dipikul oleh gardu induk yang tersuplai dari generator pada pembangkit listrik. Sehingga akan mengalir arus reaktif pada jaringan yang mengakibatkan faktor daya menurun, *drop* tegangan dan bertambahnya rugi-rugi daya [1].

Berdasarkan permasalahan tersebut, beberapa cara yang efektif dan efisien dipilih untuk mendapatkan nilai yang optimum pada sistem tenaga listrik. Yaitu diantaranya adalah optimasi daya reaktif dengan cara membangun generator baru, pengaturan tap trafo, instalasi *auto voltage regulator*, dan instalasi kapasitor *bank*.

Beberapa cara atau metode untuk memperbaiki jatuh tegangan pada suatu penyulang atau bus, yaitu dengan memperbesar kawat penampang, mengubah seksi penyulang dari satu fasa ke sistem tiga fasa, pengiriman beban melalui penyulang yang baru [2].

Dari tiga metode diatas menunjukkan tidak efektifnya infrastruktur dan investasi yang ditanam saat membangun gedung, pabrik maupun industri lainnya. Adapun metode lain yang untuk mengatasi kebutuhan daya reaktif, tegangan jatuh dan meminimalkan rugi-rugi tegangan adalah dengan memasang kapasitor *bank*.

Pada penelitian ini diambil *sample* pada Pabrik Kelapa Sawit Adolina PTPN IV. Dimana kondisi faktor daya daya yang ditentukan adalah $> 0,8$, tegangan jatuh adalah $\pm 10\%$ sesuai dengan yang diatur pada PUIL 1995 [3].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, adapun rumusan masalah pada penelitian di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar pemakaian daya reaktif dan denda biaya kelebihan pemakaian kVARH oleh PLN sebelum menggunakan kapasitor *bank* ?
2. Berapa besar kapasitas kapasitor *bank* (kVAR) yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya ?
3. Berapa besar biaya investasi yang dibutuhkan untuk pemasangan kapasitor *bank* ?
4. Berapa lama *break even point* yang dibutuhkan dalam pemasangan kapasitor *bank* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian Tugas Akhir di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa besar pemakaian daya reaktif dan denda biaya kelebihan pemakaian kVARH oleh PLN sebelum menggunakan kapasitor *bank*.
2. Menganalisa kapasitas kapasitor *bank* (kVAR) untuk memperbaiki faktor daya.
3. Menganalisa besar biaya investasi pemasangan kapasitor *bank*.
4. Menganalisa waktu *break even point* setelah pemasangan kapasitor *bank*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Hanya menghitung besar biaya pemakaian daya reaktif perbulan (kVARH) dan tidak membahas perhitungan besar biaya pemakaian beban listrik di kWh meter pada sisi pembangkit listrik PLN.
2. Hanya menghitung pemakaian daya listrik dari jam 08.00-17.00 WIB.
3. Perencanaan pemasangan kapasitas kapasitor *bank* dengan menggunakan metode Tabel $\cos \phi$.
4. Menganalisa *break even point* dengan metode *Net Present Value* (NPV).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan pemahaman kepada penulis mengenai studi analisa optimasi daya reaktif sebagai studi perencanaan dalam mengatasi permasalahan tegangan jatuh, faktor daya pada industri agar dapat sesuai dengan nilai-nilai standar yang berlaku.
2. Sebagai referensi dalam pengambilan rencana pembangunan infrastruktur ke depannya khususnya dibidang *electrical* bagi PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina.
3. Memberikan pemahaman tentang fungsi-fungsi komponen panel kapasitor *bank*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka Relevan

Berikut ini beberapa penelitian yang dilakukan dari peneliti terdahulu untuk mendukung penelitian tugas akhir dalam Perencanaan Kapasitor Bank Sebagai Kompensasi Beban Induktif Pada PTPN IV, antara lain :

Menurut Ahmad Yani (2017) menyatakan bahwa “Kapasitor seri dan parallel pada sistem daya menimbulkan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dan tegangan, karenanya menambah kapasitas sistem dan mengurangi kerugian. Dalam kapasitor seri daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus beban. Sedang pada kapasitor parallel sebanding dengan kuadrat tegangan. Ada beberapa aspek tertentu yang menyenangkan pada kapasitor seri. Secara umum dapat dikatakan, biaya untuk memasang kapasitor seri lebih tinggi dari biaya pemasangan kapasitor parallel. Hal ini disebabkan karena peralatan perlindungan untuk kapasitor seri lebih kompleks. Juga biasanya, kapasitor seri didesain untuk daya yang lebih besar dari pada kapasitor parallel untuk mengatasi pengembangan beban nantinya. Pemasangan kapasitor sangat penting untuk perendanaan reaktif dari sebuah sistem daya. Jelas bahwa saluran transmisi akan paling ekonomis bila dipakai mengirim daya aktif saja dimana kebutuhan daya reaktif didapat dalam sistem distribusi di konsumen atau kebanyakan pada tingkat *substation*. Hal ini akan memungkinkan penggunaan optimum sebuah transmisi, memperbaiki penampilan operasionalnya dan mengurangi kerugian energi. Maka sistem ini membutuhkan perencanaan yang hati-hati untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif dengan cara sama dengan perencanaan daya aktif dan di program kapasitas

generator tambahan” [1].

Menurut Usman, L. & Achlison, U. (2015) menyatakan bahwa “Panel Kapasitor *bank* dalam suatu industri sangat berperan penting untuk menghemat pemakaian daya listrik terutama untuk industri dengan daya terpasang lebih dari 200kVA. Industri dengan daya terpasang tersebut akan dikenai denda kVAr apabila faktor daya (ϕ) yang terukur kurang dari 0,85. Konsep dasar mengapa dalam sebuah industri diperlukan panel kapasitor *bank* untuk memperbaiki faktor daya adalah karena di industri tersebut banyak menggunakan alat-alat yang di dalamnya terdapat unsur belitan dan inti besi. Alat-alat tersebut memiliki faktor daya (ϕ) yang rendah. Berdasarkan perhitungan kebutuhan unit kapasitor untuk memperbaiki faktor daya (ϕ), maka lebih mudah menggunakan metode Tabel Konversi. Kapasitor yang digunakan untuk memperbesar faktor daya dipasang paralel dengan rangkaian beban. Dengan pemasangan panel kapasitor *bank*, maka seluruh atau sebagian daya reaktif yang diperlukan oleh beban induktif akan disuplai oleh kapasitor *bank*. Sehingga tugas sentral listrik atau pembangkit listrik akan menjadi lebih ringan karena hanya mensuplai daya aktif saja” [3].

Menurut Abadi, A. & Syafii (2015) menyatakan bahwa “Evaluasi stabilitas tegangan perlu dilakukan untuk mendapatkan informasi performansi sistem penyaluran tenaga listrik. Perhitungan analisa aliran daya digunakan untuk menentukan parameter-parameter penting sistem tenaga listrik dalam keadaan tunak. Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Perbaikan profil tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan pengatur tegangan, yaitu kapasitor *bank* dan tap transformator. Melalui simulasi menggunakan

PowerWorld simulator akan diperoleh nilai dan lokasi kapasitor *bank* dan tap transformator yang tepat untuk memperbaiki performasi sistem. Sistem kelistrikan Sumatera Barat digunakan dalam penelitian ini, dari hasil simulasi dengan kondisi awal sistem terdapat beberapa bus yang mengalami drop tegangan dengan total rugi-rugi sistem sebesar 14,4 MW. Setelah penambahan kapasitor *bank*, tegangan sistem mengalami peningkatan yang signifikan sehingga tidak ada yang melewati nilai toleransi dan rugi-rugi sistem turun menjadi 14,1 MW. Sedangkan untuk pengatur rasio tap transformator, tegangan sistem tidak mengalami perubahan yang begitu besar, kecuali pada sisi skunder transformator bus yang diatur dengan rugi-rugi sistem hampir sama yaitu sebesar 14,4 MW. Untuk kasus penambahan kapasitor dan pengatur rasio tap transformator secara bersamaan, tidak ada lagi drop tegangan yang melebihi dari 5% dan total rugi-rugi sistem turun menjadi 13,9 MW” [4].

Menurut Ghifari, A.: Warsito, A.: Handoko, S. (2013) menyatakan bahwa “PT. Chandra Asri Petrochemical,tbk mempunyai kelistrikan yang disuplai dari pembangkit STG (*Steam Turbine Generator*). Sebagai perusahaan yang besar, PT CAP memerlukan suatu sistem keandalan listrik yang handal dan memiliki kualitas tenaga listrik yang baik demi menjaga konsistensinya dalam memproduksi bahan baku biji plastik. Beberapa parameter yang dilihat dalam kualitas tenaga listrik adalah kandungan harmonisa dan besarnya faktor daya dalam sistem tenaga listrik. Untuk menambah keandalan sistem kelistrikan, perusahaan memutuskan mensinkronisasi sistem kelistrikan antara STG (*Steam Turbine Generator*) dan PLN. Setelah tersinkronisasi, perusahaan mendapatkan denda dari PLN karena faktor daya yang kurang dari batas yang diberikan PLN.

Rendahnya faktor daya, bisa terjadi karena pemakaian beban induktif ataupun adanya harmonisa pada sistem. Banyaknya beban nol linier yang dipakai perusahaan merupakan sumber dari harmonisa pada sistem. Metode yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan menambahkan kapasitor bank. Metode ini dapat menghilangkan resonansi yang terjadi akibat penambahan kapasitor *bank* dengan filter pasif” [5].

Menurut Darwanto, A. (2016) menyatakan bahwa “Pertambahan industri sangatlah berpengaruh terhadap daya reaktif. Hal itu dikarenakan industri banyak menggunakan motor listrik. Motor listrik adalah beban yang banyak menggunakan daya reaktif yang menyebabkan turunnya faktor daya, sehingga daya aktif yang bisa dimanfaatkan menjadi berkurang. Perbaikan faktor daya sumber listrik menjadi lebih kecil. Penelitian perbaikan faktor daya ini dilakukan di *workshop* Teknik Mesin STTR Cepu dengan beban induktif yang terdiri dari atas beban motor mesin bubut, sekrap, bor dan mesin las listrik merupakan objek yang akan diuji pada kondisi sebelum dan sesudah tersambung dengan kapasitor *bank*. Kapasitor yang digunakan adalah kapasitor *Siemens* dengan spesifikasi 3 fasa 2,5 kVAr sebanyak 2 buah. Dari hasil pengujian beban 13,981 kW dengan kapasitor 2,5 k3VAr dapat memperbaiki *power* faktor dari 0,63 menjadi 0,71 (satu kapasitor), dan *power* faktor 0,8 (dua kapasitor)” [6].

2.2 Daya

Daya merupakan jumlah energi listrik tiap satuan waktu. Daya listrik dibangkitkan oleh pembangkit listrik seperti PLTU, PLTA, PLTG, PLTD dan lain-lain. Daya dibagi menjadi tiga, yaitu daya aktif, daya semu dan daya reaktif. Berikut adalah penjelasan dari ketiga daya tersebut.

2.2.1 Daya Semu

Daya reaktif merupakan daya yang dibangkitkan oleh generator pada sistem pembangkit listrik. Daya semu diberi simbol S dan memiliki satuan VA (Volt Ampere). Daya semu terdiri dari daya aktif dan daya reaktif. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya semu satu phasa dan tiga phasa adalah :

Daya Semu 1 Phasa

$$S = V.I \dots\dots\dots (2.1)$$

Daya Semu 3 Phasa

$$S = \sqrt{3}.V.I \dots\dots\dots (2.2)$$

$$S = \sqrt{(P^2 - Q^2)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

S = Daya Semu (VA)

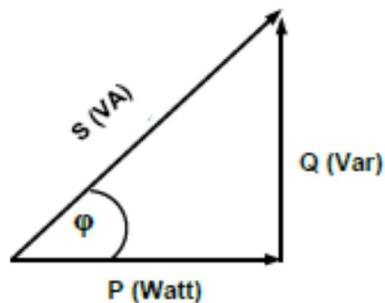
P = Daya Aktif (Watt)

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Ketiga daya tersebut digambarkan dengan segitiga daya. Berikut adalah segitiga daya tersebut adalah :



Gambar 2.1 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan suatu ilustrasi yang menggambarkan hubungan matematis antara daya aktif, daya reaktif dan daya semu. Daya aktif berada dalam komponen horisontal, daya reaktif berada pada posisi vertikal dan sedangkan daya semu merupakan sisi miring yang dibentuk antara daya aktif dengan daya reaktif [7].

2.2.2 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang sebenarnya digunakan oleh konsumen. Daya aktif memiliki satuan watt. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan besar daya aktif :

Daya aktif satu phasa

$$P = V.I.\cos\phi \dots\dots\dots (2.4)$$

Daya aktif tiga phasa

$$P = \sqrt{3}.V.I.\cos\phi \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2.2.3 Daya Reaktif Daya Aktif

Daya reaktif merupakan daya yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet. Satuan daya reaktif adalah VAR (*Volt Ampere Reactive*), sedangkan simbolnya adalah Q. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya reaktif :

Daya Reaktif 1 Phasa

$$Q = V.I.\sin\phi \dots\dots\dots (2.6)$$

Daya Reaktif 3 Phasa

$$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}\dots\dots\dots(2.7)$$

$$Q = \sqrt{3}. V \times I \times \sin \phi.\dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

Q = Daya Reaktif (VAR)

S = Daya Semu (VA)

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2.3 Faktor Daya

Faktor daya merupakan *cosinus* dari beda sudut fasa antara arus dengan tegangan. Faktor daya disimbolkan dengan $\cos \phi$ dan mempunyai rentang nilai antara 0 sampai 1. Semakin mendekati 1, maka nilai faktor daya akan semakin baik. Kemudian untuk mencari nilai faktor daya dapat dilakukan dengan membagi daya aktif (P) dengan daya semu (S). Adapun persamaan yang digunakan untuk mencari faktor daya adalah :

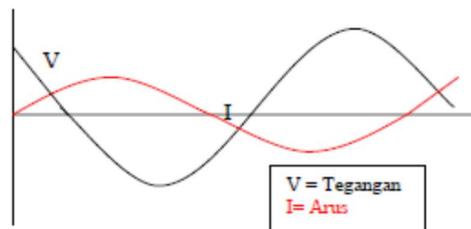
$$\cos \phi = \frac{P \text{ (Watt)}}{S \text{ (VA)}}\dots\dots\dots(2.8)$$

$$\theta = \arccos \phi.\dots\dots\dots(2.9)$$

Faktor daya dibagi menjadi dua, yaitu faktor daya tertinggal (*lagging*) dan faktor daya mendahului (*leading*). Berikut ini penjelasan mengenai kedua faktor daya tersebut :

2.3.1 Faktor Daya Tertinggal (*lagging*)

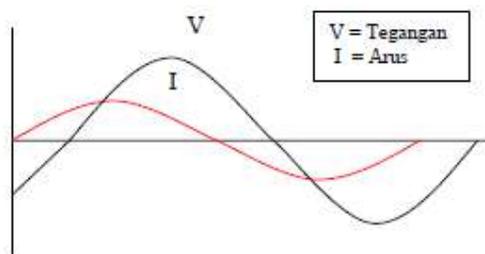
Faktor daya *lagging* menunjukkan kondisi disaat beban induktif dan memerlukan daya reaktif dari jaringan. Nilai $\cos \phi$ pada kondisi *lagging* akan bernilai positif. Kemudian pada gelombang sinus, arus (I) akan tertinggal dengan tegangan (V) atau tegangan mendahului arus (I) dengan sudut $\cos \phi$. Berikut adalah gelombang sinus pada faktor daya *lagging* :



Gambar 2.2 Gelombang Sinus pada Faktor daya *lagging*

2.3.2 Faktor Daya Mendahului (*leading*)

Faktor daya *leading* menunjukkan kondisi disaat beban kapasitif dan memberikan daya reaktif ke jaringan. Nilai $\cos \phi$ pada kondisi *leading* akan bernilai negatif. Kemudian pada gelombang sinus, arus (I) akan mendahului dengan tegangan (V) atau tegangan (V) tertinggal terhadap arus (I) sebesar sudut $\cos \phi$. Berikut adalah gelombang sinus pada faktor daya *leading* :



Gambar 2.3 Gelombang Sinus pada Faktor Daya *Leading*

2.4 Pembangkit

Pembangkit listrik adalah bagian dari alat industri yang dipakai untuk memproduksi tenaga listrik dari sumber tenaga seperti PLTA (Pembangkit Listrik

Tenaga Air), PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir), PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) dan lain-lain. Bagian utama dari pembangkit listrik ini adalah generator, yakni mesin yang berputar mengubah energi mekanis menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip medan magnet dan penghantar listrik. Mesin generator ini diaktifkan dengan menggunakan berbagai sumber energi yang sangat bermanfaat dalam suatu pembangkit listrik. Adapun jenis-jenis pembangkit tenaga listrik sebagai berikut :

a) Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Air berfungsi menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator. Energi listrik yang dihasilkan disebut hidroelektrik. Kelebihan PLTA adalah kapasitas daya yang dihasilkan cukup besar dan sangat ramah lingkungan, tidak menyebabkan polusi dan bebas emisi karbon.



Gambar 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

b) Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

PLTN membutuhkan reaksi pembelahan inti bahan uranium dalam reaktor nuklir menghasilkan panas. Panas tersebut menghasilkan uap yang dialirkan ke turbin untuk menggerakkan generator. Jenis pembangkit ini sangat ramah lingkungan karena melepaskan partikel nitrogen oksida, sulfur dioksida dan karbon dioksida saat pembakaran terjadi. PLTN membutuhkan pengamanan energi nuklir yang sangat besar sehingga membuat potensi kecelakaan nuklir yang cukup rawan. Radiasinya dapat merusak tubuh manusia bahkan menyebabkan cacat dan kematian.



