

Perancangan Sistem Kelistrikan Pengelolaan Air Terproduksi Studi Kasus W.T.I.P Kawengan PT. Pertamina EP Region Jawa

Mahmud Fauzi Isworo¹, Tejo Sukmadi², Karnoto²

1. Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
2. Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

Abstract

Fasilitas Pengolahan Air terpadu (WTIP) merupakan fasilitas penting dalam industri minyak bagian hulu. Dalam fasilitas ini digunakan beberapa motor induksi yang berfungsi untuk menggerakkan pompa, mengaduk isi tangki dan fungsi penting lainnya. Sumber kelistrikan diperoleh dari Generator-set berbahan bakar diesel dan lepas dari sumber PLN, hal ini dikarenakan letak plant yang tidak memungkinkan untuk memasang jaringan ke PLN. Dalam perancangan sistem kelistrikan harus dibuat suatu skenario terburuk yang mungkin terjadi. Skenario terburuk yang mungkin terjadi adalah starting motor terbesar saat kondisi sistem dalam keadaan bekerja. Perhitungan kapasitas daya pembangkit yang harus disediakan harus memperhatikan skenario terburuk tersebut. Setelah dilakukan perhitungan secara manual maka system yang sudah dibuat disimulasikan menggunakan software ETAP versi 6.0 untuk memastikan system tersebut dapat bekerja secara optimal atau tidak. Dengan adanya hasil simulasi tersebut diharapkan sistem kelistrikan fasilitas pengolahan air terpadu dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Selain itu juga diharapkan dapat membuat perancangan sistem menjadi lebih efektif dan efisien.

Keyword : *Water Treatment and Injection Plant (WTIP), ETAP, Worst scenario.*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

W.T.I.P. atau *Water Treatment and Injection Plant* adalah fasilitas pengelolaan air terproduksi yang digunakan dalam Plant pengeboran minyak. Fasilitas ini mengolah air yang keluar dari dalam perut bumi karena adanya pengeboran dan memisahkan air tersebut dari polutan-polutan yang mungkin larut saat proses pengeboran. Air hasil pengolahan ini akan di masukkan lagi ke dalam perut bumi untuk memancing minyak keluar ke permukaan. Fasilitas tersebut dibuat karena adanya peraturan terbaru dari BP Migas tentang air yang keluar ke permukaan karena adanya proses pengeboran minyak harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan, hal ini bertujuan supaya air tersebut tidak berpotensi mencemari lingkungan. Lokasi Fasilitas Pengelolaan Air Terproduksi (W.T.I.P) Lapangan Kawengan PT. PERTAMINA EP Region Jawa” dengan kapasitas 15.000 BWPD”, tersebut berada di Distrik I Kawengan, PT PERTAMINA EP Region Jawa, Field Cepu, Kabupaten Bojonegoro, provinsi Jawa Timur. Jarak tempuh ke lokasi sekitar 22 km ke arah timur laut dari kota Cepu.

Sistem kelistrikan yang akan dibangun dalam fasilitas pengolahan air terproduksi diantaranya instalasi tenaga, instalasi penerangan, penangkal petir dan pentanahan. Dalam instalasi tenaga faktor yang paling diperhatikan adalah jumlah daya yang harus disediakan pembangkit agar dapat menyuplai semua beban yang ada. Selain itu permasalahan lain yang perlu diperhatikan adalah kondisi starting motor – motor induksi dan sistem proteksi peralatan listrik yang digunakan.

Perencanaan sistem kelistrikan yang akan dibuat diantaranya mencakup penentuan kapasitas generator yang akan digunakan karena sistem terlepas dari sumber PLN, penentuan penghantar yang digunakan untuk generator, motor, dan penerangan, penentuan system proteksi peralatan

yang digunakan meliputi penentuan kapasitas pemutusan breaker dan setting arusnya, perancangan sistem penerangan dan outlet, perancangan instalasi petir dan pentanahan, dan penentuan jenis serta panjang kabel tray atau trench yang diperlukan.

1.2. Tujuan

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Merancang sistem kelistrikan fasilitas pengolahan air terpadu W.T.I.P Kawengan
2. Memahami pemilihan kapasitas generator yang akan digunakan
3. Memahami penentuan sistem proteksi yang meliputi penentuan kapasitas pemutusan breaker dan setting arus breaker
4. Memahami penentuan ukuran penghantar yang digunakan untuk instalasi tenaga dan instalasi penerangan
5. Mengevaluasi sistem kelistrikan di W.T.I.P Kawengan.

1.3. Pembatasan masalah

Pembahasan dalam penelitian ini dibatasi oleh :

1. Perhitungan kapasitas generator yang digunakan menggunakan perhitungan manual, dan untuk memastikan generator tersebut dapat menyuplai beban yang disimulasikan menggunakan software ETAP versi 6.0.
2. Perencanaan skenario terburuk (worst scenario) pada sistem kelistrikan fasilitas pengolahan air terpadu WTIP Kawengan adalah saat starting motor terbesar yang menggunakan metode bintang-delta berjalan secara tiba – tiba dimana semua beban dalam sistem sedang beroperasi.
3. Perhitungan ukuran penghantar dilakukan secara manual dan untuk memastikan voltage drop pada

penghantar tersebut sesuai dengan batasan yang ditentukan digunakan software ETAP versi 6.0.

- Perhitungan besarnya arus gangguan dilakukan menggunakan cara manual dan dilakukan perbandingan dengan software ETAP versi 6.0.
- Perencanaan instalasi penangkal petir, grounding dan penerangan tidak dibahas secara mendalam.

II. DASAR TEORI

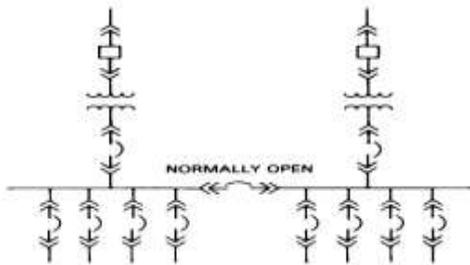
2.1 Perancangan Sistem Kelistrikan

Perancangan sistem kelistrikan yang baik harus mempertimbangkan syarat-syarat sebagai berikut ini;

- Sistem harus aman untuk manusia di sekitar sistem
- Suplai daya listrik yang handal
- Sistem distribusi yang handal
- Kemudahan operasi dan perawatan
- Tegangan kerja sesuai dengan beban dan rugi-rugi tegangan sesuai dengan batas yang ditentukan

2.2. Diagram satu garis (Single line diagram dan Load Schedule (penjadwalan beban))

Diagram satu garis harus memperlihatkan secara jelas bentuk sistem dan karakteristik tiap beban, jenis skema yang digunakan adalah secondary selective yang merupakan sistem radial yang diperluas, skema jaringan sebagai berikut;



Gambar 2.1 sistem secondary selective

Penjadwalan beban (*Load Schedule*) adalah pengelompokan beban berdasarkan kriteria tertentu diantaranya; keamanan dan tugas. Berdasarkan tugas beban dikelompokkan menjadi tiga yaitu kontinu, intermitten, dan standby.

Beban puncak (TPPL) dan beban normal (TPRL) dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut;

$$TPRL = \sum_{j=1}^n (D_c C_{sumj} + D_i I_{sumj}) \text{ kW} \quad (2.1)$$

$$TPPL = \sum_{j=1}^n (D_c C_{sumj} + D_i I_{sumj} + D_s S_{sumj}) \text{ kW}$$

Dimana;

D_c = Faktor diversitas beban kontinu

D_i = Faktor diversitas beban intermitten

D_s = Faktor diversitas beban standby

C_{sum} = Total beban kontinu

I_{sum} = Total beban Intermitten

S_{sum} = Total beban Standby

n = Jumlah switchboard

Untuk menentukan kapasitas generator yang digunakan harus diketahui terlebih dahulu faktor kebutuhan siste, yang dirumuskan sebagai berikut;

$$DF = \frac{\text{beban maksimum}}{\text{beban terpasang}} \quad (2.3)$$

Kapasitas generator dirumuskan sebagai berikut^[11];

$$S = \frac{P_L}{\eta \times \cos \phi} \times DF \quad (2.4)$$

dimana;

S = Kapasitas generator (kVA)

P_L = Beban sistem (kW)

η = Efisiensi (jika tidak diketahui diasumsikan 85%)

$\cos \phi$ = Faktor daya (jika tidak diketahui diasumsikan 0,8)

DF = faktor kebutuhan

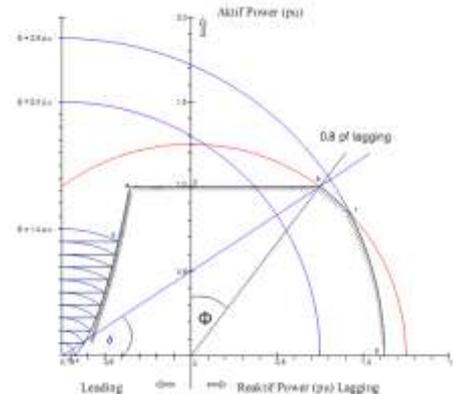
Nilai kapasitas tersebut dikalikan dengan 110% untuk mengantisipasi overloading generator.

