



MAGANG INDUSTRI - VM191732

**ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA ALIRAN PIPA
WASTE GAS MENGGUNAKAN SOFTWARE BERBASIS
METODE NUMERIK**

PT SAMATOR GRESIK

SAID ATH-THAARIQ ALATTAS

10211910010073

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2022**



LAPORAN MAGANG INDUSTRI - VM191667

**ANALISA PERPINDAHAN PANAS ALIRAN PADA PIPA WASTE GAS
MENGUNAKAN *SOFTWARE* BERBASIS METODE NUMERIK**

PT SAMATOR GRESIK

Disusun Oleh :

Said Ath-thariq Alattas

NRP. 10211910010073

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2022



LEMBAR PENGESAHAN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI ITS

Laporan Magang di

PT. SAMATOR GRESIK

Jl. Raya Bambe, Sarirejo, Bambe, Kec. Driyorejo, Kabupaten Gresik, Jawa Timur 61177

Surabaya, 16 Agustus 2022

Peserta

Said Ath-thaariq Alattas

NRP. 10211910010073

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Mesin Industri

Fakultas Vokasi ITS

Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.

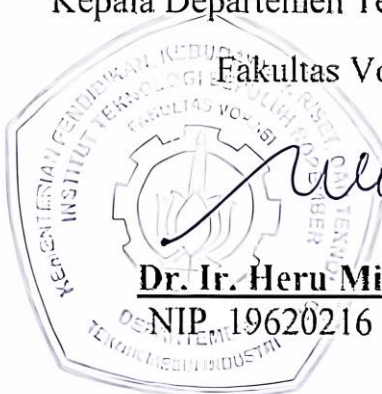
NIP. 19620216 199512 1 001

Menyetujui,

Dosen Pembimbing Magang

M. Lukman Hakim, ST, MT

NIP. 1994201911070





LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Magang di

PT SAMATOR GRESIK

**Jl. Raya Bambe, Sarirejo, Bambe, Kec. Driyorejo, Kabupaten Gresik, Jawa Timur
61177**

Gresik, 31 Juli 2023

Peserta Magang

Said Ath-thaariq Alattas
NRP. 10211910010073

Menyetujui,

Pembimbing Magang
Plant Manager



SAMPURNO

KATA PENGANTAR

Kami panjatkan puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Magang Industri ini. Laporan Magang Industri ini digunakan dalam memenuhi mata kuliah Magang Industri, bertujuan untuk mengetahui penerapan ilmu yang kami dapatkan pada bangku perkuliahan khususnya bidang Teknik Mesin pada industri.

Ucapan terima kasih kami persembahkan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Laporan Magang Industri ini, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T., sebagai Kepala Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi – ITS sekaligus Dosen Pembimbing Magang Industri
2. Ibu Dr. Atria Pradityana, S.T., M.T., sebagai Koordinator Program Studi.
3. Bapak Mashuri, S.Si., M.T., selaku Koordinator Pelaksanaan Magang Industri.
4. Bapak Achmad Hidayat sebagai Pembimbing Lapangan Magang Industri.
5. Bapak Arief, Bapak Yuris, dan Bapak Risman sebagai Forman pada ASP Plant yang telah mendampingi selama Magang Industri.
6. Kedua orang tua yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan.
7. Seluruh karyawan PT. SAMATOR GRESIK
8. Reduktan Janki Dausat selaku teman kelompok Magang Industri, serta teman-teman Warga HMDM ITS.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam menyelesaikan Laporan Magang Industri.

Sadar bahwa Laporan Magang Industri ini masih jauh dari sempurna, dengan kerendahan hati kami mohon kritik dan saran yang sifatnya membangun guna penyempurnaan laporan ini.

Surabaya, Agustus 2022

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Magang.....	1
1.2.1 Tujuan Umum.....	1
1.2.2 Tujuan Khusus.....	1
1.3 Manfaat.....	2
BAB II GAMBARAN UMUM PT. SAMATOR GRESIK	3
2.1 Sejarah PT. Samator Gresik.....	3
2.2 Struktur Organisasi PT. Samator Gresik	4
2.2.2 Departemen Produksi	5
2.2.3 Departemen <i>Maintenance</i>	5
2.2.4 Departemen Distribusi.....	5
2.2.5 Departemen <i>Marketing</i>	6
2.2.6 Departemen Sumber daya Manusia / Personalia	6
2.2.7 Departemen Keuangan dan Akuntansi	6
2.2.8 Departemen Gudang	6
2.2.9 <i>Customer Service</i>	7
2.2.10 Departemen <i>Cryogenic</i>	7
2.2.11 Departemen <i>Quality Control</i>	7
2.2.12 Supervisor <i>ASP</i>	7
2.2.13 Operator <i>ASP</i>	7
2.3 Visi dan Misi PT. SAMATOR Gresik.....	8
2.3.1 Visi.....	8
2.3.2 Misi.....	8
2.4 Kegiatan Produksi.....	8
BAB III PELAKSANAAN MAGANG	11
3.1 Pelaksanaan Magang	11
3.2 Metodologi Penyelesaian Tugas Khusus	15
3.2.1 Survei Lapangan dan Studi Literatur.....	15
3.2.2 Pengambilan Data pada Lapangan	15
3.2.3 Analisis Data.....	15

3.2.4 Menentukan Suhu Temperatur <i>Outlet</i>	15
3.2.5 Membandingkan Hasil Analisis Data dengan Hasil <i>Solver Fluent</i>	15
3.2.6 Diagram Alir Metodologi Penyelesaian Tugas Khusus	16
BAB IV HASIL MAGANG	19
4.1 Uraian Proses Produksi.....	19
4.1.1 Udara	19
4.1.2 Nitrogen.....	19
4.1.3 Oksigen.....	20
4.1.4 Argon.....	21
4.1.5 Filtrasi.....	21
4.1.6 Adsorpsi.....	21
4.1.7 <i>Cooling Water</i>	22
4.1.8 <i>Freon</i>	22
4.1.9 <i>Palladium</i>	22
4.1.10 <i>Hydrogen</i>	22
4.2 ASP Plant.....	23
4.2.1 Spesifikasi Peralatan.....	31
4.3 <i>Acetylene Plant</i>	39
4.3.1 Proses Produksi Gas Acetylene	40
4.4 Hydrogen Plant	40
4.4.1 Proses Produksi Gas Hidrogen dan CO ₂	41
4.4.1.1 Feed Pre - Treatment	41
4.4.1.2 Proses Pembentukan Hidrogen pada Reformer Furnace	41
4.4.1.3 Penurunan Panas dalam <i>Ecominizer</i>	41
4.4.1.4 Pemurnian Hidrogen.....	42
4.5 Pembahasan Tugas Khusus	43
4.5.1 <i>Waste Gas</i>	43
4.5.2 <i>Cooling Tower</i>	44
4.5.3 Perpindahan Panas	45
4.5.4 Konduksi.....	46
4.5.5 Konveksi.....	47
4.5.6 Radiasi	48
4.5.7 Perpindahan Panas Dalam Keadaan Steady State Satu Dimensi.....	49
4.5.8 Perpindahan Panas Konduksi pada Silinder Berongga.....	50
4.5.9 Sistem Tahanan Termal	50
4.5.10 Nusselt Number	52
4.5.11 Reynold Number.....	53
4.5.12 Visualisasi Penambahan Saluran Pipa Waste Gas.....	53
4.5.13 Pipa pada Lapangan	54

4.5.13.1 Saluran <i>Waste gas</i> Regenerasi <i>M.S.A</i>	54
4.5.13.2 Saluran <i>Waste gas Cooling</i>	54
4.6 Analisis Kondisi Lapangan	54
4.6.1 Kecepatan Fluida Kerja <i>Waste Gas</i>	55
4.6.2 Diameter Hidraulik	57
4.6.3 Reynold Number	57
4.6.4 Nusselt Number	57
4.6.5 Koefisien Konveksi	57
4.6.6 Koefisien Pindahkan Panas Menyeluruh	58
4.6.7 Laju Aliran Massa	58
4.6.8 Perhitungan Temperatur Outlet	58
4.7 Analisis <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	60
4.7.1 Fluid Domain	60
4.7.2 <i>Meshing</i>	60
4.7.3 <i>Boundary Conditions</i>	62
4.7.4 <i>Solutions</i>	62
4.7.5 <i>Monitor Residual</i>	62
4.7.6 <i>Processing</i>	62
4.7.7 <i>Post - Processing</i>	63
BAB V PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSATAKA	66
LAMPIRAN	67
Lampiran 1. Surat Permohonan Magang di PT SAMATOR GRESIK	67
Lampiran 2. Surat Penerimaan Magang di PT SAMATOR GRESIK	68
Lampiran 3. Dokumentasi Kegiatan Magang <i>ASP Plant</i> di PT SAMATOR GRESIK ..	69
Lampiran 4. Kegiatan Magang di <i>Asetilin dan Hydrogen Plant</i> PT SAMATOR GRESIK	70
Lampiran 5. Lembar Asistensi Kegiatan Magang di PT SAMATOR GRESIK	71
Lampiran 6. Luaran Rekomendasi	72
Lampiran 7. Curriculum Vitae	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Organisasi PT. Samator Gresik	4
Gambar 2.2 Proses Produksi Oksigen (Anwar, 2015).....	9
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penyelesaian Tugas Khusus.....	17
Gambar 4.1 <i>Monitoring Flowsheet Raw Air</i> (Iskak and A, 2009)	23
Gambar 4.2 Sistem Refrigerasi di <i>Freon Refrigerator Unit</i>	25
Gambar 4.3 (a). <i>Molecular Sieve</i> dan (b). Alumina Gel pada <i>M.S. Adsorber</i> (Adsorbents, 2020).....	26
Gambar 4.4 <i>Centrifugal Compressor 3 Stage</i> Pada ASP Plant (IHI, 2023).....	32
Gambar 4.5 <i>Molecular Sieve Adsorber</i> Pada <i>Acetylene Plant</i>	33
Gambar 4.6 <i>Chamber Reactan</i> Pada <i>Acetylene Plant</i> (Weldtech, 2021)	40
Gambar 4.7 Proses Produksi Gas Hidrogen (Alqarina, 2017).....	43
Gambar 4.8 Komponen – Komponen pada <i>Cooling Tower LBC LN</i>	44
Gambar 4.9 Skematik Perpindahan Panas Pada <i>Cooling Tower</i>	45
Gambar 4.10 Mekanisme Perpindahan Panas secara Konduksi, Konveksi, dan Radiasi....	46
Gambar 4.11 Perpindahan Panas Satu Dimensi secara Konduksi.....	46
Gambar 4.12 <i>Boundary Layer</i> pada Perpindahan Panas Konveksi	48
Gambar 4.13 Mekanisme Perpindahan Panas Konduksi Pada Silinder Berongga.....	50
Gambar 4.14 Visualisasi Saluran Perpipaian <i>Waste-gas</i>	53
Gambar 4.15 Jarak <i>ASP Plant</i> Menuju <i>Cooling Tower</i>	54
Gambar 4.16 2D Skematik Perpipaian Aliran <i>Waste gas</i>	56
Gambar 4.17 Langkah – Langkah Pengujian <i>CFD</i>	60
Gambar 4.18 Geometri Saluran Pipa <i>Wastegas</i>	60
Gambar 4.19 Visualisasi <i>Mesh</i> pada Domain Fluida	61
Gambar 4.20 Nilai Kualitas pada <i>Mesh</i>	61
Gambar 4.21 <i>Quality Spectrum of Mesh</i>	61
Gambar 4.22 Plot Iterasi Perhitungan Temperatur <i>Outlet</i>	63
Gambar 4.23 Distribusi Temperatur pada (a). Pipa <i>Inlet</i> dan (b). Pipa <i>Outlet</i>	63

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Magang (<i>Logbook</i>)	11
Tabel 4.1 Komposisi Udara di atmosfer	19
Tabel 4.2 Kondisi Operasi dalam <i>Air Compressor Unit</i> (15/07/22).....	24
Tabel 4.3 Kondisi Operasi dalam <i>RNC</i>	28
Tabel 4.4 Waktu untuk Regenerasi pada <i>Argon Dryer</i>	31
Tabel 4.5 Kondisi Operasi Pada <i>Main Heat Exchanger</i>	34
Tabel 4.6 Kondisi Operasi Pada Kolom Rektifikasi.....	35
Tabel 4.7 Kondisi Operasi Pada <i>Warm Expansion Turbine</i>	36
Tabel 4.8 Kondisi Operasi Pada <i>Cold Expansion Turbine</i>	36
Tabel 4.9 Kondisi Operasi Pada <i>Recycle Nitrogen Heat Exchanger</i>	37
Tabel 4.10 Kondisi Operasi Pada <i>Recycle Nitrogen Compressor</i>	37
Tabel 4.11 Kondisi Operasi Pada <i>Argon Heat Exchanger</i>	38
Tabel 4.12 <i>Properties</i> Dari <i>Waste gas</i> & Pipa PVC.....	54
Tabel 4.13 Parameter dalam Pengujian Numerik <i>CFD</i>	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pendidikan Vokasi diciptakan berdasarkan suatu konsep ketenagakerjaan yang mengarah pada pelaksanaan pembangunan khususnya melalui industrialisasi. Salah satu tantangan terhadap hasil pendidikan adalah menyiapkan lulusan yang memuaskan bagi pengguna jasa. Oleh karena itu peningkatan kualitas Sumber Daya Manusia merupakan prioritas kunci dalam peningkatan mutu, relevansi maupun efisiensi pendidikan. Menyikapi hal tersebut Departemen Teknik Mesin Industri (DTMI) Fakultas Vokasi ITS menerapkan program keterkaitan & kesepakatan (*Link & Match*), yaitu mengaitkan (*to link*) proses pendidikan dengan dunia kerja dan mengedepankan (*to match*) proses pendidikan dengan kebutuhan tenaga terampil yang sesuai dengan bursa ketenagakerjaan.

Berdasarkan hal tersebut, kami sebagai mahasiswa Teknik Mesin Industri ITS memilih PT. Samator Gresik sebagai tempat pelaksanaan kerja praktik atau magang industri dengan pertimbangan PT. Samator Gresik memiliki kualitas manajemen operasional yang baik sehingga dapat memberikan kami lebih banyak pengetahuan yang sesuai dengan bidang teknik mesin, terutama teknologi rekayasa konversi energi.

1.2 Tujuan Magang

1.2.1 Tujuan Umum

Tujuan umum dilakukannya magang industri untuk:

1. Agar mahasiswa memiliki internalisasi sikap professional dan budaya kerja yang sesuai serta diperlukan bagi IDUKA
2. Agar mahasiswa memiliki pengetahuan yang belum/tidak dipelajari dalam proses perkuliahan di kampus
3. Agar mahasiswa memperoleh keterampilan khusus/keahlian kerja dan/atau pengetahuan, ketrampilan umum
4. Agar mahasiswa mempunyai gambaran nyata mengenai lingkungan kerjanya, mulai dari tingkat bawah sampai dengan tingkat yang lebih tinggi
5. Agar kehadiran mahasiswa peserta magang diharapkan dapat memberikan manfaat dan wawasan baru bagi dirinya serta instansi tempat melaksanakan Magang
6. Pada mahasiswa yang sudah mengenal lingkungan kerja akan memberikan keuntungan sekaligus sebagai bekal dalam memasuki dunia kerja dan karirnya

1.2.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus dilakukan magang industri untuk:

1. Mengenali lingkungan pabrik serta proses produksi gas
2. Mempelajari system kerja *Plant ASP (Air Separation Plant)* dalam memproduksi *Liquid Oxygen*, Gas Nitrogen, *Liquid Nitrogen* dan Gas Argon
3. Mempelajari sistem kerja *Plant Asetilena* dalam memproduksi Gas Asetilena

4. Mempelajari sistem kerja Plant Hidrogen dalam memproduksi Gas Hidrogen, *Liquid CO₂* dan *Dry ice (CO₂ Padat)*
5. Memberikan hasil analisa perpindahan panas pada saluran pipa *waste gas* sebagai media pendingin pada *Cooling Tower*

1.3 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari magang industri ini antara lain:

1. Dapat mengenali lingkungan pabrik serta serangkaian proses produksi gas pada PT. Samator Gresik
2. Dapat memahami system kerja Plant ASP (*Air Separation Plant*) dalam memproduksi *Liquid Oxygen*, *Gas Nitrogen*, *Liquid Nitrogen* dan *Gas Argon*
3. Dapat memahami system kerja Plant Asetilena dalam memproduksi Gas Asetilena
4. Dapat memahami sistem kerja *Plant H₂*, dalam memproduksi Gas Hidrogen, *Liquid CO₂* dan *Dry ice (CO₂ Padat)*
5. Munculnya hasil analisa perpindahan panas pada saluran pipa *waste gas* sebagai media pendingin *Cooling Tower*

BAB II GAMBARAN UMUM PT. SAMATOR GRESIK

2.1 Sejarah PT. Samator Gresik

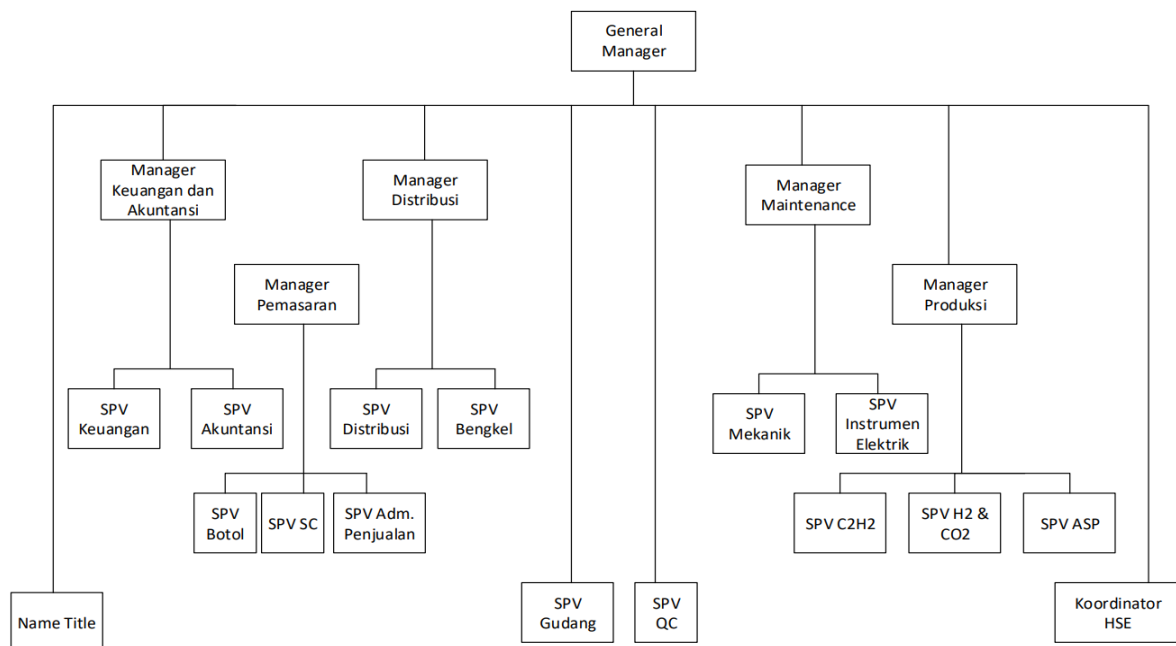
PT. Samator adalah suatu perusahaan yang didirikan oleh pengusaha nasional bernama Arief Harsono pada tahun 1975. PT. samator Gas Industri berlokasi di desa Bambe, kecamatan Driyorejo, Kabupaten Gresik dengan luas lahan 7,2 hektar. Kondisi ekonomi Indonesia pada tahun 1975 sangat mendukung pertumbuhan sektor perindustrian dibidang gas. Perusahaan ini mula – mula hanya memiliki unit produksi *Acetylene* yang memproduksi gas asetilen dengan *wet process system* dengan bahan baku karbit (CaC_2) yang diperoleh dari PT Emdeki Utama. Total kapasitas produksi 50 kg/jam. Produksi gas *acetylene* secara umum digunakan untuk pengelasan. Seiring dengan peningkatan permintaan terhadap bermacam – macam gas untuk keperluan industri di Indonesia, PT Samator Gas Industri berusaha melakukan ekspansi dengan meningkatkan kapasitas produksi asetilen dan mendirikan pabrik gas industri yang lain seperti oksigen, nitrogen, argon, hydrogen, dan karbon dioksida. Selanjutnya unit produksi kedua yang didirikan adalah unit *Liquid Oxygen Nitrogen Argon I* disingkat *LONA I*. Unit ini didirikan pada tahun 1985 untuk memproduksi oksigen, nitrogen, dan argon baik dalam bentuk liquid maupun gas dengan bahan baku udara. Proses yang digunakan adalah *Low Pressure Air Separation Process (Centrifugal Compressor)* dengan total kapasitas 750 kg/jam. Berikutnya unit *Liquid Oxigen Nitrogen Argon II (LONA II)* didirikan pada tahun 1990. Unit ini beroperasi dengan kapasitas total produksi 1273 kg/jam. Jenis proses yang digunakan adalah *High Pressure Air Separation Process (Piston Compressor)*. Namun setelah beberapa bulan beroperasi, unit *LONA II* diberhentikan karena biaya listrik yang digunakan untuk menjalankan mesin di unit *LONA II* lebih besar daripada penjualan produknya. Untuk mempermudah distribusi, PT. Samator Gas Industri mendirikan stasiun- stasiun pengisian (*filling station*) gas industri di 17 kota di Indonesia, yaitu Bekasi, Bandung, Cilegon, Cirebon, Karawang, Jakarta, Surakarta, Semarang, Kudus, Yogyakarta, Gresik, Sidoarjo, Kediri, Malang, Tuban, Probolinggo, dan Denpasar. Unit produksi berikutnya yang didirikan pada tahun 1992 adalah unit *Acetyline II* dengan total kapasitas produksi 200 kg/jam. Jenis proses yang digunakan sama dengan unit *Acetyline I* yaitu *Wet Process System*. Kemudian pada tahun 1993 PT. samator Gas Industri memproduksi *Mixed Gas*. Pada tahun 1997, PT. Samator gas Industri menambah satu unit produksi lagi, yaitu *Liquid Oxygen Nitrogen Argon III (LONA III)*. Jenis proses yang digunakan sama dengan LONA I, yaitu *Low Pressure Separation Process*. Sampai saat ini PT. Samator Gresik memproduksi bermacam-macam gas dan produk yang dipasarkan diantaranya:

1. Gas dan Liquid N_2
2. Gas dan Liquid O_2
3. Gas Argon
4. Gas Asetilena
5. Oxycan (Oxygen pada botol kecil)
6. Gas H_2
7. Liquid CO_2
8. *Dry ice* (CO_2 padat)
9. *Mixed Gas*

Pada tahun yang sama 1992 juga didirikan unit gas Hidrogen dan CO₂ cair pada bulan agustus dengan kapasitas produksi masing – masing 1000 kg/jam dan 500 kg/ jam. Atas usahanya dalam meningkatkan kualitas produksi secara terus menerus, PT Samator Gas Industri berhasil meraih sertifikat ISO 9001:2000 sejak tanggal 14 september 1997. PT. Samator telah menjadi salah satu pemain industri gas terbesar di Indonesia, proses untuk menjadi pemain gas industri terbesar di Indonesia, tidak hanya berhenti sampai di sini. Pada tahun 2004, PT Samator berhasil mengakuisisi PT. Aneka Gas Industri yang sebelumnya dimiliki oleh perusahaan dari German.

2.2 Struktur Organisasi PT. Samator Gresik

Struktur organisasi bagi suatu perusahaan sangatlah penting karena struktur organisasi merupakan suatu tugas guna mencapai suatu tujuan tertentu, yaitu suatu cara untuk mengatur manusia dengan tempat, jabatan maupun kecakapannya sehingga tugas dan tanggung jawab masing-masing bagian menjadi jelas. Struktur organisasi PT. Samator seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 ini dapat membantu perusahaan dalam mencapai sasaran perusahaan, karena itu ada beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain adalah adanya pembagian tugas yang jelas dalam hierarki organisasi perusahaan mulai dari tingkat pimpinan tertinggi sampai dengan yang terendah, adanya pelimpahan wewenang secara nyata pada bawahan untuk memberikan dorongan kerja dan tanggung jawab atas wewenang yang dilimpahkan kepadanya. Struktur organisasi yang dimiliki PT. Samator adalah berbentuk lini dan staf. fungsi-fungsi lini adalah fungsi yang bertanggung jawab langsung atas tercapainya tujuan-tujuan perusahaan, dan fungsi staf mengacu pada unsure-unsur organisasi yang membantu agar lini bekerja secara efektif untuk mencapai tujuantujuan utama perusahaan. Bila dilihat dari struktur organisasi perusahaan dapat dikatakan bahwa bentuk struktur organisasi PT. Samator cukup memadai dan memiliki kekuatan yang lebih besar dibanding dengan kelemahan yang dimiliki.



