



LAPORAN TESIS

Tesis - TF185471

OPTIMISASI JADWAL PEMBERSIHAN BERDASARKAN PERBEDAAN TEKANAN UDARA PADA *AIR DRYER* PT. VALE INDONESIA Tbk

PAMRIH
NRP. 0231 16500 22023

DOSEN PEMBIMBING
1. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.
2. Agus Muhammad Hatta, S.T., M.T., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA ENERGI TERBARUKAN
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

Halaman sengaja dikosongkan

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M. T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

Pamrih


NRP. 02311650022023

Tanggal Ujian : 10 Januari 2019

Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh :

Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19710702 199802 1 001



(Pembimbing)

Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si. Ph. D
NIP. 19780902 200312 1 002



(Pembimbing)

Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.
NIP. 19660116 198903 2 001




(Penguji)

Dr. Ir. Ali Musyafa', M. Sc.
NIP. 19600901 198701 1 001



(Penguji)


Dekan Fakultas Teknologi Industri
Dr. Bambang Leiono Widjiantoro, S.T., M.T.
NIP. 19690507 199512 1 001

Halaman sengaja dikosongkan

OPTIMISASI JADWAL PEMBERSIHAN BERDASARKAN PERBEDAAN TEKANAN UDARA PADA *AIR DRYER* PT. VALE INDONESIA Tbk

Nama Mahasiswa : Pamrih
NRP : 0231 16500 22023
Pembimbing 1 : Totok Ruki Biyanto, S.T, M.T, Ph.D
Pembimbing 2 : Agus Muhammad Hatta, S.T, M.T, Ph.D

ABSTRAK

PT Vale Indonesia Tbk memiliki 14 unit *compressor* sentrifugal dan 3 unit *Air dryer*. *Process Plant* memerlukan *flow* udara antara 32.000 – 35.000 SCFM dan *pressure* antara 5.5 – 6.5 kg/cm² serta dew point antara 10-15 °C. Inspeksi awal sebelum pembersihan kimia banyak di temukan *fouling* pada *shell & tube heat exchanger* setelah beroperasi selama 12-14 tahun. *Chemical cleaning* pada *air dryer* pertama kali di lakukan pada Agustus dan September 2017. 3 unit *air dryer* dan 13-14 unit *compressor* beroperasi sebelum dilakukan *chemical cleaning*. *Drop pressure* yang terjadi 30-34 Psi dan dew point > 20 °C. Tekanan udara turun di bawah 5.5 kg/cm² sehingga terjadi gangguan operasi pada peralatan *Dryer, Kiln*. Setelah di lakukan *chemical cleaning* pada *shell & tube heat exchanger* pada *air dryer* maka hasil yang di peroleh *drop pressure* menjadi 5-10 Psi, *dew point* normal antara 10-15 °C dan 8-10 unit *compressor* dan 2 unit *air dryer* beroperasi. Metode penelitian ini adalah menganalisa model kenaikan perbedaan tekanan yang di sebabkan oleh *pressure drop* dengan batasan perbedaan tekanan yang masih di perbolehkan. Selain itu juga menganalisa *time interval* dari keadaan bersih atau perbedaan tekanan desain sampai perbedaan tekanan yang di perbolehkan dengan *profit* yang terbesar. Interval terbaik diberikan tiap 5 tahun sekali dalam jangka waktu 30 tahun dengan nilai *drop pressure* sebesar 14.3066 Psi sehingga masih berada pada batas *pressure drop* yang ditentukan (15 Psi), disisi lain *cost cleaning* terendah diberikan pada pembersihan 485,045 dollar per 5 tahun dengan total estimasi pengeluaran dalam 30 tahun sebesar 2,910,272 dollar

Kata kunci: *Shell & Tube Heat Exchanger, Air dryer, Fouling, Drop pressure, Chemical Cleaning*

Halaman sengaja dikosongkan

**CLEANING SCHEDULE OPTIMIZATION BASED ON DIFFERENCE OF
AIR PRESSURE IN AIR DRYER PT. VALE INDONESIA Tbk**

By : Pamrih
NRP : 0231 16500 22023
Supervisor 1 : Totok Ruki Biyanto, S.T, M.T, Ph.D
Supervisor 2 : Agus Muhammad Hatta, S.T, M.T, Ph.D

ABSTRACT

PT Vale Indonesia Tbk has 14 units of compressor centrifuges and 3 units of Air dryers. Process Plant requires airflow between 32,000-35,000 SCFM and pressure between 5.5-6.5 kg/cm² and dew point between 10-15 °C. Initial inspection before chemical cleaning is found to be fouling in shell & tube heat exchangers after operating for 12-14 years. Chemical cleaning on the air dryer were first carried out in August and September 2017. 3 units of air dryers and 13-14 units of compressor operated before chemical cleaning was carried out. Drop pressure that occurs 30-34 Psi and dew point > 20°C. Air pressure drops below 5.5 kg/cm² resulting in interruption of operation in Dryer equipment, Kiln. After doing chemical cleaning on the shell & tube heat exchanger on the air dryer, the results obtained by the drop pressure are 5-10 Psi, the normal dew point is between 10-15 °C and 8-10 units compressors and 2 units of air dryers operate. This research method is to analyze the model of the increase in pressure difference caused by fouling with the limit of the difference in pressure that is still allowed. In addition, it also analyzes the time interval of the net state or the difference in design pressure until the difference in pressure is allowed with the largest profit. The best Interval given each 5 years on 30 years estimation with drop pressure up to 14.3066 Psi so that the constraint area to take a minimum of the pressure drop that given on operation and optimization (15 Psi), beside on the lowest cost cleaning given on 485,045 dollar each 5 years with the total estimation up to 30 years with 2,910,272 dollar.

Keywords: Shell & Tube Heat Exchanger, Air dryer, Fouling, Drop pressure, Chemical Cleaning

Halaman sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas perkenan Nya, laporan Tesis dengan judul **“OPTIMISASI JADWAL PEMBERSIHAN BERDASARKAN PERBEDAAN TEKANAN UDARA PADA AIR DRYER PT. VALE INDONESIA Tbk”** dapat terselesaikan.

Pelaksanaan laporan tesis diuraikan secara jelas pada laporan kegiatan ini, diantaranya : tujuan yang hendak dicapai, sasaran pelaksanaan kegiatan, metode penelitian yang digunakan, hasil dari penelitian yang telah dilakukan, serta luaran yang dicapai dari pelaksanaan kegiatan.

Dalam penyusunan tesis ini, penulis tidak terlepas dari bimbingan dan arahan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya, kepada :

1. Prof. Ir. Joni Hermana, M. ScES., Ph. D. selaku Rektor Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang telah berkenan memberikan kesempatan terhadap saya untuk mengenyam pendidikan di lingkungan ITS.
2. Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri yang telah memberikan kesempatan terhadap saya untuk menjadi bagian dari keluarga Fakultas Teknologi Industri ITS.
3. Agus Muhamad Hatta, S.T., M. Si., Ph. D. selaku Kepala Departement Teknik Fisika dan pembimbing dua, yang telah berkenan memberikan kesempatan terhadap saya untuk mengenyam pendidikan di program Pascasarjana Teknik Fisika ITS, beserta memberika pengarahan dalam menyelesaikan tesis ini.
4. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph. D, selaku dosen pembimbing utama, atas segala ilmu dan arahan yang telah beliau berikan terhadap saya, sehingga laporan tesisi ini dapat selesai dengan baik.
5. Dr. rer. nat. Ir. Aulia M.T. Nasution, M. Sc. dan Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. selaku Kaprodi dan Sekprodi dari Pascasarjana Teknik Fisika ITS, yang memberikan kemudahan dan menjembatani fasilitas, selama penulis menempuh pendidikan di Teknik Fisika, ITS.
6. Maya Khan Marikar, S.T, Radha Alisha, S.E, Muhammad Akbar Fahreza, Aisyah Kharisma K.P dan Pammu Kadir, selaku keluarga penulis, yang senantiasa

memberikan semangat dan motivasi terhadap penulis dalam menyelesaikan laporan tesis ini.

7. Prof. Ir. Aulia, M.T. dan Dr. Ir. Ali Musyafa', selaku dosen penguji, yang telah memberikan banyak masukan dan tambahan yang bersifat positif, sehingga laporan ini dapat terselesaikan dengan baik.
8. Ibu Martha selaku pegawai TU Pascasarjana Teknik Fisika, yang telah membantu penulis selama mengenyam pendidikan di Teknik Fisika ITS.
9. Teman-teman Pascasarjana Teknik Fisika kelas kerjasama ataupun kelas reguler yang selalu memberikan semangat dan bantuan beserta dukungannya selama penulis menempuh pendidikan studi pada Teknik Fisika bidang rekayasa energi terbarukan

Diharapkan laporan penelitian tesis ini dapat menjadi bahan evaluasi dan tolak ukur dalam pelaksanaan dan implemementasi dari optimasi jadwal pembersihan *air dryer* berdasarkan perbedaan tekanan secara berkala di masa yang akan datang.

Surabaya, 15 Januari, 2019

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Perkembangan Analisis Dinamis Pada Alat Penukar Panas	5
2.2 Alat Penukar Kalor (<i>Heat Exchanger</i>).....	6
2.3 Faktor Pengotoran dan Kerugian pada <i>Heat Exchanger</i>	12
2.3.1 Penurunan Tekanan pada <i>Shell</i>	12
2.3.2 Penurunan Tekanan pada <i>Tube</i>	12
2.4 Kerangka Permodelan dan Perhitungan pada Optimasi Jadwal Pembersihan	13
2.5 Metode Regresi Linier.....	144
2.6 Sistem Udara Tekan di <i>Utilities Thermal PT. Vale Indonesia Tbk</i>	16
2.7 Dimensi <i>Air dryer</i>	17
2.7.1 Dimensi <i>Air to Air Exchanger</i>	17
2.7.2 Dimensi <i>Evaporator</i>	18
2.7.3 Dimensi <i>Separator</i>	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Sistematika Penelitian	23
3.2 Identifikasi Masalah	26
3.3 Tempat Pelaksanaan dan Pengumpulan Data	26
3.3.1 Alat yang di gunakan dalam penelitian.....	288

3.3.2. Prosedur Pengambilan Data	33
3.4 Perhitungan Teoritis Sebagai Verifikasi Data	34
3.4.1 Perhitungan <i>Air to Air Exchanger</i>	34
3.4.2 Perhitungan pada <i>Evaporator</i>	35
3.4.3 Menghitung kerugian tekanan pada <i>Separator</i>	36
3.5 Fungsi Objektif.....	37
3.6 Permodelan	38
3.7 Perhitungan <i>Maintenance Cost</i>	39
3.8 Perhitungan <i>Cleaning</i>	40
3.9 Perhitungan Biaya Listrik (<i>Electricity</i>).....	400
3.10 Perhitungan <i>Saving</i> dan <i>Profit</i>	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Perhitungan Penurunan Tekanan pada <i>Air dryer</i>	43
4.1.1 Perhitungan <i>Air to Air Exchanger</i>	44
4.1.2 Perhitungan pada <i>Evaporator</i>	47
4.1.3 Menghitung kerugian tekanan pada <i>Separator</i>	501
4.1.4 Analisa Penurunan Tekanan Udara	556
4.2 Analisa <i>Cost Maintenance</i> pada Sistem Pengoperasian Berdasarkan Data Lapangan	58
4.3 Analisa <i>Cost Cleaning</i> dan <i>Maintenance</i> Berdasarkan <i>Drop pressure</i>	61
4.4 Analisa <i>Profit</i> dan <i>Saving</i> yang Dihasilkan Selama Periode 30 Tahun.....	69
BAB V KESIMPULAN	745
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN I Data Pengamatan Komponen pada <i>Air dryer</i>	81
LAMPIRAN II Hasil Perhitungan <i>Pressure drop</i> Pada Heat Exchanger.....	83
LAMPIRAN III Data Pengamatan Pressure <i>Air dryer</i>	85
LAMPIRAN IV Data <i>Pressure drop</i> Dengan Interval Waktu 1,2,5, 10 Tahun...	89
LAMPIRAN V <i>Cost</i> Tiap Komponen	101
LAMPIRAN VI Tabel Biaya Operasional (Perawatan, <i>Cleaning</i> , Listrik) tiap tahun, 2 tahun dan 5 tahun dalam 30 tahun	103
LAMPIRAN VII Total Saving Cost & Profit	101

Biodata	1017
---------	------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses mekanisme <i>fouling</i> (Awad, 2011)	6
Gambar 2.2 Alat penukar Panas Tipe <i>Shell and Tube</i> (I. Bizzy, R. Setiadi, 2009)	7
Gambar 2.3 Alat penukar panas tipe aliran berlawanan (I. Bizzy, R. Setiadi, 2009)	8
Gambar 2.4 Alat penukar panas aliran sejajar (I. Bizzy, R. Setiadi, 2009)	9
Gambar 2.5 Alat penukar panas berdasarkan jumlah dua <i>tube pass</i> (A) dan empat <i>tube pass</i> (B). (Kuppan, 2000)	10
Gambar 2.6 Diagram alir sistem udara tekan di Utilities	16
Gambar 2.7 Dimensi <i>air to air</i> pada <i>air dryer</i>	18
Gambar 2.8 Dimensi evaporator <i>air dryer</i>	19
Gambar 2.9 Dimensi Serparator <i>air dryer</i>	20
Gambar 2.10 <i>Flowmeter</i> pada monitor <i>control room</i> di Utilities	30
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	23
Gambar 3.2 Lokasi <i>Air dryer</i> Hankinson PTVI	27
Gambar 3.3 <i>Air dryer</i> Hankinson PTVI	27
Gambar 3.4 <i>Air Heat Exchange</i>	28
Gambar 3.5 <i>Evaporator</i>	28
Gambar 3.6 <i>Separator</i>	29
Gambar 3.7 Pipa uap <i>air</i> pada bagian <i>air dryer</i> PT. Vale Indonesia	30
Gambar 3.8 <i>Flowmeter</i> pada monitor <i>control room</i> di Utilities	30
Gambar 3.9 <i>Pressure gauge</i> pada tiap harkinson <i>air dryer</i>	31
Gambar 3.10 Temperatur gauge pada <i>air dryer</i>	32
Gambar 3.11 Ilustrasi system udara PTVI	32
Gambar 4.1 Friction factor pada komponen air dryer	56
Gambar 4.2 Grafik hubungan penurunan tekanan terhadap debit aliran udara berdasarkan perhitungan	57
Gambar 4.3 Rekapitulasi maintenance <i>cost</i> pada tahun 2011-2017	59
Gambar 4.4 Total <i>cost</i> tiap komponent selama pengoperasian sistem	60