2.3 Gen-set

Gen-set merupakan suatu alat pembangkit tenaga listrik berpengerak mula mesin diesel. Satu set gen-set terdiri atas;

- Penggerak mula
- Generator
- AMF (automatic main failure) dan ATS (automatic transfer switch)
- Baterai dan baterai charger
- Panel ACOS (Automatic change over switch)
- Pengaman untuk peralatan
- Perlengkapan instalasi tenaga

Kinerja generator dapat dilihat pada kurva operasi generator tersebut. Apabila masih dalam kawasan kerja maka generator tersebut masih stabil. Kurva operasi generator seperti terlihat pada gambar dibawah ini;



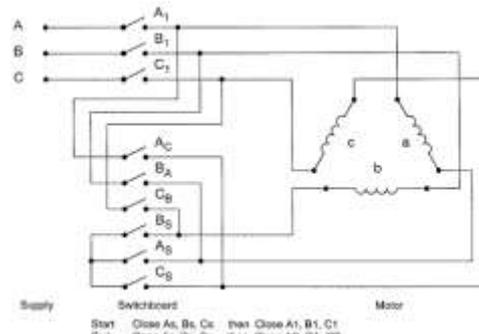
Gambar 2.2 Kurva karakteristik operasi generator

2.3 Motor Induksi

Merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan dalam industri. Prinsip kerja motor induksi adalah adanya induksi elektromagnetik dari stator ke rotor. Stator adalah induksi yang tidak bergerak, dan rotor adalah bagian yang berputar. Hal yang paling diamati dalam suatu sistem adalah jalan mula motor induksi. Karena saat jalan mula motor dapat menyerap arus sampai 7 (tujuh) kali arus nominal. Ada beberapa metode untuk mengatasi hal tersebut, diantaranya metode star-delta, softstart, reactor seri dan konderfer autotransformer;

- Metode Star-delta

Skema dari metode ini dapat dilihat pada gambar 2.12 berikut ini



Gambar 2.3 Skema jalan mula star-delta

Kumparan stator diatur sedemikian rupa sehingga dapat dinyalakan dan dimatikan oleh terminal box, kumparan tersebut disambungkan dengan kabel sehingga membentuk konfigurasi seperti pada gambar diatas.

2.4 Kabel

Fungsi utama dari kabel adalah menyalurkan energi listrik dari sumber ke beban. Kabel yang digunakan dalam industri terbagi menjadi dua yaitu kabel daya dan kabel kontrol. Kabel daya digunakan untuk menghantarkan daya ke beban, sedangkan kabel kontrol menghubungkan beban ke sistem instrument. Pemilihan kabel yang digunakan menentukan besarnya rugi – rugi yang mungkin terjadi dalam penyaluran tenaga listrik. Pemilihan kabel harus memperhatikan beberapa hal berikut ini;

- a. Kemampuan kabel menghantar arus (KHA),
- b. Batas susut tegangan (*voltage drop*) yang diperbolehkan
Besarnya batas yang diperbolehkan mengacu pada standar yang digunakan, berdasarkan PUIL 2000^[1] besarnya susut tegangan yang diperbolehkan adalah 5 % dan untuk jalan mula motor sebesar 20 (ohm/m)
- c. Daya tahan terhadap hubung singkat
Saat terjadi gangguan arus hubung singkat akan menyebabkan pemanasan dalam penghantar yang digunakan. Kabel yang digunakan harus mampu menahan panas yang ditimbulkan oleh gangguan tersebut sampai sistem proteksi bekerja memutus saluran yang mengalami gangguan.

2.5 Sistem Proteksi

Sistem proteksi harus bisa memutuskan arus terbesar yang mungkin terjadi, metode perhitungan kapasitas dan besarnya arus gangguan adalah sebagai berikut;

Dalam menghitung besarnya kapasitas pemutusan circuit breaker pada sistem tegangan rendah hal yang perlu diperhatikan adalah besarnya gangguan *1/2 cycle network*, berikut adalah langkah – langkah mengetahui kapasitas pemutusan circuit breaker;

- a. Hitung arus pemutusan rms simetris hubung singkat dengan persamaan;

$$I_{int,rms,sym} = \frac{V_{pre\ fault}}{Z_{eq}}$$

Dimana Z_{eq} adalah impedansi total $1/2$ siklus

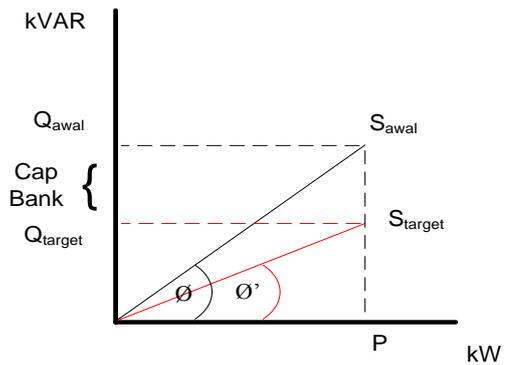
- b. Hitung arus rms asimetris hubung singkat dengan persamaan;

$$I_{int,rms,adj} = MF \cdot I_{int,rms,sym}$$

Dimana MF adalah faktor pengali yang ditentukan berdasarkan perbandingan X/R sistem dengan X/R standard.

2.6 Kompensator Daya Reaktif

Beban sistem yang hampir semuanya bersifat induktif akan menyebabkan rendahnya faktor daya sistem dan rugi harmonisa yang cukup besar. Untuk mengurangi hal tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan kompensator daya reaktif yang dapat berupa capacitor bank. Prinsip kerja dari kapasitor ini adalah menaikkan faktor daya sesuai dengan yang diinginkan. Perhitungan besarnya kVAR kompensator yang harus ditambahkan dicari dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut^[10];



Gambar 2.4 Cara mencari kompensator VAR

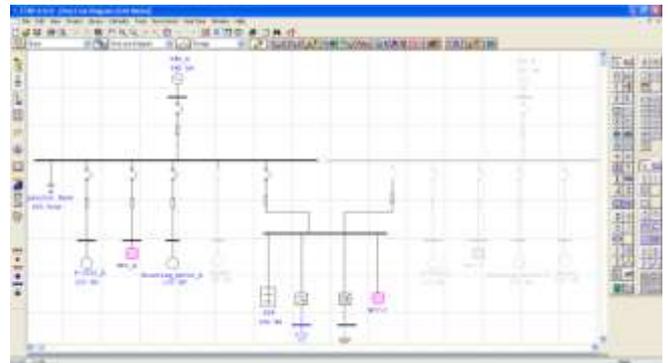
Pada gambar 2.23 dapat dilihat hubungan antara daya aktif, reaktif, dan semu, sehingga kompensator yang dibutuhkan adalah;

$$\begin{aligned} \text{kVAR target} &= \text{daya aktif} \cdot (\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2) \\ &= (\text{kW}) (\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2) \\ &= (\text{kW}) (\Delta \tan) \end{aligned}$$

2.7 Etap

Dalam merancang suatu sistem tenaga listrik perlu dilakukan simulasi terhadap sistem yang akan dibuat, hal ini dapat membantu engginer mempermudah menganalisa sistem tersebut handal atau tidak. Perangkat lunak yang bisaa digunakan untuk simulasi sistem tenaga listrik salah satunya adalah ETAP. Perangkat lunak tersebut dikembangkan oleh perusahaan operation technology inc, dan mengalami perubahan versi dari tahun ke tahun.

Tampilan perangkat lunak ETAP secara umum dapat melihat gambar 2.27, seperti terlihat dalam gambar terdapat beberapa toolbar seperti yang telah dijelaskan diatas. Untuk menampilkan hasil simulasi dapat melihat dalam toolbar result/hasil.

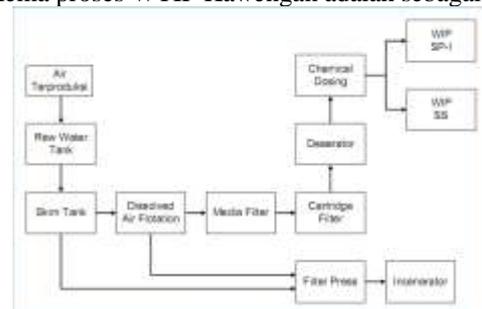


Gambar 2.5 Tampilan ETAP secara umum.