Gambar 2.1 Struktur Organisasi PT. Samator Gresik
(Sumber: Arsip PT. Samator Gas Industri)

2.2.2 Departemen Produksi

Tugas dari departemen produksi adalah sebagai berikut:

- a. Membuat rencana produksi berdasarkan data dari departemen pemasaran
- b. Memantau pelaksanaan produksi agar sesuai dengan rencana dan jadwal pengiriman
- c. Mengendalikan persediaan dan pemakaian bahan baku maupun bahan penunjang
- d. Mengendalikan seluruh proses produksi (unit *ASP*, unit hidrogen dan karbon dioksida, serta unit asetilen) agar mencapai sasaran produksi mutu, waktu, biaya, dan jumlah yang telah direncanakan
- e. Mengkoordinasi bon permintaan dan bagian-bagian produksi maupun non-produksi untuk barang-barang yang terkait langsung dengan produksi
- f. Merencanakan *overhaul* mayor atau minor pada mesin-mesin produksi
- g. Melakukan pengendalian terhadap parameter proses dan uji coba produksi
- h. Mengadakan perbaikan produksi yang berkaitan dengan produk yang tidak sesuai dengan standar

2.2.3 Departemen *Maintenance*

Tugas departemen *maintenance* adalah sebagai berikut:

- a. Merencanakan, melaksanakan, dan mengendalikan kegiatan pemeliharaan atas semua fasilitas produksi utama dan sekunder untuk mendukung kegiatan produksi dan operasi seluruh kegiatan perusahaan dalam mencapai sasaran yang direncanakan
- b. Membuat daftar mesin atau fasilitas penunjang yang perlu diperbaiki

2.2.4 Departemen Distribusi

Tugas departemen distribusi adalah sebagai berikut:

- a. Mengatur jadwal distribusi dan pengiriman
- b. Memonitor seluruh kegiatan distribusi baik langsung maupun tidak langsung
- c. Mengoptimalkan pengiriman
- d. Mengendalikan semua armada serta asset wadah yang digunakan
- e. Merencanakan, melaksanakan, dan mengendalikan perawatan rutin secara langsung untuk semua asset perusahaan yang berada di pelanggan, serta terus memberikan pembinaan dalam hal instruksi kerja dan masalah K3 (Kesehatan dan Keselamatan Kerja)
- f. Membuat jadwal perawatan rutin dan *training*
- g. Menangani keluhan pelanggan bersama – sama dengan bagian *Quality Control* dan bagian lain yang terkait
- h. Mendokumentasikan perawatan untuk pelanggan dalam *Customer History Card*

2.2.5 Departemen *Marketing*

Tugas dari departemen ini adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan komunikasi dengan seluruh bagian proses dan bekerja sama dengan produksi guna memastikan tercapainya sasaran pengiriman order penjualan
- b. Memastikan tercapainya sasaran penjualan
- c. Mempertanggung jawabkan penempatan asset perusahaan di pelanggan serta pembelian asset baru yang berhubungan dengan pasokan produk
- d. Merencanakan perkembangan bisnis
- e. Melakukan komunikasi dengan pelanggan dan calon pelanggan
- f. Menyiapkan penawaran maupun kontrak penjualan
- g. Melakukan survey kepuasan pelanggan
- h. Merencanakan pembelian barang dagangan
- i. Mengelola *database* calon pelanggan
- j. Melakukan *prospecting* terhadap pelanggan baru

2.2.6 Departemen Sumber daya Manusia / Personalia

Tugas dari departemen ini adalah sebagai berikut:

- a. Merencanakan, melaksanakan, dan mengendalikan fungsi pengelola serta pengembangan SDM yang mencakup fungsi seleksi dan penerimaan tenaga kerja, penempatan, pelatihan, dan pengukuran kinerja karyawan
- b. Merencanakan dan melakukan kegiatan pembinaan, pelatihan pendidikan karyawan agar memiliki kompetensi yang diperlukan untuk mendukung perusahaan dalam kegiatan bisnis pada semua operasi yang diperlukan
- c. Mengangkat karyawan yang telah lulus masa percobaan
- d. Menyediakan *job description*

2.2.7 Departemen Keuangan dan Akuntansi

Tugas dari departemen ini adalah sebagai berikut:

- a. Merencanakan, melaksanakan, dan mengendalikan fungsi bagian akuntansi dan keuangan agar senantiasa sesuai dengan kebijakan direksi
- b. Melakukan administrasi penagihan kepada pelanggan dan pembayaran pemasok serta menangani perpajakan
- c. Membuat laporan keuangan.

2.2.8 Departemen Gudang

Tugas dari departemen ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengelola penyimpanan bahan baku, bahan penunjang, produk jadi atau produk akhir, semua barang persediaan dan suku cadang yang disimpan dalam gudang
- b. Memastikan kesesuaian dalam penerimaan selama penyimpanan, saat pengambilan, pengiriman sampai pemakaian oleh pemakai,
- c. Memeriksa barang datang, menata barang di gudang, memberi identitas, menyimpan barang, mengendalikannya pengeluaran barang, dan mendata barang,
- d. Bekerja sama dengan departemen *quality control* dalam penanganan barang yang tidak sesuai.

2.2.9 Customer Service

Tugas dari departemen *customer service* adalah sebagai berikut:

- a. Merencanakan, melaksanakan, dan mengendalikan perawatan rutin secara langsung untuk semua aset perusahaan yang berbeda di pelanggan, serta terus memberikan penanganan dalam hal instruksi kerja dan masalah K-3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja)
- b. Menangani keluhan pelanggan bersama dengan departemen *Quality Control*
- c. Membuat jadwal perawatan rutin dan *training*
- d. Mendokumentasikan perawatan untuk pelanggan dalam *Customer History Card*

2.2.10 Departemen Cryogenic

Tugas dari departemen *Cryogenic* adalah sebagai berikut:

- a. Menerjemahkan ide produk dan desain serta rancang bangun instalasi dari setiap unit produksi
- b. Melakukan verifikasi terhadap spesifikasi dan jumlah instalasi dari semua material yang digunakan
- c. Melakukan rekondisi terhadap instalasi baik internal maupun eksternal yang sudah atau belum rusak guna memenuhi persyaratan mutu serta Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K-3)
- d. Mempersiapkan barang dan peralatan yang dibutuhkan untuk pengerjaan instalasi
- e. Mempersiapkan dokumen pendukung yang dibutuhkan untuk pengadaan atau proses pembelian

2.2.11 Departemen Quality Control

Tugas dari departemen *Quality Control* adalah sebagai berikut:

- a. Membuat sistem mutu untuk menjamin agar bahan baku, bahan penunjang, produk jadi dari produsen lain yang digunakan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI), hasil produk keluar dan produk dalam proses produksi terpenuhi dan sesuai dengan persyaratan mutu yang telah ditetapkan
- b. Mengerakkan kegiatan perbaikan mutu secara terus-menerus dan menciptakan budaya mutu melalui kegiatan pelatihan (*training*) dalam kelompok
- c. Menangani keluhan pelanggan bersama dengan *Customer Service* serta bagian lain yang terkait
- d. Melakukan percobaan atau validasi mutu produk
- e. Mengkalibrasi alat ukur yang berhubungan dengan mutu produk

2.2.12 Supervisor ASP

Bertanggung jawab kepada departemen produksi dalam pembuatan Oksigen, Nitrogen, dan Argon dalam bentuk gas maupun cair di Unit ASP.

2.2.13 Operator ASP

Tugas dari operator di Unit ASP adalah mengatur dan mengendalikan proses untuk mencapai kondisi yang telah ditetapkan dalam instruksi kerja, mengamati

data yang tertera di indikator-indikator yang ada di ruang panel, *control room*, *cold box*, dan melakukan pencatatan dalam *log sheet ASP* secara periodic setiap 1 jam sekali.

2.3 Visi dan Misi PT. SAMATOR Gresik

2.3.1 Visi

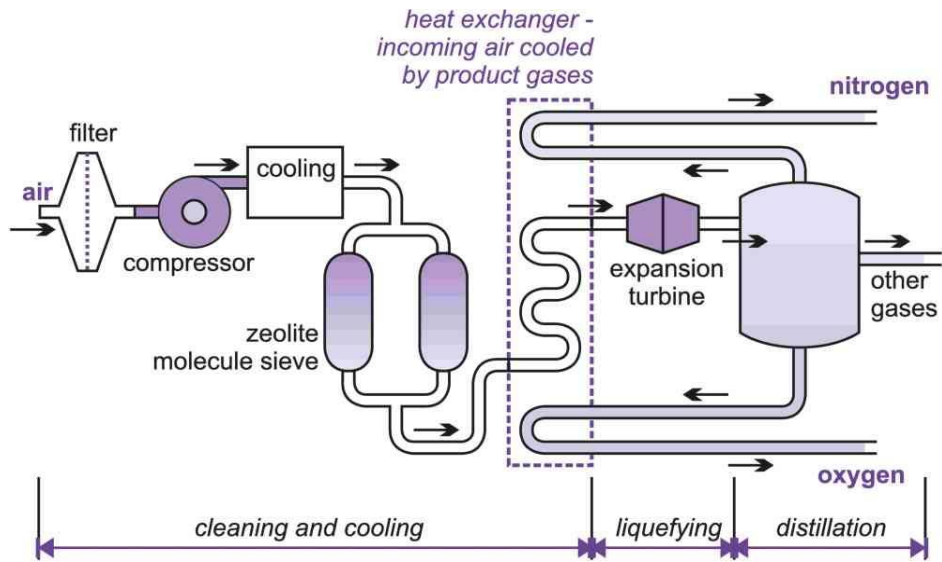
Menjadi perusahaan gas industri bereputasi tinggi yang selalu berkembang melalui inovasi tanpa henti dan memiliki jejaring terluas di Indonesia.

2.3.2 Misi

1. Menjamin dan memenuhi kebutuhan serta keinginan para pihak terkait, yaitu pelanggan, pemegang saham, karyawan dan pemasok
2. Menerapkan sistem manajemen mutu secara efektif dalam segala aspek kegiatan perusahaan guna meningkatkan mutu dan pelayanan
3. Meningkatkan kinerja, kompetensi dan kualitas karyawan secara berkesinambungan guna menunjang pengembangan perusahaan
4. Memperluas jaringan usaha dalam rangka meningkatkan pelayanan
5. Mengikuti perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi guna mendukung pelayanan dan pengembangan usaha

2.4 Kegiatan Produksi

PT. Samator Gresik Unit *ASP* merupakan perusahaan penghasil gas industri yang menggunakan gas udara dari lingkungan sebagai bahan bakunya. Di dalam udara bebas terdapat 3 komponen penyusun utama, yaitu Oksigen, Nitrogen, dan Argon. Ketiga komponen tersebut akan di pisahkan berdasarkan titik leburnya. Seperti yang ditunjukkan gambar 2.2, udara bebas dari lingkungan akan didinginkan hingga mencapai titik lebur dari masing-masing komponen penyusunnya sehingga terjadi perubahan fasa dari gas menjadi cair. Udara akan dihisap dari lingkungan oleh *Air Compressor* kemudian masuk *Refrigeran Unit* untuk diturunkan suhunya. Setelah itu masuk ke *MS. Adsorber* untuk menurunkan kandungan H_2O dan CO_2 . kemudian gas udara masuk ke *Main Heat Exchanger* untuk menurunkan suhu gas udara. Dari *Main Heat Exchanger* gas udara akan menuju ke kolom pemisahan (*cold box*). Didalam *cold box* inilah udara akan dipisahkan berdasarkan titik lebur tiap komponennya. Produk yang keluar dari *cold box* memiliki fasa *liquid* dan disimpan dalam *storage tank* dahulu sebelum didistribusikan. Sebagian besar kerja yang digunakan untuk mendinginkan dan mengembunkan gas udara berasal dari *Nitrogen Circulating Facilities* yang didalamnya terdapat peralatan utama, yaitu *Recycle Nitrogen Compressor*, *Cold Expander Turbin*, dan *Warm Expander Turbin*. Total kapasitas gas industri yang diproduksi oleh PT. Samator Gresik pada kondisi *Max. LiN (Liquid Nitrogen)* yaitu Oksigen $1430 \text{ m}^3/\text{h}$, Nitrogen $1815 \text{ m}^3/\text{h}$, dan Argon $47 \text{ m}^3/\text{h}$.



Gambar 2.2 Proses Produksi Oksigen
(Sumber: Anwar, 2015)

(Halaman Sengaja dikosongkan)

BAB III
PELAKSANAAN MAGANG

3.1 Pelaksanaan Magang

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Magang (*Logbook*)

No.	Pelaksanaan (Minggu 1)	Durasi (jam)	Aktivitas	Lokasi
1.	11/04/2022	8	Pengenalan Lingkungan terkait sistem pelaksanaan Magang Industri dan terkait K3 pada PT. Samator	PT. Samator
2.	12/04/2022	8	Pengenalan mengenai mesin-mesin/alat yang digunakan pada proses ASP	<i>Control Room ASP</i>
3.	13/04/2022	8	Mengamati proses perawatan pompa air bak CWS	<i>Control Room ASP</i>
4.	14/04/2022	8	Belajar Mandiri	<i>Control Room ASP</i>
5.	15/04/2022	8	Libur Kenaikan Isa Almasih	
6.	16/04/2022	5	Belajar Mandiri	<i>Plant ASP</i>
7.	18/04/2022	8	Pengenalan detail mesin/alat yang digunakan pada proses pembuatan liquid Argon	<i>Control Room ASP</i>
8.	19/04/2022	8	Mempelajari proses pengisian <i>liquid argon</i> pada isotank	<i>Control room ASP</i>
9.	20/04/2022 - 27/04/2022	-	Izin pelaksanaan Ibadah Umroh	-
10.	28/04/2022 - 07/05/2022	-	Cuti bersama Hari Raya Idul Fitri 1443 H	-
11.	09/05/2022	8	Pengenalan detail mengenai mesin/alat yang digunakan pada proses pembuatan <i>Liquid Oksigen</i>	<i>Control Room ASP</i>
12.	10/05/2022	8	Belajar Mandiri	<i>Control room ASP</i>
13.	11/05/2022	8	Observasi mesin dan alat yang terdapat pada <i>ASP Plant</i>	<i>ASP Plant</i>
14.	12/05/2022	8	Pengenalan detail mesin/alat yang digunakan pada proses pembuatan <i>Liquid Nitrogen</i>	<i>ASP Plant</i>
15.	13/05/2022	8	Pengenalan Yokogawa <i>Plant ASP software</i>	<i>Control Room ASP</i>
16.	14/05/2022	5	Pengambilan data <i>monitoring</i>	<i>ASP Plant</i>

17.	16/05/2022	8	Libur Nasional Hari raya waisak	<i>Control Room ASP</i>
18.	17/05/2022	8	Pemahaman <i>P&ID</i> produksi Oksigen dan survei lapangan	<i>ASP Plant</i>
19.	18/05/2022	8	<i>Troubleshooting Secondary liquid oxygen delivery pump</i>	<i>ASP Plant</i>
20.	19/05/2022	8	Pemahaman <i>P&ID</i> produksi Argon dan survei lapangan	<i>ASP Plant</i>
21.	20/05/2022	8	Survei lapangan insulasi saluran pipa	<i>ASP Plant</i>
22.	21/05/2022	5	Belajar mandiri	<i>Control room ASP</i>
23.	23/05/2022	8	Penggantian kasa pada filter box	Lokasi <i>air filter ASP</i>
24.	24/05/2022	8	Bersama operator <i>ASP</i> melakukan observasi komponen <i>cold box</i> pada unit <i>ASP</i>	<i>ASP Plant</i>
25.	25/05/2022	8	Mempelajari lebih lanjut tentang proses pada <i>M.S. Adsorber</i>	<i>ASP Plant</i>
26.	26/05/2022	8	<i>Monitoring</i> kondisi kerja (temperatur, tekanan, level) pada <i>plant ASP</i>	<i>ASP Plant</i>
27.	27/05/2022	8	Pembahasan Operasional <i>maintenance air compressor</i>	<i>Control room ASP</i>
28.	28/05/2022	8	Pemahaman <i>P&ID</i> produksi Nitrogen dan survei lapangan	<i>Control room ASP</i>
29.	30/05/2022	8	Penggantian kasa pada filter box	Lokasi <i>air filter ASP</i>
30.	31/05/2022	8	Belajar mandiri	-
31.	01/06/2022	8	Mempelajari cara <i>priming</i> pompa <i>liquid oxygen</i>	<i>ASP Plant</i>
32.	02/06/2022	8	Belajar di Plant <i>Acetylene</i>	Plant <i>Acetylene</i>
33.	03/06/2022	8	Mempelajari dasar-dasar produksi pada plant <i>Acetylene</i>	Plant <i>Acetylena</i>
34.	04/06/2022	6	Mempelajari aturan pengisian gas pada tabung gas <i>Acetylene</i>	Plant <i>Acetylena</i>
35.	06/06/2022	8	Mempelajari instalasi komponen plant <i>Acetylene</i>	Plant <i>Acetylena</i>
36.	07/06/2022	8	Belajar Mandiri	Plant <i>Acetylena</i>
37.	08/06/2022	8	Mempelajari komponen – komponen kerja pada plant	Plant <i>Acetylena</i>
38.	09/06/2022	8	Mempelajari prosedur kerja	Plant <i>Acetylena</i>

39.	10/06/2022	8	Diskusi dengan <i>operator reactor</i> , pengisian tabung <i>High Purity</i>	Plant <i>Acetylena</i>
40.	11/06/2022	6	Survey lapangan pengkondisian limbah	Plant <i>Acetylena</i>
41.	13/06/2022	8	Mengikuti Ujian Akhir Semester yang di adakan Offline di kampus	Institu Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
42.	14/06/2022	8	Mengikuti Ujian Akhir Semester yang di adakan Offline di kampus	Institu Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
43.	15/06/2022	8	Belajar mandiri	Plant <i>Acetylena</i>
44.	16/06/2022	8	Belajar mandiri	<i>Control room ASP</i>
45.	17/06/2022	8	Menghitung Heat rate dan Heat Flux pipa	<i>Control room ASP</i>
46.	18/06/2022	6	Menghitung mass flow rate instalasi pipa	<i>Control Room ASP</i>
47.	20/06/2022	8	Survey lapangan instalasi pipa waste gas	<i>ASP Plant</i>
48.	21/06/2022	8	Mempelajari lebih lanjut proses kerja dan komponen pada Refrigerant Unit	<i>ASP Plant</i>
49.	22/06/2022	8	Survey lapangan komponen kerja heat exchanger	<i>ASP Plant, SFG Plant</i>
50.	23/06/2022	8	Monitoring kondisi kerja (temperature, tekanan, level) pada <i>plant ASP</i>	<i>ASP Plant</i>
51.	24/06/2022	8	Mempelajari proses <i>filling</i> pada unit <i>oxycan</i>	<i>Unit Oxycan</i>
52.	25/06/2022	6	Belajar Mandiri	<i>Control Room ASP</i>
53.	27/06/2022	8	Mempelajari proses-poses <i>maintenance</i> bidang mekanik	<i>Plant SFG</i>
54.	28/06/2022	8	Pengenalan RCM (reliability centered maintenance)	<i>Plant SFG</i>
55.	29/06/2022	8	Mempelajari proses <i>filling</i> pada unit <i>oxycan</i> mekanisme penguncian botol	<i>Unit Oxycan</i>
56.	30/06/2022	8	Pengerjaan Tugas Khusus	<i>Control room ASP</i>
57.	01/07/2022	8	Izin	-
58.	02/07/2022	6	Belajar Mandiri	<i>Control Room ASP</i>
59.	03/07/2022	8	Pengenalan lingkup kerja PT. Arohera	PT. Arohera Samator

60.	04/07/2022	8	Mempelajari cara <i>priming</i> pompa	Bak CWS
61.	05/07/2022	8	Pengerjaan Tugas Khusus	<i>Control room ASP</i>
62.	06/07/2022	8	Pengerjaan Tugas Khusus	<i>Control room ASP</i>
63.	07/07/2022	8	Diskusi tugas khusus bersama operator ASP	<i>Control room ASP</i>
64.	08/07/2022	6	Belajar Mandiri	<i>Control Room ASP</i>
65.	09/07/2022 - 12/07/2022	6 - 8	Mempelajari proses produksi gas hidrogen	<i>Hydrogen Plant</i>
66.	13/07/2022	8	Mempelajari proses produksi gas CO ₂	<i>Hydrogen Plant</i>
67.	14/07/2022	8	Survei lapangan pengecekan <i>Reformer plant</i>	<i>Hydrogen Plant</i>
68.	15/07/2022	8	Pemahaman prosedur kerja, K3, <i>starting plant</i>	<i>Hydrogen Plant</i>
69.	16/07/2022 - 19/07/2022	6-8	Belajar mandiri	
70.	20/07/2022	8	Survey lapangan analisis kerusakan pada <i>Reformer</i>	<i>Hydrogen Plant</i>
71.	21/07/2022	8	Memahami proses pembuatan CO ₂ padat	<i>Hydrogen Plant</i>
72.	22/07/2022 - 23/07/2022	6 - 8	Penulisan laporan proses produksi gas Hidrogen dan CO ₂	<i>Control Room ASP</i>
73.	25/07/2022	8	Pengerjaan tugas khusus	<i>Control Room ASP</i>
74.	26/07/2022 - 29/07/2022	8	Penulisan laporan proses produksi gas <i>Acetylene</i>	<i>Plant Acetylene</i>
75.	30/07/2022	6	Belajar mandiri	<i>Control Room ASP</i>
76.	01/08/2022	8	Mempelajari sistem kerja sirkulasi air pendingin	<i>ASP Plant</i>
77.	02/08/2022 - 06/08/2022	6 - 8	Pengerjaan tugas khusus, diskusi, <i>brainstorming</i> saluran pipa <i>waste gas</i>	<i>ASP Plant</i>
78.	08/08/2022	8	Asistensi tugas khusus	<i>SFG Plant</i>
79.	09/08/2022 - 10/08/2022	8	Pengerjaan tugas khusus	<i>Control Room ASP</i>
80.	11/08/2022	8	Presentasi magang	PT. Samator

3.2 Metodologi Penyelesaian Tugas Khusus

3.2.1 Survei Lapangan dan Studi Literatur

Survei lapangan di PT. Samator Gresik dilakukan untuk menemukan permasalahan dan bisa dilanjutkan dengan menentukan topik pembahasan tugas. Setelah dilakukan survei lapangan, selanjutnya adalah studi literatur terkait dengan hasil survei lapangan yang telah dilakukan.

3.2.2 Pengambilan Data pada Lapangan

Setelah studi literatur, maka sudah ditemukan data apa saja yang diperlukan untuk melanjutkan analisis terkait kondisi lapangan di PT. Samator Gresik.

3.2.3 Analisis Data

Setelah data diambil, maka dilakukan analisis. Analisis data ini adalah melakukan perhitungan densitas fluida kerja, kecepatan *inlet* fluida kerja, viskositas fluida kerja, konduktivitas termal fluida kerja, *Prandtl number* fluida kerja, *Reynolds number* fluida kerja, resistansi termal dari dinding pipa, koefisien konveksi fluida kerja, dan koefisien perpindahan panas rata – rata.

3.2.4 Menentukan Suhu Temperatur *Outlet*

Suhu temperatur dan *mass flow rate* dari saluran *outlet* pipa *wastegas* pada kondisi lapangan bisa ditemukan setelah dilakukan analisis data yang sudah didapatkan.