Gambar 4.5 Grafik hubungan penurunan tekanan terhadap waktu	611
Gambar 4.6 Grafik <i>drop pressure</i> berdasarkan <i>cleaning</i> per 1,2,5,10 tahun ...	622
Gambar 4.7 Grafik <i>cleaning cost</i> terhadap estimasi waktu 30 tahun.....	633
Gambar 4.8 Total <i>cost</i> operasional estimasi waktu 30 tahun pada penggunaan konsumsi listrik PT. Vale	644
Gambar 4.9 Total <i>cost</i> operasional estimasi waktu 30 tahun pada penggunaan konsumsi listrik PLN	655
Gambar 4.10 Electricity <i>cost</i> terhadap estimasi waktu 30 tahun dari suplai PLTA PT. Vale.....	666
Gambar 4.11 Electricity <i>cost</i> terhadap estimasi waktu 30 tahun dari suplai PLN	677
Gambar 4.12 Perbandingan electricity <i>cost</i> pada pembelian listrik PLN dan PT. Vale.....	688
Gambar 4.13 Profit terhadap estimasi waktu 30 tahun dengan konsumsi listrik PT. Vale	699
Gambar 4.14 Profit terhadap estimasi waktu 30 tahun dengan konsumsi listrik PT. PLN	71
Gambar 4.15 Saving terhadap estimasi waktu 30 tahun terhadap konsumsi listrik PT. Vale	722
Gambar 4.16 Saving terhadap estimasi waktu 30 tahun terhadap konsumsi listrik PLN.....	733

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data <i>centac compressor</i> dan <i>air dryer</i> yang digunakan.....	21
Tabel 4.1 <i>Friction factor</i> pada komponen air dryer	56
Tabel 4.2 Table <i>pressure drop</i> pada <i>air dryer</i>	57
Tabel 4.3 Biaya operasional berdasarkan periode <i>cleaning</i> pada penggunaan konsumsi listrik PT. Vale.....	644
Tabel 4.4 Biaya operasional berdasarkan periode <i>cleaning</i> pada penggunaan konsumsi listrik PLN	65
Tabel 4.5 <i>Profit</i> yang dihasilkan berdasarkan penjualan produk menggunakan konsumsi listrik PT. Vale.....	699
Tabel 4.6 <i>Profit</i> yang dihasilkan berdasarkan penjualan produk menggunakan konsumsi listrik PLN	70
Tabel 4.7 <i>Saving</i> berdasarkan biaya operasional yang dihasilkan pada penggunaan listrik PT. Vale	711
Tabel 4.8 <i>Saving</i> berdasarkan biaya operasional yang dihasilkan pada penggunaan listrik PLN	

Halaman sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Vale Indonesia Tbk merupakan salah satu perusahaan tambang nikel yang berada di Indonesia. Udara bertekanan diperlukan untuk mendukung process produksi nikel di pabrik seperti untuk penanganan dan transportasi debu, penggerak *instrument control* untuk otomatisasi (*dust handling and transportation*) dan sebagian kecil untuk penggunaan *tools*, misalnya *impact, hammer, ratchet*, atau *winch (air tools)*. Utilities Thermal Plant memiliki 14 unit Centac Compressor dengan total kapasitas sebesar 46.640 scfm dan 3 Unit *air dryer* dengan kapasitas masing-masing 15.000 scfm. Total pemakaian udara sekitar 32.000 – 35.000 scfm. Udara bertekanan dari *compressor* selanjutnya dialirkan menuju *air dryer* untuk memperoleh kualitas udara yang di perlukan sesuai *Service Level Agreement*, yaitu *pressure* antara 5.5 - 6.5 kg/cm², *dew point* 10-15°C, *temperature* 27-32 °C, dan kelembaban relative (RH) sekitar 30-40%.

Air dryer 1, 2 dipasang pada tahun 2003 dan *air dryer* 3 di pasang pada tahun 2005. Sejak *air dryer* beroperasi selama 12-14 tahun belum pernah di lakukan pembersihan *air heat exchanger* serta *evaporator*. Inspeksi awal sebelum pembersihan *air dryer* banyak di temukan kerak yang menempel pada *shell & tube heat exchanger* pada akhir Juli 2017. Pembersihan menggunakan bahan kimia pada *air dryer* pertama kali di lakukan pada bulan Agustus dan September 2017. 3 unit *air dryer* dan 13-14 unit *compressor* beroperasi sebelum dilakukan *chemical cleaning*. *Drop pressure* yang terjadi pada *air dryer* 30-34 Psi dan *dew point* > 20 °C. Tekanan udara ke pelanggan turun menjadi di bawah 5.5 kg/cm² sehingga pelanggan mengalami gangguan operasi pada peralatan *dryer, kiln*. Setelah di lakukan *chemical cleaning* pada sistim *air dryer (air to air heat exchanger, evaporator dan separator)* maka hasil yang di peroleh *drop pressure* menjadi 7 Psi, *dew point* normal antara 10-15 °C dan 8-10 unit *compressor* dan 2 unit *air dryer* beroperasi. Berdasarkan *manual book*

drop pressure/differential pressure (DP) pada STHE yang di perbolehkan ≤ 15 Psi.

Proses pengotoran adalah proses yang dinamis dan tidak stabil dimana banyak variabel operasional dan desain diidentifikasi sebagai efek yang paling menonjol dan didefinisikan sebagai pengotoran/*fouling*. Parameter *fouling* meliputi kecepatan aliran fluida, sifat fluida, suhu permukaan, geometri permukaan, bahan permukaan, kekasaran permukaan, konsentrasi dan sifat partikel tersuspensi. (Mostafa M Awad, 2011). Suhu yang lebih rendah menghasilkan penumpukan *fouling* yang lebih lambat, dan biasanya endapan yang mudah dilepas (Chenoweth, J. M, 1988) Penukar panas *shell* dan *tube* yang dipilih harus memenuhi persyaratan proses dengan tekanan yang diizinkan turun sampai pembersihan pabrik berikutnya yang dijadwalkan. Dampak dari pembentukan *fouling* selain mempengaruhi perpindahan panas juga mengakibatkan penurunan tekanan pada aliran *tube*. *Drop pressure* dapat terjadi pada *shell & tube heat exchanger* dan di hitung secara matematis (Sandeep K. Patel, Alkesh M. Mavani, 2012). Tujuan dari hasil prediksi tersebut dapat mempermudah monitoring performansi pada alat penukar panas dan dapat menentukan jadwal pembersihannya (Colleti, dkk, 2011). Pada sebagian besar aplikasi, pengotoran diketahui terjadi meskipun ada desain yang bagus, operasi yang efektif, dan perawatan. Oleh karena itu, penukar panas dan peralatan terkait harus dibersihkan untuk mengembalikan penukar panas ke operasi yang efisien. Waktu antara operasi pembersihan akan tergantung pada tingkat keparahan masalah penurunan tekanan dan *fouling*. Dalam beberapa kasus, pembersihan dapat dilakukan selama program pemeliharaan berkala (misalnya, dua kali setahun atau tahunan) (Mostafa M Awad, 2011).

Penelitian ini nantinya mengkaji aspek interval waktu terbaik yang digunakan untuk meningkatkan *profit* yang dihasilkan, dengan interval pembersihan yang dilakukan tiap setahun, tiap 2 tahun, tiap 5 tahun, dan tiap 10 tahun. Pemilihan interval waktu yang sesuai didasari oleh dua aspek, yaitu aspek ekonomis dan keselamatan, diaman kedua aspek memiliki korelasi yang tidak dapat terpisahkan dalam keberlanjutan dari suatu perusahaan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh perbedaan tekanan terhadap *total cost* sistem pengoperasian pada *air dryer*?
2. Bagaimana pengaruh interval waktu pembersihan terhadap nilai *profit* dan *saving cost* yang dihasilkan berdasarkan *total cost* yang diberikan pada sistem *air dryer*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisa peningkatan *total cost* sistem pengoperasian *air dryer* berdasarkan pengaruh perbedaan tekanan
2. Mengetahui pengaruh interval waktu pembersihan terhadap nilai *profit* dan *saving cost* yang dihasilkan berdasarkan *total cost* yang diberikan pada sistem *air dryer*

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini penting untuk mengoptimalkan jadwal pembersihan STHE berdasarkan *drop pressure* yang di perbolehkan sebelum terjadi gangguan operasi pada pelanggan. Jadwal pembersihan STHE akan di atur sebagai program *preventive maintenance (PM) check air dryer* secara berkala. Program *PM check* ini sebagai dasar pemeliharaan untuk *air dryer* unit 1,2,3 yang di miliki PT Vale Indonesia yang mana sebelumnya belum pernah di lakukan.

Berdasarkan tujuan penelitian dan metodologi penelitian, maka yang akan di analisa adalah model kenaikan perbedaan tekanan yang di sebabkan oleh *fouling* untuk memonitor terjadinya perbedaan tekanan yang masih di perbolehkan. Selain itu juga menganalisa selang/rentan waktu (*time interval*) dari keadaan bersih atau perbedaan tekanan desain sampai perbedaan tekanan yang di perbolehkan. Berdasarkan analisa tersebut maka hasil dari tesis ini adalah menentukan *time*

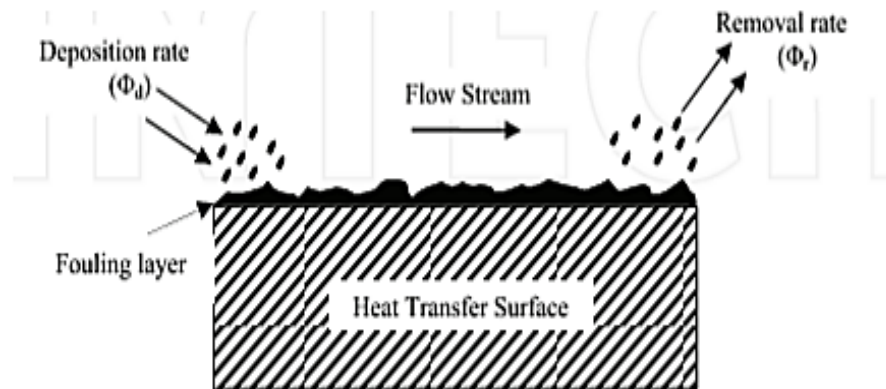
interval pembersihan yang optimum sesuai persyaratan yang di perbolehkan.
Batasan *drop pressure/differential pressure* yang di perbolehkan $DP \leq 15$ Psi.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Perkembangan Analisis Dinamis Pada Alat Penukar Panas

Analisis dinamis merupakan proses pencarian informasi pada sebuah proses. Adapun beberapa literatur menggunakan pengembangan permodelan matematis non-linier digunakan untuk memprediksi kondisi perpindahan panas pada alat penukar panas seperti metode dari *bell-dellaware* dan analisis kecepatan aliran pada masing-masing sisi (Taborek, 2002). Adapun juga literatur yang menggunakan analisis dinamis pada alat penukar panas tipe *tubular*, *plate*, dan *crossflow* (Roetzel, dkk, 1999). Fenomena *fouling* di dalamnya menggunakan pendekatan *model asymptotic*. Hasil tersebut juga membahas respon dinamis pada alat penukar panas dan beberapa gangguan terhadap responnya tanpa efek *fouling* di dalamnya. Hasil dari berupa kondisi perpindahan panas dan fenomena transport didalamnya dapat dikembangkan untuk mengoptimisasi desain dan beberapa perubahan prosedur operasinya (Fryer dan Toyoda, 1985). Biasanya proses pembentukan *fouling* tergantung pada proses fluida didalamnya dan mempengaruhi kondisi perpindahan panas pada alat penukar panas sehingga diperlukan analisis kondisi prediksi performansi pada alat penukar panas. Tujuan dari hasil prediksi tersebut dapat mempermudah monitoring performansi pada alat penukar panas dan dapat menentukan jadwal pembersihannya (Colleti, dkk, 2011).

Fouling pada alat penukar panas disebabkan karena proses kimia atau kristalisasi sehingga terjadi pengendapan pada alat penukar panas. Proses *fouling* secara keseluruhan diakibatkan karena pembentukan material pada permukaan *tube* dan proses erosi material akibat kecepatan aliran (Awad, 2011).



Gambar 2. 1 Proses mekanisme *fouling* (Awad, 2011)

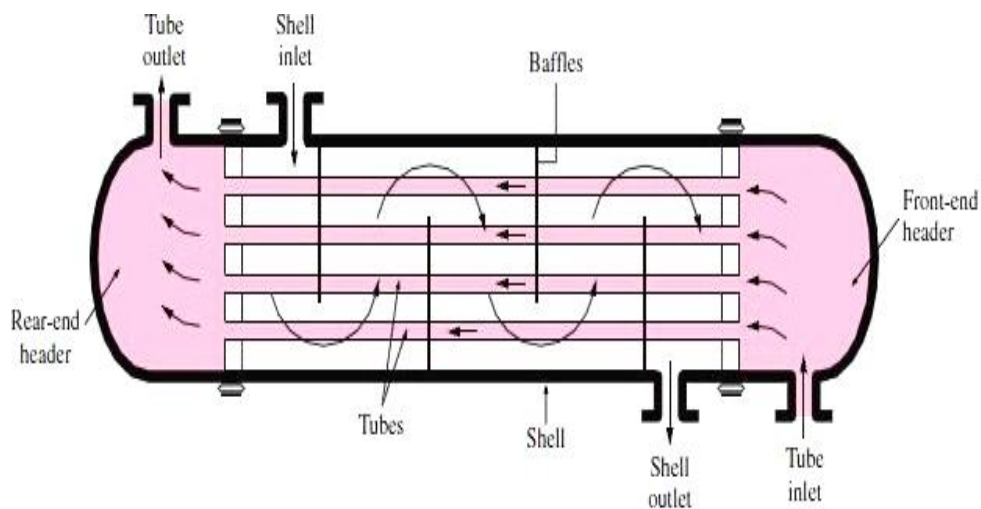
Aliran yang mudah mengalami pembentukan *fouling* berada pada sisi *tube* untuk mempermudah pembersihan. Dampak dari pembentukan *fouling* pada sisi *tube* mengakibatkan perubahan konduktivitas termal pada permukaan *tube* dan penurunan tekanan akibat perubahan tingkat kekasaran pada *tube*. Jika alat penukar panas digunakan untuk suhu tinggi pembentukan *fouling* didalamnya sangat berbahaya karena dapat menyebabkan *overheat* dan keretakan pada permukaan *tube* (Trojan dan Taler, 2013).

2.2 Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)

Alat penukar kalor adalah suatu alat yang menghasilkan perpindahan panas dari suatu fluida ke fluida, fluida ke gas, gas ke gas. Alat penukar kalor menurut Dean A Barlet (1996), memiliki tujuan untuk mengontrol suatu sistem (temperatur) dengan menambahkan atau menghilangkan energi termal dari suatu fluida ke fluida lainnya. Walaupun ada banyak perbedaan ukuran, tingkat kesempurnaan, dan perbedaan jenis alat penukar kalor, semua alat penukar kalor menggunakan elemen–elemen konduksi termal yang pada umumnya berupa tabung “*tube*” atau plat untuk memisahkan dua fluida, gas. Salah satu dari elemen tersebut, memindahkan energi kalor ke elemen yang lainnya.

