

Analisa Kebutuhan Kapasitas Kapasitor Bank Untuk Menjaga Pasokan Tegangan Operasi Pada Bus Pompa Motor HCT Duri

Farisi Al Ayyubi, Dian Yayan Sukma

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email : farisialayyubi@gmail.com

ABSTRACT

PT. Chevron is one of the largest oil companies in the world. To be able to do maximum production, PT. Chveron need to make sure all goes well with the production facilities. One of the important production facilities is the delivery pumping motor. Duri operation area has 7 pumping motors to be installed with capacity of 550HP each of them. Each of individual pumping motor requires 4,16 kV which supplied by 13,8 kV of distribution network Prior to the installation, it is necessary to have a study to anticipate drop voltage or overvoltage case. This paper proposes capacitor banks installation approach. The approach uses several trial errors in the placement of capacitor in the respective bus within distribution network. The ETAP simulation result shows 4 buses with following configuration i.e bus 1 and bus 2 with 600 kVar, in the other case bus 3 and bus 4 with 300 kVar.

Keywords: Voltage drop, feeder distribution network, 13,8 kV and 4,16 kV network, capacitor bank

PENDAHULUAN

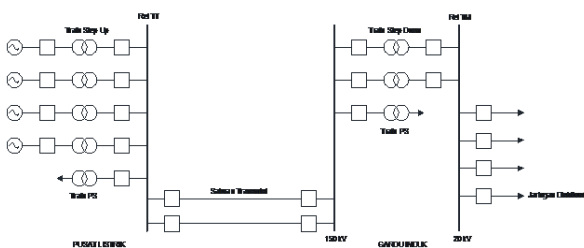
PT Chevron Pacific Indonesia adalah salah satu perusahaan minyak dan gas yang memiliki ladang minyak terbeser di Indonesia. Eksplorasi sumur minyak yang dilakukan menggunakan pompa listrik yang beroperasi 24 jam dalam sehari membutuhkan daya listrik yang kontinyu dengan kualitas baik. Salah satu hasil produksi PT. Chevron dikota adalah *hydrocarbon*. *Hydro carbon* adalah senyawa organik yang ditemukan pada minyak mentah. Pada dasarnya *hydro carbon* merupakan minyak mentah yang belum diolah. Pengolahan *hydro carbon* tidak dilakukan dikota duri, melainkan dikota dumai. Untuk dapat mengirim *hydro carbon* kekota dumai, PT. Chevron menggunakan transportasi melalui pipa minyak. Fasilitas untuk mengirim *hydro carbon* melalui pipa minyak disebut *Hydro Carbon Transport (HCT)*. Dengan bertambahnya produksi produksi *hydro carbon*, maka diperlukan fasilitas tambahan HCT. Penambahan HCT ini dilakukan disalah satu daerah dikota duri yang telah ditentukan. Dengan adanya rencana penambahan

fasilitas HCT ini diperlukan rancangan instalasi komponen utama HCT. HCT menggunakan pompa motor listrik untuk dapat mengirimkan *hydro carbon* melalui pipa dari kota duri ke kota dumai. Dengan dibutuhkannya instalasi motor listrik maka harus dilakukan perhitungan serta perancangan jaringan baru untuk dapat mensuplai daya listrik yang dibutuhkan. Karakteristik beban pompa motor yang akan digunakan HCT bersifat induktif. Pompa motor yang akan digunakan bertegangan 4,16 kV. Karena tegangan operasi pompa motor 4,16 kV dan sumber daya untuk jaringan HCT ini ditarik dari bus 13,8 kV, diperlukan trafo step down. Untuk menyambungkan jaringan bus 13,8 kV ke 4,16 digunakan penampang saluran sepanjang 1,5 km. Akibat dari pemasangan pompa motor yang bersifat induktif akan mempengaruhi besar $\cos \phi$ yang berujung dengan jatuhnya tegangan pada jaringan. Untuk dapat mengatasi jatuh tegangan tidak sampai dibawah batas toleransi tegangan jaringan perlu dilakukan perbaikan tegangan. Adapun metode perbaikan tegangan akibat beban induktif adalah dengan pemasangan kapasitor bank.