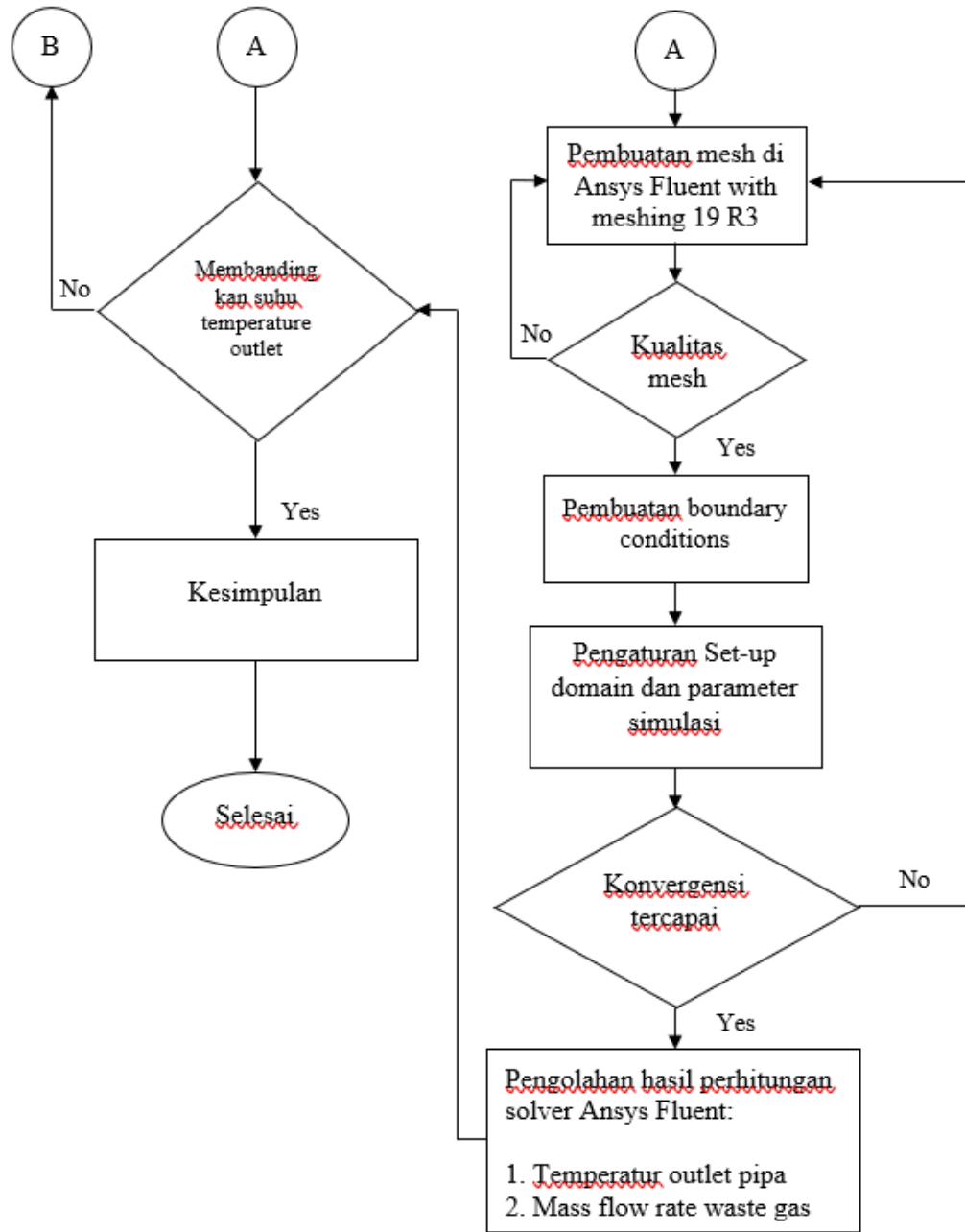
3.2.5 Membandingkan Hasil Analisis Data dengan Hasil *Solver Fluent*

Membandingkan hasil berdasarkan analisa teoritis dengan hasil yang diperoleh dari metode numerik menggunakan *solver fluent*. Hasil ini digunakan untuk menentukan efektifitas penggunaan *waste gas* sebagai media pendingin pada *cooling tower*.

3.2.6 Diagram Alir Metodologi Penyelesaian Tugas Khusus

Diagram alir metodologi penyelesaian tugas khusus magang industri di PT. Samator Gresik dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penyelesaian Tugas Khusus

(Halaman Sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL MAGANG

4.1 Uraian Proses Produksi

4.1.1 Udara

Udara yang menjadi bahan baku untuk proses produksi di ASP (*Air Separation Plant*) diambil dari udara bebas yang ada di atmosfer. Komposisi dari udara bebas disajikan dalam tabel 4.1 sebagai berikut ini:

Tabel 4.1 Komposisi Udara di atmosfer

No	Komponen	Mol (%)
1	Nitrogen	78,084
2	Oksigen	20,947
3	Argon	0,934
4	Karbon Dioksida	0,0350
5	Neon	0,001818
6	Metana	0,00017
7	Helium	0,000524
8	Kripton	0,000114
9	Hidrogen	0,0000053
10	Xenon	0,0000087
11	Nitrogen Oksida	0,000031
12	Ozon	<i>Trace</i> – 0,000008
13	Karbon Monoksida	<i>Trace</i> – 0,000025
14	Sulfur Dioksida	<i>Trace</i> – 0,00001
15	Nitrogen Dioksida	<i>Trace</i> – 0,000002
16	Amoniak	<i>Trace</i> – 0,0000003

4.1.2 Nitrogen

Nitrogen adalah molekul diatomik yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa, dengan kandungan 78,09% mol dalam udara. Nitrogen dapat di produksi dengan metode *Cryogenic Distillation*, *Pressure Swing Adsoption*, dan *Diffusion Separation Process*. Dalam pembuatannya, metode *Cryogenic Distillation* memiliki hasil dengan jumlah kemurniaan yang tinggi daripada dua metode lainnya yaitu *Pressure Swing Adsoption*, dan *Diffusion Separation Process*. Nitrogen bersifat *innert gas*, sehingga dapat digunakan untuk menciptakan suasana *innert*. Nitrogen dalam wujud cair memiliki suhu yang rendah, sehingga biasanya digunakan sebagai fluida pada proses pendinginan

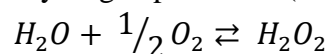
dan pembekuan. Kegunaan gas Nitrogen dalam bidang – bidangnya adalah sebagai berikut:

1. Pangan
 - Nitrogen cair digunakan untuk membekukan bahan makanan dalam pengawetan
 - Gas Nitrogen digunakan untuk menciptakan suasana *inert* dalam penyimpanan minyak sayur dan *wine*.
2. Industri Kimia dan Bahan Bakar
 - Nitrogen cair digunakan untuk mendinginkan *reactor* yang sifatnya ekstremis.
 - Gas Nitrogen digunakan untuk membersihkan pipa dari uap, gas, dan cairan
3. Kesehatan
 - Gas Nitrogen digunakan untuk melindungi kerusakan obat karena oksidasi atau penyerapan *moisture* pada saat pengemasan.
 - Nitrogen cair digunakan dalam *cryo-surgery* untuk memperbaiki jaringan yang rusak.
 - Nitrogen cair digunakan untuk membekukan darah dan virus untuk vaksinasi.

4.1.3 Oksigen

Oksigen merupakan salah satu komponen atmosfer yang mendukung kehidupan manusia. Kandungan oksigen adalah 20,94% dari volume udara yang dihirup. Oksigen memiliki sifat tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau, oksidator kuat dan reaktif. Oksigen dapat diproduksi menggunakan metode *Cryogenic Distillation*, *Pressure Swing Adsorption*, dan *Vacuum Pressure Swing Adsorption*. Oksigen digunakan dalam bidang - bidang berikut:

1. Penerbangan
 - Masker Oksigen
2. Astronautika
 - Pembakaran bahan bakar roket
3. Lingkungan
 - Pengolahan limbah
4. Industri PULP
5. Kesehatan
 - Oksigen digunakan dalam proses operasi, terapi Oksigen, dan membantu pernapasan pasien yang mengalami kesulitan bernapas
6. Metalurgi
 - Oksigen digunakan untuk meningkatkan suhu pembakaran dalam proses pembuatan baja
 - Menghilangkan unsur karbon yang tidak diinginkan
7. Petrokimia
 - Reaktan untuk membuat hydrogen peroksida (H_2O_2) melalui reaksi



4.1.4 Argon

Argon adalah molekul monoatomik yang memiliki sifat yaitu tidak berwarna, tidak berbau tidak berasa dan tidak beracun, kandungannya di atmosfer sebesar 0,934% dari volume udara. Argon merupakan salah satu unsur gas mulia dan memiliki sifat *inert*. Argon diproduksi dengan destilasi udara secara *Cryogenic Argon* digunakan dalam dunia industry untuk menciptakan suasana *Inert*. Kegunaan Argon dalam berbagai bidangnya adalah sebagai berikut:

1. Metalurgi
 - Gas Argon digunakan untuk menghasilkan suasana *inert* dalam pengelasan logam untuk mencegah oksidasi logam.
2. Industri Lampu
 - Pembuatan lampu pijar untuk mencegah oksidasi filamen.
3. Analisis Kimia
4. Industri Kaca
 - Gas Argon digunakan sebagai isolasi dalam jendela multi panel karena memiliki konduktivitas termal yang kecil.

4.1.5 Filtrasi

Udara yang digunakan sebagai bahan baku harus melalui proses pemisahan untuk dapat menghasilkan produk berupa Oksigen, Nitrogen, dan Argon. Proses pemisahan yang dilakukan adalah Filtrasi, Adsorpsi, dan Distilasi, dimana filtrasi merupakan suatu proses pemisahan yang dilakukan untuk memisahkan partikel padat yang tersuspensi dalam suatu fluida (gas maupun cair) dengan menggunakan media filter. Proses filtrasi dipengaruhi oleh ukuran lubang dari media filter yang digunakan. Selama proses filterisasi berlangsung, fluida akan melewati media filter, sedangkan partikel padat akan tertahan dalam media filter apabila ukurannya lebih besar daripada ukuran lubang dari media filter. Filtrasi biasanya digunakan untuk menghilangkan partikulat atau zat berbahaya yang terkandung dalam fluida. Di *Air Separation Plant (ASP)*, proses filtrasi dilakukan untuk menghilangkan partikel – partikel padat yang terkandung dalam udara (seperti: daun, serangga, dan debu) yang dapat mengganggu proses produksi dan menyebabkan kontaminasi pada produk yang dihasilkan.

4.1.6 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses pemisahan yang terjadi ketika padatan adsorben menyerap komponen tertentu yang terkandung dalam fluida (gas maupun cair) pada permukaan padatan tersebut. Padatan yang digunakan untuk mengadsorpsi komponen tertentu disebut sebagai adsorben. Adsorben yang digunakan dalam proses produksi di ASP adalah *Molecular Sieve*, *Alumina Gel*, dan *Silica Gel*.

- *Molecular Sieve*
Molecular Sieve adalah kristal aluminosilika yang memiliki diameter pori seragam, oleh karena itu *molecular sieve* dapat dibedakan berdasarkan besar diameter porinya (3-10Å).
- *Activated Alumina*
Activated Alumina didapatkan dari hasil pemansan *hydrated aluminium oxide*, sehingga air yang terikat pada *aluminium oxide* hilang. *Activated Alumina* memiliki luas area sebesar 200 – 500 m²/g dan diameter pori berkisar dari 20-140 Å.

- *Silica Gel*

Silica gel merupakan salah satu adsorben komersial yang banyak digunakan untuk proses adsorpsi. Di ASP, PT. Samator Gresik menggunakan *Silica Gel* sebagai adsorben untuk menyerap kandungan air pada gas Argon dalam *Argon Dryer*. *Silica Gel* dihasilkan dari *Acid Treatment* terhadap natrium silika. *Silica Gel* memiliki luas area permukaan antara 600 – 800 m²/g dan diameter pori berkisar dari 20 – 50 Å.

4.1.7 Cooling Water

Di dalam proses produksi banyak yang dibutuhkan air pendingin. Pabrik baja, pabrik produksi, dan pabrik – pabrik pembangkit membutuhkan sistem air pendingin. Air pendingin digunakan sebagai penerima panas dari fluida kerja panas. Efektivitas dan efisiensi system pendingin dipengaruhi oleh karakteristik air, tipe proses yang didinginkan, serta faktor lingkungan.

4.1.8 Freon

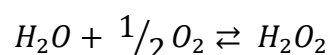
Freon atau *Refrigerant* dengan senyawa *Chlorofluorocarbon (CFC)* adalah salah satu dari beberapa senyawa alifatik sederhana yang digunakan dalam perdagangan industri. *Freon* mengandung senyawa hidrogen, karbon, dan klorin atau bromin. Senyawa ini memiliki karakteristik dapat menyerap udara panas, tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun, tidak mudah terbakar, gas atau cairan yang tidak mudah hancur. *Freon* ini memiliki beberapa tipe sesuai dengan kebutuhan dan di ASP, tipe *freon* yang digunakan adalah *Freon R-22*.

4.1.9 Palladium

Palladium merupakan logam yang digunakan dalam berbagai industri dalam berbagai bidang seperti: pembuatan emas putih, pembuatan kapasitor keramik dan katalis dalam proses hidrogenasi, dan dehidrogenasi. Di ASP, PT. Samator Gresik menggunakan Palladium sebagai katalis dalam raksi pengikatan Oksigen oleh Hidrogen untuk memurnikan Argon dari Oksigen terlarut.

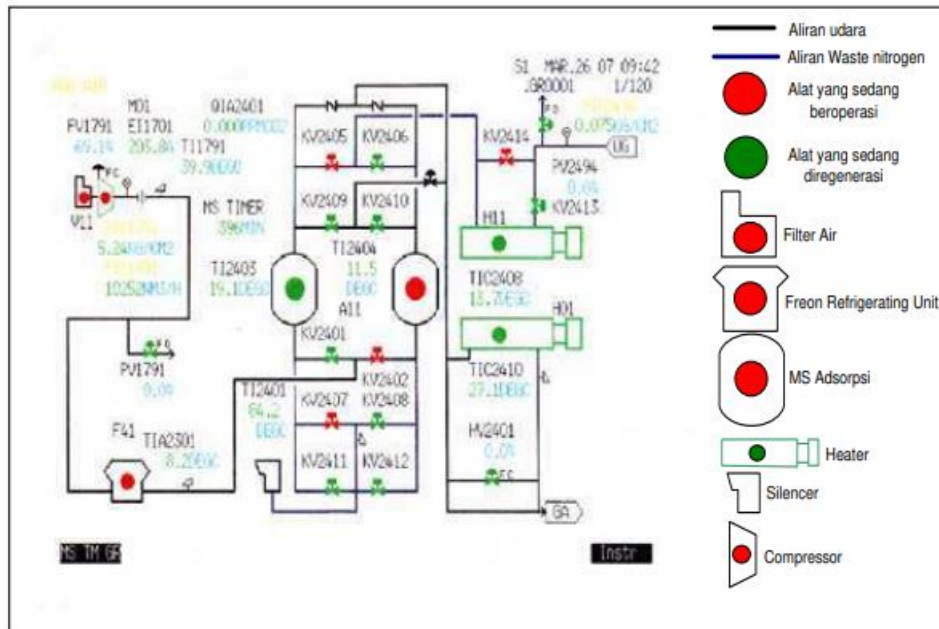
4.1.10 Hydrogen

Hidrogen adalah suatu molekul diatomic yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak beracun, dan mudah terbakar pada suhu dan tekanan atmosfer. Unsur hidrogen banyak terdapat di bumi sebagai komponen air. Hidrogen dapat dihasilkan dari berbagai cara seperti: *steam reforming*, terhadap hidrokarbon, elektrolisis air, partial oxidation batu bara, disosiasi ammonia. Gas Hidrogen dalam proses ASP digunakan untuk purifikasi Argon. Gas Hidrogen akan bereaksi dengan Oksigen yang terkandung dalam *Liquid Raw Argon* melalui reaksi:



4.2 ASP Plant

PT. Samator Gresik menggunakan teknologi dari Taiyo Nippon Sanso untuk mendirikan unit *Air Separation Plant (ASP)* tipe MMG 10.000. Gambar 4.1 menunjukkan seluruh aktivitas dari peralatan – peralatan unit kerja pada plant ini terintegrasi pada *software* aplikasi Yokogawa yang dapat di monitoring secara real time melalui Personal Computer (PC) yang ada pada ruangan *Control Room ASP*.



Gambar 4.1 Monitoring Flowsheet Raw Air
(Sumber: Iskak A, 2009)

Plant ini mempunyai 2 fasilitas utama, yaitu:

1. *Low Pressure Main Plant* (tekanan 5 kg/cm²)
Merupakan fasilitas unit ASP yang memproduksi oksigen cair, nitrogen cair, argon cair, dan gas nitrogen.
2. *Nitrogen Circulating Facilities* (tekanan 50 kg/cm²)
Merupakan fasilitas unit ASP yang memproduksi sejumlah besar kerja yang digunakan untuk mendinginkan dan mengembungkan gas nitrogen sehingga dapat menghasilkan produk cair yang lebih banyak.

Pengoperasian unit ASP dilengkapi dengan system control yang terdistribusi (*Distribution Control System* atau *DCS*) untuk memonitor kondisi operator unit ASP. Tahapan – tahapan pada proses pemisahan udara pada unit ASP adalah sebagai berikut:

1. Pemurnian udara
2. Pembuatan oksigen cair
3. Pembuatan gas nitrogen dan nitrogen cair
4. Pembuatan argon cair

A. Pemurnian Udara

Udara bebas yang menjadi bahan baku pada unit ASP adalah udara bebas yang masih mengandung *impurities*, seperti daun, pasir, debu, serangga, dan lain-lain. *Impurities* tersebut tersebut harus dipisahkan dari udara terlebih dahulu, karena dapat mengganggu proses pemisahan udara dan menurunkan kemurnian produk yang dihasilkan. Pemisahan *impurities* dalam udara berlangsung dalam *Air Filter* dengan laju rata-rata 10.300 Nm³/jam. Dalam *Air Filter*, udara dibersihkan dari *impurities* melalui tiga jenis filter, yaitu:

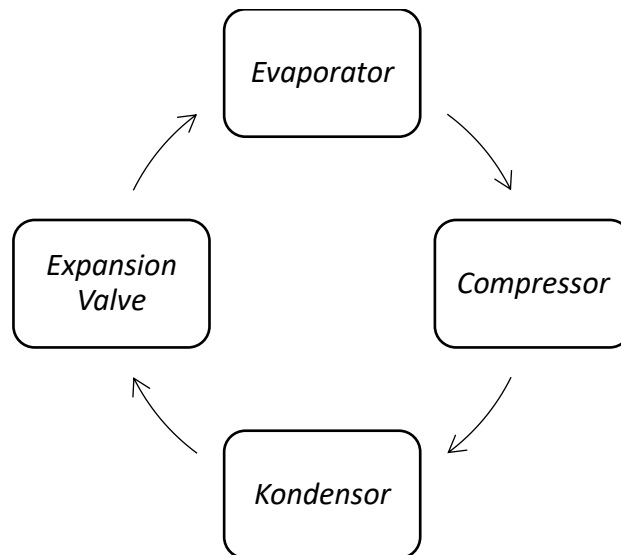
1. *Eliminator filter*: menyaring serangga dan daun.
2. *Roll filter* : menyaring debu berukuran kecil (≥ 10 mikron).
3. *Bag filter* : menyaring debu berukuran halus (≥ 2 mikron).

Udara bersih hasil penyaringan *air filter* dikompresi sampai tekanannya menjadi 5,3 kg/cm³ dengan menggunakan *Air Compressor Unit* yang terdiri dari 3 stage seperti yang ditunjukkan tabel 4.2 dengan rasio kompresi sebesar 1,8. setiap *stage* dilengkapi dengan pendingin berupa *Intercooler* (untuk udara terkompresi stage 1 dan 2) dan *Aftercooler* (untuk udara keluar terkompresi pada stage 3). Kedua pendingin tersebut menggunakan media pendingin media pendingin berupa air pendingin yang diperoleh dari hasil pengolahan air sumur dengan metode *Reverse Osmosis (RO)*.

Tabel 4.2 Kondisi Operasi dalam *Air Compressor Unit* (15/07/22)

	Udara Masuk		Udara Keluar	
	Suhu (°C)	Tekanan (kg/cm ²)	Suhu (°C)	Tekanan (kg/cm ²)
<i>Stage 1</i>	35	1,01	47	1,8
<i>Intercooler 1</i>	47	1,8	37	1,8
<i>Stage 2</i>	37	1,8	47	3,7
<i>Intercooler 2</i>	47	3,7	40	3,7
<i>Stage 3</i>	40	3,7	48	5,2
<i>Aftercooler</i>	48	5,2	40	5,2

Udara dari *Air Compressor Unit* kemudian masuk ke dalam *Freon Refrigerator Unit* untuk mengurangi kandungan uap air dalam udara dengan cara diturunkan suhunya dari 40°C menjadi $\geq 10^\circ\text{C}$. media pendingin yang digunakan untuk mendinginkan udara dalam *Freon Refrigerator Unit* adalah *freon* tipe R-22 (CHClF₂). Suhu udara yang didinginkan tidak boleh $\geq 4^\circ\text{C}$ karena uap air yang terkandung dalam udara akan membentuk kabut dan atau bisa membeku yang dapat menyebabkan saluran udara menjadi tersumbat. Udara keluar dari *Freon Refrigerator Unit* mempunyai kandungan uap air sekitar 1%. Sistem refrigerasi di *Freon Refrigerator Unit* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.2 Sistem Refrigerasi di *Freon Refrigerator Unit*

Udara didinginkan dalam *Freon Refrigerator Unit* dengan cara panas ditransfer ke *freon R-22* di dalam evaporator, sehingga *freon R-22* mengalami perubahan fasa dari campuran cair dan uap jenuh menjadi uap jenuh. Agar *freon R-22* dapat digunakan kembali untuk mendinginkan udara yang masuk ke *Freon Refrigerator Unit* maka diperlukan proses untuk mensirkulasi *freon R-22* dengan cara menghilangkan panas yang telah diperoleh dari udara. Proses penghilangan panas terbagi menjadi 3 tahapan proses yaitu:

1. Meningkatkan tekanan *freon R-22* di dalam Compressor
Uap jenuh *freon R-22* dikompresi menjadi uap bertekanan tinggi (superheated vapor) dalam compressor.
2. Mentransfer panas *freon R-22* di dalam kondensor
Uap *freon R-22* bertekanan tinggi dikondensasikan menjadi *freon R-22* cair dengan cara panas berubah fasa uap menjadi cair dari *freon R-22* di transfer ke air pendingin.
3. Ekspansi *Freon R-22* cair di dalam *Expansion Valve*
Freon R-22 cair dengan suhu dan tekanan yang tinggi dari kondensor di ekspansi sehingga menyebabkan penurunan suhu dan tekanan *Freon R-22*.

Hasil keluaran dari *Expansion Valve* berupa cairan cair dan uap jenuh *freon R-22* dapat digunakan kembali untuk mendinginkan udara yang masuk ke *Freon Refrigerator Unit*. Sebelum udara dialirkan menuju proses berikutnya, udara harus bebas dari uap air dan karbon dioksida. Kandungan karbon dioksida dan sisa uap air di dalam udara dipisahkan dengan menggunakan *Molecular Sieve Adsorber (M.S Adsorber)*. Uap air dan karbon dioksida akan membeku ketika di dinginkan lebih lanjut, sehingga dapat menyumbat system perpipaan dan mengurangi efisiensi tray pada kolom distilasi. Jika terjadi penyumbatan pada system perpipaan, maka harus dilakukan *defrosting*, yaitu proses menghilangkan kristal es dengan cara mengalirkan udara yang telah dipanaskan dalam *Defrost Heater* ke jalur perpipaan yang tersumbat. Udara yang masuk dalam *M.S Adsorber* akan dikontakkan dengan dua jenis adsorber, yaitu *molecular sieve* dan

alumina gel gambar 4.3 (a) dan (b). *Molecular sieve* berfungsi untuk mengadsorpsi karbon dioksida yang terkandung dalam udara dan alumina gel berfungsi untuk mengadsorpsi sisa uap air yang terkandung di dalam udara. Proses adsorpsi karbon dioksida dan sisa uap air di dalam *M.S Adsorber* akan menyebabkan adsorben menjadi jenuh, sehingga adsorben dalam *M.S Adsorber* harus selalu diregenerasi. *M.S Adsorber* yang digunakan berjumlah 2 tangki yang digunakan secara bergantian (1 untuk proses adsorpsi dan 1 untuk proses regenerasi) agar proses tetap berlangsung secara kontinyu.



Gambar 4.3 (a). *Molecular Sieve* dan (b). Alumina Gel pada *M.S. Adsorber*
(Sumber: **Adsorbents, 2020**)

Proses regenerasi adsorben dalam *M.S Adsorber* terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

1. Penurunan Tekanan (*Depressurizing*)

Tekanan di dalam *M.S Adsorber* diturunkan dari 5,3 kg/cm² menjadi 0,4 kg/cm². Proses penurunan tekanan berlangsung selama 5 menit.