Penelitian ini menggunakan media alat penukar panas tipe *shell* dan *tube*. Alat penukar kalor tipe ini adalah salah satu jenis alat penukar kalor yang menurut konstruksinya dicirikan adanya sekumpulan “*tube*” yang dipasangkan di dalam

“*shell*” berbentuk silinder di mana dua jenis fluida/gas lainnya yang saling bertukar kalor mengalir secara terpisah, masing–masing melalui sisi “*tube*” dan sisi “*shell*”. Alat penukar kalor tipe ini sering digunakan di industri kimia. Satu fluida/gas mengalir di dalam pipa, sementara fluida lain dialirkan dalam *shell*. Agar aliran dalam *shell* turbulen dan untuk memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi, maka pada *shell* dipasang penghalang (*baffle*). Instrumen ini memanfaatkan perpindahan panas pada dua fluida/gas yang mengalir dalam *shell* dan *tube*. Sesuai pada gambar 2.2, 2.3 dan 2.4 jika kedua fluida di dalamnya mengalir secara sejajar maka disebut aliran *cocurrent*, sedangkan kedua aliran fluida mengalir berlawanan arah disebut aliran *countercurrent*. Aliran *countercurrent* digunakan untuk fluida yang memiliki viskositas yang tinggi. Pada aliran ini memiliki perbedaan suhu yang rendah, hal ini disebabkan suhu fluida ketika masuk memberikan energi selalu lebih tinggi ketika hingga keluar. Pada aliran silang, aliran dari kedua fluida ketika keluar dari alat penukar panas mencapai suhu yang maksimum karena perpindahan suhu yang berbeda.

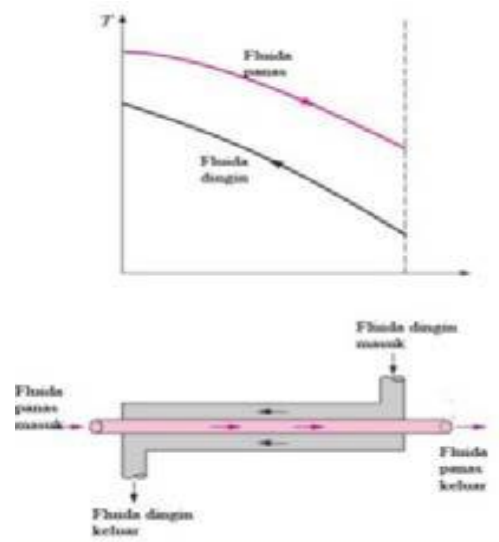


Gambar 2. 2 Alat penukar Panas Tipe *Shell and Tube* (I. Bizzy, R. Setiadi, 2009)

Alat penukar kalor tipe “*shell and tube*” memiliki komponen-komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksinya. Adapun komponen-komponen dari alat penukar kalor tipe ini adalah:

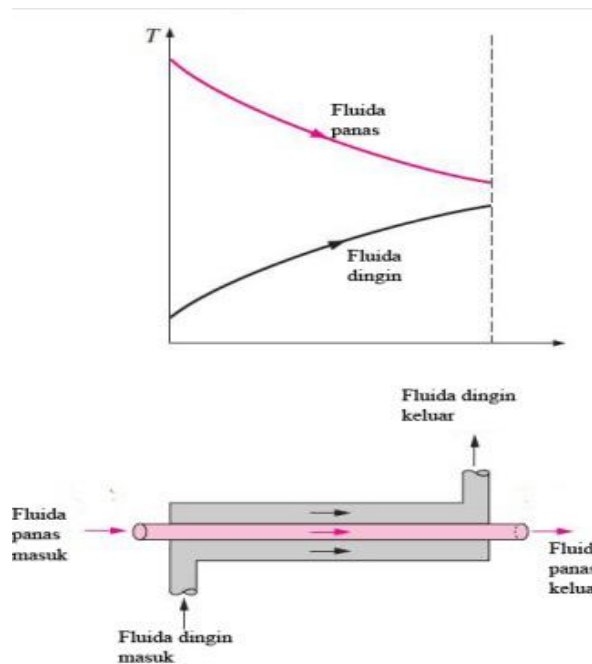
1. *Tube*
2. *Tube sheets*

3. *Shell & shell side nozzles*
4. *Tube side channels & nozzle*
5. *Channel cover*
6. *Pass divider*
7. *Baffles*



Gambar 2. 3 Alat penukar panas tipe aliran berlawanan (I. Bizzy, R. Setiadi, 2009)

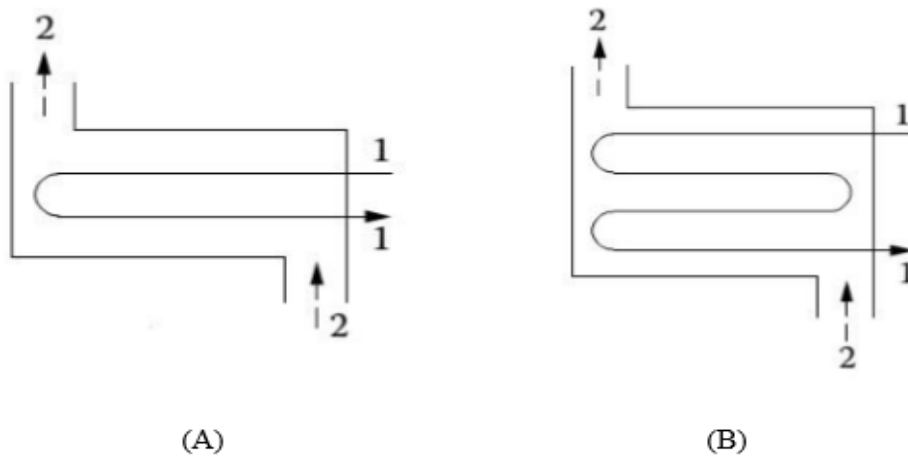
Alat penukar kalor tipe aliran berlawanan, memiliki arah aliran yang berlawanan. Perpindahan kalor terjadi antara satu ujung bagian yang panas dari kedua fluida dan juga bagian yang paling dingin. Temperatur keluar fluida dingin dapat melebihi temperatur keluar fluida panas.



Gambar 2. 4 Alat penukar panas aliran sejajar (I. Bizzy, R. Setiadi, 2009)

Alat penukar kalor tipe aliran sejajar, memiliki arah aliran dari dua fluida yang bergerak secara sejajar. Kedua fluida masuk dan keluar pada sisi penukar panas yang sama. Temperatur fluida yang memberikan energi selalu lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang menerima sejak memasuki alat penukar kalor hingga keluar. Temperatur fluida yang menerima kalor tidak pernah mencapai temperatur fluida yang memberikan kalor.

Jumlah *pass* pada alat penukar panas lebih dari satu dapat dikatakan alat penukar panas *multipass*. Penggunaan alat penukar panas *multipass* ini dilakukan jika kecepatan aliran pada *tube* pelan atau efektifitas pada alat penukar panas berkurang (Kuppan, 2000).



Gambar 2. 5 Alat penukar panas berdasarkan jumlah dua *tube pass* (A) dan empat *tube pass* (B).(Kuppan, 2000)

Jumlah *pass* pada alat penukar panas berkelipatan dua atau bernilai genap seperti satu *shell pass* dua *tube pass* dan dua *shell pass* empat *tube pass*. Area *cross sectional* pada sisi *tube* (AC_{tube}) dan *shell* (AC_{shell}) didapatkan

$$AC_{tube} = \frac{\pi}{4} \cdot Nt \cdot di^2 \cdot Np \quad (2.1)$$

$$AC_{shell} = \frac{D_{shell} \cdot Pd \cdot Lb}{Pt} \quad (2.2)$$

Persamaan (2.1) dan (2.2) diatas, digunakan untuk mendapatkan kecepatan aliran masing-masing sisi.

$$u_{tube} = \frac{\dot{m}_{tube}}{AC_{tube}} \quad (2.3)$$

$$u_{shell} = \frac{\dot{m}_{shell}}{AC_{shell}} \quad (2.4)$$

Perhitungan koefisien perpindahan panas pada sisi *tube* berdasarkan metode Dittus-boelter (Hewwit et al., 1994) yang digunakan pada persamaan dibawah ini

$$h_{tube} = \frac{\lambda_n \cdot Nu_{number}}{D_{in}} \quad (2.5)$$

Koefisien perpindahan panas pada sisi *shell* berdasarkan metode Kern (Kern, 1950) dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.6)

$$h_{shell} = \frac{0.036 \cdot \lambda_n}{D_{shell}} \cdot Re^{0.8} Pr^{0.4} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (2.6)$$

Perhitungan nilai *Nusselt* menggunakan perhitungan *Reynold* dan *Prandtl* dijelaskan pada persamaan (2.7), (2.8), dan (2.9).

$$Nu_{number} = 0.023 \cdot Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (2.7)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot L}{\mu} \quad (2.8)$$

$$Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k} \quad (2.9)$$

Kondisi perpindahan panas secara keseluruhan dapat dihitung dengan persamaan dibawah berikut :

$$UA = \frac{Nt}{\left(\frac{1}{h_i \cdot A_i} \right) + \left(\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot k} \cdot \ln \frac{r_o}{r_i} \right) + \left(\frac{1}{h_o \cdot A_o} \right)} \quad (2.10)$$

Maka beban panas pada alat penukar panas didapatkan sebagai berikut

$$Q = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LMTD} \quad (2.11)$$

Log mean temperature difference (ΔT_{LMTD}) merupakan metode perhitungan perbedaan suhu panas dan dingin pada masing-masing sisi alat penukar panas.

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{panas,inlet} - T_{dingin,outlet}) - (T_{panas,inlet} - T_{dingin,outlet})}{\ln \left(\frac{T_{panas,inlet} - T_{dingin,outlet}}{T_{panas,inlet} - T_{dingin,outlet}} \right)} \quad (2.12)$$

2.3 Faktor Pengotoran dan Kerugian pada *Heat Exchanger*

Faktor pengotoran ini sangat mempengaruhi perpindahan kalor pada alat penukar kalor. Pengotoran ini dapat terjadi endapan dari fluida yang mengalir, juga disebabkan oleh korosi pada komponen dari alat penukar kalor akibat pengaruh dari jenis fluida yang dialirinya. Selama alat penukar kalor ini dioperasikan maka pengaruh pengotoran pasti akan terjadi. Terjadinya pengotoran tersebut dapat mengganggu atau mempengaruhi temperatur fluida mengalir dan dapat menurunkan atau mempengaruhi koefisien perpindahan panas menyeluruh dari fluida tersebut.

Faktor pengotoran dapat dicari dengan persamaan:

$$R_f = \frac{1}{U_d} - \frac{1}{U_c} \quad (2.13)$$

dimana ;

U_c = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh bersih ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

U_d = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh direncanakan ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

2.3.1 Penurunan Tekanan pada *Shell*

Apabila dibicarakan besarnya penurunan tekanan pada sisi *shell* alat penukar kalor, masalahnya proporsional dengan beberapa kali fluida itu menyebrangi *tube bundle* diantara sekat-sekat. Besarnya penurunan tekanan pada *isothermal* untuk fluida yang dipanaskan atau didinginkan, serta kerugian saat masuk dan keluar adalah:

$$\Delta P_s = \frac{f_s \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_s \cdot S \cdot \varphi_s} \quad (2.14)$$

2.3.2 Penurunan Tekanan pada *Tube*

Besarnya penurunan tekanan pada *tube* side alat penukar kalor telah diformulasikan, persamaan terhadap faktor gesekan dari fluida yang dipanaskan atau yang didinginkan didalam *tube*.

$$\Delta P_t = \frac{f_t \cdot G_t^2 \cdot D_s \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_t \cdot S \cdot \varphi_t} \quad (2.15)$$

Mengingat bahwa fluida itu mengalami belokan pada saat *passnya*, maka terdapat kerugian tambahan penurunan tekanan.

$$\Delta P_r = \frac{4n}{St} \frac{V^2}{2g} \quad (2.16)$$

2.4 Kerangka Permodelan dan Perhitungan pada Optimasi Jadwal Pembersihan

Kerangka pemodelan didasarkan pada deskripsi penukar panas *shell-and-tube* sebagai sistem dinamis dan terdistribusi yang dikembangkan oleh *Coletti & Macchietto (A Dynamic, Distributed Model of Shell-and-Tube Heat Exchangers Undergoing Crude Oil Fouling, 2011)* dan saat ini diterapkan di Hexxcell Studio™ 38. Model ini mencakup deskripsi pertukaran panas antara *tube*, *shell* dan *drop pressure* pada kedua sisi, dan sifat fisik fluida sebagai fungsi karakteristik fluida dan suhu lokal. Dengan menggunakan kerangka ini, berbagai implementasi lapisan *fouling* dipertimbangkan, masing-masing dengan tingkat detail yang berbeda dalam deskripsi deposit, tujuan, dan aplikasi. Persamaan utama untuk mode dan batas ini kondisi antara deposit, aliran sisi tabung dan sub-model dinding dirangkum dalam Tabel 2.3. Di sini, pengotoran dianggap terbatas pada tabung (di mana sisi *shell fouling* diabaikan). Model ini dapat digunakan dalam empat mode berbeda yang sesuai dengan tingkat yang berbeda dari model deposit sebagai berikut:

Mode I: Terdistribusi, multi komponen: model lengkap. (δl) tergantung pada deposisi dan fluks pemindahan pada saat bergerak batas antara lapisan deposit dan minyak mentah yang mengalir. Komposisinya menentukan fisik sifat lapisan, seperti konduktivitas termal (λl). Dalam mode ini, model digunakan untuk memprediksi kinerja penukar panas sebagai deposit build-up dari waktu ke waktu, dari yang diberikan (waktu-variasi) *inlet* kondisi (panas dan dingin aliran suhu dan debit) dan sifat minyak mentah. Jaring tingkat deposisi (n_f, i) menentukan distribusi spasial lapisan *fouling* di dalam *heat exchanger*. Tindakan pembersihan dilakukan, tingkat pembersihan (n_{Cl}, k) menentukan jumlah uang yang dibuang. Jika pembersihan parsial, lapisan yang tersisa dianggap tidak terpengaruh oleh aktivitas pembersihan dan, oleh karena itu, profil konsentrasinya melestarikan sejarah sebelumnya. Tingkat perubahan ketebalan *fouling* di penukar didefinisikan sebagai :dimana b_{clean} adalah

variabel 0-1 yang menentukan apakah ada pembersihan yang terjadi dan b_k adalah variabel biner yang mana menunjukkan apakah metode pembersihan k aktif ($b_k = 1$) atau tidak ($b_k = 0$).

Mode II - Ketebalan seragam dan konduktivitas termal: penyederhanaan model yang digunakan pada Mode I menampilkan ketebalan dan konduktivitas di seluruh unit. Mode ini dapat digunakan: a) untuk menyimpulkan ketebalan dan konduktivitas yang jelas dari *inlet* dan *outlet* plant data terukur; b) memprediksi penurunan tekanan dari kondisi saluran masuk yang diberikan, ketebalan deposit dan daya konduksi.

Mode III - Ketahanan *fouling*: deposit dimodelkan sebagai ketahanan seragam terhadap panas transfer. Deskripsi ini mengabaikan pembatasan bertahap dari area aliran saat pengotoran menumpuk dan isinya berdampak pada koefisien perpindahan panas sisi tabung (maka jelas) dan penurunan tekanan (dihitung sebagai dalam kondisi bersih). Resistansi *fouling* mengacu pada luas permukaan dalam *tube*. Perlu dicatat bahwa Resistansi *fouling* ini dihitung dengan model *heat exchanger* terdistribusi, hindari asumsi penyederhanaan dalam sifat fisik, koefisien perpindahan panas atau distribusi suhu secara tradisional pendekatan (misalnya model LMTD).