BAHANDANMETODE

Komponen Sistem Distribusi

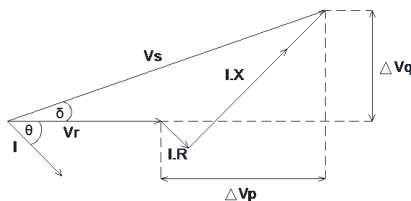
Sistem tenaga listrik terdiri dari tiga komponen utama, yaitu pembangkitan tenaga listrik, transmisi dan distribusi. Setelah tenaga listrik dibangkitkan dalam pusat listrik, maka tenaga listrik ini disalurkan (ditransmisikan) lalu didistribusikan kepada para konsumen tenaga listrik. Proses penyediaan tenaga listrik bagi para konsumen ini secara singkat digambarkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Proses Penyediaan Tenaga Listrik (Pembangkitan dan Penyaluran)

Jatuh Tegangan

Umumnya beban yang terdapat pada sistem tenaga listrik bersifat resistif dan induktif. Beban tersebut akan menyerap daya aktif dan daya reaktif yang dihasilkan dari pusat sumber listrik. Penyerapan daya reaktif yang diakibatkan oleh beban induktif akan menyebabkan timbulnya jatuh tegangan yang dihasilkan dari pusat sumber listrik. Akibatnya nilai tegangan di sisi penerima akan berbeda dengan nilai tegangan di sisi pengirim. Persamaan jatuh tegangan dapat dilihat pada gambar 2 dibawah ini



Gambar 2. Diagram Fasor Jatuh Tegangan

$$V_s^2 = (V_r + \Delta V_p)^2 + (\Delta V_q)^2 \quad (1)$$

Keterangan :

V_s = tegangan di sisi pengirim

V_r = tegangan di sisi penerima

ΔV_p = Tegangan jatuh

dimana :

$$\Delta V_p = IR \cos \theta + IX \sin \theta \quad \text{dan} \quad (2)$$

$$\Delta V_q = IX \cos \theta - IR \sin \theta \quad (3)$$

Sehingga persamaan tegangan di sisi pengirim (V_s) menjadi :

$$V_s^2 = (V_r + IR \cos \theta + IX \sin \theta)^2 + (IX \cos \theta - IR \sin \theta)^2 \quad (4)$$

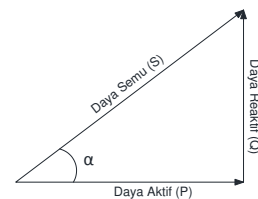
Karena nilai $\Delta V_q = IX \cos \theta - IR \sin \theta$ sangat kecil, maka nilai tersebut dapat diabaikan. Sehingga persamaan V_s^2 menjadi :

$$V_s^2 = (V_r + \Delta V_p)^2 \quad (5)$$

$$\Delta V_p = IR \cos \theta + IX \sin \theta \quad (6)$$

Faktor Daya

Dalam rangkaian listrik, biasanya terdapat tiga macam beban listrik yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Beban resistif adalah beban yang hanya terdiri dari tahanan dalam satuan ohm dan daya yang dikonsumsi hanya daya aktif saja. Beban induktif mempunyai ciri-ciri disamping mengkonsumsi daya aktif, juga menyerap daya reaktif yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet dalam beban tersebut, jadi jumlah vektor dari daya reaktif (Q) dan daya aktif (P) biasa disebut dengan daya semu (S) seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Vektor diagram segitiga daya

Dari Gambar 3 daya semu = S, sehingga

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (7)$$

Dan diperoleh juga rumus untuk segitiga daya :

$$P = VI \cos \varphi ; Q = VI \sin \varphi ; S = VI \quad (8)$$

Perbandingan antara daya aktif dengan daya semu disebut faktor daya.

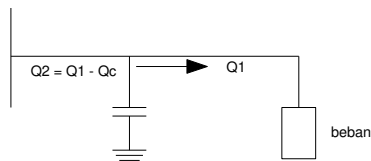
$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (9)$$

Perbaikan Faktor Daya

Meningkatkan faktor daya dapat dilakukan dengan memasang kapasitor bank pada jaringan, kapasitor memiliki sifat alami untuk menyimpan muatan listrik ketika dialiri arus sehingga muatan yang terkumpul akan menimbulkan tegangan listrik. Muatan yang terkumpul memiliki cadangan daya reaktif yang sangat tinggi. Sehingga jika suatu waktu jaringan membutuhkan pasokan daya reaktif, kapasitor bisa memberikan cadangan yang dimiliki pada jaringan yang membutuhkan.