2. Pemanasan (*Heating*)

Untuk mengaktivasi atau membuka pori adsorben maka dilakukan pemanasan dengan menggunakan *waste gas* dari *main heat exchanger* yang telah dipanaskan terlebih dahulu sampai 150°C dengan *Air Dryer Regeneration Heater*. Proses pemanasan berlangsung selama 70 menit.

3. Pendinginan (*Cooling*)

Setelah pemanasan, *heater* akan mati secara otomatis dan adsorben akan didinginkan menggunakan *waste gas* sampai suhunya menjadi sekitar 40°C. Proses pendinginan berlangsung selama 135 menit.

4. Penekanan (*Pressurizing*)

Tahap selanjutnya adalah menaikkan tekanan dalam *M.S Adsorber* secara perlahan-lahan hingga mencapai 5,3 kg/cm². Proses ini bertujuan untuk mencegah kerusakan pada adsorben (*Molecular Sieve* dan Alumina Gel). Proses penekanan berlangsung selama 25 menit.

Dari *M.S Adsorber*, udara dialirkan menuju ke *Main Heat Exchanger* untuk didinginkan dan dikondensasikan sampai suhunya mencapai $-172,6^{\circ}\text{C}$. Media pendingin untuk mendinginkan udara adalah gas nitrogen, *waste gas*, gas oksigen, dan *liquid raw argon* dengan arah aliran *counter current* terhadap udara. Udara hasil pendinginan dalam *Main Heat Exchanger* berupa udara cair selanjutnya dialirkan menuju bagian bawah kolom rektifikasi dengan tekanan sebesar 5 kg/cm^2 . Nitrogen yang terkandung dalam udara cair akan menguap dan naik ke bagian atas dari kolom bawah rektifikasi, karena suhu udara cair lebih tinggi daripada titik didih nitrogen ($-179,24^{\circ}\text{C}$) pada tekanan tersebut.

B. Pembuatan Oksigen Cair dan *Liquid Oxygen*

Udara cair yang kaya oksigen dan argon selanjutnya dialirkan dari bagian bawah kolom bawah rektifikasi menuju ke *Subcooler* untuk diturunkan suhunya menjadi -190°C dengan menggunakan *waste gas* dan gas nitrogen dari bagian atas kolom atas rektifikasi. Setelah melalui *Subcooler*, udara cair diekspansi ke bagian atas kolom atas rektifikasi dengan tekanan $0,55\text{ kg/cm}^2$. Suhu kolom atas (-190°C) lebih rendah daripada titik didih oksigen ($-188,974^{\circ}\text{C}$) tetapi lebih tinggi daripada titik didih nitrogen ($-200,9^{\circ}\text{C}$) dan argon ($-191,58^{\circ}\text{C}$). Hal ini menyebabkan oksigen akan tetap berwujud cair dan terkumpul pada bagian bawah kolom atas rektifikasi, sedangkan nitrogen dan argon yang terkandung di dalamnya akan menguap dan naik ke bagian atas dari kolom atas rektifikasi.

Oksigen cair pada bagian bawah kolom atas rektifikasi dengan kemurnian $\geq 99,999\%$ selanjutnya dialirkan menuju *Subcooler* sebelum masuk ke tangki penyimpanan. Pengaliran oksigen cair kepada tangki penyimpanan dilakukan dengan bantuan *Liquid Oxygen Delivery Pump* karena tekanan pada kolom atas rektifikasi masih rendah sebesar $0,55\text{ kg/cm}^2$. Di dalam *Subcooler*, oksigen cair akan didinginkan lebih lanjut sampai suhunya menjadi -182°C dan kemudian dialirkan menuju tangki penyimpanan dengan laju $2.200\text{ Nm}^3/\text{jam}$.

C. Pembuatan Gas Nitrogen dan *Liquid Nitrogen*

Hasil pemisahan udara cair dari kolom rektifikasi menghasilkan 2 pengeluaran gas nitrogen dengan kemurnian $\geq 99,999\%$, yaitu:

1. Bagian atas kolom bawah rektifikasi

Gas nitrogen yang dihasilkan dari bagian atas kolom bawah rektifikasi masuk ke *Main Condenser* untuk diembunkan dengan menggunakan oksigen cair dari bagian bawah bagian atas rektifikasi. Nitrogen cair yang dihasilkan kemudian dialirkan menuju:

a. Bagian atas kolom atas rektifikasi

Nitrogen cair dialirkan menuju ke bagian atas kolom atas rektifikasi akan mengalami ekspansi karena tekanan pada kolom atas lebih rendah ($0,55\text{ kg/cm}^2$) daripada tekanan pada kolom bawah (5 kg/cm^2), sehingga titik didih nitrogen juga mengalami penurunan yang menyebabkan terjadinya perubahan fase dari air menjadi gas.

b. *Nitrogen Subcooler*

Nitrogen cair yang dialirkan menuju *Subcooler* dijaga suhunya dengan cara didinginkan dengan menggunakan gas nitrogen yang menguap dari nitrogen cair. Nitrogen cair yang dihasilkan kemudian dialirkan menuju ke tangki penyimpanan

c. *Pure Argon Condenser*

Nitrogen cair yang dialirkan menuju ke *Pure Argon Condenser* mengalami perpindahan panas dari gas argon dan *liquid nitrogen*, sehingga menyebabkan perubahan fase menjadi argon cair dan gas nitrogen. Gas nitrogen Bersama dengan gas argon yang tidak mengembun akan keluar melalui bagian atas dari *Pure Argon Condenser* sebagai *waste gas*.

Gas nitrogen dari kolom bawah rektifikasi yang tidak mengembun di *Main Condenser* dialirkan menuju:

a. *Main Heat Exchanger*

Gas nitrogen untuk mendinginkan udara dari *MS Adsorber*.

b. *Pure Argon Reboiler*

Gas nitrogen yang dialirkan menuju ke *Pure Argon Reboiler* digunakan untuk memanaskan argon cair sehingga suhu argon cair akan mengalami kenaikan, dimana suhu tersebut lebih tinggi daripada titik didih nitrogen dan hidrogen. Dengan demikian nitrogen dan hidrogen yang terkandung dalam argon cair akan berubah menjadi gas dan keluar melalui bagian atas *Pure Argon Column* sebagai *waste gas*.

c. *Nitrogen Recycle System*

Unit *Nitrogen Recycle System* berfungsi untuk menghasilkan produk nitrogen cair dan gas nitrogen dengan suhu yang sangat rendah ($-163\text{ }^{\circ}\text{C}$). Unit ini terdiri dari beberapa alat, yaitu:

1. *Recycle Nitrogen Compressor (RNC)*.
2. *Warm Expansion Turbine (WET) with Booster*.
3. *Cold Expansion Turbine (CET) with Booster*.
4. *Nitrogen Recycle Heat Exchanger*.

Gas nitrogen dari *Main Heat Exchanger* selanjutnya dicampur dengan gas nitrogen dari *Nitrogen Recycle Heat Exchanger* dan kemudian dialirkan menuju ke *RNC* yang terdiri dari 4 stage untuk dikompresi sampai tekanannya meningkat menjadi $3,7\text{ kg/cm}^2$. Gas nitrogen yang telah dikompresi akan mengalami kenaikan suhu, sehingga gas nitrogen perlu didinginkan dengan menggunakan *intercooler* (untuk *RNC stage 1* sampai *3*) dan *aftercooler* (untuk *RNC stage 4*). Kondisi operasi dalam *RNC* disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4.3 Kondisi Operasi dalam *RNC*

	Gas Masuk	Gas Keluar
	Tekanan (kg/cm^2)	Tekanan (kg/cm^2)
<i>Stage 1</i>	1,01	1,8
<i>Stage 2</i>	1,8	1,8
<i>Stage 3</i>	1,8	3,7
<i>Stage 4</i>	3,7	3,7

Selanjutnya, gas nitrogen dialirkan menuju *WET Booster* (75 %) dan *CET Booster* (25 %) dengan penjelasan berikut:

- Gas nitrogen yang masuk ke *WET Booster* dikompresi, sehingga tekannya meningkat menjadi 50 kg/cm^2 . Kemudian gas nitrogen didinginkan dengan air pendingin dalam *aftercooler* dan dialirkan ke *Nitrogen Recycle Heat Exchanger*. Sebagian gas nitrogen dikondensasi menjadi nitrogen cair dan dialirkan kembali menuju ke kolom bawah rektifikasi sebagai *refluks*, sedangkan sisanya dialirkan ke *WET* untuk menggerakkan *Booster*.
- Gas nitrogen yang masuk ke *CET Booster* dikompresi, sehingga tekanannya meningkat menjadi 50 kg/cm^2 . Selanjutnya gas nitrogen didinginkan dengan air pendingin dalam *aftercooler* dan dialirkan ke *Nitrogen Recycle Heat Exchanger* untuk mendinginkan nitrogen cair yang dialirkan ke kolom bawah rektifikasi sebagai *refluks*. Setelah itu gas nitrogen dikembalikan lagi ke *CET* untuk mendinginkan *Booster*.

Gas nitrogen hasil keluar dari *WET Booster* dan *CET Booster* selanjutnya dialirkan menuju ke *Nitrogen Recycle Heat Exchanger* untuk dicampur dengan gas nitrogen dari kolom rektifikasi untuk diproses kembali dalam *Nitrogen Recycle System*.

2. Bagian atas kolom atas rektifikasi

Gas nitrogen yang dihasilkan dari bagian atas kolom atas rektifikasi selanjutnya dialirkan menuju *Subcooler* yang digunakan untuk mendinginkan:

- Udara cair yang berasal dari kolom bawah rektifikasi
- Nitrogen cair dari *Main Condenser*
- Oksigen cair dari kolom atas rektifikasi

Setelah itu, gas nitrogen selanjutnya dialirkan menuju ke *Main Heat Exchanger* untuk mendinginkan udara dari *MS Adsorber*. Gas nitrogen kemudian dialirkan menuju ke PT. Asahimas Flat Glass melalui jalur pipa (*pipeline*) dengan laju $4.000 \text{ Nm}^3/\text{jam}$.

C. Pembuatan Argon Cair

Gas yang digunakan sebagai umpan argon diambil dari bagian tengah kolom atas rektifikasi. Gas tersebut dialirkan menuju ke bagian bawah *Crude Argon Column* untuk mengembunkan sebaigian oksigen yang terkandung dalam umpan argon, sehingga dihasilkan oksigen cair pada bagian bawah *Crude Argon Column*. Selanjutnya oksigen cair dialirkan kembali menuju kolom atas rektifikasi sebagai *refluks*, sedangkan gas umpan argon akan naik ke bagian atas *Crude Argon Column* dan didinginkan dengan udara cair di dalam *Crude Argon Condenser*, sehingga umpan argon akan berubah fasa menjadi *liquid raw argon*. *Liquid raw argon* yang dihasilkan dari *Crude Argon Condenser* digunakan untuk mendinginkan udara di dalam *Main Heat Exchanger* yang menyebabkan terjadinya perubahan fase kembali dari cair menjadi *gas raw argon*. Selanjutnya *gas raw argon* dimurnikan lebih lanjut melalui proses purifikasi dalam *Argon Purifier*, *Argon Dryer*, dan *Pure Argon Column*.

Raw argon selanjutnya dimasukkan ke dalam *Argon Purifier* yang bertujuan untuk mengurangi sisa oksigen yang masih terkandung dalam *raw argon*. Dalam *Argon Purifier*, *gas raw argon* direaksikan dengan *hydrogen* menggunakan katalis *palladium*. Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis, sehingga suhu di dalam *Argon Purifier* akan mengalami kenaikan. Suhu reaksi harus dijaga kurang daripada 400°C dengan cara mengatur kecepatan aliran *raw argon* dan *hydrogen*, karena *autoignition temperature* dari *hydrogen* adalah 500°C. *autoignition Temperature* adalah suhu minimum yang dibutuhkan untuk menyalakan gas atau uap di udara tanpa adanya percikan api.

Raw argon yang bebas dari oksigen didinginkan dalam *Argon Cooler* menggunakan media air pendingin sampai sekitar 30°C dan dialirkan menuju *Freon Refrigerator Unit* untuk didinginkan lebih lanjut menggunakan *Freon R-22* sampai suhunya sekitar 10°C sehingga sebagian uap air yang terkandung dalam *raw argon* akan terkondensasi dan kondensat dapat dipisahkan dari *raw argon* di dalam *Drain Separator*. Selanjutnya *raw argon* dialirkan menuju *Argon dryer* untuk mengadsorpsi sisa-sisa uap air yang masih terkandung dalam *raw argon* menggunakan *adsorben Silica Gel*. Proses adsorpsi uap air dalam *Argon Dryer* akan menyebabkan Adsorben menjadi jenuh, sehingga adsorben harus selalu diregenerasi setiap 12 jam sekali. *Argon Dryer* yang digunakan berjumlah 2 tangki yang beroperasi secara bergantian (1 tangki untuk proses regenerasi dan 1 tangki untuk proses adsorpsi), agar proses pengeringan tetap berlangsung secara kontinyu.

Proses regenerasi adsorben jenuh dalam *Argon Dryer* terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

1. Penurunan Tekanan (*depressurizing*)

Tekanan di dalam *Argon Dryer* diturunkan dari 2,5 menjadi 0,4. Proses penurunan tekanan berlangsung selama 30 menit.

2. Pemanasan (*heating*)

Untuk mengaktifasi atau membuka pori adsorben, maka dilakukan pemanasan dengan menggunakan gas nitrogen dari kolom bawah rektifikasi yang telah dipanaskan terlebih dahulu sampai 250°C dengan *Argon Heater*. Proses pemanasan berlangsung selama 5,7 jam.

3. Pendinginan (*cooling*)

Setelah pemanasan, *heater* akan mati secara otomatis dan adsorben didinginkan menggunakan gas nitrogen sampai suhunya menjadi sekitar 35°C. Proses pendinginan berlangsung selama 5,3 jam.

4. Penekanan (*pressurizing*)

Tahap selanjutnya adalah menaikkan tekanan dalam *Argon Dryer* secara perlahan – lahan, sehingga tekanannya mencapai 2,5 kg/cm². Proses ini bertujuan untuk mencegah kerusakan pada adsorben. Proses penekanan berlangsung selama 30 menit.

Total waktu yang dibutuhkan untuk proses regenerasi dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Waktu untuk Regenerasi pada *Argon Dryer*

No.	Proses	Waktu (jam)
1	<i>Depressurizing</i>	0,5
2	<i>Heating</i>	5,7
3	<i>Cooling</i>	5,3
4	<i>Pressurizing</i>	0,5
Total		12

Raw Argon yang keluar dari *Argon Dryer* kemudian didinginkan sampai suhunya mencapai -182°C dalam *Argon Heat Exchanger* menggunakan *waste gas* dari bagian atas kolom *Pure Argon Column*, sehingga *Raw Argon* berubah menjadi *Liquid Dry Argon*. *Liquid Dry Argon* kemudian dimasukkan ke bagian tengah *Pure Argon Column* untuk menguapkan nitrogen dan hidrogen yang masih terkandung di dalamnya. Gas nitrogen, hidrogen dan argon akan terpisah keluar melalui bagian atas *Pure Argon Column* sebagai *waste gas*. Produk Argon cair dengan kemurnian 99,999% diambil dari bagian bawah *Pure Argon Column* dan dialirkan menuju ke tangki penyimpanan.

4.2.1 Spesifikasi Peralatan

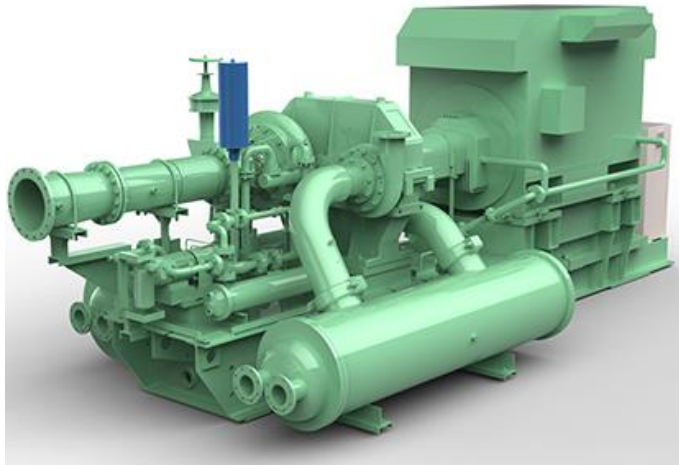
- Penyaring Udara (*Air Filter*)

Penyaring udara atau *Air Filter* buatan Teisan KK, Japan ini merupakan alat filterisasi udara pertama yang dilakukan sebelum di proses lebih lanjut di dalam sistem produksi gas. Filter ini memiliki tiga filter utama yang berfungsi untuk menyaring udara masuk dari kotoran – kotoran seperti debu, daun, dan serangga. Filter yang pertama adalah *Eliminator filter* yang dapat menyaring udara dari dedaunan dan serangga. Filter kedua adalah *Roll filter* yang dapat menyaring udara dari debu (≥ 10 mikron). Filter ketiga adalah *Bag filter* yang dapat menyaring udara dari debu (≥ 2 mikron). Penyaring udara ini memiliki nomor alat H-110, berjumlah 1 set, beroperasi secara kontinyu dan memiliki kapasitas sebesar $10.300 \text{ m}^3/\text{jam}$. *System control* yang terdapat pada unit ini berupa *Pressure Difference Indicator (PID)* dan *Safety Swith Alarm*.

- Kompresor Udara (*Air Compressor*)

Kompresor udara (G-111) yang digunakan ini adalah kompresor tipe *Centrifugal Compressor 3 stage*, terdapat 2 *Intercooler* dan 1 *Aftercooler* dengan *compression ratio* sebesar 1,4 - 2,1, memiliki kapasitas sebesar $10.300 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan buatan Ishikawajima-Harima Heavy Ind. Co, Ltd. Tokyo, Japan seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4. Kompresor ini digunakan untuk menaikkan tekanan udara masuk dari $1,03 \text{ kg}/\text{cm}^2$ sampai $5,3 \text{ kg}/\text{cm}^2$ dan beroperasi secara kontinyu. Pada perancangan sistem, kompresor ini digunakan dengan beberapa pertimbangan diantaranya adalah kapasitas kompresor yang besar, tekanan fluida keluar yang konstan, memiliki efisiensi

yang tinggi dengan jangkauan harga yang tidak relatif mahal, proses *maintenance* yang mudah dan dapat dibuat bertahap dengan mudah. Pada unit ini terdapat sistem kontrol yaitu, *Pressure Indicator Control (PIC)*, *Temperature Indicator Control (TIC)*, *Flow Indicator Control (FIC)*, *Flow Control (FC)*.



Gambar 4.4 *Centrifugal Compressor 3 Stage (IHI, 2023)*

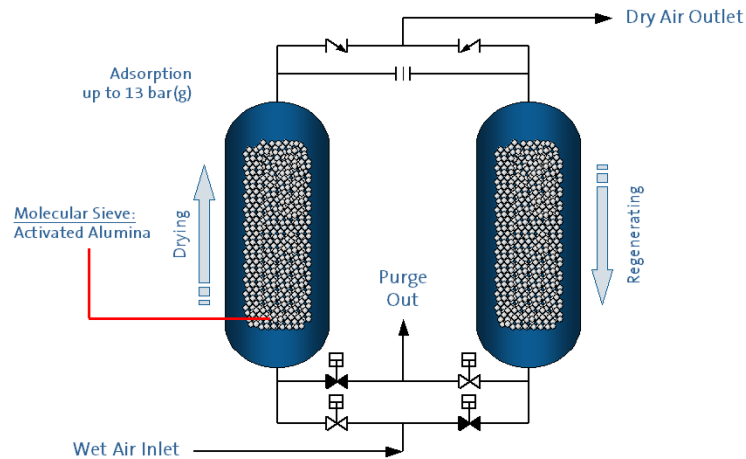
- *Freon Refrigerator Unit*

Freon Refrigerator Unit (E-121) buatan Mycom, Japan ini merupakan unit yang digunakan untuk menurunkan suhu udara dan *Dry argon* sampai sekitar 10°C dan mengembunkan sebagian air yang terkandung dalam udara dan *Dry Argon*. Di dalam unit ini terdapat *Screw Compressor* dengan kapasitas sebesar 147.000 kkal/jam, yang digunakan untuk meningkatkan tekanan media pendingin Freon R-22. *Refrigerator condenser* yang digunakan untuk mengkondensasikan Freon R-22 yang telah berubah fasa menjadi uap jenuh menjadi cair (panas laten) dari Freon R-22 ditransfer ke air pendingin. *Drain separator* sebagai media pemisah antara gas udara dan gas argon dengan uap air. Kemudian terdapat *Air cooler* dan *Argon cooler*. Pada unit ini terdapat *system control* berupa *Temperature Indicator Alarm*. Menggunakan sistem isolasi Perlite.

- *Molecular Sieve Adsorber*

Molecular sieve adsorber (D-120) gambar 4.5, dengan tipe unit *vertically cylindrical filling* buatan Sumitomo Precision Co., Ltd, Japan, merupakan alat adsorben yang memiliki media saringan sangat kecil, *molecular sieve*. Unit ini terdiri dari 2 tangki *M.S Adsorber* (tangki pertama untuk proses dan tangki kedua untuk regenerasi) dan keduanya beroperasi secara kontinyu. Unit ini berfungsi untuk mengadsorpsi karbon dioksida dan sisa air yang terkandung dalam udara. Terdapat *Alumina gel* dan *Molecular sieve* sebagai media adsorbennya. Cara kerjanya adalah ketika udara masuk melalui bagian bawah tangka *M.S Adsorber*, udara akan melewati *Fixed bed* berisi adsorben *Alumina gel* yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan

air dan *Fix bed* yang berisi *Molecular sieve* untuk menghilangkan karbon dioksida secara spesifik. Unit ini memiliki system control yaitu, *Time scheduled valve*, *Flow Control*, *Pressure difference safety switch*, *Pressure indicator safety switch* dan memiliki isolasi jenis *Rockwool* pada permukaan luar bagian tangki.



Gambar 4.5 *Molecular Sieve Adsorber*
(Sumber: Noxerrior, 2023)

- *Molecular Sieve Regenerating Heater*
Pemanas atau *Heater* (E-122) buatan Sumitomo Precision Co., Ltd – Japan merupakan *heater* dengan tipe *sheathed heater* yang berfungsi untuk memanaskan *waste gas* yang digunakan untuk meregenerasi adsorben *Molecular Sieve* dan *Alumina Gel*. *System control* yang terdapat pada unit ini adalah *Time scheduled valve*, *Temperature Indikator Control*, *Temperature Safety switch*.
- *Defrost Heater*
Pemanas atau *Heater* (H-01) ini memiliki tipe yang sama dengan *Molecular Sieve Regenerating Heater* yaitu *sheathed heater* yang berfungsi untuk memanaskan gas yang digunakan untuk mencairkan es kristal yang terbentuk dalam pipa. Unit ini bekerja secara kontinyu dan memiliki system control diantaranya adalah *Flow Control*, *Temperature Indikator Control*, *Temperature Safety Switch*, dan *Pressure Indikator Control*. Prinsip kerja alat ini adalah gas yang telah dipanaskan akan disalurkan ke perpipaan dimana es kristal terbentuk, sehingga es kristal mencair dan tidak ada lagi penyumbatan pipa.
- *Instrument Air Reservoir*
Instrument Air Reservoir atau tangki (G-41) merupakan tangki tempat penyimpanan udara yang digunakan untuk mengontrol *valves*, bekerja secara kontinyu. Tangki ini berbentuk silinder tegak yang dapat menyimpan udara namun tidak memerlukan tempat besar. Tangki ini memiliki volume 1 m³ dan beroperasi pada tekanan 9 kg/cm². *System control* pada alat ini yaitu *Pressure Indikator Alarm*.

- *Silencer*

Silencer (A-123) merupakan sebuah unit yang digunakan untuk meredam suara gas yang dibuang ke atmosfer. Prinsip kerjanya adalah ketika terdapat gas berlebih pada sistem, gas tersebut akan dialirkan menuju *silencer* tangki sebelum akhirnya dibuang ke lingkungan. Sehingga gas buang dari sistem mengalami penaikan tekanan dan penurunan kecepatan aliran dan tidak menghasilkan suara bising ketika dibuang ke lingkungan.

- *Main Heat Exchanger*

Heat Exchanger (E-211) merupakan alat penukar kalor dengan sistem isolasi perlite yang digunakan untuk mendinginkan udara dengan *return gas* (oksigen, nitrogen, *waste gas*, *crude argon*) sebagai media pendingin. Prinsip kerjanya adalah udara dari *Molecular Sieve Adsorber* akan mentransfer ke *return gas* yang bersuhu lebih rendah melalui plat dan fin. Unit ini memiliki desain yang *compact*, jumlah port yang banyak dan memiliki efektifitas perpindahan panas yang tinggi serta beroperasi secara kontinyu. Pada unit ini terdapat *system control* yaitu, *Flow Indication Control*, *Pressure Indicator Control*, *Temperature Control*, dan *Quality Indicator Alarm*.