Mode IV - *Clean*: penyederhanaan lebih lanjut dari model yang digunakan pada Mode I yang mengabaikan reposisi sama sekali. Hal ini digunakan untuk memprediksi kinerja penukar panas dalam kondisi bersih dari waktu ke waktu untuk kondisi *inlet* (waktu-bervariasi).

2.5 Metode Regresi Linier

Regresi Linear Sederhana adalah Metode Statistik yang berfungsi untuk menguji sejauh mana hubungan sebab akibat antara Variabel Faktor Penyebab (X) terhadap Variabel Akibatnya. Faktor Penyebab pada umumnya dilambangkan dengan X atau disebut juga dengan *predictor* sedangkan variabel Akibat dilambangkan dengan Y atau disebut juga dengan *response*. Regresi linear sederhana atau sering disingkat dengan SLR (*Simple Linear Regression*) juga merupakan salah satu Metode Statistik yang dipergunakan dalam produksi untuk melakukan peramalan ataupun prediksi tentang karakteristik kualitas maupun kuantitas, disamping korelasi, diagram tebar

(*Scatter Diagram*) sebenarnya juga dapat mempelajari hubungan 2 variabel dengan cara menggambarkan hubungan tersebut dalam bentuk grafik, tetapi diagram tebar hanya dapat memperkirakan kecenderungan hubungan tersebut apakah linear positif, linear negatif ataupun tidak memiliki korelasi linear. Kelemahan diagram tebar adalah tidak dapat menunjukkan secara tepat dan juga tidak dapat memberikan angka kuantitas tentang kekuatan hubungan antara 2 variabel yang dikaji tersebut.

Kekuatan hubungan antara 2 Variabel biasanya disebut dengan koefisien Korelasi dan dilambangkan dengan symbol “r”. Nilai Koefisien r akan selalu berada di antara -1 sampai +1. Koefisien Korelasi akan selalu berada di dalam Range $-1 \leq r \leq +1$. Jika ditemukan perhitungan diluar Range tersebut, berarti telah terjadi kesalahan perhitungan dan harus di koreksi terhadap perhitungan. Secara umum model persamaan regresi linier sederhana dijabarkan sebagai berikut:

$$Y = a + bx \tag{2.17}$$

Dimana, Y merupakan variabel response atau variabel akibat (*dependent*), x merupakan variabel predictor atau variabel faktor penyebab (*independent*), a merupakan konstanta, sedangkan nilai b merupakan koefisien regresi atau besaran response yang ditimbulkan oleh predictor. Untuk nilai a dan b dapat dicari menggunakan persamaan berikut :

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \tag{2.18}$$

$$b = \frac{(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \tag{2.19}$$

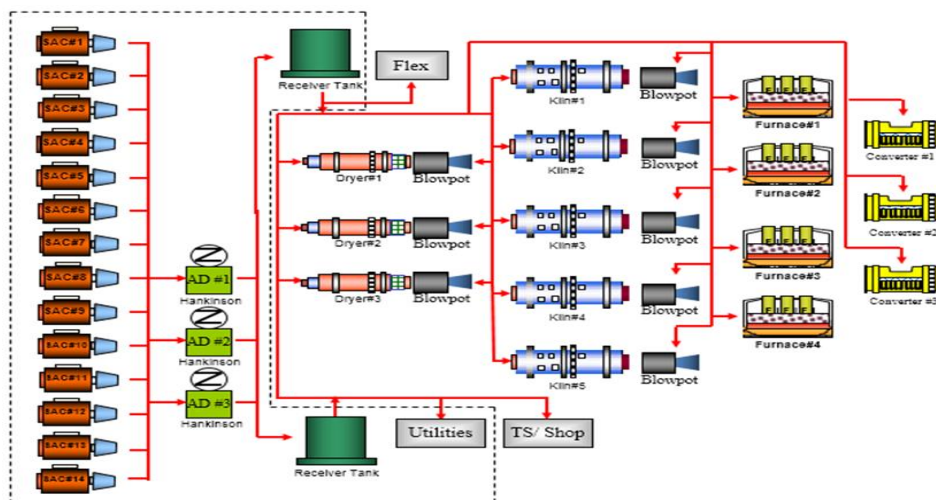
Secara ringkas, terdapat langkah-langkah dalam melakukan analisa regresi linier sederhana, yaitu :

1. Tentukan tujuan dari melakukan analisis regresi linier sederhana
2. Identifikasi variabel faktor penyebab (prediktor) dan variabel akibat (response)
3. Pengumpulan data
4. Perhitungan nilai x_2 , y_2 , dan total komulatif dari kedua variabel tersebut

5. Menghitung nilai a dan b sebagai konstanta yang digunakan dalam pencarian data dari hasil regresi
6. Melakukan model persamaan regresi linier sederhana
7. Melakukan prediksi atau peramalan terhadap variabel faktor penyebab atau variabel akibat.

2.6 Sistem Udara Tekan di *Utilities Thermal PT. Vale Indonesia Tbk*

Departemen *Utilities* telah mengoperasikan 14 unit kompresor udara tipe sentrifugal dengan berbagai macam kapasitas, mulai dari 1490 SCFM sampai 5600 SCFM. Semua kompresor ini adalah *Ingersoll-Rand* tipe CENTAC multi stage. Kompresor ini menyediakan udara tekan untuk servis dan instrumen udara ke process plant dan utilities dengan tekanan sekitar 100 Psig. *Output* dari kompresor kemudian akan diolah pada 3 unit *Hankison Air dryer* (pengering udara) dengan kapasitas 15.000 SCFM per unit untuk menurunkan titik embun sampai 10°C. Kemudian dari *Hankison Air dryer* maka udara tekan akan ditransfer ke *process plant* melalui pipa penyalur utama yang berukuran 12 ", 10" dan 4 ". Di *process plant*, udara tekan banyak digunakan pada sistem transportasi debu dan kontrol instrumen yang menggunakan *actuator pneumatic*. Berikut *flow diagram* dari sistem udara tekan di *Utilities PT Vale Indonesia Tbk*:



Gambar 2. 6 Diagram alir sistem udara tekan di Utilities

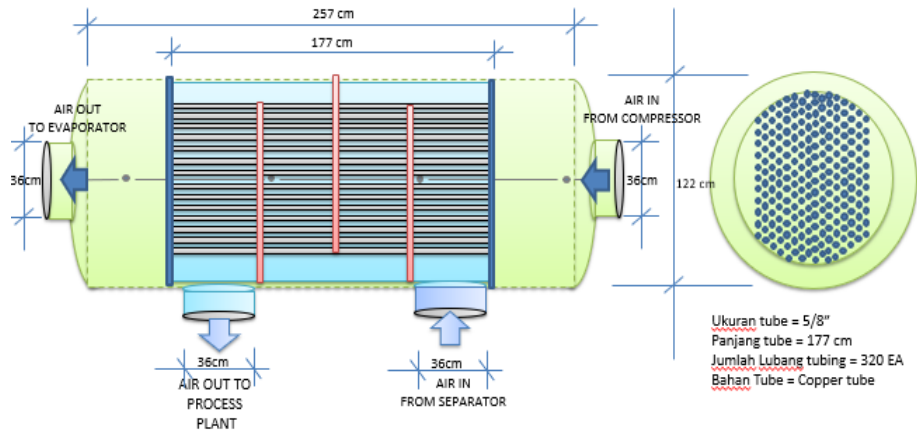
2.7 Dimensi *Air dryer*

Dalam bab sebelumnya telah dijelaskan bahwa Dimensi jalur udara untuk *Air dryer* Hankinson di *Thermal Plant Utilities* PTVI terdiri atas 3 bagian utama yakni *Air to Air Heat Exchanger*, *Evaporator* dan *Air Separator*. Ketiga bagian tersebut merupakan komponen utama sebagai jalur udara yang dari *compressor* kemudian melalui tahapan proses pendinginan dan pengeringan hingga produk akhir yang dihasilkan sesuai dengan keinginan dalam proses produksi di PTVI.

2.7.1 Dimensi *Air to Air Exchanger*

Air to Air Exchanger dari unit *Air dryer* Hankinson ini terdiri sebuah tabung utama sepanjang 257 cm dengan diameter 122 cm, kemudian pipa pengubung udara masuk dan pipa keluar dengan panjang 15 cm & diameter 36 cm. Didalam tabung terdapat pipa-pipa kecil yang terbuat dari bahan copper dengan berjumlah sekitar 320 buah, panjang 177cm dan diameter 5/8". Pada prosesnya udara dari *Compressor* dengan tekanan sekitar 95-100 Psi dan temperature sekitar 50°C akan masuk melalui pipa *inlet* no.1 kemudian melewati pipa-pipa kecil dan keluar melalui pipa *outlet* atau no. 2 pada gambar dibawah. Karena didesign secara terpisah pipa jalur *inlet* dan *outlet* yang ditunjuk no. 3 pada gambar adalah jalur udara yang berasal dari *Separator* dan *Evaporator* dimana udara telah mengalami proses pengeringan dan pendinginan, dimana didalamnya dilengkapi dengan sekat-sekat lagi yang memungkinkan udara akan mengalami pertukaran panas secara lebih efektif. Dengan perbedaan temperature pada kedua sisi *inlet* dan *outlet* menyebabkan terjadinya pertukaran panas antara sisi masuk dari *compressor* dengan sisi keluar dari *evaporator/separator*.

Dimensi Air to Air Exchanger

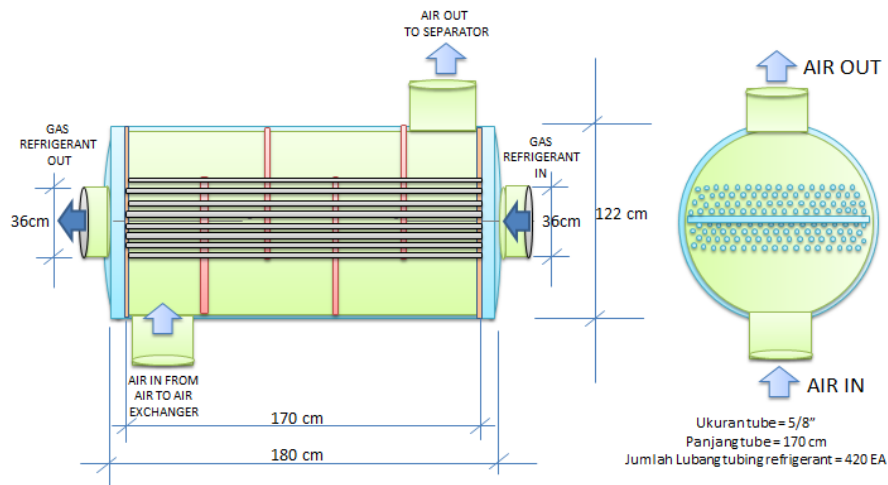


Gambar 2.7 Dimensi *Air to Air* pada *Air dryer*

2.7.2 Dimensi *Evaporator*

Evaporator juga memiliki dua sisi sekat yang terpisah yakni terdiri dari sekat untuk udara dan sekat *gas refrigerant*. Sekat udara terdiri atas pipa *inlet* dan *outlet* dengan diameter 36 dimana panjang total bagian ini sekitar 180 cm dan diameter 122 cm. Tabung udara sepanjang itu didalamnya dilengkapi dengan beberapa sekat-sekat lagi yang berfungsi menjadikan aliran udara yang lewat seperti zig-zag sehingga system penyerapan panas/kalor akan semakin panjang dan efektif. Sedangkan *gas refrigerant* akan dilewatkan melalui pipa *inlet* berdiameter 36 cm masuk kedalam tabung utama dengan diameter 122 cm. Selanjutnya gas masuk kedalam tabung utama dimana terdapat lubang pipa kecil berjumlah 420 batang dari bahan tembaga dengan ukuran 5/8" dan panjang 117 cm yang tersusun diagonal.

Dimensi Evaporator



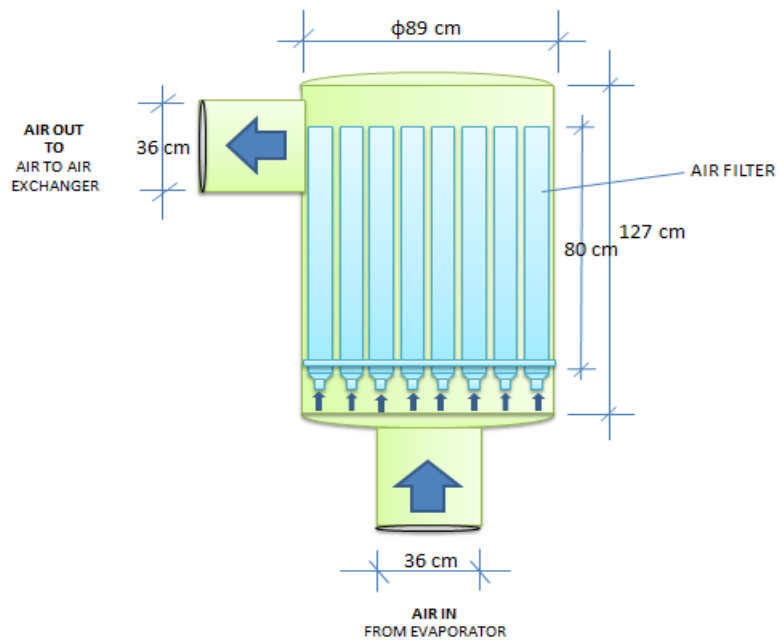
Gambar 2. 8 Dimensi evaporator *air dryer*

2.7.3 Dimensi Separator

Separator Air dryer Hankinson berfungsi untuk menangkap sisa-sisa kondensasi yang terjadi di *Evaporator* meskipun secara sistem di *Evaporator* telah dilengkapi dengan alat penangkap kondensasi. Udara *output Evaporator* akan melewati sejumlah *filter* yang memang didesain khusus untuk menangkap sisa kondensat yang masih terikut dan kemudian *cairan* kondensasi akan terkumpul didasar *separator*. *Cairan* itu kemudian secara otomatis akan dibuang keluar dengan menggunakan alat penangkap Kondensat (*Condensate trap*) secara terus menerus.

