

LAPORAN TUGAS AKHIR

MENGHITUNG EFISIENSI COMBUSTION TURBIN GENERATOR (CTG) 2

PT TRANS-PACIFIC PETROCHEMICAL INDOTAMA TUBAN



DISUSUN OLEH:

GALEH RASIYANTI

NIM. 021160007

PROGAM STUDI D3 TEKNIK KIMIA

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"

YOGYAKARTA

2019

TUGAS AKHIR

MENGHITUNG EFISIENSI THERMAL COMBUSTION TURBIN  
GENERATOR (CTG) 2

PT TRANS-PASIFIC PETROCHEMICAL INDOTAMA TUBAN



DISUSUN OLEH:

GALEH RASIYANTI

NIM. 021160007

PROGAM STUDI D3 TEKNIK KIMIA

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA

2019

**HALAMAN PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

MENGHITUNG EFISIENSI COMBUSTION TURBIN GENERATOR (CTG) 2

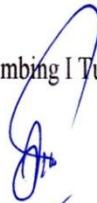
PT TRANS PACIFIC-PETROCHEMICAL INDOTAMA TUBAN

Disusun oleh:

Galeh Rasiyanti      NIM. 021160007

Telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan oleh:

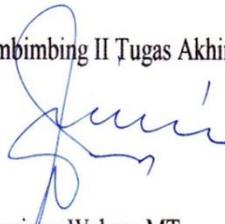
Dosen Pembimbing I Tugas Akhir



Ir. Zubaidi Achmad, M.T.  
NIP 19591003 199103 1 001

Pada tanggal: 1-8-2019 ~

Dosen Pembimbing II Tugas Akhir



Ir. Tunjung Wahyu, MT  
NIP 19640201 199303 2 002

Pada tanggal: 5-8-2019

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini berdasarkan data yang diperoleh saat kerja praktik yang dilaksanakan di Departement Utility Ofsite Marine. Laporan ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan program studi Diploma 3 Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta. Laporan ini berisi tentang gambaran alat Combustion Turbin Generator (CTG) yang ada di PT Trans-Pasific Petrochemical Indotama.

Penyusunan laporan ini dapat terselesaikan sesuai waktu yang telah di berikan tidak lepas dari dukungan, bimbingan dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penyusun menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Dr. Y. Deddy Hermawan, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
2. Dr. Adi Ilchham, S.T., M.T., selaku Koorprodi D3 Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Industri Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
3. Bapak Ir. Zubaidi Achmad, M.T., selaku pembimbing 1 yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan laporan ini.
4. Ir. Tunjung Wahyu, M.T., selaku pembimbing 2 yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan laporan ini.
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu selama pengerjaan laporan ini.
6. Keluarga besar PT Trans Pacific-Petrochemical Indotama dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu selama pelaksanaan kerja praktik berlangsung.

Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan laporan ini. Maka dari itu penyusun mengharapkan kepada semua pihak untuk dapat memberikan kritik dan saran yang membangun guna meningkatkan kualitas laporan Tugas Akhir ini

Sleman, Juni 2019

Penyusun

## DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SIMBOL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
BAB I PROFIL PERUSAHAAN DAN SISTEM PRODUKSI.....	1
1.1. Profil Perusahaan .....	1
1.1.1. Gambaran Umum Perusahaan.....	3
1.1.2. Visi, Misi dan Logo PT TPPI Tuban .....	4
1.1.3. Lokasi dan Tata Letak Kilang.....	4
1.1.3.1. Lokasi Pabrik.....	5
1.1.3.2. Tata Letak Pabrik.....	6
1.1.4. Zona di PT TPPI .....	7
1.1.4.1. ISBL (Inside Batery Limit).....	7
1.1.4.1.1. Platforming Area.....	7
1.1.4.1.2. Aromatik Area.....	8
1.1.4.2. OSBL (Outside Battery Limit) .....	8
1.1.4.2.1. Offisite .....	9

1.1.4.2.2. Marine .....	9
1.2. Sistem Produksi Utility .....	10
1.3. Sistem Pengendalian Proses dan Penjaminan Mutu Produk .....	34
1.4. Pengendalian Mutu Produk .....	35
<b>BAB II TUGAS KHUSUS .....</b>	<b>38</b>
2.1. Latar Belakang .....	38
2.2. Tujuan.....	39
2.3. Tinjauan Pustaka .....	39
2.3.1. Pengantar.....	39
2.3.2. Klasifikasi Turbin Gas .....	40
2.3.2.1. Klasifikasi Turbin Gas Berdasarkan Siklus Kerjanya.....	40
2.3.2.2. Klasifikasi Turbin Gas Berdasarkan Konstruksinya.....	45
2.3.2.3. Klasifikasi Turbin Gas Berdasarkan Aliran Fluidanya .....	46
2.3.3. Lingkup dan daerah operasi .....	46
2.3.4. Komponen Utama Turbin Gas .....	47
2.3.5. Sistem Pendukung.....	49
2.3.6. Proses Termodinamika Turbin Gas.....	57
2.3.7. Neraca Massa .....	58
2.3.8. Neraca Panas .....	60
2.4. Data Lapangan.....	61
2.5. Metode.....	64
2.6. Hasil Pengolahan Data dan Pembahasan.....	66
2.6.1. Hasil Pengolahan Data .....	66
2.6.1.1. Neraca Massa .....	66
2.6.1.2. Neraca Panas .....	67

2.6.1.3. Efisiensi Thermal Turbin .....	67
2.6.1. Pembahasan.....	69
<b>BAB III PENUTUP .....</b>	<b>73</b>
III.1. Kesimpulan.....	73
III.2. Saran .....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>75</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>76</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Komposisi Saham PT TPPI.....	2
Gambar 2. Logo PT TPPI .....	4
Gambar 3. Letak Pabrik PT TPPI dilihat dari kawasan Indonesia.....	6
Gambar 4. Alur Pelabuhan PT TPPI Port .....	6
Gambar 5. Tata Letak Pabrik PT TPPI .....	7
Gambar 6. Diagram Alir Sea Water Intake.....	10
Gambar 7. Sea Water Intake Kanal.....	11
Gambar 8. Bar dan Travelling Screen .....	12
Gambar 9. Rangkaian Unit Electrochlorination.....	14
Gambar 10. Proses Water Treatment Plant.....	16
Gambar 11. Clarifier .....	18
Gambar 12. Multi Media Filter .....	19
Gambar 13. Bag Filter.....	19
Gambar14. Catridge Filter .....	20
Gamabr 15. Rangkaian Unit Sea Water Reverse Osmosis .....	21
Gambar 16. Rangkaian Unit Brackish Water Reverse Osmosis .....	22
Gambar 17. Mixed Bed Polisher.....	22
Gambar 18. Plant Air Unit .....	24
Gambar 19. Proses Control Plant Air Distribution .....	24
Gambar 20. Air Dryer .....	25
Gambar 21. Pre After .....	25
Gambar 22. Diagram Alur Waste Water Treatment Plant.....	32

Gambar 23. Diagram Alur Pengolahan Sour Water .....	33
Gambar 24. Diagram Alur Pengolahan Limbah Gas .....	34
Gambar 25. Buku Saku Karyawan PT TPPI.....	39
Gambar 26. Turbin Gas Sederhana .....	40
Gambar 27. Skema PLTG siklus terbuka.....	41
Gambar 28. Siklus standar Brayton .....	41
Gambar 29. Skema PLTG siklus tertutup .....	42
Gambar 30. Skema PLTG siklus terbuka dan tertutup .....	43
Gambar 31. Siklus Turbin Gas Regeneratif .....	43
Gambar 32. Skema PLTG siklus terbuka dengan regenerator dan intercooler.....	45
Gambar 33. Siklus PLTG siklus terbuka dengan regenerator dan intercooler.....	45
Gambar 34. Weather hood pada sistem filtrasi .....	51
Gambar 35. Vane Axial separator.....	51
Gambar 36. Pengoperasian Inertial Separator.....	52
Gambar 37. Prefilter/coalescer.....	53
Gambar 38. Skema filtrasi pada PLTG .....	53
Gambar 39. Skema model system Turbin Gas Sederhana .....	58
Gambar 40. Diagram P-V dan Diagram T-s .....	58
Gambar 41. Diagram alir neraca massa .....	66
Gambar 42. Diagram alir neraca panas .....	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Produk Depertemen Platforming dan Aromatik .....	8
Tabel 2. Klasifikasi steam di PT TPPI.....	29
Tabel 3. Kontrol yang digunakan serta fungsinya .....	36
Tabel 4. Data primer .....	63
Tabel 5. Berat molekul dan kapasitas panas .....	65
Tabel 6. Data entalpi pembentukan standar pada suhu 298 K .....	65
Tabel 7. Neraca massa total .....	67
Tabel 8. Neraca panas total .....	68

## DAFTAR SIMBOL

Simbol dan satuan:

$P$	=	Tekanan (Kpa)
$T$	=	Temperatur (K)
$S$	=	Entropi
$T_1$	=	Temperatur udara Lingkungan (K)
$T_2$	=	Temperatur udara tekan (K)
$T_4$	=	Temperatur gas buang (K)
$T_3$	=	Temperatur keluar ruang bakar (K)
$T_{3s}$	=	Temperatur ruang bakar (K)
$P_1$	=	Tekanan udara Lingkungan (Kpa)
$P_{2.gage}$	=	Tekanan udara tekan(gage) (Kpa)
$P_2$	=	Tekanan absolut udara tekan (Kpa)
$P_3$	=	Tekanan udara di ruang bakar (Kpa)
$P_4$	=	Tekanan udara buang (Kpa)
$\rho_{fuel}$	=	Berat jenis bahan bakar (kg/s)
$m_{fuel}$	=	Laju aliran massa bahan bakar (kg/s)
LHV	=	Nilai kalor bahan bakar (KJ/kg)
$m_{udara}$	=	Laju aliran massa udara (kg/s)
$C_p$	=	Kapasitas panas (KJ/Kg.K)
$q_{in}$	=	Panass masuk sistem (KJ/Kg)
$q_{out}$	=	Panas keluar sistem (KJ/Kg)
$W_T$	=	Kerja turbin berguna (KJ/Kg)
$\eta_{th}$	=	Efisiensi thermal aktual siklus Brayton
$P$	=	Daya (MW)

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- A. Surat Keterangan Kerja Praktik
- B. PEFD
- C. Gambar Alat Tugas Khusus
- D. Data Primer dan data Sekunder
- E. Perhitungan
- F. Foto bersama pembimbing lapangan

## ABSTRAK

Pada zaman modern ini Combustion Turbin Generator (CTG) adalah salah satu pembangkit listrik yang banyak digunakan di dalam industri, karena Combustion Turbin Generator (CTG) adalah mesin yang dapat mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik dengan memanfaatkan udara bebas, serta dapat bekerja dalam jangka waktu yang lama. Maka dalam usaha untuk meningkatkan efektifitas kerja suatu industri perlu adanya perencanaan yang tepat pada operasionalnya, hal ini penting dalam mengetahui efisiensi dari suatu pembangkit listrik yang digunakan. Di PT Trans-Pacific Petrochemical Indotama (PT TPPI) menggunakan pembangkit listrik berupa Combustion Turbin Generator (CTG) dengan daya yang dihasilkan adalah 22 MW. Pada awal start awal gas buang yang dihasilkan oleh Combustion Turbin Generator (CTG) dibuang ke atmosfer dan tidak dimanfaatkan, sehingga mempunyai efisiensi thermal yang rendah. Setelah pengoperasian Combustion Turbin Generator (CTG) stabil, kemudian gas buang yang dihasilkan CTG akan dimanfaatkan untuk proses pembuatan steam dengan alat Heat Recoveri Steam Generator (HRSG). Di PT Trans-Pacific Petrochemical Indotama (PT TPPI) ini setiap Combustion Turbin Generator (CTG) akan dicouplekan (dihubungkan) dengan alat Heat Recoveri Steam Generator (HRSG) untuk meningkatkan efisiensi thermalnya. Dalam tugas akhir ini nantinya nilai efisiensi dari Combustion Turbin Generator (CTG) dihitung menggunakan metode siklus Brayton. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode siklus Brayton didapatkan efisiensi thermal dari Combustion Turbin Generator (CTG) di PT Trans-Pacific Petrochemical Indotama (PT TPPI).

*Kata kunci : Combustion Turbin Generator (CTG), Siklus Brayton, Efisiensi Thermal*

## BAB I

### PROFIL PERUSAHAAN DAN SISTEM PRODUKSI

#### 1.1. Profil Perusahaan

Pendirian PT Trans Pacific Petrochemical Indotama (PT TPPI) dimulai dari maraknya industri petrokimia di Indonesia pada awal tahun 90-an. Tren ini awalnya dimulai dengan berdirinya Asahimas pada tahun 1984, kemudian Chandra Asri pada tahun 90-an. PT TPPI berdiri pada Oktober 1995 berdasarkan PP No. 1/1967 dan PP No. 11/1970 dengan investasi modal dari pihak asing. Pengerukan tanah pertama sebagai persiapan untuk area pabrik dilangsungkan pada November 1996. Namun, krisis moneter yang menghancurkan perekonomian negara turut menghambat pembangunan pabrik. Hal ini berakibat pada ditundanya pembangunan pada tahun 1998 untuk sementara waktu.

Pada Februari 2004, Presiden Indonesia mengumumkan secara legal nasionalisasi dari PT TPPI, dimana hak kepemilikan terbesar yang sebelumnya dari pihak asing berpindah tangan ke Pemerintah Indonesia. Kondisi ini tentunya membawa angin segar bagi PT TPPI sehingga bisa hidup lagi setelah dilanda krisis moneter berkepanjangan sehingga adanya peralihan keuangan, pengelolaan PT TPPI membaik seiring dengan dana segar yang dikucurkan oleh Pemerintah Indonesia. Sebagai kelanjutannya, konstruksi dilanjutkan kembali, tepatnya dimulai pada Juni 2004. Kemudian pada bulan Februari 2006, kondesat pertama diimpor oleh PT TPPI mulai melangsungkan proses dan memproduksi *light naphtha*, *kerosene*, *diesel*, dan *fuel oil* rendah sulfur.

Pada April 2006, PT TPPI menjual produk untuk pertama kalinya berupa *light naphtha*, *reformat*, dan *kerosene*. Setelah itu, PT TPPI mulai memproduksi benzene dan toluene. Dan pada sekitar bulan Juni 2006, PT TPPI mulai melangsungkan proses produksi secara keseluruhan, dengan produksi tambahan berupa paraxylene. Selama pembangunan, yang bertugas



sebagai kontraktor yang mengurus konstruksi dipegang oleh JGC dan WAIJO. Sedangkan UOP (USA) ditunjuk sebagai *process licensor* untuk bagian aromatic. Pada tahun 2010, didirikan *plant* baru yaitu LPG (*Liquified Petroleum Gas*) *Plant* yang merupakan *plant* tambahan dalam pengkonverisan *Fuel Gas* menjadi produk LPG.

Sebenarnya pada awal berdiri, PT TPPI merencanakan agar mendirikan Pabrik Olefin dan Aromatik secara berdampingan. Hal ini dimaksudkan agar *interfacing* produk-produk samping bisa dimaksimalkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku, bahan penolong, dan *fuel* diantara kedua pabrik tersebut. Namun, sehubungan dengan adanya krisis ekonomi pada tahun 1997, maka pembangunan Pabrik Olefin dan sarana penunjangnya masih belum dapat diwujudkan hingga saat ini. PT TPPI juga mempunyai konsep ke depan berupa pembangunan LPG *Plant* dan *Olefin Plant* dalam rangka *upgrading* dan pembangunan pabrik.

Pada Oktober 2012, manajemen di bawah PT TPPI dinyatakan default dalam pembayaran kepada PT Pertamina sebagai kesepakatan jual beli produk. Sehingga setelah melalui pengadilan Tata Usaha Negara di Jakarta terjadi perubahan saham dan telah dilakukan RPUS LB untuk pengesahan komposisi saham dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1. Komposisi Saham PT TPPI**

Pada Agustus 2015, PT Pertamina telah mengakuisisi saham Agro dan telah resmi dinyatakan dalam RUPS pada awal 2016, sehingga komposisi

*share* saham PT Pertamina naik menjadi 48,59 di PT TPPI. Sehingga secara garis besar PT TPPI adalah perusahaan yang sahamnya dibawah pemerintah Republik Indonesia sebesar 74,52%. Dalam upaya untuk pemenuhan BBM dalam negeri serta upaya PT Pertamina dalam pengembangan business Petrochemical, PT Pertamina berupaya agar PT TPPI bisa segera diambil alih kelola secara penuh business PT TPPI yang ada pada negara. Yang mana target nya dalam waktu dekat adalah untuk mendapatkan saham PPA sehingga saham PT Pertamina menjadi diatas 74,52% sehingga PT TPPI sejajar dengan anak perusahaan PT Pertamina.

Beroperasinya kembali kilang PT TPPI memiliki peran yang sangat penting untuk memasok dan mengembangkan industri petrokimia dan bahan bakar di Indonesia. Indonesia akan menerima tambahan pasokan petrokimia, serta pasokan bahan bakar, dan LPG sehingga negara dapat mengurangi volume impor. Mengenai perjanjian antara PT TPPI dan PT Pertamina, pabrik akan beroperasi pada 55-80 kbp dan akan memproduksi sekitar 530.000 ton produk, yang terdiri dari *Para-Xylene*, *Benzene*, *Orto-Xylene* dan *Heavy Aromatic*, aditif bahan bakar dalam bentuk *gas oil* dan *fuel oil* pada volume 1,5 juta barel LPG tambahan pada 36.000 ton, dan *Light Naphtha* di 2,8 juta barel. Dalam proses produksinya, PT TPPI mengolah condensate sekitar 60.000 barel/hari. Dalam sistem produksinya, mode operasi ditentukan dimana produk yang memiliki harga jual tinggi di situlah produksi akan ditingkatkan.

### 1.1.1. Gambaran Umum Perusahaan

PT Trans-Pacific Petrochemical Indotama (PT TPPI) merupakan industri yang mengolah kondensat menjadi produk petroleum dan petrochemical serta hasil produk sampingnya. PT Tuban Petrochemical Industries (Tuban Petro) adalah perusahaan induk untuk salah satu grup bisnis petrokimia utama di Indonesia. Bisnis inti Tuban Petro disampaikan melalui anak perusahaannya. PT Trans-Pacific



Petrochemical Indotama (PT TPPI), PT Polytama Propindo (Polytama), dan Petro Oxo Nusantara (PON). PT TPPI memiliki aromatik plant beskala besar dengan kapasitas pengerjaan yang dirancang sebesar 100.000 barel kondensat perhari di Tuban, Jawa Timur. Perusahaan yang mengolah kondensat (campuran kompleks antara hidrokarbon (sebagian besar C3-C8) yang dipisahkan dan atau dikondensasikan (dari gas alam) menjadi produk-produk seperti Para-Xylene, Orto-Xylene, Benzene, toluene, Kerosene, Gas Oil, PTCF (Petrochemical Thermal Cracker Feed), Diesel Oil, Light Naptha, Reformate dan Mixed-Xylene. Produk PT TPPI didistribusikan untuk pasar berskala nasional dan internasional. Dalam proses produksinya, bahan baku diversifikasi menjadi produk sesuai permintaan pasar.

### 1.1.2. Visi, Misi dan Logo PT TPPI Tuban

#### 1. Visi PT TPPI Tuban

PT TPPI memiliki sebuah misi yaitu “Menjadi perusahaan petrokimia dan energi kelas dunia”.

#### 2. Misi PT TPPI Tuban

PT TPPI memiliki suatu misi yaitu “Menjalankan usaha komersial petrokimia dan energi yang terintegrasi dengan berdasarkan prinsip yang berintegritas”.

#### 3. Logo PT TPPI Tuban



**Gambar 2. Logo PT TPPI**

### 1.1.3. Lokasi dan Tata Letak Kilang

PT Trans-Pasific Petrochemical Indotama (PT TPPI) terletak di daerah tepi Tanjung Awar-awar, Desa Remen-Tasik Harjo, Kecamatan

Jenu, Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Alasan pemilihan tepi Tanjung Awar-awar sebagai lokasi pabrik antara lain :

1. Tersedianya area yang cukup luas dan murah untuk lokasi pabrik.
2. Tersedianya sarana pelabuhan untuk kepentingan distribusi bahan baku dan hasil produk.
3. Tersedianya air laut dalam jumlah yang besar yang dapat digunakan untuk proses dan sebagai utilitas.

#### **1.1.3.1. Lokasi Pabrik**

Ditinjau dari segi geografis dan ekonomis, lokasi dari PT Trans-Pasific Petrochemical Indotama (PT TPPI) cukup strategis karena ada beberapa faktor yang mendukung yaitu:

- a. Dekat dengan sarana transportasi

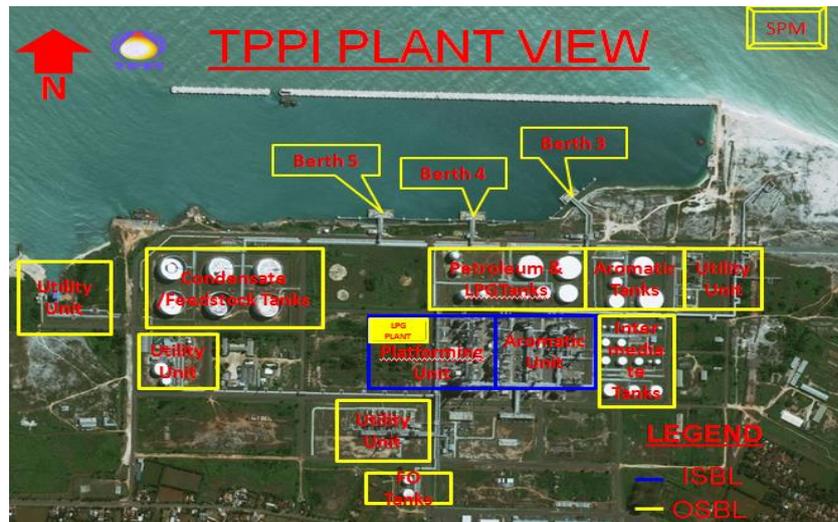
Dekat dengan terminal Tuban dan jalan darat, sehingga memudahkan transportasi pemasaran produk ke konsumen dan transportasi bahan-bahan yang dibutuhkan.

- b. Dekat dengan sumber air

Sumber air terdekat yaitu Laut Jawa, sehingga mudah memperoleh air yang digunakan sebagai penunjang produksi baik pada musim penghujan maupun musim kemarau.

Berikut adalah peta buta Indonesia yang menunjukkan titik kota Tuban yaitu tempat PT TPPI Tuban dan jalur transportasi laut. Letak PT TPPI dilihat dari kawasan Indonesia serta alur pelabuhan dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4.





Gambar 5. Tata Letak Pabrik PT TPPI

#### 1.1.4. Zona di PT TPPI

PT TPPI memiliki 2 zona utama dalam pabrik, yaitu ISBL (Inside Battery Limit) dan OSBL (Outside Battery Limit). Dimana sistem ISBL adalah sistem mengolah dari bahan baku menjadi produk yaitu Departemen Produksi dan sistem OSBL adalah sistem penunjang operasional pabrik yaitu Departemen Utility dan Offsite Marine.

##### 1.1.4.1. ISBL (*Inside Battery Limit*)

ISBL memproses bahan baku utama yang digunakan oleh PT TPPI untuk menghasilkan produk utama yaitu benzene, toluene, para-xylene, orto-xylene dan mix-xylene. Selain menghasilkan produk BTX, pada tahun 2016 PT TPPI juga menghasilkan produk samping berupa pertamax. Secara umum proses yang ada di ISBL ada dua departement yaitu departement platforming dan departement aromatik.

##### 1.1.4.1.1. Platforming Area

Di bagian platforming terdiri dari 5 unit plant yaitu unit 201 (Prefactination Unit), unit 202 (NTH Unit), unit

203 (Platforming Unit), unit 204 (CCR Unit), unit 220 (LPG Unit). Bagian platforming ini berfungsi untuk mengolah kondensat menjadi produk *kerosene*, *gas oil*, *PTCF (Petrochemical Thermal Cracker Feed)*, *light naphta* dan *reformate* yang akan diolah lebih lanjut di bagian aromatik.