III. PENGUMPULAN DATA DAN PERENCANAAN SISTEM

3.1 WTIP Kawengan CEPU

Skema proses WTIP Kawengan adalah sebagai berikut;

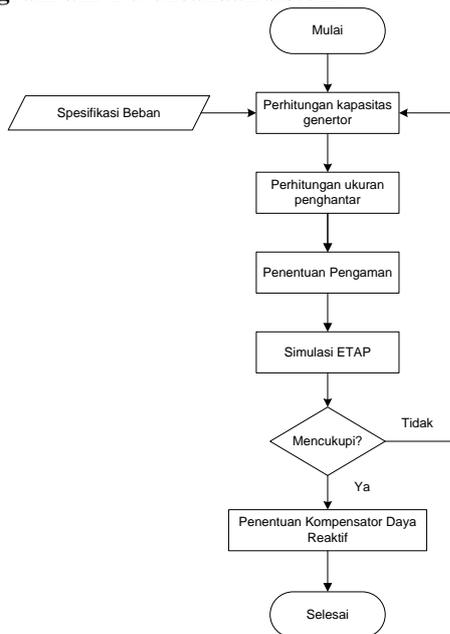


Gambar 3.1 Skema proses WTIP Kawengan

Air Terproduksi merupakan air yang akan diolah di WTIP, air ini berasal dari kegiatan pengeboran minyak bumi. Air terproduksi masuk ke raw water tank fungsi tangki ini adalah untuk menampung air terproduksi. Setelah itu air akan masuk ke skim Tank, dimana pada tangki ini terjadi proses penyaringan output dari tangki ini ada dua yaitu air dan kotoran hasil saringan. Air akan ditransfer ke proses berikutnya yaitu *dissolved air flotation* yang berfungsi memisahkan minyak dan padatan solid dalam raw water produced sebelum diinjeksikan ke sumur sedangkan kotoran hasil saringan akan masuk ke filter press dan kemudian dibakar. Air hasil penyaringan akan disaring lagi di dua proses berikutnya yaitu di media filter dan cartridge filter. Setelah itu air tersebut akan dicampurkan dengan berbagai bahan kimia agar air tersebut sesuai dengan standar yang ditetapkan. Adapaun standar air hasil pengolahan yang diinginkan adalah:

- Debit Treated Produced Water : 15.000 BWPD
- pH : 7 - 9
- TSS : ≤10 mg/l
- Turbidity : ≤ 5 NTU
- Oxygen content : < 50 ppb
- Oil Content : ≤ 25 ppm
- SRB : ≤ 10

3.2 Diagram alir Perencanaan sistem



Gambar 3.2 Diagram alir perencanaan sistem kelistrikan W.T.I.P Kawangan

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemilihan Kapasitas Generator

Besarnya faktor diversitas untuk kontinu = 1, intermitten = 0,5 dan standby = 0,1. Berdasarkan data pada tabel 4.1 dan 4.2 maka besarnya TPPL dan TPRL sistem adalah sebagai berikut^[2],

Tabel 4.1 Data beban vital

Jenis - Jenis Beban switchboard Vital					
Nama Beban	Jumlah	Namplate (kW)	Kontinu (kW)	Intermittent (kW)	Standby (kW)
TREATED WATER PUMP	2	110	110		110

EXISTING OIL TRANSFER PUMP OIL CATCHER	2	110	110		110
TRANSFER PUMP FILTER PRESS PACKAGE CONVEYOR	1	1.1	1.1		
PACKAGE CONVEYOR	1	5.5	5.5		
PACKAGE CONVEYOR	1	7.5	7.5		
AGITATOR MIXING TANK	1	0.5	0.5		
AGITATOR FLOCCULANT	1	7.5	7.5		
AGITATOR MIXING TANK	1	0.5	0.5		
AIR COMPRESSOR SDP (LIGHTING,SPACE HEATER, POWER OUTLET)	1	29.45	29.45		
DC RECTIFIER	1	5	5		
UPS	1	9	9		
JUMLAH			291.55	0	220

Tabel 4.2 Data beban esensial

Jenis - Jenis Beban switchboard esensial					
Nama Beban	Jumlah	Namplate (kW)	Continous (kW)	Intermittent (kW)	Standby (kW)
INTAKE PUMP	2	15	15		15
RAW PRODUCED WATER PUMP	2	11	11		11
SKIM TRANSFER PUMP	2	11	11		11
SATURATION PUMP	2	15	15		15
MEDIA FILTER PUMP	2	37	37		37
MF BACKWASH PUMP	2	55		55	55
BUFFER PUMP	2	15	15		15
DRAIN PUMP	2	1.5	1.5		1.5
SOLID TRANSFER PUMP	2	15	15		15
DEAREATOR PUMP	2	11	11		11
TAP WATER PUMP	2	1.1	1.1		1.1
NaOCI DOSING PUMP	2	0.5		1.0	
pH ADJUSTMENT DOSING PUMP	2	0.5	0.5		0.5
COAGULANT DOSING PUMP	2	0.5	0.5		0.5
BIOCIDE DOSING PUMP	2	0.5	0.5		0.5
CORROSION INHIBITOR DOSING PUMP	2	0.5	0.5		0.5
OXYGEN SCAVENGER DOSING PUMP	2	0.5	0.5		0.5
DIESEL TRANSFER PUMP	2	1.1	1.1		1.1
VACUM PUMP	2	55	55		55
JUMLAH			191.2	56	.2

Berdasarkan persamaan 2.3 dan 2.4 maka besarnya TPPL dan TPRL adalah sebagai berikut^[2],

$$TPRL = (1 \times (291,5+191,2)) + (0,5 \times (0+56)) = 510,75 \text{ kW}$$

$$TPPL = (1 \times (291,5+191,2)) + (0,5 \times (0+56)) + (0,1 \times (246,2+220)) = 557,37 \text{ kW}$$

Berdasarkan data yang diperoleh diketahui hampir semua motor yang digunakan tidak beroperasi sesuai dengan kapasitas dalam name plate, tapi sesuai dengan tabel 4.3 berikut ini;

Tabel 4.3 kinerja beban

Jenis Beban	Name Plate kW	Kinerja beban		stand by kW
		kontin u kW	intermitte nt kW	
INTAKE PUMP	15	10.00		10.00
RAW PRODUCED WATER PUMP	11	7.98		7.98
SKIM TRANSFER PUMP	11	9.03		9.03
SATURATION PUMP	15	11.04		11.04
MEDIA FILTER PUMP	37	27.98		27.98
MF BACKWASH PUMP	55		39.99	39.99
BUFFER PUMP	15	11.04		11.04
DRAIN PUMP	1.5	1.12		1.12
SOLID TRANSFER PUMP	15	11.04		11.04
DEAREATOR PUMP	11	9.03		9.03
TAP WATER PUMP	1.1	0.75		0.75
NaOCI DOSING PUMP	0.5		0.50	0.50
pH ADJUSTMENT DOSING PUMP	0.5	0.50		0.50
COAGULANT DOSING PUMP	0.5	0.50		0.50
BIOCIDE DOSING PUMP	0.5	0.50		0.50
CORROSION INHIBITOR DOSING PUMP	0.5	0.50		0.50
OXYGEN SCAVENGER DOSING PUMP	0.5	0.50		0.50
DIESEL TRANSFER PUMP	1.1	0.52		0.52
VACUM PUMP	55	41.03		41.03
TREATED WATER PUMP	110.00	95.00		95.00
EXISTING OIL TRANSFER PUMP	110.00	80.05		80.05
OIL CATCHER TRANSFER PUMP	1.10	0.75		0.75
FILTER PRESS PACKAGE	5.50	5.50		5.50
CONVEYOR PACKAGE	7.50	7.50		7.50
AGITATOR MIXING TANK	0.50	0.50		0.50
AGITATOR FLOCCULANT	7.50	7.50		7.50
AGITATOR MIXING TANK	0.50	0.50		0.50
AIR COMPRESSOR	5.50	5.50		5.50
SUB DISTRIBUTION PANEL	29.45	29.45		29.45
RECTIFIER	5.00	5.00		5.00
UPS	9.00	9.00		9.00
Jumlah	538.25	389.34	40.49	429.82

Dari tabel 4.3 diperoleh besarnya TPPL dan TPRL adalah sebagai berikut;

$$TPRL = (1 \times 389,34) + (0,5 \times 40,49) = 409,58 \text{ kW}$$

$$TPPL = (1 \times 389,34) + (0,5 \times 40,49) + (0,1 \times 429,82) = 452,56 \text{ kW}$$

Sehingga faktor kebutuhan sistem menjadi^[11];

$$DF = \frac{\text{beban maksimum}}{\text{beban terpasang}} = \frac{452,56}{538,25} = 0,84$$

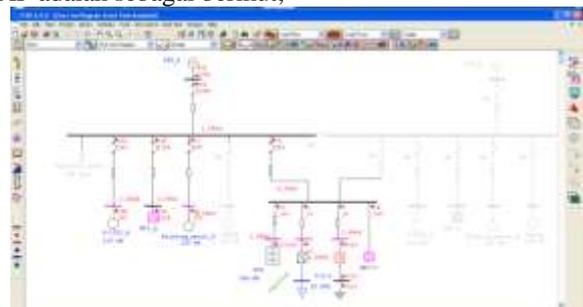
Untuk mencari kapasitas generator yang digunakan diasumsikan semua beban bekerja pada kondisi puncak . Dari asumsi tersebut maka kapasitas generator yang digunakan adalah

$$S = \frac{557,37}{0,85 \times 0,8} \times 0,84 = 631,53 \text{ kVA}$$

Kapasitas tersebut dikalikan dengan 110% sebagai cadangan sistem sehingga generator yang digunakan menjadi 694,68 kVA. Dari katalog Gen-Set seperti pada lampiran dapat diketahui rating yang mendekati nilai perhitungan adalah 628 kVA pf 0,8, 715 kVA pf 0,8 dan 763 kVA pf 0,8.