Tabel 4.5 Kondisi Operasi Pada *Main Heat Exchanger*

Tekanan (Kg/cm ²)	Nilai	Temperature (°C)	Nilai
Gas udara	5,3	Udara masuk	15
Gas nitrogen dari <i>Subcooler</i>	6,5	Udara cair keluar	-173,5
<i>Waste gas</i>	0,077	Gas nitrogen dari <i>Subcooler in</i>	-172,8
Gas oksigen	0,57	Gas nitrogen dari <i>Subcooler out</i>	8,5
Gas nitrogen	5	<i>Waste gas in</i>	-173
<i>Liquid raw argon</i>	3,2	<i>Waste gas out</i>	13,8
		Gas oksigen masuk	-179
		Gas oksigen keluar	12
		Gas nitrogen dari kolom masuk	-173,5
		Gas nitrogen dari kolom keluar	-2,5
		<i>Liquid raw argon</i> masuk	-175,4

- Kolom Rektifikasi

Kolom Rektifikasi atau kolom Distilasi (D-210) merupakan kolom yang digunakan untuk memisahkan udara menjadi Oksigen, Nitrogen dan *Raw Argon*. Kolom ini dibagi menjadi dua bagian dalamnya yaitu, kolom atas, kolom bawah (Teisan KK), terdapat *main condenser* (Sumitomo Precision Co., Ltd, Japan) dan menggunakan sistem isolasi Perlite. Unit ini beroperasi secara kontinyu. Kolom atas memiliki dimensi *inner diameter* sebesar 1,3 m, dengan tinggi 8 m, memiliki jumlah *tray actual* sebanyak 47 dan kolom bawah memiliki dimensi *inner diameter* 1,25 m, tinggi 19 m, dan memiliki *tray actual* 116 *tray*. Unit ini memiliki karakteristik diantaranya memiliki kapasitas yang tinggi, mudah dalam perawatan, dan dapat dilakukan pengambilan aliran walaupun dari tengah bagian kolom. Memiliki *system control* yaitu, *Temperatur Indicator Control*, *Pressure Indicator Control*, *Level Indicator Control*, *Quality Indicator*, dan *Flow Indicator Control*. Kondisi operasi pada kolom rektifikasi ditampiplkan pada tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Kondisi Operasi Pada Kolom Rektifikasi

Kolom	Tekanan (Kg/cm ²)	Level (%)
Kolom atas	0,57	57,6
Kolom bawah	5	74,1

- *Subcooler*

Subcooler merupakan alat penukar kalor (E-214) yang berfungsi mendinginkan udara cair dari kolom bawah rektifikasi, nitrogen cair, dan *Main Condenser* dan oksigen cair dari kolom atas rektifikasi dengan gas nitrogen. Bentuk dan karakteristik *Subcooler* ini sama seperti pada penukar kalor *Main Heat Exchanger* namun berbeda pada dimensi yang lebih kecil. Terdapat *system control* yaitu *Temperature Indicator Control* dan menggunakan sistem isolasi Perlite.

- *Nitrogen Subcooler*

Alat penukar kalor pada kolom rektifikasi atau *Nitrogen Subcooler* (E-06) buatan Sumitomo Precition Co., Ltd, Japan merupakan penukar kalor dengan tipe *plate-fin* yang berfungsi untuk mendinginkan gas Nitrogen (-177°C) yang keluar dari kolom rektifikasi sehingga fasenya berubah menjadi *Liquid Nitrogen* (-191°C). Media pendingin dalam *Nitrogen Subcooler* ini adalah *Liquid Nitrogen* dari *Subcooler* (E-02). Unit ini beroperasi secara kontinyu, terdapat *system control* yaitu *Temperature Indicator Control (TIC)* dan memiliki system isolasi *Cold Box (Perlite)*.

- *Liquified Gas Drainage Tank*

Liquified Gas Drainage Tank merupakan tangki dengan kapasitas besar yang digunakan sebagai tempat pembuangan produk cair yang tidak memenuhi standar produksi. Dengan adanya *Liquified Gas Drainage Tank* ini, proses pembuangan produk cair akan menjadi lebih mudah karena fase yang dikeluarkan kepada lingkungan sudah berubah menjadi gas serta aman bagi lingkungan. Tangki ini berbentuk *vertically cylindrical* dengan dimensi

diameter sebesar 2 m, tinggi sebesar 5 m dengan volume 16 m³ dan unit ini beroperasi secara kontinyu.

- *Liquid Oxygen Delivery Pump*

Liquid Oxygen Delivery Pump (G-213) merupakan pompa buatan Cryoster, Prancis yang digunakan untuk menaikkan tekanan pada *Liquid Oxygen* agar fluida dapat dialirkan dari kolom rektifikasi menuju kepada tangki penyimpanan. Tipe pompa ini adalah pompa sentrifugal dengan kapasitas sebesar 2.600 L/jam, tinggi *head* pompa sebesar 40 m dan spesifikasi motor 2,2 kW. Terdapat 2 set pompa, 1 pompa beroperasi dan tersedia 1 pompa cadangan apabila terjadi *trouble* pada pompa 1. Pada unit ini terdapat *system control* yaitu *Pressure Valve* dan *Pressure Indicator Safety*.

- *Warm Expansion Turbine*

Warm Expansion Turbine (N-310 A) buatan Cobe Steel Co., Ltd, Japan merupakan turbin yang digunakan untuk mengekspansi gas Nitrogen yang disirkulasikan sehingga terjadi penurunan suhu. Tipe turbin ini adalah *Radial Flow Single Stage Turbine*, berkapasitas sebesar 7.070 Nm³/jam dengan penggerak *Booster*. Pada unit ini terdapat *Aftercooler* yang berfungsi untuk menurunkan suhu gas nitrogen dengan media pendingin yaitu *Water Cooler* dan memiliki *system control Variable Nozzle, Pressure Indicator, Temperature Indicator, Flow Indicator Control*, dan *Speed Indicator*. Seluruh sistem pada unit di isolasi menggunakan isolasi Perlite. Kondisi operasi pada WET ditampilkan pada tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Kondisi Operasi Pada *Warm Expansion Turbine*

	Temperatur (°C)	Tekanan (kg/cm ²)
N ₂ masuk dari RNC Heat Exchanger	1,3	50
N ₂ keluar dari RNC Heat Exchanger	-104,2	30

- *Cold Expansion Turbine*

Cold Expansion Turbine (N-310B) buatan Cobe Steel Co., Ltd, Japan merupakan turbin yang digunakan untuk mengekspansi gas Nitrogen yang telah disirkulasi sehingga terjadi penurunan suhu. Unit ini beroperasi secara kontinyu dengan tipe turbine *Radial Flow Single Stage Turbine*. Terdapat *Aftercooler* dan *system control Variable Nozzle, Pressure Indicator, Temperature Indicator, Flow Indicator Control*, dan *Speed Indicator*. Seluruh sistem pada unit di isolasi menggunakan isolasi Perlite. Kondisi operasi pada CET ditampilkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Kondisi Operasi Pada *Cold Expansion Turbine*

	Temperatur (°C)	Tekanan (kg/cm ²)

N ₂ masuk dari <i>RNC Heat Exchanger</i>	-108,8	50
N ₂ keluar dari <i>RNC Heat Exchanger</i>	-175,7	30

- *Recycle Nitrogen Heat Exchanger*

Heat Exchanger atau alat penukar kalor pada *Recycle Nitrogen Unit* berfungsi untuk mendinginkan gas Nitrogen dari *Main Heat Exchanger*. *Heat Exchanger* ini memiliki tipe *Plate-fin*, beroperasi secara kontinyu dan terdapat *system control* yaitu *Pressure Indicator Control*, *Temperature Indicator* dan *Flow Indicator Control*. Unit ini terisolasi menggunakan isolasi perlite. Tabel 4.9 ditunjukkan kondisi operasi pada *R.N Heat Exchanger*.

Tabel 4.9 Kondisi Operasi Pada *Recycle Nitrogen Heat Exchanger*

	Suhu N ₂ in (°C)	Suhu N ₂ out (°C)
Dari <i>WET Booster</i>	95,94	1,3
Dari <i>CET Booster</i>	89,53	-108,8
Ke Kolom Rektifikasi		-162,8
Ke <i>Recycle Nitrogen Compressor</i>		39,6

- *Recycle Nitrogen Compressor*

Recycle Nitrogen Compressor (G-311) buatan Cobe Steel Co., Ltd, Japan merupakan kompresor yang digunakan untuk menaikkan tekanan pada gas Nitrogen agar dapat disirkulasi dari kolom rektifikasi untuk dijadikan sebagai media pendingin. Tipe kompresor ini adalah *Centrifugal Compressor* dengan kapasitas sebesar 24.700 Nm³/jam. Unit ini dilengkapi dengan alat *Pressure Indicator Control*, *Temperature Control*, *Flow Indicator Control* sebagai sistem control dan terisolasi dengan isolator *Rockwool*. Kompresor ini memiliki sistem pendingin yang menggunakan air pendingin sebagai media pendinginnya. Kondisi operasi pada *RNC* ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Kondisi Operasi Pada *Recycle Nitrogen Compressor*

	Tekanan (kg/cm ²)	Temperature (°C)
<i>Suction</i>	4,6	37
<i>Discharge</i>	29,17	40

- *Crude Argon Column*

Crude Argon Column atau Kolom Destilasi (D-410) buatan Teisan KK, Japan merupakan kolom destilasi yang berfungsi untuk memisahkan *Feed Argon* menjadi *Liquid Crude Argon* dan *Liquid Enriched Oxygen*. Tipe

kolom ini adalah *Sieve Tray* dengan kapasitas besar, memiliki dimensi kolom dengan diameter dalam sebesar 0,85 m dan tinggi 15.570 m, *Pressure drop* sebesar 1,468 mmH₂O. Terdapat alat *Quality Indicator*, *Pressure Difference Indicator*, *Level Indicator* dan *Flow Indicator Control* serta di isolasi menggunakan isolator *Cold Box (Perlite)*.

- *Pure Argon Column*

Pure Argon Column atau Kolom Destilasi (D-440) pada *Argon Column* adalah kolom destilasi yang digunakan untuk memurnikan gas *Dry Argon*. Didalamnya terdapat *Pure Argon Condenser* dan *Pure Argon Reboiler*. Sama seperti *Crude Argon Column*, kolom ini memiliki tipe *Sieve Tray*, dengan kapasitas besar, dimensi kolom ini memiliki dimensi dengan diameter dalam sebesar 0,22 m, tinggi 6,804 m. Terdapat alat *Pressure Difference Indicator*, *Pressure Indicator Control*, *Quality Indicator Alarm* dan *Level Control* sebagai sistem control dan di isolasi menggunakan isolator *Cold Box (Perlite)*.

- *Argon Heat Exchanger*

Alat penukar kalor *Argon Heat Exchanger* (E-441) buatan Sumitomo Precision Co., Ltd, Japan ini berfungsi untuk mendinginkan atau menurunkan suhu temperature dari gas *Dry Argon* yang keluar dari *Argon Dryer*. Unit ini beroperasi secara kontinyu, tabel 4.11, dengan tipe alat yaitu *Plate-fin*. Terdapat *Pure Argon Condenser* dan *Pure Argon Reboiler* didalamnya dan memiliki *system control* yaitu *Temperature Indicator Control*. Unit ini diisolasi menggunakan isolator *Cold Box (Perlite)*.

Tabel 4.11 Kondisi Operasi Pada *Argon Heat Exchanger*

	Temperature In (°C)	Temperature Out (°C)
<i>Dry Argon</i>	-	-182,1
<i>Waste gas</i>	-	-58

- *Argon Dryer*

Argon Dryer (D-430) buatan Hirata Kikan Seikusho Co. Ltd, Japan merupakan suatu alat adsorben yang berfungsi untuk menghilangkan uap air yang terkandung di dalam gas Argon setelah gas Argon keluar dari *Argon Cooler*. Unit ini memiliki tipe adsorben *Gel Packed Vessel (Fixed Bed)* dengan jenis adsorbennya adalah *Silica Gel*. Terdapat 2 unit *Argon Dryer*, *Dryer* pertama digunakan sebagai adsorben aktif beroperasi dan *Dryer* kedua digunakan sebagai adsorben cadangan ketika *Argon Dryer* 1 sedang regenerasi. Lamanya waktu beroperasi adalah 12 jam, dengan suhu operasi 65 °C dan tekanan sebesar 3 kg/cm². Terdapat alat – alat seperti *Time Scheduled Valve*, *Quality Indicator Alarm*, *Temperature Indicator Alarm* dan *Pressure Indicator Safety Switch* sebagai sistem control. Unit ini di isolasi menggunakan isolator *Rockwool*.

- *Argon Purifier*
Argon Purifier (R-420) merupakan reaktor yang digunakan untuk mengurangi kadar Oksigen dalam gas Argon dengan cara mereaksikannya dengan Hidrogen. Tipe unit ini adalah *Catalist Packed Vessel (Fixed Bed)* dengan katalis Palladium. Terdapat *system control* yaitu *Temperature Indicator Control*, *Flow Indicator Control* dan *Quality Indicator Control*. Unit ini di isolasi menggunakan isolator *Rockwool*. Berdasarkan alat pengukur, suhu di dalam reaktor sebesar 388,4°C dan tekanan gas *Raw Argon* masuk sebesar 3,2 kg/cm².
- *Argon Cooler*
Argon Cooler (E-423) atau alat penukar kalor yang berfungsi untuk memanaskan gas Nitrogen yang digunakan sebagai medium pemanas untuk meregenerasi Silica Gel yang terdapat pada *Argon Dryer*. Tipe alat penukar kalor ini adalah *Shell and Tube* dengan sistem pendinginan menggunakan air pendingin. Unit ini dilengkapi dengan *system control* yaitu *Temperature Indicator Alarm* dan menggunakan isolator *Rockwool*.
- *Argon Heater*
Alat penukar kalor *Argon Heater* (E-423) buatan Sumitomo Precision Co., Ltd, Japan merupakan *heater* yang digunakan untuk memanaskan gas Nitrogen yang digunakan sebagai medium pemanas untuk meregenerasi *Silica Gel* yang terdapat pada *Argon Dryer*. Suhu temperature gas Nitrogen yang keluar dari *Argon Heater* sebesar 253,2 °C. Tipe *heater* ini adalah *Sheated Heater* dan dilengkapi dengan *system control* *Temperature Indicator Control*, *Temperature Safety Switch*, dan *Time Schejuled Valve*.
- Tangki Penyimpanan Nitrogen Cair
Tangki (F-216) merupakan tempat penyimpanan *Liquid Nitrogen Product* dengan tipe tangki *Vertically Cylindrical*, memiliki kapasitas sebesar 1.000 Ton, besar volume 1000 m³ dengan dimensi diameter sebesar 5 m dan tinggi 51 m. pada unit ini terdapat *system control* yaitu *Level Indicator*, *Pressure Indicator* dan terisolasi dengan menggunakan isolator *Perlite*.
- Tangki Penyimpanan Oksigen Cair
Tangki (F-217) merupakan tempat penyimpanan *Liquid Oxygen Product* dengan tipe tangki *Vertically Cylindrical*, memiliki kapasitas sebesar 1.000 Ton, besar volume 1000 m³ dengan dimensi diameter sebesar 5 m dan tinggi 51 m. pada unit ini terdapat *system control* yaitu *Level Indicator*, *Pressure Indicator* dan terisolasi dengan menggunakan isolator *Perlite*.
- Tangki Penyimpanan Argon Cair
Tangki (F-444) merupakan tempat penyimpanan *Liquid Argon Product* dengan tipe tangki *Vertically Cylindrical*, memiliki kapasitas sebesar 20 Ton, besar volume 20 m³ dengan dimensi diameter sebesar 2 m dan tinggi 6,5 m. pada unit ini terdapat *system control* yaitu *Level Indicator*, *Pressure Indicator* dan terisolasi dengan menggunakan isolator *Perlite*.

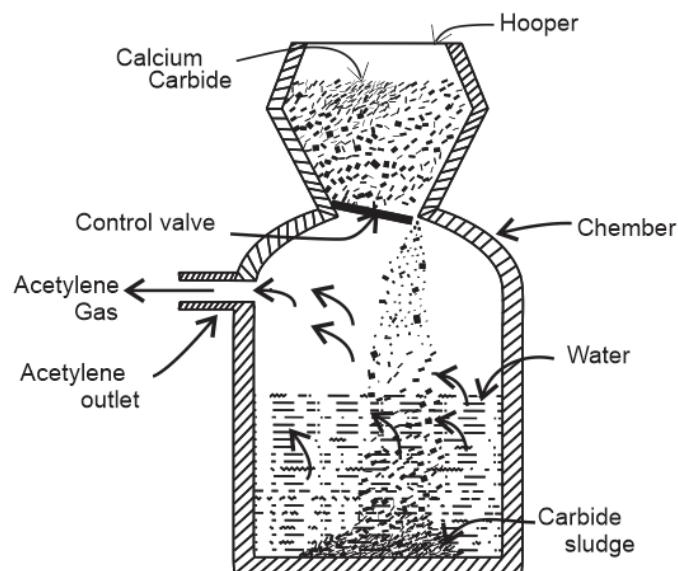
4.3 Acetylene Plant

Asetilena adalah suatu hidrokarbon yang tergolong pada alkuna, dengan rumus kimia C₂H₂. Asetilena merupakan jenis alkuna yang paling sederhana karena hanya

terdiri dari dua atom karbon dan dua atom hidrogen. Bentuk fisik dari *acetylene* adalah berupa gas yang tidak berwarna dan mudah terbakar dengan bau mirip dengan bawang putih. Gas asetilena adalah gas yang paling efisien dalam pembakarannya karena hanya memerlukan oksigen yang sedikit untuk menghasilkan suhu pembakaran yang sangat tinggi. Oleh karena itu, gas asetilena sering digunakan dalam proses pengelasan dan pemotongan logam dalam kehidupan sehari – hari. Terdapat bermacam – macam proses yang digunakan dalam pembuatan gas *acetylene*, yaitu proses BASF, proses *Electrothermic* dari *calcium carbide*, dan proses *Thermal Cracking* dengan *Heat Carriers*. Pada plant *Acetylene* PT. Samator Gresik, metode yang dilakukan dalam pembuatan gas Asetilena adalah *Carbid Reactor*.

4.3.1 Proses Produksi Gas Acetylene

Pada awal proses, batu berukuran 4 cm berbahan dasar *calcium carbide* dimasukkan ke dalam *holder* sebanyak 400 kg *calcium carbide*, kemudian *holder* dipindahkan kedalam tabung reaksi dengan menggunakan motor pengangkut. Dari *holder*, batu kerikil *calcium carbide* dimasukkan ke dalam *subholder*, yaitu tempat penyimpanan bahan reaktan sementara sebelum direaksikan dengan air di dalam reaktor. Terdapat *gate valve* diantara *subholder* dan tabung reaksi yang berfungsi memisahkan dan mengatur keluarnya *calcium carbide* sesuai dengan kadar air di dalam tabung reaktor. Kondisi *valve* terbuka dan tertutup dikendalikan secara manual oleh operator plant dengan menyesuaikan dengan tinggi rendahnya air dalam reaktor yang dapat dilihat pada indikator level air reaktor. Reaksi antara *calcium carbide* dengan air menghasilkan gas Asetilena dan air kapur (limbah). Air kapur kemudian dialirkan menuju ke penyimpanan limbah dan dilakukan pemurnian hasil reaksi gas Asetilena.



Gambar 4.6 *Chamber Reactan*
(Sumber: **Weldtech, 2021**)

4.4 Hydrogen Plant

Hydrogen Plant pada PT. Samator telah lama berdiri sejak tahun 1997 dan merupakan plant yang dapat memproduksi gas Hidrogen dan CO₂. Produk utamanya adalah Hidrogen

dengan kemurnian sebesar 99,99% namun juga menyediakan produk yang disesuaikan berdasarkan permintaan pelanggan. PT Samator Gresik juga menyediakan gas CO₂ (untuk *food grade*). *Hydrogen Plant* memiliki beberapa proses tahapan – tahapan dalam proses produksinya diawali dengan proses *supply gas* alam menjadi produk gas Hidrogen dan CO₂ sampai mencapai kemurniaan produk yang diinginkan. Tahapan – tahapan dalam membuat gas Hidrogen dan CO₂ adalah sebagai berikut:

4.4.1 Proses Produksi Gas Hidrogen dan CO₂

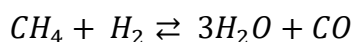
Proses produksi gas hydrogen dan gas CO₂ pada PT. Samator diuraikan pada subbab dibawah

4.4.1.1 Feed Pre - Treatment

Natural gas yang di supply dari Pgn (Perusahaan Gas Negara) dengan tekanan sebesar 3 kg/cm² dikompresi menggunakan kompresor torak hingga tekanannya mencapai 17,5 kg/cm². *Natural gas* yang sudah dikompresi kemudian masuk ke dalam plant dan dibagi menjadi dua aliran, untuk *feed* (bahan baku) dan sebagai *fuel* (untuk bahan bakar pada *Reformer*). Aliran yang digunakan sebagai bahan baku kemudian dicampur dengan H₂ dan dipanaskan di dalam *Ecominizer* (E-20) dan dijadikan sebagai media pendingin untuk aliran produk yang keluar dari *CO₂ converter*. Setelah dari *Ecominizer*, campuran tersebut diumpankan ke dalam sebuah *Desulfurisation* (R-10) untuk menghilangkan zat sulfur yang terkandung di dalamnya.

4.4.1.2 Proses Pembentukan Hidrogen pada Reformer Furnace

Natural gas yang telah mengalami desulfurisasi kemudian dicampur dengan proses *steam* dengan tekanan sekitar 24 kg/cm² dan temperatur sebesar 210°C yang dialirkan dari *Boiler* untuk selanjutnya dipanaskan dalam *Feed Superheater* (E-10) dengan temperature 520°C. campuran *feed gas* dan *steam* dengan temperature sebesar 432°C kemudian dialirkan ke dalam *Steam Reforming Furnace* (F-10). Di dalam *Reformer Furnace*, campuran *feed gas* dipanaskan dengan temperature sebesar 980°C sehingga campuran *feed gas* mengalami reaksi dan kenaikan temperatur dari 432°C menjadi 838°C. hasil reaksi setelah melalui *reformer* adalah sebagai berikut:



Feed gas kemudian dialirkan menuju ke *Boiler*. Di dalam *Boiler*, *feed gas* mengalami penurunan temperatur menjadi 500°C dan dijadikan sebagai media pemanas untuk memanaskan air dari *heat exchanger* (E-21) untuk dijadikan *steam*. *Feed gas* kemudian dialirkan menuju ke *CO converter* untuk merubah senyawa CO dalam kandungan *feed gas* menjadi CO₂ dengan menggunakan katalis ferro.

4.4.1.3 Penurunan Panas dalam Ecominizer

Produk gas Hidrogen dan CO₂ dari *CO converter* kemudian dialirkan menuju ke *Ecominizer* (E-20) untuk diturunkan temperature nya dari 500 °C menjadi 400 °C didinginkan menggunakan media pendingin natural gas. Dari E-20, produk dialirkan menuju ke E-21 untuk diturunkan temperaturnya menjadi 300 °C menggunakan media pendingin *Boiler Feed Water*. Produk dari E-21 kemudian dialirkan menuju

ke E-22 untuk diturunkan temperaturnya menjadi 200°C dengan menggunakan media pendingin *Denim water*. Produk dari E-22 kemudian dialirkan menuju ke E-23 untuk diturunkan temperaturnya menjadi 35°C dengan menggunakan media pendingin *Cooling water*. Setelah mencapai temperatur yang diinginkan (35°C), kemudian produk dialirkan menuju *Knock Out Drum* untuk memisahkan produk dari kondensat dan menghasilkan produk gas H₂ dan CO₂ kering dengan temperature 35°C. kondensat akan dialirkan menuju ke tandon air sebagai cadangan air yang akan digunakan untuk *Boiler Feed Water*.