#### 1.1.4.1.2. Aromatik Area

Pada bagian aromatik secara umum terdiri dari unit 205, 206, 207, 209, 211 dan 213. Bagian ini mengolah *reformate* yang banyak mengandung  $C_7$  yang dihasilkan dari bagian platforming menjadi produk benzene, toluene, orto-xylen, para-xylen, mix-xylen dan heavy naphtha. Bagian aromatik ini sendiri dibagi menjadi dua bagian yaitu aromatik I dan aromatik II. Aromatik I terdiri dari unit 205 (Shell Sulfolane Unit), unit 206 (Benzene Toluene Fractination Unit), dan unit 213 (Tatoray Unit). Sedangkan aromatik II terdiri dari 207 (Parex Unit), unit 209 (Isomar Unit), dan unit 211 (Aromatic Fractination Unit).

**Tabel 1. Produk Departemen Platforming dan Aromatic**

Departemen Platforming	Departemen Aromatic
Kerosene	Benzene
Gas oil	Toluene
Fuel Oil	Orto-Xylene
Light Naptha	Para-Xylene
LPG	Pertamax
Reformate	Pertalite

#### 1.1.4.2. OSBL (*Outside Battery Limit*)

Outside Battery Limit (OSBL) merupakan unit proses diluar proses pengolahan bahan baku utama. OSBL memiliki



fungsi sebagai pendukung utama proses, mulai dari supply energi yang dibutuhkan untuk menjalankan unit proses utama hingga pengiriman produk dan pengolahan limbah. Unit OSBL terdiri dari tiga bagian yaitu *Utility*, *offsite*, dan *Marine*. Penjelasan mengenai ketiga unit yang terdapat dalam OSBL dijelaskan sebagai berikut:

#### 1.1.4.2.1. Offsite

Offsite departemen berfungsi sebagai sarana penyimpanan feed, intermediet, produk akhir dari proses aromatik dan platforming dan chemicals untuk melakukan proses blending Mogas 88 (Premium) dan Mogas 92 (Pertamax) serta blending Full Range Naphtha Tangki Penyimpanan di PT TPPI terbagi menjadi lima bagian yang terdiri dari feedstock tank, intermediet tank, product day tank, chemical storage tank.

#### 1.1.4.2.2. Marine

Area *marine* merupakan fasilitas untuk *loading* dan *unloading* bahan baku serta produk dari PT TPPI.

#### 1.1.4.2.3. Utility

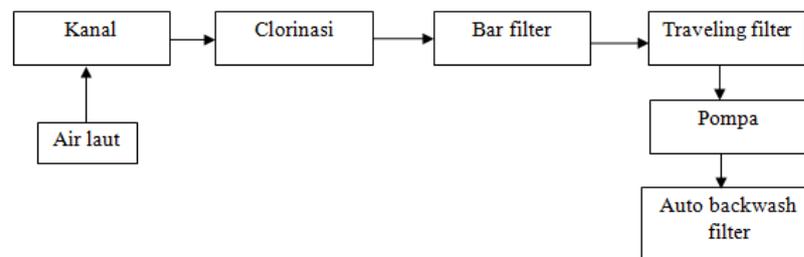
Utility merupakan fasilitas penunjang yang diperlukan dalam suatu industri kimia untuk proses produksi. PT Trans-Pasific Petrochemical Indotama (PT TPPI) mempunyai beberapa unit utilitas untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik, tenaga uap, air pendingin, bahan bakar dan sebagainya.

## 1.2. Sistem Produksi Utility

Seperti yang telah disebutkan di atas bahwa utility merupakan fasilitas penunjang yang di perlukan dalam suatu industri kimia untuk proses produksi. Berikut ini adalah beberapa unit utilitas di PT TPPI.

### 1. Sea Water System

Penyediaan air untuk proses produksi di PT TPPI berasal dari unit Sea Water System. Sea Water System adalah suatu unit proses yang memanfaatkan air laut sebagai sumber utama, yaitu *water treatment plant, electrochlorination unit, washing pump traveling screen*, media pendingin cooling water dan back-up fire water dalam keadaan darurat dimana ketersediaan fire water tidak tercukupi. Bagian utama dari unit ini terdiri dari: sea water intake, bar screen, dan traveling screen, sea water pump, eletrochlorination unit, automatic bachwash filter (ABS), back pressure weir, dan plate and frame heat exchanger (PFHE). Tahapan proses sea water system PT TPPI dapat dilihat pada gambar 6.



**Gambar 6. Diagram Alir Sea Water Intake**

#### A. Intake Kanal

Intake kanal berfungsi untuk menampung sea water untuk kemudian dipompa dengan sea water pumps dan mengalir melalui auto backwash filter (ABF) menuju plate and frame heat exchanger (PFHE) sebagai pendingin closed cooling

water return, umpan electro chlorination unit (ECU), travelling pump backwash water, back up fire water dan water treatment plant (WTP). Sea water intake PT TPPI tuban dapat dilihat pada gambar 16.



**Gambar 7. Sea Water Intake Kanal**

Kedalaman pada sea water intake kanal yaitu 9 meter yang di tunjukan agar lumpur tidak ikut terbawa ke suction pompa. Sea water intake di desain untuk mendapatkan air laut (sea water) yang bersih, bening dan dingin. Hal tersebut dicapai dengan mendesain kecepatan masuk sea water  $<0,02$  m/s agar endapan besar terikut dan mengendap di bawah kanal. Sea water intake dilengkapi dengan bar screen, elektriklorinator sebagai injeksi, dan sea water pump (3 running dan 1 standby). Basin pada intake kanal dibagi menjadi 4 bagian seperti halnya pompa SWI. Setelah travelling screen terdapat zona bebas yang menghubungkan aliran dari 4 canal menjadi satu dan setelah mendekati suction pompa kanal dibagi menjadi 4 dengan tujuan agar pada saat ada perbaikan atau pembersihan canal maka bagian belakang pompa SWI masih bisa mendapatkan feed (masih bisa running normal).

## B. Bar dan Travelling Screen

*Bar screen* digunakan menyaring kotoran yang mempunyai ukuran 15 cm seperti binatang laut besar (seperti ikan, ubur-ubur) untuk tidak masuk kedalam *sea water pump* basin karena dapat mengurangi kinerja dari pompa. *Sea water system* juga dilengkapi dengan *travelling screen* untuk menyaring kembali kotoran yang masih lolos dari *bar screen*. Ukuran *travelling screen* adalah 1 cm. *Travelling screen* dilengkapi dengan pompa yang berfungsi untuk melepas sampah yang menempel pada *screen* dengan cara *flush water* dari *auto backwash filter*, kemudian mengalirkan ke basket sampah. *Unit bar dan travelling screen* di PT TPPI dapat dilihat pada gambar 17.



**Gambar 8. Bar dan Travelling Screen**

## C. Sea Water Intake Pump

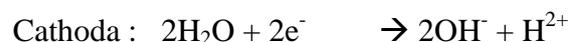
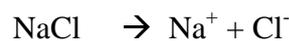
Di dalam unit *Sea Water Intake* terdapat *sea water pump* yang berfungsi memompa air untuk keperluan di PHE (*Plate Heat Exchanger*), *water treatment plant*, *backup fire water*, *washing pump travelling screen* dan *electrochlorination system*. *Sea water pump* basin dengan kedalaman 9 meter diperlukan untuk menyediakan *suction head* yang cukup agar *sea water pump* tidak terkena masalah kavitasi saat permukaan

air laut turun. Kebutuhan air laut dengan keperluan sebesar 23.600 m<sup>3</sup>/jam dipompa oleh 3 pompa dengan kapasitas masing-masing 7.870 m<sup>3</sup> pada 3 kg/cm<sup>2</sup>. Setiap pompa beserta penggerakannya dilengkapi dengan *lubrication system, integral cooling* dan *vibration monitoring system*.

#### D. Electrochlorination Unit

Electrochlorination unit merupakan unit yang menghasilkan natrium hipoklorit dari air laut secara elektrolisis. Natrium hipoklorit digunakan sebagai desinfektan yang mematikan dan mencegah pertumbuhan organisme pada air laut yang digunakan sebagai pendingin, karena organisme tersebut dapat menyebabkan pengotoran, fouling, serta penyumbatan pada alat penukar panas dan pipa-pipa pendistribusi sehingga dapat menurunkan efektifitas alat. Sebagian air laut dari auto backwash filter ke *electrochlorination plant* dan selanjutnya aliran dilewatkan melalui dua buah electrode yang akan mengelektrolisa natrium klorida menjadi natrium hipoklorit.

- **Reaksinya pembuatan klorin dari air laut:**



- **NaOCl dalam air bereaksi menjadi :**



HOCl sebagai desinfektan dan Cl<sub>2</sub> disebut juga *free chlorine*



Rangkaian unit electrochlorination dapat dilihat pada gambar 9.



**Gambar 9. Rangkain Alat Unit Electrochlorination**

Produk chlorida yang menghasilkan pada elektrochlorination unit ini umumnya berbeda-beda pada tiap waktunya dikarenakan juga menyesuaikan kebutuhan air produk, pada saat pengambilan sampel di sampel point 986-SN-004 yang akan dianalisa kebutuhan chloride yang dihasilkan dalam unit ini sebesar 380 ppm.

#### **E. Automatic Backwash Filter (ABF)**

Automatic backwash filter berfungsi untuk menangkap kotoran yang tidak tersaring di travelling screen. Automatic Backwash Filter mempunyai ukuran 800 micro (20 mesh) dengan tujuan untuk mencegah terjadinya plugging pada PFHE (*Plate Frame Heat Exchanger*). Sea water yang membawa impurity atau kotoran masuk kedalam ABF menuju ke ruang dalam atau *inner chamber*. Sea water kotor mengalir keatas dan menembus strainer elemen. Impurity akan ditahan oleh permukaan datar strainer element sedangkan sea water yang sudah tersaring mengalir menuju ruang luar atau keluar. Selama backwash cycle motor atau gear reducer akan terhubung dan menggerakkan element untuk mengambil

impurity yang tertahan. Aliran balik terjadi akibat isapan air yang mengalir melalui lubang lengan pipa dan menghisap kotoran atau impurity. Keadaan ini berlangsung sampai backwash cycle selesai.

#### **F. Plate and Frame Heat Exchanger**

Unit ini berfungsi untuk mendinginkan cooling water yang berasal dari proses. Rata-rata dalam proses operasional cooling water dari proses memiliki temperatur  $37^{\circ}\text{C}$  dan sea water bertemperature  $30^{\circ}\text{C}$ . Cooling water setelah didinginkan di PHE menjadi  $33^{\circ}\text{C}$ . Sea water mendinginkan cooling water return yang berasal dari proses, sedangkan sea water yang panas dikirim ke outfall dan cooling water yang dingin dikirim ke cooling water tanki. Unit ini terdiri dari 12 PFHE (*Plate Frame Heat Exchanger*) dimana 10 Plate Heat Exchanger in service dan 2 Plate Heat Exchanger stand-by.

#### **G. Back Pressure Weir**

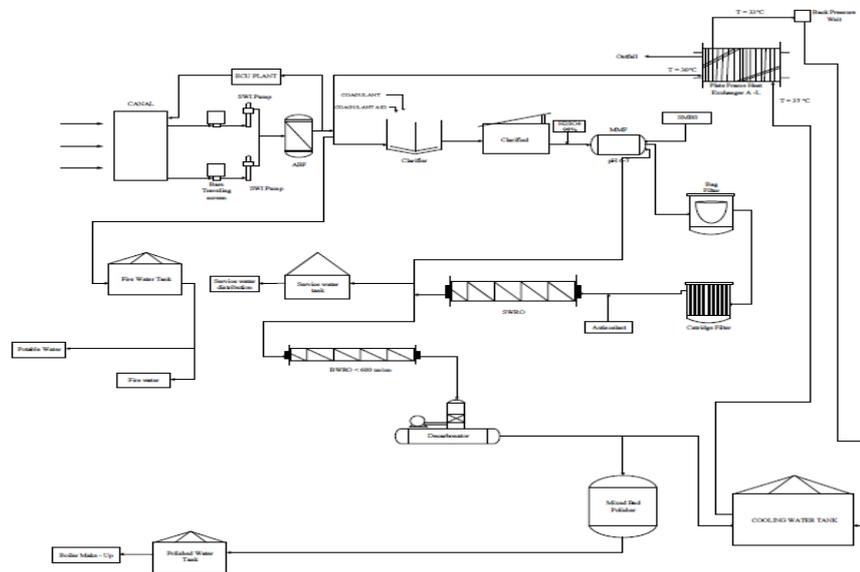
Back pressure weir berfungsi untuk menyediakan tekanan balik agar tidak terjadi vakum di system sea water (pipa PFHE). Back pressure weir terletak pada keluaran PFHE pada elevasi 8 cm dengan ketinggian weir sekitar 8 m untuk memberikan back pressure sebesar  $0,7 \text{ kg/cm}^2$ .

### **2. Water Treatment Plant (WTP)**

Water Treatment Plant dirancang untuk memproses air laut menjadi service water, demin water dan polish water dengan menggunakan teknologi *Reverse Osmosis* dari METITO. Air laut yang dipompakan dengan sea water pumps ke PHE (Plate Heat Exchanger) sebagian dialirkan ke Clarifier, Multi Media Filter, Bag Filter, Catridge Filter dan Sea Water Reverse Osmosis untuk diproses menjadi air tawar dan selanjutnya diproses menjadi air



demin, dan air polish. Diagram proses water treatment plant di PT TPPI dapat dilihat pada gambar 10.



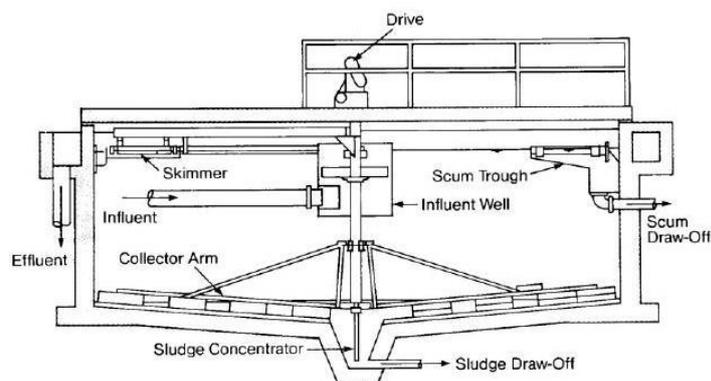
**Gambar 10. Proses Water Treatment Plant**

Selain sebagai service waer, air yang ada didalam tanki service water digunakan sebagai potable water (sebelum didistribusikan, diinjeksikan dengan sodium hypochloride) dan fire water. Sedangkan,  $82 \text{ m}^3/\text{jam}$  air tawar sisanya akan diproses lebih lanjut di *Brackish Water Reverse Osmosis* untuk menghasilkan demineralized water dan selanjutnya dialirkan ke *mixed bed polish* untuk menghasilkan *polished water* serta sebagian digunakan sebagai make-up cooling water tank. Umpan dari *mixed bed polisher* selain dari produk *Brackish Water Reverse Osmosis*, juga dari condensate return sebanyak  $50 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Bagian utama WTP terdiri dari clarifier tank, multi media filter, bag filter, cartridge filter, SWRO (Sea Water Reverse Osmosis), BWRO (Brackish Water Reverse Osmosis) dan mixed bad polisher. Adapun bagian

utama WTP (Water Treatment Plant) dijelaskan seperti di bawah ini:

### A. Clarifier Unit

Clarifier tank merupakan tempat penampungan sea water yang akan di proses dan sebagai tempat terjadinya proses koagulasi, flokulasi dan sedimentasi dengan ditambahkan koagulan dan koagulan aid. Clarifier unit terdiri dari clarifed, clarifier water pump, sensor level , fokulator, scrapper dan sludge tank. Clarified tank berfungsi untuk menampung air over flow yang sudah bersih dari clarifier tank. Clarified water pump untuk memompa water ke multi media filter. Sensor level berfungsi mengukur ketinggian level. Fokulator berfungsi untuk mengaduk koagulant dan koagulant aid agar cepet homogen sehingga koagulasi dan flokulasi cepat terjadi. Scrapper berfungsi untuk mengarahkan sludge agar sludge bisa mengalir ke slugde tank. Slugde tank yang berfungsi untuk menampung sludge. Clarifier dapat dilihat pada gambar 11.



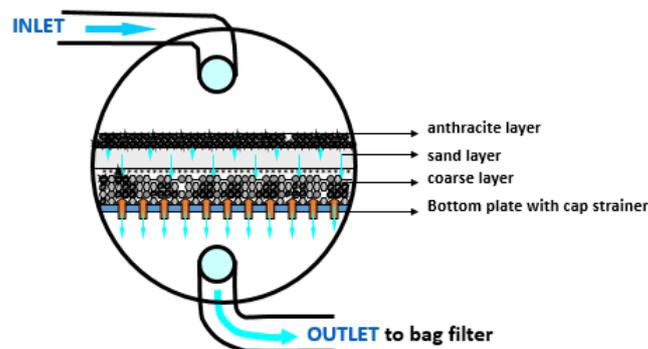
**Gambar 11. Clarifier**

Sesuai desainnya air laut sebanyak  $573 \text{ m}^3/\text{jam}$  diinject dengan koagulan ferri chlorit ( $\text{FeCl}_3$ ) yang berfungsi untuk mengikat kotoran dalam air. Di dalam clarifier diinject

koagulan aid (Polymer Base) yang berfungsi mempercepat untuk mengikat kotoran dalam air menjadi gumpalan (flok-flok) yang nantinya akan menjadi sludge dengan air produk yang berupa overflow dan sludge (lumpur)nya dibuang melalui sludge tank.

## B. Multi Media Filter

MMF (Multi Media Filter) adalah alat yang digunakan untuk menyaring atau memisahkan air yang masih terdapat SS (suspended solid) sehingga menjadi jernih dengan menggunakan media filter dalam suatu bejana. Media penyaring MMF terdiri dari absorben-absorben seperti antrasit, pasir kwarsa, pasir silica, small gravel dan medium gravel. Waktu service MMF adalah 24 jam dan akan auto backwash setelah waktu yang di tentukan habis. Kekeruhan air laut keluaran dari MMF yang diijinkan adalah  $< 3$  NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Multi media filter dapat dilihat pada gambar 12.

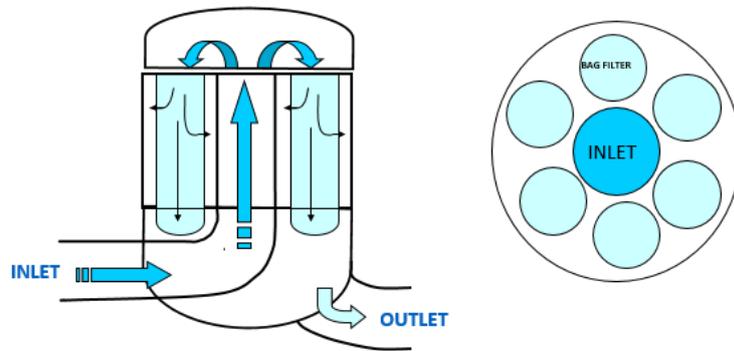


Gambar 12. Multi Media Filter

## C. Bag Filter

Bag filter merupakan alat yang digunakan untuk memfilter atau menyaring kotoran yang berukuran lebih dari 25 mikron dengan 6 kantong penyaring. Bag Filter hanya sekali

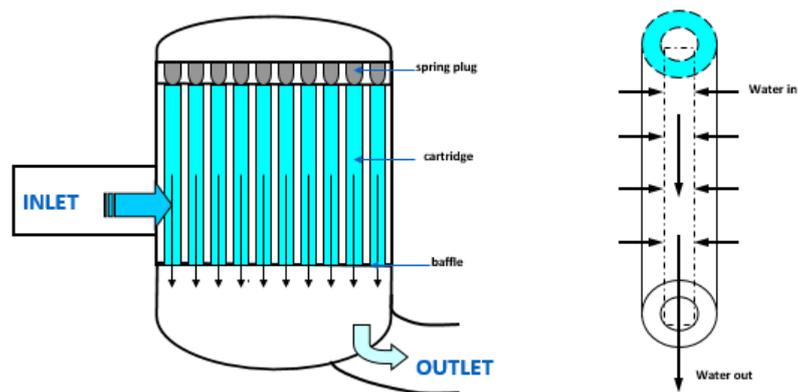
pakai dengan maksimal DP 1 kg/cm<sup>2</sup>. Bag Filter dapat dilihat pada gambar 13.



**Gambar 13. Bag Filter**

#### **D. Cartridge Filter**

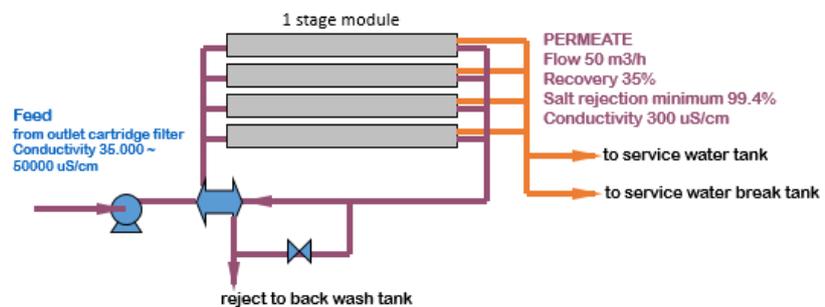
Cartridge filter merupakan filter yang didalamnya terdapat cartridge-cartridge penyaringan yang berfungsi untuk menyaring kotoran yang berukuran >5 mikron untuk maksimal DP 1 kg/cm<sup>2</sup>. Cartridge filter dalam satu vesel berjumlah 32 element. Cartridge filter dapat dilihat pada gambar 14.



**Gambar 14. Cartridge Filter**

#### **E. SWRO (Sea Water Reverse Osmosis)**

SWRO (Sea Water Reverse Osmosis) berfungsi untuk menurunkan kandungan konduktifitas dan mengurangi beban ion exchanger yang ada pada air. Unit ini memproses sea water menjadi service water dengan cara dipompakan melewati membran semi permeable. Proses ini dinamakan reverse osmosis karena arah laju aliran dibalik dengan cara memberi tekanan diatas tekanan osmotik pressure sea water. Membrane semipermeable SWRO mempunyai pori sebesar 0,1 micron. Air produk dari SWRO ini conductivity <math><700 \mu\text{s}/\text{cm}^2</math>. Main parameter water sebelum masuk membran antara lain: conductivity <math><55000 \mu\text{s}</math>, ORP <math><375 \text{ mV}</math>, PH 6-6,5, SDI <math><3</math>. SWRO terdiri dari 4 unit SWRO dan setiap SWRO mampu memproduksi service water sebanyak



**Gambar 15. Rangkaian Unit Sea Water Reverse Osmosis**

Sebelum dialirkan ke membrane sea water reverse osmosis, air laut yang keluar dari MMF dilakukan pretreatment dengan diinjeksikan chemical antara lain:

1.  $H_2SO_4$  98 % untuk menurunkan Ph dengan tujuan menurunkan LSI agar menjadi negatif sehingga tidak menjadi selling di membran RO-nya.
2. SMBS (Sodium Metabisulfit) berfungsi untuk menghilangkan chlorine karena kandungan klorin dapat merusak membrane karena membrane terbuat dari bahan selulosa base.
3. Anti scalant untuk mencegah pengendapan dari garam kalsium dan magnesium

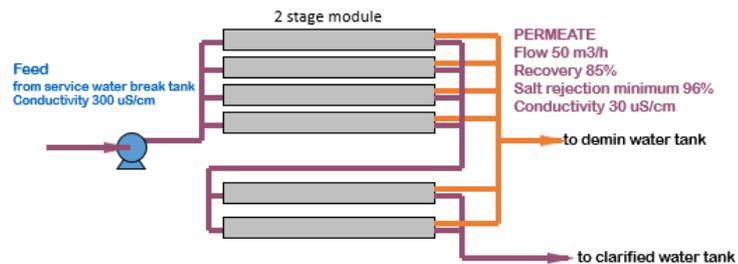
Setelah keluar dari cartridge filter, air laut masuk ke membrane SWRO (Sea Water Reverse Osmosis). Produk permeat dari SWRO didesain 35% dari feed yang masuk dan nantinya akan menuju ke service water tank dan BWRO, sedangkan hasil yang kurang bagus (reject) sebesar 65% akan dialirkan menuju back wash tank yang dipergunakan untuk back wash multi media filter dan sisanya dibuang ke laut. Osmosis yaitu perpindahan larutan dari konsentrasi rendah ke konsentrasi tinggi tanpa memerlukan adanya tekanan, dalam hal ini yang berpindah adalah pelarutnya, sedangkan proses di SWRO perpindahan larutan dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah dapat terjadi dengan menggunakan tekanan. Perpindahan ini terjadi di dalam membrane yang ada di dalam alat. Perubahan yang terjadi setelah perlakuan di SWRO adalah terjadinya perubahan air laut menjadi air tawar dengan konduktivitas yang lebih rendah.