Selanjutnya udara kering dan dingin dengan tekanan dan temperatur tertentu akan di alirkan kembali menuju *Air to Air Exchanger* dimana dibagian tersebut terjadi pertukaran panas lagi antara udara panas berasal dari *Compressor* dengan udara keluaran dari *separator*. Hasil akhir udara yang telah mengalami proses pengeringan dan pendinginan kemudian akan disalurkan melalui pipa utama yang akan langsung terhubung dengan system udara di pabrik. Dimensi Sepearator dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Dimensi Separator



Gambar 2.9 Dimensi Separator *air dryer*

Tabel 2. 1 Data *centac compressor* dan *air dryer* yang digunakan

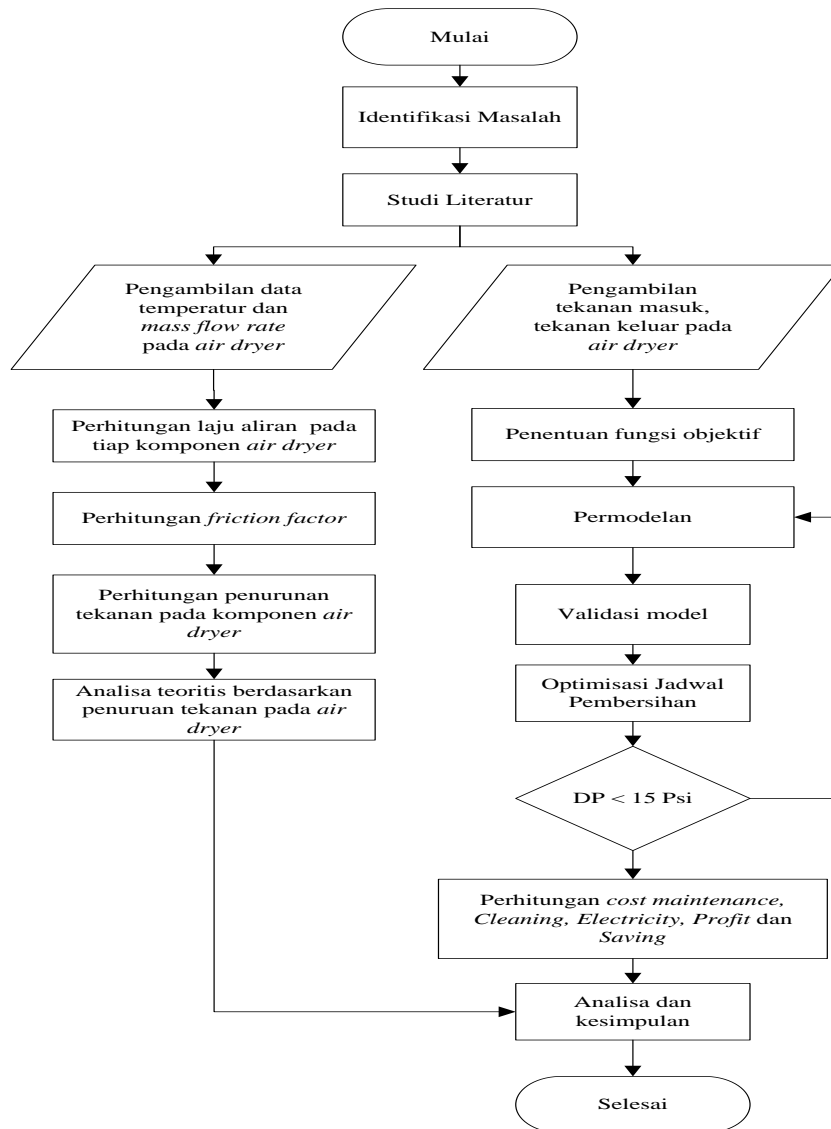
<i>Name</i>	<i>Manufacturer</i>	<i>Model</i>	HP	<i>Mega Watt</i>	<i>Electricity cost/year</i> (\$)	SCFM
Centac <i>Compressor</i> #1	Ingersoll- <i>Rand</i>	1ACII23MX2	600	0.4476	5,187.4	1680
Centac <i>Compressor</i> #2	Ingersoll- <i>Rand</i>	C1000	1500	1.119	12,968.6	5600
Centac <i>Compressor</i> #3	Ingersoll- <i>Rand</i>	1CII21MX2	600	0.4476	5,187.4	1995
Centac <i>Compressor</i> #4	Ingersoll- <i>Rand</i>	2ACII18MX2	600	0.4476	5,187.4	1490
Centac <i>Compressor</i> #5	Ingersoll- <i>Rand</i>	2ACII18MX2	500	0.373	4,322.8	1490
Centac <i>Compressor</i> #6	Ingersoll- <i>Rand</i>	1ACII23MX2	600	0.4476	5,187.4	1680
Centac <i>Compressor</i> #7	Ingersoll- <i>Rand</i>	2ACII18MX2	600	0.4476	5,187.4	1490
Centac <i>Compressor</i> #8	Ingersoll- <i>Rand</i>	2ACII50MX3	1250	0.9325	10,807.1	4110
Centac <i>Compressor</i> #9	Ingersoll- <i>Rand</i>	2ACII50MX3	1250	0.9325	10,807.1	4110
Centac <i>Compressor</i> #10	Ingersoll- <i>Rand</i>	2ACII50MX3	1250	0.9325	10,807.1	4110
Centac <i>Compressor</i> #11	Ingersoll- <i>Rand</i>	2ACII50MX3	1250	0.9325	10,807.1	4110
Centac <i>Compressor</i> #12	Ingersoll- <i>Rand</i>	C95055MX3HP	1250	0.9325	10,807.1	4586
Centac <i>Compressor</i> #13	Ingersoll- <i>Rand</i>	C95055MX3HP	1250	0.9325	10,807.2	4586
Centac <i>Compressor</i> #14	Ingersoll- <i>Rand</i>	C1000	1500	1.119	12,968.63	5600
<i>Air dryer</i> 1	Hankinson	H-1111	91	0.06789	786.76	20000
<i>Air dryer</i> 2	Hankinson	H-1111	91	0.06789	786.76	20000
<i>Air dryer</i> 3	Hankinson	H-1111	91	0.06789	786.7	15000

Pada table 2.1 memperlihatkan beberapa komponen dari pada *centac* kompressor dan *air dryer* yang bekerja pada department utilities di PT. Vale Indonesia, pendeskripsian ini bertujuan untuk menunjukkan kapasitas, konsumsi listrik yang dikeluarkan tiap unit, SCFM, dan *cooling water* (GPM) yang dibutuhkan untuk sistem pendingin, hal ini nantinya digunakan untuk sistem perhitungan *cost* yang dikeluarkan pada tiap siklus pembersihan yang dilakukan, sehingga keterkaitan dan korelasi antara tiap unit nantinya dapat menyesuaikan dari besarnya pengeluaran yang dilakukan selama setahun yang bertujuan untuk menentukan forecast pembersihan dengan skala setahun sekali dalam 30 tahun, 2 tahun sekali dalam 30 tahun, 5 tahun sekali dalam 30 tahun dan 10 tahun sekali dalam kurun waktu 30 tahun, sehingga nantinya aspek ini dapat menentukan lebih presisi pemilihan waktu pembersihan pada sistem untuk memilih *cost* dengan serendah-rendahnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sistematika Penelitian

Proyek akhir ini bertujuan untuk mendapatkan pengaruh besarnya perbedaan tekanan yang digunakan sebagai parameter jadwal pembersihan dalam meningkatkan *profit* berdasarkan total pengeluaran yang dihasilkan pada sistem pengoperasian *air dryer* PT Vale Indonesia,. Hasil yang baik dapat di peroleh dengan melakukan langkah-langkah penelitian yang tepat dan berurutan. Pada bagian ini akan diuraikan langkah-langkah yang dilakukan peneliti dalam menyelesaikan permasalahan.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian maka metodologi yang akan di lakukan sebagai berikut:

1. Pengumpulan data

Pada periode ini diawali dengan pengumpulan data properti dan kondisi operasi yang diperlukan untuk penelitian. Data yang diperoleh berdasarkan pengambilan langsung dari sistem selama pengoperasian, meliputi, *flow rate* (m^3/s), tekanan *input* (Psi), tekanan *output* (Psi), dan temperatur.

2. Identifikasi Masalah

Pengoperasian lapangan menunjukkan sistem *air dryer* dapat bekerja hingga mencapai *pressure drop* antara 30-33 Psi, namun kapasitas produksi yang disalurkan terhadap pelanggan menurun sehingga dilihat dari segi keselamatan dan ekonomi, memperlihatkan penurunan produksi ketika bekerja pada *drop pressure* tinggi, sehingga dibutuhkan sistematisasi jadwal pembersihan yang sesuai agar produksi dapat berkelanjutan tanpa harus mengurangi *profit* dari perusahaan. Disisi lain aspek keselamatan diperlihatkan dari sisi jadwal pembersihan yang terstruktur karena menurunkan probabilitas dari tiap komponen rusak dan tentunya meningkatkan probabilitas dari keselamatan yang diberikan, sehingga korelasi antara segi ekonomi dan keselamatan merupakan dua sisi yang tidak bisa dipisahkan dengan tujuan produksi tetap berkelanjutan.

3. Perhitungan Teoritis pada *Pressure drop*

Perhitungan teoritis dilakukan untuk verifikasi data dari analisa perhitungan *pressure drop* yang dihasilkan, data tersebut digunakan sebagai parameter dalam penentuan batas minimum dalam permodelan *pressure drop* yang dianjurkan, sehingga antara permodelan dan perhitungan teoritis dapat disinkronisasikan untuk memperoleh optimasi jadwal pembersihan yang efektif tanpa harus mengeluarkan *cost* yang besar dengan keterbelanjutan produksi yang tinggi.

4. Penentuan *Objective*

Membuat perumusan optimisasi *air dryer* sebagai fungsi objektif. Fungsi objektif yang akan di buat dengan menggunakan *excel* regresi liner berdasarkan data *drop pressure* di lapangan dengan batasan maksimum *pressure drop* pada alat yang di

perbolehkan sebesar 15 Psi. Fungsi objektif yang digunakan bertujuan untuk melihat *profit* yang dihasilkan selama optimasi jadwal yang dihasilkan dari peningkatan atau penurunan *drop pressure* selama pengoperasian.

5. Pemodelan

Membuat pemodelan *cleaning* dengan interval 1,2,5,10 tahunan berdasarkan *pressure drop* dengan durasi 30 tahun dengan batasan maksimum *pressure drop* 15 psi

6. Validasi Model

Melakukan validasi model secara matematis berdasarkan fungsi regresi dengan interval waktu 1,2,5 dan 10 tahun untuk mengetahui hasil sesuai atau tidak dengan batasan maksimum *pressure drop* 15 Psi.

7. Optimalkan Jadwal Pembersihan *Air dryer*

Melakukan optimasi dengan menggunakan analisa *Cost* operasional terhadap interval pembersihan 1,2 dan 5 tahun. Hasil dari tesis ini untuk menentukan *time* interval dari keadaan bersih/*drop pressure* setelah pembersihan sampai dengan *drop pressure* maksimum yang di perbolehkan yang akan di gunakan sebagai dasar untuk melakukan pembersihan *air dryer* yang optimum secara berkala.

8. Perhitungan biaya perawatan, pembersihan, listrik, profit & saving.

Menghitung biaya perawatan, pembersihan dan listrik berdasarkan *time* interval pembersihan 1,2 dan 5 tahun dengan durasi 30 tahun. Langkah selanjutnya menghitung profit dan saving yang dapat di peroleh dengan maksimum selama 30 tahun untuk masing-masing periode pembersihan 1,2 dan 5 tahun.

9. Analisa & Kesimpulan.

Setelah hasilnya di peroleh maka tahap selanjutnya adalah analisa perhitungan *total cost* (*operational cost*) yang dikeluarkan, nilai penjualan *Cubic Feet Natural Gas convert to BOE (Barrel of Oil Equivalent)* digunakan sebagai dasar dari nilai *profit* yang diperoleh dan nilai saving yang dapat di peroleh secara maksimal. Setelah itu adalah membuat kesimpulan berdasarkan hasil analisa yang di peroleh berdasarkan periode *cleaning* yang optimal dengan profit & saving yang maksimal selama 30 tahun. Penyusunan laporan dilakukan berdasarkan analisan dan pembahasan yang telah dibuat.

3.2 Identifikasi Masalah

Selama pengoperasian *air dryer* terdapat beberapa hal yang digunakan sebagai parameter dalam identifikasi masalah, sehingga penentuan fungsi objektif dan permodelan yang dilakukan dapat disesuaikan dengan kasus yang terjadi. Sejak *air dryer* beroperasi selama 12-14 tahun belum pernah dilakukan pembersihan *air to air heat exchanger* serta *evaporator*. Inspeksi awal sebelum pembersihan *air dryer* banyak ditemukan kerak yang menempel pada *shell & tube heat exchanger* pada akhir Juli 2017. Pembersihan menggunakan bahan kimia pada *air dryer* pertama kali dilakukan pada bulan Agustus dan September 2017. 3 unit *air dryer* dan 13-14 unit *compressor* beroperasi sebelum dilakukan *chemical cleaning*. *Drop pressure* yang terjadi pada *air dryer* 30-34 Psi dan dew point > 20 °C. Tekanan udara ke pelanggan turun menjadi di bawah 5.5 kg/cm² sehingga pelanggan mengalami gangguan operasi pada peralatan *dryer, kiln*. Setelah dilakukan *chemical cleaning* pada sistem *air dryer (air to air heat exchanger, evaporator dan separator)* maka hasil yang diperoleh *drop pressure* menjadi 5-10 Psi, dew point normal antara 10-15 °C dan 8-10 unit *compressor* dan 2 unit *air dryer* beroperasi. Berdasarkan masalah *drop pressure/differential pressure (DP)* pada STHE maka batasan yang diperbolehkan $5 \leq DP \leq 15$ Psi untuk menghindari terjadinya gangguan operasi produksi nikel. Sehingga pada penelitian ini memberikan fokus pada optimasi penjadwalan yang sesuai atas dasar *pressure drop* yang dihasilkan tidak melebihi 15 Psi.

3.3 Tempat Pelaksanaan dan Pengumpulan Data

Penelitian dilaksanakan pada *Thermal Power Plant* PT. VALE Sorowako, Departemen Utilities, Kab. Luwu Timur mulai bulan Desember 2017 sampai dengan bulan Juni 2018.



Gambar 3. 2 Lokasi *Air dryer* Hankinson PTVI



Gambar 3. 3 *Air dryer* Hankinson PTVI

Terdapat 3 unit *air dryer* dengan tipe yang sama yaitu Harkinson dan 14 unit *centac compressor* dengan tipe sama yaitu *Ingersoll-Rand*. 3 unit *air dryer* dan 13-14 unit *compressor* beroperasi sebelum dilakukan *chemical cleaning*. *Drop pressure* yang terjadi 30-34 Psi dan *dew point* > 20 °C. Tekanan udara turun di bawah 5.5 kg/cm² sehingga terjadi gangguan operasi pada peralatan *Dryer*, *Kiln*. Setelah di lakukan *chemical cleaning* pada *shell & tube heat exchanger* pada *air dryer* maka hasil yang di peroleh *drop pressure* menjadi 5-10 Psi, *dew point* normal antara 10-15 °C dan 8-10 unit *compressor* dan 2 unit *air dryer* beroperasi.