4.4.1.4 Pemurnian Hidrogen

Produk gas kering yang memiliki kandungan gas Hidrogen dan CO₂ kemudian dialirkan menuju ke *PSA (Pressure Swing Adsorption)* sebagai pemurnian gas Hidrogen. Gas Hidrogen akan dipisahkan dari *impurities* gas lain seperti H₂O, CO₂, CO, dan CH₄ yang tidak bereaksi. Di dalam *vessel PSA* yang berbentuk *vertically cylindrical*, terdapat tiga jenis adsorben, mulai dari adsorben yang terdapat pada posisi paling bawah yaitu, *Activated Alumina*, *Activated Carbon*, dan *Molecular Sieve*. *Activated Alumina* berfungsi menyerap *impurities* gas H₂O, *Activated Carbon* berfungsi menyerap gas CH₄, dan *Molecular Sieve* berfungsi untuk menyerap kandungan CO₂. *PSA* ini terdiri dari 4 *vessel adsorber* yang digunakan sebagai pemurnian gas, 4 *vessel* tersebut memiliki kerja masing – masing agar *PSA* dapat beroperasi secara kontinyu, masing – masing kerja *vessel* tersebut adalah sebagai berikut:

- *Adsorption*

Impurities dari gas proses akan diserap oleh *adsorben* dan H₂ akan keluar dengan kemurnian 99,99% dengan *impurities* berupa CH₄, dan CO₂.

- *Regeneration*

Proses ini dimulai dengan proses *Depressurizing* (penurunan tekanan pada *vessel*) yang dilakukan sebanyak empat tahap.

- *Purging*

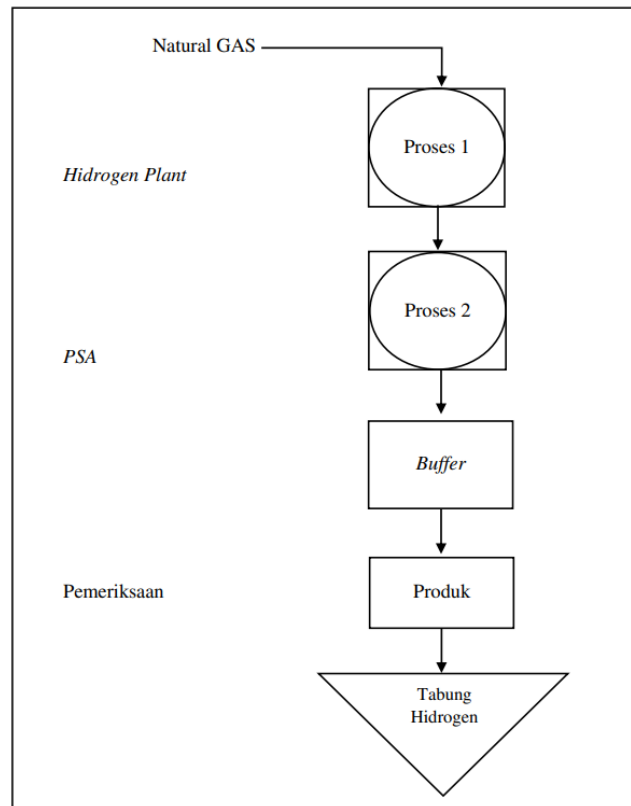
Proses ini akan menyaring gas dan menghasilkan *purge gas* dan dimasukkan dalam *Buffer Purge Gas (D-30)* untuk digunakan sebagai bahan baku CO₂ Plant dan bahan bakar pada *Burner Reformer*.

- *Repressurizing*

Proses ini akan menaikkan tekanan sampai mencapai tekanan operasi adsorpsi sebesar 14 kg/cm² yang didapatkan dengan mentransfer tekanan yang dihasilkan dari proses *adsorption* pada *vessel*.

Ke-4 *vessel PSA* ini sudah memiliki *instrument valve* yang otomatis dan terintegrasi dengan personal computer operator Plant yang akan memudahkan proses produksi. Gas Hidrogen dengan kemurnian 99,99% kemudian dialirkan menuju *Hidrogen Analyzer*. Gas Hidrogen dengan kemurnian ppm >5 akan dibuang ke lingkungan dan yang memiliki kemurnian dengan ppm <5 akan dialirkan menuju ke *Buffer Tank* yang berisi gas Hidrogen murni. Gas *impurities* berupa gas CO₂, CH₄, CO, H₂ yang terdapat pada *Buffer Purge Gas* akan dialirkan menuju ke *CO₂ removal*

untuk memisahkan gas CO₂ sebelum dialirkan menuju ke *Burner Reformer*. Selanjutnya, gas CO₂ dari *CO₂ removal* akan dialirkan menuju ke tangki penyimpanan gas CO₂ dan siap didistribusikan.



Gambar 4.7 Proses Produksi Gas Hidrogen
(Sumber: Alqarina, 2017)

4.5 Pembahasan Tugas Khusus

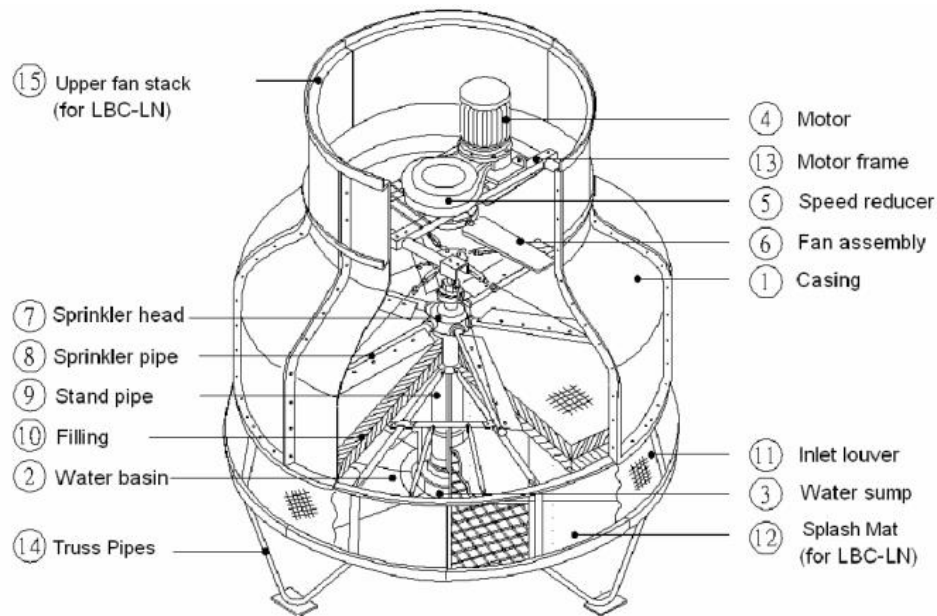
4.5.1 Waste Gas

Waste gas merupakan suatu limbah gas yang dihasilkan oleh *Air Separator Plant (ASP)* dalam proses pembuatan Oksigen, Hidrogen, dan Argon. Gas buang ini merupakan campuran berbagai macam senyawa yang merupakan senyawa penyusun udara meliputi Nitrogen, Oksigen, Argon serta berbagai macam gas inert. Di *Air Separation Plant (ASP)*, PT. Samator Gresik ini, *waste gas* yang terbentuk pada bagian atas kolom atas rektifikasi dengan tekanan yang rendah ini dipanaskan dalam *heater* dan digunakan untuk regenerasi dalam *M.S Adsorber* dan terdapat *waste gas* yang tidak dipanaskan pula dan digunakan sebagai pendingin pada proses regenerasi *M.S Adsorber*. *Waste gas* yang digunakan untuk proses regenerasi pada *M.S Adsorber* kemudian dibuang ke lingkungan melalui *Silencer* yang dilengkapi dengan peredam. *Waste gas* ini tidak mengandung senyawa yang membahayakan sehingga dapat dibuang ke lingkungan dengan aman *Waste gas* ini memiliki suhu temperatur yang dingin yaitu sebesar 17°C (TI1768) dan memiliki kapasitas yang besar yaitu 2196 Nm³/h (FI1768) dengan tekanan sebesar 0,08 kg/cm² (PIC1768). Dalam Analisa performa penggunaan *waste gas* sebagai media pendingin ini, Sebagian aliran *waste gas* akan di transfer menuju ke *Cooling Tower* menggunakan pipa PVC yang berdiamater Ø 3 inchi dengan

harapan bahwa *waste gas* atau limbah gas ini dapat dimanfaatkan sebagai media pendingin pada *Cooling Tower* dan dapat meningkatkan performa dari *Cooling Tower*.

4.5.2 Cooling Tower

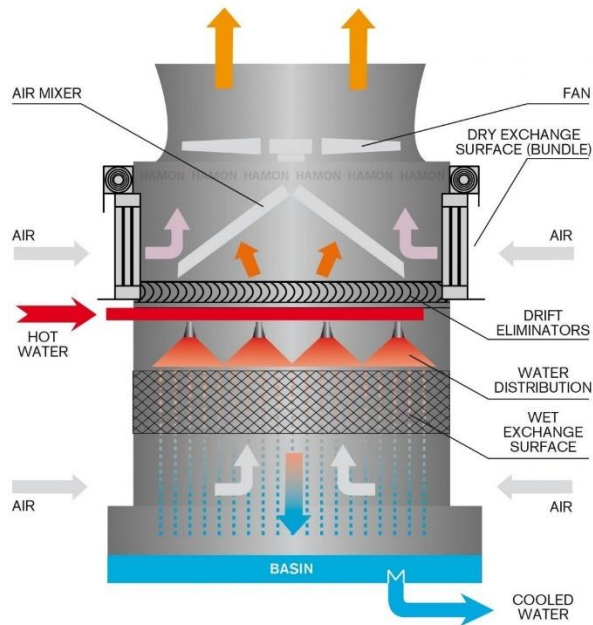
Cooling Tower merupakan tower pendingin yang digunakan untuk mendinginkan air pendingin yang telah digunakan sebagai pendingin udara proses, gambar 4.8. Setelah mendinginkan udara proses, air pendingin suhunya berubah menjadi 40 - 50°C. Agar air pendingin ini dapat digunakan kembali, maka harus didinginkan sampai suhunya menjadi 27°C menggunakan *Cooling Tower*. Air yang keluar dari plant kemudian dimasukkan pada bagian atas dan turun melewati kisi – kisi (*Sprinkler*) dalam *Cooling Tower*. Air yang menuju bagian atas tower tersebut kemudian didinginkan oleh udara yang dihisap dari sisi samping *Cooling Tower* oleh *blower* yang terdapat pada bagian atas tower. Sehingga terdapat perpindahan panas yang di transfer dari air kepada udara secara *counter current* dan terdapat sisa berupa uap air (sekitar 2%).



Gambar 4.8 Komponen – Komponen pada *Cooling Tower LBC LN*
(Sumber: **Group, 1962**)

Karena ada penguapan, maka kandungan udara dalam air semakin tinggi (pekat) dan apabila masuk ke dalam alat proses dapat mengakibatkan kerak yang dapat menyumbat aliran, sehingga dilakukan *blow down* (pembuangan air karena konsentrasi zat terlarut di dalam air pendingin sudah melebihi batas yang diperlukan sehingga perlu dikurangi). *Blow down* yang kontinyu dapat mengurangi atau mengontrol besarnya *dissolved solid* sehingga dapat mengurangi atau mencegah terbentuknya kerak. Jika terjadi kejenuhan pada bak *cooling water*, maka akan dilakukan pengurangan (*vacuum*). Adanya air yang menguap, tertiuap angin, kebocoran, dan *blow down* menyebabkan air pada *Cooling Tower* berkurang. Air yang hilang ini diganti dengan air yang baru sebagai *Make up water* yang berasal dari alat *Reverse Osmosis* dan terdapat penambahan air juga yaitu *Back up water* yang

berasal dari Bak *Softener*. Skematik aliran dan perpindahan panas ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Skematik Perpindahan Panas Pada *Cooling Tower* (Haque, 2013)
(Sumber: **Haque, 2013**)

4.5.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang berusaha untuk memprediksi perpindahan energi yang mungkin terjadi antara benda-benda material sebagai akibat dari perbedaan suhu. Termodinamika mengajarkan bahwa transfer energi ini didefinisikan sebagai panas. Ilmu perpindahan panas tidak hanya mencari untuk menjelaskan bagaimana energi panas dapat ditransfer, tetapi juga untuk memprediksi tingkat di mana pertukaran akan terjadi dalam kondisi tertentu yang ditentukan (Holman, 2010). Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang laju perpindahan panas diantara material atau benda karena adanya perbedaan suhu (panas dan dingin). Perpindahan panas terjadi karena adanya perbedaan suhu. Panas akan mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah. Perpindahan panas (atau panas) adalah energi panas dalam perjalanan karena perbedaan suhu spasial (Becker et al. 2015).

Conduction through a solid or a stationary fluid	Convection from a surface to a moving fluid	Net radiation heat exchange between two surfaces

Gambar 4.10 Mekanisme Perpindahan Panas secara Konduksi, Konveksi, dan Radiasi
(Sumber: Theodore L. Bergman, 2011)

4.5.4 Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah, tetapi media untuk perpindahan panas tetap. Sebuah energi ditransfer secara konduksi dari suhu dengan temperature tinggi ke rendah melalui benda padat atau fluida stasioner dan laju perpindahan per unit area tersebut sebanding dengan suatu gradien suhu normal:

$$\frac{q'_x}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4.1)$$

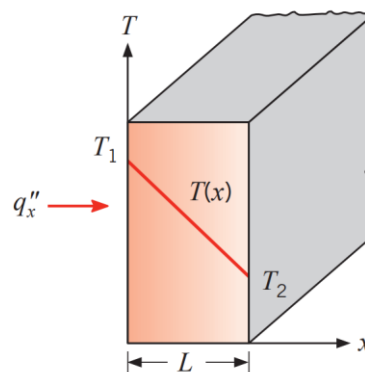
Ketika konstanta proporsionalitas dimasukkan, maka:

$$q'_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4.2)$$

Dimana,

q'_x	: Laju perpindahan panas	(Watt)
A	: Luas permukaan perpindahan panas	(m ²)
k	: Konduktivitas termal dari material	(W/m ² . K)
$\frac{\partial T}{\partial x}$: Gradien suhu dalam arah aliran panas	

Persamaan diatas merupakan persamaan laju energi panas yang dikenal dengan Hukum Fourier untuk menghitung laju perpindahan panas per satuan luas yang tegak lurus terhadap dengan arah perpindahan dan sebanding dengan gradien suhu. Parameter k merupakan konduktivitas termal dan merupakan karakteristik dari material atau bahan dinding yang menjadi media rambatan panas. Tanda minus dalam persamaan ini merupakan konsekuensi berdasarkan fakta bahwasannya energi panas ditransfer kea rah penurunan suhu.



Gambar 4.11 Perpindahan Panas Satu Dimensi secara Konduksi

(Sumber: **Theodore L. Bergman, 2011**)

Proses perpindahan panas juga dapat digunakan untuk menghitung jumlah energi yang ditransfer per satuan waktu tanpa adanya bangkitan panas dengan persamaan Heat Flux dari Hukum Fourier yang di ekspresikan sebagai:

$$q''_x = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4.3)$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (4.4)$$

Maka,

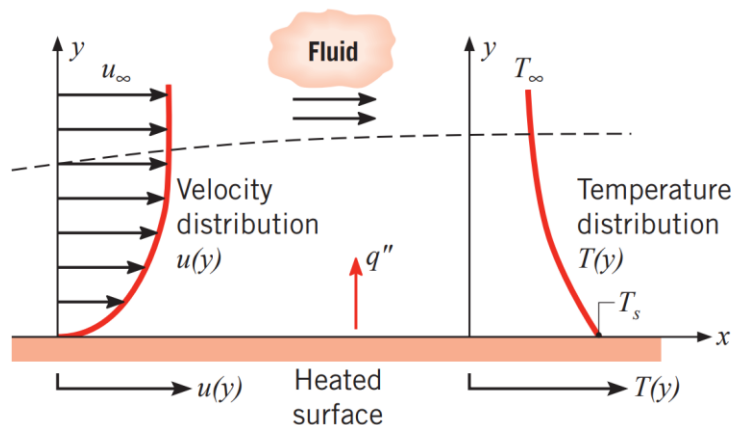
$$q''_x = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (4.5)$$

Dimana,

- q''_x : Laju perpindahan panas per satuan waktu (W/m)
- k : Konduktivitas termal dari material (W/m². K)
- ΔT : Perbedaan suhu temperatur (°K)
- L : Tebal dinding (m)

4.5.5 Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan panas dimana cairan atau gas yang suhunya tinggi mengalir ke tempat yang suhunya lebih rendah, memberikan panas pada permukaan yang suhunya lebih rendah. Perpindahan panas terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya. Jadi perpindahan panas konveksi ini memerlukan media penghantar panas berupa fluida (cairan atau gas). Mode perpindahan panas secara konveksi juga terdiri dari dua mekanisme yaitu dengan Gerakan molekul secara acak (difusi), dan di transfer secara gerakan massal fluida di dalam lapisan batas.



Gambar 4.12 *Boundary Layer* pada Perpindahan Panas Konveksi

(Sumber: **Theodore L. Bergman, 2011**)

Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui 2 cara yaitu:

1. Konveksi Bebas / Konveksi Alamiah (*Natural Convection*)

Adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya. Contoh: plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa adanya sumber Gerakan dari luar.

2. Konveksi Paksaan (*Forced Convection*)

Adalah perpindahan panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan oleh adanya tenaga dari luar. Contoh: plat panas dihembus udara dengan kipas atau blower. Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konveksi adalah hukum Newton terhadap pendinginan. Hukum Newton dinyatakan dengan:

$$q'_c = h_c A (T_w - T_s) \quad (4.6)$$

$$q''_c = h_c (T_w - T_s) \quad (4.7)$$

Dimana,

q'_c	: Laju perpindahan konveksi	(Watt)
q''_c	: Laju perpindahan panas per satuan luas, Heat flux	(W/m ²)
h_c	: Koefisien perpindahan konveksi	(W/m ² . K)
A	: Luas permukaan perpindahan panas	(m ²)
T_w	: Suhu temperature dinding	(°K)
T_s	: Suhu temperatur permukaan	(°K)

4.5.6 Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran, sinaran, radiasi gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas radiasi berlangsung elektromagnetik dengan Panjang gelombang pada interval tertentu. Jadi perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media, sehingga perpindahan panas dapat berlangsung dalam ruangan hampa udara (*Vacuum*). Benda yang dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut dengan radiator dan dikenal dengan benda hitam (*black body*). Sedangkan benda yang tidak dapat memancarkan panas dengan sempurna disebut dengan benda abu – abu (*gray body*). Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas radiasi adalah hukum Stefan Boltzman dinyatakan dengan:

$$q_r = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (4.8)$$

Dimana,

q_r	: Laju perpindahan panas radiasi	(Watt)
σ	: Konstanta Stefan – Boltzman	(5,669 x 10 ⁻⁸ W/m ² . K ⁴)
A	: Luas permukaan	(m ²)
T	: Suhu absolut benda	(°K)

ε : Emisivitas

4.5.7 Perpindahan Panas Dalam Keadaan Steady State Satu Dimensi

Distribusi suhu pada suatu benda bisa terjadi pada tiga arah dan dipengaruhi oleh waktu. Jika distribusi suhu dipengaruhi oleh waktu, maka disebut dengan perpindahan panas dalam kondisi *unsteady state (transient)*. Tetapi jika distribusi suhu tidak dipengaruhi oleh waktu disebut perpindahan panas dalam keadaan *steady state*. Perpindahan panas satu dimensi merupakan perpindahan panas yang terjadi hanya pada satu arah, demikian juga jika perbedaan suhu terjadi pada dua atau tiga arah maka disebut perpindahan panas dua atau tiga dimensi. Perbedaan suhu pada perpindahan panas konduksi meliputi tiga koordinat yaitu koordinat Cartesian (bidang datar, x,y,z), koordinat silinder (r,z,θ), dan koordinat bola (r,θ,φ),

Persamaan *Fourier* untuk ketiga koordinat dapat dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial parsial sebagai berikut:

- Koordinat Kartesian

$$\text{Arah x} \quad q'_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4.9)$$

$$\text{Arah y} \quad q'_y = -kA \frac{\partial T}{\partial y} \quad (4.10)$$

$$\text{Arah z} \quad q'_z = -kA \frac{\partial T}{\partial z} \quad (4.11)$$

- Koordinat Silinder

$$\text{Arah r} \quad q'_r = -kA \frac{\partial T}{\partial r} \quad (4.12)$$

$$\text{Arah } \theta \quad q'_\theta = -kA \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad (4.13)$$

$$\text{Arah z} \quad q'_z = -kA \frac{\partial T}{\partial z} \quad (4.14)$$

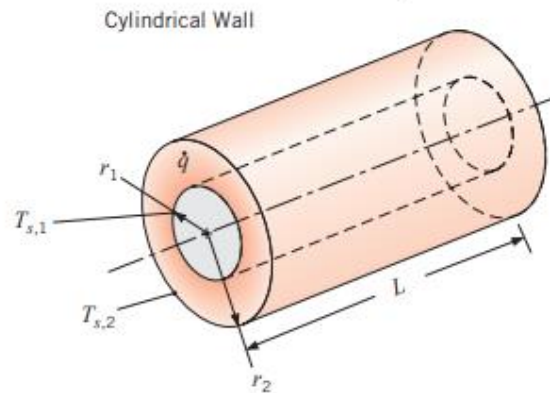
- Koordinat Bola

$$\text{Arah r} \quad q'_r = -kA \frac{\partial T}{\partial r} \quad (4.15)$$

$$\text{Arah } \theta \quad q'_\theta = -kA \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad (4.16)$$

$$\text{Arah } \phi \quad q'_\phi = -kA \frac{\partial T}{\partial \phi} \quad (4.17)$$

4.5.8 Perpindahan Panas Konduksi pada Silinder Berongga



Gambar 4.13 Mekanisme Perpindahan Panas Konduksi Pada Silinder Berongga
(Sumber: **Theodore L. Bergman, 2011**)

Untuk silinder berongga yang memiliki Panjang sangat besar dibandingkan dengan diameternya, dapat kita asumsikan bahwa aliran panas berlangsung menurut arah radial, sehingga koordinat ruang yang kita perlukan untuk menentukan system itu hanyalah r .

Luas bidang aliran panas dalam system silinder ini adalah:

$$A_r = 2\pi rL \quad (4.18)$$

Sehingga persamaan laju perpindahan panasnya menjadi:

$$q_r = \frac{2\pi kL (T_{s,1} - T_{s,2})}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)} \quad (4.19)$$

Tahanan termal untuk konduksi radial pada silinder berongga adalah:

$$R_{t,cond} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi rL} \quad (4.20)$$

4.5.9 Sistem Tahanan Termal

Persamaan laju perpindahan panas satu dimensi dengan kondisi steady melalui dinding bidang dengan ketebalan L , luas permukaan A , dan konduktivitas termal k , yang terdapat konveksi kepada kedua sisi fluida pada suhu tertentu dengan koefisien konveksi h dapat di ekspresikan sebagai berikut (Cengel and Ghajar 2006):

$$\dot{Q} = h_1 A (T_{\infty 1} - T_1) = kA \frac{T_1 - T_2}{L} = h_2 A (T_{\infty 2} - T_2) \quad (4.21)$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{1/h_1 A} = \frac{T_1 - T_2}{L/kA} = \frac{T_{\infty 2} - T_2}{1/h_2 A} \quad (4.22)$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{conv,1}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{wall}} = \frac{T_{\infty 2} - T_2}{R_{conv,2}} \quad (4.23)$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (4.24)$$

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{total}} \quad (4.25)$$

Persamaan diatas dapat ditulis menjadi:

$$\Delta T = \dot{Q} R_{total} \quad (4.26)$$

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{wall} + R_{conv,2} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2 A} \quad (4.27)$$

Dimana,

$R_{conv,1}$: Tahanan termal karena perpindahan panas konveksi antara fluida di dalam saluran dan dinding saluran bagian dalam (W⁻¹)

R_{wall} : Tahanan termal dari dinding saluran pipa (W⁻¹)

$R_{conv,2}$: Tahanan termal karena perpindahan panas secara konveksi antara dinding saluran bagian luar dengan fluida di luar saluran (W⁻¹)

Dalam analisis ini, batasan system analisis dibatasi sampai dengan permukaan luar dinding pipa, dimana pipa pvc ini memiliki bentuk dinding dengan profil silinder berongga. Perlu diadakan pengukuran suhu temperature terhadap permukaan luar pipa. Persamaan tahanan termal totalnya menjadi sebagai berikut:

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{wall} \quad (4.28)$$

$$R_{total} = \frac{1}{hA_1} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_{pvc} L} \quad (4.29)$$

Dimana,

h : Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m². K)

A : Luas permukaan pipa bagian dalam (m²)

r_2 : Jari – jari luar pipa (m)

r_1 : Jari – jari dalam pipa (m)

k_{pvc} : Konduktivitas termal pipa pvc (W/m². K)

L : Panjang pipa (m)

Dalam hukum Pendinginannya Newton juga terdapat persamaan dalam menghitung perpindahan panas dengan ekspresi sebagai berikut:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} \quad (4.30)$$

$$\dot{Q} = UA\Delta T \quad (4.31)$$

Dimana U adalah koefisien perpindahan panas menyeluruh dengan satuan ($W/m^2 \cdot K$). Maka persamaan diatas juga dapat ditulis:

$$UA = \frac{1}{R_{total}} \quad (4.32)$$

Dalam hukum Kekekalan Massa pada ilmu Termodinamika tertulis bahwa:

$$Q_{in} - Q_{out} = Q_{stored} \quad (4.33)$$

Dimana Q_{in} adalah jumlah panas yang masuk ke dalam system (Watt) dan Q_{out} adalah jumlah panas yang keluar dari dalam system (Watt). Panas yang disimpan oleh fluida selama mengalir dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$Q = \dot{m}C_p\Delta T \quad (4.34)$$

Dimana,

\dot{m}	: Laju aliran massa	(kg/s)
C_p	: Kalor jenis	(J/kg. C)
ΔT	: Perubahan suhu temperature pada fluida	(°K)

Koefisien konveksi antara dinding pipa bagian dalam dan fluida waste gas dapat ditentukan berdasarkan persamaan:

$$h = \frac{k_{pvc}Nu}{D_h} \quad (4.35)$$

Dimana,

h	: Koefisien perpindahan panas konveksi	(W/m)
k_a	: Konduktivitas termal material pipa	(W/m. K)
D_h	: Diameter hidrolis	(m)
Nu	: <i>Nusselt number</i>	

4.5.10 Nusselt Number

Bilangan Nusselt menyatakan perbandingan antara perpindahan panas konveksi pada suatu lapisan fluida dibandingkan dengan perpindahan panas konduksi pada lapisan fluida tersebut. Bilangan Nusselt dapat dihitung berdasarkan karakteristik alirannya, untuk jenis aliran turbulen di dalam pipa Panjang persamaannya adalah:

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \quad (4.36)$$

Dimana,

Re	: Bilangan Reynold
Pr	: Bilangan Prandtl
n	: 0,4 untuk proses memanaskan fluida

dan besarnya nilai konstanta C dan m untuk jenis aliran turbulen pada *tube circular* berdasarkan persamaan dari DittusBoelter (Bergman et al. 2011) adalah 0,023 dan 0,8.