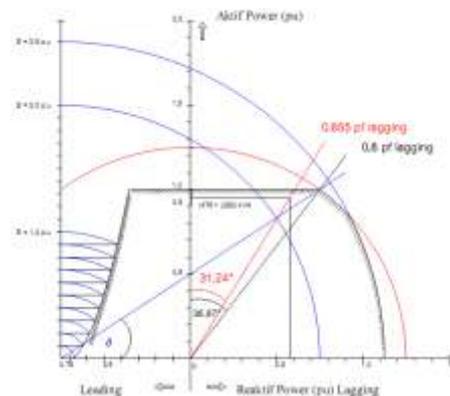
Dengan tujuan menentukan kapasitas generator yang digunakan maka semua beban yang tersaji dalam tabel 4.1 dan tabel 4.2 dimasukkan ke perangkat lunak ETAP v6.0 dengan menggunakan parameter-parameter yang sesuai dengan standar yang digunakan. Simulasi yang digunakan adalah simulasi aliran daya dan simulasi pengasutan motor.

Simulasi aliran daya menggunakan metode newton raphson dengan iterasi maksimal 100 dan toleransi 0,0001. Hasil simulasi aliran daya menggunakan perangkat lunak ETAP adalah sebagai berikut;



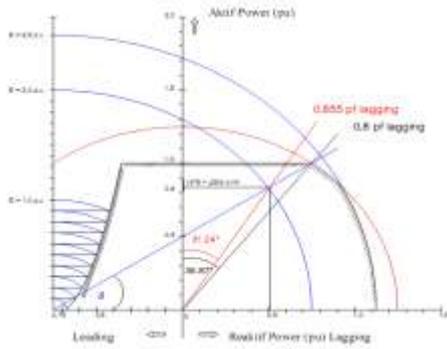
Gambar 4.1 Hasil simulasi aliran daya

Untuk memilih generator yang digunakan perlu dibuat kurva operasi generator sinkron. Berikut ini adalah kurva operasi generator sinkron berkapasitas 628 kVA (502,4 kW, pf 0,8);



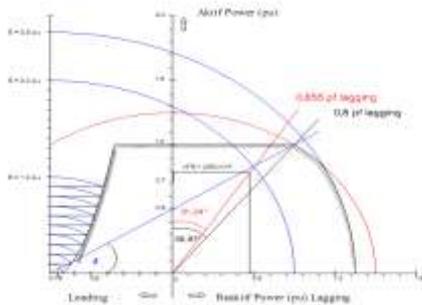
Gambar 4.2 Kurva operasi generator sinkron 628 kVA saat simulasi aliran daya

Pada gambar 4.2 terlihat bahwa saat beban sistem sebesar 476 + j290 kVA generator sinkron 628 kVA masih bekerja dalam batas tapi generator akan bekerja 95,1% dari kemampuan aktualnya, hal ini kurang efisien karena akan mengakibatkan pembebanan berlebih pada generator. Sedangkan kurva operasi generator sinkron berkapasitas 715 adalah sebagai berikut;



Gambar 4.3 Kurva operasi generator sinkron 715 kVA saat simulasi aliran daya

Pada gambar 4.3 terlihat bahwa saat beban sistem sebesar $476 + j290$ kVA generator sinkron 715 kVA masih bekerja dalam batas daerah keseimbangan dan bekerja sebesar 83,6 % dari kemampuan aktualnya, sehingga generator akan bekerja efisien karena bekerja diatas 70% dan dibawah 95% dari kemampuan aktualnya. Sedangkan kurva Operasi generator sinkron berkapasitas 763 kVA adalah sebagai berikut;



Gambar 4.4 Kurva operasi generator sinkron 763 kVA saat simulasi aliran daya

Pada gambar 4.4 terlihat bahwa saat beban sistem sebesar $476 + j290$ kVA generator sinkron 763 kVA masih bekerja dalam batas keseimbangan dan beroperasi 78,3% dari kemampuan aktualnya..

Simulasi pengasutan motor dilakukan karena kemungkinan arus pengasutan motor induksi yang bisa mencapai 7 kali arus nominal dan menyebabkan generator berbeban lebih. Selain itu saat pengasutan motor juga menyebabkan drop tegangan yang cukup besar.

Skenario yang dibuat pada simulasi pengasutan motor adalah, ketika semua beban bekerja penuh, motor backwash P-1007 (55 kW) beroperasi. Metode pengasutan motor tersebut menggunakan metode bintang-segitiga. Lama pengasutan motor yaitu 6 detik, dengan lama simulasi 20 detik dan motor mulai beroperasi pada detik ke 2 dan berhenti pada detik ke 10, kemudian beroperasi lagi pada detik 12 dan berhenti pada detik ke 19. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP adalah sebagai berikut;



Gambar 4.5 Hasil simulasi pengasutan motor pada detik ke-0

Kondisi awal skenario adalah semua beban beroperasi tetapi motor P-1017 belum beroperasi, seperti terlihat dalam gambar 4.5 dibawah ini. Daya total beban tersebut adalah sama dengan hasil simulasi aliran daya hanya saja hasilnya dikurangi beban P-1017.

Pada awal simulasi motor P-1017 belum beroperasi sehingga kebutuhan beban sistem adalah $431 + j263$ kVA. Pada waktu simulasi detik ke-2 motor mulai bekerja seperti terlihat dalam gambar dibawah ini.



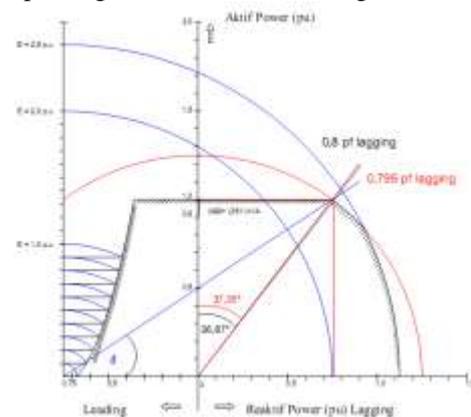
Gambar 4.6 Hasil simulasi pengasutan motor saat detik ke- 2

mulai detik ke-2 sampai detik ke-8 besar daya sistem seperti terlihat dalam gambar 4.6 yaitu sebesar $499 + j381$ kVA (pf = 0,795). Hasil simulasi pengasutan motor secara total terlihat pada gambar 4.7 dibawah ini;



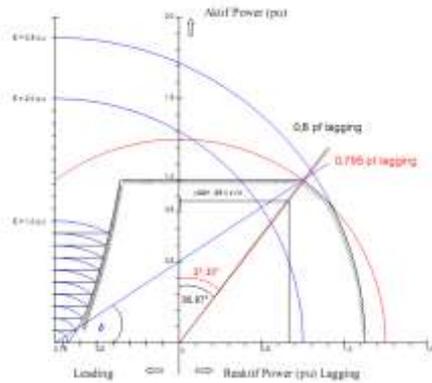
Gambar 4.7 Hasil simulasi lengkap pengasutan motor induksi menggunakan ETAP

Dari hasil simulasi pengasutan motor dapat dimasukkan ke kurva operasi generator 628 kVA sebagai berikut;



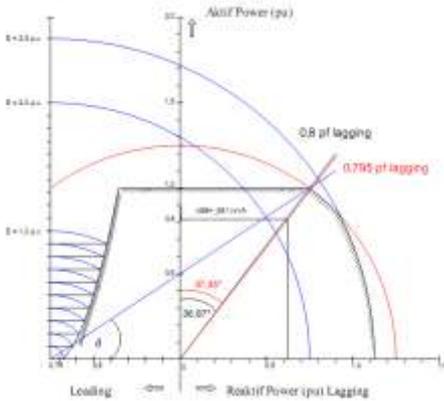
Gambar 4.8 Kurva operasi generator sinkron 628 kVA saat simulasi pengasutan motor

Pada gambar 4.8 terlihat generator 628 kVA bekerja mendekati batas area kesetabilan generator, sebesar 99,3% dari kemampuan aktualnya. Pada kondisi ini generator akan kehilangan kestabilan dan mengganggu sistem secara keseluruhan.



Gambar 4.9 kurva operasi generator sinkron 715 kVA saat simulasi pengasutan motor

Pada gambar 4.9 terlihat generator 715 kVA masih bekerja stabil karena daerah kerja beban saat pengasutan motor masih di area kesetabilan generator. Generator saat pengasutan motor bekerja 87,2% dari kemampuan aktualnya, sehingga kerja generator masih efektif karena diatas 70%.



Gambar 4.10 kurva operasi generator sinkron 763 kVA saat simulasi pengasutan motor

Pada gambar 4.10 terlihat generator 763 kVA masih bekerja stabil karena daerah kerja beban saat pengasutan motor masih di area kesetabilan generator. Generator saat pengasutan motor bekerja 81,7% dari kemampuan aktualnya.

Dari dua buah simulasi yang berupa simulasi aliran daya dan simulasi pengasutan motor, maka kapasitas generator yang paling sesuai untuk sistem kelistrikan W.T.I.P Kawengan adalah generator 715 kVA dan 763 kVA. Pemilihan dari kedua generator yang akan digunakan berdasarkan faktor efektifitas dan ekonomis, untuk sebagai penambahan jaringan di masa yang akan datang pembebanan generator yang lebih kecil akan menjadi pilihan utama. Oleh karena itu generator yang digunakan adalah generator 763 kVA.