3.3.1 Alat yang di gunakan dalam penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian adalah *Air dryer* dengan bagian-bagiannya sebagai berikut :

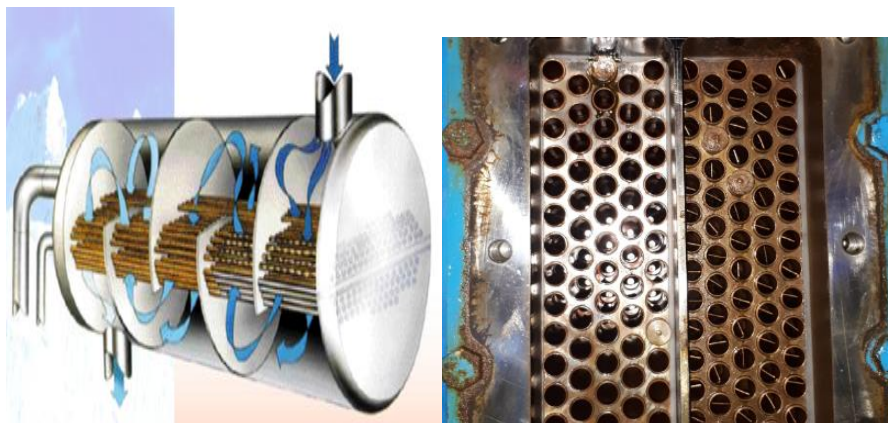
1. Seperangkat alat penukar panas type selongsong (*Air to Air Exchanger*)



Gambar 3. 4 *Air Heat Exchanger*

Alat penukar kalor ini bertujuan untuk memanfaatkan panas suatu aliran fluida untuk pemanasan fluida yang lain maka terjadi dua fungsi sekaligus yaitu memanaskan fluida yang dingin dan mendinginkan fluida yang panas. Alat penukar kalor tipe selongsong dan tabung merupakan tipe alat penukar kalor yang paling banyak digunakan dalam industri. Hal ini dikarenakan tipe selongsong dan tabung dapat digunakan untuk proses-proses dengan cakupan variasi tekanan, temperatur dan material yang luas

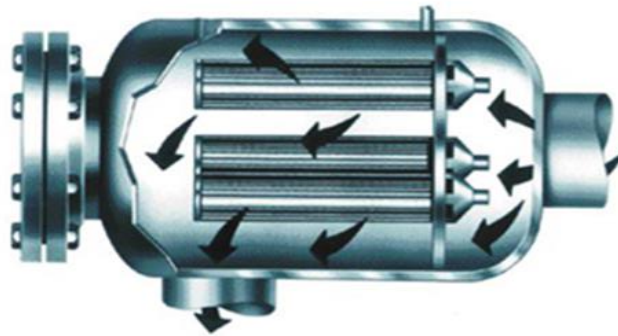
2. *Evaporator*



Gambar 3. 5 *Evaporator*

Evaporator dipergunakan untuk menguapkan *cairan* yang ada pada larutan, sehingga dari suatu larutan diperoleh yang lebih pekat. Media pemanas yang dipergunakan adalah uap dengan tekanan rendah, sebab yang dimanfaatkan adalah panas latent, yaitu mengubah fase uap menjadi fase *air*.

3. *Separator*



Gambar 3. 6 *Separator*

Separator merupakan tabung (*vessel*) bertekanan dan pada temperatur tertentu yang digunakan untuk pemisahan fluida produksi dari sumur menjadi dua fasa yaitu *cairan* dan gas. Proses pemisahan dalam *separator* adalah berdasarkan berat jenis, berat jenis fluida lebih besar dibandingkan dengan berat jenis gas sehingga gas cenderung keatas dan *cairan* cenderung kebawah. Fluida yang berasal dari *manifold* akan masuk ke *separator* melalui lubang *inlet* dan selanjutnya menumbuk *inlet diverter*. Terjadi perubahan momentum awal dalam pemisahan *cairan* dan gas. *Cairan* yang berisi minyak dan *air* ini turun ke bagian bawah bejana *separator* sedangkan gas akan bergerak naik ke atas melewati *mist extractor* dan keluar melalui *outlet* gas. Untuk *air* akan keluar melalui *outlet air* dibagian bawah sedangkan minyak akan menumpuk di bawah dan melewati weir untuk selanjutnya terakumulasi diruang khusus berisi minyak dan keluar menuju minyak *outlet*.

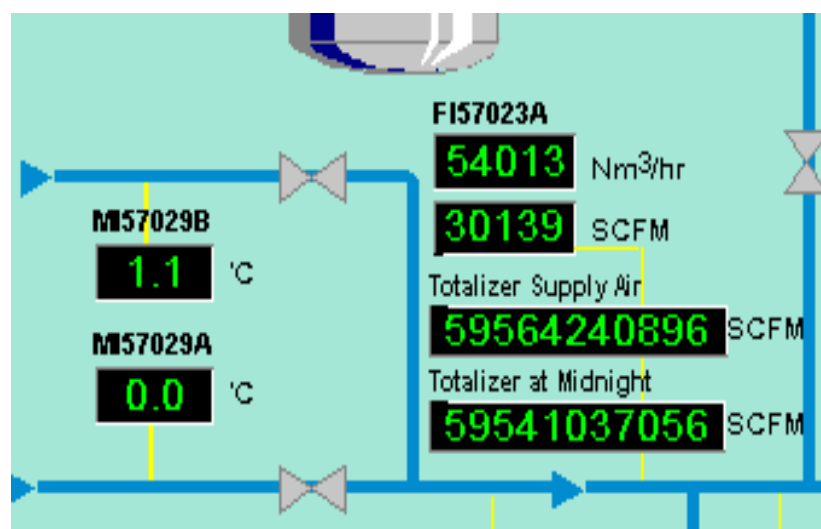
4. Pipa uap *air*



Gambar 3. 7 Pipa uap *air* pada bagian *air dryer* PT. Vale Indonesia

Sistem *air dryer* berskala besar dibentuk oleh pipa-pipa (*tubing*) berukuran antara 25 mm hingga 100 mm. Pipa-pipa ini memiliki desain material dan bentuk khusus yang harus tahan terhadap perbedaan temperatur ekstrim antara ruang bakar dengan *air* / uap *air* yang mengalir di dalamnya. Selain itu material pipa haruslah bersifat konduktor panas yang baik, sehingga perpindahan panas (*heat transfer*) dari proses pembakaran ke *air* / uap *air* bisa efektif.

5. *Flow meter*

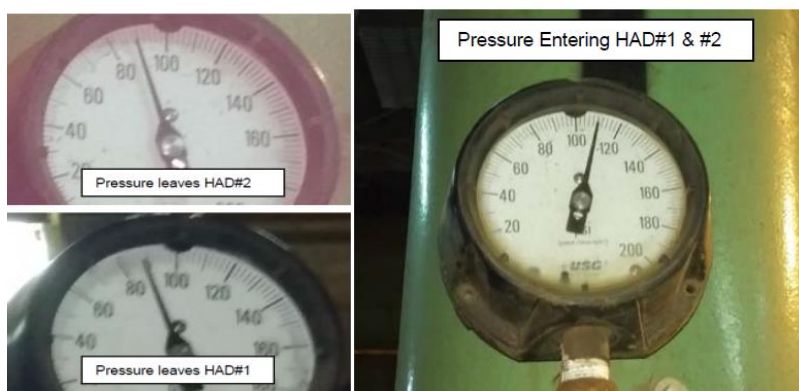


Gambar 3.8 *Flowmeter* pada monitor *control room* di Utilities

Fungsi *flow meter* adalah alat yang digunakan untuk mengetahui adanya suatu aliran material (*liquid, gas, powder*) dalam suatu jalur aliran, dengan segala aspek aliran itu sendiri, yang meliputi kecepatan aliran atau *flow rate* dan total massa atau volume dari material yang mengalir dalam jangka waktu tertentu atau sering disebut dengan istilah *totalizer*.

Dengan diketahuinya parameter dari aliran suatu material oleh alat ukur *flow meter* yang dikirim berupa data angka dan dapat juga diteruskan guna menghasilkan aliran listrik atau sinyal yang bisa digunakan sebagai *input* pada *control* atau rangkaian electric lainnya. fungsi *Flow meter* di sini bisa digunakan sebagai acuan besar kecilnya kebutuhan udara/air /steam dengan menyatel *valve* sehingga mesin yang membutuhkan udara lebih kecil bisa di sesuaikan alirannya dan begitu juga sebaliknya. Sehingga tidak ada lagi kekurangan udara/air atau steam untuk mesin2 yang membutuhkan lebih banyak.

6. *Pressure Gauge*



Gambar 3. 9 *Pressure gauge* pada tiap harkinson *air dryer*

Pressure Gauge adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan fluida (gas atau liquid) dalam tabung tertutup. Satuan dari alat ukur tekanan ini berupa psi (*pound per square inch*), psf (*pound per square foot*), mmHg (*millimeter of mercury*), inHg (*inch of mercury*), bar, ataupun atm (*atmosphere*). *Pressure Gauge* dapat digunakan dalam rangka pemantauan tekanan udara dan gas dalam kompresor, peralatan vakum, jalur proses, dan aplikasi tangki khusus seperti tabung gas medis dan

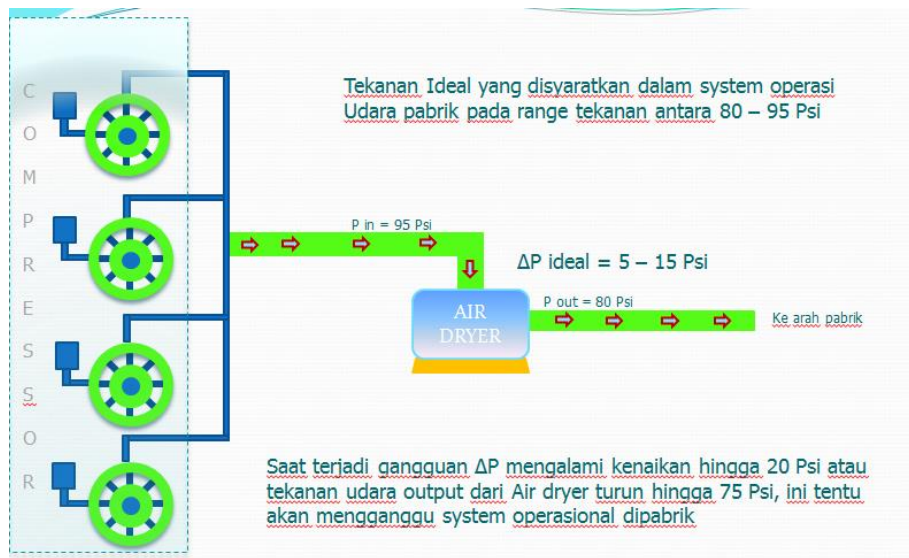
alat pemadam kebakaran. Selain indikasi visual, beberapa alat pengukur tekanan dikonfigurasi untuk memberikan *output* listrik dari tekanan yang ditunjukkan dan pemantauan variabel lain seperti suhu.

7. *Temperature Gauge*



Gambar 3. 10 Temperatur gauge pada *air dryer*

Temperature gauge digunakan untuk mengetahui suhu mesin atau alat sesuai dengan kebutuhan penggunaannya (lokal). Prinsip kerja *temperature gauge* adalah berdasarkan prinsip pemuaian logam atau yang disebut bimetal. Bimetal adalah sensor suhu yang terbuat dari dua buah lempengan logam yang berbeda koefisien muainya (α) yang direkatkan menjadi satu.



Gambar 3. 11 Ilustrasi system udara PTVI

Ilustrasi sistem udara PTVI dihadirkan sebagai dasar sirkulasi dan batasan ideal untuk tekanan pada saat bekerja, dimana tekanan ideal yang diisyaratkan dalam sistem udara pada industri umumnya bertekanan diantara 80-95 psi, namun di PT. Vale sendiri gangguan *pressure drop* yang dialami pada sirkulasi sistem *air exchanger* pada *air dryer* memiliki tak kurang dari 15 psi, sehingga sistematis *maintenance* dapat dilakukan dengan baik.

3.3.2. Prosedur Pengambilan Data

Terdapat dua jenis pengambilan data yang digunakan, yaitu pengambilan data berdasarkan perhitungan teoritis dan pengambilan data yang digunakan untuk sistem regresi statistika. Pengambilan data dilakukan pada *plant* yang sama, dengan parameter yang diambil berupa, tekanan *input*, tekanan *output*, temperatur, dan *flow rate*. Berikut dijelaskan lebih lanjut prosedur dan langkah pengambilan data yang dilakukan.

1. Mengukur debit udara yang mengalir masuk dan keluar pada *heat exchanger*
2. Mengukur debit udara yang masuk *Evaporator*
3. Mengukur debit udara yang masuk dan keluar *separator*
4. Mengukur temperatur udara yang masuk dan keluar *Heat exchanger*
5. Mengukur temperatur udara yang masuk dan keluar *Evaporator*
6. Mengukur Tekanan udara yang masuk dan keluar *Heat exchanger*
7. Mengukur tekanan udara yang masuk dan keluar *separator*
8. Pengambilan data dilakukan setelah adanya aliran kondensat yang konstan.
9. Menghitung penurunan tekanan yang terdapat pada tiap unit, termasuk *air exchanger*, *separator*, dan *evaporator*.
10. Melakukan analisa korelasi hubungan penurunan tekanan yang disebabkan oleh besarnya *pressure drop*.
11. Menghitung *cost maintenance* pada tiap unit pada *air dryer system*
12. Melakukan optimasi jadwal pembersihan pada sistem *air dryer*, dengan peletakan 4 jenis sekala, yaitu tiap tahun dalam 30 tahun, tiap 2 tahun dalam 30 tahun, tiap 5 tahun dalam 30 tahun, dan tiap 10 tahun dalam 30 tahun.

13. Melakukan analisa biaya operasional dan *profit* berdasarkan interval pembersihan tiap tahun, 2 tahun, 5 tahun selama estimasi 30 tahun dengan batasan maksimum *pressure drop* 15 Psi.

3.4 Perhitungan Teoritis Sebagai Verifikasi Data

Perhitungan teoritis dibutuhkan dalam hal validasi atau verifikasi data yang dihasilkan selama pengoperasian *air dryer*. Pada penelitian ini, diambil beberapa sampel yang digunakan, meliputi, dimensi tiap komponen, temperatur, tekanan, dan *flow rate*.