Gambar 2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

c) Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah energi terbarukan, sinar matahari dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik dengan mengubah energi panas melalui panel surya atau *photocell*. Komponen utama PLTS adalah sel *photo voltage* yang berperan menangkap sinar matahari yang panas. Pembangkit jenis ini sering digunakan sebagai energi alternatif dan ramah lingkungan. Akan tetapi, daya yang dihasilkan tidaklah besar dan investasi cukup besar sehingga pemakaian PLTS ini jarang digunakan masyarakat.



Gambar 2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

d) Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu juga energi terbarukan, angin menggerakkan baling-baling sebagai energi mekanik yang dikopel dengan *Gear Box* yang berfungsi memperbanyak putaran untuk menggerakkan generator. Generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. PLTB ini membutuhkan biaya perancangan yang cukup besar dan perawatan yang sangat mahal, sehingga PLTB ini jarang digunakan. Akan tetapi, PLTB ini sangat ramah lingkungan dan tidak memerlukan emisi bahan bakar sebagai sumber tenaganya.



Gambar 2.7 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

e) Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Jenis pembangkit listrik ini menggunakan bahan solar sebagai bahan bakar utamanya. Jenis pembangkit ini dinilai kurang ekonomis, karena biaya operasionalnya yang cukup mahal, membuat jenis pembangkit ini kurang diminati konsumen. Akan tetapi, pembangkit ini sangat banyak digunakan dari kapasitas kecil hingga kapasitas besar sebagai pembangkit listrik cadangan di suatu instansi maupun industri.



Gambar 2.8 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina

f) Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator seporos dengan turbin yang digerakkan oleh kinetik dari uap panas/kering. PLTU menggunakan berbagai macam bahan bakar seperti batubara, kernel kelapa sawit, minyak dan sebagainya.



Gambar 2.9 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina

g) Pembangkit Listrik Negara (PLN)

PT. PLN (Persero) adalah sebuah BUMN (Badan Usaha Milik Negara) yang mengurus semua aspek kelistrikan yang ada di Indonesia. PLN didirikan pada tanggal 27 Oktober 1945 di Jakarta, Indonesia. PLN juga menggunakan pembangkit listrik seperti PLTU, PLTA, PLTD dan lain-lainnya. PLN menjual energi listrik ke konsumen mulai dari kapasitas kecil hingga kapasitas besar seperti perumahan, gedung, perkantoran maupun industri.

PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina juga menggunakan jasa PLN sebagai pembangkit listrik alternatif jika ada *trouble* atau kendala pada pembangkit utama (PLTU) di pabrik tersebut. Pabrik ini berlangganan daya listrik terhadap PLN dengan daya terpasang 555 kVA yang tergolong ke tarif Industri (I-3). Berikut ini gambar trafo dengan kapasitas daya 555 kVA sebagai berikut :



Gambar 2.10 Trafo daya 555 kVA di Pabrik Kelapa Sawit Adolina

Adapun daftar tarif langganan PLN berdasarkan kapasitas daya terpasang yang berlaku dari bulan Juli 2017 sampai dengan sekarang yang ditetapkan oleh PLN terlampir.

Selain pembangkit-pembangkit listrik yang dijelaskan diatas, masih banyak lagi pembangkit-pembangkit listrik, baik itu pembangkit listrik baru terbarukan maupun pembangkit listrik yang sedang diteliti pembaharuannya.

PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina menggunakan pembangkit listrik PLTU sebagai pembangkit listrik utama, pemanasan air menjadi uap (*steam*) pada boiler dikirim kepada turbin uap yang dipasang seporos dengan generator. Sisa *steam* dari turbin kemudian dikirim ke *sterilizer station* untuk merebus janjangan sawit maupun brondolan sawit yang mau dikelola. Pabrik ini menggunakan 3 turbin uap dengan kapasitas berbeda. Namun pemakaian turbin saat produksi hanyalah satu dengan pemakaian bergantian secara berkala. Tujuannya untuk merawat turbin agar *life time*-nya panjang dan menyesuaikan hasil *steam* dengan kapasitas turbin. Selain PLTU, Pabrik ini juga menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sebagai sumber daya listrik ketika proses *start* produksi

pabrik dan PLN sebagai sumber daya cadangan apabila terjadi masalah di PLTU Pabrik Kelapa Sawit Adolina. PLTD digunakan saat memulai produksi dan mengakhiri produksi dengan mensinkron PLTD dengan PLTU. Tujuannya sebagai proses pemindahan sumber daya saat *fire up*, karena Turbin uap tidak boleh langsung dibebani ketika *start* awal dan akhir pada Turbin tersebut. Sementara itu, PLN digunakan apabila terjadi *maintenance* di Pabrik tersebut ataupun ketika tidak sedang produksi. Karena kapasitas daya yang dihasilkan PLTU Pabrik itu sendiri cukup besar sehingga tidak membutuhkan daya listrik dari PLN ketika produksi. Adapun sumber-sumber pembangkit yang terdapat di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina adalah :

Tabel 2.1 Sumber Pembangkit Listrik di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina

| NO. | Sumber Pembangkit Listrik | Kapasitas | Faktor Daya | Frekuensi | Tegangan | Phasa | Keterangan |
|-----|---------------------------|-----------|-------------|-----------|----------|-------|-------------|
| 1. | Turbin-1 | 750 kVA | 0,8 | 50Hz | 380V | 3~ | Prioritas-1 |
| 2. | Turbin-2 | 1000 kVA | 0,8 | 50Hz | 380V | 3~ | Prioritas-2 |
| 3. | Turbin-3 | 850 kVA | 0,8 | 50Hz | 380V | 3~ | Prioritas-3 |
| 4. | Generator-1 | 500 kVA | 0,8 | 50Hz | 380V | 3~ | Cadangan-1 |
| 5. | PLN | 555 kVA | 0,8 | 50Hz | 380V | 3~ | Cadangan-2 |

2.5 Beban

Beban listrik di defenisikan sebagai jumlah listrik yang digunakan konsumen. Beban listrik dapat dibagi menjadi beban seimbang dan tidak seimbang. Pada beban seimbang jumlah daya yang dibangkitkan oleh pembangkit tiga phasa atau daya yang diserap oleh beban tiga phasa, diperoleh dengan menjumlahkan daya tiap-tiap phasa. Pada sistem yang seimbang, daya total tersebut sama dengan tiga kali daya phasa, karena daya tiap-tiap phasanya sama dan besar perbedaan sudut antara tiap phasanya adalah 120° . Pada sistem yang

tidak seimbang, beban listrik diantara ketiga fasanya tidak seimbang. Misalnya beban di fasa R lebih besar dari pada beban di fasa S dan T. Listrik arus DC (arus searah) besar beban induktif dan beban kapasitif tidak berpengaruh terhadap rangkaian, sehingga yang menjadi beban hanya beban resistif murni. Kemudian pada rangkaian arus AC (bolak-balik), beban kapasitif dan induktif akan memberi pengaruh kepada rangkaian, sehingga beban yang bekerja yaitu beban resistif, beban induktif dan beban kapasitif. Berikut adalah pengertian dari beban resistif, kapasitif dan induktif [8].

2.5.1 Beban Resistif

Beban resistif dihasilkan dari rangkaian yang terdiri dari penghambat berupa resistor murni. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan sama sekali tidak menyerap beban reaktif. Pada beban resistif arus dan tegangan akan se-fasa.

2.5.2 Beban Induktif

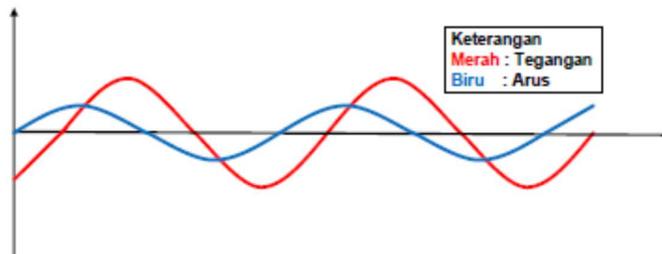
Beban Induktif adalah beban yang menyerap daya aktif dan daya reaktif dengan faktor daya *lagging*, yaitu saat tegangan mendahului arus sebesar sudut θ . Beban induktif dihasilkan dari komponen-komponen listrik yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada inti besi. Contoh peralatan listrik merupakan beban induktif adalah mesin-mesin listrik seperti motor-motor dan transformator. Beban induktif dihasilkan dari rangkaian yang mengandung komponen pasif berupa induktor. Berikut adalah gambar gelombang pada beban induktif :



Gambar 2.11 Gelombang arus dan tegangan pada beban induktif

2.5.3 Beban Kapastif

Beban Kapasitif adalah beban yang mengandung komponen pasif, yaitu kapasitor. Beban kapasitif menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Bentuk gelombang dari beban kapasitif adalah arus mendahului tegangan. Berikut gambar gelombang yang dihasilkan pada beban kapasitif.



Gambar 2.12 Gelombang arus dan tegangan pada beban kapasitif

Beban-belan yang terdapat di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina banyak menggunakan beban induktif seperti motor-motor listrik yang dipergunakan dalam banyak hal di Pabrik tersebut. Adapun beban-belan listrik yang terdapat di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina adalah :

Tabel 2.2 Data Beban Listrik di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina

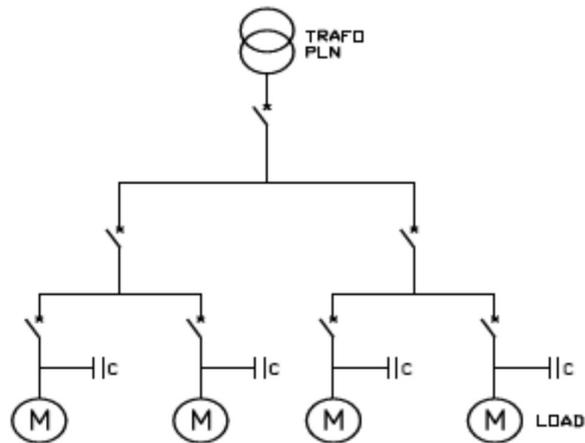
| NO. | Beban | Arus Nominal | Arus Start | Tegangan | Phasa | Kapasitas Daya |
|------------|---|--------------|------------|----------|-------|----------------|
| 1. | <i>Loading Ramp & Sterilizer Station</i> | 56,6 A | 160 A | 380V | 3P | 30 kW |
| 2. | <i>Thresing Pressing Station</i> | 471,6 A | 800 A | 380V | 3P | 250 kW |
| 3. | <i>Nut & Kernel Recovery Station</i> | 249,1 A | 500 A | 380V | 3P | 132 kW |
| 4. | <i>Clarification Station</i> | 141,5 A | 250 A | 380V | 3P | 75 kW |
| 5. | <i>Boiler Station – 1</i> | 141,5 A | 250 A | 380V | 3P | 75 kW |
| 6. | <i>Boiler Station – 2</i> | 141,5 A | 250 A | 380V | 3P | 75 kW |
| 7. | <i>Water Treatment Plant Station</i> | 41,5 A | 100 A | 380V | 3P | 22 kW |
| 8. | <i>Depericarper Station</i> | 103,7 A | 200 A | 380V | 3P | 55 kW |
| 9. | <i>Demin Plant Station</i> | 41,5 A | 100 A | 380V | 3P | 22 kW |
| 10. | Distribusi Perumahan, Kantor, Bengkel dan Mushola | | 75 A | 380V | 3P | 39 kW |
| 11. | <i>Spare</i> | | 25 A | 380V | 3P | |
| TOTAL DAYA | | | | | | 775 kW |

2.6 Pemasangan Kapasitor Bank

Adapun cara pemasangan instalasi kapasitor untuk kapasitas tegangan rendah dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu :

2.6.1 Individual Compensation

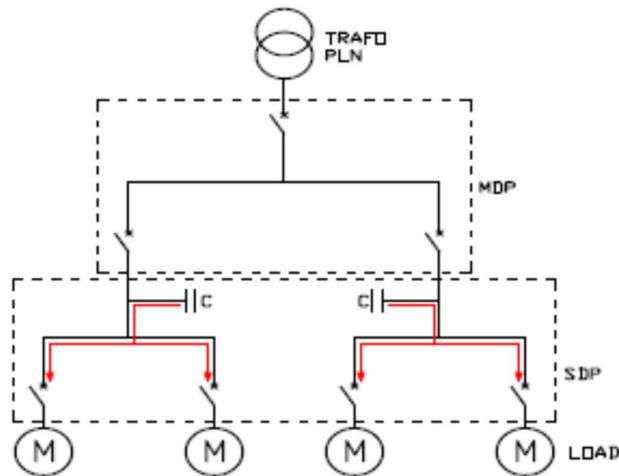
Dengan metode ini kapasitor langsung dipasang pada masing-masing beban khususnya yang mempunyai daya yang besar. Metode ini sebenarnya sangat efektif dan lebih baik dari segi teknisnya. Namun ada kekurangannya harus menyediakan ruang atau tempat khusus untuk meletakkan kapasitor tersebut, sehingga mengurangi nilai estetika. Disamping itu, jika mesin yang dipasang sampai ratusan buah berarti total biaya yang diperlukan jauh lebih besar.



Gambar 2.13 *Low Voltage Individual Compensation*

2.6.2 Sectoral Compensation

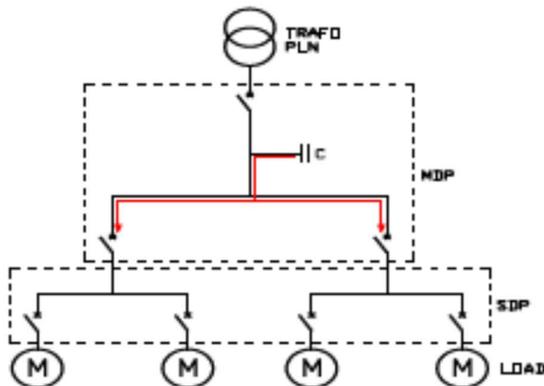
Dengan metode ini kapasitor yang terdiri dari beberapa panel kapasitor dipasang panel SDP (*Sub Distribution Panel*). Metode ini dibutuhkan jika jarak dari MDP (*Main Distribution Panel*) ke SDP (*Sub Distribution Panel*) cukup jauh sehingga membuat rugi-rugi pada jaringan cukup besar. Kondisi seperti ini, SDP (*Sub Distribution Panel*) membutuhkan perbaikan daya kapasitif tambahan untuk memenuhi daya reaktif yang dibutuhkan.



Gambar 2.14 *Low Voltage Sectoral Compensation*

2.6.3 Global Compensation

Dengan metode ini kapasitor dipasang di induk panel seperti MDP (*Main Distribution Panel*). Arus reaktif yang mengalir dari pemasangan model ini hanya di penghantar antara MDP dengan Transformator. Sedangkan arus yang lewat setelah MDP tidak turun demikian rugi akibat disipasi panas pada penghantar setelah MDP tidak berpengaruh. Selain itu, metode ini diklaim metode paling hemat untuk penempatan/pemasangan kapasitor *bank*. Karena pemasangannya secara global dengan memikul seluruh beban di MDP, dan tidak memerlukan lagi pemasangan kapasitor *bank* di sub-sub SDP (*Sub Distribution Panel*). Sehingga nilai investasi cukup murah disbanding dengan pemasangan kapasitor *bank* di SDP [8].



Gambar 2.15 Low Voltage Global Compensation

2.7 Komponen-Komponen Panel Kapasitor Bank

Adapun komponen-komponen pada panel kapasitor *bank* sebagai berikut :

2.7.1 Pengaman

Pengaman adalah sistem proteksi pada panel kapasitor *bank*, pengaman juga sering disebut pemutus. Selain itu, pengaman/pemutus adalah komponen

terpenting pada panel tersebut. Fungsinya mengamankan hantaran listrik dari pembangkit sampai beban terhadap beban lebih, hubung singkat antar fasa atau fasa dengan netral. Adapun pengaman/pemutus terbagi atas dua, yaitu :

a) LBS (*Load Break Switch*)

Load Break Switch adalah komponen penghubung/pemutus, fungsinya sama seperti saklar. LBS juga sering disebut dengan Ohm Saklar atau SIRCO, sistemnya hanya penghubung/pemutus saja. Tidak dapat memproteksi apabila terjadi beban lebih dan hubung singkat. Komponen ini sering dijadikan sebagai induk *breaker* pada panel kapasitor *bank* karena nilai investasi komponen ini cukup ekonomis disbanding dengan CB (*Circuit Breaker*). Selain itu, komponen pendukung untuk pegaman pada panel ini sudah dilengkapi CB (*Circuit Breaker*) pada sub distribusi menuju kapasitor.



Gambar 2.16 LBS (*Load Break Switch*)

b) CB (*Circuit Breaker*)

Circuit Breaker adalah komponen penghubung/pemutus, fungsinya sama seperti saklar pada umumnya. Akan tetapi, CB mempunyai kelebihan seperti proteksi terhadap beban lebih dan hubung singkat. Jenis-jenis CB dapat di klasifikasikan menurut *rating* arus dan tegangan yang digunakan. Pada tegangan

rendah, CB yang sering digunakan seperti MCB (*Miniature Circuit Breaker*), MCCB (*Molded Case Circuit Breaker*) dan ACB (*Air Circuit Breaker*). Pemilihan CB tergantung pemakaian *rating* arus yang digunakan.



Gambar 2.17 MCCB (*Molded Case Circuit Breaker*)

2.7.2 *Contactor Khusus Kapasitor*

Contactor yang mempunyai kemampuan khusus untuk sistem *switching* sampai dengan 5000 *switching*/tahun, kemampuan maksimal temperature 55°C dan nilai total harmonisa (THD) <5%. Fungsinya sama seperti kontaktor biasa, yaitu sebagai penghubung/pemutus dengan prinsip kerja gaya elektromagnetik yang dihasilkan oleh kumparan magnet. Kontaktor ini mempunyai dua macam kontak, yaitu *Normally Open* (NO) dan *Normally Close* (NC).