Pemilihan busbar didasarkan pada persamaan 2.7 dan 2.8, karena genset yang digunakan berkapasitas 763 kVA pf 0,8 maka besarnya arus nominal adalah

$$I_{\text{nominal}} = \frac{763.000 \times 0,8}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,8}$$

$$I_{\text{nominal}} = \frac{610.400}{526,54} = 1.159,26 \text{ A}$$

sehingga arus busbar yang dipakai adalah

$$I_{\text{busbar}} = 1,5 \times 1.159,26 = 1.738,89 \text{ A}$$

Menyesuaikan ketersediaan di pasar maka busbar yang digunakan adalah 1.800 A

4.2 Penentuan Ukuran Penghantar

Pemilihan penghantar beserta ukurannya ditentukan berdasarkan kuat hantar arus penghantar (KHA) tersebut. Besarnya KHA dipengaruhi oleh diameter penghantar dan faktor koreksi. Penghantar yang digunakan adalah penghantar berisolasi PVC dengan tegangan kerja 0,6/1 kV berinti tiga dan empat^[1]. Dalam perancangan sistem kelistrikan W.T.I.P Kawengan faktor koreksi yang digunakan diantaranya^[1];

- Suhu lingkungan udara bebas 40 °C = 0,87
- Suhu dalam tanah 20 °C = 1,12
- Dipasang dalam kabel tray dengan 2 penyangga disusun tidak rapat dengan jumlah kabel tiap penyangga 9 kabel dengan sirkulasi udara tak terhindar = 0,89

Pemasangan kabel dalam tanah yaitu pada kabel genset sedangkan kabel lainnya dipasang dalam kabel tray, sehingga^[1];

faktor koreksi dalam tanah = 1,12

faktor koreksi dalam kabel tray = 0,87 x 0,89 = 0,77

faktor koreksi ini dikalikan dengan kuat hantar arus (KHA) pada kondisi standar seperti yang tercantum dalam tabel 7.3-5a dalam PUIL, sehingga kuat hantar arus (KHA) seperti yang terlihat dalam tabel 4.4 berikut ini;

Tabel 4.4 Kuat hantar arus (KHA) kabel berisolasi PVC 0,6/1 kV berinti 3 dan 4

Luas penampang (mm ²)	KHA sebelum dikoreksi		KHA setelah dikoreksi	
	di tanah (A)	di udara (A)	di tanah (1,12) (A)	di udara (0,77) (A)
1,5	26	18,5	29,12	14,25
2,5	34	25	38,08	19,25
4	44	34	49,28	26,18
6	56	43	62,72	33,11
10	75	60	84,00	46,20
16	98	80	109,76	61,60
25	128	106	143,36	81,62
35	157	131	175,84	100,87
50	185	159	207,20	122,43

Luas penampang (mm ²)	KHA sebelum dikoreksi		KHA setelah dikoreksi	
	di tanah (A)	di udara (A)	di tanah (1,12) (A)	di udara (0,77) (A)
70	228	202	255,36	155,54
95	275	244	308,00	187,88
120	313	282	350,56	217,14
150	353	324	395,36	249,48
185	399	371	446,88	285,67
240	464	436	519,68	335,72
300	524	481	586,88	370,37
400	600	560	672,00	431,20

Setelah besarnya KHA diketahui langkah selanjutnya adalah mencari ukuran penghantar yang digunakan sistem. Pemilihan kabel juga bergantung pada rugi tegangan yaitu sebesar 5% dan 15% untuk jalan mula motor. Rugi tegangan ini menentukan panjang kabel maksimum yang digunakan. Berikut adalah contoh pemilihan kabel untuk genset, motor induksi 1 fasa dan motor induksi 3 fasa:

- Pemilihan kabel genset

Perhitungan ini sebagai contoh penentuan kabel untuk feeder, arus yang melalui penghantar ini adalah sebesar^[2];

$$I = \frac{610,4 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,8} = 1.159,26 \text{ A}$$

Karena arus tersebut terlalu besar maka pemasangan kabel dipasang paralel 4 dan karena kabel genset dipasang dalam tanah maka sesuai tabel 4.3 diameter penghantar yang digunakan adalah 95 mm². Dengan rugi tegangan sebesar 5% maka panjang kabel yang diperbolehkan adalah sebesar^[2];

$$l = \frac{V \times \Delta V\% \times 1000}{100 \times \sqrt{3} \times I \times (r \cos \phi + x \sin \phi)} \text{ m}$$

$$l = \frac{380 \times 5 \times 1000}{100 \cdot \sqrt{3} \times 1.159,26 \times 0,058}$$

$$l = \frac{11.645,80}{71,9} = 163,15 \text{ m}$$

kabel genset yang digunakan 50 m sehingga dengan batas rugi tegangan 5% kabel dengan diameter 95 mm² masih dapat digunakan.

b. Pemilihan kabel motor induksi 1 fasa salah satu yang termasuk motor satu fasa adalah G-1002 berkapasitas 0,5 kW, besarnya arus nominal adalah

$$I = \frac{P}{V \times \cos \phi \times \text{efisiensi}}$$

$$I = \frac{0,5 \times 1000}{220 \times 0,79 \times 0,79} \text{ A} = 3,64 \text{ A}$$

sesuai dengan tabel 4.3 maka penghantar yang digunakan adalah 1,5 mm², dengan ketentuan rugi tegangan maksimum sebesar 5% maka panjang maksimum yang mungkin digunakan sebesar;

$$l = \frac{V \times \Delta V\% \times 1000}{100 \times 2 \times I \times (r \cos \phi + x \sin \phi)} \text{ m}$$

$$l = \frac{220 \times 5 \times 1000}{100 \times 2 \times 3,64 \times (14,451 \times 0,79 + 0,104 \times \sin(\cos^{-1} 0,79))}$$

$$l = \frac{1.100.000}{8.357,48} = 131,62 \text{ m}$$

kabel motor yang digunakan 75 m sehingga dengan batas rugi tegangan 5% kabel dengan diameter 1,5 mm² masih bisa digunakan.

c. Pemilihan kabel motor induksi 3 fasa salah satu contoh motor induksi 3 fasa adalah motor P-1012 kW berkapasitas 110 kW, motor tersebut memiliki faktor daya 0,84 dan efisiensi sebesar 0,85. Arus starting 7,6 In dan faktor daya kondisi jalan mula sebesar 0,25 arus nominal yang melalui penghantar sebesar;

$$I = \frac{P \times 1000}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi \times \text{efisiensi}}$$

$$I = \frac{110 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,84 \times 0,85} = 234,07 \text{ A}$$

sesuai dengan tabel 4.3 maka diameter penghantar yang digunakan adalah 150 mm² atau 2x50 mm². Karena memperhitungkan harga satuan penghantar per meter maka digunakan kabel 2x50 mm². Arus yang melalui penghantar menjadi 117,04 A. dengan toleransi rugi tegangan sebesar 5% maka panjang kabel yang mungkin digunakan adalah

$$l = \frac{V \times \Delta V\% \times 1000}{100 \times \sqrt{3} \times I \times (r \cos \phi + x \sin \phi)} \text{ m}$$

$$l = \frac{380 \times 5 \times 1000}{100 \cdot \sqrt{3} \times 117,04 \times (0,464 \cdot 0,84 + 0,081 \cdot \sin(\cos^{-1} 0,84))}$$

$$l = \frac{1.900.000}{8.792,13} = 216,10 \text{ m}$$

sehingga dengan panjang kabel yang digunakan sebesar 75 m kabel tersebut masih bisa digunakan.

Setelah ukuran kabel diketahui maka perlu dikoreksi lagi dengan kondisi jalan mula motor yang mempunyai arus jalan mula 7,6 kali arus nominal dan faktor daya 0,25. Batas toleransi rugi tegangan untuk kondisi jalan mula adalah 15% sehingga panjang kabel maksimum yang dapat digunakan menjadi;

$$l = \frac{V \times \Delta V_s\% \times 1000}{100 \times \sqrt{3} \times I_s \times (r \cos \phi_s + x \sin \phi_s)} \text{ m}$$

$$l = \frac{380 \times 15 \times 1000}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 7,6 \cdot 117,04 \times (0,464 \cdot 0,25 + 0,081 \cdot \sin(\cos^{-1} 0,25))}$$

$$l = \frac{5.700.000}{154.066,61 \times 0,194} = 190,29 \text{ m}$$

kabel tersebut masih dapat digunakan karena saat kondisi jalan mula panjang maksimum kabel adalah 190,29 meter.

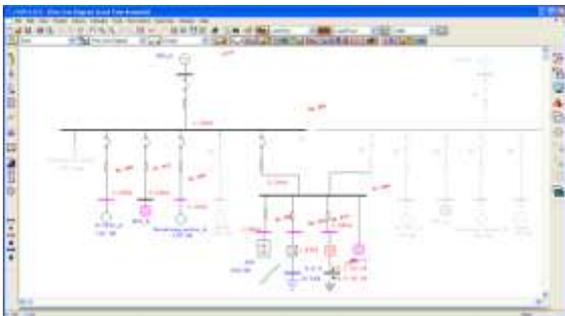
Dengan metode perhitungan sesuai dengan contoh perhitungan diatas maka besarnya diameter penghantar dan panjang kabel yang digunakan dapat melihat tabel 4.5 dibawah ini, besarnya resistansi kabel, reaktansi kabel dan spesifikasi motor yang digunakan sesuai dengan yang ada pada lampiran.