3.4.1 Perhitungan Air to Air Exchanger

Hal pertama yang dikalkulasikan adalah menentukan temperatur rata-rata yang diperoleh berdasarkan masukan pada tiap sisi *inlet* dari *exchanger*, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$T_f = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (3.1)$$

Variabel T_1 ($^{\circ}\text{C}$) dan T_2 ($^{\circ}\text{C}$) merupakan temperatur yang terukur dengan interval waktu yang berbeda. Untuk tiap analisa dalam penentuan *drop pressure* diperlukan beberapa perhitungan, salah satunya adalah faktor luasan penampang komponen *air dryer*, sehingga pada kondisi ini, faktor luasan mempengaruhi *pressure drop* yang dihasilkan, sehingga dapat dicari dengan persamaan berikut :

Luas Penampang Total

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot ds^2 \cdot N \quad (3.2)$$

Dimana ds merupakan diameter selongsong (m) dan N merupakan jumlah selongsong. Parameter lain yang tidak kalah pentingnya adalah laju aliran, dimana beberapa variabel telah diperoleh untuk menentukan nilai kecepatan dari aliran, diperoleh dengan persamaan

$$u = \frac{Q}{A} \quad (3.3)$$

Q merupakan debit aliran (m^3/s) dan A merupakan luas penampang. Salah satu parameter utama untuk menentukan jenis aliran pada fluida adalah *Reynolds number* dimana *Reynolds number* merupakan bilangan non dimensional yang merepresentasikan besaran dan jenis aliran yang terjadi selama fluida mengalir, pada umumnya jika $Re < 2300$, mengindikasikan aliran tersebut bersifat laminar, sedangkan

jika > 4000 , mengindikasikan aliran bersifat turbulen, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis rezim aliran pada fluida yang memasuki sistem operasi *air exchanger*, dengan persamaan sebagai berikut :

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu} \quad (3.4)$$

Jika aliran ini memiliki bilangan *Reynold number* > 4000 maka dikategorikan sebagai aliran Turbulen. Sehingga *treatment* atau perlakuan yang diberikan otomatis berbeda karena kecenderungan aliran turbulen akan memberikan kerugian pada aliran yang bersifat *internal flow* dengan peningkatan losses yang terjadi. Selanjutnya menentukan, disamping *Reynolds number*, faktor gesek mempengaruhi proses peningkatan *drop pressure*, faktor gesek yang digunakan sebagai parameter dalam pencarian losses pada sistem, dimana faktor gesek berdasarkan persamaan BLASIUS untuk aliran turbulen adalah

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (3.5)$$

Menghitung Aliran udara dalam selongsong dibutuhkan untuk mengetahui karakteristik aliran yang bersifat *internal flow*, sehingga faktor gesek yang dihasilkan mempengaruhi besaran aliran yang mengalir pada selongsong, persamaan tersebut dapat dicari dengan:

$$\Delta P_{inp} = f \cdot \frac{l}{d} \cdot \rho \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad (3.6)$$

Dimana f merupakan *friction factor* pada *air exchanger*, sedangkan nilai d merupakan diameter (cm), dan u dan g merupakan kecepatan aliran beserta percepatan grafitasi yang diterima selama pengoperasian aliran pada *air exchanger*

3.4.2 Perhitungan pada *Evaporator*

Hal yang sama diberlakukan pada *evaporator* dalam hal mengkaji *pressure drop* yang terjadi pada sistem, dimana temperatur rata-rata dapat dicari dengan persamaan yang sama terhadap perhitungan sebelumnya yaitu :

$$T_f = \frac{T_2 + T_3}{2}$$

Sedangkan untuk *Reynolds number*, diperoleh menggunakan persamaan

$$Re_{max} = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu_m}$$

Setelah mengetahui jenis rezim aliran yang terjadi, nantinya dapat menghitung nilai *friction factor* yang ada pada evaporator, dimana persamaannya dapat dicari sebagai berikut :

$$f = \left\{ 0,25 + \frac{0,118}{\left\{ \frac{(sn-d)}{d} \right\}^{1,08}} \right\} Re_{Max}^{-0,16} \quad (3.7)$$

Faktor *Reynolds number* mempengaruhi besaran nilai *friction* yang diperoleh, hal ini mengindikasikan bahwa momen inersia yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih besar terhadap momen viskositas pada aliran yang melewati selongsong *tube*. Untuk luasan penampang pada evaporator, dapat dicari dengan persamaan :

a. Luas Penampang total

$$A_T = A_{Tabung} - A_{selongsong} \quad (3.8)$$

$$A_{Tabung} = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (3.9)$$

A^{tabung} dan $A_{selongsong}$ merupakan luasan penampang yang tersusun pada evaporator. Sedangkan, hal yang sama diberlakukan dalam pencarian nilai kecepatan dengan variabel yaitu debit dan luasan penampang, persamaan dapat dicari sebagai berikut :

$$U_E = \frac{Q}{A_T} \quad (3.10)$$

Sehingga keseluruhan dari variabel dapat digunakan untuk mencari *pressure drop* yang terjadi pada evaporator, dimana persamaan sebagai berikut :

$$\Delta P_{Evaporator} = \frac{2 \cdot f \cdot Gmax^2 \cdot N}{\rho} \left(\frac{\mu_w}{\mu_m} \right)^{0,14} \quad (3.11)$$

3.4.3 Menghitung kerugian tekanan pada *Separator*

Kecepatan aliran pada *separator* merupakan parameter penting yang digunakan sebagai variabel utama dalam menentukan jenis rezim yang terjadi, dimana dapat dicari dengan persamaan :

$$U_{sp} = \frac{Q}{A_{sp}} \quad (3.12)$$

Menghitung Kecepatan aliran pada pipa

$$U_p = \frac{Q}{A_p} \quad (3.13)$$

Menghitung Kerugian pada *separator*

$$\Delta p_{separator} = k \cdot \rho \cdot \frac{U_p^2}{2 \cdot g} \quad (3.14)$$

Menghitung Kerugian pada belokan

$$\Delta p_{belokan} = k \cdot \rho \cdot \frac{U_p^2}{2 \cdot g} \quad (3.15)$$

Bilangan Reynolds

$$Re = \frac{u_p \cdot d_p}{\nu} \quad (3.16)$$

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (3.17)$$

Kerugian gesek pada pipa

$$\Delta p_{pipa} = f \cdot \rho \cdot \frac{U_p^2}{2 \cdot g} \quad (3.18)$$

Kerugian-kerugian yang dihasilkan berdasarkan faktor major dan minor, biasana losses minor dihadapi pada bagian belokan, gesek sedangkan faktor major terdapat pada kerugian di bagian separator, dimana total kerugian tersebut dikalkulasikan untuk mencari nilai kerugian total yang dialami pada pengoperasin separator.

Menghitung Kerugian gesek total

$$\Delta P_T = \Delta p_{separator} + \Delta p_{Belokan} + \Delta p_{pipa} + \Delta p_{Evaporator} \quad (3.19)$$

$$\Delta P_{out} = \Delta P_{in} - \Delta P_T \quad (3.20)$$

3.5 Fungsi Objektif

Dalam pelaksanaan suatu optimasi untuk meraih nilai optimum, dibutuhkan fungsi objektif yang digunakan untuk mencari interval waktu yang sesuai dalam proses penjadwalan pembersihan *air dryer*, dimana fungsi objektif digunakan untuk memaksimalkan keuntungan berupa *output* yang dihasilkan. Dalam penentuan fungsi objektif terdapat beberapa paramter yang digunakan, yaitu :

Fungsi Objektif = *Revenue* (30 tahun) – *maintenance cost* (30 tahun) – *cleaning cost* (30 tahun) – *electric cost* (30 tahun) berdasarkan periode *cleaning* (tiap 1 tahun (30 kali), 2 tahun (15 kali) , dan 5 tahun (6 kali)) (3.21)

Kalkulasi dari fungsi objektif yang diberikan berupa nilai *profit* yang dihasilkan, dimana :

1. *Revenue* merupakan pendapatan yang diperoleh dari hasil penjualan produk berupa SCFM dengan estimasi waktu selama 30 tahun. Produk yang berupa SCFM dikonversikan menjadi BOE (*barrel oil equivalent*) kemudian disesuaikan dengan harga jual per BOE yang dihasilkan.
2. *maintenance cost* merupakan pengeluaran yang berasal dari *maintenance* tiap komponen yang beroperasi, total komponen yang digunakan berjumlah 8 untuk kompressor dan 2 untuk *air dryer*, masing-masing dan tiap komponen memiliki *cost* yang berbeda, sehingga *maintenance cost* bertindak sebagai faktor pengurang pada nilai *revenue* yang dihasilkan.
3. *cleaning cost* merupakan *cost* yang dikeluarkan pada saat *cleaning* berlangsung, dimana proses *cleaning* diberikan secara menyeluruh pada sistem *air dryer*. *Cost cleaning* yang dibebankan, dipengaruhi oleh peningkatan *drop pressure* yang terjadi selama pengoperasian.
4. *electrical cost* merupakan *cost* yang dikeluarkan selama sistem beroperasi. Peningkatan *electricity cost* dipengaruhi oleh peningkatan *pressure drop*.
5. Periode *cleaning* merupakan estimasi waktu yang digunakan untuk menentukan parameter dari efektifitas waktu yang dikeluarkan berdasarkan *pressure drop* yang telah ditentukan sebesar < 15 Psi

3.6 Permodelan

Permodelan bertujuan untuk membangun dan mengembangkan sebuah sistem. Permodelan biasanya diaplikasikan berdasarkan data yang diperoleh secara langsung dari perancangan sebelumnya, sehingga diharapkan, permodelan yang dilakukan dapat meningkatkan efektifitas dari data yang diberikan dari perancangan sebelumnya. Permodelan yang digunakan menggunakan regresi statistika pada peningkatan *pressure*

drop yang berkala, estimasi peningkatan *pressure drop* yang dilakukan berdasarkan estimasi waktu yang diperuntukkan sebesar 30 tahun, dimana permodelan dari peningkatan *pressure drop* yang dihasilkan nantinya mempengaruhi nilai dari fungsi objektif yang diberikan, karena aspek yang terpenting dalam hal permodelan yang dilakukan adalah memenuhi batas dari *pressure drop* yang diperbolehkan oleh sistem selama pengoperasian sebesar 15 Psi, sebenarnya peningkatan yang melebihi 15 Psi (bahkan 34 Psi) pernah dialami pada saat sistem beroperasi, tentunya hal ini masih mengindikasikan sistem bekerja, namun *demand* dan *output* yang dihasilkan mengalami penurunan dan efektifitas kerja yang dihasilkan pun berkurang. Regresi statistika yang digunakan adalah *scatter plot*, yang memperlihatkan tren delta tekanan yang dihasilkan selama pengoperasian, dimana hasil regresi tersebut digunakan sebagai tolak ukur dalam permodelan yang mengindikasikan keluaran yang diperoleh berupa *profit* yang dihasilkan.

Terdapat beberapa masukan berupa interval yang digunakan selama penentuan efektif waktu pembersihan, yang meliputi setahun dalam 30 tahun, 2 tahun dalam 30 tahun, 5 tahun dalam 30 tahun, dan 10 tahun dalam 30 tahun. Tiap opsi memberikan jumlah *cleaning* dengan deskripsi, setahun dilakukan 30 kali, 2 tahun dilakukan 15 kali, 5 tahun dilakukan 6 kali, dan 10 tahun dilakukan selama 3 kali. Regresi yang dihasilkan menunjukkan nilai luaran sebesar $y = 0.0283x + 7.5146$, *intercept* 0.00283x merupakan peningkatan dari besaran rata-rata *pressure drop* yang dihasilkan atau merupakan *baseload*, sedangkan 7.5146 merupakan *pressure drop* yang dihasilkan. Sehingga diharapkan permodelan yang dilakukan dapat menentukan efektifitas waktu yang efektif disamping peningkatan dan keterbelanjutan produksi, *safety* yang dihasilkan, dan *profit* yang diberikan terhadap hasil produksi yang dihasilkan.

3.7 Perhitungan *Maintenance Cost*

Perhitungan *cost maintenance* yang digunakan berkorelasi dari peningkatan *pressure drop* yang dihasilkan. Data regresi statistik yang dihasilkan dengan nilai *output* merupakan *pressure drop* tiap hari digunakan sebagai parameter utama dalam penentuan peningkatan *cost* dalam hal *maintenance*. Sebelum dianalisa lebih lanjut, total komponen yang dikaji berjumlah 10, meliputi 8 kompresor dan 2 *air dryer*.

Batas atau *constraint* yang diberikan tiap komponen tidak melebihi 15 Psi, hal ini bertujuan untuk meminimalisir terjadinya *cost maintenance* yang tinggi pada saat permodelan yang dilakukan, Untuk *total cost* yang dihasilkan sebesar 220,624 dollar/tahun, angka tersebut merupakan komulatif dari pengoperasian sistem dalam setahun dengan 10 komponen pengoperasian. Sehingga berdasarkan peningkatan *drop pressure* yang dihasilkan mengindikasikan peningkatan *cost maintenance* pun akan tinggi.

$$\text{Maintenance cost} = \left(\frac{((2 \times \text{air dryer MC}) + (8 \times \text{compressor MC}))}{\text{annual}} \right) * (\text{drop pressure}) \quad (3.22)$$

3.8 Perhitungan *Cleaning*

Perhitungan *cleaning* merupakan bagian dari *total cost* yang dihasilkan, dimana periode *cleaning* yang diberikan menggunakan interval yang sama dalam hal estimasi waktu efektif terhadap optimasi *profit* yang tinggi tanpa harus melebihi *pressure drop* yang diijinkan.

Proses *cleaning* dibebankan pada *heat exchanger*, pipa sambungan, pipa instalasi dan saluran, beserta *air dryer*, dimana semua komponen tersebut memiliki tahap atau probabilitas yang berbeda terhadap koreksi pembersihan yang dilakukan, namun secara menyeluruh, sistem permodelan hanya memberikan batas *pressure drop* yang dihasilkan tidak melebihi 15 Psi, sehingga optimasi yang dihasilkan dapat disesuaikan dengan variasi efektif pada interval waktu pembersihan yang meliputi, tiap tahun pembersihan dalam 30 tahun, tiap 2 tahun dalam pembersihan 30 tahun, tiap 5 tahun dalam pembersihan 30 tahun, dan 10 tahun dalam estimasi 30 tahun. Persamaan dalam mencari *cleaning cost* bersifat sederhana, dimana :

$$\text{Cleaning cost} = \left(\frac{\text{Components operatios}}{\text{annual}} \right) * (\text{drop pressure}) \quad (3.23)$$

3.9 Perhitungan Biaya Listrik (*Electricity*)

Perhitungan biaya listrik yang digunakan berdasarkan pemakaian komponen selama pengoperasian *air dryer* dan kompresor yang digunakan. Parameter yang digunakan dalam hal konsumsi listrik meliputi HP (*horse power*) per komponen, dimana *range* per konsumsi memiliki nominal *horse power* yang berbeda. Sehingga

pada aspek ini perhitungan energi listrik yang dikonsumsi berdasarkan pemakaian per komponen dengan variabel campuran yaitu *drop pressure* yang dihasilkan dalam permodelan dengan batasan yang diijinkan tidak melebihi 15 Psi. Biaya listrik yang dibebankan meliputi 10 komponen, yaitu 2 *air dryer* dan 8 kompresor, namun estimasi yang dikalkulasikan berkorelasi dari sistem *off grid*, dimana PT. Vale memiliki *plant* sendiri dalam hal mengakomodasi besaran listrik yang dibutuhkan, sehingga estimasi *cost* yang dihasilkan cenderung lebih rendah, jika dibandingkan dengan faktor *cost* yang lain dalam mempengaruhi nilai *profit* dari produksi yang dihasilkan. Perhitungan konsumsi listrik dapat dicari dengan persamaan sederhana, yaitu :

$$Electricity\ cost = \left(\frac{(2 \times air\ dryer\ EC) + (8 \times compressor\ EC)}{annual} \right) * (drop\ pressure) \quad (3.24)$$

Total komponent merupakan total daya yang dikonsumsi berdasarkan pengoperasian yaitu *air dryer* dan kompresor, sedangkan *annual* merupakan 365 hari berdasarkan satu tahun pengoperasian, *drop pressure* adalah penurunan tekanan yang terjadi berdasarkan regresi linier yang dilakukan. Sehingga konsumsi energi listrik yang dibebankan pada perusahaan tiap pekan dapat dicari dengan korelasi peningkatan atau penurunann konsumsi berdasarkan estimasi waktu atau interval waktu yang divariasikan.