#### **F. BWRO (Brackish Water Reverse Osmosis)**

BWRO (Brackish Water Reverse Osmosis) berfungsi untuk memproduksi demineralized water yang berguna untuk makeup cooling water tank, feed mixed



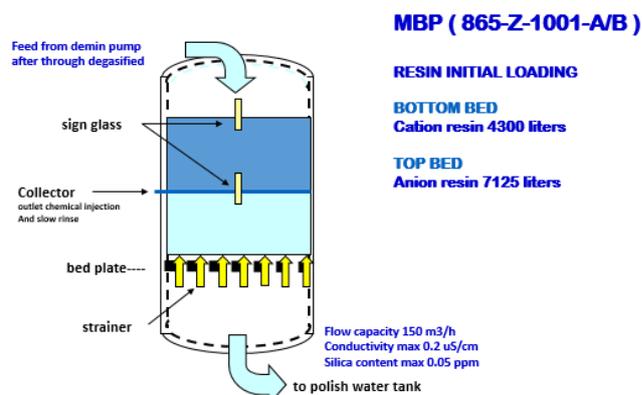
polisher, mengurangi konduktivitas dan TDS sehingga dapat diperoleh kualitas air yang sesuai dengan spesifikasi demin water. Rangkaian unit BWRO dapat ditunjukkan pada gambar 16.



**Gambar 16. Rangkaian Unit Brackish Water Reverse Osmosis**

### G. Mixed Bed Polisher

Mixed bed polisher berfungsi untuk memproduksi polish water, mixed bed polisher ini menggunakan resin anion sebanyak 7.125 L dan resin kation sebanyak 4.300 L. MBP akan di regenerasi apabila outlet conductivitynya telah jenuh hingga mencapai  $0.3 \mu\text{s/cm}$ . Regenerasi MBP dilakukan dengan step by step dengan Acid dan Caustic sebagai chemical injection. Unit mixed bed polisher dapat dilihat pada gambar 17.



**Gambar 17. Mixed Bed Polisher**

### 3. Plant Air, Instrument Air dan Nitrogen Plant

Secara umum plant air dan intrument air unit berfungsi untuk menghasilkan udara bertekanan yang didistribusikan ke pemakaian plant air dan instrument air di PT TPPI.

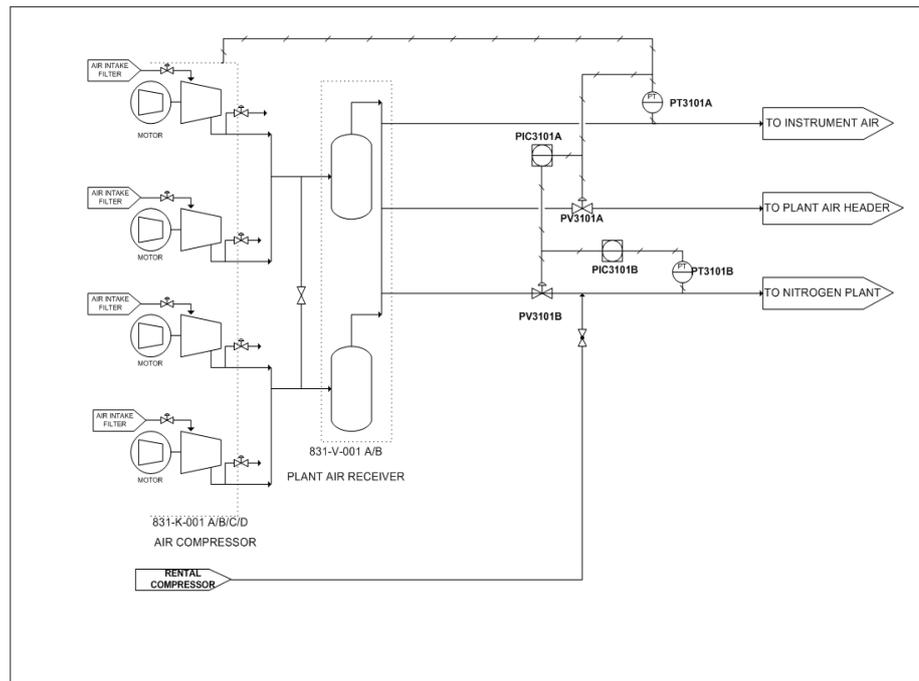
#### A. Plant Air

Plant air unit berfungsi untuk menyediakan udara bertekanan yang masih mengandung uap air yang dihasilkan oleh air compressor. Plant air di gunakan untuk memenuhi kebutuhan diseluruh unit baik OSBL maupun ISBL. Plant air umumnya dipakai untuk cleaning, purging, blowing, dll. Plant air unit dapat dilihat pada gambar 18.



**Gambar 18. Plant Air Unit**

Process control plant air didtribution dapat dilihat pada gambar 19.



**Gambar 19. Process Control Plant Air Distribution**

## B. Instrument Air

Udara sebelum di distribusikan akan masuk pre-filter untuk dipisahkan dari kondensate air dan kotoran agar kerja air dryer tidak berat. Udara masuk air dryer yang berfungsi untuk menyerap kandungan air dengan media silica gel di dalamnya. Udara kering keluar dari air dryer dimonitoring oleh dew point yang menentukan kualitas dari instrument air. Kondisi normal dew point kurang lebih  $-60^{\circ}\text{C}$ . Masing-masing air dryer mempunyai 2 chamber (vessel). Jika chamber 1 service, chamber yang lain akan regenerasi. Kapasitas air dryer adalah  $6.500 \text{ Nm}^3/\text{h}$  dengan pressure  $9,2 \text{ kg/cm}^2$ . Air dryer A/B dan pre after filter A/B dalam instrument air unit secara berurutan ditunjukkan pada gambar 20 dan 21.



**Gambar 20. Air Dryer**



**Gambar 21. Pre After Filter**

Intrument air di tampung di IA receiver kemudian di distribusikan ke seluruh peralatan instrumentasi dan keperluan proses di PT TPPI. Intrument air line juga dilengkapi dengan back up line nitrogen ke instrument air jika instrument air sudah tidak mampu lagi mensuplai. Bagian yang terdapat dalam instrument air meliputi pre filter, air dryer dan after filter. Tanki instrument air memiliki type vertical vessel pressure.

### **C. Nitrogen Plant**

Nitrogen plant mempunyai kapasitas produksi gas nitrogen sebanyak  $3.124 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ . Nitrogen cair disimpan sebagai cadangan dan harus diuapkan terlebih dahulu sebelum dipakai. Sistem ini bertujuan untuk memproduksi gas inert untuk unit-unit proses, untuk tank breathing, purging, dan blanketing (sebagai selimut) peralatan-peralatan selama operasi berlangsung dan pemeliharaan (maintenance). Nitrogen dipisahkan dari udara dengan generator packages dengan proses adsorbs yang secara selektif akan mengadsorbs uap air dan karbondioksida. Gas nitrogen keluar dari generator packages

menuju system distribusi pada tekanan  $8,2 \text{ kg/cm}^2$  dan suhu lingkungan.

Produk GAN didistribusikan ke seluruh area PT TPPI (ISBL dan OSBL). Produk LIN dialirkan ke storage tank untuk back-up produk GAN saat pemakaian GAN tinggi. Prioritas produk LIN adalah mensuplai ke CCR platforming. Nitrogen di TPPI plant digunakan untuk purging, flushing, blanketing di tanki, regenerasi di CCR unit, preservasi peralatan hidrokarbon atau nonhidrokarbondan back up ke instrument air unit. Nitrogen diperoleh dari udara sekitar kita. Komposisi udara sekitar kita terdiri dari nitrogen 78,08%, oksigen 20,95% dan sisanya gas-gas dalam presentasi kecil. Proses pemisahan nitrogen dilakukan dengan cara destilasi pada temperature minus (cryogenic) berdasarkan titik beku komposisi gas dalam udara. Adapun peralatan yang terdapat pada unit nitrogen antara lain chiller, TSA (Temperature Swing Adsorben), Main Heat Exchanger, Hight Pressure Column, Low Pressure Column, Expander, LIN storage, vaporizer dan disposal vaporizer.

#### 4. Penyediaan Bahan Bakar

PT TPPI menggunakan dua system bahan bakar (fuel) yaitu fuel gas dan fuel oil. Bahan bakar minyak biasanya digunakan sebagai cadangan (backup) dari bahan bakar gas apabila fuel gas tidak dapat memenuhi kebutuhan energi.

##### A. Fuel Oil System

Bahan bakar minyak yang diproses PT TPPI berupa kerosen, residu, dan heavy aromatic dan solar yang digunakan dalam plant utility. Blended fuel oil merupakan campuran dari residu, heavy aromatic, dan kerosene. BFO biasanya disuply



untuk heater di aromatic, auxiliary boiler dan diekspor melalui kapal (bagian marine). Fuel oil yang digunakan di PT TPPI yaitu GTLF (Gas Turbine Liquid Fuel) dan PTCF (Petrochemical Thermal Cracking Fuel) yang merupakan produk aromatic unit 201.

## B. Fuel Gas System

Fuel gas dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar CTG, auxiliary boiler dan extra firing HRSG. Ada 2(dua) tipe fuel gas yang dihasilkan dari unit aromatic, yaitu :

### a. Low Pressure Fuel Gas (LPFG)

LPFG diproduksi oleh light Naphtha stabilizer kegunaan dari LPFG adalah untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar di Auxiliary boiler, HRSG dan Heater-heater di ISBL.Kelebihan dari LPFG di kirim ke main flare untuk di bakar.

### b. Medium Pressure Fuel Gas (MPFG)

MPFG (Medium PressureFuel Gas) berasal dari debutanizer ( platforming ) dan unit isomar serta tatory di aromatic. Kegunaan dari MPFG adalah untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar dari CTG. Sebelum di konsumsi oleh CTG , tekanan dari MPFG dinaikkan tekanannya oleh FGBC (Fuel Gas Booster Compresor ) dari 8 ke 18 kg/cm<sup>2</sup>. MPFG yang di pergunakan di CTG berasal dari isomar dan Tatory sedangkan debutanizer di proses di LPG plant menjadi LPG.

## 5. Penyediaan Steam

PT TPPI memiliki steam generator yang terdiri dari 3 (tiga) HRSG (Heat Recorvery Steam Generator) dan 1 (satu) auxiliry



boiler. Masing-masing HRSG di “couple” dengan CTG Frame-V dan dilengkapi dengan duct burners untuk fuel gas extra firing. Base on design, kapasitas produksi steam dari masing masing HRSG sebanyak 75 T/H. Sedangkan, auxiliary boiler yang dapat dioperasikan dengan menggunakan fuel gas atau fuel oil saja atau kombinasi fuel gas dan fuel oil ini mempunyai kapasitas produksi high pressure steam 90 T/H. Fasilitas steam generator pada kondisi normal mempunyai kemampuan untuk memproduksi high pressure steam sebanyak 315 T/H.

**Tabel 2. Klasifikasi Steam di PT TPPI**

Jenis	P (Kg/cm <sup>2</sup> G)	T (°C)	Producer
High Pressure Steam (HPS)	44	390	Steam Generator Unit 203, HRSG, Auxiliary Boiler
Medium Pressure Steam (MPS)	17	240	HP-MP Letdown Station dari unit proses
Low Pressure Steam (LPS)	3,5	147	Back Pressure Steam Turbin dan Unit Proses

## 6. Electrical Power Generator

Electrical Power Generation ini terdiri dari:

### a. Combustion Turbin Generator (CTG)

Terdapat 3 (tiga) unit CTG (Combustion Turbin Generator) yang masing-masing dapat menghasilkan electrical power 22



MW . Untuk memanfaatkan energy panas, gas buang yang dihasilkan dari CTG, dialirkan ke HRSG untuk menghasilkan High Pressure Steam. Ketiga CTG ini dapat dioperasikan dengan menggunakan fuel gas atau fuel oil ataupun kombinasi fuel gas dan fuel oil. Proses license/technology untuk ketiga CTG tersebut adalah GENP (General Electric Nuove Pignone) Italy.

**b. Emergency Diesel Generator (EDG)**

Selain CTG, TPPI juga memiliki Emergency Diesel Generator (EDG) yang digunakan saat emergency power ketika black out (power failure mati seketika). Technology untuk emergency diesel generator tersebut adalah trakindo. Emergency Diesel Generator (EDG) juga digunakan saat start awal pabrik, sebelum CTG menghasilkan listrik untuk menggerakkan poros CTG. Total daya yang dihasilkan oleh EDG adalah 1500 KW

**c. Penyedia Listrik Negara (PLN)**

Selain itu PT TPPI juga menggunakan listrik yang berasal dari PLN sebesar 10 MW, PLN akan digunakan di TPPI plant apabila hanya 2 CTG yang running karena salah satu dari CTG dalam perbaikan/ kerusakan.

## **7. Pengolahan Limbah**

Proses pengolahan condensat menjadi produk aromatic dan petroleum di PT TPPI menghasilkan limbah baik padat, cair, dan gas. Limbah yang dihasilkan harus diolah secara baik dan tepat agar tidak mencemari lingkungan dan memenuhi standar yang diberlakukan oleh pemerintah. Dalam pengolahan limbah pabrik PT TPPI selalu berlandaskan studi Analisis Mengenai Dampak

Lingkungan (AMDAL) yang disetujui oleh Badan Pengadalan Dampak Lingkungan Pusat (BAPEDAL).

a. Pengolahan Limbah Padat

Limbah padat yang dihasilkan oleh proses yang ada di PT TPPI relative sangat kecil. Limbah padat hasil proses seperti slugde dibakar di incinerator tetapi biasanya jumlahnya sangat sedikit karena slugde digunakan sebagai umpan untuk activated slugde. Pada pengolahan lumpur, lumpur DAF, biological clarifier dan lumpur minyak dari dalam kolam-kolam pengolahan air limbah dimasukan ke incinerator. Limbah padat berupa katalis yang berasal dari unit proses NHT, platforming, isomar dan tatoray pada umumnya dikembalikan lagi ke vendor untuk diatur ulang.

b. Pengolahan Limbah Cair

Pengolahan limbah cair di PT TPPI pada dasarnya atas pemisahan limbah cair yang berfungsi dalam proses ataupun yang tidak tercemar, meminimalkan polutan dalam effluent water dan melakukan analisis berkala. Dalam usaha untuk meminimalisir pencemar lingkungan oleh limbah cair, usaha-usaha yang dilakukan adalah:

1. Memisahkan saluran oil water storm (OWS) dan Potentially Contaminated Storm Water (PCSW).
2. Merecovery minyak slop yang tertampung dalam WWTO.
3. Menekan sekecil mungkin kandungan-kandungan polutan dalam effluent water.
4. Melakukan analisis secara berkala terhadap effluent water dari waste water.

5. Treatment yang meliputi analisis setting ability of activated sludge, PH, TSS, TDS, chloride, DO, COD dan BOD
6. Limbah bekas laboratorium yang berbahaya dikirim ke waste water treatment unit untuk di treatment lagi agar sesuai spec yang diinginkan sebelum dibuang ke outfall.

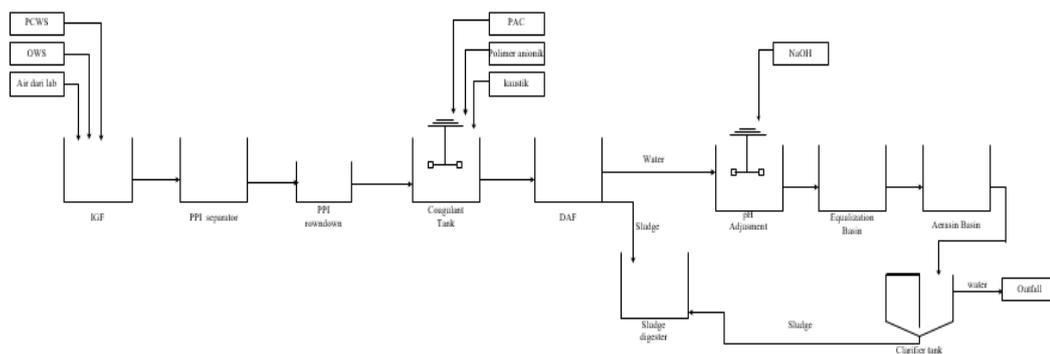
Unit pengolahan limbah cair yang terdapat di Trans-Pasific Petrochemical Indotama (PT TPPI) antara lain:

#### A. Waste Water Treatment

Sludge yang ada dalam pemisahan jumlahnya sangat sedikit. Sedangkan, air dari PPI separator akan dialirkan menuju PPI rundown dan setelah itu dipumping menuju coagulant tank. Di dalam coagulant tank ini diinject dengan PAC untuk menguraikan molekul-molekul kotoran yang terurai menjadi sludge (flokulasi). Air kemudian akan dialirkan ke dissolved air flotation (DAF) untuk memisahkan air dan sludge atau flok.

Sludge atau flok ditampung didalam sludge DAF sedangkan airnya dialirkan menuju PH adjustment dengan menambahkan NaOH untuk menjaga kestabilan PH. Setelah itu air dipompa menuju equalization dan dialirkan menuju aeration pond untuk di treatment dengan menggunakan media activated clay untuk menurunkan kandungan limbah yang ada sesuai dengan regulasi kementerian lingkungan hidup (KLH). Dari bak aerasi air akan dipompa lagi menuju clarifier untuk memisahkan air dari sludge yang ada. Sludge yang masih aktif akan dikembalikan lagi ke aerasi sedangkan sludge yang sudah mati atau mengambang akan dialirkan menuju digester dan

air yang sudah sesuai spesifikasi yang dikehendaki dan dialirkan menuju outfall sebelum dibuang menuju laut bebas.

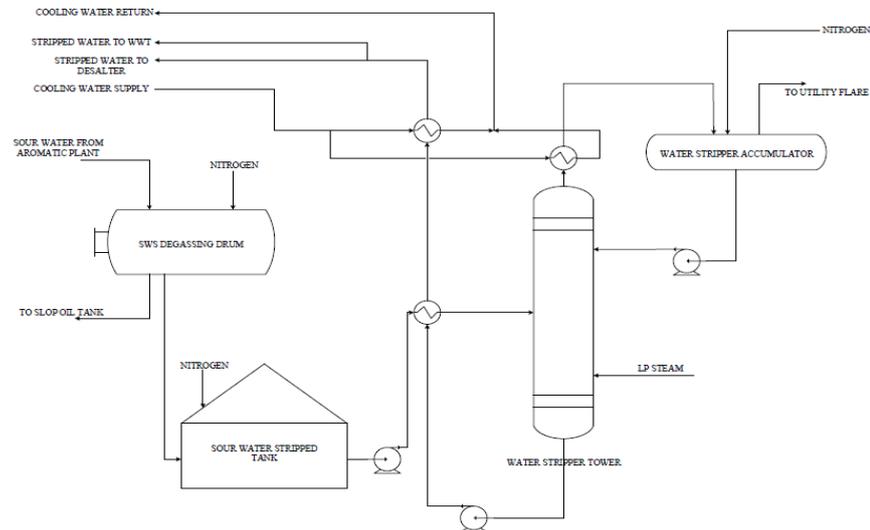


**Gambar 22. Diagram alur Waste Water Treatment Plant**

### B. Sour Water Stripper

Unit ini berfungsi untuk memisahkan sour water ( $H_2S$ ,  $NH_3$  dan  $HCl$ ) yang dihasilkan dari unit platforming. Sour water stripper ini didesain untuk umpan flow rate maksimum 13.800 kg/hr dengan acid gas content 1000 ppm  $H_2S$  dan 50 ppm  $NH_3$ . Sour water berasal dari NHT unit. Sour water akan masuk degassing drum untuk dipisahkan slop oil atau hidrokarbonnya. Sour water akan masuk ke sour water feed tank sedangkan slop oil mengalir ke slop oil tank. Dari tanki, sour water dipompa dengan sour water feed pump ke stripping tower bagian atas, sedangkan dari sisi bawah tower, Low pressure steam dimasukan setelah stripping tower untuk memisahkan acid gas. Gas-gas yang sudah terlepas didinginkan oleh condenser sebelum masuk ke reflux accumulator. Didalam reflux accumulator tekanan diatur dan dibuang ke flare jika berlebih. Kondensat akumulator akan dikembalikan masuk stripping

tower sebagai reflux. Stripped water dipompa dari bagian bawah tower dan diolah lebih lanjut ke wastel water treatment dengan H<sub>2</sub>S content maksimal 5 ppm.



**Gambar 23. Diagram alur pengolahan Sour Water Stripper**

### c. Pengolahan Limbah Gas

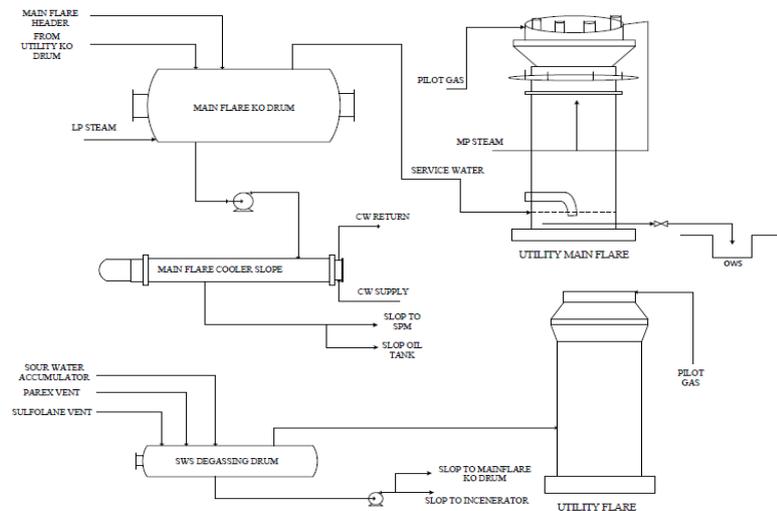
Untuk mengolah limbah gas buang dari pabrik agar sesuai dengan ketentuan pemerintah dan untuk menjaga kebersihan lingkungan maka di perlukan proses pengolahan limbah gas terlebih dahulu melalui fasilitas yang ada di PT. TPPI. Fasilitas-fasilitas untuk pengolahan limbah gas antara lain sebagai berikut:

#### a) Utility Flare.

Utility flare berfungsi untuk membuang sisa gas yang berasal dari unit sour water stripper. Sebelum di buang , gas tersebut di kondensasikan di utility KO drum menjadi kodensate yang kemudian kondensate tersebut dikirim ke feedstock sebagai bahan baku proses. Dalam prosesnya , utility flare di lengkapi dengan utility blower untuk proses pembakarannya.

b) Main Flare.

Main Flare berfungsi untuk membakar sisa-sisa gas dari LP excess maupun gas gas yang berasal dari proses maintenance yang ada di ISBL maupun di offsite marine. Sebelum dibakar, sisa-sisa gas tersebut dikondensasikan di main KO drum untuk di pisahkan fraksi berat dan fraksi ringannya. Hasil kondensasi yang berupa fraksi berat dikirim ke feedstock untuk di olah kembali sebagai bahan baku proses sedangkan fraksi ringannya di bakar di main flare. Untuk membantu proses pembakaran di main flare tip diperlukan medium steam pressure agar gas gas tersebut dapat terbakar dengan sempurna.



Gambar 24. Diagram alur pengolahan Limbah Gas

### 1.3. Sistem Pengendalian Proses dan Penjaminan Mutu Produk

Pengendalian proses merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu proses industri. Instrumen ini dapat berupa suatu petunjuk (indikator) dan pengontrol (*controller*). Instrumen ini dimaksudkan untuk mendapatkan kualitas produk yang baik dan untuk keamanan proses. Jenis-jenis instrumen

untuk pengendalian proses yang digunakan PT Trans Pacific petrochemical Indotama (PT TPPI), antara lain :

**Tabel 3. Kontrol yang digunakan serta Fungsinya**

No	Indikator	Fungsi
1	Level Indicator Controller (LIC)	Untuk Menunjukkan dan mengatur ketinggian cairan
2	Pressure Indicator Controller (PIC)	untuk menunjukkan dan mengatur tekanan operasi.
3	Flow Indicator Controller (FIC)	untuk menunjukkan dan mengatur kecepatan aliran umpan dan produk.
4	Temperature Indicator Controller (TIC)	untuk menunjukkan dan mengatur temperatur operasi
5	Temperature Diffensial Controller (TDC)	Untuk menunjukkan dan mengatur delta temperature
6	Pressure Differensial Controller (PDC)	Untuk menunjukkan dan mengatur delta pressure

#### 1.4. Pengendalian Mutu Produk

Ada 3 standar yang dimiliki PT TPPI adalah ISO 9001, ISO 14001, dan OHSAS 18001 yang tertera di setiap buku saku masing-masing karyawan PT TPPI.