Gambar 2.18 *Contactor* LC1-DWK12 Kontaktor Khusus Kapasitor

2.7.3 Kapasitor *Bank*

Kapasitor *Bank* berfungsi untuk mensuplai daya reaktif, mengurangi terjadinya *drop* tegangan dan mencegah kenaikan suhu pada kabel yang menyebabkan rugi-rugi daya dengan mengubah energi menjadi panas. Selain itu, kapasitor juga mencegah denda PLN sebab adanya pemakaian daya reaktif. Kapasitor bank sering digunakan pada Industri, karena pemakaian beban-beban jenis motot-motor listrik sebagai beban induktif banyak membutuhkan daya reaktif untuk operasionalnya.



Gambar 2.19 Kapasitor BLRCH 50kVAR *VarPlus Can*

2.7.4 *Power Factor Regulator*

Power Factor Regulator adalah modul pengatur kompensasi otomatis dengan mengoreksi daya pada Panel Kapasitor *Bank*. Regulator mempunyai 3 pilihan step, yaitu 6 step, 8 step dan 12 step. Regulator dapat mengatur daya reaktif sesuai kebutuhan yang di inginkan dengan mengatur program *switching* pada regulator. Ada beberapa kombinasi *switching* atau *Sequence* pada Regulator ini adalah sebagai berikut :

- a) 1.1.1.1.1.1...
- b) 1.1.2.2.2.2...
- c) 1.2.2.2.2.2...
- d) 1.1.2.3.3.3...
- e) 1.2.3.3.3.3...
- f) 1.1.2.4.4.4...
- g) 1.2.3.4.4.4...
- h) 1.2.4.4.4.4...
- i) 1.2.3.6.6.6...
- j) 1.2.4.8.8.8...

Untuk tampilan Regulator sebagai berikut :



Gambar 2.20 *Power Factor Regulator VAR-RT 12 Schneider* [9].

2.7.5 *Current Transformer (CT)*

Current Transformer (CT) adalah trafo yang menghasilkan arus di sekunder dimana besarnya arus sesuai dengan rasio dan arus primernya. CT umumnya terdiri dari sebuah inti besi yang dililiti oleh konduktor kawat tembaga. *Output* dari sekunder biasanya memiliki nilai 1 ampere atau 5 ampere, ini ditunjukkan dengan rasio yang dimiliki oleh CT. Fungsi CT pada panel kapasitor *bank* adalah sebagai input kepada regulator untuk mendeteksi berapa besar arus yang mengalir dan membaca jenis beban yang mengalir pada *busbar*. Pembacaan jenis arus ini akan diproses oleh regulator yang akan menghasilkan sistem *switching* untuk kapasitor *bank*. Berikut ini adalah tampilan CT :



Gambar 2.21 *Current Transformer (CT) CIC*

2.8 **Metode Kelayakan Investasi**

Sebelum melakukan investasi, perlu dilakukan studi kelayakan untuk memperkirakan apakah investasi yang dilakukan layak atau tidak. Salah satunya ditinjau dari sisi keuangan dengan menggunakan beberapa metode penilaian yang saling melengkapi. Pada umumnya ada empat (4) metode yang biasa dipertimbangkan untuk dipakai dalam penilaian kelayakan suatu investasi [10]. Berikut ini metode-metode kelayakan suatu investasi :

2.8.1 Metode *Payback Period*

Payback Period (PP) adalah suatu periode yang diperlukan untuk menutup kembali pengeluaran investasi (*initial cash investment*) yang menggunakan aliran kas. Dengan kata lain, PP merupakan suatu rasio antara *initial cas investment* dan *cash inflow* yang hasilnya merupakan suatu waktu. Selanjutnya nilai rasio disbanding dengan maksimum *payback period* yang dapat diterima. Atau dengan kata lain, jangka waktu pengembalian investasi didefenisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk mencapai jumlah pemasukan (*cash inflow*) sama dengan nilai investasinya. Biasanya dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$PP = \frac{\text{Investasi}}{\text{Kas Masuk Bersih}} \times 1 \text{ Tahun} \dots\dots\dots(2.10)$$

2.8.2 Metode *Net Present Value* (NPV)

Net Present Value (NPV) adalah selisih antara *present value* dari investasi dengan nilai sekarang dari penerimaan-penerimaan kas bersih di masa yang akan datang. Untuk menghitung nilai sekarang perlu ditentukan tingkat suku bunga yang relevan. Berikut adalah rumus untuk menghitung NPV :

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$DF = \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+r)^t} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

NVP = *Net Present Value*

DF = *Discount Factor*

I₀ = Nilai investasi awal

t = bulan ke (jangka waktu)

n = jumlah beban

r = tingkat suku bunga

CF_t = kas masuk perbulan periode (t)

Pengembalian modal dalam jangka waktu tertentu yang diharapkan, apabila memberikan $NPV > 0$. Maka investasi dikategorikan layak dan $NPV < 0$, investasi dikategorikan tidak layak.

2.8.3 Metode *Internal Rate of Return* (IRR)

Metode ini digunakan untuk mencari tingkat bunga yang menyamakan nilai sekarang dari aliran kas yang diharapkan di masa akan datang atau penerimaan kas dengan mengerluarkan investasi awal.

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

I_0 = Nilai investasi awal

t = bulan ke (jangka waktu)

n = jumlah beban

IRR = tingkat suku bunga yang dicari

CF_t = kas masuk perbulan periode (t)

Nilai IRR dapat dicari dengan cara coba-coba. Caranya hitung nilai sekarang dari aliran kas suatu investasi dengan menggunakan suku bunga yang wajar. Kemudian dibandingkan dengan biaya investasi. Jika nilai investasi lebih kecil, maka dicoba lagi dengan suku bunga yang lebih tinggi. Demikian

seterusnya sampai biaya investasi menjadi sama besar. Sehingga IRR dapat dikatakan adalah tingkat suku bunga yang menghasilkan $NPV = 0$.

Apabila tingkat suku bunga yang berlaku lebih kecil dari IRR, maka $NPV > 0$. Atau dengan kata lain, apabila IRR lebih besar dari tingkat suku bunga yang berlaku, maka investasi dianggap layak. Sebaliknya apabila IRR lebih kecil dari tingkat suku bunga, maka investasi dianggap tidak layak.

Rumus lain dari IRR dengan cara interpolasi adalah :

$$IRR = P_1 - C_1 \times \frac{P_2 - P_1}{C_2 - C_1} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

P_1 = tingkat suku bunga ke 1

P_2 = tingkat suku bunga ke 2

C_1 = NPV ke 1

C_2 = NPV ke 2

2.8.4 Metode *Profitability Index* (PI)

Metode ini menghitung perbandingan antara nilai sekarang dari penerimaan-penerimaan kas bersih di masa yang akan datang dengan nilai sekarang dari investasi.

$$PI = \frac{-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{I_0} = \frac{NPV}{I_0} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

I_0 = Nilai investasi awal

t = bulan ke (jangka waktu)

n = jumlah beban

r = tingkat suku bunga

C_{Ft} = kas masuk perbulan periode (t)

Kriteria Penilaian :

Jika $PI > 1$, usulan proyek dikatakan menguntungkan.

Jika $PI < 1$, usulan proyek tidak menguntungkan.

Kriteria ini erat hubungannya dengan kriteria NPV, dimana jika NPV suatu proyek dikatakan layak ($NPV > 0$), maka menurut kriteria PI juga layak ($PI > 1$) karena keduanya menggunakan variable yang sama [11].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina pada tanggal 16 Juli 2018 sampai dengan 21 Juli 2018 dari jam 08.00 s/d 17.00 WIB.

Alamat : Jalan Medan-Tebing Tinggi, Batang Terap, Perbaungan, Kabupaten Serdang Bedagai, Sumatera Utara. Kode Pos : 20986.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- a) Satu unit Laptop *Acer ASPIRE E1-471* dengan spesifikasi *Intel Core i3-23328M, processor 2,2 GHz 3MB L3 cache* dan sistem operasional *Windows 8 Pro* 64 bit RAM 2GB. Laptop ini digunakan untuk mengerjakan laporan Tugas Akhir. Selain itu, laptop ini juga digunakan untuk berbagai keperluan computer seperti mengetik, mengelola data, *online* internet dan menyimpan data seperti file, gambar, video dan lain-lainnya.
- b) Satu unit Flasdisk *Toshiba* memori 8GB, digunakan untuk menyimpan dan memindahkan file/data pada pengerjaan laporan Tugas Akhir.
- c) Data pembangkit, data beban dan saluran distribusi jaringan listrik di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina
- d) *Microsoft Office (Ms.Excel 2013 & Ms.Word 2013)* sebagai pengelolah dan perhitungan data serta pembuatan laporan Tugas Akhir.

3.3 Metode Penelitian

Adapun langkah yang dilakukan untuk mengumpulkan informasi dan investigasi pada metode penilitan Tugas Akhir ini adalah :

3.3.1 Studi Literatur

Mencari referensi teori yang relefan dengan kasus atau permasalahan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini.

3.3.2 Studi Bimbingan

Studi bimbingan berupa tanya jawab (interaksi) dengan dosen pembimbing mengenai hal-hal yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini agar dapat mengembangkan potensi diri ataupun menyelesaikan masalah pada penelitian ini.

3.3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data (riset) yang ingin di analisis langsung diambil dari lokasi peneltian yaitu PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina. Adapun data-data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah :

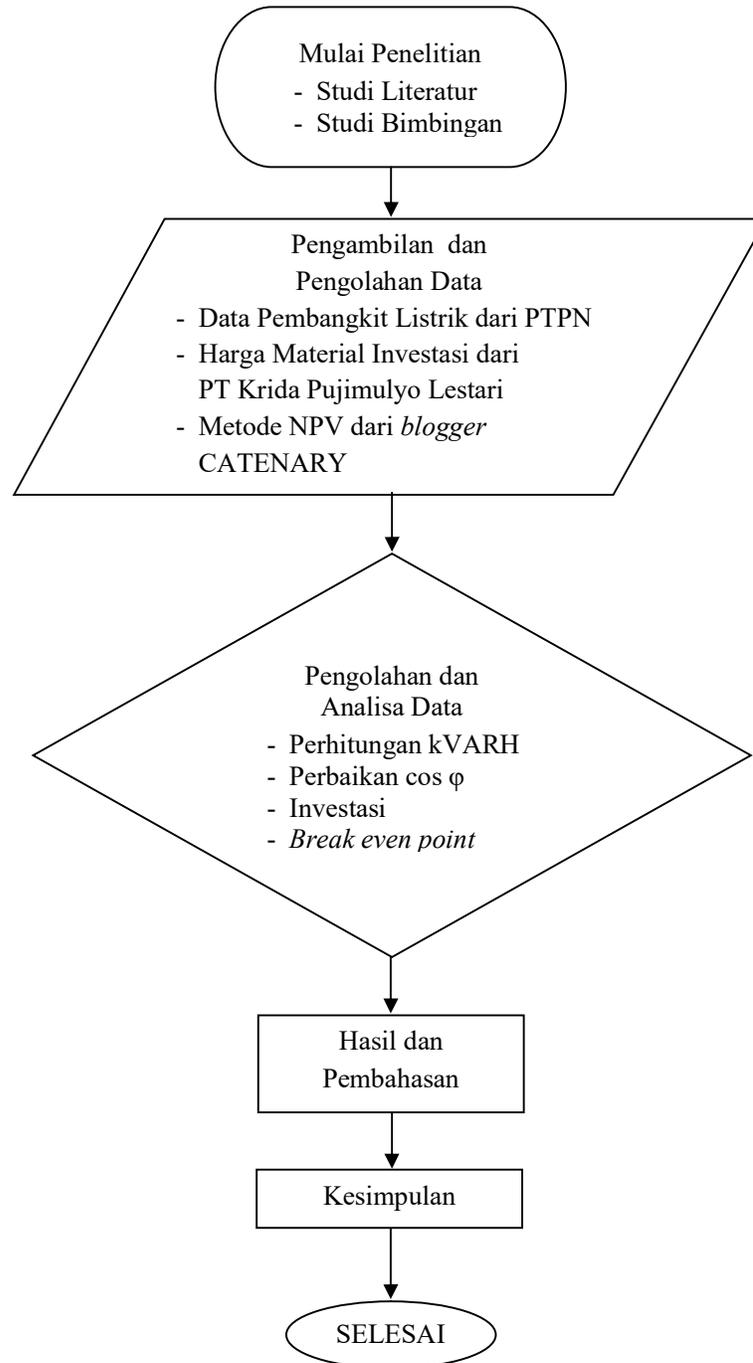
- a) Data sistem pembangkit listrik di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina.
- b) Data beban-beban listrik yang terdapat di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina.

3.3.4 Pembuatan Laporan

Pembuatan laporan ini berfungsi untuk menuliskan hasil yang telah didapat dan sebagai sarana pertanggung jawaban terhadap penelitian yang telah dilakukan. Laporan ini digunakan untuk seminar hasil dan siding meja hijau.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penilitan yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

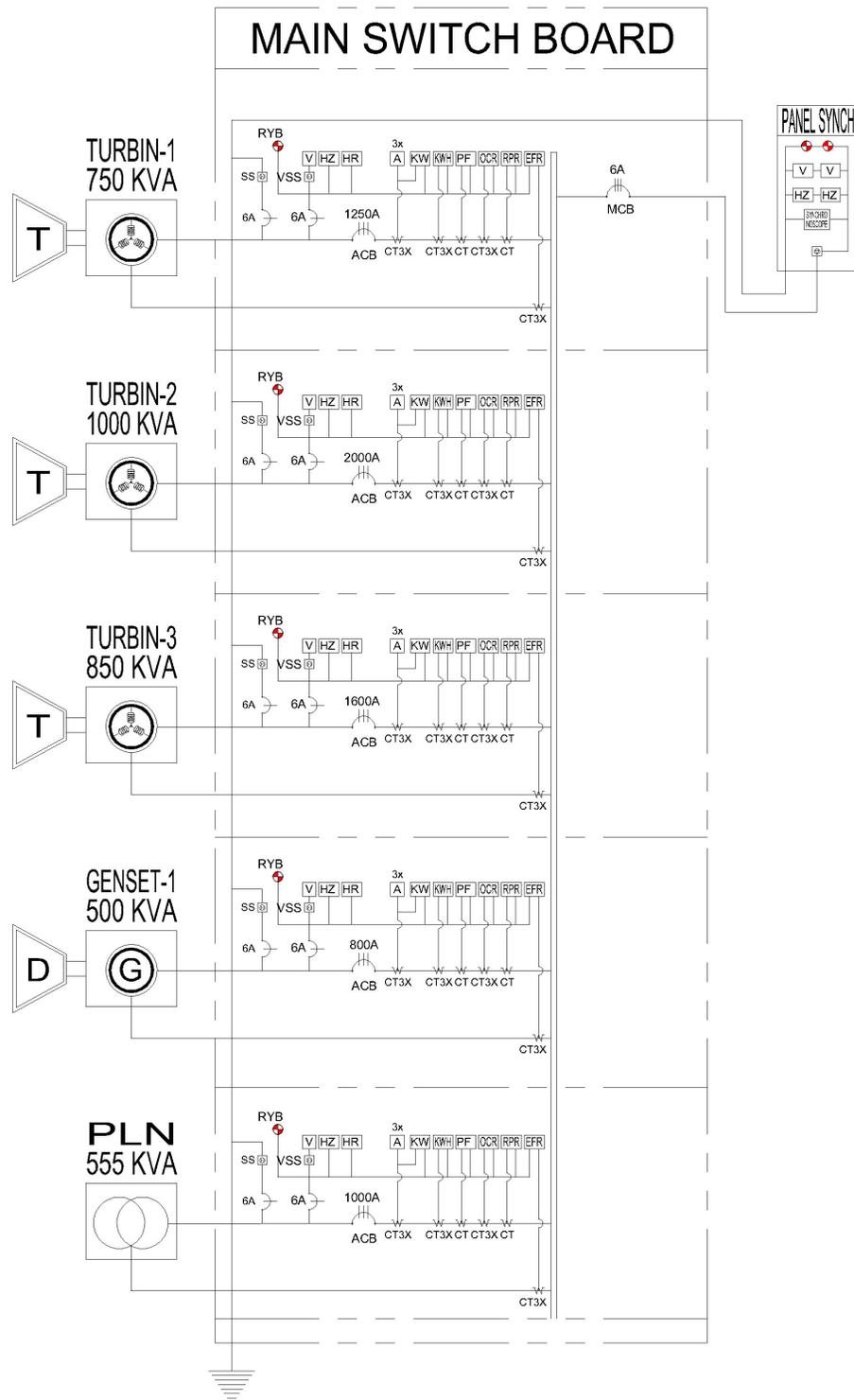


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

3.5 Pembangkit Listrik PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina

PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina menggunakan pembangkit listrik sendiri pada operasionalnya. Tujuannya adalah memanfaatkan uap panas dari boiler untuk merebus sawit. Jadi sebelum melalui proses perebusan tersebut, uap panas ini terdahulu dimanfaatkan untuk menggerakkan Turbin uap yang dipasang seporos dengan generator. Selain itu, PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina juga menggunakan pembangkit lain seperti Generator sebagai Pembangkit Listrik awal produksi dan PLN sebagai Pembangkit cadangan apabila sedang dilakukan perawatan di Turbin uap tersebut.