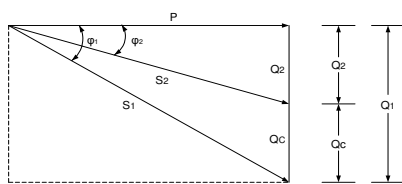
Kapasitor sebagai Perbaikan Jatuh Tegangan

Jika suatu *feeder* melayani beban induktif dengan faktor daya *lagging* (terbelakang), dengan faktor daya yang rendah akan menambah daya terpasang (kVA) yang lebih tinggi untuk kebutuhan daya aktif yang konstan. Diagram pemasangan kapasitor dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini



Gambar 4 Diagram pemasangan kapasitor

Kapasitor mengambil daya reaktif leading dari sumber dan dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5 Diagram segitiga daya reaktif

Keterangan :

P = Daya aktif (Watt)

Q1 = Daya reaktif awal (VAR)

Q2 = Daya reaktif yang diinginkan (VAR)

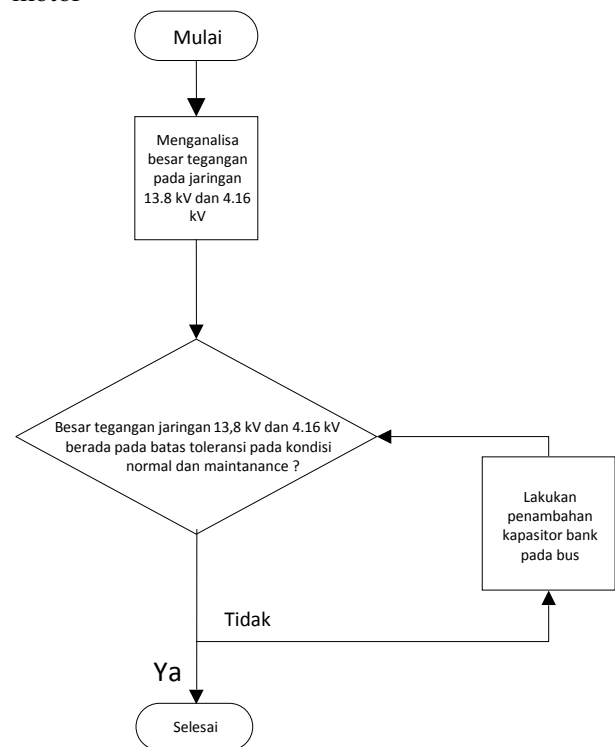
Qc = Daya reaktif yang perlu ditambahkan (VAR)

$\tan \phi_1$ = tangen sudut faktor daya awal

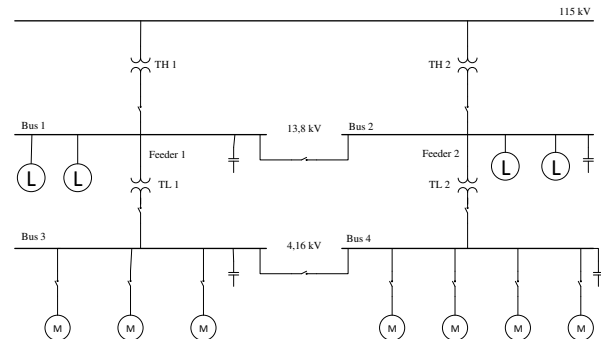
$\tan \phi_2$ = tangen sudut faktor daya yang diinginkan

Metode Penelitian

Flowchart penelitian pemasangan pompa motor



Gambar 6 Flowchart Penelitian



Gambar 7 Single Line Diagram Jaringan Setelah penambahan pompa motor

Simulasi Motor Starting

Simulasi motor starting pada aplikasi ETAP merupakan simulasi beban motor saat starting pada jaringan. Perbedaan simulasi motor starting dengan *load flow* terletak pada operasi motor. Pada simulasi *motor starting* beban motor tidak dianggap konstan, melainkan memiliki beban sendiri. Pada simulasi ini motor berjalan menurut beban inerti dan kurva beban yang telah disetting. Mengakibatkan beban motor akan memiliki arus tarik awal dan seiring slider waktu dijalankan pompa akan berada pada kondisi *steady state*.

simulasi ini memiliki slider yang menunjukkan waktu dalam hitungan detik.