##### a. ISO 9001(Quality)

ISO 9001 merupakan standar internasional di bidang sistem manajemen mutu. Suatu lembaga/organisasi yang telah mendapatkan akreditasi (pengakuan dari pihak lain yang independen) ISO tersebut,



dapat dikatakan telah memenuhi persyaratan internasional dalam hal sistem manajemen mutu produk/jasa yang dihasilkannya.

Sistem manajemen mengacu pada apa yang organisasi lakukan untuk mengelola proses, atau aktivitas, sehingga produk atau jasa memenuhi tujuan yang telah ditetapkannya sendiri, seperti:

- Memenuhi persyaratan kualitas pelanggan,
- Sesuai dengan peraturan, atau
- Tujuan perusahaan atau organisasi.
- Sasaran Mutu.

**b. ISO 14001 (Inveronment)**

ISO 14001 adalah standar sistem manajemen yang diakui secara global yang diterbitkan oleh ISO (International Organization of Standardization). Ini memberikan kerangka kerja yang telah dicoba dan diuji untuk memastikan kepatuhan terhadap peraturan. Menerapkan Sistem Manajemen Lingkungan adalah cara yang solid untuk mengidentifikasi dan mengendalikan efek perusahaan terhadap lingkungan.

**c. OHSAS 18001 (Healty and Safety)**

OHSAS 18001 adalah Standar Manajemen Kesehatan dan Keselamatan Kerja Internasional. Menyediakan kerangka kerja untuk pengelolaan K3 yang efektif termasuk semua aspek pengelolaan risiko dan kepatuhan hukum. ISO 18001 membahas kesehatan dan keselamatan kerja daripada masalah keamanan produk tertentu.



**Gambar 25. Buku Saku Karyawan PT TPPI**

## BAB II TUGAS KHUSUS

### 2.1. Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi merupakan salah satu sarana penunjang pembangunan untuk mendorong pertumbuhan yang pesat disegala sektor termasuk sektor industri. Selaras dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, berbagai alat diciptakan untuk mempermudah dan meningkatkan kenyamanan manusia, salah satunya di bidang kelistrikan. Dengan semakin banyak kebutuhan listrik yang dibutuhkan terutama di bidang industri yang harus di penuhi oleh PLN (Perusahaan Listrik Negara). Sehingga saat ini banyak di bidang industri memanfaatkan alat yang dapat menghasilkan listrik yaitu turbin. Turbin adalah salah satu mesin pengkonversi yang dapat menghasilkan listrik dari proses yang sudah ditentukan.

Di industri, turbin digunakan untuk menggerakkan bermacam-macam peralatan mekanik. Selain itu turbin juga dapat menyediakan berbagai kebuthan instalasi, seperti udara tekan disamping daya listrik. Di PT Trans-Pasific Petrochemica Indotama menggunakan 2 sumber listrik yang berasal dari PLN dan dari turbin. Turbin yang digunakan yaitu Combustion Turbin Generator (CTG). Bahan bakar Combustion Turbin Generator (CTG) bisa berwujud cair maupun gas. Komponen utama Combustion Turbin Generator (CTG) adalah kompresor, ruang bakar, turbin dan generator. Salah satu parameter yang menunjukkan prestasi kerja Combustion Turbin Generator (CTG) adalah efisiensi.

Dari segi efisiensi termal, unit CTG tergolong unit thermal yang efisiensianya paling rendah, yaitu berkisar antara 20-40%. Siklus Brayton merupakan prinsip dasar operasi pembangkitan listrik tenaga gas. Perhitungan efisiensi sistem turbin gas dengan cara siklus Brayton,



berbasis pada energi thermal yang dikandung udara. Perhitungan efisiensi sistem turbin menggunakan dua metode. Metode pertama berdasar pada siklus Brayton ideal dan metode kedua berdasarkan siklus Brayton aktual. Combustion Turbin Generator (CTG) yang ada di PT Trans-Pasific Petrochemical Indotama berjumlah 3 unit CTG dan untuk alasan reliability ketiga unit CTG running dengan total daya yang dihasilkan saat ini sekitar 27 MW.

Gas buang dari unit Combustion Turbin Generator (CTG) masih bias dimanfaatkan untuk pembangkit baru dalam meningkatkan efisiensi yang rendah, di PT Trans-Pasific Petrochemical Indotama gas buang dari CTG dimanfaatkan oleh HRSG (Heat recovery steam generator) untuk memanaskan air. Agar air yang dipanaskan dapat dirubah menjadi uap dan uap yang dihasilkan dapat dipakai untuk memutar steam turbine.

## 2.2. Tujuan

1. Menghitung neraca massa, neraca panas dan panas reaksi pada combustion chamber
2. Menghitung efisiensi thermal Combustion Turbin Generator (CTG)

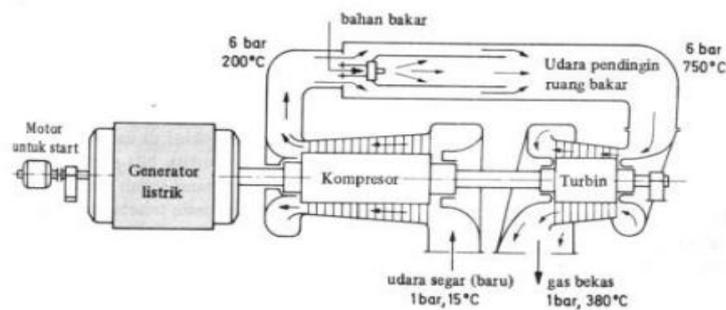
## 2.3. Tinjauan Pustaka

### 2.3.1. Pengantar

Turbin gas ini disebut mempunyai proses sederhana, karena fluida kerjanya adalah udara biasa tanpa harus diolah/dipersiapkan lebih dahulu, melainkan hanya cukup dimampatkan lebih dahulu kemudian dipakai untuk proses pembakaran bahan bakar. Gas hasil pembakaran dengan entalpi yang tinggi inilah yang menjadi fluida kerjanya. Selain itu, pembuangan panasnya juga sederhana tidak ruwet, karena gas bekasnya bisa dibuang ke udara luar. Pada prinsipnya bisa dibandingkan dengan proses kerja dari instalasi tenaga uap yang cukup ruwet.



Kompresor yang bekerja seperti fan menggerakkan fluida kerja ke dalam system pemanas. Fluida dipanaskan oleh pembakaran dalam, yang karenanya disebut motor pembakaran dalam ( pembakaran dengan suplai bahan bakar terkendali ke dalam aliran udara) atau oleh pertukaran panas dari luar, yang karenanya disebut motor pembakaran luar (melewati fluida terkompresi melalui jalur yang dianasi). Gas panas tersebut kemudian di-ekspansi dalam turbin. Poros turbin berputar menghasilkan tenaga untuk memutar kompresor dan beban luar.



**Gambar 26. Turbin Gas Sederhana**

(Sumber: Astu Pudjanarso dan Djati Nursuhud, 2013)

### 2.3.2. Klasifikasi Turbin Gas

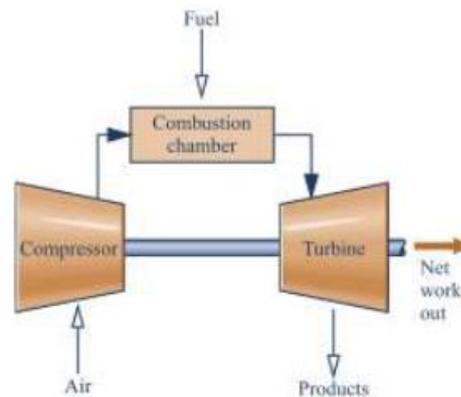
Turbin gas dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kriteria, yaitu: klasifikasi berdasarkan siklus kerja, klasifikasi berdasarkan konstruksinya, dan juga klasifikasi berdasarkan aliran fluidanya.

#### 2.3.2.1. Klasifikasi Turbin Gas Berdasarkan Siklus Kerjanya

##### 1. Siklus Terbuka (*Open Cycle*)

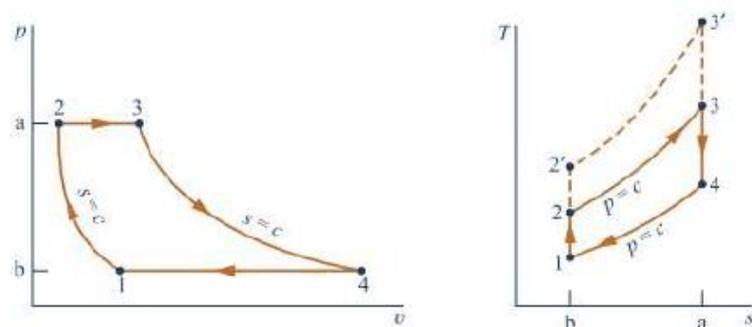
Dalam siklus terbuka, gas hasil pembakaran yang diekspansikan pada turbin gas langsung dibuang ke atmosfer. Instalasi ini memiliki struktur yang sederhana, yaitu terdiri

dari kompresor, ruang bakar, dan turbin gas sebagai penggerak kompresor dan beban. Skema dari siklus terbuka ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.



**Gambar 27. Skema PLTG Siklus Terbuka**

(Sumber: *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 7th ed., 2011*)



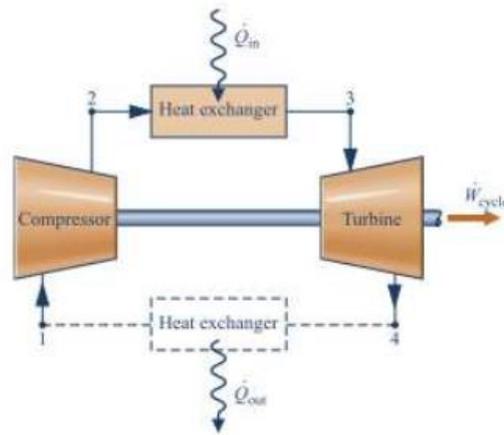
**Gambar 28. Siklus Standar Brayton**

(Sumber: *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 7th ed., 2011*)

## 2. Siklus Tertutup (*Closed Cycle*)

Pada siklus terbuka, gas panas yang telah diekspansikan melalui turbin gas tidak langsung dibuang ke atmosfer, akan tetapi dialirkan ke dalam penukar kalor (heat exchanger) untuk didinginkan dengan media pendingin udara atau air sebelum dialirkan kembali melalui sisi inlet kompresor.

Skema dari siklus tertutup ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.

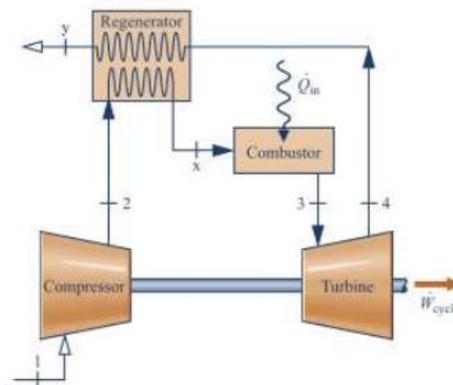


**Gambar 29. Skema PLTG Siklus Tertutup**

(Sumber: *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*,  
7th ed., 2011)

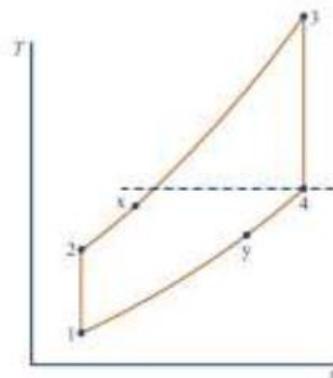
3. Turbin Gas Siklus Terbuka Dilengkapi dengan Regenerator

Seperti pada siklus kerja sebelumnya, gas panas yang telah diekspansikan ke turbin gas tidak langsung dibuang ke atmosfer. Gas bekas (*flue gas*) tersebut dialirkan ke sebuah *heat exchanger* yang dikenal dengan istilah *regenerator* dimana di dalamnya gas bekas ini digunakan untuk memanaskan udara outlet kompresor sebelum masuk ke ruang bakar. Skema ini ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.



**Gambar 30. Skema PLTG Siklus Terbuka dengan Regenerator**

(Sumber: *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 7th ed., 2011*)



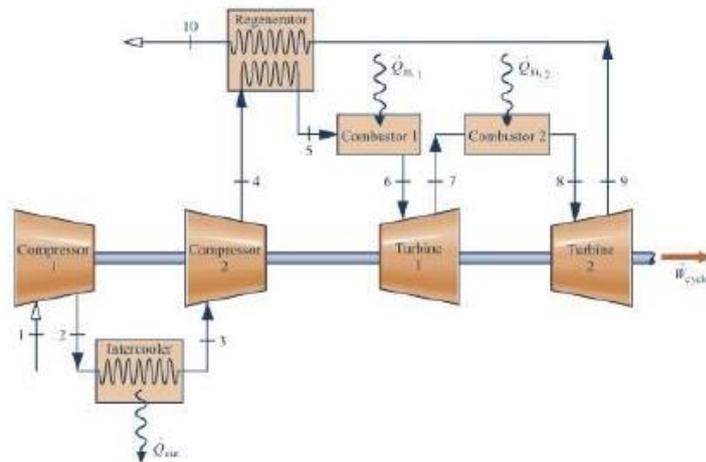
**Gambar 31. Siklus Turbin Gas Regeneratif**

(Sumber: *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 7th ed., 2011*)

#### 4. Turbin Gas Siklus Terbuka Dilengkapi dengan Regenerator dan Intercooler

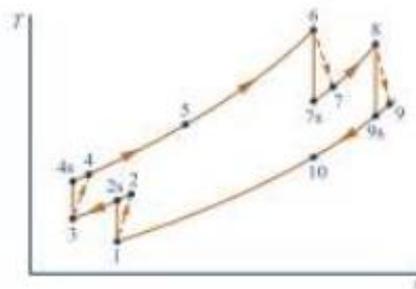
Pada siklus ini, baik kompresor maupun turbin gas masing-masing terdiri dari dua bagian terpisah, yaitu kompresor tekanan rendah dan kompresor tekanan tinggi serta turbin gas tekanan rendah dan turbin gas tekanan tinggi. Aliran udara dan gasgas yang dihasilkan melalui serangkaian

proses sebagai berikut, mula-mula udara atmosfer masuk ke dalam kompresor tekanan rendah untuk dikompresi, setelah itu, udara bertekanan tersebut dialirkan ke dalam intercooler untuk didinginkan hingga temperatur dan kelembapan tertentu dengan media pendingin air atau media pendingin lain. Dari intercooler, udara bertekanan yang telah didinginkan dialirkan ke dalam kompresor tekanan tinggi untuk dikompresi lagi hingga menghasilkan udara bertemperatur dan tekanan tinggi. Udara tersebut kemudian dialirkan ke dalam regenerator untuk mendapatkan udara dengan temperatur dan tekanan lebih tinggi lagi yang akan memudahkan terjadinya proses pembakaran. Media pemanas dalam regenerator berasal dari gas buang yang telah melewati turbin gas. Udara keluar dari regenerator dialirkan ke dalam ruang bakar utama (primary combustion chamber) untuk menghasilkan gas panas yang digunakan untuk memutar turbin gas tekanan tinggi. Hasil ekspansi dari turbin gas tekanan tinggi berupa gas buang yang kemudian dialirkan ke ruang bakar kedua (secondary combustion chamber) atau biasa disebut juga dengan reheater chamber. Dari reheater chamber, gas buang mengalami proses pembakaran yang selanjutnya digunakan untuk memutar turbin gas tekanan rendah. Siklus tersebut ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.



**Gambar 32. Skema PLTG Siklus Terbuka dengan Regenerator dan Intercooler**

(Sumber: *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 7th ed., 2011*)



**Gambar 33. Siklus Turbin Gas Regeneratif dengan Intercooler dan Reheater**

(Sumber: *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 7th ed., 2011*)

### 2.3.2.2. Klasifikasi Turbin Gas Berdasarkan Konstruksinya

Berdasarkan konstruksinya, turbin gas terdiri dari dua jenis:

1. Turbin gas berporos tunggal

Pada konstruksi ini, antara kompresor, turbin, dan generator terhubung dalam satu poros. Konstruksi turbin gas

berporos tunggal ini biasanya diaplikasikan pada pembangkit listrik maupun industri berskala besar.

## 2. Turbin gas berporos ganda

Pada konstruksi poros ganda, kompresor digerakkan oleh turbin tekanan tinggi yang disebut *compressor turbine*, dan generator digerakkan secara terpisah oleh turbin tekanan rendah yang disebut *power turbine*. Sistem poros ganda umumnya menggunakan mesin aero-derivative yang akan menghasilkan gas panas dengan tekanan dan temperatur tinggi yang akan dialirkan langsung ke *power turbine*.

### 2.3.2.3. Klasifikasi Turbin Gas Berdasarkan Alirannya

Berdasarkan aliran fluidanya, turbin gas dibagi menjadi dua jenis:

#### 1. Turbin radial

Turbin radial merupakan turbin dimana arah aliran kerjanya tegak lurus terhadap sumbu porosnya.

#### 2. Turbin aksial

Turbin aksial merupakan turbin dimana arah aliran fluida kerjanya sejajar terhadap sumbu porosnya.

### 2.3.3. Lingkup dan daerah operasi

Turbin gas memerlukan udara untuk pembakaran dimana gas panas yang akan dihasilkan berfungsi sebagai fluida kerja. Dibandingkan dengan motor bakar torak, udara yang diperlukan turbin gas relatif sangat banyak, yaitu 3 sampai lebih dari 10 kali lebih besar. Hal ini disebabkan karena proses pembakaran di ruang bakar berlangsung kontinu pada tekanan konstan sehingga temperature gas (pembakaran) maksimum masuk turbin harus dibatasi, sesuai dengan kekuatan material yang digunakan dan umur pakai yang direncanakan. Tetapi pada turbin gas untuk kendaraan kondisi



lingkungannya dapat berubah yaitu ketika mendaki atau ketika beroperasi pada ketinggian yang berbeda. Parameter lingkungan yang utama adalah tekanan, temperature, kelembaban relatif udara atmosfer dan kotoran. Hal ini disebabkan karena setiap mesin dirancang pada titik rancangannya, yaitu menghasilkan daya dan efisiensi yang paling baik pada suatu kondisi operasi tertentu.

### 2.3.4. Komponen Utama Turbin Gas

#### A. Kompresor

Kompresor berfungsi untuk menekan udara sehingga memungkinkan udara mengalir secara kontinu memasuki daerah tekanan tinggi, yaitu memasuki ruang bakar. Kompresor yang digunakan adalah kompresor jenis dinamik, berbeda dengan kompresor *positive displacemen*, jenis bolak-balik dan rotary. Kompresor dinamik adalah efisien, kompak, relative murah dan dapat memindahkan sangat banyak fluida kerja. Kompresor ini berkerja tanpa pelumasan sehingga fluida kerja tidak terkontaminasi minyak pelumas. Efisiensi isentropiknya bervariasi dari 0,7 sampai 0,9 bergantung jenis dan kualitas kompresor.

Kompresor dinamik tersedia dalam dua bentuk, kompresor sentrifugal yang dapat memindahkan aliran udara dari rendah sampai menengah (sampai sekitar 50 kh/det), pada perbandingan tekanan sekitar 5, dengan rotor tunggal yang menghisap aksial dan mengeluarkannya secara radial. Dua atau lebih kadang dipasang seri pada poros untuk memperbesar tekanan.

Kompresor aksial tersusun beberapa tingkat seperti deretan fan dengan luas aliran mengecil. Kompresor ini data memindahkan fluida jauh lebih besar daripada kompresor

sentrifugal dan dapat menghasilkan perbandingan tekanan sampai 10 atau lebih tergantung pada tingkatnya.

#### B. Ruang Bakar

Turbin gas pembakaran dalam adalah proses kontinu yang terjadi pada tekanan konstan. Campuran dengan perbandingan bahan bakar- udara dengan rentang lebar dapat terbakar. Suplai bahan bakar tunak dan udara bercampur dan terbakar bila melalui daerah api. Api tidak menyentuh dindingnya karena distabilisasi oleh pola aliran udara masuk yang juga mendinginkan dinding ruang bakar. Proses pembakaran yang telah berkembang mengendalikan stabilitas api dengan memungkinkan tingkat emisi asap, karbon monoksida, hidrokarbin dan oksida nitrogen yang rendah. Volume ruang bakar sangat kecil untuk laju panas yang dibebaskan, karena pembakaran berlangsung pada tekanan konstan.

Ruang bakar pada turbin gas mempunyai tiga fitur: (1) zona resirkulasi, (2) zona pembakaran, (3) zona pencairan. Fungsi dari zona resirkulasi adalah untuk mengevaporasi, sebagian terbakar, dan menyiapkan bahan bakar untuk proses pembakaran yang terjadi pada zona pembakaran. Idealnya, pada akhir zona pembakaran, semua bahan bakar seharusnya terbakar sehingga fungsi zona pengenceran praktis hanya untuk mencampur gas panas dengan udara tambahan (*dilution air*).

#### C. Turbin

Turbin digunakan untuk mengekstrak energi yang bersumber dari gas bertekanan tinggi. Dua jenis turbin digunakan, turbin radikal seperti kompresor sentrifugal yang digunakan terbalik dan turbin aksial seperti kompresor aksial

tetapi sudu-sudunya lebih rumit daripada pembalikan sudu-sudu kompresor.

Turbin gas berfungsi untuk mengekspansikan gas hasil pembakaran yang dilewatkan pada sudu-sudu turbin yang menyebabkan sudu turbin gas berputar. Putaran sudu ini akan menyebabkan kompresor menarik lebih banyak udara bertekanan ke ruang bakar dan juga akan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik. Putaran turbin gas dipengaruhi oleh laju aliran dari gas hasil pembakaran, semakin besar laju aliran, maka putaran turbin akan semakin cepat dan apabila laju aliran kecil, maka putaran turbin juga akan melambat.

#### D. Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanis yang dihasilkan turbin gas menjadi energi listrik. Generator yang digunakan dalam rancangan sistem turbin gas adalah generator AC atau alternator.

### 2.3.5. Sistem Pendukung

#### A. Air Intake System

*Air intake system* merupakan sistem yang memiliki peran sebagai filter/penyaring untuk mensuplai udara bersih yang akan masuk ke kompresor. Proses filtrasi udara yang buruk dapat mengakibatkan penurunan performa dari turbin gas dan bahkan dapat mengakibatkan kerusakan pada turbin gas. Kondisi turbin gas dipengaruhi oleh beberapa partikel pada sisi inlet berdasarkan komposisi dan ukuran partikel tersebut. Proses filtrasi yang buruk dapat mengakibatkan beberapa kerugian, antara lain: *foreign object damage* (FOD), erosi, *fouling*, peledakan partikel asing ke komponen, dan juga korosi (karat).



Proses filtrasi udara dapat memiliki efek positif dan negatif. Efek negatif dari proses filtrasi ini akan menyebabkan penurunan tekanan udara masuk yang dapat mengurangi performa/efisiensi sistem. Akan tetapi, proses filtrasi udara ini juga berperan dalam menjaga kualitas udara yang masuk ke kompresor agar turbin gas dapat beroperasi dengan maksimal. Pemilihan/rancangan filter yang baik yaitu memiliki penurunan tekanan udara yang minimum di saat ia dapat menghilangkan sejumlah partikel asing dan embun.

Proses filtrasi yang baik terkadang membutuhkan beberapa tahap filtrasi untuk menghilangkan material/partikel yang berbeda yang terdapat di udara atau menghilangkan material/partikel dengan ukuran atau fasa yang berbeda. Proses filtrasi yang bertingkat ini disebut juga dengan *multiple stage filtration* yang biasanya terdiri dari dua/tiga tahap filtrasi.