Adapun *Single Line* diagram Pembangkit Listrik di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina adalah sebagai berikut :



Gambar 3.2 *Single Line* Diagram Pembangkit Listrik PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina

3.6 Beban di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina

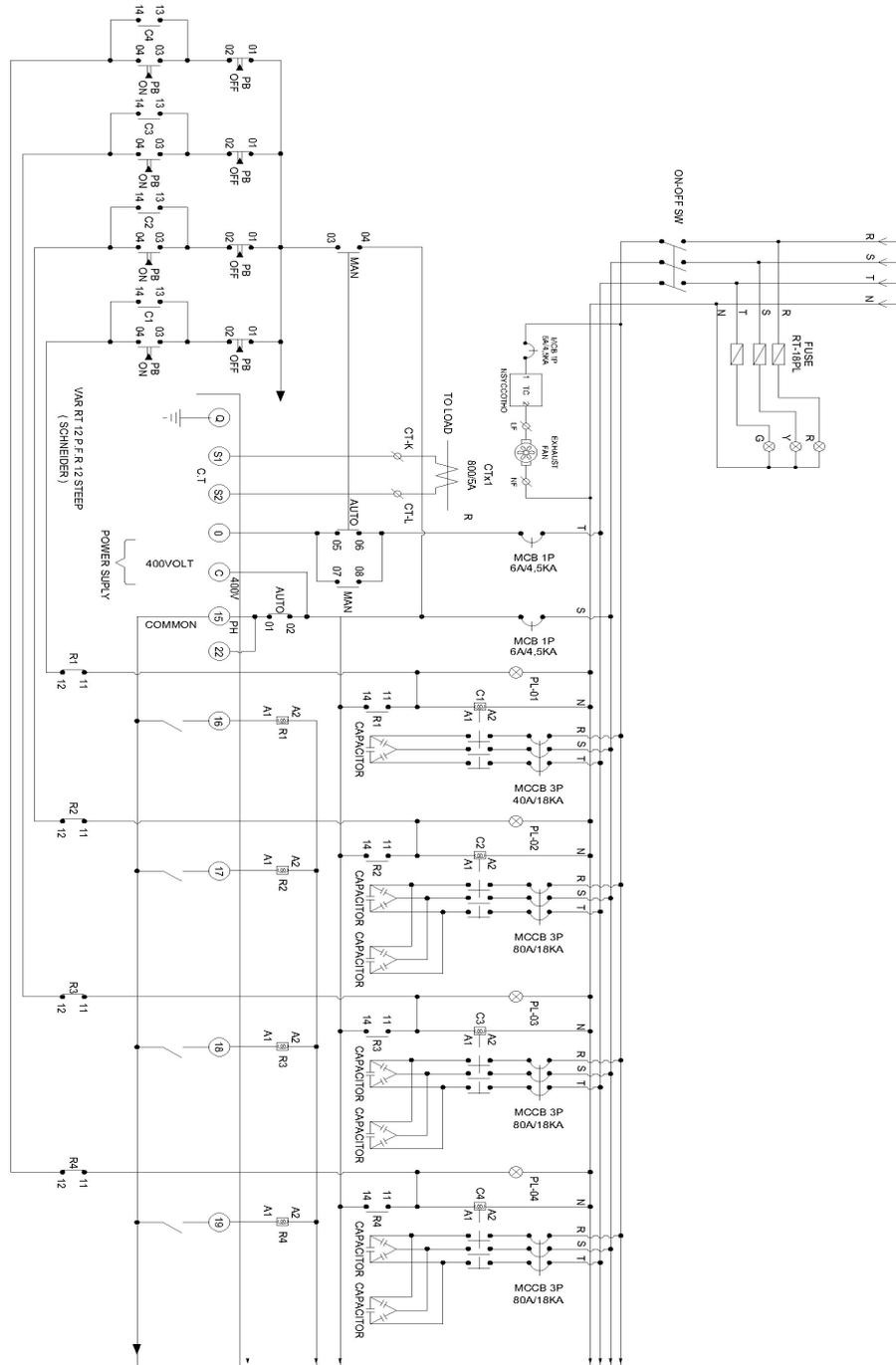
| MAIN DISTRIBUTION BOARD | DESCRIPTION | RATED POWER |
|---|--|----------------------|
|  | CAPASITOR BANK 12 STEP | CAPACITY 412 KVAR |
|  | MCC-1 LOADING RAMP & STERILIZER ST. | 40HP (30KW) |
|  | MCC-2 THRESING & PRESSING ST. | 340HP (250KW) |
|  | MCC-3 NUT & KERNEL RECOVERY ST. | 180HP (132KW) |
|  | MCC-4 CLARIFICATION ST. | 100HP (75KW) |
|  | MCC-5 BOILER ST. - 1 | 100HP (75KW) |
|  | MCC-6 BOILER ST. - 2 | 100HP (75KW) |
|  | MCC-7 WATER TREATMENT PLANT ST. | 30HP (22KW) |
|  | MCC-8 DEPERICARPER ST. | 75HP (55KW) |
|  | MCC-9 DEMIN PLANT ST. | 30HP (22KW) |
|  | DB. TO PERUMAHAN, KANTOR, BENGKEL MUSHOLA DLL | |
|  | CADANGAN | |

Gambar 3.3 *Single Line* Diagram Beban Listrik di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina

Beban-beban listrik di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina dominan beban induktif. Kebanyakan beban induktif tersebut berupa motor-motor listrik yang berfungsi untuk memompa, menarik ataupun *fan* dan sebagainya. Kapasitasnya bervariasi, mulai dari yang kecil hingga besar seperti di Bab II (2.5).

Selain beban induktif, ada juga beban resistif seperti lampu-lampu penerangan di kantor, lampu penerangan jalan, bengkel dan lain-lainnya.

3.7 Wiring Diagram Kapasitor Bank



Gambar 3.4 *Wiring Diagram Kapasitor Bank*

Wiring diagram kapasitor *bank* diatas adalah konsep dasar ketika ingin merancang pemasangan kapasitor *bank*. *Wiring* ini memudahkan kita untuk mempelajari bagaimana cara kerja kapasitor *bank*. Selain itu, *wiring* juga membantu *user* (pengguna) apabila terjadi kerusakan atau *maintenance* di panel tersebut.

3.8 Metode Menghitung Daya Reaktif

PLN membebankan biaya kelebihan pemakaian kVARH pada pelanggan, jika rata-rata faktor dayanya ($\cos \phi$) kurang dari 0,75. Untuk memperbaiki faktor daya sehingga tidak membayar denda adalah dengan memasang kapasitor *bank*. Sebelum memasang kapasitor *bank*, perlu dilakukan perencanaan pemasangan kapasitor *bank*, baik itu posisi pemasangan kapasitor *bank* maupun kapasitas kapasitor *bank*. Ada beberapa metode (langkah) untuk menghitung kapasitas kapasitor *bank* sebagai berikut :

3.8.1 Metode Sederhana

Metode ini digunakan agar dengan cepat bisa menentukan besar daya reaktif yang dibutuhkan. Angka (faktor kali) yang harus diingat adalah **0,84 untuk setiap beban (kW)**. Yaitu diambil dari :

Perkiraan rata-rata faktor daya suatu instalasi : 0,65

Faktor daya yang diinginkan : 0,95

Maka dari table $\cos \phi$ didapat angka : **0,84**

Contoh :

Untuk menghindari denda PLN suatu instalasi dengan beban 100 kW memerlukan daya reaktif sebesar ?

Jawab :

= Faktor kali x beban

= 0,84 x 100 kW

= 84 kVAR

3.8.2 Metode Kwitansi PLN

Metode ini memerlukan data dari kwitansi PLN selama satu periode (misalnya 1 tahun). Kemudian data perhitungan diambil dari pembayaran denda kVARH yang tertinggi. Data lain yang diperlukan adalah jumlah waktu pemakaian.

Contoh :

Suatu pabrik yang beroperasi 8 jam/hari, membayar denda pemakaian kVARH tertinggi pada tahun yang lalu sebesar 63504 kVARH. Maka diperlukan kapasitor *bank* dengan daya :

$$Q = \frac{\text{kVARH tertinggi}}{\text{waktu pemakaian}}$$

$$Q = \frac{63504 \text{ kVARH}}{8 \text{ jam} \times 30 \text{ hari/bulan}}$$

$$Q = 265 \text{ kVARH}$$

3.8.3 Metode Cos ϕ

Metode ini menggunakan table cos ϕ (dilihat pada table berikut). Data yang diperlukan adalah Total Beban Daya dan Faktor Daya (cos ϕ)

Contoh :

Sebuah instalasi pabrik memiliki faktor daya : 0,70 untuk beban puncak 600 kW.

Untuk meningkatkan faktor daya menjadi 0,94 diperlukan daya kapasitor sebesar :

Dari tabel $\cos \varphi$ (terlampir) didapat angka = 0,62

Maka daya reaktif yang diperlukan = **0,62 x 600 kW = 372 kVAR**

Adapun tabel $\cos \varphi$ terlampir [9].

BAB IV

ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

4.1 Analisa Faktor Daya ($\cos \phi$) di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina Sebelum menggunakan kapasitor *bank*

Seperti yang kita ketahui, tujuan pemakaian kapasitor *bank* pada industri adalah menghindari denda tagihan PLN karena pemakaian daya reaktif lebih dari 62% dari total kWh. PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina menggunakan beberapa pembangkit listrik pada sistem operasionalnya yaitu PLTU, PLTD dan PLN. Hal ini dikarenakan untuk mengantisipasi apabila terjadi gangguan di sistem pembangkit agar tidak mengganggu produksi.

Analisa faktor daya ($\cos \phi$) dilakukan di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina pada pembangkit PLN dengan daya 555 kVA yang tergolong dalam tarif Industri (I-3). Penelitian ini menganalisa faktor daya ($\cos \phi$) dengan jam operasional Pabrik dari jam 08.00-17.00 WIB pada hari Senin-Sabtu atau 26 hari dalam sebulan sebagai acuan untuk merencanakan pemasangan kapasitor *bank*.

Untuk menganalisa faktor daya ($\cos \phi$) sebelum menggunakan kapasitor *bank*, terlebih dahulu melakukan perhitungan pemakaian daya reaktif dimana Sumber Pembangkit (PLN) = 555 kVA, $\cos \phi = 0,65$ *lagging* (sebelum menggunakan kapasitor *bank*) dan jam operasional pabrik = 8 jam/hari, 26 hari/bulan. Sehingga perhitungan besar denda biaya kelebihan pemakaian kVARH sebagai berikut :

Daya Aktif :

$$\begin{aligned} \text{kW} &= \text{Sumber Pembangkit (kVA)} \times \cos \phi \\ &= 555 \text{ kVA} \times 0,65 \text{ lagging} \\ &= 360,75 \text{ kW} \end{aligned}$$

Daya Reaktif :

$$\begin{aligned} \text{kVAR} &= \sqrt{S^2 - P^2} \\ &= \sqrt{(555 \text{ kVA})^2 - (360,75)^2} \\ &= \sqrt{(308.025 - 130.140,56)} \\ &= \sqrt{177.884,43} \\ &= 421,76 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Pemakaian daya aktif dalam sebulan :

$$\begin{aligned} \text{kWH} &= \text{Daya Aktif} \times \text{jam operasional/hari} \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 360,75 \text{ kW} \times 8 \text{ jam/hari} \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 75.036 \text{ kWH/bulan} \end{aligned}$$

Pemakaian daya reaktif sebelum memasang kapasitor *bank* dalam sebulan :

$$\begin{aligned} \text{kVARH} &= \text{Daya reaktif} \times 8 \text{ jam/hari} \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 421,76 \text{ kVAR} \times 8 \text{ jam/hari} \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 87.726,08 \text{ kVARH} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase pemakaian} &= \frac{\text{kVARH}}{\text{kWH}} \times 100\% \\ &= \frac{87.726,08 \text{ kVARH}}{75.036 \text{ kWH}} \times 100\% \\ &= 116,91\% \end{aligned}$$

Denda kelebihan pemakaian kVARH dibayar jika lebih dari 62% (Standar PLN) dari beban kWh. 62% dari beban

$$\begin{aligned} \text{kWH} &= 62\% \times 75.036 \text{ kWH} \\ &= 46.522,32 \text{ kWH} \end{aligned}$$

Harga kelebihan pemakaian kVARH (Rp/kVARH) untuk golongan Industri (I-3) /Tegangan Menengah (TM) adalah Rp 1.444,- (Diambil dari TDL 2017 PLN) atau US\$0,0967,- (Sumber :*Indonesia Stock Exchange (IDX), Update 1 Oktober 2018*)

Maka denda biaya kelebihan kVARH

$$\begin{aligned} &= \text{Total kVARH} - 62\% \text{ Total kWh} \times \text{Rp. 1.444,-} \\ &= (87.726,08 - 46.522,32) \text{ kVARH} \times \text{Rp. 1.444,-} \\ &= 41.173,76 \text{ kVARH} \times \text{Rp. 1.444,- atau US\$0,097,-} \\ &= \text{Rp. 59.454.909,44,- atau US\$ 3.962,33,-} \end{aligned}$$

4.2 Analisa Faktor Daya ($\cos \phi$) di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina Setelah menggunakan kapasitor *bank*

Untuk menganalisa faktor daya ($\cos \phi$) di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina setelah menggunakan kapasitor *bank*, terlebih dahulu melakukan perhitungan kebutuhan daya reaktif dimana Sumber Pembangkit (PLN) = 555 kVA, $\cos \phi = 0,65$ *lagging* (sebelum menggunakan kapasitor *bank*) dan jam operasional rata-rata pabrik = 8 jam/hari. Sehingga perhitungan besar daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya ($\cos \phi$) sebagai berikut :

Daya Aktif sebelum menggunakan kapasitor *bank* :

$$\begin{aligned} \text{kW} &= \text{Sumber Pembangkit (kVA)} \times \cos \phi \\ &= 555 \text{ kVA} \times 0,65 \text{ lagging} \\ &= 360,75 \text{ kW} \end{aligned}$$

Rencana Pemasangan Kapasitor *Bank* (menggunakan metode tabel $\cos \phi$)

$$\begin{aligned} \text{kVAR} &= \text{Faktor Kali } (\cos \phi \text{ awal menuju target } \cos \phi) \times \text{Daya Aktif} \\ &= \text{Faktor Kali } (0,65 - 0,99) \times 360,75 \text{ kW} \\ &= 1,03 \times 360,75 \text{ kW} \\ &= 371,57 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Maka koreksi faktor daya ($\cos \phi$) yang di pilih adalah **412,5 kVAR**(menyediakan *spare* untukantisipasi apabila ada ekspansi daya)

Pemakaian kVAR sebelum memasang kapasitor *bank*

$$\begin{aligned} \text{kVAR} &= \sqrt{S^2 - P^2} \\ &= \sqrt{(555 \text{ kVA})^2 - 360,75^2} \\ &= \sqrt{(308.025 - 130.140,56)} \\ &= \sqrt{177.884,43} \\ &= 421,76 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Pemakaian setelah menggunakan kapasitor *bank*

$$\begin{aligned} \text{kVAR Total} &= \text{Daya Reaktif Sebelum kapasitor} - \text{Daya Reaktif Sesudah kapasitor} \\ &= 421,76 \text{ kVAR} - 412,5 \text{ kVAR} \\ &= 9,26 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Daya Aktif setelah menggunakan kapasitor *bank* :

$$\begin{aligned} \text{kW} &= \text{Sumber Pembangkit (kVA)} \times \cos \phi \\ &= 555 \text{ kVA} \times 0,99 \text{ lagging} \\ &= 549,45 \text{ kW} \end{aligned}$$

Pemakaian daya aktif dalam sebulan :

$$\begin{aligned} \text{kWH} &= \text{Daya Aktif} \times \text{jam operasional/hari} \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 549,45 \text{ kW} \times 8 \text{ jam/hari} \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 114.285,6 \text{ kWH/bulan} \end{aligned}$$

Pemakaian daya reaktif setelah menggunakan kapasitor *bank* dalam sebulan :

$$\begin{aligned} \text{kVARH} &= \text{Daya reaktif} \times 8 \text{ jam/hari} \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 9,26 \text{ kVAR} \times 8 \text{ jam/hari} \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 1.926,08 \text{ kVARH} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase pemakaian} &= \frac{\text{kVARH}}{\text{kWH}} \times 100\% \\ &= \frac{1.926,08 \text{ kVARH}}{75.036 \text{ kWH}} \times 100\% \\ &= 2,56 \% \end{aligned}$$

Denda kelebihan pemakaian kVARH dibayar jika lebih dari **62%** dari beban kWH. Hasil dari faktor daya setelah menggunakan kapasitor *bank* hanyalah 2,56 % atau tidak melebihi dari 62% dari beban kWH, maka dibebaskan dari biaya denda kelebihan pemakaian kVARH.

Harga kelebihan pemakaian kVARH (Rp/kVARH) untuk golongan Industri (I-3) /Tegangan Menengah (TM) adalah Rp 1.444,- atau US\$ 0,0967,- (Sumber : *Indonesia Stock Exchange (IDX), Update 1 Oktober 2018*). Maka denda biaya kelebihan kVARH

$$\begin{aligned} &= 0 \times \text{Rp. 1.444 atau US\$ 0,0967,-} \\ &= \mathbf{\text{Rp. 0,- atau US\$ 0,-}} \end{aligned}$$

Dari analisa diatas, penggunaan kapasitor *bank* sangatlah efisien dari segi biaya, yakni terhindarnya biaya denda kelebihan pemakaian kVARH dari PLN.

Selain itu, penggunaan kapasitor dapat menghindari *overload* trafo, *drop voltage* dan menghindari kenaikan suhu pada kabel sehingga mengurangi rugi-rugi.