Tabel 4.5 Penghantar yang digunakan dan panjang maksimum penghantar

Kabel	Jenis kabel	Jumlah fasa	Penghantar r (mm ²)	Panjang kabel (m)	
				Maksimal	Digunakan
DEG	Feeder	3	4x95	163,15	50
MCC	Feeder	3	2x70	220,78	20
-A	Feeder	3	1x70	237,30	20
MCC	Feeder	3	2x50	190,29	75
-C	Feeder	3	2x50	190,29	75
P-	Motor	3	1x10	155,76	100
1012	Motor	3	1x10	212,39	150
P-	Motor	3	1x6	130,17	100
Exist	Motor	3	1x6	95,46	75
P-	Motor	3	1x25	168,96	75
1001	Motor	3	1x50	218,83	75
P-	Motor	3	1x6	95,46	75
1005	Motor	3	1x1,5	203,48	75
P-	Motor	3	1x6	95,46	75
1006	Motor	3	1x6	95,46	75
P-	Motor	3	1x1,5	203,48	75
1007	Motor	3	1x6	95,46	75
P-	Motor	3	1x4	88,44	75
1008	Motor	3	1x1,5	273,96	75
P-	Motor	1	1x1,5	131,62	75
1009	Motor	1	1x1,5	131,62	75
P-	Motor	1	1x1,5	131,62	75
1010	Motor	1	1x1,5	131,62	75
P-	Motor	1	1x1,5	131,62	75
1011	Motor	1	1x1,5	131,62	75
P-	Motor	1	1x1,5	131,62	75
1015	Motor	1	1x1,5	131,62	75
P-	Motor	3	1x1,5	273,96	75
1016	Motor	1	1x1,5	131,62	75
P-	Motor	1	1x1,5	131,62	75
1017	Motor	1	1x1,5	131,62	75
P-	Motor	1	1x1,5	131,62	75
1018	Motor	1	1x1,5	131,62	75
P-	Motor	1	1x1,5	131,62	75
1019	Motor	1	1x1,5	131,62	75
P-	Motor	1	1x1,5	131,62	75
1020	Motor	1	1x1,5	131,62	75
P-	Motor	1	1x1,5	131,62	75
1021	Motor	1	1x1,5	131,62	75
P-	Motor	3	1x1,5	273,96	75
1022	Motor	3	1x50	209,18	75
P-	Motor	3	1x50	209,18	75

Kabel	Jenis kabel	Jumlah fasa	Penghantar (mm ²)	Panjang kabel (m) Maksimal	Digunakan
P-1003	Motor	3	1x 1,5	272,95	75
Q-1002	Motor	3	1x 2,5	113,30	75
G-1003	Motor	3	1x 2,5	84,26	75
G-1001	Motor	1	1x 1,5	131,62	75
G-1002	Motor	3	1x 2,5	84,26	75
A-1003	Motor	1	1x 1,5	131,62	75
A-1001	Motor Feeder	3	1x 2,5	109,78	75
MDP	r	3	1x 16	154,15	35
REC	Feeder	3	1x 1,5	86,26	35
T	Feeder	3	1x 1,5	86,26	35
UPS	r	3	1x 2,5	80,88	35

Hasil kabel yang dipilih tersebut kemudian disimulasikan dengan perangkat lunak ETAP, supaya diketahui drop tegangan tiap-tiap bus. Tujuan pengujian jatuh tegangan adalah memastikan tegangan yang sampai ke ujung beban masih berada dibatas yang di ijinan sesuai dengan PUIL yaitu sebesar 5%. Dengan melakukan pengujian ini diharapkan dapat diketahui konduktor yang digunakan dapat menyalurkan daya dengan baik atau tidak. Metode simulasi yang digunakan dalam ETAP menggunakan simulasi aliran daya, hanya saja saat penampilan hasil diatur yang diperlihatkan hanya voltage drop di masing-masing bus



Gambar 4.11 Hasil simulasi perhitungan jatuh tegangan menggunakan ETAP

Dari gambar dapat dilihat ada bus yang berwarna merah muda menunjukkan tegangan bus tersebut pada batas marginal yaitu mendekati 3%. Tapi masih jauh dari batas terendah yang diperbolehkan sebesar 5% sehingga dapat dipastikan tegangan tiap-tiap bus beban masih dalam batas yang diijinkan dan konduktor yang digunakan memadai untuk menghantarkan arus beban.

Setelah dilakukan pengujian drop tegangan setelah itu dilakukan pengujian ketahanan kabel terhadap kemungkinan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Dengan menggunakan persamaan 2.11 dapat diambil contoh sebagai berikut;

- Kabel Genset berukuran 95 mm² berisolasi karet (k=143), dan menggunakan pengaman jenis MCCB (t = 0,06) sehingga arus gangguan maksimal yang boleh melewati kabel adalah

$$I_{sc} = \frac{A \times k}{\sqrt{t}} = \frac{95 \times 143}{\sqrt{0,06}} = 55,46 \text{ kA}$$

Dengan menggunakan metode yang sama dapat dibuat tabel besarnya arus gangguan maksimal yang masih bisa ditahan kabel pada tabel 4.6 dibawah ini;

Tabel 4.6 daya tahan kabel terhadap arus hubung singkat

Nama	n	Diameter Kabel (mm ²)	I fault maks yang diijinkan (kA)	Arus Gangguan (If) (kA)
P-1003	4	95,0	55,461	14,471
Q-1002	2	50,0	29,190	10,216
G-1003	2	50,0	29,190	10,216
G-1001	2	70,0	40,866	10,905
G-1002	1	10,0	5,838	1,693
A-1003	1	10,0	5,838	1,173
A-1001	1	6,0	3,503	1,108
MDP	1	6,0	3,503	1,512
REC	1	25,0	14,595	4,337
T	1	50,0	29,190	6,521
UPS	1	6,0	3,503	1,512
RECT	1	1,5	0,876	0,285
P-1017	1	6,0	3,503	1,512
P-1018	1	1,5	0,876	0,285
P-1019	1	6,0	3,503	1,512
P-1020	1	4,0	2,335	1,049
P-1021	1	1,5	0,876	0,258
P-1022	1	1,5	0,876	0,119
P-1023	1	50,0	29,190	6,521
MCC-C	1	70,0	40,866	9,367
SDP	1	16,0	9,341	3,346
UPS	1	1,5	0,876	0,676
RECT	1	2,5	1,459	0,422
P-1003	1	1,5	0,876	0,257
Q-1002	1	2,5	1,459	0,571
Q-1003	1	2,5	1,459	0,638
G-1001	1	1,5	0,876	0,119
G-1002	1	2,5	1,459	0,638
G-1003	1	1,5	0,876	0,119
A-1001	1	2,5	1,459	0,571

Resistansi dan reaktansi pengganti kemudian diseri dengan impedansi kabel generator, setelah itu di parallel dengan impedansi generator.

$$R_{tot} = \frac{(0,015 + 0,064) \times 0,003}{0,003 + (0,015 + 0,064)} = 0,002$$

$$X_{tot} = \frac{(0,005 + 0,236) \times 0,120}{0,120 + (0,005 + 0,236)} = 0,080$$

Sehingga impedansi gangguan yaitu;

$$Z_{tot} = \sqrt{R_{tot}^2 + X_{tot}^2}$$

$$Z_{tot} = \sqrt{0,002^2 + 0,080^2} = 0,080$$

Arus gangguan yang terjadi adalah^[5];

$$I_f = \frac{I_{base}}{Z_{tot}}$$

$$I_f = \frac{1.159,26}{0,080} = 14,471 \text{ kA}$$

Dengan menggunakan cara yang sama besarnya arus gangguan hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi untuk setiap beban dapat diketahui dan disajikan dalam tabel 4.7 dibawah ini;

Tabel 4.7 Arus hubung singkat tiap beban

Nama	Impedansi Gangguan			Arus Gangguan (kA)
	R	X	Z	
DEG	0,002	0,080	0,080	14,471
P-1012	0,062	0,095	0,113	10,216
P-Existing	0,062	0,095	0,113	10,216
MCC-A	0,045	0,096	0,106	10,905
P-1001	0,670	0,142	0,685	1,693
P-1002	0,974	0,166	0,988	1,173
P-1004	1,036	0,145	1,046	1,108
P-1005	0,755	0,132	0,767	1,512
P-1006	0,235	0,127	0,267	4,337
P-1007	0,127	0,124	0,178	6,521
P-1008	0,755	0,132	0,767	1,512
P-1009	4,072	0,137	4,074	0,285
P-1010	0,755	0,132	0,767	1,512
P-1011	1,097	0,135	1,105	1,049
P-1015	4,499	0,137	4,501	0,258
P-1016	9,742	0,179	9,744	0,119
P-1017	9,742	0,179	9,744	0,119
P-1018	9,742	0,179	9,744	0,119
P-1019	9,742	0,179	9,744	0,119
P-1020	9,742	0,179	9,744	0,119
P-1021	9,742	0,179	9,744	0,119
P-1022	4,499	0,137	4,501	0,258
P-1023	0,127	0,124	0,178	6,521
MCC-C	0,071	0,102	0,124	9,367
SDP	0,326	0,118	0,346	3,346
UPS	1,711	0,120	1,715	0,676
RECT	2,743	0,121	2,746	0,422
P-1003	4,514	0,143	4,516	0,257
Q-1002	2,027	0,141	2,032	0,571

Nama	Impedansi Gangguan			Arus Gangguan (kA)
	R	X	Z	
Q-1003	1,810	0,141	1,816	0,638
G-1001	9,761	0,184	9,762	0,119
G-1002	1,810	0,141	1,816	0,638
G-1003	9,761	0,184	9,762	0,119
A-1001	2,027	0,141	2,032	0,571

- Pemilihan pengaman

Kriteria dari pemilihan pengaman adalah berdasarkan pada arus nominal yang melewati beban dan kemampuan memutuskan arus gangguan terbesar yang mungkin terjadi.