Pemilihan sistem filtrasi didasarkan pada kondisi lingkungan sekitar pembangkit seperti kondisi cuaca, komposisi partikel/debu, serangga, dan material pengotor lain. Kondisi lingkungan yang juga dapat mempengaruhi desain dan lokasi dari filter misal: arah angin, polusi lokal, kontur tanah tempat pembangkit beroperasi, dan kemiringan inlet.

Berikut adalah beberapa macam tipe filtrasi yang digunakan pada air intake system.

#### 1. Weather protection dan Trash Screen

Louver atau hood dan trash screen merupakan filter yang paling sederhana tetapi sangat penting untuk mengurangi partikel dan embun yang masuk ke sistem filtrasi utama. Weather protection (proteksi cuaca) ini tidak diklasifikasikan sebagai filter, akan tetapi mempermudah proses penghilangan partikel-partikel asing.

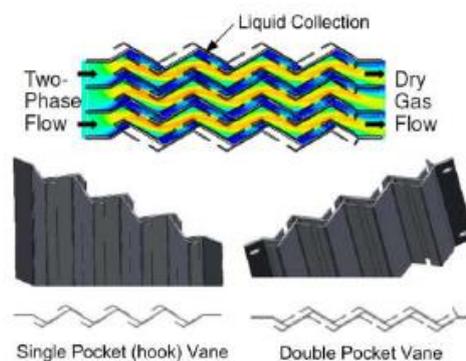


**Gambar 34. Weather hood pada sistem filtrasi**

*(Sumber: Camfil Farr)*

## 2. Inertial Separator

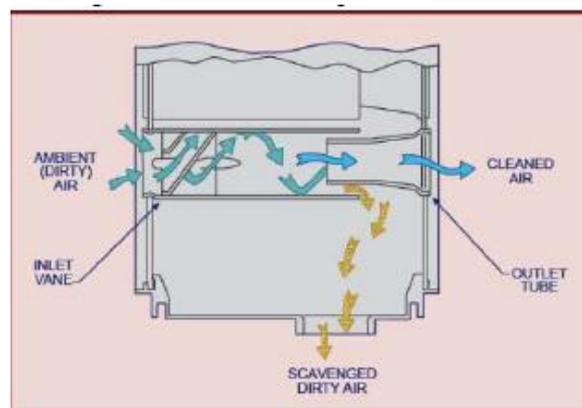
Tipe inertial separator yang sering digunakan pada filtrasi inlet turbin gas adalah tipe separator vane dan cyclone. Vane separator efektif untuk menyaring partikel yang lebih besar dari 10 mikron. Efektivitas dari separator didasarkan pada desain kecepatan udaranya. Efektivitas terbaik adalah saat kecepatan udara masuk mendekati rating kecepatan udaranya. Vane separator relatif memiliki drop tekanan yang rendah (0,1-0,5 bar dalam H<sub>2</sub>O). Tipe separator ini efektif digunakan untuk menghilangkan air dengan kecepatan tinggi dimana biasanya diaplikasikan pada kegiatan kelautan dan off-shore.



**Gambar 35. Vane Axial Separartor**

(Sumber: *Guideline for Gas Turbine Inlet Air Filtration System, Gas Machinery Research Council Southwest Research Institute®*, 2010, Texas)

Tipe *cyclone separator* menggunakan sudu stasioner untuk menggerakkan aliran secara sentrifugal. Gerak berputar ini menyebabkan partikel padat dan cair bergerak ke arah luar membentuk aliran vortex atau cyclone. Tipe cyclone separator ini memiliki drop tekanan yang lebih besar dibandingkan tipe vane separator. Cyclone separator efektif untuk menyaring partikel padatan dan cair berukuran lebih dari 10 mikron yang dapat mencegah erosi dan karat komponen.



**Gambar 36. Pengoperasian Inertial Separator**

(Sumber: *Mueller Environmental Design, Inc.*)

### 3. Moisture Coalescers

Pada lingkungan dengan kelembapan yang tinggi, sebuah coalescer diperlukan untuk menghilangkan cairan lembab. Coalescer bekerja dengan menangkap droplet air di bagian fiber. Coalescer didesain untuk melewatkan droplet air untuk di-drain atau dilepas kembali ke aliran.

### 4. Prefilter

Selama kompresor beroperasi, partikel-partikel debu dan pengotor akan mengendap di dalam kompresor yang dapat

megurangi efisiensi dan daya output dari pembangkit. Filter yang terdapat pada sistem intake udara ini berfungsi untuk mencegah hal tersebut.



**Gambar 37. Prefilter/Coalescer**

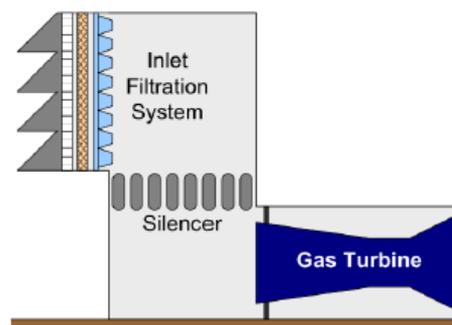
*(Sumber: Camfil Farr)*

5. High Efficiency Filter

Berfungsi untuk menyaring partikel-partikel pengotor yang lebih kecil yang lolos dari pre-filter.

6. Silencer

Aliran udara yang masuk ke dalam kompresor akan menimbulkan *noise* (kebisingan). Oleh karena itu, terdapat sebuah silencer yang berfungsi untuk mengurangi kebisingan sampai pada batas yang diinginkan dan dipasang pada bagian saluran masuk udara.



**Gambar 38. Skema Filtrasi pada PLTG**

(Sumber: *Guideline for Gas Turbine Inlet Air Filtration System, Gas Machinery Research Council Southwest Research Institute, 2010, Texas*)

## B. Exhaust system

Exhaust system diperlukan untuk mengarahkan gas buang dari turbin gas menuju ke atmosfer. Temperatur gas buang bisa mencapai 400-650 °C. Kebisingan yang ditimbulkan oleh gas buang dapat dikurangi dengan *silencer* yang terletak pada *bypass stack*. *Stack* adalah sebuah laluan gas buang yang menjulang ke atas untuk memastikan temperatur gas buang aman saat dilepaskan ke atmosfer.

Dalam siklus kombinasi, gas buang akan digunakan kembali sebagai pemanas ulang dalam sistem HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) untuk mengoperasikan turbin uap tambahan untuk meningkatkan efisiensi pembangkit. Pada kebanyakan pembangkit, sebuah *diverter damper* dipasang diantara turbin gas dan HRSG. Hal ini memungkinkan pembangkit beroperasi dengan siklus kombinasi (*combined cycle*) atau dengan siklus sederhana (*simple cycle*), pada kasus dimana boiler perlu di-maintenance.

## C. Starting System

Starting system berfungsi untuk melakukan start-up sebelum turbin gas bekerja. Starting system akan membentuk momentum awal turbin gas untuk mencapai kecepatan operasi tertentu. Prinsip kerjanya kurang lebih sama dengan motor starter yang ada pada mobil. Saat start-up, kecepatan putar awal setidaknya adalah 60 % dari kecepatan operasi agar turbin dapat bekerja.

Starter motor yang digunakan sebagai start-up tergantung pada seberapa besar turbin yang digunakan. Untuk turbin yang besar berarti membutuhkan kapasitas motor yang besar pula. Sebuah motor dengan converter torsi dapat digunakan untuk memutar turbin



yang besar hingga mencapai kecepatan yang dibutuhkan. Konverter torsi disini digunakan untuk meningkatkan torsi yang dibangkitkan. Saat ini, trend terbaru adalah menggunakan generator itu sendiri sebagai starter motor dengan pengaturan elektrik yang sesuai. Pada kondisi dimana tidak ada daya yang tersedia, seperti di atas kapal atau pada off-shore platform, maka dapat menggunakan mesin diesel atau mesin gas.

#### D. Fuel System

Fuel system berfungsi untuk menyediakan bahan bakar bersih untuk proses pembakaran dalam ruang bakar. Normalnya, turbin gas menggunakan bahan bakar gas alam, disamping itu, ia juga dapat membakar bahan bakar diesel atau bahan bakar destilasi. Banyak turbin gas yang memiliki kemampuan ganda.

Sistem pembakaran (*burner*) dan pengapian (*ignition*) dengan sistem pengaman adalah salah satu komponen terpenting pada turbin gas. Pada sistem pengapian terdapat sebuah *control valve* yang mengatur jumlah bahan bakar yang diinjeksi ke ruang bakar. Sebuah filter juga dipasang untuk mencegah partikel pengotor yang dapat menyumbat *burner*. Gas alam dari sumber diserap dan dibersihkan sebelum masuk ke turbin. Pemanas eksternal memanaskan gas agar pembakaran berlansung sempurna. Untuk bahan bakar cair, dibutuhkan pompa tekanan tinggi untuk memompa bahan bakar agar terjadi proses atomisasi yang baik sebelum proses pembakaran.

Dalam menentukan bahan bakar yang dipakai, ada beberapa hal yang harus diperhatikan seperti nilai kalor, kebersihan bahan bakar, korosivitas, kecenderungan fouling dan pengendapan, dan ketersediaan bahan bakar. Pemilihan yang tepat bertujuan untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi, downtime yang minimum, dan ekonomis. Nilai kalor bahan bakar akan mempengaruhi besar dari



sistem bahan bakar. Umumnya, analisis lebih mendalam mengenai bahan bakar ada pada bahan bakar gas karena pada bahan bakar cair memiliki variasi nilai kalor yang berdekatan yang memudahkan dalam pemilihannya.

Kebersihan bahan bakar merupakan faktor penting untuk menghasilkan pembakaran yang baik. Kebersihan bahan bakar harus dimonitor untuk memastikan bahan bakar tersebut bebas dari pengotor-pengotor yang terbawa saat proses transpor bahan bakar. Partikel pengotor dalam bahan bakar dapat menyebabkan kerusakan atau fouling pada sistem bahan bakar yang berdampak pada pembakaran yang buruk.

Korosi (karat) karena aliran bahan bakar biasanya terjadi pada komponen ruang bakar dan sudu turbin. Korosi dapat timbul karena pengaruh dari sejumlah material logam berat yang terkandung dalam bahan bakar. Fouling dan pengendapan dapat terjadi pada bagian *hot section* turbin gas. Laju pengendapan bergantung pada sejumlah senyawa yang terdapat pada bahan bakar. Senyawa-senyawa yang dapat menyebabkan pengendapan dapat dihilangkan dengan adanya penanganan khusus.

Selain itu, ketersediaan bahan bakar juga merupakan faktor penting dalam sistem bahan bakar. Jika cadangan bahan bakar masih belum diketahui/dipastikan ada, maka turbin gas harus memiliki back-up bahan bakar yang memadai. Kebutuhan akan bahan bakar harus memperhatikan variasi dari properties bahan bakar.

### C. Lubrication Oil System

Berikut ini beberapa fungsi lubrikasi mesin :

1. Mengurangi keausan mesin
2. Mengurangi panas akibat pembakaran dan gesekan mesin
3. Mengendapkan kotoran-kotoran ke dalam karter



4. Mengurangi suara berisik pada mesin

5. Mengoptimalkan kerja mesin

#### D. **Coupling and Accessory Gear**

Kopling adalah alat yang digunakan untuk menghubungkan dua poros pada kedua ujungnya dengan tujuan untuk mentransmisikan daya mekanis. Kopling biasanya tidak mengizinkan pemisahan antara dua poros ketika beroperasi, namun saat ini ada kopling yang memiliki torsi yang dibatasi sehingga dapat slip atau terputus ketika batas torsi dilewati.

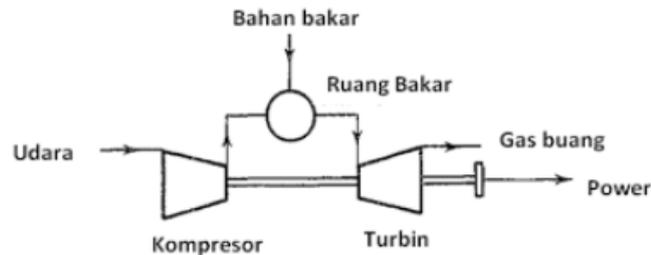
Tujuan utama dari kopling adalah menyatukan dua bagian yang dapat berputar (poros). Dengan pemilihan, pemasangan, dan perawatan yang teliti, performa kopling bisa maksimal, kehilangan daya bisa minimum, dan biaya perawatan bisa diperkecil.

Coupling dibagi menjadi dua jenis, (1) kopling kaku, (2) kopling fleksibel. Kopling kaku biasa digunakan untuk menghubungkan poros dengan kondisi misalignment (ketidaksejajaran) yang kecil. Kopling fleksibel dibagi menjadi banyak jenis, seperti jenis beam, kopling kecepatan konstan, diafragma, membran logam, elastomeric, gear, miscellaneous, dll. Kopling jenis gear dan membrane logam banyak diaplikasikan pada industry termasuk aplikasi pada pembangkit.

#### 2.3.6. **Proses Termodinamika Turbin Gas**

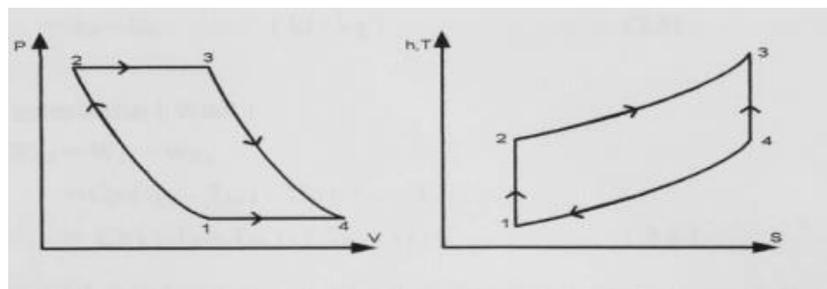
Model sistem turbin gas sederhana dapat digambarkan seperti Gambar 27. Proses di atas dikembangkan pertama kali oleh Brayton (1873) yang melibatkan kompresi dan ekspansi pada entropi konstan (isentropik) dan penambahan dan pembuangan panas pada tekanan konstan. Siklus ini berbeda dengan berbagai jenis mesin bolak-balik yang bekerja dengan siklus diesel, otto, stirling, atau siklus lain yang

menggunakan kombinasi proses entropi, tekanan, temperature, dan atau volume konstan.



**Gambar 39.. Skema model system turbin gas sederhana**

(Sumber: Astu Pudjanarso dan Djati Nursuhud, 2013)



**Gambar 40. Diagram P-V dan diagram T-s**

(Sumber: (Astu Pudjanarso dan Djati Nursuhud, 2013)

Proses proses yang terjadi dari diagram tersebut di atas adalah sebagai berikut:

- Proses 1-2 : Proses kompresi isentropis pada kompresor.
- Proses 2-3 : Proses pembakaran pada tekanan konstan (*isobar*). Di dalam ruangbakar, adanya pemasukan panas.
- Proses 3-4 : Proses ekspansi isentropik pada turbin.
- Proses 4-1 : Proses pelepasan kalor pada tekanan konstan.

### 2.3.7. Neraca Massa

Hukum kekekalan massa atau dikenal sebagai hukum Lomonosov-Lavoisier adalah suatu hukum yang menyatakan massa dari suatu



sistem tertutup akan konstan meskipun terjadi berbagai macam proses di dalam sistem tersebut. Pernyataan yang umum digunakan untuk menyatakan hukum kekekalan massa adalah massa dapat berubah bentuk tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan. Secara umum neraca massa dibedakan menjadi dua macam yaitu:

a. Neraca massa Total

Merupakan neraca massa dimana semua komponen bahan masuk dan keluar dihitung dari proses awal hingga akhir.

b. Neraca massa komponen

Merupakan neraca massa yang perhitungannya berdasarkan atas komponen yang masuk dan komponen yang keluar. Dimana berlaku persamaan:

Komponen bahan masuk = Komponen bahan keluar

Pada perhitungan neraca massa perlu diperhatikan beberapa hal berikut:

a. *System*

Bagian dari keseluruhan proses yang ditinjau dan dibatasi untuk memisahkan antara sistem dan bagian luar sistem. Di luar sistem disebut *surrounding/* lingkungan, sedangkan *system + surrounding* disebut *universe*.

b. Proses

Proses merupakan suatu peristiwa bahan mengalami perubahan fisis maupun kimia ataupun keduanya. Contoh perubahan fisis adalah pengeringan, distilasi, *screening* dan lain-lain. Adapun perubahan kimia merupakan perubahan yang disertai dengan reaksi kimia, seperti adsorpsi, absorpsi, peristiwa reduksi atau oksidasi.

Proses yang disertai dengan perubahan kimia ataupun perubahan fisis dibedakan menjadi dua yaitu:

a. Proses *steady state* (stabil)

*Steady state* adalah Semua aliran di dalam sistem mempunyai laju, komposisi, massa dan suhu yang tetap atau tidak berubah terhadap waktu. Sehingga pada keadaan ini jumlah akumulasi di dalam sistem tetap.

b. Proses *unsteady state* (tidak stabil)

*Unsteady state* adalah proses yang tidak stabil dimana semua variable proses secara keseluruhan sistem atau bagian dalam sistem berubah terhadap waktu. Variabel proses tersebut bisa berupa tekanan, suhu, konsentrasi, kecepatan aliran, konversi, dan lain sebagainya.

Pada kesetimbangan materi tanpa reaksi kimia, rumus umum yang digunakan adalah :

massa akumulasi = massa input – massa output

massa input = massa output

Akumulasi untuk proses *steady state* adalah 0

(Sumber : David M. Himmelblau, *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition*)

### 2.3.8. Neraca Panas

Persamaan umum yang digunakan adalah:

Panas Masuk - Panas Keluar = Panas Akumulasi

Akumulasi untuk proses *steady state* adalah 0

(Sumber : David M. Himmelblau, *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 6th edition*)

Macam-macam Perubahan Entalpi :

a. Sensibel (panas perubahan suhu pada fase tetap)



Panas yang dapat diserap dan dilepas dengan kenaikan atau penurunan suhu tanpa perubahan fase.

Kapasitas Panas ( $C_p$ ) = Banyak panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu setiap satuan massa tiap satuan suhu.

Untuk padatan dan gas,  $C_p$  merupakan fungsi suhu.

Rumus:  $Q_s = m \cdot C_p \cdot dT$  (Tekanan Tetap)

Dimana:  $Q_s =$  Panas Sensibel (cal) (David  
M.Himmleblau)

$m =$  mol bahan (mol)

$C_p =$  kapasitas panas (cal/mol.K)

$dT =$  perubahan suhu (K)

b. Laten ( panas perubahan fase dengan suhu tetap)

1. Panas Pembentukan
2. Penguraian
3. Panas Pembakaran
4. Panas Netralisasi
5. Panas Penguapan
6. Panas Peleburan
7. Panas Sublimasi
8. Panas Pelarutan

## 2.4. Data Lapangan

Langkah awal dalam mencapai tujuan dari tugas khusus ini adalah pengumpulan data. Adapun data lapangan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh dari pengamatan dan pengukuran besaran operasi alat yang bersangkutan secara langsung di lapangan. Data primer diperoleh dari:



1. Log sheet panel control room bagian Central Control Building (CCB)
2. Data laporan harian bagian utility

**Tabel 4. Data primer**

Bahan bakar	=	Fuel oil	=	$C_{12}H_{26}$
Beban	=	9 mW		
Temperatur udara Lingkungan ( $T_1$ )	=	29 °C	=	302 K
Temperatur udara tekan ( $T_2$ )	=	306 °C	=	579 K
Temperatur ruang bakar ( $T_{3s}$ )	=	629 °C	=	902 K
Temperatur keluar Ruang bakar ( $T_3$ )	=	540 °C	=	813 K
Temperatur gas buang ( $T_4$ )	=	370 °C	=	643 K
Tekanan udara Lingkungan( $P_1$ )		1 atm	=	101,33 kPa
Tekanan udara tekan(gage)( $P_{2,gage}$ )	=	6 Kg/cm <sup>2</sup>	=	588,399 kPa
Tekanan absolut udara tekan( $P_2$ )	=	$P_{2,gage} + P_1$	=	689,729 kPa
$P_3$	=	$P_2$		
$P_5$	=	$P_1$		
Laju aliran massa bahan bakar( $m_{fuel}$ )	=	1,22 kg/s	=	4392 kg/jam
$C_p$ udara	=	1,005 KJ/kg.K		

a. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari study literature umum dan manual operation pabrik. Data tersebut meliputi;



1. Data design dari Combustion Turbin Generator (CTG) 2

Data Spesifikasi Combution Turbin Generator

➤ General Data

Manufacture	: GE Nuovo Pignone, Italy
Model series	: MS5001PA
Type	: Single shaft
Cycle	: Simple
Shaft rotation	: CW viewed from air outlet
Type operation	: Continuous
ISO rating	: 26300 KW
Speed	: 5100 rpm

➤ Construction Features

Air compressor	: 17 Stages, axial flow type, max tip speed 332 m/sIGV (64 blades) and EGV (2stages) to reduce vortex at exhaust compressor.
Turbine	: 2 Stages, axial type, max tip speed 438 m/s
Combustor	: 10 units, annular and dual fuel type, max temp. Spark plug 2 unit, flame scanner 4 unit, cross fire between combustor.
Fuel nozzle	: one per combustor, mix fuel type

2. Berat Molekul dan Kapasitas Panas Komponen

$$C_p = A + B.T + C.T^{2+} D.T^{3+} E.T^4 \quad (\text{Yaws, 1984})$$

Keterangan :

$C_p$  = panas jenis (cal/mol.K)



A,B,C,D,E = konstanta

T = suhu (K)

**Tabel 5. Berat Molekul dan kapasitas Panas**

Komponen	BM (kg/kmol)	A	B	C	D	E
C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	170	84.486	2.0358	-5.10x10 <sup>-3</sup>	5.22 x10 <sup>-6</sup>	
O <sub>2</sub>	32	29.526	-8.90 x10 <sup>-3</sup>	3.81 x10 <sup>-5</sup>	-3.26x10 <sup>-8</sup>	8.86x10 <sup>-12</sup>
N <sub>2</sub>	28	29.342	-3.54 x10 <sup>-3</sup>	1.01 x10 <sup>-1</sup>	-4.31x10 <sup>-9</sup>	2.59x10 <sup>-13</sup>
CO <sub>2</sub>	44	27.437	4.23x10 <sup>-2</sup>	-1.96x10 <sup>-5</sup>	4.x10 <sup>-9</sup>	-2.99 x10 <sup>-13</sup>
H <sub>2</sub> O	18	33.933	-8.42x10 <sup>-5</sup>	2.99 x10 <sup>-5</sup>	-1.78x10 <sup>-8</sup>	3.69x10 <sup>-12</sup>
N <sub>2</sub>	28	29.342	-3.54x10 <sup>-3</sup>	1.01 x 10 <sup>-5</sup>	-4.31x10 <sup>-2</sup>	2.59x10 <sup>-12</sup>

### 3. Hf<sup>o</sup> (Heat of Formation)

**Tabel 6. Data Entalpi Pembentukan Standar pada Suhu 298 K**

Komponen	Hf <sup>o</sup> ( KJ/kmol )
C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-29072
O <sub>2</sub>	0
CO <sub>2</sub>	-22479
H <sub>2</sub> O	-13814

(Sumber : Perry's Chemical Engineering Handbook, 7th edition, Tabel 2-220)

## 2.5. Metode

Untuk mengetahui efisiensi Combustion Turbin Generator (CTG), maka pengamatan dan pengerjaan tugas khusus dilakukan selama masa kerja praktik berlangsung, dengan kegiatan sebagai berikut:



1. Memahami mekanisme Combustion Turbin Generator (CTG) di departemen Utility Offsite Marine.
2. Mengumpulkan data primer dan sekunder yang terkait dengan Tugas Khusus.
3. Menghitung Neraca Massa di combustion chamber dengan cara sebagai berikut :
  - a. Menghitung bahan bakar masuk combustion chamber dengan rumus:  
Massa Komponen = (% massa / 100%) x Umpan Masuk
  - b. Menghitung udara primer bertekanan masuk combustion chamber dengan rumus:  
Massa Komponen Udara Primer = (% massa / 100%) x Massa Udara Total  
Massa udara sekunder = 30% dari massa udara primer
  - c. Menghitung Gas Hasil Pembakaran
  - d. Menghitung Neraca Panas di combustion chamber dengan cara sebagai berikut :
    - a) Menghitung panas masuk ( $Q = n \times C_p \times dT$ )
    - b) Menghitung panas keluar ( $Q = n \times C_p \times dT$ )
    - c) Menghitung panas Reaksi  $Q_{reaksi} = \Delta H_{reaktan} + \Delta H_{298} + \Delta H_{produk}$
    - d) Menghitung panas pendinginan ( $Q = n \times C_p \times dT$ )
4. Menghitung  $Q_{Loss}$   
 $Q_{loss} = (Q_{input} - Q_{output})$
5. Menghitung Efisiensi Combustion chamber  
Efisiensi Alat =  $\frac{Q_{input} - Q_{loss}}{Q_{input}} \times 100 \%$
6. Menghitung  $Q_{Loss}$   
 $Q_{Loss} = (m_{fuel} + m_{udara})_{masuk\ turbin} \times C_p\ udara \times dT$   
 $Q_{keluar} = (m_{udara} + m_{fuel}) \times C_p\ udara \times (T_4 - T_1)$



7. Menghitung panas keluar turbin ( $Q_{out}$ )

$$Q_{keluar} = (m_{udara} + m_{fuel}) \times C_p \text{ udara} \times (T_4 - T_1)$$

8. Menghitung kerja Turbin ( $W_T$ )

$$W_T = (Q_{input} - Q_{Output})$$

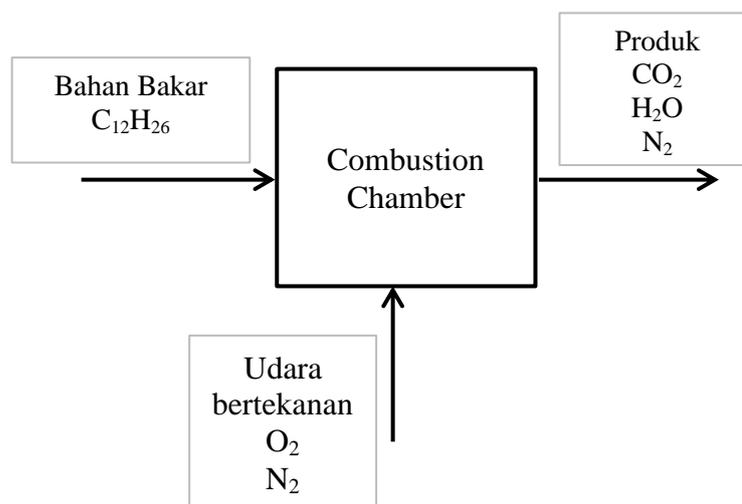
9. Menghitung efisiensi thermal

$$\text{Efisiensi Panas} = \frac{Q_{input} - Q_{loss}}{Q_{input}} \times 100 \%$$

## 2.6. Hasil Pengolahan Data dan Pembahasan

### 2.6.1. Hasil Pengolahan Data

#### 2.6.1.1. Neraca Massa



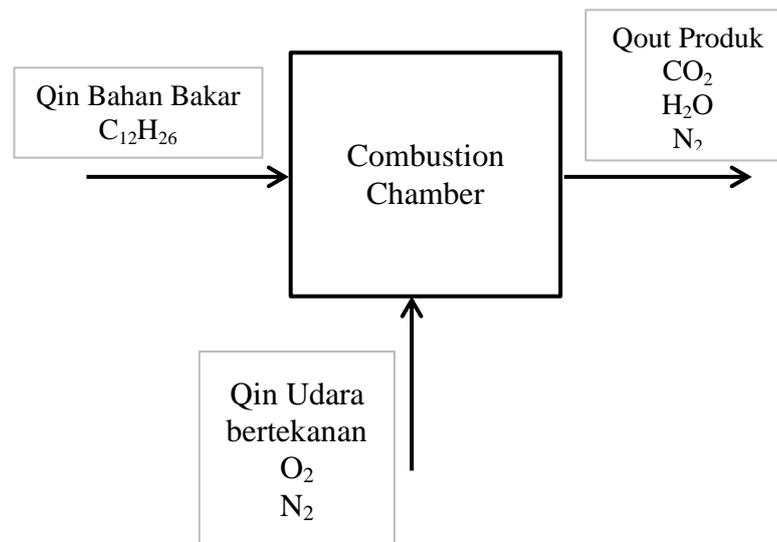
Gambar 41. Diagram Alir Neraca Massa

Tabel 7. Hasil Neraca Massa

Komponen	Input	Output
	Kg/jam	Kg/jam
<b>Bahan Bakar</b>		
C <sub>12</sub> H <sub>23</sub>	4392	-
<b>Udara Primer</b>		
O <sub>2</sub>	16059,2188	-

N <sub>2</sub>	60413,2518	-
<b>Udara Sekunder</b>		
O <sub>2</sub>	4817,7656	4817,7656
N <sub>2</sub>	18123,9755	18123,9755
<b>Gas Hasil Pembakaran</b>		
CO <sub>2</sub>	-	13641,0353
H <sub>2</sub> O	-	6045,4588
N <sub>2</sub>	-	60413,2518
O <sub>2</sub> primer sisa	-	764,7247
<b>Total</b>	<b>103806,2118</b>	<b>103806,2118</b>

### 2.6.1.2. Neraca Panas



Gambar 42. Diagram Alir Neraca Panas

Tabel 8. Neraca Panas Total

Komponen	Q input (KJ/jam)	Q output (KJ/jam)
<b>Q in Bahan Bakar</b>		
C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	549856,2636	
<b>Q in Udara Primer</b>		
O <sub>2</sub>	4309380,8180	

N <sub>2</sub>	15599140.7322	
<b>Q in Udara Sekunder</b>		
O <sub>2</sub>	1156904,0432	
N <sub>2</sub>	4600741,6022	
<b>Q out Gas Hasil Pembakaran</b>		
CO <sub>2</sub>		7227831.0804
H <sub>2</sub> O		7017223.2096
O <sub>2</sub>		388844.1728
N <sub>2</sub>		33163394,7490
<b>Q Panas Reaksi</b>		
C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> +18,5O <sub>2</sub> →12CO <sub>2</sub> +3H <sub>2</sub> O	14387757,9735	
<b>Panas Pendinginan</b>	8871503,2150	
<b>TOTAL</b>	<b>51703733,3238</b>	<b>47797293,2118</b>

➤ Menghitung Q *Loss*

$$\begin{aligned}
 Q \text{ loss} &= ( Q \text{ input} - Q \text{ output} ) \\
 &= ( 51703733,3238 - 47797293,2118 ) \text{ KJ/jam} \\
 &= 3906440,1120 \text{ KJ/jam}
 \end{aligned}$$

➤ Menghitung % Efisiensi Alat

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Efisiensi} &= \left| \frac{Q \text{ in} - Q \text{ loss}}{Q \text{ in}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{51703733,3238 - 3906440,1120}{51703733,3238} \right| \times 100\% \\
 &= 92,44\%
 \end{aligned}$$

### 2.6.3. Menghitung Efisiensi Thermal Turbin

Diketahui :

$$m_{\text{udara}} + m_{\text{fuel}} = 103806,2118 \text{ kg/jam}$$

$$Q_{\text{masuk}} = 47797293,2118 \text{ KJ/jam}$$



$$T_1 = 29 \text{ }^\circ\text{C} = 302 \text{ K}$$

$$T_4 = 370 \text{ }^\circ\text{C} = 643 \text{ K}$$

$$C_p \text{ Udara} = 1,005 \text{ KJ/kg}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{keluar}} &= (m_{\text{udara}} + m_{\text{fuel}}) \times C_p \text{ udara} \times (T_4 - T_1) \\ &= 103806,2118 \text{ kg/jam} \times 1,005 \text{ KJ/kg.K} \times (643 \text{ K} - 302 \text{ K}) \\ &= 35574907,8028 \text{ KJ/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{berguna}} &= Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} \\ &= 47797293,2118 \text{ KJ/jam} - 35574907,8028 \text{ KJ/jam} \\ &= 12222385,4090 \text{ KJ/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi thermal} &= \left| \frac{Q_{\text{in}} - Q_{\text{keluar}}}{Q_{\text{in}}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{47797293,2118 - 35574907,8028}{47797293,2118} \right| \times 100\% \\ &= 25,57 \text{ \%} \end{aligned}$$

### 2.6.1. Pembahasan

Pada Combustion Turbin Generator (CTG) di PT TPPI ini, proses dimana terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanik. Udara masuk melalui air inlet yang kemudian difilter dahulu sebelum menuju ke kompresor axial 17 stage agar bersih dari debu dan kotor. Karena apabila udara masuk ke CTG kotor maka akan terjadi pengendapan deposit sehingga dapat mengurangi kinerja dari CTG. Sebelum udara masuk ke kompresor volumenya diatur sesuai kebutuhan proses pembakaran. Pada awal terjadinya pembakaran, suplai udara yang diperlukan pada proses tersebut relatif sedikit karena jika udara yang masuk tidak diatur atau terlalu banyak akan terjadi stall, dimana pembakaran yang terjadi menghasilkan daya yang terlalu besar sementara putaran kompresor belum maksimal. Di dalam kompresor axial 17 stage udara akan dikompresi, pada proses kompresi

berlangsung, terjadi gesekan antara udara dan sudu-sudu kompresor. Temperatur udara keluar dari kompresor menjadi lebih tinggi dari proses ideal (isentropis).

Udara bertekanan tinggi hasil kompresi dimasukkan ke dalam combustion chamber sebagai campuran bahan bakar, dimana bahan bakar pada tekanan konstan. Bahan bakar pada CTG 2 ini adalah fuel oil (solar), sehingga sebelum dialirkan ke combustion chamber fuel oil dikabutkan terlebih dahulu menggunakan atomizing. Tujuan pengkabutan sendiri agar bahan bakar dapat membakar udara dengan sempurna. Udara masuk ke dalam combustion chamber terbagi menjadi 2 yaitu udara primer dan udara, udara primer inilah yang akan mengalami pembakaran dengan bahan bahan bakar, sedangkan udara sekunder berfungsi untuk menyempurnakan pembakaran serta mendinginkan udara primer agar kondisinya dapat diterima oleh turbin. Sehingga temperatur pembakaran udara primer lebih tinggi daripada temperatur udara keluar combustion chamber. Pengambilan data yang telah dilakukan pada temperatur lingkungan yaitu pada temperatur 29°C (17 Februari 2019) dalam kondisi panas. Udara yang masuk ke combustion chamber.

Udara bertekanan masuk dan dibakar dengan bahan bakar solar ( $C_{12}H_{26}$ ) akan menghasilkan  $CO_2$  dan  $H_2O$  serta  $N_2$  dari udara dan  $O_{2\text{sisia}}$ . Dengan panas masuk sebesar 51703733,3238 KJ/jam dan panas keluar sebesar 47797293,2118 KJ/jam, panas keluar dari combustion chamber inilah yang akan mengalir ke sudu-sudu turbin. Dari combustion chamber sendiri memiliki panas yang hilang sebesar 3906440,1120 KJ/jam, kehilangan panas ini disebabkan oleh beberapa hal seperti pengendapan bahan bakar di combustion chamber, pendinginan udara hasil pembakaran oleh udara sekunder dan kemungkinan kebocoran isolasi pada alat. Dengan efisiensi alat sebesar 92,44%.



Terdapat pendinginan udara primer oleh udara sekunder di combustion chamber, sehingga temperatur dari udara menjadi lebih rendah dan tidak merusak material turbin ketika udara mengalir ke sudu-sudu turbin. Udara bertekanan dan bersuhu tinggi akan mengalir melalui nozzle menuju ke sudu-sudu turbin disebut proses ekspansi. Pada proses ekspansi berlangsung terjadi gesekan antara gas hasil pembakaran dengan sudu-sudu turbin, sehingga temperatur gas buang yang keluar dari turbin temperaturnya masih tinggi. Di dalam turbin 2 stage ini terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini sebagian digunakan untuk menggerakkan kompresornya sendiri dan sebagian lagi digunakan untuk menggerakkan generator. Di generator inilah energi mekanik dikonversikan menjadi energi listrik.

Dari perhitungan diperoleh kerja turbin sebesar 12222385,4090 KJ/jam. Kerja turbin ini akan dibagi menjadi 2 yaitu 60% untuk menggerakkan poros turbin gas sedangkan sisanya akan dikonversikan menjadi energy listrik oleh generator. Kerja turbin dipengaruhi oleh kerja kompresor, dimana temperature masuk kompresor yang semakin tinggi akan membuat kerja kompresor semakin berat. Dan apabila kerja kompresor semakin berat maka kerja turbin semakin kecil serta efisiensi thermal akan turun sebaliknya jika kerja kompresor semakin kecil maka kerja turbin semakin besar serta efisiensi thermal juga akan naik.

Efisiensi thermal turbin adalah perbandingan antara kerja turbin yang berguna dengan energy kalor yang masuk. Dan dalam perhitungan didapat efisiensi turbin sebesar 25,57 % dengan daya bersih 9 MW. Kelemahan turbin gas sendiri adalah efisiensi thermalnya yang rendah, hal ini disebabkan karena banyaknya pembuangan panas pada gas buang. Efisiensi thermal turbin berkisar antara 20-40%. Jika ada penambahan beban pada CTG maka efisiensi thermalnya juga akan meningkat. Untuk meningkatkan efisiensi thermal CTG maka PT TPPI



memanfaatkan gas buang dari CTG yang temperaturnya masih tinggi (370 °C) dengan mengalirkan ke Heat Recovery Steam Generator (HRSG), apabila gas buang dibuang ke atmosfer akan menjadi sia-sia dan membuat efisiensi thermalnya menjadi rendah.

## BAB III PENUTUP

### III.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan neraca massa total, diperoleh hasil massa masuk dan massa keluar combustion chamber sama yaitu sebesar 103806,2118 kg/jam.
2. Dari hasil perhitungan neraca panas total, diperoleh panas masuk combustion chamber sebesar 51703733,3238 KJ/jam sedangkan panas keluar combustion chamber sebesar 47797293,2118 KJ/jam. Yang mana terdapat panas yang hilang ( $Q_{loss}$ ) sebesar 3906440,1120 KJ/jam. Dengan efisiensi combustion chamber sebesar 92,44%, maka combustion chamber dalam kondisi baik.
3. Dari hasil perhitungan diperoleh kerja turbin ( $W_T$ ) sebesar 12222385,4090 KJ/jam dan panas keluar turbin sebesar 35574907,8028 KJ/jam. Dengan efisiensi thermal turbin sebesar 25,57%, efisiensi thermal turbin masih rendah, karena banyaknya pembuangan panas pada gas buang. Efisiensi thermal turbin akan meningkat bila ada peningkatan beban CTG. Sehingga turbin gas masih dalam kondisi baik, karena daya yang dibutuhkan sedikit maka panas yang digunakan juga sedikit pula.
4. Gas buang dari CTG mempunyai temperatur yang tinggi 370 °C dimanfaatkan oleh Heat Recorvery Steam Generator (HRSG) dengan mengcouplekan (menghubungkan) alat CTG dengan HRSG sehingga dapat meningkatkan efisiensi thermalnya.



### III.2. Saran

1. Dilakukan pemeliharaan rutin pada setiap komponen Combustion Turbin Generator (CTG) sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan.
2. Karena lokasi pabrik di dekat pantai maka, pada saat pagi hari temperature udara yang masuk ke Combustion Turbin Generator (CTG) akan rendah tetapi pada saat siang akan berbanding terbalik, disarankan untuk membuat air conditioning disekitar sisi air inlet section agar membuat kondisi udara semakin rendah temperaturnya dan kelembapannya. Jika temperature lingkungannya semakin rendah maka efisiensi thermal turbin menjadi semakin besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar Wiranto. 2002. *Pengantar Turbin Gas dan Motor Propulsi*. Bandung. ITB
- Astu Pudjanarso dan Djati Nursuhud. 2013. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta. CV Andi Offset
- Boyce, M. P., 2012. *Gas Turbine Engineering Handbook*, Edisi ke-4. UK: Elsevier.
- Dietzel Fritz dan Dakso Sriyono. 1998. *Turbin, Pompa, dan Kompresor*. Jakarta. Erlangga
- Himmelblau, M.David, James B. Riggs. 1996. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*, 6th edition. USA: Prentice Hall.
- Moran, M.J., 2011. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, Edisi ke-7. USA: Wiley.
- Perry, Robert H., Don W. Green. 1999. *Chemical Engineering Handbook*. 7th edition. New York: Mc Graw Hill.
- Perry, Robert H., Don W. Green. 2007. *Chemical Engineering Handbook*, 8th edition. New York : Mc Graw Hill.
- Team Start Up. 2004. *Petunjuk Manual Operasi Unit Utility Offsite Marine (OSBL) PT Trans-Pasific Petrocheical Indotama Tuban*. Jawa Timur
- Wilcox, Melissan dkk. 2010. *Guideline for Gas Turbine Inlet Air Filtration Systems*. Texas: Gas Machinery Research Council Southwest Research Institute
- Yaws, C.L. 1984. *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw Hill. INC. New York



# **LAMPIRAN**

## SURAT KETERANGAN KERJA PRAKTIK



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA  
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI

Jl. Babarsari 2 Tambakbayan Yogyakarta 55281 Telp./Fax : (0274) 485786  
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Yogyakarta 55283 Telp/ /Fax : (0274) 486889.

### SURAT TUGAS

Nomor 690/UN62.12/KM/2018

Dekan Fakultas Teknik Industri UPN "Veteran" Yogyakarta memberikan tugas kepada,

No	Nama	NPM	Prodi/Program	Dosen Pembimbing/ NIDN
1.	Galeh Rasiyanti	021160007	Teknik Kimia/Diploma Tiga	Ir. Zubaidi Achmad, M.T. 003105908
2.	Dina Suci Puspitarani	021160009	Teknik Kimia/Diploma Tiga	Ir. Tunjung Wahyu Widayati, M.T. 0001026421
3.	Dian Tri Prasetyo	021160013	Teknik Kimia/Diploma Tiga	Ir. Tunjung Wahyu Widayati, M.T. 0001026421

untuk melaksanakan Magang Pada,

Tanggal : 2 Januari 2019 s.d. 28 Februari 2019

Tempat : PT. Trans-Pacific Petrochemical Indotama  
Jl. Tg. Awar-Awar, Ds. Remen, Tasik Harjo, Jenu, Tuban, Jawa Timur.

Untuk ketertiban administrasi dan dokumen Fakultas Teknik Industri, maka yang bersangkutan wajib menyerahkan laporan kepada Dekan paling lambat satu minggu setelah pelaksanaan tugas.

Surat tugas ini dibuat untuk dilaksanakan dengan penuh tanggung jawab.

17 Desember 2018

a.n. Dekan  
Wakil Dekan Bidang Akademik  
u.b.  
Kabag TU

Bambang Widiasmoro, S.Sos., M.M  
NIP 1971042819910310001

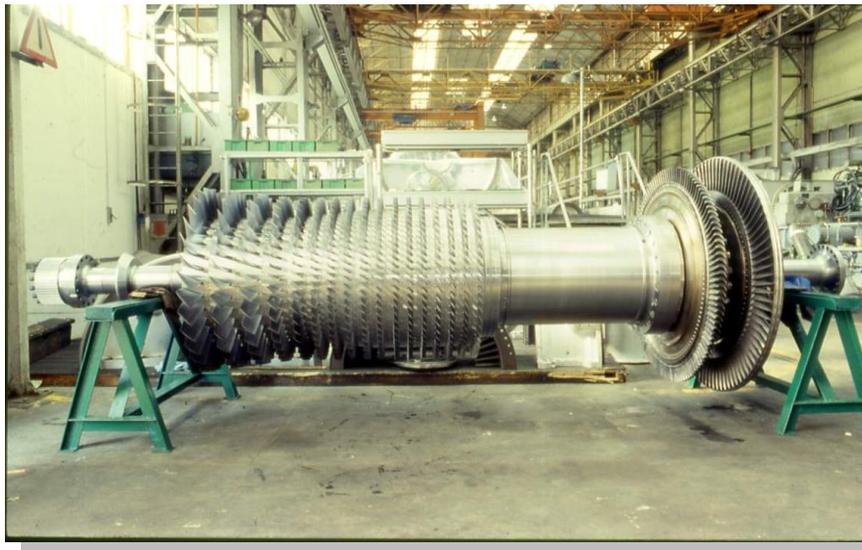
Tembusan:

1. Kajar Teknik Kimia;
2. Dosen Pembimbing;  
FTI UPN "Veteran" Yogyakarta

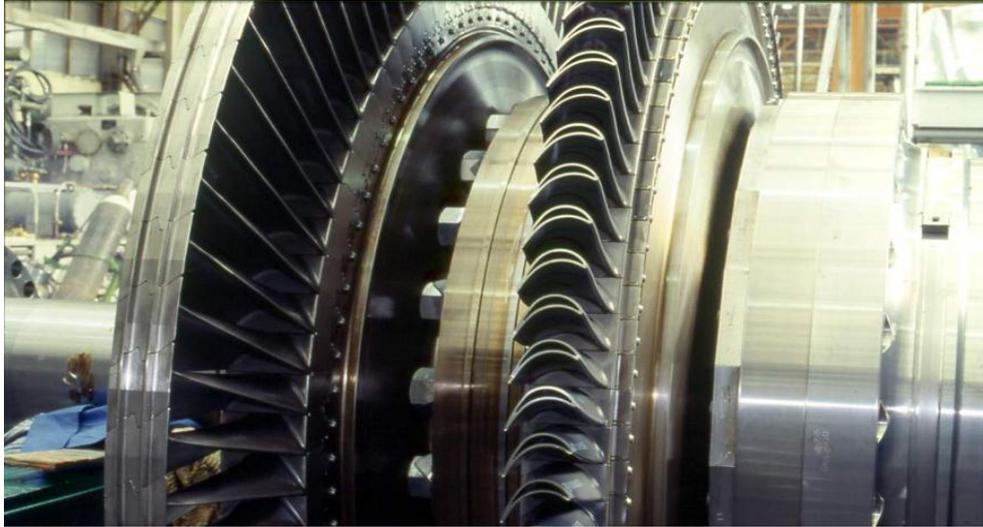
## GAMBAR COMBUSTION TURBIN GENERATOR DARI BERBAGAI SISI



CTG tmpak dari depan



Kompresor axial 17 stage



Turbin 2 stage



Generator

## DATA PENELITIAN

### a. Data Primer

Tabel 9. Data primer

Bahan bakar	=	Fuel oil	=	$C_{12}H_{26}$
Beban	=	9 mW		
Temperatur udara Lingkungan ( $T_1$ )	=	29 °C	=	302 K
Temperatur udara tekan ( $T_2$ )	=	306 °C	=	579 K
Temperatur ruang bakar ( $T_{3s}$ )	=	629 °C	=	902 K
Temperatur keluar Ruang bakar ( $T_3$ )	=	540 °C	=	813 K
Temperatur gas buang ( $T_4$ )	=	370 °C	=	643 K
Tekanan udara Lingkungan( $P_1$ )		1 atm	=	101,33 kPa
Tekanan udara tekan(gage)( $P_{2,gage}$ )	=	6 Kg/cm <sup>2</sup>	=	588,399 kPa
Tekanan absolut udara tekan( $P_2$ )	=	$P_{2,gage} + P_1$	=	689,729 kPa
$P_3$	=	$P_2$		
$P_5$	=	$P_1$		
Laju aliran massa bahan bakar( $m_{fuel}$ )	=	1,22 kg/s	=	4392 kg/jam
Cp udara	=	1,005 KJ/kg.K		

## b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari study literature umum dan manual operation pabrik. Data tersebut meliputi;

### 1. Data design dari Combustion Turbin Generator (CTG) 2

#### Data Spesifikasi Combustion Turbin Generator

##### ➤ General Data

Manufacture	: GE Nuovo Pignone, Italy
Model series	: MS5001PA
Type	: Single shaft
Cycle	: Simple
Shaft rotation	: CW viewed from air outlet
Type operation	: Continuous
ISO rating	: 26300 KW
Speed	: 5100 rpm

##### ➤ Construction Features

Air compressor	: 17 Stages, axial flow type, max tip speed 332 m/s IGV (64 blades) and EGV (2stages) to reduce vortex at exhaust compressor.
Turbine	: 2 Stages, axial type, max tip speed 438 m/s
Combustor	: 10 units, annular and dual fuel type, max temp. Spark plug 2 unit, flame scanner 4 unit, cross fire between combustor.
Fuel nozzle	: one per combustor, mix fuel type