4.3 Analisa Investasi Penggunaan Kapasitor *Bank*

Setelah menghitung berapa kebutuhan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya agar terhindar dari denda biaya kelebihan pemakaian kapasitor *bank*. Maka selanjutnya adalah menganalisa berapa besar investasi yang dibutuhkan untuk memasang kapasitor *bank*. Setelah mengetahui berapa kebutuhan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya ($\cos \phi$) dari 0,65 menuju 0,99 dengan kapasitas daya reaktif 375 kVAR. Maka selanjutnya menganalisa investasi pemasangan kapasitor *bank*.

$$\text{Kebutuhan daya reaktif} = 412,5 \text{ kVAR}$$

$$\begin{aligned} \text{Perencanaan kapasitas kapasitor } \textit{bank} &= 12,5 \text{ kVAR} + (12,5+12,5) \text{ kVAR} + \\ &10(12,5+12,5+12,5) \text{ kVAR} \\ &= \mathbf{412,5 \text{ kVAR}} \end{aligned}$$

Untuk mengantisipasi perubahan beban dan sehubungan dengan penggunaan kapasitor bank agar tidak terjadi kompensasi yang berlebihan pada saat beban ringan, maka kapasitor *bank* ini dilengkapi dengan Regulator *VarLogic RT-12 "schneider"* 12 step/tahap dengan metode konfigurasi (*sequence*) :
1.2.3.3.3.3.

Adapun perincian harga untuk pemasangan panel kapasitor *bank* (terlampir). Untuk rincian total harga pemasangan kapasitor *bank* terdapat pada Tabel 4.1 sebagai berikut ini :

Tabel 4.1 Rincian Total Harga Pemasangan Kapasitor *Bank*

| No | Perincian | Harga (Rupiah) | Harga (\$) |
|------------------------|---|-------------------------|-------------------------|
| 1 | Panel Kapasitor <i>bank</i> | Rp 175.000.000,- | US\$ 11.662,77,- |
| 2 | Jasa pengiriman panel | Rp 2.000.000,- | US\$ 133,288,- |
| 3 | Jasa sewa <i>forklift/crane</i> | Rp 3.000.000,- | US\$ 199,93,- |
| 4 | Harga kabel <i>feeder</i> dan jasa pemasangan | Rp 40.000.000,- | US\$ 2.665,77,- |
| 5 | <i>Test dan Comissioning</i> | Rp 10.000.000,- | US\$ 666,44,- |
| TOTAL | | Rp 230.000.000,- | US\$ 15.328,22,- |
| PPN (<i>TAX</i>) 10% | | Rp 23.000.000,- | US\$ 1.532,82,- |
| GRAND TOTAL | | Rp 253.000.000,- | US\$ 16.861,04,- |

Harga US\$ 1,- sama dengan Rp 15.005,-(Sumber : *Indonesia Stock Exchange (IDX)* (Update 1 Oktober 2018)

Dari perincian harga untuk pemasangan panel kapasitor *bank* diatas, maka total investasi yang dibutuhkan adalah **Rp 253.000.000,-** atau **US\$ 16.861,04,-**.

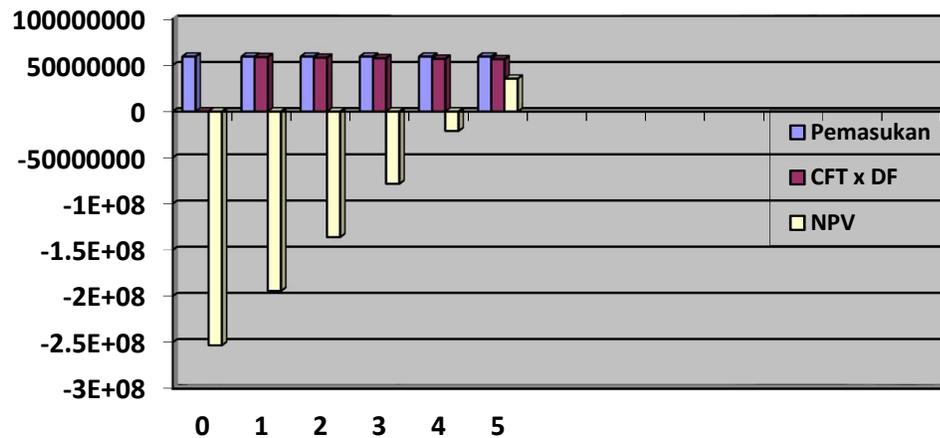
4.4 Analisa *Break Even Point* Menggunakan Kapasitor *Bank*

- Estimasi harga panel kapasitor *bank* (total investasi) adalah Rp 253.000.000,-
.Sehingga investasi yang diperlukan **$I_0 = \text{Rp } 253.000.000,-$** .
- Suku bunga perbulan dianggap 1% atau **$r = 1\%$**
- Denda biaya kelebihan pemakaian kVARH adalah Rp. 59.454.909,44,-yang dibayar tiap bulan.
- Setelah pemasangan panel kapasitor *bank*, denda tersebut dianggap sebagai kas masuk perbulan atau **$C_{Ft} = \text{Rp. } 59.454.909,44,-$** .

Analisa *break even point* terdapat pada Tabel 4.2 berikut ini :

Tabel 4.2 Data hasil *Net Present Value* (NPV)

| Investasi Awal | Bulan ke | Pemasukan Kas | Periode | Bunga perbulan | Discount Factor | CFt x DF | NPV |
|----------------|----------|---------------|---------|----------------|-----------------|------------|---------------|
| Io | N | CFt | t | r | DF | | Io-(CFt x DF) |
| 253.000.000 | 0 | 59.454.909,44 | 0 | 1% | 1 | - | 253.000.000 |
| 253.000.000 | 1 | 59.454.909,44 | 1 | 1% | 0,9901 | 58.866.247 | 194.133.753 |
| 253.000.000 | 2 | 59.454.909,44 | 2 | 1% | 0,9803 | 58.283.413 | 135.850.340 |
| 253.000.000 | 3 | 59.454.909,44 | 3 | 1% | 0,9706 | 57.706.349 | 78.143.991 |
| 253.000.000 | 4 | 59.454.909,44 | 4 | 1% | 0,9610 | 57.134.999 | 21.008.991 |
| 253.000.000 | 5 | 59.454.909,44 | 5 | 1% | 0,9515 | 56.569.306 | (35.560.315) |

Grafik 4.1 Grafik *Net Present Value* (NPV)

Dari hasil perhitungan NPV seperti yang tertera pada Tabel 4.2, maka diperoleh hasil dengan pengembalian modal terjadi setelah bulan ke 5 (lima) sejak pemasangan panel kapasitor *bank*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- 1) Pemakaian daya listrik di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina dari PLN dengan daya tersambung 555 kVA yang tergolong dalam tarif Industri (I-3) pemakaian daya listrik perbulan (26 hari kerja) dimana sebelum menggunakan kapasitor *bank* dengan $\cos \phi$ saat diukur 0,65 *lagging*, maka dikenakan denda biaya kelebihan pemakaian kVARH (Standar PLN $\cos \phi < 0,75$) sebesar Rp 59.454.909,44,- atau US\$ 3.962,33,-.
- 2) Pemasangan kapasitor *bank* di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina dari $\cos \phi$ 0,65 *lagging* menuju $\cos \phi$ 0,99 *lagging* yaitu 412,5 kVAR
- 3) Biaya investasi yang dibutuhkan dalam pemasangan kapasitor *bank* yaitu sebesar Rp 253.000.000,- atau US\$ 16.861,04,-.
- 4) Lama waktu *break even point* pada biaya investasi pemasangan kapasitor *bank* yaitu 5 (lima) bulan setelah pemasangan kapasitor *bank*.

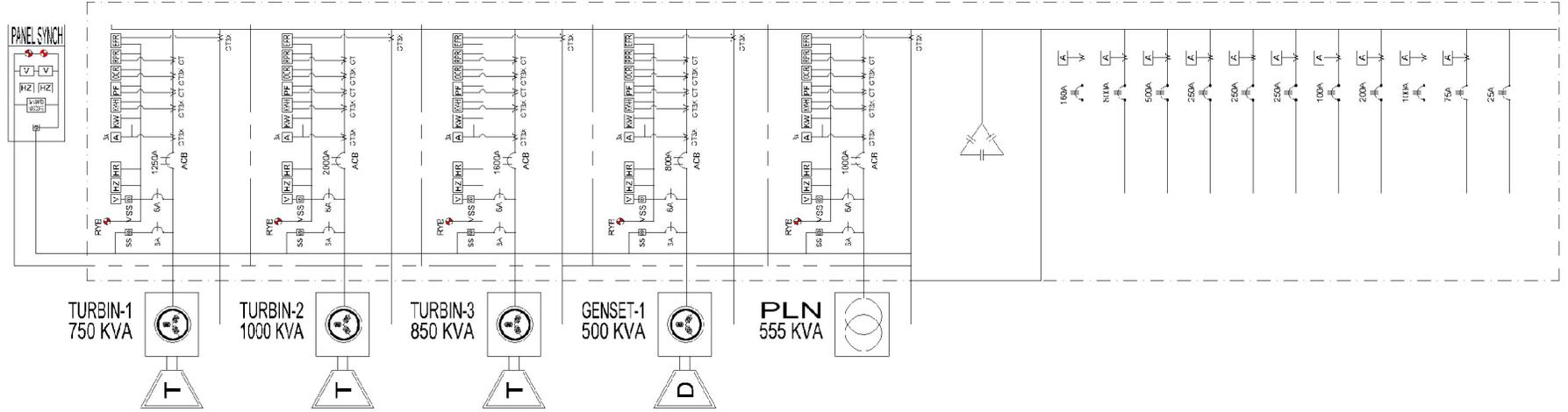
5.2 Saran

- 1) Penelitian dapat dilanjutkan pada golongan tarif I4 Tegangan Tinggi dengan kapasitas daya terpasang 30.000kVA ke atas.
- 2) Penelitian dapat dilanjutkan dengan metode *software* seperti matlab dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Yani, P. K. Bank, and A. Yani, “Pemasangan Kapasitor Bank untuk Perbaikan Faktor Daya,” *J. Electr. Technol.*, vol. Vol.2 No.3, pp. 31–35, 2017.
- [2] Lukman, A and Usnan, A. PT. Palm Oil Chemical Asri “Sistem Kelistrikan Pada Kapasitor Bank.” vol. 8, no. 2, pp. 23-34, 2015
- [3] S. N. Indonesia and B. S. Nasional, “Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) Amandemen 1,” vol. 2011, no. PUIL, 2011.
- [4] A. Abadi, F. Teknik, U. Andalas, J. T. Elektro, F. Teknik, and U. Andalas, “Analisa Perbaikan Profil Tegangan Sistem Tenaga,” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 158–164, 2015.
- [5] A. Ghifari, A. Warsito, S. Handoko, P. T. Chandra, A. Petrochemical, and S. T. G. Steam, “Kelistrikan Pt . Chandra Asri Petrochemical , Tbk.”
- [6] Ahmad, D. “Analisi Pengaruh Perubahan Besaran Kapasitor Terhadap Arus Start Motor Induksi Satu Fasa,” *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 31–41, 2016.
- [7] Fitzgerald, A.E, Higginbotham, D.E, dan Silaban, P. (1981) , “*Dasar-Dasar Elektronik*,” Edisi Kelima Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [8] W. N. Hardiranto, “Analisa Optimasi Perbaikan Faktor Daya Dan Drop Tegangan Dengan Menggunakan Kapasitor Bank Pada Line 5 Pt Bukit Asam (Persero) Tbk,” 2017.
- [9] *Schneider Electric* Indonesia, (2018). *Price List and Catalogue*, Jakarta
- [10] CATENARY, (2013). “Studi Kelayakan Investasi *Power* Kapasitor Pada Pelanggan Industri”.
Press. <http://sistemlistrikaliranatas.blogspot.com/2013/02/studi-kelayakan-investasi-power.html?m=1>
(diakses 10 September 2018)
- [11] DMCA, (2017). “Cara Menghitung NPV (*Net Present Value*)”
Press. <http://caraharian.com/rumus-npv.html#>
(diakses 2 September 2018)
- [12] Bursa Efek Indonesia, (2018). “Kurs Rupiah ke Dollar (Amerika)”.
Press. <http://www.idx.co.id/>
(diakses 1 Oktober 2018)

Lampiran (1) Single Line Kelistrikan PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina



Lampiran (2)

Tarif Tenaga Dasar Listrik PLN 2017



PT PLN (Persero)

Jalan Trunojoyo Blok M I/135 Kebayoran Baru – Jakarta 12160

Telepon : (021) 7261875, 7261122, 7262234

Facsimile : (021) 7221330

Website : www.pln.co.id

(021) 7251234, 7250550

**PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)**

BULAN FEBRUARI & MARET 2017

| NO. | GOL. TARIF | BATAS DAYA | REGULER | | PRA BAYAR (Rp/kWh) |
|-----|--------------|---------------------------|-------------------------------|--|-----------------------|
| | | | BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan) | BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh) | |
| 1. | R-1/TR | 1.300 VA | *) | 1.467,28 | 1.467,28 |
| 2. | R-1/TR | 2.200 VA | *) | 1.467,28 | 1.467,28 |
| 3. | R-2/TR | 3.500 VA s.d. 5.500 VA | *) | 1.467,28 | 1.467,28 |
| 4. | R-3/TR | 6.600 VA ke atas | *) | 1.467,28 | 1.467,28 |
| 5. | B-2/TR | 6.600 VA s.d. 200 kVA | *) | 1.467,28 | 1.467,28 |
| 6. | B-3/TM | di atas 200 kVA | **) | Blok WBP = $K \times 1.035,78$ Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****) | - |
| 7. | I-3/TM | di atas 200 kVA | **) | Blok WBP = $K \times 1.035,78$ Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****) | - |
| 8. | I-4/TT | 30.000 kVA ke atas | ***) | Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****) | - |
| 9. | P-1/TR | 6.600 VA s.d. 200 kVA | *) | 1.467,28 | 1.467,28 |
| 10. | P-2/TM | di atas 200 kVA | **) | Blok WBP = $K \times 1.035,78$ Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****) | - |
| 11. | P-3/TR | | *) | 1.467,28 | 1.467,28 |
| 12. | L/TR, TM, TT | | - | 1.644,52 | - |

Catatan :

- *) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM1 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian.}$
- ***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM2 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian LWBP.}$
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
- ****) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
 $RM3 = 40 \text{ (Jam Nyala)} \times \text{Daya tersambung (kVA)} \times \text{Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.}$
 Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
- *****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).
- K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat ($1,4 \leq K \leq 2$), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.

LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

Koreksi Faktor Daya

Tabel Cos ϕ

PTPFC

Tabel cos ϕ , untuk mendapatkan faktor pengali setiap kW beban\

| SEBELUM KOMPENSASI | | SESUDAH KOMPENSASI (Faktor Daya yang diinginkan) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Cos ϕ | | 0.85 | 0.86 | 0.87 | 0.88 | 0.89 | 0.9 | 0.91 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 1.00 |
| | tg ϕ | 0.62 | 0.59 | 0.57 | 0.54 | 0.51 | 0.48 | 0.46 | 0.43 | 0.40 | 0.36 | 0.33 | 0.29 | 0.25 | 0.20 | 0.14 | 0.00 |
| 0.40 | 2.29 | 1.67 | 1.70 | 1.72 | 1.75 | 1.78 | 1.81 | 1.84 | 1.87 | 1.90 | 1.93 | 1.96 | 2.00 | 2.04 | 2.09 | 2.15 | 2.29 |
| 0.41 | 2.22 | 1.60 | 1.63 | 1.66 | 1.68 | 1.71 | 1.74 | 1.77 | 1.80 | 1.83 | 1.86 | 1.90 | 1.93 | 1.97 | 2.02 | 2.08 | 2.22 |
| 0.42 | 2.16 | 1.54 | 1.57 | 1.59 | 1.62 | 1.65 | 1.68 | 1.71 | 1.73 | 1.77 | 1.80 | 1.83 | 1.87 | 1.91 | 1.96 | 2.02 | 2.16 |
| 0.43 | 2.10 | 1.48 | 1.51 | 1.53 | 1.56 | 1.59 | 1.62 | 1.64 | 1.67 | 1.70 | 1.74 | 1.77 | 1.81 | 1.85 | 1.90 | 1.96 | 2.10 |
| 0.44 | 2.04 | 1.42 | 1.45 | 1.47 | 1.50 | 1.53 | 1.56 | 1.59 | 1.61 | 1.65 | 1.68 | 1.71 | 1.75 | 1.79 | 1.84 | 1.90 | 2.04 |
| 0.45 | 1.98 | 1.36 | 1.39 | 1.42 | 1.44 | 1.47 | 1.50 | 1.53 | 1.56 | 1.59 | 1.62 | 1.66 | 1.69 | 1.73 | 1.78 | 1.84 | 1.98 |
| 0.46 | 1.93 | 1.31 | 1.34 | 1.36 | 1.39 | 1.42 | 1.45 | 1.47 | 1.50 | 1.54 | 1.57 | 1.60 | 1.64 | 1.68 | 1.73 | 1.79 | 1.93 |
| 0.47 | 1.88 | 1.26 | 1.28 | 1.31 | 1.34 | 1.37 | 1.39 | 1.42 | 1.45 | 1.48 | 1.52 | 1.55 | 1.59 | 1.63 | 1.67 | 1.74 | 1.88 |
| 0.48 | 1.83 | 1.21 | 1.23 | 1.26 | 1.29 | 1.32 | 1.34 | 1.37 | 1.40 | 1.43 | 1.46 | 1.50 | 1.54 | 1.58 | 1.62 | 1.69 | 1.83 |
| 0.49 | 1.78 | 1.16 | 1.19 | 1.21 | 1.24 | 1.27 | 1.29 | 1.32 | 1.35 | 1.38 | 1.42 | 1.45 | 1.49 | 1.53 | 1.58 | 1.64 | 1.78 |
| 0.50 | 1.73 | 1.11 | 1.14 | 1.17 | 1.19 | 1.22 | 1.25 | 1.28 | 1.31 | 1.34 | 1.37 | 1.40 | 1.44 | 1.48 | 1.53 | 1.59 | 1.73 |
| 0.51 | 1.69 | 1.07 | 1.09 | 1.12 | 1.15 | 1.17 | 1.20 | 1.23 | 1.26 | 1.29 | 1.32 | 1.36 | 1.39 | 1.44 | 1.48 | 1.54 | 1.69 |
| 0.52 | 1.64 | 1.02 | 1.05 | 1.08 | 1.10 | 1.13 | 1.16 | 1.19 | 1.22 | 1.25 | 1.28 | 1.31 | 1.35 | 1.39 | 1.44 | 1.50 | 1.64 |
| 0.53 | 1.60 | 0.98 | 1.01 | 1.03 | 1.06 | 1.09 | 1.12 | 1.14 | 1.17 | 1.20 | 1.24 | 1.27 | 1.31 | 1.35 | 1.40 | 1.46 | 1.60 |
| 0.54 | 1.56 | 0.94 | 0.97 | 0.99 | 1.02 | 1.05 | 1.07 | 1.10 | 1.13 | 1.16 | 1.20 | 1.23 | 1.27 | 1.31 | 1.36 | 1.42 | 1.56 |
| 0.55 | 1.52 | 0.90 | 0.93 | 0.95 | 0.98 | 1.01 | 1.03 | 1.06 | 1.09 | 1.12 | 1.16 | 1.19 | 1.23 | 1.27 | 1.32 | 1.38 | 1.52 |
| 0.56 | 1.48 | 0.86 | 0.89 | 0.91 | 0.94 | 0.97 | 1.00 | 1.02 | 1.05 | 1.08 | 1.12 | 1.15 | 1.19 | 1.23 | 1.28 | 1.34 | 1.48 |
| 0.57 | 1.44 | 0.82 | 0.85 | 0.87 | 0.90 | 0.93 | 0.96 | 0.99 | 1.02 | 1.05 | 1.08 | 1.11 | 1.15 | 1.19 | 1.24 | 1.30 | 1.44 |
| 0.58 | 1.40 | 0.78 | 0.81 | 0.84 | 0.86 | 0.89 | 0.92 | 0.95 | 0.98 | 1.01 | 1.04 | 1.08 | 1.11 | 1.15 | 1.20 | 1.26 | 1.40 |
| 0.59 | 1.37 | 0.75 | 0.78 | 0.80 | 0.83 | 0.86 | 0.88 | 0.91 | 0.94 | 0.97 | 1.01 | 1.04 | 1.08 | 1.12 | 1.17 | 1.23 | 1.37 |
| 0.60 | 1.33 | 0.71 | 0.74 | 0.77 | 0.79 | 0.82 | 0.85 | 0.88 | 0.91 | 0.94 | 0.97 | 1.00 | 1.04 | 1.08 | 1.13 | 1.19 | 1.33 |
| 0.61 | 1.30 | 0.68 | 0.71 | 0.73 | 0.76 | 0.79 | 0.81 | 0.84 | 0.87 | 0.90 | 0.94 | 0.97 | 1.01 | 1.05 | 1.10 | 1.16 | 1.30 |
| 0.62 | 1.27 | 0.65 | 0.67 | 0.70 | 0.73 | 0.75 | 0.78 | 0.81 | 0.84 | 0.87 | 0.90 | 0.94 | 0.97 | 1.01 | 1.06 | 1.12 | 1.27 |
| 0.63 | 1.23 | 0.61 | 0.64 | 0.67 | 0.69 | 0.72 | 0.75 | 0.78 | 0.81 | 0.84 | 0.87 | 0.90 | 0.94 | 0.98 | 1.03 | 1.09 | 1.23 |
| 0.64 | 1.20 | 0.58 | 0.61 | 0.63 | 0.66 | 0.69 | 0.72 | 0.74 | 0.77 | 0.81 | 0.84 | 0.87 | 0.91 | 0.95 | 1.00 | 1.06 | 1.20 |
| 0.65 | 1.17 | 0.55 | 0.58 | 0.60 | 0.63 | 0.66 | 0.68 | 0.71 | 0.74 | 0.77 | 0.81 | 0.84 | 0.88 | 0.92 | 0.97 | 1.03 | 1.17 |
| 0.66 | 1.14 | 0.52 | 0.54 | 0.57 | 0.60 | 0.63 | 0.65 | 0.68 | 0.71 | 0.74 | 0.78 | 0.81 | 0.85 | 0.89 | 0.94 | 1.00 | 1.14 |
| 0.67 | 1.11 | 0.49 | 0.51 | 0.54 | 0.57 | 0.60 | 0.62 | 0.65 | 0.68 | 0.71 | 0.75 | 0.78 | 0.82 | 0.86 | 0.90 | 0.97 | 1.11 |
| 0.68 | 1.08 | 0.46 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.57 | 0.59 | 0.62 | 0.65 | 0.68 | 0.72 | 0.75 | 0.79 | 0.83 | 0.88 | 0.94 | 1.08 |
| 0.69 | 1.05 | 0.43 | 0.46 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.56 | 0.59 | 0.62 | 0.65 | 0.69 | 0.72 | 0.76 | 0.80 | 0.85 | 0.91 | 1.05 |
| 0.70 | 1.02 | 0.40 | 0.43 | 0.45 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.56 | 0.59 | 0.62 | 0.66 | 0.69 | 0.73 | 0.77 | 0.82 | 0.88 | 1.02 |
| 0.71 | 0.99 | 0.37 | 0.40 | 0.43 | 0.45 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.57 | 0.60 | 0.63 | 0.66 | 0.70 | 0.74 | 0.79 | 0.85 | 0.99 |
| 0.72 | 0.96 | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.45 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.57 | 0.60 | 0.64 | 0.67 | 0.71 | 0.76 | 0.82 | 0.96 |
| 0.73 | 0.94 | 0.32 | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.45 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.57 | 0.61 | 0.64 | 0.69 | 0.73 | 0.79 | 0.94 |
| 0.74 | 0.91 | 0.29 | 0.32 | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.45 | 0.48 | 0.51 | 0.55 | 0.58 | 0.62 | 0.66 | 0.71 | 0.77 | 0.91 |
| 0.75 | 0.88 | 0.26 | 0.29 | 0.32 | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.43 | 0.46 | 0.49 | 0.52 | 0.55 | 0.59 | 0.63 | 0.68 | 0.74 | 0.88 |
| 0.76 | 0.86 | 0.24 | 0.26 | 0.29 | 0.32 | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.43 | 0.46 | 0.49 | 0.53 | 0.56 | 0.60 | 0.65 | 0.71 | 0.86 |
| 0.77 | 0.83 | 0.21 | 0.24 | 0.26 | 0.29 | 0.32 | 0.34 | 0.37 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.50 | 0.54 | 0.58 | 0.63 | 0.69 | 0.83 |
| 0.78 | 0.80 | 0.18 | 0.21 | 0.24 | 0.26 | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.38 | 0.41 | 0.44 | 0.47 | 0.51 | 0.55 | 0.60 | 0.66 | 0.80 |
| 0.79 | 0.78 | 0.16 | 0.18 | 0.21 | 0.24 | 0.26 | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.38 | 0.41 | 0.45 | 0.48 | 0.53 | 0.57 | 0.63 | 0.78 |
| 0.80 | 0.75 | 0.13 | 0.16 | 0.18 | 0.21 | 0.24 | 0.27 | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.39 | 0.42 | 0.46 | 0.50 | 0.55 | 0.61 | 0.75 |
| 0.81 | 0.72 | 0.10 | 0.13 | 0.16 | 0.18 | 0.21 | 0.24 | 0.27 | 0.30 | 0.33 | 0.36 | 0.40 | 0.43 | 0.47 | 0.52 | 0.58 | 0.72 |
| 0.82 | 0.70 | 0.08 | 0.10 | 0.13 | 0.16 | 0.19 | 0.21 | 0.24 | 0.27 | 0.30 | 0.34 | 0.37 | 0.41 | 0.45 | 0.49 | 0.56 | 0.70 |
| 0.83 | 0.67 | 0.05 | 0.08 | 0.11 | 0.13 | 0.16 | 0.19 | 0.22 | 0.25 | 0.28 | 0.31 | 0.34 | 0.38 | 0.42 | 0.47 | 0.53 | 0.67 |
| 0.84 | 0.65 | 0.03 | 0.05 | 0.08 | 0.11 | 0.13 | 0.16 | 0.19 | 0.22 | 0.25 | 0.28 | 0.32 | 0.35 | 0.40 | 0.44 | 0.50 | 0.65 |
| 0.85 | 0.62 | 0.00 | 0.03 | 0.05 | 0.08 | 0.11 | 0.14 | 0.16 | 0.19 | 0.22 | 0.26 | 0.29 | 0.33 | 0.37 | 0.42 | 0.48 | 0.62 |
| 0.86 | 0.59 | | 0.00 | 0.03 | 0.05 | 0.08 | 0.11 | 0.14 | 0.17 | 0.20 | 0.23 | 0.26 | 0.30 | 0.34 | 0.39 | 0.45 | 0.59 |
| 0.87 | 0.57 | | | 0.00 | 0.03 | 0.05 | 0.08 | 0.11 | 0.14 | 0.17 | 0.20 | 0.24 | 0.28 | 0.32 | 0.36 | 0.42 | 0.57 |
| 0.88 | 0.54 | | | | 0.00 | 0.03 | 0.06 | 0.08 | 0.11 | 0.14 | 0.18 | 0.21 | 0.25 | 0.29 | 0.34 | 0.40 | 0.54 |
| 0.89 | 0.51 | | | | | 0.00 | 0.03 | 0.06 | 0.09 | 0.12 | 0.15 | 0.18 | 0.22 | 0.26 | 0.31 | 0.37 | 0.51 |
| 0.90 | 0.48 | | | | | | 0.00 | 0.03 | 0.06 | 0.09 | 0.12 | 0.16 | 0.19 | 0.23 | 0.28 | 0.34 | 0.48 |

LAMPIRAN (4). Perincian Panel Kapasitor Bank

| NO | COMPONENT | | | | BRAND | (@) PIRCE (Rp.) | (@) PIRCE (US\$.) | QTY | TOTAL (Rp.) | TOTAL (US\$.) |
|---|---|---------------------------|---------|-------|-----------|-----------------|-------------------|-----|------------------------|-----------------------|
| CAPS 12,5+(12,5+12,5)+10(12,5+12,5+12,5) KVAR : | | | | | | | | | | |
| 1 | XB7EV0 | P-LAMP (LED) (R,Y,G) | 22MM | 220V | SCHNEIDER | IDR 36.874 | US\$ 2,45 | 3 | IDR 110.622 | US\$ 7,37 |
| 2 | SIRCO | ON-OFF SW 3X1000A | | | SOCOMEK | IDR 4.500.000 | US\$ 299,9 | 1 | IDR 4.500.000 | US\$ 299,90 |
| 3 | EZC100N | MCCB 18 KA | 3P | 40A | SCHNEIDER | IDR 525.217 | US\$ 35,01 | 1 | IDR 525.217 | US\$ 35,02 |
| 4 | EZC100N | MCCB 18 KA | 3P | 80A | SCHNEIDER | IDR 573.862 | US\$ 38,24 | 1 | IDR 573.862 | US\$ 38,24 |
| 5 | EZC250N | MCCB 25 KA | 3P | 125A | SCHNEIDER | IDR 890.000 | US\$ 59,31 | 10 | IDR 8.900.000 | US\$ 593,13 |
| 6 | LC1-DLK11 | CONTACTOR CAPS 20KVAR | | | SCHNEIDER | IDR 1.145.529 | US\$ 76,34 | 33 | IDR 37.802.457 | US\$ 2.519,32 |
| 7 | RXM2AB1P7 | POWER RELAY + SOCKET | 12A | 230V | SCHNEIDER | IDR 78.237 | US\$ 5,21 | 12 | IDR 938.844 | US\$ 62,56 |
| 8 | BLRCH125A | VarplusCan HDuty 12,5KVAR | | 400V | SCHNEIDER | IDR 1.345.960 | US\$ 89,70 | 33 | IDR 44.416.680 | US\$ 2.960,12 |
| 9 | VAR RT-12 | PF REGULATOR 12 STEP | | | SCHNEIDER | IDR 3.990.333 | US\$ 265,93 | 1 | IDR 3.990.333 | US\$ 265,93 |
| 10 | CA10 A211 | C.O.S A-0-M | 2P | 20A | K&N | IDR 226.875 | US\$ 15,11 | 1 | IDR 226.875 | US\$ 15,31 |
| 11 | ICM-1B | CT-BOX 4000/5A | CLS1 30 | VA | CIC | IDR 594.000 | US\$ 39,58 | 1 | IDR 594.000 | US\$ 39,58 |
| 12 | IN12 | TERMINAL BLOCK | 2P | 20A | CAMSCO | IDR 6.457 | US\$ 0,43 | 2 | IDR 12.914 | US\$ 0,86 |
| 13 | XB7E05MP | P-LAMP (LED) (Y) | 22MM | 220V | SCHNEIDER | IDR 36.874 | US\$ 2,45 | 12 | IDR 442.488 | US\$ 29,48 |
| 14 | XB7NA42 | PUSH BUTTON 1NC (R) | 22MM | | SCHNEIDER | IDR 31.288 | US\$ 2,08 | 12 | IDR 375.456 | US\$ 25,02 |
| 15 | XB7NA31 | PUSH BUTTON 1NC (G) | 22MM | | SCHNEIDER | IDR 31.288 | US\$ 2,08 | 12 | IDR 375.456 | US\$ 25,02 |
| 16 | 25TGQ | EXHAUST FAN 10" | | 220V | KDK | IDR 324.500 | US\$ 21,62 | 1 | IDR 324.500 | US\$ 21,62 |
| 17 | NSYCCOTH0 | CONTROL FAN/ALARM | | 0-60C | SCHNEIDER | IDR 139.351 | US\$ 9,28 | 1 | IDR 139.351 | US\$ 9,28 |
| 18 | iK60a | MCB 4,5KA | 1P | 6A | SCHNEIDER | IDR 56.691 | US\$ 3,97 | 6 | IDR 340.146 | US\$ 22,66 |
| 19 | TOTAL HARGA KOMPONEN | | | | | | | | IDR 104.589.201 | US\$ 6.970,28 |
| 20 | BOX 120,0 X 210,0 X 80,0 CM + WIRING + ACCESSORIES 1 UNIT | | | | | | | | IDR 70.410.799 | US\$ 4.692,48 |
| TOTAL | | | | | | | | | IDR 175.000.000 | US\$ 11.662,77 |

Harga US\$ 1,- sama dengan Rp 15.005,- (Sumber : Indonesia Stock Exchange (IDX), Update 1 Oktober 2018)

Lampiran (5) Surat pengajuan riset



Unggul Cerdas & Terpercaya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - EXT. 12

Website : <http://fatek.umsu.ac.id> E-mail : fatek@umsu.ac.id

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

Nomor : 1030 / IL.3-AU/UMSU-07/F/2018
Lamp : 1 Lembar
Hal : Pengambilan Data
Kepada :
Yth. Bapak HRD/SDM
PT. Perkebunan Nusantara IV

Medan, 22 Syawal 1439 H
06 Juli 2018 M

Di : Letjen Suprpto No. 2 Medan

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan hormat,

Kami memohon kesediaan Bapak untuk menerima dan memberikan izin bagi Mahasiswa kami yang akan melakukan Pengambilan Data di PT. Perkebunan Nusantara IV untuk penulisan Tugas Akhir, guna menyelesaikan program pendidikan Strata Satu (S- I) di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

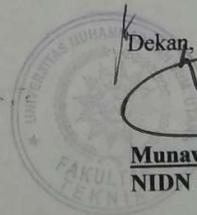
Nama : Zulfikar Zailani
NPM : 1407220064
Semester : VIII (Delapan)
Jurus : Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : **Perencanaan Kapasitor Bank Sebagai Kompensasi Beban Induktif Pada PTPN IV**

Pembimbing- I : Rohana, S.T.,M.T
Pembimbing- II : Muhammad Syafril, S.T.,M.T

Adapun data yang mau diambil Sebagai Berikut :

1. Rekening Listrik PKS Adolina
2. Power Line/Single Line PKS Adolina
3. Capasitor Bank PKS Adolina

Demikian harapan kami atas bantuan dan kerjasama yang Bapak /Ibu berikan kami ucapkan terima kasih.
Wassalamu'alaikum Wr. Wb



Dekan,

Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T
NIDN : 0101017202

Cc : File



PT PERKEBUNAN NUSANTARA IV

MEDAN – SUMATERA UTARA – INDONESIA

- KANTOR PUSAT: JL. LETJEND SUPRAPTO NO.2 MEDAN
- KANTOR PERWAKILAN JAKARTA

TELP.: (061) 4154666 - FAX.: (061) 4573117
TELP.: (021) 7231662 - FAX.: (021) 7231663

Nomor : 04.11 / X / 01707 / VI / 2018
Lamp : -
Hal : IZIN RISET S1

Medan, 10 Juli 2018

Kepada Yth :
DEKAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
JL. MUKHTAR BASRI NO. 3 MEDAN
di - MEDAN

Membalas surat Saudara/i nomor 1030/II.3-AU/UMSU-07/F/2018 tanggal 06 Juli 2018, Mahasiswa/Siswa/i TEKNIK/UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA atas nama :

| No | NAMA | NPM | Program Studi / Judul |
|----|------------------|------------|---|
| 1 | ZULFIKAR ZAILANI | 1407220064 | PERENCANAAN KAPASITOR BANK SEBAGAI KOMPENSASI BEBAN INDUKTIF PADA PTPN IV |

Diizinkan untuk melakukan RISET di PT Perkebunan Nusantara IV sbb :

Tempat : KEBUN ADOLINA
Bagian / Bidang : TEKNIK&PENGOLAHAN
Terhitung mulai tgl. : 16 Juli 2018 s/d 21 Juli 2018

Sesuai ketentuan yang berlaku di perusahaan disampaikan sebagai berikut :

- Semua biaya ditanggung oleh siswa/mahasiswa/i yang bersangkutan.
- Yang bersangkutan harus berperilaku sopan serta mematuhi peraturan/ketentuan yang berlaku di tempat pelaksanaan terutama mengenai kerahasiaan data.
- Selambat-lambatnya 1 (satu) bulan setelah pelaksanaan diwajibkan mengirimkan 1 bundel laporan kepada Direksi PTPN IV cq Bagian SDM.
- Laporan tersebut semata-mata dipergunakan untuk kepentingan ilmiah pada Sekolah/Universitas yang bersangkutan.
- Apabila selama waktu pelaksanaan terjadi kecelakaan baik di dalam/di luar PTPN IV maka sepenuhnya menjadi tanggung jawab yang bersangkutan.
- Yang bersangkutan agar melapor ke GM/Manajer/Kepala Bagian yang dituju pada waktu pelaksanaan.
- Terkait dengan pakaian yang digunakan selama pelaksanaan, khusus prakerin :
 - SMK/SMA/Sederajat agar memakai pakaian seragam sekolah dan sepatu.
 - Mahasiswa/i/sederajat agar memakai kemeja putih, bawahan hitam serta memakai jaket almamater dan sepatu. Kecuali pada hari tertentu menggunakan pakaian sesuai ketentuan yang berlaku di perusahaan.
- Surat keterangan selesai pelaksanaan praktek kerja lapangan/riset dikeluarkan oleh Bagian/Distrik/Kebun/Pabrik dimana tempat pelaksanaan aktivitas tersebut.
- Bagi yang melanggar aturan tersebut, maka Perusahaan akan memberikan sanksi berupa dikeluarkan dari program praktek kerja lapangan/riset.