4.5.11 Reynold Number

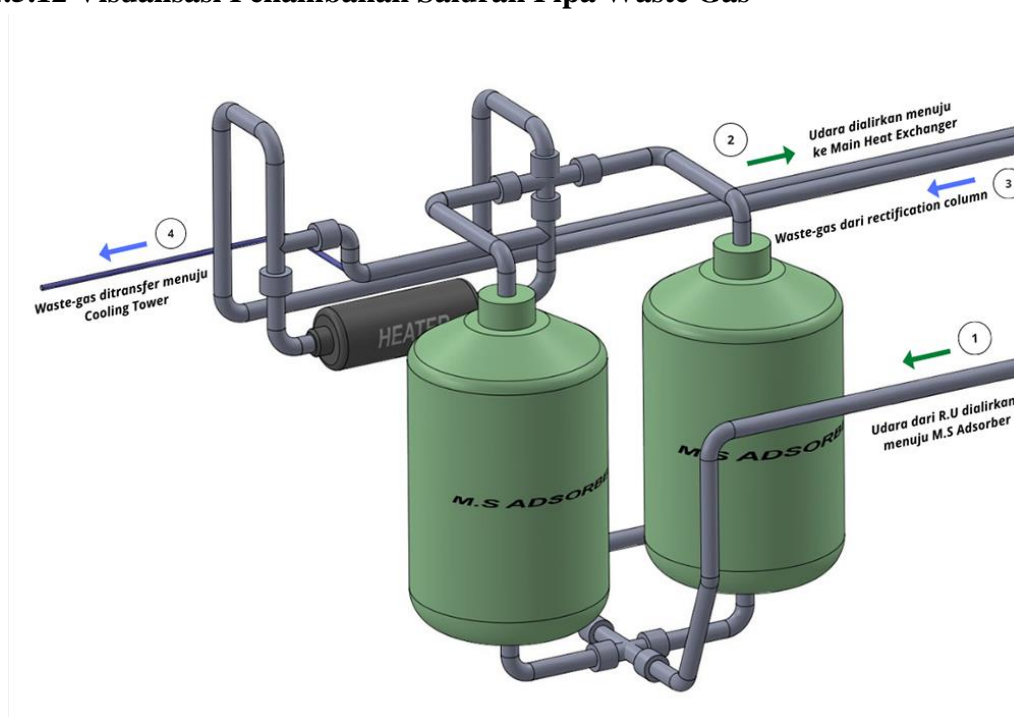
Bilangan Reynold merupakan suatu bilangan tanpa dimensi yang digunakan untuk menentukan jenis aliran suatu fluida. Bilangan Reynold (Re) dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu} \quad (4.37)$$

Dimana,

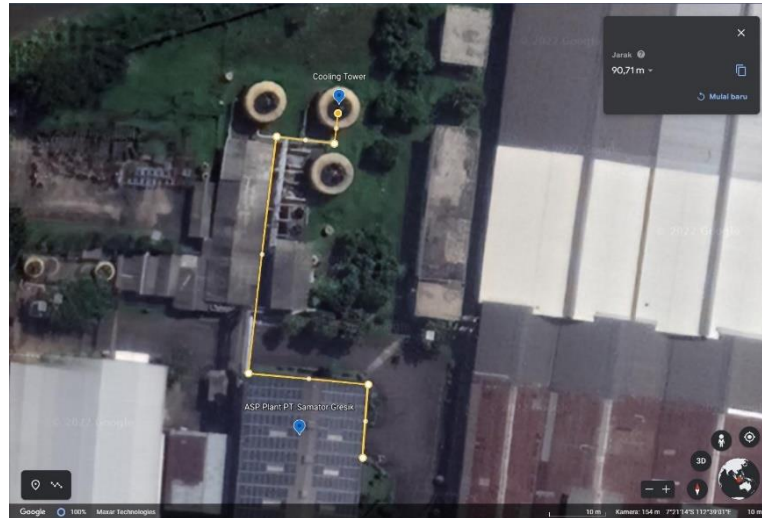
ρ	: Densitas fluida <i>waste gas</i>	(kg/m ³)
V	: Kecepatan aliran fluida	(m/s)
D_h	: Diameter hidrolis	(m)
μ	: Viskositas dinamik fluida <i>waste gas</i>	(kg/m.s)
Re	: <i>Reynold Number</i>	

4.5.12 Visualisasi Penambahan Saluran Pipa Waste Gas



Gambar 4.14 Visualisasi Saluran Perpipaan *Waste-gas*

Penambahan jalur untuk saluran pipa *waste gas* yang akan ditransfer menuju ke *Cooling Tower* ditandai dengan nomor 4 pada ilustrasi diatas. *Waste gas* dari *Rectification column* yang merupakan produk dari rangkaian proses destilasi dari pembuatan *Liquid Air* sebagai proses regenerasi pada *M.S Adsorber* yang kemudian digunakan sebagiannya sebagai media pendingin pada *Cooling Tower*.



Gambar 4.15 Jarak ASP Plant Menuju *Cooling Tower*
(Sumber: *Google Earth*)

Berdasarkan pengukuran dari aplikasi *Google Earth* didapatkan bahwa total jarak dari *ASP Plant* menuju ke *Cooling Tower* adalah sebesar 90,71 meter. Dalam pengerjaan tugas khusus ini total jarak dalam perhitungan dibulatkan menjadi 100 meter.

4.5.13 Pipa pada Lapangan

4.5.13.1 Saluran *Waste gas* Regenerasi *M.S.A*

Kode : WG - 2494
 Diameter : 250 mm
 Bahan : *Aluminium tube*
 Material Insulasi : Serat wool

4.5.13.2 Saluran *Waste gas* *Cooling*

Kode : WG
 Outside Diameter : 76,2 mm
 Internal Diameter : 70,2 mm
 Bahan : Polyvinil clorida (PVC)
 Material Insulasi : -

4.6 Analisis Kondisi Lapangan

Sebelum menganalisa parameter – parameter kondisi lapangan, maka diperlukan data – data aktual baik dari karakteristik fluida maupun pipa untuk mempermudah perhitungan dan sebagai keakuratan analisa. Data – data tersebut akan disajikan dalam tabel sebagai berikut:

Tabel 4.12 *Properties* Dari *Waste gas* & Pipa PVC

No.	WG Properties (17 C)	Unit	Value
1	Density	kg/m ³	1,2166
2	Viscosity Dynamic (10 ⁻⁵)	Kg/m.s	1,8112
3	Thermal conductivity	w/m.K	0,024912
4	Kinematic Visvosity (10 ⁻⁵)	m ² /s	1,5484
5	Prandtl number	<i>Pr</i>	0,73174

No.	PVC properties	Unit	Value
1	Density	kg/m ³	1380
2	Specific Heat, Cp	Kj/Kg.K	1000
3	Thermal conductivity	w/m.K	0,16
4	Diameter dalam, D1	m	0,0702
5	Diameter luar, D2	m	0,0762
6	Panjang pipa L	m	100
7	Temperatur dalam, T1	K	290
8	Temperatur surr, T2	K	300

4.6.1 Kecepatan Fluida Kerja Waste Gas

Kecepatan aliran pada saluran pipa waste gas berdasarkan alat pengukuran di plant adalah 2113 Nm³/h (FI2402) atau sama dengan 2420 m³/h. Sebagian fluida *waste gas* digunakan sebagai proses regenerasi pada *M.S Adsorber* (2000 m³/h) dan sebagian fluida lainnya digunakan sebagai media pendingin pada *Cooling Tower*. Karena kedua saluran pipa ini memiliki diameter yang berbeda, dengan skematik pembagian saluran pipa dibawah maka dapat diketahui besarnya kecepatan aliran *waste gas*.

Dari hukum kekekalan massa untuk suatu aliran fluida *incompressible* yang bersifat tetap dan konstan dapat diketahui bahwa:

$$\rho_1 V_1 A_1 = V_2 A_2 \rho_2 \quad (4.38)$$

Dimana,

- ρ : Densitas fluida waste gas (kg/m³)
- V : Kecepatan aliran fluida (m/s)
- A : Luas penampang aliran pipa (m²)

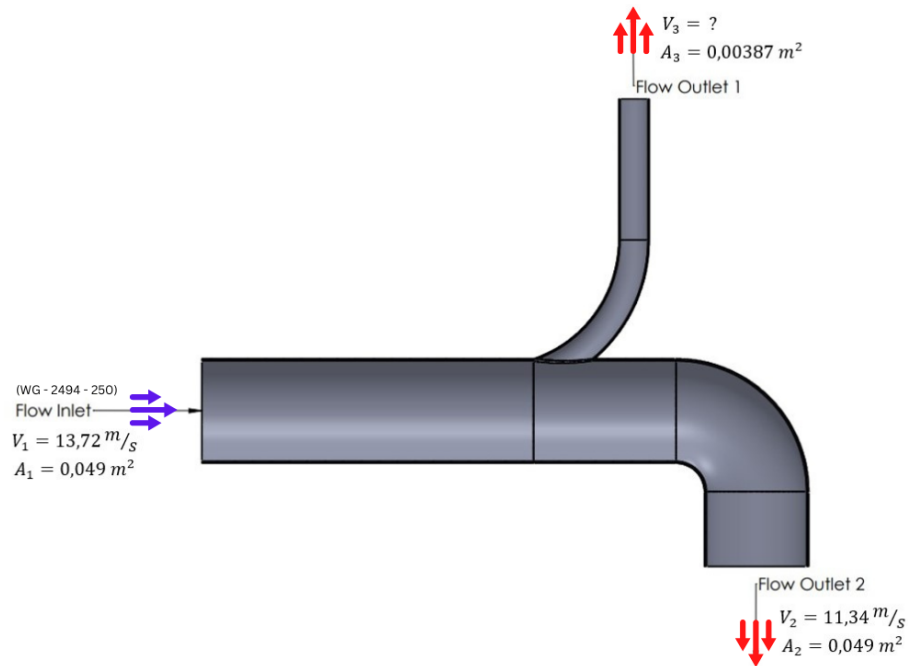
Dengan menggunakan hubungan antara hukum kekekalan massa dalam suatu aliran compressible dan persamaan dari ideal gas adalah:

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (4.39)$$

Dimana,

- P : Tekanan fluida kerja (kg/cm²)
- T : Temperatur fluida kerja (°K)
- R : Konstanta gas ideal

Dengan mengetahui nilai tekanan dan temperature fluida, maka besarnya nilai massa jenis fluida juga dapat di estimasikan. Dalam perhitungan ini, nilai temperature dan tekanan pada fluida masuk dan keluar diasumsikan konstan dan nilai massa jenis fluida masuk dan keluar diasumsikan sama. Oleh karena itu, besarnya nilai kecepatan aliran waste gas adalah sebagai berikut:



Gambar 4.16 2D Skematik Perpipaan Aliran *Waste gas*

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 + V_3 A_3 \quad (4.40)$$

$$V_3 = \frac{(V_1 A_1) - (V_2 A_2)}{A_3} \quad (4.41)$$

Dimana,

V_1	: Kecepatan aliran <i>inlet</i>	(13,72 m/s)
A_1	: Luas penampang fluida <i>inlet</i>	(0,049 m ²)
V_2	: Kecepatan aliran <i>outlet</i> regenerasi <i>M.S.A</i>	(11,34 m/s)
A_2	: Luas penampang <i>outlet</i> regenerasi <i>M.S.A</i>	(0,049 m ²)
V_3	: Kecepatan aliran <i>outlet</i> pendinginan <i>C.Tower</i>	(m/s)
A_3	: Luas penampang <i>outlet</i> untuk pendinginan <i>C.Tower</i>	(0,00387 m ²)

Maka,

$$V_3 = \frac{(13,72 \text{ m/s} \times 0,049 \text{ m}^2) - (11,34 \text{ m/s} \times 0,049 \text{ m}^2)}{0,00387 \text{ m}^2}$$

$$V_3 = \frac{(0,67228 \text{ m}^3/\text{s}) - (0,55566 \text{ m}^3/\text{s})}{0,00387 \text{ m}^2}$$

$$V_3 = \frac{0,11662 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00387 \text{ m}^2}$$

$$V_3 = 30,134 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.6.2 Diameter Hidraulik

Menurut Munson (R et al. 2009), untuk aliran di dalam pipa atau saluran yang panjang, Diameter hidroliknya atau D_h , adalah:

$$D_h = 4 \frac{\text{Luas penampang aliran}}{\text{wetted perimeter}} \quad (4.42)$$

$$D_h = \frac{4\pi(r_2^2 - r_1^2)}{2\pi(r_2 - r_1)} = 2(r_2 - r_1) \quad (4.43)$$

Maka,

$$D_h = 2(0,0381 \text{ m} - 0,0351 \text{ m})$$

$$D_h = 2(0,003 \text{ m})$$

$$D_h = 0,006 \text{ m}$$

4.6.3 Reynold Number

Dalam menentukan jenis aliran di dalam saluran pipa maka perlu menghitung nilai bilangan Reynold dengan persamaan sebagai berikut:

$$Re = \frac{V \cdot D_1 \cdot \rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{30,134 \times 0,0702 \times 1,2166}{1,8112 \times 10^{-5}}$$

$$Re = \frac{30,134 \times 0,0702 \times 1,1154 \times 10^5}{1,8112}$$

$$Re = 130.274,114$$

$$Re > 2300 \therefore \text{Turbulent flow}$$

4.6.4 Nusselt Number

Nilai bilangan Nusselt didapatkan dengan menggunakan persamaan diatas yaitu:

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n$$

$$Nu = 0,027 \cdot 130.274,114^{0,8} \cdot 0,73174^{0,4}$$

$$Nu = 0,027 \times 12.356,245 \times 0,8826$$

$$Nu = 294,4518$$

4.6.5 Koefisien Konveksi

Koefisien konveksi antara dinding pipa bagian dalam dan fluida waste gas ditentukan dengan persamaan berikut:

$$h = \frac{k_{\text{waste gas}} \cdot Nu}{D_h}$$

$$h = \frac{0,024912 \cdot Nu}{0,006}$$

$$h = \frac{0,024912 \cdot 294,4518}{0,006} = \frac{7,3354}{0,006}$$

$$h = 1.222,57$$

4.6.6 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Berdasarkan persamaanya, besarnya nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (*overall heat transfer coefficient*) adalah:

$$U = \frac{1}{\frac{A}{hA_1} + \frac{A \cdot \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}{2\pi k_{pvc} L}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{23,93}{1.222,57 \times 22} + \frac{23,93 \cdot \ln\left(\frac{0,0762}{0,0702}\right)}{2 \times 3,14 \times 0,16 \times 100}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{23,93}{26.896,54} + \frac{23,93 \times 0,082}{100,48}}$$

$$U = \frac{1}{0,43061747 + 0,01953}$$

$$U = 2,221494 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

4.6.7 Laju Aliran Massa

Besarnya laju aliran massa fluida *waste gas* ketika melewati saluran pipa dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\dot{m} = \rho v A$$

Dimana A merupakan luas penampang pipa yang dialiri oleh fluida *waste gas* yaitu:

$$A = \pi r^2$$

$$A = 3,14 \times 0,0351^2$$

$$A = 3,14 \times 0,00123201$$

$$A = 0,00387 \text{ m}^2$$

Maka,

$$\dot{m} = 1,1154 \frac{kg}{m^3} \times 30,134 \frac{m}{s} \times 0,00387 \text{ m}^2$$

$$\dot{m} = 0,13 \frac{kg}{s}$$

4.6.8 Perhitungan Temperatur Outlet

Parameter – parameter yang telah dihitung pada analisis kondisi lingkungan akan digunakan dalam menghitung besarnya nilai suhu temperature outlet pada saluran pipa *waste gas* dengan mensubstitusikan dan mengembangkan persamaan kekekalan energi, temperature bulk, dan koefisien perpindahan panas menyeluruh maka didapatkan persamaan dibawah ini (Holman 2010):

$$\dot{m} \cdot C_p (T_o - T_d) = U \cdot A \left(\frac{(T_d - T_n) - (T_d - T_o)}{\ln \left(\frac{T_d - T_i}{T_d - T_o} \right)} \right)$$

$$T_o = T_d - \left(\frac{T_d - T_n}{\exp \left(\frac{U \cdot A}{\dot{m} \cdot C_p} \right)} \right)$$

Dimana,

- T_o : Temperatur *wastegas* yang keluar pipa PVC
- T_d : Temperatur dinding luar
- T_n : Temperatur Fluida *wastegas*
- A : Luas penampang benda yang tegak lurus dengan arah rambatan panas
- m : Laju aliran massa fluida *wastegas*
- C_p : Kalor jenis fluida *wastegas*

Maka,

$$T_o = 27 - \left(\frac{27 - 17}{\exp \left(\frac{2,2215 \times 23,93}{0,13 \times 1,0072} \right)} \right)$$

$$T_o = 27 - \left(\frac{10}{2,72 \left(\frac{53,1605}{0,1309} \right)} \right)$$

$$T_o = 27 - \left(\frac{10}{2,72 \times 406,1154} \right)$$

$$T_o = 27 - \left(\frac{10}{1.104,64} \right)$$

$$T_o = 27 - 0,009$$

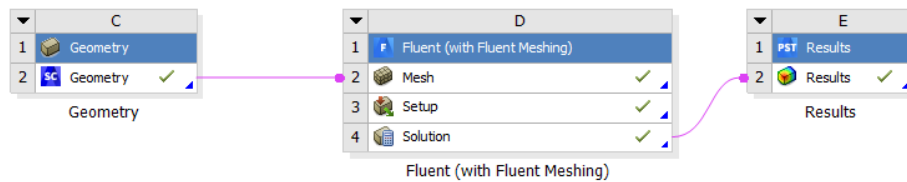
$$T_o = 26,991 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_o = 299,991 \text{ } ^\circ\text{K}$$

Besarnya nilai suhu temperature pada outlet saluran pipa *waste gas* berdasarkan perhitungan adalah 299,991 °K atau 26,991 °C. Setelah dilakukan perhitungan, pengujian *Computational Fluid Dynamic (CFD)* juga dilakukan untuk mengetahui distribusi persebaran temperatur pada saluran pipa *waste gas* dan sebagai perbandingan nilai antara perhitungan manual dan perhitungan *solver Fluent*.

4.7 Analisis *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

Analisa perpindahan panas pipa *waste-gas* ini melalui pendekatan analisa numerik menggunakan metode *computational fluid dynamic (CFD)* dengan *software* Ansys Fluent 19 R3 untuk *meshing* dan proses *solver*, serta *Solidworks 2017* untuk membuat geometri saluran pipa. Prosedur yang dilakukan pada proses simulasi ini adalah sebagai berikut.

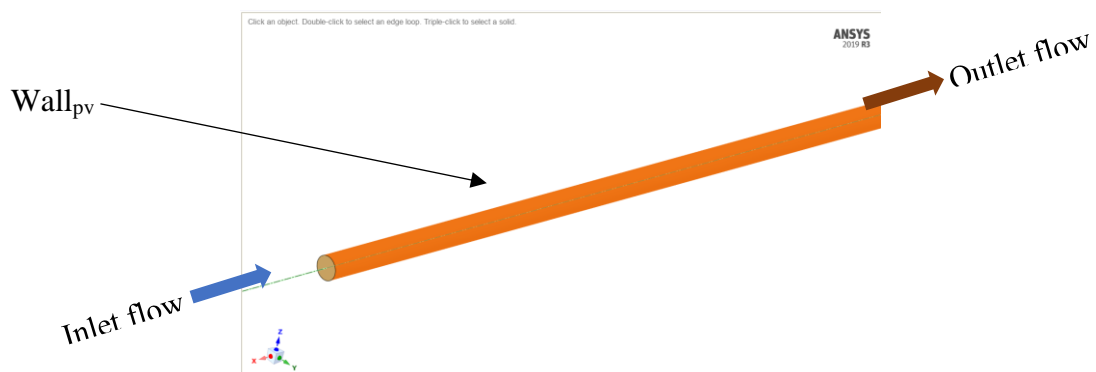


Gambar 4.17 Langkah – Langkah Pengujian *CFD*

Dalam pengujian *CFD*, terdapat tiga Langkah utama yang harus dikerjakan untuk mendapatkan hasil yang sesuai. Langkah – Langkah tersebut yaitu *Preprocessing*, *Processing*, dan *Postprocessing*. *Preprocessing* merupakan langkah awal sebelum *solver* melakukan sebuah pemrosesan. Langkah awal tersebut meliputi pembuatan geometri, penentuan domain, dan pembuatan *meshing*. *Processing* merupakan tahap untuk memasukkan data input atau output sebagai parameter simulasi dan tahap *solver* melakukan perhitungan berdasarkan persamaan – persamaannya. *Postprocessing* merupakan tahap untuk melihat hasil simulasi baik dari visualisasi 2D, 3D dan animasi.