Contoh pemilihan pengaman untuk Diesel Engine Generator (DEG)^[1];

arus nominal (In) = 1.159,26 A

arus gangguan (If) = 14,471 kA

arus setting MCCB yang digunakan;

150% x 1.159,26 = 1.738,89 A

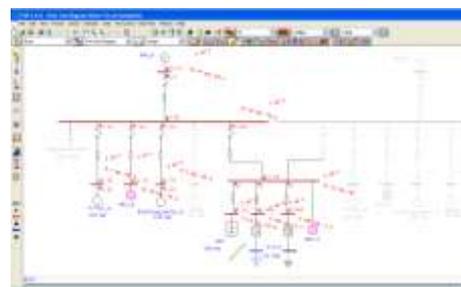
= 1.800 A

Dengan menyesuaikan ketersediaan di pasar maka MCCB yang digunakan adalah MCCB dengan In 1800 dan kapasitas pemutusan 50 kA. Pemilihan menggunakan MCCB karena faktor keandalan dan harga yang lebih ekonomis. Berikut adalah alat pengaman yang digunakan berdasarkan hasil perhitungan.

Tabel 4.8 Pengaman yang dipakai

Nama	I (Fault) (kA)	I (nominal) (A)	Pengaman yang dipilih	
			In	kA
DEG	14,471	1.159,26	1.800	36,0
P-1012	10,216	207,41	320	18,0
P-Existing	10,216	207,41	320	18,0
MCC-A	10,905	494,84	800	36,0
P-1001	1,693	30,04	50	7,5
P-1002	1,173	22,02	35	7,5
P-1004	1,108	22,02	35	7,5
P-1005	1,512	30,04	50	7,5
P-1006	4,337	71,65	125	10,0
P-1007	6,521	104,14	160	10,0
P-1008	1,512	30,04	50	7,5
P-1009	0,285	3,43	15	7,5
P-1010	1,512	30,04	50	7,5
P-1011	1,049	22,02	40	7,5
P-1015	0,258	2,55	15	7,5
P-1016	0,119	3,36	15	7,5
P-1017	0,119	3,36	15	7,5
P-1018	0,119	3,36	15	7,5
P-1019	0,119	3,36	15	7,5
P-1020	0,119	3,36	15	7,5
P-1021	0,119	3,36	15	7,5
P-1022	0,258	2,55	15	7,5
P-1023	6,521	104,14	160	10,0
MCC-C	9,367	142,97	225	18,0
SDP	3,346	55,93	100	7,5
UPS	0,676	15,19	30	7,5
RECT	0,422	7,60	15	7,5
P-1003	0,257	2,55	15	7,5
Q-1002	0,571	11,73	20	7,5
Q-1003	0,638	15,76	25	7,5
G-1001	0,119	3,36	15	7,5
G-1002	0,638	15,76	25	7,5
G-1003	0,119	3,36	15	7,5
A-1001	0,571	11,73	20	7,5

Setelah perhitungan manual didapat maka dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP. Tujuan dari pengujian ini adalah membandingkan hasil perhitungan arus hubung singkat perhitungan dengan simulasi ETAP dan memastikan pengaman yang terpasang dapat mengatasi arus gangguan yang terjadi.



Gambar 4.15 Simulasi hubung singkat menggunakan ETAP

Untuk membandingkan antara hasil perhitungan manual dengan ETAP maka dapat melihat tabel 4.9 dibawah ini;

Tabel 4.9 Perbandingan arus hubung singkat simulasi dengan perhitungan manual

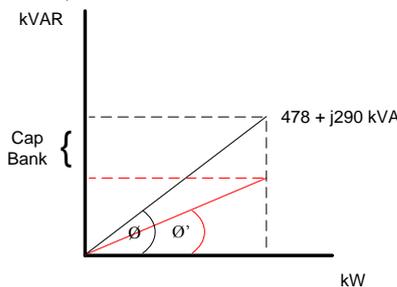
Nama	I (Fault)	
	perhitungan (kA)	Simulasi ETAP (kA)
DEG	14,471	14,47
P-1012	10,216	8,7
P-Existing	10,216	8,7
MCC-A	10,905	13,36
MCC-C	9,367	11,53

Dari tabel 4.9 dapat dilihat ada sedikit perbedaan besarnya arus hubung singkat, hal ini dikarenakan adanya faktor pembulatan. Tetapi perbedaan ini tidak begitu berpengaruh pada kinerja peralatan pengaman yang ada, karena seperti terlihat pada gambar 4.10 semua pengaman bisa memutuskan arus gangguan di masing-masing peralatan yang dilindungi.

4.4 Penentuan Kompensator Daya Reaktif

Kompensator daya reaktif digunakan untuk memperbaiki daya sistem listrik. Dengan adanya kompensator diharapkan faktor daya sistem dapat naik sehingga menambah keandalan sistem.

Perhitungan didasarkan pada aliran daya menggunakan simulasi ETAP dan diketahui jumlah beban sistem adalah 478 + j290 kVA (559 kVA, pf 0,855). Target faktor daya yang ingin dicapai adalah 0,95 sehingga kompensator daya reaktif yang digunakan dicari menggunakan perhitungan sebagai berikut^[10];



Gambar 4.16 Penentuan kompensator daya reaktif

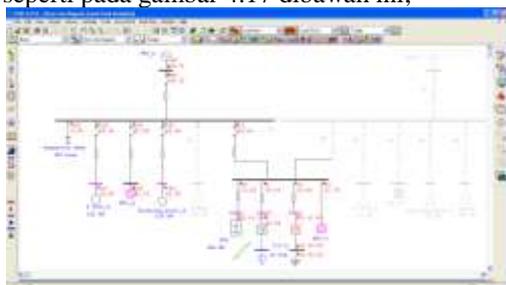
$$\tan \theta_{awal} = \tan(\cos^{-1} 0,855) = 0,606$$

$$\tan \theta_{target} = \tan(\cos^{-1} 0,95) = 0,327$$

$$Cap\ Bank = kVA \times \cos \theta_{awal} (\tan \theta_{awal} - \tan \theta_{target})$$

$$Cap\ Bank = 559 \times 0,855 \times (0,606 - 0,327) = 133,37$$

sesuai dengankatalog maka kompensator yang digunakan adalah 150 kVAR (5 x 30 kVAR). Hasil simulasi aliran daya menggunakan perangkat lunak ETAP setelah sistem dipasang kompensator daya reaktif adalah seperti pada gambar 4.17 dibawah ini;



Gambar 4.17 Simulasi aliran daya menggunakan ETAP setelah sistem dilengkapi kompensator daya reaktif

Dari gambar 4.17 dapat dilihat faktor daya sistem menjadi 0,957 naik dari nilai semula yang sebesar 0,855, hal ini berarti target daya reaktif sudah sesuai dengan yang diinginkan.

4.5 Evaluasi Sistem Kelistrikan di WTIP Kawangan

Dari beberapa perhitungan dan pengujian yang telah disebutkan pada sub bab 4.1 sampai dengan 4.5 maka dapat dibuat perbandingan antara sistem yang dirancang dengan sistem yang sudah ada di W.T.I.P Kawangan.

Kapasitas gen-set yang digunakan adalah 763 kVA, sedangkan kapasitas gen-set pada sistem kelistrikan W.T.I.P Kawangan 800 kVA. Tegangan nominal gen-set berbeda dengan yaitu 380 V sedangkan di sistem yang sudah ada 400 V. Hal ini karena semua beban pada sistem menggunakan tegangan nominal 380 V sehingga lebih efisien jika gen-set yang digunakan bertegangan 380 V, walaupun jika menggunakan tegangan 400 tidak begitu masalah karena gen-set hanya bekerja sebesar 0,2 % dibawah tegangan nominalnya.

Kompensator daya reaktif yang digunakan sebesar 5 x 30 kVAR, sedangkan kompensator pada sistem kelistrikan W.T.I.P Kawangan adalah 6 x 30 kVAR. Dengan menggunakan kompensator 5 x 30 kVAR maka target faktor daya sebesar 0,95 sudah tercapai.