Simulasi *motor starting* dilakukan dengan beberapa urutan *starting*. Motor pompa pertama akan *starting* dilanjutkan dengan motor kedua disaat motor pertama telah mencapai arus stabilnya. *Starting* motor kedua akan dimulai setelah jeda beberapa detik. Begitu juga selanjutnya. Berikut adalah perbedaan waktu *starting* motor 1 ke *starting* motor berikutnya.

Simulasi ini dilakukan untuk dapat mendapatkan data besar tegangan bus pada saat pompa motor berjalan.

Kondisi Simulasi Motor Starting

Simulasi motor *starting* dilakukan pada 2 kondisi untuk dapat menentukan kapasitas kapasitor bank yang diperlukan agar tegangan bus 13,8 kV tidak jatuh lebih dari 2% dan tegangan bus motor 4,16 kV tidak jatuh lebih dari 3%. 2 kondisi ini adalah pada kondisi normal dan pada kondisi terburuk jaringan. Kondisi terburuk jaringan adalah pada saat jaringan mengalami kerusakan pada alat listriknya, yaitu rusaknya trafo TH 1 dan TL 2.

Pemasangan dan Penentuan Kapasitas Kapasitor Bank

Pemasangan kapasitor bank ditempatkan pada bus jaringan, yaitu pada bus 1, bus 2, bus 3, dan bus 4. Penempatan kapasitor bank dilakukan pada bus dikarenakan kapasitor dipasangkan bersama kontrol agar dapat diatur pengaktifannya oleh kontrol. Kapasitas kapasitor bank ditentukan besarnya dengan metode *trial* dan *error*.

HASIL

Besar Tegangan Bus Pada Kondisi Normal

Pada kondisi normal, jaringan berjalan sebagaimana mestinya. semua trafo dapat mensuplai bebannya masing - masing. Pada kondisi ini tegangan jaringan bus tidak mengalami jatuh tegangan yang begitu signifikan. Namun pada saat 5 dan 6 motor berjalan, bus 3 dan bus 4 mengalami jatuh tegangan yang melebihi standarnya. Berikut tabel data besar tegangan pada kondisi normal 1 motor menyala sampai dengan 6 motor menyala :

Tabel 1 Besar tegangan bus pada kondisi 1 dengan 1 motor ON

| Bus | Tanpa kapasitor |
|-----|-----------------|
| | Tegangan (kV) |
| 115 | 115 |
| 1 | 13,708 |
| 2 | 13,749 |
| 3 | 4,098 |
| 4 | 4,145 |

Tabel 2 Besar tegangan bus pada kondisi 1 dengan 2 motor ON

| Bus | Tanpa kapasitor |
|-----|-----------------|
| | Tegangan (kV) |
| 115 | 114,9 |
| 1 | 13,705 |
| 2 | 13,713 |
| 3 | 4,097 |
| 4 | 4,1 |

Tabel 3 Besar tegangan bus pada kondisi 1 dengan 3 motor ON

| Bus | Tanpa kapasitor |
|-----|-----------------|
| | Tegangan (kV) |
| 115 | 114,9 |
| 1 | 13,669 |
| 2 | 13,71 |
| 3 | 4,054 |
| 4 | 4,099 |

Tabel 4 Besar tegangan bus pada kondisi 1 dengan 4 motor ON

| Bus | Tanpa kapasitor |
|-----|-----------------|
| | Tegangan (kV) |
| 115 | 114,9 |
| 1 | 13,666 |
| 2 | 13,674 |
| 3 | 4,053 |
| 4 | 4,056 |