4.7.1 Fluid Domain

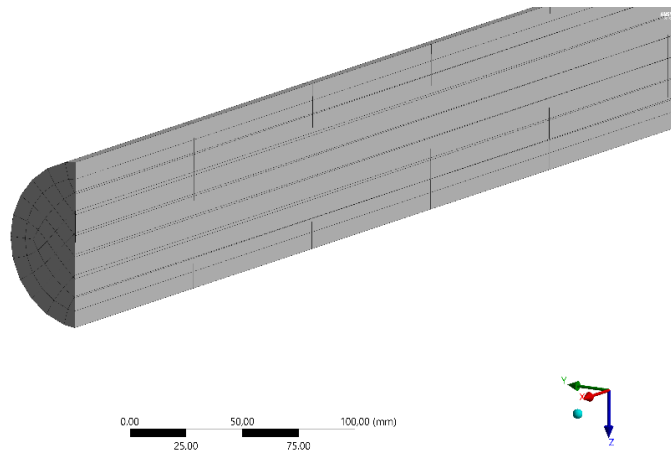
Pada pengujian ini desain pipa memiliki diameter luar sebesar 3 inci dengan ketebalan pipa 3 mm, panjang pipa sebesar 100 m. material pipa merupakan Polyvinil Klorida (PVC). Geometri pipa ini sekaligus menjadi domain fluida



Gambar 4.18 Geometri Saluran Pipa *Wastegas*

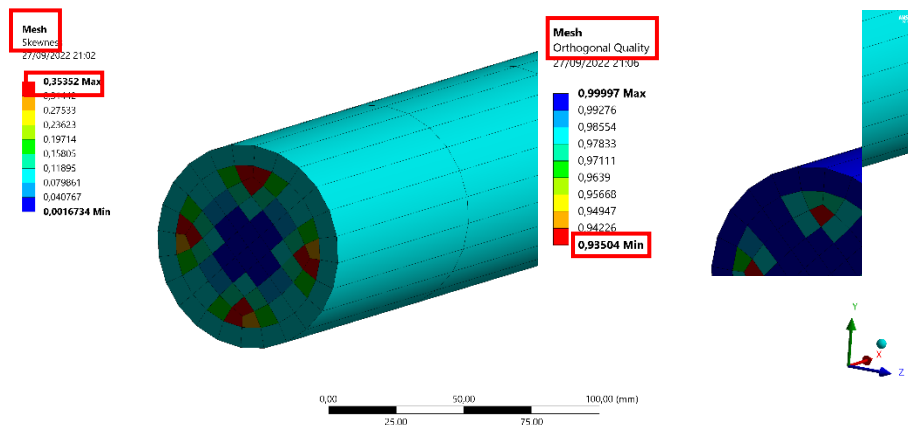
4.7.2 Meshing

Meshing merupakan proses membagi komponen yang akan dianalisis menjadi elemen-elemen kecil atau diskrit (Yusra, Haryanto, Jamari, 2008) sehingga dapat diselesaikan persamaan – persamaan pada kasus aliran fluida di dalamnya dan menghasilkan solusi. *Mesh* yang digunakan pada pengujian ini adalah Hexcore. Bentuk mesh dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 4.19 Visualisasi *Mesh* pada Domain Fluida

Kualitas mesh dapat dinilai berdasarkan *Skewness*, *Aspect ratio*, dan *Orthogonal quality*. Pada pengujian ini penulis memilih *Skewness* dan *Orthogonal quality* sebagai parameter kualitas meshnya. Ansys Fluent menyarankan nilai *Skewness* maksimal sebesar 0,84 dan *Orthogonal quality* minimal sebesar 0.15 untuk mendapatkan hasil yang cukup akurat (Alawadhi, 2020).



Gambar 4.20 Nilai Kualitas pada *Mesh*

Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

© 2015 ANSYS, Inc. February 12, 2015

Gambar 4.21 *Quality Spectrum of Mesh*

Berdasarkan gambar 4.20 dan 4.21 dapat diketahui bahwa mesh yang telah dibuat sudah sangat baik dari parameter *skewness* nilai maksimalnya sebesar 0,35 (kotak merah kiri) dan parameter *orthogonal quality* dengan nilai minimumnya sebesar 0,93 (kotak merah kanan).

4.7.3 Boundary Conditions

Boundary condition merupakan pengaturan permukaan yang membatasi zona fluida dalam fluid domain. Boundary condition yang digunakan dalam pengujian ini terangkum pada tabel berikut:

Tabel 4.13 Parameter dalam Pengujian Numerik *CFD*

Boundary Conditions	Zone name	Condition	
Velocity inlet	Inlet	Velocity specification method	Magnitude, normal to boundary
		Velocity magnitude (m/s)	13,72
		Initial gauge pressure (atm)	0
		Turbulence intensity (%)	1
		Diameter Hidraulic (m)	0,006
Pressure Outlet	Outlet	Gauge Pressure (atm)	1
		Backflow Temperature	300°K
Wall	Wall	No slip	
		Material	Polyvinil chloride
		Fixed Temperature	300°K

Solver	3D , Pressure based
Flow type	Turbulence
Turbulence model	k - omega
k- omega model	SST
Time	Steady state
Material	Gas , Air (290 K)

4.7.4 Solutions

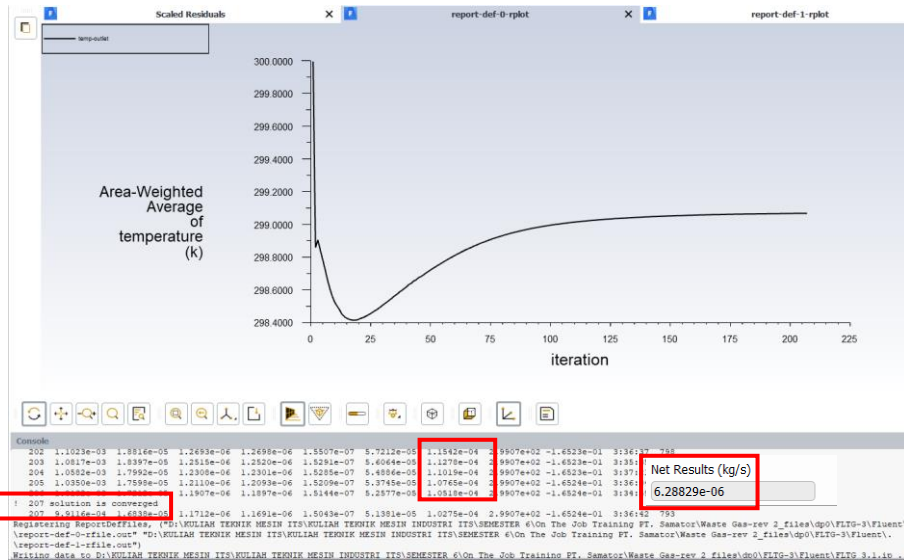
Solution yang digunakan pada pengujian kali ini adalah menggunakan skema *COUPLED*, dengan pengaturan *gradient pressure Green-Gauss Cell Based, second order* untuk *pressure, second order upwind* untuk *momentum turbulent kinetic energy* dan *turbulent dissipation rate*-nya.

4.7.5 Monitor Residual

Monitor residual merupakan tahap penyelesaian masalah berupa proses iterasi hingga tercapainya konvergen dari sebuah nilai hasil perhitungan (Artha 2021). Pengaturan pada monitor residual dilakukan untuk mengatur kriteria konvergensi residual selama proses simulasi. Nilai konvergensi residual dalam pengujian kali ini ditetapkan sebesar 1×10^{-4} .

4.7.6 Processing

Pada ANSYS *Fluent* kondisi-kondisi yang sudah ditetapkan pada tahap *preprocessing* akan dihitung dengan jumlah iterasi tertentu hingga parameter yang diuji akan mencapai nilai konvergen. Apabila simulasi belum memenuhi kriteria konvergensi yang sudah ditetapkan, proses *preprocessing* diulang dari tahap *meshing*.

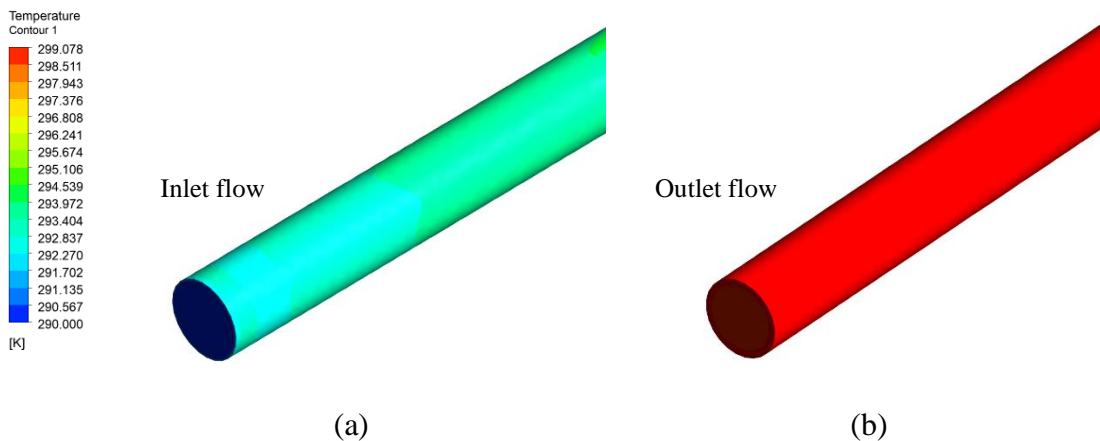


Gambar 4.22 Plot Iterasi Perhitungan Temperatur *Outlet*

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui bahwa nilai perhitungan *solver* sudah masuk dalam kriteria konvergen dengan nilai temperature *outlet* sebesar 299,07°K dengan error yang sangat kecil yaitu sebesar $6,29 \times 10^{-6}$.

4.7.7 Post - Processing

Post-processing merupakan tahap pengolahan data setelah tahap *pre-processing* dan *processing*. Pada tahap ini akan didapatkan data visual berupa kontur distribusi tekanan pada pipa aliran fluida *waste gas*.



Gambar 4.23 Distribusi Temperatur pada (a). Pipa *Inlet* dan (b). Pipa *Outlet*

Gambar 4.23 (a) dan (b) menunjukkan kontur distribusi temperatur pada *inlet*, *outlet*, dan dinding pipa aliran fluida *waste gas*. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui pemindahan fluida *waste gas* dari *ASP Plant* menuju *Cooling Tower* yang dengan jarak sebesar 100 meter menggunakan pipa *PVC* didapatkan perbedaan temperatur pada bagian *inlet* dan *outletnya* sebesar 10°K.

(Halaman Sengaja dikosongkan)

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

PT. Samator Gas Insudtri yang berlokasi di kota Gresik, Driyorejo merupakan perusahaan produksi di bidang gas yang memproduksi berbagai macam gas seperti pada *ASP Plant* yaitu Oksigen, Nitrogen, dan Argon yang berasal dari udara lingkungan.

Penempatan magang industri adalah pada *Control Room ASP Plant* yang merupakan divisi yang melakukan kontrol mulai dari *starting plant*, *monitoring properties* gas dan unit, pengendalian unit, pendataan *logbook* harian, dan *shuting down plant*. Di *ASP Plant* ini udara lingkungan diproses menjadi gas – gas seperti Oksigen, Nitrogen dan Argon. Pada magang industri ini terdapat tugas khusus, yakni memberikan hasil analisis berupa nilai temperatur akhir pada suatu instalasi perpipaan *waste gas* berdasarkan analisis kondisi lapangan dalam upaya ingin memanfaatkan kembali sebagian *waste gas* yang terbuang dan menjadikannya sebagai media pendingin pada *Cooling Tower ASP Plant*.

Kesimpulan dari hasil tugas khusus magang industri ini yaitu berdasarkan hasil analisis kondisi lapangan di *ASP Plant* PT. Samator Gresik, penggunaan sebagian *waste gas* sebagai media pendingin pada *Cooling Tower* masih kurang maksimal karena letak posisi *Cooling Tower* yang berjarak 100 meter dari *ASP Plant* mengakibatkan banyak panas dari lingkungan yang mempengaruhi suhu temperatur *waste gas* sehingga temperaturnya menjadi tinggi yaitu sebesar 299,07°K.

5.2 Saran

Saran untuk kegiatan magang industri di PT. Samator Gresik ini adalah jika memungkinkan mahasiswa untuk diikutsertakan pada setiap kegiatan atau suatu pekerjaan *control* agar mahasiswa selain mendapatkan teori mengenai proses produksi, juga mendapatkan pengalaman kerja pada industri untuk meningkatkan *hard skill* mahasiswa dan sebagai persiapan untuk dunia kerja nantinya.

Adapun saran dari hasil tugas khusus magang industri ini adalah perlu dilakukan analisis lebih mendalam terutama pada karakteristik fluida *waste gas* dikarenakan adanya percabangan pipa yang menyebabkan perubahan parameter kecepatan dan massa jenis fluida *waste gas*, dan juga pengaruh variasi tekanan *inlet* terhadap perubahan temperatur *outlet* pipa. Diperlukan pula penelitian tambahan mengenai material insulasi pipa *waste gas* untuk memperlambat proses perpindahan panas dari lingkungan ke dalam fluida *waste gas*. Perlu ada gambaran untuk penyusun bagaimana sistem saluran perpipaan, saluran perpipaan disarankan memiliki *fitting* yang minimalis agar dapat meminimalisir *losses* pada pipa baik dalam *losses mayor* dan minornya.

DAFTAR PUSATAKA

- Alawadhi, Esam M. 2020. "Meshing Guide." *Finite Element Simulations Using ANSYS* 15317(November): 407–24.
- Alqarina, Ardilia Zahra. 2017. "Analisis Kapabilitas Proses Produksi Pupuk." *Institut Teknologi Sepuluh November*: SS 145561.
- Becker, Fernando Gertum et al. 2015. *7 Syria Studies Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Seventh Edition*. seventh.
- Bergman, Theodore L., Adriene S. Lavine, Frank P. Incropera, and David P. Dewitt. 2011. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7th ed. ed. Thomas Kulesa. United States of America: Don Fowley.
- Cengel, Yunus A, and Afhsin J Ghajar. 2006. 1999. *Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications*. 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2 Penn Plaza, New York, NY 10121.
- Holman, Jack.P. 2010. *Heat Transfer Tenth Edition*. 10th ed. Americas, New York, NY 10020: McGraw-Hill, a business unit of The McGraw-Hill Companies, Inc.,.
- Iskak, Moh., and Tri Yuli A. 2009. "Unit Air Separation Plant Di Pt . Samator Gas Industri." (0631010045).
- R, Munson Bruce, Young Donald F, Okishi Theodore H, and Huebsch Wade W. 2009. *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 6th ed. ed. Lauren Sapira. United States of America: Don Fowley.
- Yusra, Arda, Ismoyo Haryanto, and Jamari. 2008. "Analisa Kontak Elastis Antar Hemispheres." *Rotasi* 10(1): 3–7.
- Adsorbents, D. (2020). Retrieved from <https://www.deltaadsorbents.com>
- Anwar, T. (2015, Nopember 29). Retrieved from <https://www.thoharianwarphd.com>
- IHI. (2023). Retrieved from <http://www.ihi-sullair.cn>
- Noxerior. (2023). Retrieved from <https://www.noxerior.com>
- Weldtech. (2021, Agustus 11). Retrieved from <https://weld.theweldings.com/2021/08/acetylene-gas-generator.html>
- Group, L. C. (1962).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Permohonan Magang di PT SAMATOR GRESIK



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI**
Gedung VOKASI AA dan BB,R. Sekretariat AA Lt.2, Kampus ITS Sukolilo Surabaya
60111
Telepon: 031-5922942, 5932625, PABX 1275
Fax: 5932625
<https://www.its.ac.id/tmi/> email: mesin_fvokasi@its.ac.id

Nomor : 1119/IT2.IX.7.1.2/B/PM.02.00/2022

Yth: PT. Samator Gas Industri

Jl. Raya Kedung Baruk No.25-.28, Kedung Baruk
Kec. Rungkut, Kota Surabaya, Jawa Timur 60298

Dalam rangka memenuhi kewajiban kurikulum mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri Prodi D4 Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi Fakultas Vokasi - ITS, maka dengan ini kami mohon bantuannya untuk mahasiswa kami tersebut dibawah ini :

No	Nama	Nrp
1	M. Reduktan Janki Dausat	10211910010020
2	Said Ath-thaariq Alattas	10211910010073

bila memungkinkan mohon diberi kesempatan untuk Magang Industri di PT. Samator Gas Industri terutama yang berkaitan dengan proses-proses bidang Konversi Energi.

Adapun jadwalnya 1 April 2022 – 31 Juli 2022 dan untuk jawabannya mohon dikirimkan via email :
mesin_fvokasi@its.ac.id.

Demikian atas kerjasama dan perhatiannya, kami sampaikan terima kasih.



Surabaya, 07 Maret 2022
Kepala Departemen Teknik Mesin
Industri

Dr. Ir. Heru Mirmanto, M.T.
NIP . 196202161995121001

Lampiran 2. Surat Penerimaan Magang di PT SAMATOR GRESIK



Nomor : 0110/SU/SMTG/IV/2022
 Kepada : Dr. Ir Heru Mimanto, M.T
 Jabatan : Kepala Departemen Teknik Mesin Industri
 Perihal : Jawaban Permohonan Magang

Dengan hormat,

Memperhatikan surat No 119/IT2.IX.7.1.2/B/PM.02.00/2022 tertanggal 7 maret 2022 perihal permohonan magang mahasiswa Teknik Mesin Industri – ITS, dengan ini kami sampaikan bahwa permohonan tersebut disetujui untuk dilaksanakan magang di PT Samator sesuai kurun waktu mulai tanggal 11 April 2022 s/d 11 Agustus 2022 yang diikuti oleh :

No	Nama	Nomer Induk Mahasiswa
1	M. Reduktan Janki Dausat	10211910010020
2	Said Ath-thaariq Alattas	10211910010073

Demikian atas perhatian dan kerjasamanya kami sampaikan terima kasih.

Gresik , 04 April 2022



Lampiran 3. Dokumentasi Kegiatan Magang di *ASP Plant* PT SAMATOR Gresik



Kegiatan wajib memakai SOP menuju *ASP Plant*



Kegiatan operator dan monitoring aliran gas pada *ASP Plant*



Pembahasan tugas khusus dari *Forman ASP Plant*

Lampiran 4. Kegiatan Magang di *Asetilin dan Hydrogen Plant* PT SAMATOR Gresik



Kegiatan *monitoring* dan operator pada *Asetilin Plant*







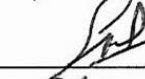
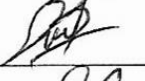
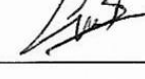
Limbah produk air kapur pada *Asetilin Plant*



Kegiatan *monitoring* dan operator pada *Hydrogen Plant*

Lampiran 5. Lembar Asistensi Magang

Nama Mahasiswa : Said Ath-thaariq Alattas
NRP : 10211910010073
Nama Mitra : PT. Samator Gresik
Unit Kerja : Unit Produksi *Air Separation Plant*
Nama Pembimbing Lapangan : Achmad Hidayat
Nama Pembimbing Departemen : Muhammad Lukman Hakim, S.T., M.T.
Waktu Magang : 11 April 2022 – 11 Agustus 2022

No.	Tanggal	Materi Asistensi	TTD Pembimbing
1.	10-05-2022	Pembahasan profil perusahaan dan unit kerja pada perusahaan	
2.	24-05-2022	Pembahasan penugasan khusus	
3.	09-06-2022	Asistensi hasil perhitungan <i>Heat Loss</i> menggunakan insulasi <i>Glass Wool</i>	
4.	21-06-2022	Asistensi hasil perhitungan <i>Heat Loss</i> menggunakan insulasi <i>Calcium Silicate</i>	
5.	20-07-2022	Asistensi hasil perhitungan <i>Heat Loss</i> menggunakan insulasi serbuk perlit	
6.	29-07-2022	Asistensi perbandingan hasil simulasi dengan hasil perhitungan	
7.	05-08-2022	Asistensi keseluruhan laporan hasil magang	

Surabaya, 23 Juli 2023

Dosen Pembimbing Magang

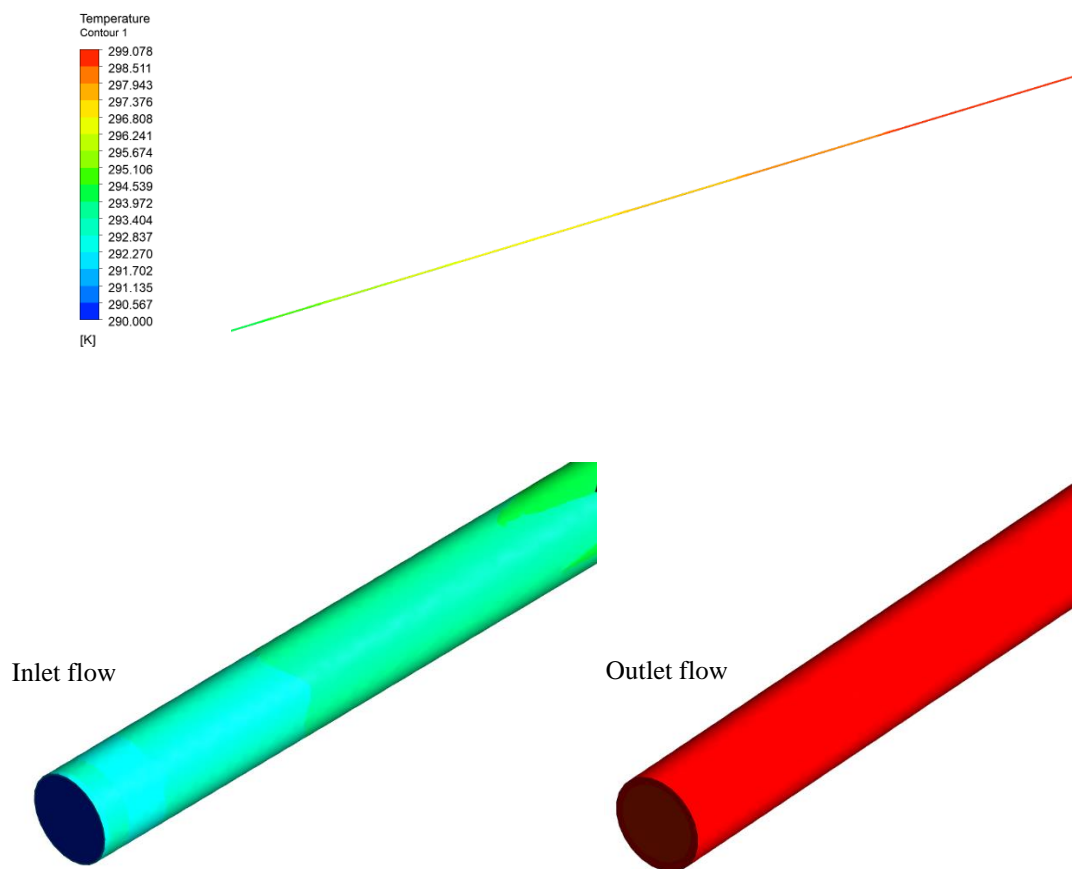


Muhammad Lukman Hakim, S.T., M.T.

NIP. 1994201911070

Lampiran 6. Luaran Rekomendasi

Selama proses magang di PT. Samator Gresik, penulis membantu pengerjaan di bagian operator *ASP Plant* dalam proses *monitoring* dan operasi produksi gas pada plant, namun ditemukan masalah yaitu dalam proses produksi gas Oksigen, Argon, dan Nitrogen, plant ini masih menghasilkan limbah yaitu *waste gas*, limbah gas ini masih memiliki temperatur yang rendah dapat dijadikan sebagai media pendingin air pada *Cooling Tower*, maka dari itu penulis membantu dalam proses Analisa pemanfaat limbah *waste gas* ini menjadi media pendingin yang dilakukan berdasarkan metode perhitungan teoritis dan metode numerik. Hasil perhitungan teoritis dirinci pada subbab 4.6.8, dan berikut adalah visualisasi distribusi temperatur di sepanjang perpipaan aliran *waste gas*.



Parameter	Temperature °K	Error
<i>Outlet</i> pipa WG (teoritis)	299,991	-
<i>Outlet</i> pipa WG (numerik)	299,07	0,3 %

Lampiran 7. Curriculum Vitae

SAID ATH THAARIQ ALATTAS

Kontak Pribadi

No. Hp : +62 821 6704 9165
E-mail : thaariqalattas@gmail.com
LinkedIn : [linkedin.com/in/thaariqalattas](https://www.linkedin.com/in/thaariqalattas)



Informasi Personal

Tanggal lahir : 8 Juli 2001
Tempat lahir : Tangerang
Alamat : Pondok Cilegon Indah blok D62 No.1
Kota : Cilegon

Pendidikan

1. Sepuluh Nopember Institute of Technology (2019 – Now)
2. Albinaa Islamic Boarding Senior High School (2016 – 2019)
3. Albinaa Islamic Boarding Junior High School (2013 – 2016)
4. Negeri 1 Elementary School (2007 – 2013)

Pelatihan & Pengalaman

1. Training design 3D modelling (2020)
 2. DECIMO (Training Computer Aided Design) (2019)
 3. Basic Level Student Management and Skills Training (2019)
 4. Basic Level Entrepreneurial Student Skills Training (2019)
 5. Basic Level Scientific Writing Training (2019)
-

Pengalaman Organisasi

1. Body and Frame Division at Nogogeni ITS Team (2021)
 2. Material and Metallurgy Laboratory of F.V ITS (2021)
 3. Staff of Research and Development of UKM ITS Robotics (2019)
-

Pengalaman Komite

1. Volunteer of Service Gratis (2019)
 2. Volunteer of Student Engineering Challenge 2.0 (2019)
-

Pengalaman Program Penjangkauan Masyarakat

1. Smart Feeders for Miny Aquarium Project in Surabaya (2021)
2. Kemplang Cracker Baking Machine Project in Palembang (2020)