GM/Manajer/Kepala Bagian yang menerima tembusan surat ini agar dapat membantu segala sesuatunya yang berkaitan dengan keperluan tersebut diatas, serta menjaga kerahasiaan data perusahaan.

Demikian disampaikan.

PT PERKEBUNAN NUSANTARA IV
Bagian Sumber Daya Manusia

B. M. Setio Baskoro
Kepala Bagian

Tembusan:

- ADO
 - Mahasiswa/Siswa Ybs
- (Email : vikar_lubis@yahoo.com) / (No. HP : 082272281030)

Lampiran (7) Riset di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina



Perencanaan Pemasangan Kapasitor *Bank* Sebagai Kompensasi Beban Induktif di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina

Zulfikar Zailani¹⁾, Rohana²⁾, Muhammad Syafril³⁾

¹⁾Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

^{2,3)}Dosen Pembimbing Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera
Utara Medan

Email: vikar_lubis@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang pemakaian daya reaktif (kVAR) di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina pada Pembangkit Listrik PLN dengan daya tersambung 555 kVA yang tergolong ke tarif Industri (I-3). Pabrik ini banyak menggunakan beban induktif seperti motor-motor listrik sehingga menghasilkan pemakaian daya reaktif yang cukup besar. Sebelum menggunakan kapasitor bank, faktor daya ($\cos \phi$) diukur 0,65 lagging, maka Pabrik dikenakan denda biaya kelebihan pemakaian kVARH sesuai standar PLN ($\cos \phi < 0,75$ lagging). Untuk mengurangi pemakaian kVARH, pihak Pabrik berencana memasang kapasitor bank dengan kapasitas (412,5 kVAR) untuk memperbaiki faktor daya dari 0,65 lagging menuju 0,99 lagging. Perencanaan pemasangan kapasitor bank menggunakan metode Tabel $\cos \phi$. Biaya yang dibutuhkan dalam pemasangan kapasitor bank yaitu Rp 253.000.000,-. Lama waktu break even point setelah pemasangan kapasitor bank adalah 5 (lima) bulan.

Kata kunci : beban induktif, faktor daya, kapasitor *bank*, tabel $\cos \phi$

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya pertumbuhan industri berdampak pada bertambahnya pertumbuhan beban dalam sistem tenaga listrik. Pertumbuhan beban tersebut diikuti dengan meningkatnya daya reaktif akibat beban induktif pada bus beban maupun pada saluran distribusi yang menyebabkan meningkatnya pemakaian daya reaktif. Pada sistem distribusi, jika suatu jaringan tidak memiliki sumber daya reaktif di daerah sekitar beban, maka semua kebutuhan beban reaktifnya dipikul oleh gardu induk yang tersuplai dari generator pada pembangkit listrik. [1]. Beberapa cara atau metode

untuk memperbaiki jatuh tegangan pada suatu penyulang atau bus, yaitu dengan memperbesar kawat penampang, mengubah seksi penyulang dari satu fasa ke sistem tiga fasa, pengiriman beban melalui penyulang yang baru [2]. Dari tiga metode diatas menunjukkan tidak efektifnya infrastruktur dan investasi yang ditanam saat membangun gedung, pabrik maupun industri lainnya. Adapun metode lain yang untuk mengatasi kebutuhan daya reaktif, tegangan jatuh dan meminimalkan rugi-rugi tegangan adalah dengan memasang kapasitor *bank*. Pada penelitian ini diambil *sample* pada Pabrik Kelapa Sawit Adolina PTPN IV. Dimana kondisi faktor daya yang ditentukan

adalah $> 0,8$, tegangan jatuh adalah $\pm 10\%$ sesuai dengan yang diatur pada PUIL 1995 [3].

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian Tugas Akhir di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa besar pemakaian daya reaktif dan denda biaya kelebihan pemakaian kVARH oleh PLN sebelum menggunakan kapasitor *bank*.
2. Menganalisa kapasitas kapasitor *bank* (kVAR) untuk memperbaiki faktor daya.
3. Menganalisa besar biaya investasi pemasangan kapasitor *bank*.
4. Menganalisa waktu *break even point* setelah pemasangan kapasitor *bank*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daya

Daya merupakan jumlah energi listrik tiap satuan waktu. Daya listrik dibangkitkan oleh pembangkit listrik seperti PLTU, PLTA, PLTG, PLTD dan lain-lain. Daya dibagi menjadi tiga, yaitu daya aktif, daya semu dan daya reaktif. Berikut adalah penjelasan dari ketiga daya tersebut.

2.2.1 Daya Semu

Daya reaktif merupakan daya yang dibangkitkan oleh generator pada sistem pembangkit listrik. Daya semu diberi simbol S dan memiliki satuan VA (Volt Ampere). Daya semu terdiri dari daya aktif dan daya reaktif. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya semu satu fasa dan tiga fasa adalah :

Daya Semu 1 Fasa

$$S = V.I \dots \dots \dots (2.1)$$

Daya Semu 3 Fasa

$$S = \sqrt{3}.V.I \dots \dots \dots (2.2)$$

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

S = Daya Semu (VA)

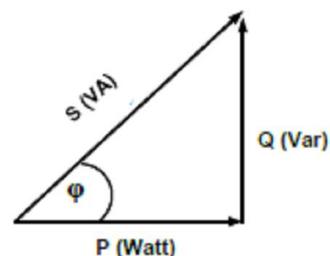
P = Daya Aktif (Watt)

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Ketiga daya tersebut digambarkan dengan segitiga daya. Berikut adalah segitiga daya tersebut adalah :



Gambar 2.1 Segitiga Daya

2.2.2 Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang sebenarnya digunakan oleh konsumen. Daya aktif memiliki satuan watt. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan besar daya aktif :

Daya aktif satu fasa

$$P = V.I.\cos\phi \dots \dots \dots (2.4)$$

Daya aktif tiga fasa

$$P = \sqrt{3}.V.I.\cos\phi \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2.2.3 Daya Reaktif Daya Aktif

Daya reaktif merupakan daya yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet. Satuan daya reaktif adalah VAR

(*Volt Ampere Reactive*), sedangkan simbolnya adalah Q. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendapatkan daya reaktif :

Daya Reaktif 1 Fasa

$$Q = V.I.\sin\phi \dots\dots\dots(2.6)$$

Daya Reaktif 3 Fasa

$$Q = \sqrt{(S^2 - P^2)}\dots\dots\dots(2.7)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

Q = Daya Reaktif (VAR)

S = Daya Semu (VA)

P = Daya Aktif (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2.3 Faktor Daya

Faktor daya disimbolkan dengan $\cos \phi$ dan mempunyai rentang nilai antara 0 sampai 1. Semakin mendekati 1, maka nilai faktor daya akan semakin baik. Kemudian untuk mencari nilai faktor daya dapat dilakukan dengan membagi daya aktif (P) dengan daya semu (S). Adapun persamaan yang digunakan untuk mencari faktor daya adalah :

$$\cos \phi = \frac{P \text{ (Watt)}}{S \text{ (VA)}}\dots\dots\dots(2.8)$$

$$\theta = \arccos \phi \dots\dots\dots(2.9)$$

Faktor daya dibagi menjadi dua, yaitu faktor daya tertinggal (*lagging*) dan faktor daya mendahului (*leading*).

2.4 Beban

Beban listrik di defenisikan sebagai jumlah listrik yang digunakan konsumen. Beban tersebut terbagi atas tiga beban, yaitu sebagai berikut ini :

2.4.1 Beban Resistif

Beban resistif dihasilkan dari rangkaian yang terdiri dari penghambat berupa resistor murni. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan sama sekali tidak menyerap beban reaktif. Pada beban resistif arus dan tegangan akan se-fasa.

2.4.2 Beban Induktif

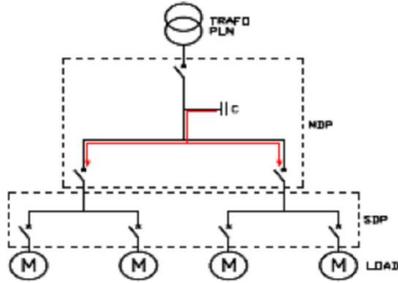
Beban Induktif adalah beban yang menyerap daya aktif dan daya reaktif dengan faktor daya *lagging*, yaitu saat tegangan mendahului arus sebesar sudut θ . Beban induktif dihasilkan dari komponen-komponen listrik yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada inti besi.

2.4.3 Beban Kapasitif

Beban Kapasitif adalah beban yang mengandung komponen pasif, yaitu kapasitor. Beban kapasitif menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif. Bentuk gelombang dari beban kapasitif adalah arus mendahului tegangan.

2.5 Pemasangan Kapasitor *Bank*

Adapun perencanaan pemasangan kapasitor *bank* menggunakan metode ***Global Compensation***. Dengan metode ini kapasitor dipasang di induk panel seperti MDP (*Main Distribution Panel*). Arus reaktif yang mengalir dari pemasangan model ini hanya di penghantar antara MDP dengan Transformator. Selain itu, metode ini diklaim metode paling hemat untuk penempatan/pemasangan kapasitor *bank*.



Gambar 2.2 *Low Voltage Global Compensation*

2.6 Kapasitor Bank

Kapasitor *Bank* berfungsi untuk mensuplai daya reaktif, mengurangi terjadinya *drop* tegangan dan mencegah kenaikan suhu pada kabel yang menyebabkan rugi-rugi daya dengan mengubah energi menjadi panas. Kapasitor bank sering digunakan pada Industri, karena pemakaian beban-beban jenis motor-motor listrik sebagai beban induktif banyak membutuhkan daya reaktif untuk operasionalnya.



Gambar 2.3 Kapasitor BLRCH 50kVAR *VarPlus Can*

2.7 Metode Kelayakan Investasi

Analisa kelayakan investasi pemasangan kapasitor *bank* menggunakan **Metode Net Present Value (NPV)**. *Net Present Value* (NPV) adalah selisih antara *present value* dari investasi dengan nilai sekarang dari penerimaan-penerimaan kas

bersih di masa yang akan datang. Untuk menghitung nilai sekarang perlu ditentukan tingkat suku bunga yang relevan. Berikut adalah rumus untuk menghitung NPV :

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$DF = \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+r)^t} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

NVP = *Net Present Value*

DF = *Discount Factor*

I₀ = Nilai investasi awal

t = bulan ke (jangka waktu)

n = jumlah beban

r = tingkat suku bunga

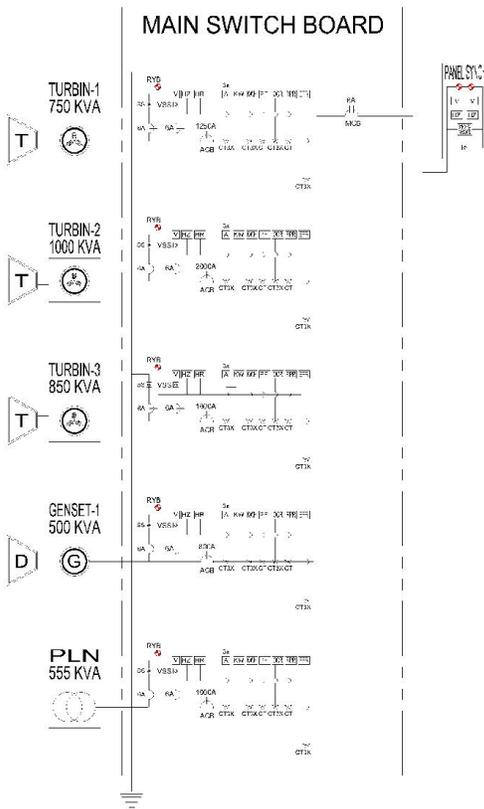
CF_t = kas masuk perbulan periode (t)

Pengembalian modal dalam jangka waktu tertentu yang diharapkan, apabila memberikan NPV > 0. Maka investasi dikategorikan layak dan NPV < 0, investasi dikategorikan tidak layak.

III. METODOLOGI

3.1 Pembangkit Listrik PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina

PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina menggunakan pembangkit listrik sendiri pada operasionalnya. Tujuannya adalah memanfaatkan uap panas dari boiler untuk merebus sawit. Adapun *Single Line* diagram Pembangkit Listrik di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 *Single Line Diagram* Pembangkit Listrik PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina

3.2 Beban di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina

| MAIN DISTRIBUTION BOARD | DESCRIPTION | RATED POWER |
|-------------------------|--|----------------------|
| | CAPASITOR BANK 12 S1BP | CAPACITY 412 KVAR |
| | MCD-1 LOADING HAMP & SHRELLER ST. | 40HP (30KW) |
| | MCD-2 THRESHING & PRESSING ST. | 340HP (250KW) |
| | MCD-3 NUT & KERNEL RECOVERY ST. | 180HP (132KW) |
| | MCD-4 CLARIFICATION ST. | 100HP (75KW) |
| | MCD-5 BOILER ST. - 1 | 100HP (75KW) |
| | MCD-6 BOILER ST. - 2 | 100HP (75KW) |
| | MCD-7 WATER TREATMENT PLANT ST. | 30HP (22KW) |
| | MCD-8 DEPERICARPER ST. | 75HP (55KW) |
| | MCD-9 DEMIN PLANT ST. | 30HP (22KW) |
| | DB. TO PERUMAHAN, KANTOR, BENCKEL MUSHOLA DLL. | |
| | CAWANGAN | |

Gambar 3.2 *Single Line Diagram* Beban Listrik di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina.

3.3 Metode Menghitung Daya Reaktif

PLN membebaskan biaya kelebihan pemakaian kVARH pada pelanggan, jika rata-rata faktor dayanya ($\cos \phi$) kurang dari 0,75. Untuk memperbaiki faktor daya sehingga tidak membayar denda adalah dengan memasang kapasitor *bank*. Untuk menghitung kapasitas kapasitor *bank* sebagai berikut :

3.3.1 Metode Sederhana

Metode ini digunakan agar dengan cepat bisa menentukan besar daya reaktif yang dibutuhkan. Angka (faktor kali) yang harus diingat adalah **0,84 untuk setiap beban (kW)**. Yaitu diambil dari :

Perkiraan rata-rata faktor daya suatu instalasi : 0,65

Faktor daya yang diinginkan : 0,95

Maka dari table $\cos \phi$ didapat angka : **0,84**

Contoh :

Untuk menghindari denda PLN suatu instalasi dengan beban 100 kW memerlukan daya reaktif sebesar ?

$$\begin{aligned} \text{Jawab :} &= \text{Faktor kali} \times \text{beban} \\ &= 0,84 \times 100 \text{ kW} \\ &= 84 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

3.3.2 Metode Kwitansi PLN

Metode ini memerlukan data dari kwitansi PLN selama satu periode (misalnya 1 tahun). Kemudian data perhitungan diambil dari pembayaran denda kVARH yang tertinggi. Data lain yang diperlukan adalah jumlah waktu pemakaian.