Tabel 5 Besar tegangan bus pada kondisi 1 dengan 5 motor ON

| Bus | Tanpa kapasitor | | Dengan kapasitor | |
|-----|-----------------|------------------|------------------|--|
| | Tegangan (kV) | Jumlah kapasitor | Tegangan (kV) | |
| 115 | 114,9 | | 114,9 | |
| 1 | 13,632 | 0 | 13,652 | |
| 2 | 13,671 | 0 | 13,671 | |
| 3 | 4,013 | 1 | 4,038 | |
| 4 | 4,055 | 0 | 4,055 | |

Tabel 2 Besar tegangan bus pada kondisi 6 dengan 2 motor ON

| Bus | Tanpa kapasitor | | Dengan kapasitor | |
|-----|-----------------|------------------|------------------|--|
| | Tegangan (kV) | Jumlah kapasitor | Tegangan (kV) | |
| 115 | 114,9 | | 114,9 | |
| 1 | 13,158 | 12 | 13,531 | |
| 2 | 13,158 | 12 | 13,531 | |
| 3 | 3,904 | 4 | 4,16 | |
| 4 | 3,904 | 3 | 4,16 | |

Tabel 6 Besar tegangan bus pada kondisi 1 dengan 6 motor ON

| Bus | Tanpa kapasitor | | Dengan kapasitor | |
|-----|-----------------|------------------|------------------|--|
| | Tegangan (kV) | Jumlah kapasitor | Tegangan (kV) | |
| 115 | 114,8 | | 114,8 | |
| 1 | 13,629 | 0 | 13,649 | |
| 2 | 13,638 | 0 | 13,658 | |
| 3 | 4,012 | 1 | 4,037 | |
| 4 | 4,014 | 1 | 4,039 | |

Tabel 3 Besar tegangan bus pada kondisi 6 dengan 3 motor ON

| Bus | Tanpa kapasitor | | Dengan kapasitor | |
|-----|-----------------|------------------|------------------|--|
| | Tegangan (kV) | Jumlah kapasitor | Tegangan (kV) | |
| 115 | 114,9 | | 114,9 | |
| 1 | 13,118 | 12 | 13,529 | |
| 2 | 13,118 | 13 | 13,529 | |
| 3 | 3,86 | 4 | 4,145 | |
| 4 | 3,86 | 4 | 4,145 | |

Besar Tegangan Kondisi *Maintenance*

Kondisi *maintanance* merupakan kondisi dimana trafo pada jaringan sedang mengalami kerusakan maupun perawatan. Sehingga trafo tidak dapat digunakan. Pada kondisi ini trafo TH 1 dan TL 2 dianggap tidak beroperasi. Dan beban trafo yang tidak beroperasi ini dialihkan ke trafo TH 2 dan TL 1. Pengalihan beban ini mengakibatkan terjadinya jatuh tegangan yang signifikan pada jaringan. Penggunaan kapasitor bank sangat diperlukan untuk dapat memperbaiki tegangan. Berikut adalah tabel besar tegangan bus pada kondisi *maintanance*:

Tabel 1 Besar tegangan bus pada kondisi 6 dengan 1 motor ON

| Bus | Tanpa kapasitor | | Dengan kapasitor | |
|-----|-----------------|------------------|------------------|--|
| | Tegangan (kV) | Jumlah kapasitor | Tegangan (kV) | |
| 115 | 115 | | 115 | |
| 1 | 13,195 | 12 | 13,527 | |
| 2 | 13,195 | 12 | 13,527 | |
| 3 | 3,947 | 3 | 4,151 | |
| 4 | 3,947 | 2 | 4,151 | |

Tabel 4 Besar tegangan bus pada kondisi 6 dengan 4 motor ON

| Bus | Tanpa kapasitor | | Dengan kapasitor | |
|-----|-----------------|------------------|------------------|--|
| | Tegangan (kV) | Jumlah kapasitor | Tegangan (kV) | |
| 115 | 114,9 | | 114,9 | |
| 1 | 13,077 | 13 | 13,53 | |
| 2 | 13,077 | 13 | 13,53 | |
| 3 | 3,814 | 5 | 4,152 | |
| 4 | 3,814 | 5 | 4,152 | |