Ukuran konduktor yang digunakan pada W.T.I.P Kawangan dibandingkan dengan ukuran konduktor hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.10 perbandingan ukuran konduktor

Kabel	Jenis kabel	Panjang (m)	Penghantar (mm2)	
			Perhitungan	W.T.I.P Kawangan
DEG	Feeder	50	4 x 95	4 x 240
MCCA	Feeder	20	2 x 70	2 x 95
MCCC	Feeder	20	1 x 70	1 x 95
P-1012	Motor	75	2 x 50	1 x 150
P-Exist	Motor	75	2 x 50	1 x 150
P-1001	Motor	100	1 x 10	1 x 16
P-1002	Motor	150	1 x 10	1 x 16
P-1004	Motor	100	1 x 6	1 x 10
P-1005	Motor	75	1 x 6	1 x 16
P-1006	Motor	75	1 x 25	1 x 50
P-1007	Motor	75	1 x 50	1 x 70
P-1008	Motor	75	1 x 6	1 x 16
P-1009	Motor	75	1 x 1,5	1 x 4
P-1010	Motor	75	1 x 6	1 x 16
P-1011	Motor	75	1 x 4	1 x 10
P-1015	Motor	75	1 x 1,5	1 x 4
P-1016	Motor	75	1 x 1,5	1 x 2,5
P-1017	Motor	75	1 x 1,5	1 x 2,5
P-1018	Motor	75	1 x 1,5	1 x 2,5
P-1019	Motor	75	1 x 1,5	1 x 2,5
P-1020	Motor	75	1 x 1,5	1 x 2,5
P-1021	Motor	75	1 x 1,5	1 x 2,5
P-1022	Motor	75	1 x 1,5	1 x 4
P-1023	Motor	75	1 x 50	1 x 70
P-1003	Motor	75	1 x 1,5	1 x 4
Q-1002	Motor	75	1 x 2,5	1 x 4
Q-1003	Motor	75	1 x 2,5	1 x 6

Kabel	Jenis kabel	Panjang (m)	Penghantar (mm2)	
			Perhitungan	W.T.I.P Kawangan
G-1001	Motor	75	1 x 1,5	1 x 2,5
G-1002	Motor	75	1 x 2,5	1 x 6
G-1003	Motor	75	1 x 1,5	1 x 2,5
A-1001	Motor	75	1 x 2,5	1 x 4
MDP	Feeder	35	1 x 16	1 x 35
RECT	Feeder	35	1 x 1,5	1 x 4
UPS	Feeder	35	1 x 2,5	1 x 6

Sesuai dengan tabel 4.10 ukuran konduktor hasil perhitungan lebih kecil dibandingkan dengan yang terpasang di sistem, hal ini disebabkan oleh faktor koreksi pemasangan kabel yang berbeda. Dengan adanya selisih perbedaan

tersebut dapat dipastikan sistem yang dirancang dengan perhitungan dapat menghemat biaya instalasi secara keseluruhan karena harga konduktor yang dipakai juga mempunyai andil yang cukup besar dalam penentuan total biaya perancangan sistem kelistrikan.

Perbandingan selanjutnya adalah perbandingan ukuran pengaman yang digunakan, seperti terlihat pada tabel 4. 11 dibawah ini;

Tabel 4.11 perbandingan ukuran pengaman

Nama	Pengaman yang dipakai		Pengaman pada W.T.I.P.	
	In	kA	In	kA
DEG	1.800	36,0	1.500	36,0
P-1012	320	18,0	250	18,0
P-Existing	320	18,0	250	18,0
MCC-A	800	36,0	400	36,0
P-1001	50	7,5	40	10,0
P-1002	35	7,5	25	10,0
P-1004	35	7,5	25	10,0
P-1005	50	7,5	40	10,0
P-1006	125	10,0	80	10,0
P-1007	160	10,0	160	18,0
P-1008	50	7,5	40	10,0
P-1009	15	7,5	15	10,0
P-1010	50	7,5	40	10,0
P-1011	40	7,5	30	10,0
P-1015	15	7,5	15	10,0
P-1016	15	7,5	15	10,0
P-1017	15	7,5	15	10,0
P-1018	15	7,5	15	10,0
P-1019	15	7,5	15	10,0
P-1020	15	7,5	15	10,0
P-1021	15	7,5	15	10,0
P-1022	15	7,5	15	10,0
P-1023	160	10,0	160	18,0
MCC-C	225	18,0	200	18,0
SDP	100	7,5	100	10,0
UPS	30	7,5	25	10,0
RECT	15	7,5	15	10,0
P-1003	15	7,5	15	10,0
Q-1002	20	7,5	15	10,0
Q-1003	25	7,5	20	10,0
G-1001	15	7,5	15	10,0
G-1002	25	7,5	20	10,0
G-1003	15	7,5	15	10,0
A-1001	20	7,5	15	10,0

sesuai dengan tabel 4.9 dapat mengetahui bahwa hampir terjadi perbedaan pada pemilihan kapasitas pemutusan circuit breaker, kapasitas pemutusan yang lebih kecil membuat harga peralatan pengaman juga semakin murah sehingga secara keseluruhan hasil perhitungan pengaman sesuai dengan prosedur pada sub bab 4.4 dapat menghemat biaya perancangan secara keseluruhan.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian dan analisa sistem kelistrikan dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut;

1. Kapasitas gen-set yang digunakan adalah 763 kVA, dan menyuplai beban sistem sebesar 559 kVA. Dan lebih kecil dari kapasitas yang ada sebesar 800 kVA. Gen-set tersebut bekerja 78,3% dari kemampuan aktuannya.
2. Arus gangguan terbesar yang mungkin terjadi adalah 14,471 kA, sedangkan kapasitas pemutusan CB terbesar adalah 36 kA, sehingga arus gangguan terbesar tersebut dapat ditanggulangi.
3. Ukuran penghantar yang digunakan gen-set adalah 4 x 95 mm², sedangkan ukuran penghantar gen-set pada sistem kelistrikan W.T.I.P Kawangan Cepu 4 x 240 mm².

4. Dengan target faktor daya 0,95 kompensator daya reaktif yang digunakan sebesar 5 x 30 kVAR, berbeda dengan kompensator daya reaktif pada sistem kelistrikan W.T.I.P Kawangan Cepu yang sebesar 6 x 30 kVAR.
5. Rugi tegangan jatuh terbesar sistem terjadi pada motor P-1012 sebesar 2% dan masih berada pada batas yang ditentukan sebesar 5 %.
6. Dengan skenario terburuk berupa motor induksi 55 kW jalan mula saat kondisi beban lain dalam keadaan beban penuh, generator yang digunakan bekerja pada 81,7% dari kemampuan aktualnya sehingga masih mampu mensuplai beban sistem.
7. Berdasarkan hasil pengujian, hasil spesifikasi peralatan lebih kecil dari sistem kelistrikan W.T.I.P Kawangan sehingga sistem yang dirancang dapat menghemat biaya peralatan dan membuat sistem lebih ekonomis.

5.2 Saran

Setelah melakukan perhitungan, pengujian dan analisa penulis dapat menyarankan sebagai berikut;

1. Pengujian sistem kelistrikan dapat menggunakan perangkat lunak lain seperti ETAP versi 7.0 , ECODIAL dan EDSA 2005.
2. Pengujian untuk skenario terburuk dapat menggunakan *dynamic motor starting analysis* pada perangkat lunak ETAP versi 6.0
3. Pengujian sistem kelistrikan dapat menggunakan modul Real Time Monitoring dalam ETAP sehingga dapat mengetahui konsumsi daya persatuan waktu.
4. Melakukan pengujian sistem pentanahan menggunakan ETAP.

Daftar Pustaka

1. Panitia PUIL, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*, Yayasan PUIL, Jakarta, 2000.
2. Sheldrake L. Alan, *Handbook of Electrical Engineering; For Practitioners in the Oil, Gas and Petrochemical Industry* , England, 2003
3. Khan Shoaib, *Industrial Power System*, CRC Press, 2007
4. Nagrath I J, Kothari D P, *Modern Power System*, Second edition. McGRAW-HILL. 1991
5. IEEE standard. *IEEE Recommended Practice For Electric Power Distribution for Industrial plants*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. USA. 1994
6. Gill Paul, *Electrical Power Equipment Maintenance and Testing 2nd Edition*, Taylor and francis group LLC. 2009
7. Wiley John and Sons Ltd, *Guide to the Wiring Regulation*. England. 2009
8. Vedam Sastry R. and Sarma S. Muluktha, *Power Quality VAR Compensation in Power System*. Taylor & Francis Group. Boca Raton 2009
9. Kock de Jan and Strauss Cobus, *Practical Power Distribution For Industry*. Oxford. 2004
10. Dorf C. Richard, *The Electrical Engineering Handbook Series*. CRC Press LLC, 2001
11. Boldea Ion and Nasar A. Syed. *The Induction Machine Handbook*. CRC. 2001
12. Cekdin Cekmas, *Sistem Tenaga Listrik Contoh soal dan Penyelesaiannya Menggunakan Matlab*, ANDI Penerbit, 2010