2. Berat Molekul dan Kapasitas Panas Komponen

$$C_p = A + B.T + C.T^{2+} D.T^{3+} E.T^4 \quad (\text{Yaws, 1984})$$

Keterangan :

$C_p$  = panas jenis (cal/mol.K)

A,B,C,D,E = konstanta

T = suhu (K)

Tabel 10. Berat Molekul dan kapasitas Panas

Komponen	BM (kg/kmol)	A	B	C	D	E
$C_{12}H_{26}$	170	84.486	2.0358	$-5.10 \times 10^{-3}$	$5.22 \times 10^{-6}$	
$O_2$	32	29.526	$-8.90 \times 10^{-3}$	$3.81 \times 10^{-5}$	$-3.26 \times 10^{-8}$	$8.86 \times 10^{-12}$
$N_2$	28	29.342	$-3.54 \times 10^{-3}$	$1.01 \times 10^{-1}$	$-4.31 \times 10^{-9}$	$2.59 \times 10^{-13}$
$CO_2$	44	27.437	$4.23 \times 10^{-2}$	$-1.96 \times 10^{-5}$	$4. \times 10^{-9}$	$-2.99 \times 10^{-13}$
$H_2O$	18	33.933	$-8.42 \times 10^{-5}$	$2.99 \times 10^{-5}$	$-1.78 \times 10^{-8}$	$3.69 \times 10^{-12}$
$N_2$	28	29.342	$-3.54 \times 10^{-3}$	$1.01 \times 10^{-5}$	$-4.31 \times 10^{-2}$	$2.59 \times 10^{-12}$

3.  $H_f^\circ$  (Heat of Formation)

Tabel 11. Data Entalpi Pembentukan Standar pada Suhu 298 K

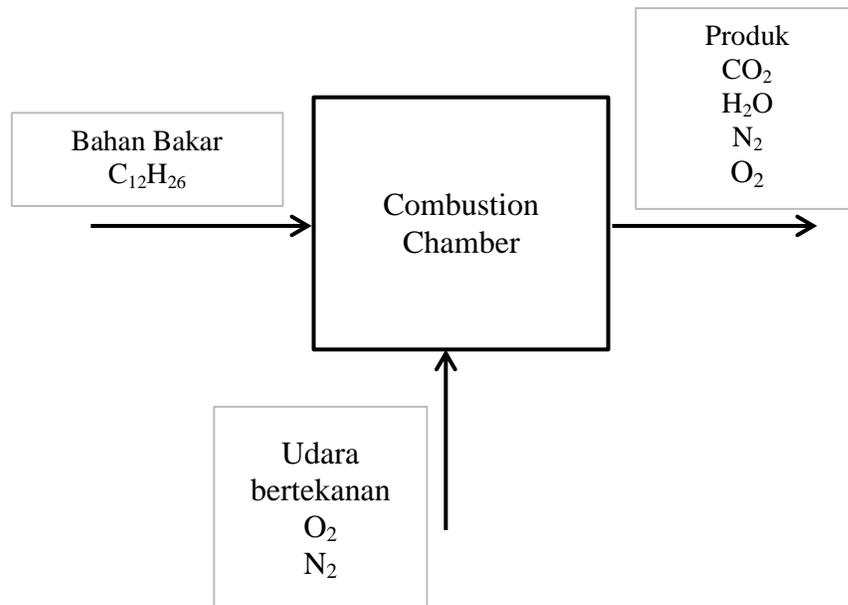
Komponen	$H_f^\circ$ ( KJ/kmol )
$C_{12}H_{26}$	-29072
$O_2$	0
$CO_2$	-22479
$H_2O$	-13814

(Sumber : Perry's Chemical Engineering Handbook, 7th edition, Tabel 2-220)

**PERHITUNGAN EFISIENSI THERMAL  
COMBUSTION TURBIN GENERATOR 2**

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan data primer maupun data sekunder yang telah diketahui untuk mengetahui efisiensi thermal.

### A. Perhitungan Neraca Massa



Gambar 43. Diagram Alir massa Combustion Chamber

- Asumsi yang digunakan untuk perhitungan:
  - Reaksi pembakaran berlangsung secara sempurna
  - Udara Pembakaran 5% excess
  - Basis perhitungan 1 jam
  - Keadaan operasi dianggap steady state

### Rumus menghitung Neraca Massa:

$$\text{Akumulasi} = \text{Massa Masuk} - \text{Massa Keluar}$$

$$\text{Massa masuk} = \text{Massa Keluar}$$

Akumulasi untuk proses steady state adalah 0

Diketahui: Massa bahan bakar ( $C_{12}H_{26}$ ) masuk = 1,22 kg/s = 4392 kg/jam  
= 25,8353 kmol/jam

Massa udara sekunder = 30% dari udara primer

➤ **Reaksi Pembakaran**

Asumsi: Reaksi pembakaran berlangsung sempurna.

Sehingga dengan menggunakan perbandingan mol diperoleh :

Reaksi Pembakaran:

Awal	25,8353	501,8506	-	-
Bereaksi	25,8353	477,9529	310,0235	335,8588
Sisa	0	23,8976	310,0235	335,8588

**Menghitung  $O_2$  primer Teoritis**

= Kebutuhan  $O_2$  yang bereaksi x BM  $O_2$   
= 447,9529 kmol/jam x 32 kg/kmol  
= 15294,4941 kg/jam

**Menghitung Kebutuhan  $O_2$  primer Sesungguhnya**

Asumsi: udara pembakaran yang digunakan 5% *excess*

= 105% x Kebutuhan  $O_2$  yang bereaksi  
= 105% x (15294,4941 kg/jam)  
= 16059,2188 kg/jam  
=  $\frac{16059,2188 \text{ kg/jam}}{32 \text{ kg/kmol}}$   
= 501,8506 kmol/jam

### Menghitung Kebutuhan udara primer masuk

Udara terdiri dari O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> masuk ke dalam *Combustion Chamber* sebagai umpan masuk.

$$\begin{aligned}\text{Udara primer} &= \frac{100}{21} \times \text{kebutuhan O}_2 \text{ primer sesungguhnya} \\ &= \frac{100}{21} \times 16059,2188 \text{ kg/jam} \\ &= \frac{76472,4706 \text{ kg/jam}}{28,96 \text{ kg/kmol}} \\ &= 2640,6240 \text{ kmol/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{N}_2 \text{ dari udara primer} &= \frac{79}{21} \times \text{kebutuhan O}_2 \text{ sesungguhnya} \\ &= \frac{79}{21} \times 16059,2188 \text{ kg/jam} \\ &= \frac{60413,2518 \text{ kg/jam}}{28 \text{ kg/kmol}} \\ &= 2157,6161 \text{ kmol/jam}\end{aligned}$$

Tabel 12. komponen udara primer

Komponen	Masssa (kg/jam)	Mol (kmol/jam)	% Mol
O <sub>2</sub>	16059,2188	501,8506	18,87
N <sub>2</sub>	60413,2518	2157,6161	81,13
Total	76472,4706	2659,4667	100

### Menghitung Kebutuhan udara sekunder masuk

Diketahui: Massa bahan bakar ( $C_{12}H_{26}$ ) masuk = 1,22 kg/s = 4392 kg/jam  
= 25,8353 kmol/jam

Massa udara sekunder = 30% dari udara primer

Massa udara sekunder =  $\frac{30}{100}$  x massa udara primer masuk  
=  $\frac{30}{100}$  x 76472,4706 kg/jam  
= 22941,7412 kg/jam  
=  $\frac{22941,7412 \text{ kg/jam}}{28,96 \text{ kg/kmol}}$   
= 792,84 kmol/jam

$O_2$  dari udara sekunder =  $\frac{21}{100}$  x 22941,7412 kg/jam  
= 4817,7656 kg/jam  
=  $\frac{4817,7656 \text{ kg/jam}}{32 \text{ kg/kmol}}$   
= 150,5552 kmol/jam

$N_2$  dari udara sekunder =  $\frac{79}{100}$  x 22941,7412 kg/jam  
= 18123,9755 kg/jam  
=  $\frac{18123,9755 \text{ kg/jam}}{28 \text{ kg/kmol}}$   
= 647,2848 kmol/jam

Tabel 13. komponen udara sekunder

Komponen	Masssa (kg/jam)	Mol (kmol/jam)	% Mol
O <sub>2</sub>	4817,7656	150,5552	18,87
N <sub>2</sub>	18123,9755	647,2848	81,13
Total	22941,7412	797,84	100

### Menghitung Massa Gas Hasil Pembakaran

Gas Hasil Pembakaran merupakan gas yang dihasilkan dari reaksi di dalam *Combustion Chamber*

- Menghitung Massa CO<sub>2</sub>  
 $= \text{CO}_2 \text{ Hasil reaksi pembakaran} \times \text{BM CO}_2$   
 $= 310,0235 \text{ kmol/jam} \times 44 \text{ kg/kmol}$   
 $= 13641,0353 \text{ kg/jam}$
- Menghitung Massa H<sub>2</sub>O  
 $= \text{H}_2\text{O hasil pembakaran} \times \text{BM H}_2\text{O}$   
 $= 335,8588 \text{ kmol/jam} \times 18 \text{ kg/kmol}$   
 $= 6045,4588 \text{ kg/jam}$
- Menghitung O<sub>2</sub> primer sisa pembakaran  
 $= (\text{kebutuhan O}_2 \text{ sesungguhnya} - \text{O}_2 \text{ teoritis}) \times \text{BM O}_2$   
 $= (501,8506 \text{ kmol/jam} - 447,9529 \text{ kmol/jam})$   
 $= 23,8976 \text{ kmol/jam} \times 32 \text{ kg/kmol}$   
 $= 764,7247 \text{ kg/jam}$

Tabel 14. komposisi Gas Hasil Pembakaran

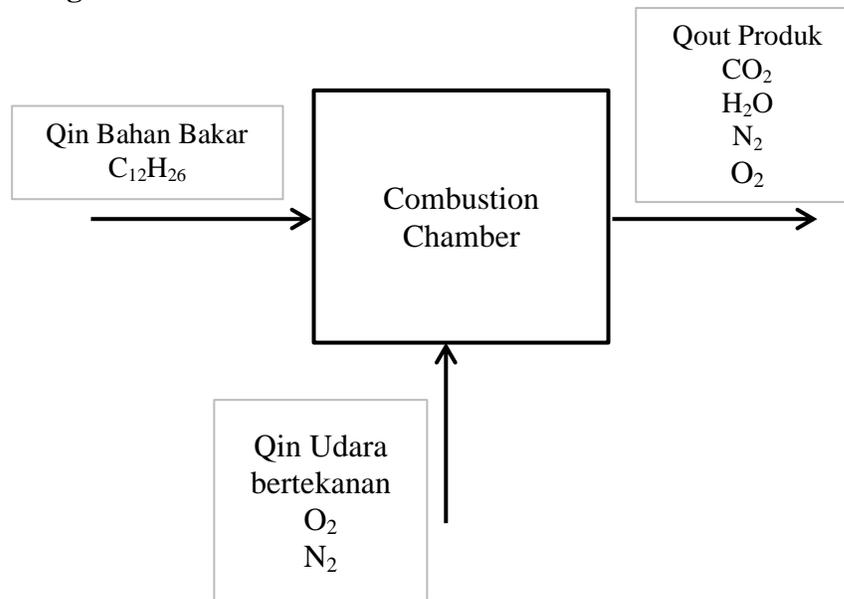
Komponen	Massa (Kg/jam )	Mol (kmol/jam)	% Mol
CO <sub>2</sub>	13641,0353	310,0235	10,96
H <sub>2</sub> O	6045,4588	335,8588	11,99
N <sub>2</sub>	60413,2518	2157,6161	76,31
O <sub>2</sub> primer sisa	764,7247	23,8976	0,85
Total	72548,0894	4445,6082	100

Tabel 15. Hasil Neraca Massa

Komponen	Input	Output
	Kg/jam	Kg/jam
<b>Bahan Bakar</b>		
C <sub>12</sub> H <sub>23</sub>	4392	-
<b>Udara Primer</b>		
O <sub>2</sub>	16059,2188	-
N <sub>2</sub>	60413,2518	-
<b>Udara Sekunder</b>		
O <sub>2</sub>	4817,7656	4817,7656
N <sub>2</sub>	18123,9755	18123,9755
<b>Gas Hasil Pembakaran</b>		
CO <sub>2</sub>	-	13641,0353
H <sub>2</sub> O	-	6045,4588
N <sub>2</sub>	-	60413,2518

O <sub>2</sub> primer sisa	-	764,7247
<b>Total</b>	<b>103806,2118</b>	<b>103806,2118</b>

## B. Perhitungan Neraca Panas



Gambar 43. Diagram alir neraca panas

- Asumsi yang digunakan untuk perhitungan:
  - Waktu = 1 Jam operasi
  - Keadaan operasi dianggap steady state
  - Proses pembakaran berlangsung sempurna
  - Temperatur referensi = 25 °C

### Persamaan Umum:

**Akumulasi = Panas Masuk – Panas Keluar - Panas Reaksi – Panas Pendinginan**

Akumulasi untuk proses steady state adalah 0

## A. PANAS MASUK

### 1. Q in Bahan bakar

Diketahui Suhu bahan bakar masuk Combustion Chamber.

$$T = 80^{\circ}\text{C} = 353 \text{ K}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^{\circ}\text{C} = 298 \text{ K}$$

Menghitung Cp tiap komponen Bahan bakar

$$Q = \Delta H = H_2 - H_1$$

$$Q = n \cdot C_p \cdot dT = n \int_{T_{\text{ref}}}^T C_p dT \quad (\text{David, M. Himmelblau})$$

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 \quad (\text{Yaws :Table 2-1})$$

$$C_p \cdot dT = (A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4) dT$$

$$C_p \cdot dT = \int_{T_{\text{ref}}}^T \left( AT + \frac{B}{2} T^2 + \frac{C}{3} T^3 + \frac{D}{4} T^4 + \frac{E}{5} T^5 \right)$$

$$C_p \cdot dT = A(T - T_{\text{ref}}) + \frac{B}{2} (T^2 - T_{\text{ref}}^2) + \frac{C}{3} (T^3 - T_{\text{ref}}^3) + \frac{D}{4} (T^4 - T_{\text{ref}}^4) + \frac{E}{5} (T^5 - T_{\text{ref}}^5)$$

$$C_p \cdot dT = \frac{\text{Joule}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times \text{K} \times \frac{1000 \text{ mol}}{1 \text{ kmol}} \times \frac{1 \text{ KJ}}{1000 \text{ Joule}} = \frac{\text{KJ}}{\text{kmol}}$$

Tabel 16. Data entalpi Komponen Bahan Bakar

Komponen	A	B	C	D
C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	84.486	2.0358	-5.10x10 <sup>-3</sup>	5.22 x10 <sup>-6</sup>

Tabel 17. Data Q in Komponen Bahan Bakar

Komponen	Massa (kg/jam)	BM (kg/kmol)	n (kmol/jam)	Cp.dT (KJ/kmol)	Q in (KJ/jam) [n x Cp,dT]
C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	4392	170	25,8353	21283,1432	549856,2636

Jadi panas masuk bahan bakar (C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>) adalah 549856,2636 KJ/jam

## 2. Q in Udara Primer

Merupakan panas yang dibawa oleh udara primer yang masuk ke dalam Combustion Chamber.

$$T_2 = 306 \text{ }^\circ\text{C} = 579 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

Menghitung Cp tiap Komponen Udara Primer

$$Q = \Delta H = H_2 - H_1$$

$$Q = n \cdot C_p \cdot dT = n \int_{T_{ref}}^{T_2} C_p dT \quad (\text{David, M. Himmelblau})$$

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 \quad (\text{Yaws :Table 2-1})$$

$$C_p \cdot dT = (A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4) dT$$

$$C_p \cdot dT = \int_{T_2}^{T_{ref}} \left( AT + \frac{B}{2} T^2 + \frac{C}{3} T^3 + \frac{D}{4} T^4 + \frac{E}{5} T^5 \right)$$

$$C_p \cdot dT = A(T_2 - T_{ref}) + \frac{B}{2} (T_2^2 - T_{ref}^2) + \frac{C}{3} (T_2^3 - T_{ref}^3) + \frac{D}{4} (T_2^4 - T_{ref}^4) + \frac{E}{5} (T_2^5 - T_{ref}^5)$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama maka diperoleh hasil:

Tabel 18. Data entalpi Komponen Udara Primer

Komponen	A	B	C	D	E
O <sub>2</sub>	29.526	-8.90 x10 <sup>-3</sup>	3.81 x10 <sup>-5</sup>	-3.26 x10 <sup>-8</sup>	8.86 x10 <sup>-12</sup>
N <sub>2</sub>	29.342	-3.54 x10 <sup>-3</sup>	1.01 x10 <sup>-1</sup>	-4.31 x10 <sup>-9</sup>	2.59 x10 <sup>-13</sup>

Tabel 19. Data Q in Komponen Udara primer

Komponen	Massa (kg/jam)	BM (kg/kmol)	n (kmol/jam)	Cp.dT (kcal/kmol)	Q in (KJ/jam) [n x Cp.dT]
O <sub>2</sub>	76472,4706	32	2389,7647	8586,9797	4309380,8180
N <sub>2</sub>	60413,2518	28	2157,6161	8262,6326	15599140,7322
<b>TOTAL</b>					<b>19908521,5503</b>

Jadi total panas udara primer masuk adalah 19908521,5503 KJ/jam.

### 3. Q in Udara Sekunder

Merupakan panas yang dibawa oleh udara sekunder yang masuk ke dalam Cobustion Chamber.

$$T_2 = 306 \text{ }^\circ\text{C} = 579 \text{ K}$$

$$T_3 = 540 \text{ }^\circ\text{C} = 813 \text{ K}$$

Menghitung Cp tiap Komponen Udara Primer

$$Q = \Delta H = H_2 - H_1$$

$$Q = n \cdot Cp \cdot dT = n \int_{T_2}^{T_3} Cp \, dT \quad (\text{David, M. Himmelblau})$$

$$Cp = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 \quad (\text{Yaws :Table 2-1})$$

$$Cp \cdot dT = (A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4) dT$$

$$Cp \cdot dT = \int_{T_2}^{T_3} \left( AT + \frac{B}{2} T^2 + \frac{C}{3} T^3 + \frac{D}{4} T^4 + \frac{E}{5} T^5 \right)$$

$$Cp \cdot dT = A(T_3 - T_2) + \frac{B}{2} (T_3^2 - T_2^2) + \frac{C}{3} (T_3^3 - T_2^3) + \frac{D}{4} (T_3^4 - T_2^4) + \frac{E}{5} (T_3^5 - T_2^5)$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama maka diperoleh hasil:

Tabel 20. Data Q in Komponen Udara Sekunder

Komponen	Massa (kg/jam)	BM (kg/kmol)	n (kmol/jam)	Cp.dT (kcal/kmol)	Q in (KJ/jam) [n x Cp.dT]
O <sub>2</sub>	4817,7656	32	150,5552	7684,2528	1156904,0432
N <sub>2</sub>	18123,9755	28	647,2848	7107,7543	4600741,6022
<b>TOTAL</b>					<b>5757645,6454</b>

## B. PANAS KELUAR

### 1. Q out Gas Hasil Pembakaran

Merupakan panas yang dibawa dan berasal dari reaksi pembakaran.

$$T_3 = 540 \text{ }^\circ\text{C} = 813 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

Menghitung Cp tiap komponen Gas Hasil Pembakaran (GHP)

$$Q = n \cdot Cp \cdot dT = n \int_{T_{ref}}^T Cp \, dT$$

$$Cp = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 \quad (\text{Yaws :Table 2-1})$$

$$Cp \cdot dT = (A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4) dT$$

$$Cp \cdot dT = \int_{T_3}^{T_{ref}} \left( AT + \frac{B}{2} T^2 + \frac{C}{3} T^3 + \frac{D}{4} T^4 + \frac{E}{5} T^5 \right)$$

$$Cp \cdot dT = A(T_3 - T_{ref}) + \frac{B}{2} (T_3^2 - T_{ref}^2) + \frac{C}{3} (T_3^3 - T_{ref}^3) + \frac{D}{4} (T_3^4 - T_{ref}^4) + \frac{E}{5} (T_3^5 - T_{ref}^5)$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama diperoleh hasil:

Tabel 21. Data entalpi Komponen Gas Hasil Pembakaran

Komponen	A	B	C	D	E
CO <sub>2</sub>	27.437	4.23x10 <sup>-2</sup>	-1.96 x10 <sup>-5</sup>	4. x10 <sup>-9</sup>	-2.99 x10 <sup>-13</sup>
H <sub>2</sub> O	33.933	-8.42x10 <sup>-5</sup>	2.99 x10 <sup>-5</sup>	-1.78 x10 <sup>-8</sup>	3.69 x10 <sup>-12</sup>
O <sub>2</sub>	29.526	-8.90x10 <sup>-3</sup>	3.81 x10 <sup>-5</sup>	-3.26 x10 <sup>-8</sup>	8.86 x10 <sup>-12</sup>
N <sub>2</sub>	29.342	-3.54x10 <sup>-3</sup>	1.01 x 10 <sup>-5</sup>	-4.31 x10 <sup>-2</sup>	2.59 x10 <sup>-12</sup>

Tabel 22. Data Q out Komponen Gas Hasil Pembakaran

Komponen	Massa (kg/jam)	BM (kg/kmol)	n (kmol/jam)	Cp.dT (KJ/kmol)	Qout(KJ/jam) [n x Cp.dT]
CO <sub>2</sub>	13641,0353	44	310,0235	23313,8146	7227831.0804
H <sub>2</sub> O	6045,4588	18	335,8588	20893,3716	7017223.2096
O <sub>2</sub>	764,7247	28	23,8976	16271,2326	388844.1728
N <sub>2</sub>	60413,2518	32	2157,6161	15370,3869	33163394,7490
<b>TOTAL</b>					<b>47797293,2118</b>

Jadi total Panas komponen gas hasil pembakaran keluar adalah 47797293,2118 KJ/jam.