Tabel 5 Besar tegangan bus pada kondisi 6 dengan 5 motor ON

| Bus | Tanpa kapasitor | | Dengan kapasitor | |
|-----|-----------------|------------------|------------------|--|
| | Tegangan (kV) | Jumlah kapasitor | Tegangan (kV) | |
| 115 | 114,9 | | 114,8 | |
| 1 | 13,033 | 13 | 13,53 | |
| 2 | 13,033 | 13 | 13,53 | |
| 3 | 3,765 | 6 | 4,158 | |
| 4 | 3,765 | 6 | 4,158 | |

Tabel 6 Besar tegangan bus pada kondisi 6 dengan 6 motor ON

| Bus | Tanpa kapasitor | | Dengan kapasitor | |
|-----|-----------------|------------------|------------------|--|
| | Tegangan (kV) | Jumlah kapasitor | Tegangan (kV) | |
| 115 | 114,8 | | 114,8 | |
| 1 | 12,987 | 13 | 13,528 | |
| 2 | 12,987 | 13 | 13,528 | |
| 3 | 3,715 | 7 | 4,163 | |
| 4 | 3,715 | 7 | 4,163 | |

PEMBAHASAN

Dari hasil data simulasi motor starting untuk 2 kondisi pada jaringan yang ada diatas, dapat dilihat jaringan tidak berjalan sesuai dengan syarat jatuh tegangan yang ada. Demi menjaga kestabilan tegangan yang memenuhi standar diperlukan kapasitor bank. Jumlah maksimal kapasitor untuk setiap bus sudah dapat dipastikan dari simulasi yang telah dilakukan. Berikut jumlah kapasitor bank untuk masing - masing bus :

1. Bus 1 dipasangkan 13 kapasitor bank dengan kapasitas 600 kVar per banknya;
2. Bus 2 dipasangkan 13 kapasitor bank dengan kapasitas 600 kVar per banknya;
3. Bus 3 dipasangkan 8 kapasitor bank dengan kapasitas 300 kVar per banknya;
4. Bus 4 dipasangkan 8 kapasitor bank dengan kapasitas 300 kVar per banknya;

Kapasitor bank dipasangkan disetiap bus tidak langsung terhubung ke jaringan, melainkan diatur melalui kontrol panel. Pada skripsi tidak dilakukan pengontrolan namun dilakukan simulasi trial error yang diasumsikan bekerja seperti kontrol demi menjaga konfigurasi banyak kapasitor yang terhubung pada jaringan agar jaringan tidak jatuh melebihi batas yang diharapkan dan juga tidak terjadi *overvoltage*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan pemasangan pompa motor dan perbaikan tegangan menggunakan kapasitor bank, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kapasitas trafo step down yang digunakan adalah sebesar 3,75 MVA
2. Kapasitas kapasitor bank pada bus 1 dan 2 adalah sebesar 600 kVar. Kapasitor yang dipasang pada bus 1 berjumlah 13 unit dan

kapasitor yang dipasang pada bus 2 berjumlah 13 unit.

3. Kapasitas kapasitor bank pada bus 3 dan bus 4 adalah sebesar 300 kVar. Kapasitor yang dipasang pada bus 3 berjumlah 8 unit dan pada bus 4 berjumlah 8 unit.

SARAN

Adapun saran yang dapat penulis berikan adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pembahasan kontrol kapasitor bank dan skema operasi kontrolnya.
2. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan pembahasan proteksi pada jaringan feeder baru pompa motor.

DAFTAR PUSTAKA

- Chevron, 2011. *ELC-DC-5135-A GENERAL ELECTRICAL DESIGN FOR ONSHORE FACILITIES*, USA
- Elfrida Sianipar, 2011. *Studi Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Pada PT. PLN (Persero) Rayon Medan Kota*, Medan: Skripsi USU.
- IKetut Suryawan, Anak Agung Ngurah Made Narottama, Kadek Amerta Yasa, 2012. *Optimasi Desain Bank Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya Berbasis Assesmen Stokastik Menggunakan Genetic Algorithm*, Jurnal Logic Volume 12, No.3.
- Tarsin Saragih, 2011. *Analisis Penempatan Optimal Bank Kapasitor Pada Sistem Distribusi Radial Dengan Metode Genetik Algorithm Aplikasi : PT. PLN (Persero) Cabang Medan*, Medan: tesis USU.
- Tim, 2006. *Modul-3 PGT* . Duri: PT. Chevron Pacific Indonesia.