Contoh :

Suatu pabrik yang beroperasi 8 jam/hari, membayar denda pemakaian kVARH tertinggi pada tahun yang lalu sebesar 63504

kVARH. Maka diperlukan kapasitor *bank* dengan daya :

$$Q = \frac{\text{kVARH tertinggi}}{\text{waktu pemakaian}}$$

$$Q = \frac{63504 \text{ kVARH}}{8 \text{ jam} \times 30 \text{ hari/bulan}}$$

$$Q = 265 \text{ kVARH}$$

3.3.3 Metode Cos ϕ

Metode ini menggunakan table cos ϕ (dilihat pada table berikut). Data yang diperlukan adalah Total Beban Daya dan Faktor Daya (cos ϕ)

Contoh :

Sebuah instalasi pabrik memiliki faktor daya : 0,70 untuk beban puncak 600 kW. Untuk meningkatkan faktor daya menjadi 0,94 diperlukan daya kapasitor sebesar :

Dari tabel cos ϕ (terlampir) didapat angka = 0,62

Maka daya reaktif yang diperlukan = **0,62 x 600 kW = 372 kVAR.**

IV. ANALISA DAN HASIL

4.1 Analisa Faktor Daya (cos ϕ) di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina Sebelum menggunakan kapasitor *bank*

Untuk menganalisa faktor daya (cos ϕ) sebelum menggunakan kapasitor *bank*, terlebih dahulu melakukan perhitungan pemakaian daya reaktif dimana Sumber Pembangkit (PLN) = 555 kVA, cos ϕ = 0,65 *lagging* (sebelum menggunakan kapasitor *bank*) dan jam operasional pabrik = 8 jam/hari, 26 hari/bulan. Sehingga

perhitungan besar denda biaya kelebihan pemakaian kVARH sebagai berikut :

Daya Aktif :

$$\begin{aligned} \text{kW} &= \text{Sumber Pembangkit (kVA)} \times \cos \phi \\ &= 555 \text{ kVA} \times 0,65 \text{ lagging} \\ &= 360,75 \text{ kW} \end{aligned}$$

Daya Reaktif :

$$\begin{aligned} \text{kVAR} &= \sqrt{S^2 - P^2} \\ &= \sqrt{(555 \text{ kVA})^2 - 360,75^2} \\ &= \sqrt{(308.025 - 130.140,56)} \\ &= \sqrt{177.884,43} \\ &= 421,76 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Pemakaian daya aktif dalam sebulan :

$$\begin{aligned} \text{kWH} &= \text{Daya Aktif} \times \text{jam operasional/hari} \\ &\quad \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 360,75 \text{ kW} \times 8 \text{ jam/hari} \times 26 \\ &\quad \text{hari/bulan} \\ &= 75.036 \text{ kWH/bulan} \end{aligned}$$

Pemakaian daya reaktif sebelum memasang kapasitor *bank* dalam sebulan :

$$\begin{aligned} \text{kVARH} &= \text{Daya reaktif} \times 8 \text{ jam/hari} \times 26 \\ &\quad \text{hari/bulan} \\ &= 421,76 \text{ kVAR} \times 8 \text{ jam/hari} \times 26 \\ &\quad \text{hari/bulan} \\ &= 87.726,08 \text{ kVARH} \end{aligned}$$

Persentase pemakaian = $\frac{\text{kVARH}}{\text{kWH}} \times 100\%$

$$\begin{aligned} &= \frac{87.726,08 \text{ kVARH}}{75.036 \text{ kWH}} \times 100\% \\ &= 116,91\% \end{aligned}$$

Denda kelebihan pemakaian kVARH dibayar jika lebih dari 62% (Standar PLN) dari beban kWH. 62% dari beban

$$\begin{aligned} \text{kWH} &= 62\% \times 75.036 \text{ kWH} \\ &= 46.522,32 \text{ kWH} \end{aligned}$$

Harga kelebihan pemakaian kVARH (Rp/kVARH) untuk golongan Industri (I-3) /Tegangan Menengah (TM) adalah Rp 1.444,- (Diambil dari TDL 2017 PLN) atau US\$0,0967,- (Sumber :Indonesia Stock Exchange (IDX), Update 1 Oktober 2018)

Maka denda biaya kelebihan kVARH

= Total kVARH – 62% Total kWH

x Rp. 1.444,-

= (87.726,08 – 46.552,32) kVARH

x Rp. 1.444,-

= 41.173,76 kVARH x Rp. 1.444,-

atau US\$0,097,-

= **Rp. 59.454.909,44,- atau US\$ 3.962,33,-**

4.2 Analisa Faktor Daya (cos φ) di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina Setelah menggunakan kapasitor bank

Untuk menganalisa faktor daya (cos φ) di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina setelah menggunakan kapasitor bank, menghitung kebutuhan daya reaktif dimana Sumber Pembangkit (PLN) = 555 kVA, cos φ = 0,65 lagging (sebelum menggunakan kapasitor bank) dan jam operasional rata-rata pabrik = 8 jam/hari. Sehingga perhitungan besar daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya (cos φ) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{kW} &= \text{Sumber Pembangkit (kVA)} \times \cos \phi \\ &= 555 \text{ kVA} \times 0,65 \text{ lagging} \\ &= 360,75 \text{ kW} \end{aligned}$$

Rencana Pemasangan Kapasitor Bank (menggunakan metode tabel cos φ)

$$\begin{aligned} \text{kVAR} &= \text{Faktor Kali (cos } \phi \text{ awal menuju target cos } \phi) \times \text{Daya Aktif} \\ &= \text{Faktor Kali (0,65 – 0,99)} \times 360,75 \\ &= 1,03 \times 360,75 \text{ kW} \\ &= 371,57 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Maka koreksi faktor daya (cos φ) yang di pilih adalah **412,5 kVAR**(menyediakan spare). Pemakaian kVAR sebelum memasang kapasitor bank

$$\begin{aligned} \text{kVAR} &= \sqrt{S^2 - P^2} \\ &= \sqrt{(555 \text{ kVA})^2 - 360,75^2} \\ &= \sqrt{(308.025 - 130.140,56)} \\ &= \sqrt{177.884,43} \\ &= 421,76 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Pemakaian setelah menggunakan kapasitor bank.

$$\begin{aligned} \text{kVAR Total} &= \text{Daya Reaktif Sebelum} - \\ &\quad \text{Daya Reaktif Sesudah} \\ &= 421,76 \text{ kVAR} - 412,5 \text{ kVAR} \\ &= 9,26 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Daya Aktif setelah menggunakan kapasitor bank :

$$\begin{aligned} \text{kW} &= \text{Sumber Pembangkit (kVA)} \times \cos \phi \\ &= 555 \text{ kVA} \times 0,99 \text{ lagging} \\ &= 549,45 \text{ kW} \end{aligned}$$

Pemakaian daya aktif dalam sebulan :

$$\begin{aligned} \text{kWH} &= \text{Daya Aktif} \times \text{jam operasional/hari} \\ &\quad \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 549,45 \text{ kW} \times 8 \text{ jam/hari} \\ &\quad \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 114.285,6 \text{ kWH/bulan} \end{aligned}$$

Pemakaian daya reaktif setelah menggunakan kapasitor bank dalam sebulan:

$$\begin{aligned} \text{kVARH} &= \text{Daya reaktif} \times 8 \text{ jam/hari} \\ &\quad \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 9,26 \text{ kVAR} \times 8 \text{ jam/hari} \\ &\quad \times 26 \text{ hari/bulan} \\ &= 1.926,08 \text{ kVARH} \end{aligned}$$

Persentase pemakaian = $\frac{\text{kVARH}}{\text{kWH}} \times 100\%$

$$= \frac{1.926,08 \text{ kVARH}}{75.036 \text{ kWH}} \times 100\%$$

$$= 2,56 \%$$

Denda kelebihan pemakaian kVARH dibayar jika lebih dari **62%** dari beban kWH. Hasil dari faktor daya setelah menggunakan kapasitor *bank* hanyalah 2,56 % atau tidak melebihi dari 62% dari beban kWH, maka dibebaskan dari biaya denda kelebihan pemakaian kVARH.

Harga kelebihan pemakaian kVARH (Rp/kVARH) untuk golongan Industri (I-3) /Tegangan Menengah (TM) adalah Rp 1.444,- atau US\$ 0,0967,- (Sumber : *Indonesia Stock Exchange (IDX), Update 1 Oktober 2018*). Maka denda biaya kelebihan kVARH = 0 x Rp. 1.444 atau US\$ 0,0967,-
= Rp. 0,- atau US\$ 0,-

Dari analisa diatas, penggunaan kapasitor *bank* sangatlah efisien dari segi biaya, yakni terhindarnya biaya denda kelebihan pemakaian kVARH dari PLN.

4.3 Analisa Investasi Penggunaan Kapasitor Bank

Setelah mengetahui berapa kebutuhan daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya ($\cos \phi$) dari 0,65 menuju 0,99 dengan kapasitas daya reaktif 375 kVAR. Maka selanjutnya menganalisa investasi pemasangan kapasitor *bank*.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan daya reaktif} &= 412,5 \text{ kVAR} \\ \text{Perencanaan kapasitas kapasitor bank} \\ &= 12,5 \text{ kVAR} + (12,5+12,5) \text{ kVAR} + \\ &\quad 10(12,5+12,5+12,5) \text{ kVAR} \\ &= \mathbf{412,5 \text{ kVAR}} \end{aligned}$$

Untuk mengantisipasi perubahan beban dan sehubungan dengan penggunaan kapasitor bank agar tidak terjadi kompensasi yang berlebihan pada saat beban ringan, maka kapasitor *bank* ini dilengkapi dengan Regulator *VarLogic RT-12 "schneider"* 12

step/tahap dengan metode konfigurasi (*sequence*) : 1.2.3.3.3.3. Adapun perincian harga untuk pemasangan panel kapasitor *bank* (terlampir). Untuk rincian total harga pemasangan kapasitor *bank* terdapat pada tabel sebagai berikut ini :

Tabel 4.1 Rincian Total Harga Pemasangan Kapasitor *Bank*

| No | Perincian | Harga (Rupiah) | Harga (\$) |
|--------------------|---|-------------------------|-------------------------|
| 1 | Panel Kapasitor <i>bank</i> | Rp 175.000.000,- | US\$ 11.662,77,- |
| 2 | Jasa pengiriman panel | Rp 2.000.000,- | US\$ 133,288,- |
| 3 | Jasa sewa <i>forklift/crane</i> | Rp 3.000.000,- | US\$ 199,93,- |
| 4 | Harga kabel <i>feeder</i> dan jasa pemasangan | Rp 40.000.000,- | US\$ 2.665,77,- |
| 5 | Test dan <i>Comissioning</i> | Rp 10.000.000,- | US\$ 666,44,- |
| TOTAL | | Rp 230.000.000,- | US\$ 15.328,22,- |
| PPN (TAX) 10% | | Rp 23.000.000,- | US\$ 1.532,82,- |
| GRAND TOTAL | | Rp 253.000.000,- | US\$ 16.861,04,- |

Harga US\$ 1,- sama dengan Rp 15.005,-(Sumber : *Indonesia Stock Exchange (IDX) (Update 1 Oktober 2018)*)

Dari perincian harga di atas untuk pemasangan panel kapasitor *bank* diatas, maka total investasi yang dibutuhkan adalah **Rp 253.000.000,-** atau **US\$ 16.861,04,-**.

4.4 Analisa Break Even Point Penggunaan Kapasitor Bank

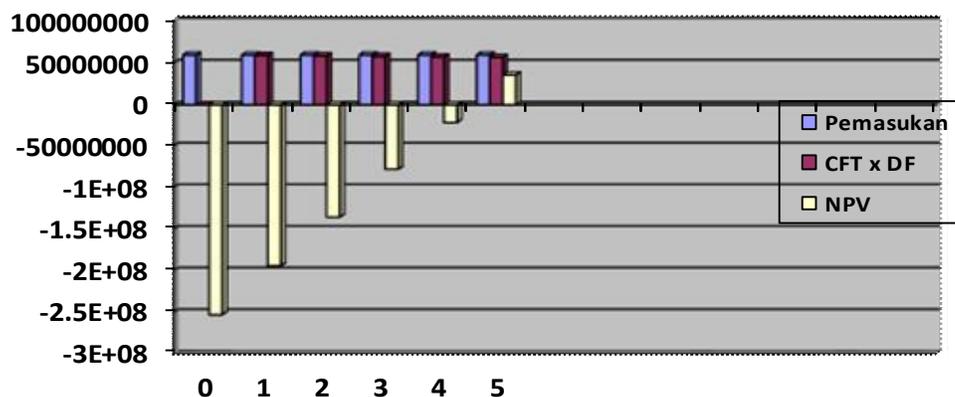
- Estimasi harga panel kapasitor *bank* (total investasi) adalah Rp 253.000.000,-. Sehingga investasi yang diperlukan **Io = Rp 253.000.000,-**.
- Suku bunga perbulan dianggap 1% atau **r = 1%**
- Denda biaya kelebihan pemakaian kVARH adalah Rp. 59.454.909,44,- yang dibayar tiap bulan.

- d) Setelah pemasangan panel kapasitor *bank*, denda tersebut dianggap sebagai kas masuk perbulan atau $CF_t = \text{Rp. } 59.454.909,44,-$.

Analisa *break even point* terdapat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.2 Data hasil *Net Present Value* (NPV)

| Investasi Awal | Bulan ke | Pemasukan Kas | Periode | Bunga perbulan | Discount Factor | CFt x DF | NPV |
|----------------|----------|---------------|---------|----------------|-----------------|------------|---------------|
| Io | N | CFt | t | r | DF | | Io-(CFt x DF) |
| 253.000.000 | 0 | 59.454.909,44 | 0 | 1% | 1 | - | 253.000.000 |
| 253.000.000 | 1 | 59.454.909,44 | 1 | 1% | 0,9901 | 58.866.247 | 194.133.753 |
| 253.000.000 | 2 | 59.454.909,44 | 2 | 1% | 0,9803 | 58.283.413 | 135.850.340 |
| 253.000.000 | 3 | 59.454.909,44 | 3 | 1% | 0,9706 | 57.706.349 | 78.143.991 |
| 253.000.000 | 4 | 59.454.909,44 | 4 | 1% | 0,9610 | 57.134.999 | 21.008.991 |
| 253.000.000 | 5 | 59.454.909,44 | 5 | 1% | 0,9515 | 56.569.306 | (35.560.315) |



Grafik 4.1 Grafik *Net Present Value* (NPV)

V. KESIMPULAN

- 1) Pemakaian daya reaktif di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina dari PLN dengan daya tersambung 555 kVA yang tergolong dalam tarif Industri (I-3) pemakaian daya listrik perbulan (26 hari kerja) dimana sebelum menggunakan kapasitor *bank* dengan $\cos \phi$ saat diukur 0,65 *lagging*, maka dikenakan denda biaya kelebihan pemakaian kVARH

(Standar PLN $\cos \phi < 0,75$) sebesar Rp 59.454.909,44,- atau US\$ 3.962,33,-.

- 2) Pemasangan kapasitor *bank* di PTPN IV Pabrik Kelapa Sawit Adolina dari $\cos \phi$ 0,65 *lagging* menuju $\cos \phi$ 0,99 *lagging* yaitu 412,5 kVAR
- 3) Biaya investasi yang dibutuhkan dalam pemasangan kapasitor *bank* yaitu sebesar Rp 253.000.000,- atau US\$ 16.861,04,-.
- 4) Lama waktu *break even point* pada biaya investasi pemasangan kapasitor *bank*

yaitu 5 (lima) bulan setelah pemasangan kapasitor *bank*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Yani, P. K. Bank, and A. Yani, “Pemasangan Kapasitor Bank untuk Perbaikan Faktor Daya,” *J. Electr. Technol.*, vol. Vol.2 No.3, pp. 31–35, 2017.
- [2] Lukman, A and Usnan, A. PT. Palm Oil Chemical Asri “Sistem Kelistrikan Pada Kapasitor Bank.” vol. 8, no. 2, pp. 23-34, 2015
- [3] S. N. Indonesia and B. S. Nasional, “Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) Amandemen 1,” vol. 2011, no. Puil, 2011.
- [4] A. Abadi, F. Teknik, U. Andalas, J. T. Elektro, F. Teknik, and U. Andalas, “Analisa Perbaikan Profil Tegangan Sistem Tenaga,” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 158–164, 2015.
- [5] A. Ghifari, A. Warsito, S. Handoko, P. T. Chandra, A. Petrochemical, and S. T. G. Steam, “Kelistrikan Pt . Chandra Asri Petrochemical , Tbk.”
- [6] Ahmad, D. “Analisi Pengaruh Perubahan Besaran Kapasitor Terhadap Arus Start Motor Induksi Satu Fasa,” *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 31–41, 2016.
- [7] Fitzgerald, A.E, Higginbotham, D.E, dan Silaban, P. (1981) , “*Dasar-Dasar Elektronik*,” Edisi Kelima Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [8] W. N. Hardiranto, “Analisa Optimasi Perbaikan Faktor Daya Dan Drop Tegangan Dengan Menggunakan Kapasitor Bank Pada Line 5 Pt Bukit

Asam (Persero) Tbk,” 2017.

- [9] *Schneider Electric* Indonesia, (2018). *Price List and Catalogue*, Jakarta
- [10] CATENARY, (2013). “Studi Kelayakan Investasi *Power* Kapasitor Pada Pelanggan Industri”. Press.<http://sistemlistrikaliranatas.blogspot.com/2013/02/studi-kelayakan-investasi-power.html?m=1> (diakses 10 September 2018)
- [11] DMCA, (2017). “Cara Menghitung NPV (*Net Present Value*)” Press.<http://caraharian.com/rumus-npv.html#> (diakses 2 September 2018)
- [12] Bursa Efek Indonesia, (2018). “Kurs Rupiah ke Dollar (Amerika)”. Press. <http://www.idx.co.id/> (diakses 1 Oktober 2018)

Tentang Penulis



Zulfikar Zailani, lahir di Hutarimbaru 21 Juni 1995. Menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 142620 Kotanopan Lulus tahun 2007 kemudian Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 4 Kotanopan Lulus tahun 2010 dan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK Swasta Teruna Padang Sidempuan Keahlian Teknik Audio Video Lulus tahun 2013. Kemudian melanjutkan Pendidikan Akademik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Program Studi Teknik Elektro Strata-1 Lulus pada tahun 2018. Penulis dapat dihubungi via email di : vikar_lubis@yahoo.com