### C. PANAS REAKSI

Panas reaksi dihitung menggunakan rumus berikut :

$$Q_{reaksi} = \Delta H_{reaktan} + \Delta H_{298} + \Delta H_{produk}$$

(Sumber : Smith J.M, Van Ness H.C. 1975. "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics")

$$\text{Dimana } \Delta H_{298} = (n \text{ Produk} \times H_{f298} \text{ produk}) - (n \text{ reaktan} \times H_{f298} \text{ reaktan})$$

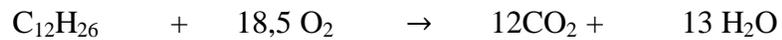
Dimana  $\Delta H_{f298}$  = Entalpi pembentukan standar

Tabel 23. Data Entalpi Pembentukan Standar pada Suhu 298 K

Komponen	Hf°( KJ/kmol )
C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	-29072
O <sub>2</sub>	0
CO <sub>2</sub>	-22479
H <sub>2</sub> O	-13814.0

(Sumber : Perry's Chemical Engineering Handbook, 7th edition, Tabel 2-220)

Terdapat 1 Reaksi dari hasil pembakaran



Tabel 25.  $\Delta H_{298}$  reaktan

Reaktan	n (kmol/jam)	$\Delta H_f^\circ$ (KJ/kmol)	$\Delta H_{298}$ reaktan (KJ/jam) [n x $\Delta H_f^\circ$ ]
C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	25,8353	-29072	-751083,6706
O <sub>2</sub>	2389,7647	0	0
<b>Total</b>			-751083,6706

Tabel 22.  $\Delta H_{298}$  produk

Reaktan	n (kmol/jam)	$\Delta H_f^\circ$ (KJ/kmol)	$\Delta H_{298}$ produk (KJ/jam) [n x $\Delta H_f^\circ$ ]
CO <sub>2</sub>	310,0235	-22479	-33889,2759
H <sub>2</sub> O	335,8588	-13814	-22561,5234
<b>Total</b>			-11608572,5824

a. Menghitung  $\Delta H_{298}$  reaktan dan produk

$$\begin{aligned}\Delta H_{298} &= \Delta H_{298} \text{ produk} - \Delta H_{298} \text{ reaktan} \\ &= (-11608572,5824 - (-751083,6706)) \text{ KJ/jam} \\ &= -10857488,9118 \text{ KJ/jam}\end{aligned}$$

b. Menghitung Cp tiap komponen reaktan

Diketahui suhu reaktan bereaksi.

$$T_{3s} = 629^\circ\text{C} = 902 \text{ K}$$

$$T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$Q = n \cdot C_p \cdot dT = n \int_{T_{3s}}^{T_{\text{ref}}} C_p dT$$

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$$

$$C_p \cdot dT = (A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4) dT$$

$$C_p \cdot dT = \int_{T_{3s}}^{T_{\text{ref}}} \left( AT + \frac{B}{2} T^2 + \frac{C}{3} T^3 + \frac{D}{4} T^4 + \frac{E}{5} T^5 \right)$$

$$\begin{aligned}C_p \cdot dT &= A(T_{\text{ref}} - T_{3s}) + \frac{B}{2} (T_{\text{ref}}^2 - T_{3s}^2) + \frac{C}{3} (T_{\text{ref}}^3 - T_{3s}^3) + \frac{D}{4} (T_{\text{ref}}^4 - T_{3s}^4) \\ &\quad + \frac{E}{5} (T_{\text{ref}}^5 - T_{3s}^5)\end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama diperoleh hasil:

Tabel 23. Data entalpi tiap komponen reaktan

Komponen	A	B	C	D	E
$\text{C}_{12}\text{H}_{26}$	84.486	2.0358	$-5.10 \times 10^{-3}$	$5.22 \times 10^{-6}$	-
$\text{O}_2$	29.526	$-8.90 \times 10^{-3}$	$3.81 \times 10^{-5}$	$-3.26 \times 10^{-8}$	$8.86 \times 10^{-12}$
$\text{N}_2$	29.342	$-3.54 \times 10^{-3}$	$1.01 \times 10^{-4}$	$-4.31 \times 10^{-9}$	$2.59 \times 10^{-13}$

Tabel 24.  $\Delta H$  reaktan

Reaktan	n (kmol/jam)	Cp.dT (KJ/kmol)	$\Delta H$ (KJ/jam) [n x Cp.dT]
$C_{12}H_{26}$	25.8353	-439985,5390	-11367155,8081
$O_2$	501,8506	-19307,0140	-9689236,3407
$N_2$	2157,6161	-18141,6299	-39142673,3396
<b>Total</b>			<b>-60199065,4884</b>

c. Menghitung Cp tiap komponen Gas Hasil Pembakaran/ produk

Diketahui suhu reaktan bereaksi.

$$T_{3s} = 629 \text{ } ^\circ\text{C} = 902 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25 \text{ } ^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$Q = n \cdot Cp \cdot dT = n \int_{T_{ref}}^{T_{3s}} Cp \, dT$$

$$Cp = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$$

$$Cp \cdot dT = (A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4) dT$$

$$Cp \cdot dT = \int_{T_{ref}}^{T_{3s}} \left( AT + \frac{B}{2} T^2 + \frac{C}{3} T^3 + \frac{D}{4} T^4 + \frac{E}{5} T^5 \right)$$

$$Cp \cdot dT = A(T_{3s} - T_{ref}) + \frac{B}{2} (T_{3s}^2 - T_{ref}^2) + \frac{C}{3} (T_{3s}^3 - T_{ref}^3) + \frac{D}{4} (T_{3s}^4 - T_{ref}^4) + \frac{E}{5} (T_{3s}^5 - T_{ref}^5)$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama diperoleh hasil:

Tabel 25. Data entalpi komponen produk

Komponen	A	B	C	D	E
CO <sub>2</sub>	27.437	4.23x10 <sup>-2</sup>	-1.96 <sub>5</sub> x10 <sup>-</sup>	4 x10 <sup>-9</sup>	-2.99 x10 <sup>-13</sup>
H <sub>2</sub> O	33.933	-8.42x10 <sup>-5</sup>	2.99 x10 <sup>-5</sup>	-1.78 x10 <sup>-8</sup>	3.69 x10 <sup>-12</sup>
O <sub>2</sub>	29.526	-8.90x10 <sup>-3</sup>	3.81 x10 <sup>-5</sup>	-3.26 x10 <sup>-8</sup>	8.86 x10 <sup>-12</sup>
N <sub>2</sub>	29.342	-3.54x10 <sup>-3</sup>	1.01 <sub>5</sub> x 10 <sup>-</sup>	-4.31 x10 <sup>-2</sup>	2.59 x10 <sup>-12</sup>

Tabel 26. ΔH produk

Reaktan	n (kmol/jam)	Cp.dT (KJ/kmol)	ΔH(KJ/jam) [n x Cp.dT]
CO <sub>2</sub>	310,0235	27914,9775	8654299,8429
H <sub>2</sub> O	335,8588	25041,5664	8410431,0375
O <sub>2</sub>	23,8976	19307,0140	461392,2067
N <sub>2</sub>	2157,6161	18141,6299	39142673,3396
<b>Total</b>			<b>56668796,4268</b>

d. Menghitung ΔHreaksi

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H_{\text{reaktan}} + \Delta H_{298} + \Delta H_{\text{produk}}$$

$$= (-60199065,4884 + (-10857488,9118) + 56668796,4268)$$

$$= -14387757,9735 \text{ KJ/jam}$$

#### D. PANAS PENDINGINAN

Merupakan panas yang berfungsi untuk mendinginkan gas hasil pembakaran.

$$T_3 = 540 \text{ }^\circ\text{C} = 813 \text{ K}$$

$$T_{3s} = 629 \text{ }^\circ\text{C} = 902 \text{ K}$$

Menghitung Cp tiap komponen Gas Hasil Pembakaran

$$Q = n \cdot C_p \cdot dT = n \int_{T_{3s}}^{T_3} C_p dT$$

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 \quad (\text{Yaws :Table 2-1})$$

$$C_p \cdot dT = (A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4) dT$$

$$C_p \cdot dT = \int_{T_{3s}}^{T_3} \left( AT + \frac{B}{2} T^2 + \frac{C}{3} T^3 + \frac{D}{4} T^4 + \frac{E}{5} T^5 \right)$$

$$C_p \cdot dT = A(T_3 - T_{3s}) + \frac{B}{2} (T_3^2 - T_{3s}^2) + \frac{C}{3} (T_3^3 - T_{3s}^3) + \frac{D}{4} (T_3^4 - T_{3s}^4) + \frac{E}{5} (T_3^5 - T_{3s}^5)$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama diperoleh hasil:

Tabel 27. Data entalpi Komponen Gas Hasil Pembakaran

Komponen	A	B	C	D	E
CO <sub>2</sub>	27.437	4.23x10 <sup>-2</sup>	-1.96 x10 <sup>-5</sup>	4. x10 <sup>-9</sup>	-2.99 x10 <sup>-13</sup>
H <sub>2</sub> O	33.933	-8.42x10 <sup>-5</sup>	2.99 x10 <sup>-5</sup>	-1.78 x10 <sup>-8</sup>	3.69 x10 <sup>-12</sup>
O <sub>2</sub>	29.526	-8.90x10 <sup>-3</sup>	3.81 x10 <sup>-5</sup>	-3.26 x10 <sup>-8</sup>	8.86 x10 <sup>-12</sup>
N <sub>2</sub>	29.342	-3.54x10 <sup>-3</sup>	1.01 x 10 <sup>-5</sup>	-4.31 x10 <sup>-2</sup>	2.59 x10 <sup>-12</sup>

Tabel 28. Data Q out Komponen Gas Hasil Pembakaran

Komponen	Massa (kg/jam)	BM (kg/kmol)	n (kmol/jam)	Cp.dT (KJ/kmol)	Qout(KJ/jam) [n x Cp.dT]
CO <sub>2</sub>	13641,0353	44	310,0235	-4601,1629	-1426468,7626
H <sub>2</sub> O	6045,4588	18	335,8588	-4148,1948	-1393207,8279

O <sub>2</sub>	764,7247	28	23,8976	-3035,7815	-75548,0339
N <sub>2</sub>	60413,2518	32	2157,6161	-2771,2430	-5979278,5906
<b>TOTAL</b>					<b>-8871503,2150</b>

Jadi total Panas komponen gas hasil pendinginan keluar adalah -8871503,2150 KJ/jam.

**Akumulasi = Panas Masuk – Panas Keluar - Panas Reaksi – Panas Pendinginan**

$$0 = (\text{Panas bahan bakar} + \text{Panas udara primer} + \text{Panas udara sekunder}) - (\text{Panas gas hasil pembakaran} + \text{Qloss}) - \text{Panas reaksi} - \text{Panas pendinginan}$$

$$0 = (28444472,1353 \text{ KJ/jam}) - (47797293,2118 \text{ KJ/jam} + \text{Qloss}) - (-14387757,9735 \text{ KJ/jam}) - (-8871503,2150 \text{ KJ/jam})$$

$$0 = (28444472,1353 \text{ KJ/jam}) - (47797293,2118 \text{ KJ/jam} + \text{Qloss}) + (14387757,9735 \text{ KJ/jam}) + (8871503,2150 \text{ KJ/jam})$$

$$(28444472,1353 + 14387757,9735 + 8871503,2150) \text{ KJ/jam} = 47797293,2118 \text{ KJ/jam}$$

$$51703733,3238 \text{ KJ/jam} = 47797293,2118 \text{ KJ/jam} + \text{Qloss}$$

Tabel 29. Neraca Panas Total

Komponen	Q input (KJ/jam)	Q output (KJ/jam)
<b>Q in Bahan Bakar</b>		
C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	549856.2636	
<b>Q in Udara Primer</b>		
O <sub>2</sub>	4309380,8180	
N <sub>2</sub>	15599140.7322	
<b>Q in Udara Sekunder</b>		
O <sub>2</sub>	1156904,0432	

N <sub>2</sub>	4600741,6022	
<b>Q out Gas Hasil Pembakaran</b>		
CO <sub>2</sub>		7227831.0804
H <sub>2</sub> O		7017223.2096
O <sub>2</sub>		388844.1728
N <sub>2</sub>		33163394,7490
<b>Q Panas Reaksi</b>		
C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> +18,5O <sub>2</sub> →12CO <sub>2</sub> +3H <sub>2</sub> O	14387757,9735	
<b>Panas Pendinginan</b>	8871503,2150	
<b>TOTAL</b>	<b>51703733,3238</b>	<b>47797293,2118</b>

➤ Menghitung Q *Loss*

$$\begin{aligned}
 Q \text{ loss} &= (Q \text{ input} - Q \text{ output}) \\
 &= (51703733,3238 - 47797293,2118) \text{ KJ/jam} \\
 &= 3906440,1120 \text{ KJ/jam}
 \end{aligned}$$

➤ Menghitung % Efisiensi Alat

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Efisiensi} &= \left| \frac{Q \text{ in} - Q \text{ loss}}{Q \text{ in}} \right| \times 100\% \\
 &= \left| \frac{51703733,3238 - 3906440,1120}{51703733,3238} \right| \times 100\% \\
 &= 92,44\%
 \end{aligned}$$

**E. Menghitung Efisiensi Thermal Turbin**

Diketahui :

$$m_{\text{udara}} + m_{\text{fuel}} = 103806,2118 \text{ kg/jam}$$

$$Q_{\text{masuk}} = 47797293,2118 \text{ KJ/jam}$$

$$T_1 = 29 \text{ }^\circ\text{C} = 302 \text{ K}$$

$$T_4 = 370 \text{ }^\circ\text{C} = 643 \text{ K}$$

$$C_p \text{ Udara} = 1,005 \text{ KJ/kg}$$

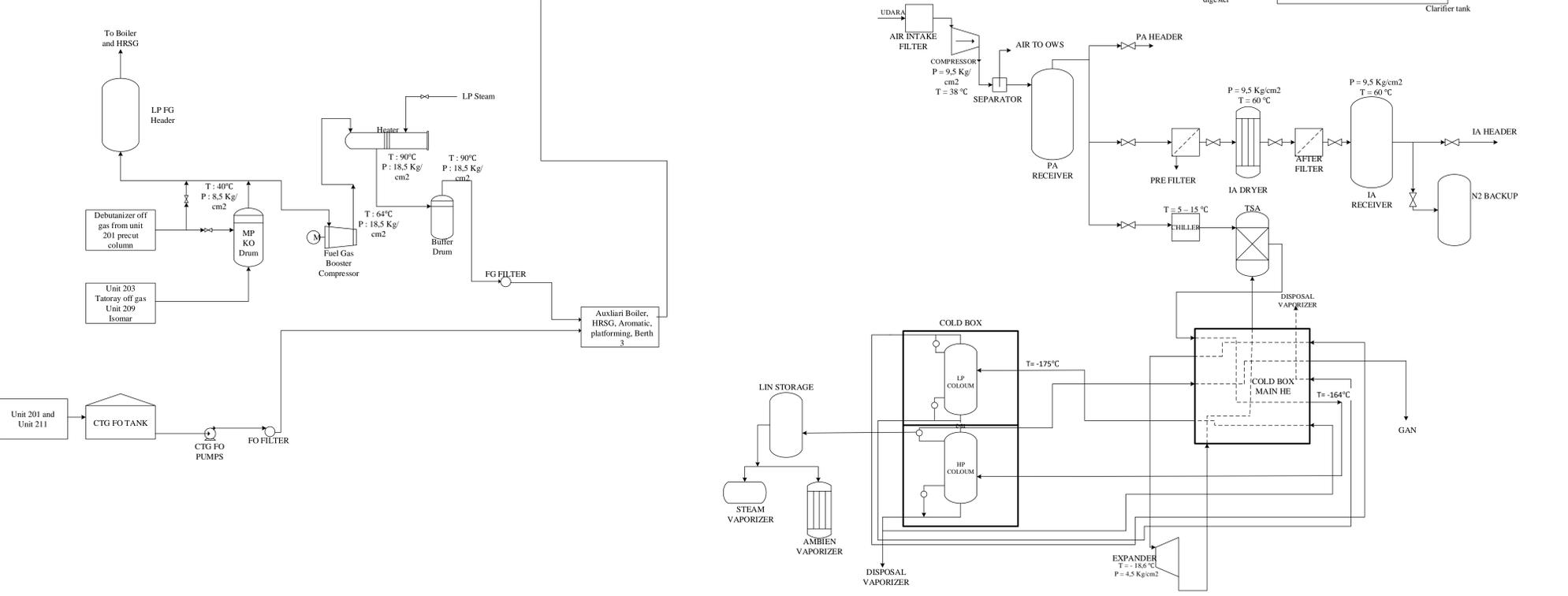
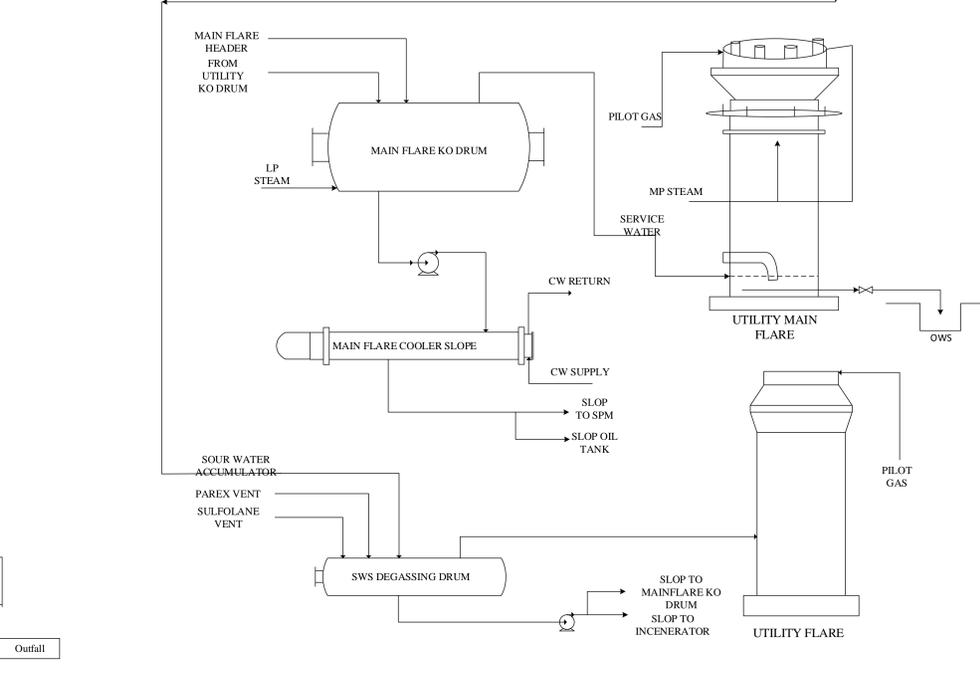
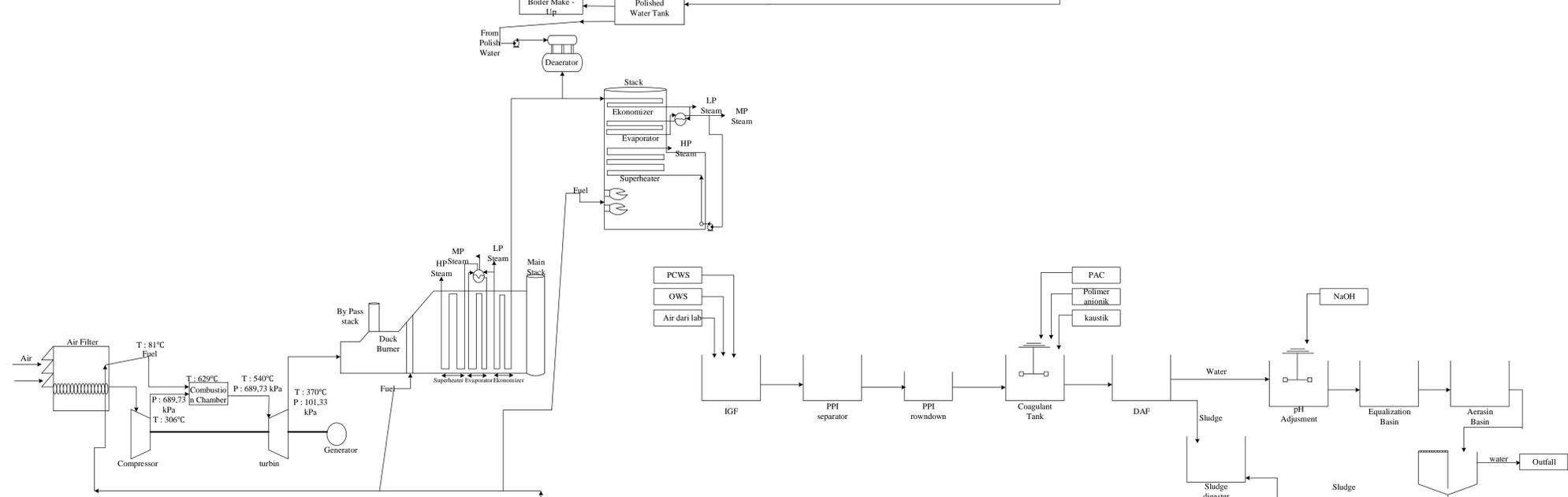
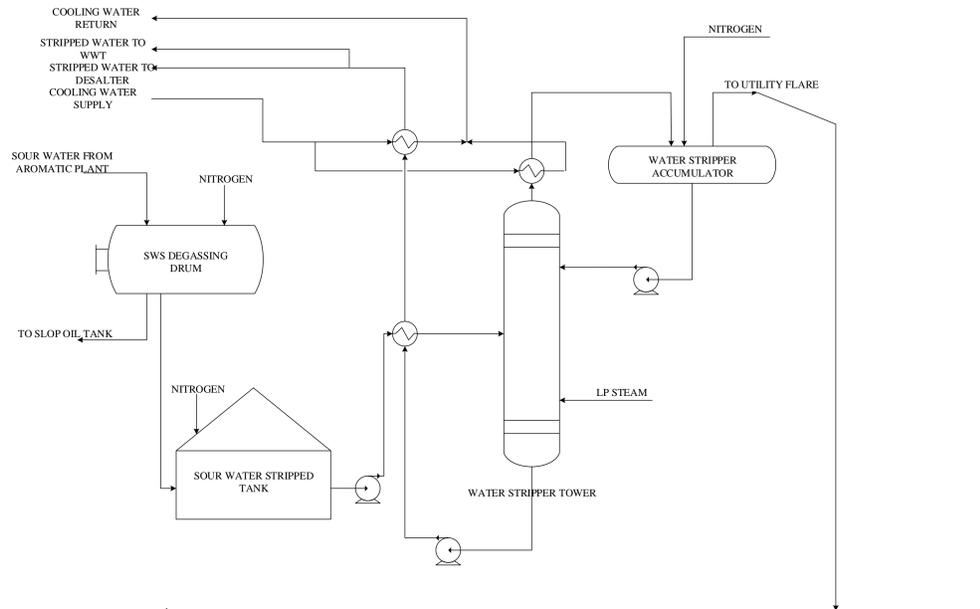
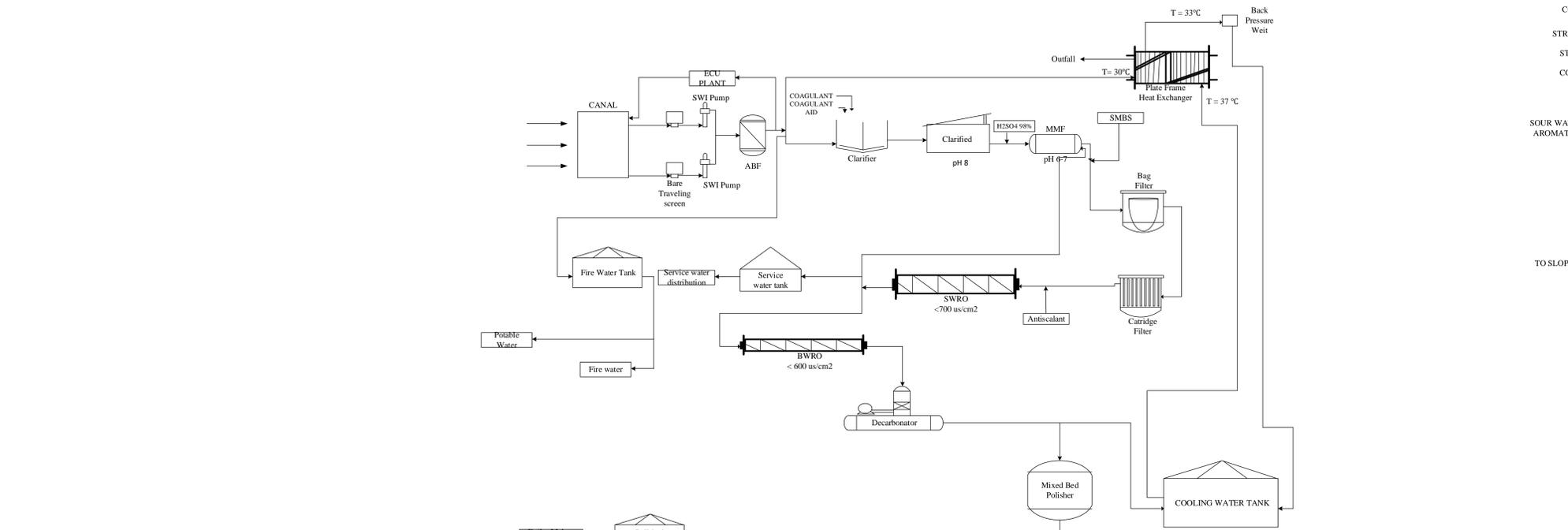
$$\begin{aligned} Q_{\text{keluar}} &= (m_{\text{udara}} + m_{\text{fuel}}) \times C_p \text{ udara} \times (T_4 - T_1) \\ &= 103806,2118 \text{ kg/jam} \times 1,005 \text{ KJ/kg.K} \times (643 \text{ K} - 302 \text{ K}) \\ &= 35574907,8028 \text{ KJ/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{berguna}} &= Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} \\ &= 47797293,2118 \text{ KJ/jam} - 35574907,8028 \text{ KJ/jam} \\ &= 12222385,4090 \text{ KJ/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi thermal} &= \left| \frac{Q_{\text{in}} - Q_{\text{keluar}}}{Q_{\text{in}}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{47797293,2118 - 35574907,8028}{47797293,2118} \right| \times 100\% \\ &= 25,57 \% \end{aligned}$$

## FOTO BERSAMA PEMBIMBING LAPANGAN







**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" YOGYAKARTA**  
 FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI  
 JURUSAN TEKNIK KIMIA  
 PROGRAM STUDI D3 TEKNIK KIMIA

Nama : GALEH RASIYANTI  
 Nim : 021160007

## UTILITY PLANT