3.10 Perhitungan *Saving* dan *Profit*

Estimasi *profit* merupakan, hasil penjualan produk yang dihasilkan berdasarkan pengurangan yang berasal dari *total cost* yang dibebankan, meliputi, *cleaning cost*, *maintenance cost* dan *electrical cost*. Produk yang terjual dalam bentuk SCFM yang dikonversikan dalam bentuk BOE (*barrel of oil equivalent*), dimana nilai BOE tersebut, dikonversikan menjadi dollar dan hal ini merupakan *revenue* yang dihasilkan selama sistem beroperasi. Estimasi produk yang dijual selama 30 tahun yang nantinya dikonversikan berdasarkan *profit* yang dihasilkan dengan interval *total cost* yaitu tiap setahun dalam 30 tahun, tiap 2 tahun dalam 30 tahun, dan tiap 5 tahun dalam 30 tahun. Persamaan dalam mencari nilai *profit* dapat sebagai berikut :

Profit 30 tahun = (kapaistas produksi udara panas (SCFM) – biaya total operational cost dalam 30 tahun)

(3.25)

Profit yang dihitung bersifat jangka panjang, yaitu selama 30 tahun, hal ini tentunya dibandingkan dengan variasi interval waktu dengan korelasi tiap satu tahun selama 30 tahun, tiap dua tahun selama 30 tahun, dan tiap 5 tahun selama 30 tahun, sehingga kedepannya dari produksi yang dihasilkan menunjukkan efektifitas faktor pengurangan yang lebih rendah terhadap *total cost* yang dibebankan. Sedangkan *saving* yang diperoleh berasal dari faktor pengurangan antara biaya operasional yang dikeluarkan terhadap einterval waktu yang dioptimasikan, dimana persamaan dari *saving* secara sederhana dapat dijabarkan sebagai berikut :

Saving = Primary operational cost – Operational cost on interval time (3.26)

Dimana *primary operational cost* merupakan biaya operasional yang dikeluarkan secara umum berdasarkan faktor pembersihan dalam setahun, sedangkan *operational cost on interval time* merupakan variasi interval yang digunakan berdasarkan hasil dari tiap *operational cost*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab IV berfokus pada hasil yang diperoleh melalui proses perhitungan dan analisa data dari hasil metode yang digunakan dalam hal optimasi jadwal pembersihan pada *air dryer* berdasarkan perbedaan tekanan yang dihasilkan. *Pressure drop* merupakan kasus yang pada umumnya memiliki pengaruh terhadap *cost maintenance* yang dikeluarkan, sehingga sistematika pada pembahasan ini akau dimulai dari perhitungan penurunan tekanan pada tiap unit *air dryer*, meliputi *air exchanger*, dan *separator*. Sehingga dari kalkulasi tersebut dapat dilakukan analisa berdasarkan rumusan teori yang dibandingkan dengan permodelan interval waktu tiap tahun, 2 tahun, 5 tahun dan 10 tahun dengan estimasi waktu selama 30 tahun terhadap *pressure drop* yang di perbolehkan. Hasil akhir yang di harapkan untuk menentukan jadwal pembersihan yang efektif dengan biaya *total cost* yang di keluarkan rendah serta *profit* yang besar.

4.1 Perhitungan Penurunan Tekanan pada *Air dryer*

Analisa pertama diperuntukkan untuk perhitungan *pressure drop* pada tiap komponen *air dryer*, data yang digunakan dalam perhitungan meliputi laju aliran (m^3/s), temperatur *inlet* ($^{\circ}C$), temperatur *outlet* ($^{\circ}C$), tekanan *inlet* (P_{in}), tekanan *outlet* (P_{out}), dimana perhitungan dilakukan berdasarkan satu sampel data yang nantinya merepresentasikan keseluruhan proses tren tiap pengaruh atau peningkatan *pressure drop* pada tiap alat penyusun *air dryer*, dan juga terdapat beberapa ukuran atau dimensi yang digunakan sebagai acuan dalam perhitungan, yang meliputi :

Diketahui

Panjang selongsong <i>exchanger</i> (L_s)	= 177 cm = 1.77 m
Diameter selongsong (d_s)	= 5/8 inch = 0,015875 m
Percepatan grafitasi (g)	= 9,81 m/s^2
Temperatur udara masuk (T_1)	= 54 $^{\circ}C$
Temperatur udara keluar (T_2)	= 35,5 $^{\circ}C$
Jumlah selongsong (N)	= 320 buah

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas udara (Q)} &= 8814,667 \text{ ft}^3/\text{m} \\ &= 4,160 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

4.1.1 Perhitungan *Air to Air Exchanger*

Hal pertama yang dikalkulasikan adalah menentukan temperatur rata-rata yang diperoleh berdasarkan masukan pada tiap sisi *inlet* dari *exchanger*, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T_f &= \frac{T_1 + T_2}{2} & (4.1) \\ &= \frac{54 + 35,5}{2} \\ &= 44,75 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Berdasarkan temperatur rata-rata 44,75 °C (317,75 °K) didapat nilai ρ dan ν yang diperoleh melalui proses interpolasi pada nilai temperatu.

$$\text{Massa jenis Udara } (\rho) = 1,110 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Viskositas dinamis } (\nu) = 4,31 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

Pada kondisi ini, faktor luasan mempengaruhi *pressure drop* yang dihasilkan dan dapat dicari dengan persamaan berikut :

Luas Penampang Total

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot ds^2 \cdot N \quad (4.2)$$

Dimana :

ds = diameter selongsong

$$= 0,015875 \text{ m}$$

N = Jumlah selongsong

$$= 320 \text{ buah}$$

Sehingga

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot ds^2 \cdot N = \frac{3,14}{4} \cdot 0,015875^2 \cdot 320 = 0,063306 \text{ m}^2$$

Beberapa variabel telah diperoleh untuk menentukan nilai kecepatan dari aliran, diperoleh dengan persamaan :

$$u = \frac{Q}{A} \quad (4.3)$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 Q &= \text{Kapasitas udara (m}^3/\text{s)} \\
 &= 4,160 \text{ m}^3/\text{s} \\
 A &= \text{luas penampang total (m}^2\text{)} \\
 &= 0,063306 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4,160}{0,063306} \\
 &= 65,713 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Salah satu parameter utama untuk menentukan jenis aliran pada fluida adaaj *Reynolds number*, dimana *Reynolds number* merupakan bilangan non dimensional yang merepresentasikan besaran dan jenis aliran yang terjadi selama fluida mengalir. Pada umumnya jika $Re < 2300$, mengindikasikan aliran tersebut bersifat laminar, sedangkan jika > 4000 , mengindikasikan aliran bersifat turbulen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis rezim aliran pada fluida yang memasuki sistem operasi *air exchanger*, dengan persamaan sebagai berikut :

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu} \quad (4.4)$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 u &= \text{Kecepatan udara} \\
 &= 65,713 \text{ m/s} \\
 d &= \text{diameter selongsong} \\
 &= 0,015875 \text{ m} \\
 \nu &= \text{Viskositas kinematis} \\
 &= 4,31 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}
 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{65,713 \times 0,015875}{4,31 \cdot 10^{-5}} \\
 &= 24188,10
 \end{aligned}$$

Aliran ini memiliki bilangan *Reynolds* >4000 maka dikategorikan sebagai aliran Turbulen. *Treatment* atau perlakuan yang diberikan otomatis berbeda karena

kecenderungan aliran turbulen akan memberikan kerugian pada aliran yang bersifat internal *flow* dengan peningkatan *loses* yang terjadi. Selanjutnya menentukan faktor gesek yang digunakan sebagai parameter dalam pencarian *loses* pada sistem, dimana faktor gesek berdasarkan persamaan *Blasius* untuk aliran turbulen adalah

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (4.5)$$

$$= \frac{0,316}{(28146,16)^{0,25}} = 0,02534$$

Sehingga faktor gesek yang terjadi sebesar

$$f = 0,02534$$

Menghitung Aliran udara dalam selongsong dibutuhkan untuk mengetahui karakteristik aliran yang bersifat internal *flow*, sehingga faktor gesek yang dihasilkan mempengaruhi besaran aliran yang mengalir pada selongsong, persamaan tersebut dapat dicari dengan:

$$\Delta P_{inp} = f \cdot \frac{l}{d} \cdot \rho \frac{u^2}{2 \cdot g} \quad (4.6)$$

Dengan :

L = Panjang selongsong (m)

$$= 1,77 \text{ m}$$

d = diameter selongsong (m)

$$= 0,015875 \text{ m}$$

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

$$= 9,81 \text{ m/s}^2$$

ρ = Massa jenis udara (kg/m³)

$$= 1,110 \text{ kg/m}^3$$

u = kecepatan aliran udara (m/s)

$$= 65,713 \text{ m/s}$$

f = koefisien gesek

$$= 0,02534$$

Maka :

$$= 0,02534 \cdot \frac{1,77}{0,015875} \cdot 1,110 \cdot \frac{65,713^2}{2 \cdot 9,81}$$
$$= 66416,18 \text{ kPa} = 9,630 \text{ Psi}$$

4.1.2 Perhitungan pada *Evaporator*

Hal yang sama diberlakukan pada *evaporator* dalam hal mengkaji *pressure drop* yang terjadi pada sistem, dimana temperatur rata-rata dapat dicari dengan persamaan :

Menghitung Temperatur udara rata-rata

$$T_f = \frac{T_2 + T_3}{2} \quad (4.7)$$
$$= \frac{35,5 + 3,4}{2}$$
$$= 19,45 \text{ }^\circ\text{C} = 292,45 \text{ }^\circ\text{K}$$

Berdasarkan temperatur rata-rata 19,45 °C nilai ρ dan ν dapat dicari dengan cara interpolasi dan diperoleh :

Massa jenis Udara (ρ) = 1,206 kg/m³

Viskositas dinamis (μ_m) = 2,067 · 10⁻⁵ kg/m.s

Temperatur $T_w = -5,5^\circ\text{C} + 273 = 267,5 \text{ K}$ dari tabel karakteristik fluida diperoleh

Viskositas dinamis (μ_w) = 1,737 · 10⁻⁵ kg/m.s

Bilangan *Reynolds*, diperoleh menggunakan persamaan :

$$Re_{max} = \frac{\rho \cdot u \cdot d}{\mu_m} \quad (4.8)$$

Dimana :

u = Kecepatan udara

$$= 65,713 \text{ m/s}$$

d = diameter selongsong

$$= 0,015875 \text{ m}$$

μ_m = Viskositas dinamis

$$= 2,067 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$$

Maka :

$$Re_{max} = \frac{1,206 \cdot 65,713 \cdot 0,015875}{2,067 \cdot 10^{-5}}$$

$$= 60885,816 \text{ (Turbulen)}$$

Untuk baris selang seling

$$f = \left\{ 0,25 + \frac{0,118}{\left\{ \frac{(sn-d)}{d} \right\}^{1,08}} \right\} Re_{Max}^{-0,16} \quad (4.9)$$

Dengan :

Sn = jarak antara selongsong
= 0,03175

d = diameter selongsong (m)
= 0,015875 m

Maka :

$$f = \left\{ 0,25 + \frac{0,118}{\left\{ \frac{(0,03175 - 0,015875)}{0,015875} \right\}^{1,08}} \right\} 60885,816^{-0,16}$$

$$= 0,0631$$

Luas Penampang total

$$A_T = A_{Tabung} - A_{selongsong} \quad (4.10)$$

Dengan :

D = Diameter Tabung (m)
= 1,22 m

d = Diemeter selongsong (m)
= 0,015875 m

N = jumlah selongsong = 420 buah

Maka :

$$A_{Tabung} = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (4.11)$$

$$= \frac{3,14}{4} \cdot 1,22^2$$

$$= 1,1683 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Selongsong}} = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot N$$

$$= \frac{3,14}{4} \cdot 0,015875^2 \cdot 420$$

$$= 0,08309 \text{ m}^2$$

Sehingga :

$$A_T = 1,1683 - 0,08309$$

$$= 1,0853 \text{ m}^2$$

Kecepatan udara *evaporator*

$$U_E = \frac{Q}{A_T} \tag{4.12}$$

Dengan :

Q = debit aliran udara (m³/s)

$$= 4,160 \text{ m}^3/\text{s}$$

A_T = Luas penampang total (m²)

$$= 1,0853 \text{ m}^2$$

Maka :

$$U_E = \frac{4,160}{1,0853}$$

$$= 3,833 \text{ m/s}$$

Aliran melintang dalam *evaporator*

$$\Delta P_{\text{Evaporator}} = \frac{2 \cdot f \cdot G \max^2 \cdot N}{\rho} \left(\frac{\mu_w}{\mu_m} \right)^{0,14} \tag{4.13}$$

Dengan :

$$Q = \text{Debit aliran udara (m}^3/\text{s)} \\ = 4,160 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho = \text{Massa jenis Udara} \\ = 1,206 \text{ kg/m}^3$$

$$N = \text{jumlah baris} \\ = 10$$

$$\mu_m = \text{Viskositas dinamis temperatur rata-rata} \\ = 2,067 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

$$\mu_w = \text{Viskositas dinamis} \\ = 1,737 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

$$\mu = \text{laju aliran massa udara} \\ = \dot{\rho} \cdot Q \\ = 1,206 \cdot 4,160 \\ = 5,018 \text{ kg/s}$$

$$G = \text{Kecepatan massa pada luas bidang} \\ = \frac{\mu}{A} \\ = \frac{5,018}{0,08309}$$

$$= 60,397 \text{ m/s}$$

Sehingga :

$$AP_{\text{Evaporator}} = \frac{2 \cdot 0,0631 \cdot 60,397^2 \cdot 10 \left(\frac{1,737 \cdot 10^{-5}}{2,067 \cdot 10^{-5}} \right)^{0,14}}{1,206} = 3726,812 \text{ kg/m}^2 \\ = 0,540 \text{ Psi}$$

4.1.3 Menghitung kerugian tekanan pada *Separator*

Kecepatan aliran pada *separator* merupakan parameter penting yang digunakan sebagai variabel utama dalam menentukan jenis rezim yang terjadi, dimana dapat dicari dengan persamaan :

$$U_{sp} = \frac{Q}{A_{sp}} \quad (4.14)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} Q &= \text{debit aliran udara (m}^3/\text{s)} \\ &= 4,160 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dsp &= \text{diameter } separator \text{ (m)} \\ &= 0,89 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{sp} &= \text{Luas penampang } separator \text{ (m}^2\text{)} \\ &= \frac{\pi}{4} dsp^2 \\ &= \frac{3,14}{4} \cdot 0,89^2 \\ &= 0,622 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} U_{sp} &= \frac{4,160}{0,622} \\ &= 6,690 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Menghitung Kecepatan aliran pada pipa

$$U_p = \frac{Q}{A_p} \quad (4.15)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} Q &= \text{debit aliran udara (m}^3/\text{s)} \\ &= 4,160 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

dp = diameter *separator* (m)

$$= 0,36 \text{ m}$$

A_p = Luas penampang *separator* (m²)

$$= \frac{\pi}{4} dp^2.$$

$$= \frac{3,14}{4} \cdot 0,36^2$$

$$= 0,102 \text{ m}^2$$

Maka :

$$U_p = \frac{4,160}{0,102}$$

$$= 40,891 \text{ m/s}$$

Menghitung Kerugian pada *separator*

$$\Delta p_{separator} = k \cdot \rho \cdot \frac{U_{sp}^2}{2 \cdot g} \quad (4.16)$$

Dengan :

K = koefisien kerugian saringan

$$= 0,36$$

ρ = massa jenis udara berdasarkan temperatur 3,4 °C

$$= 1,274 \text{ kg/m}^3$$

g = percepatan gravitasi

$$= 9,81 \text{ m/s}^2$$

U_{sp} = Kecepatan aliran pada *separator*

$$= 6,690 \text{ m/s}$$

Maka :

$$\Delta p_{separator} = 0,36 \cdot 1,274 \cdot \frac{6,690^2}{2 \cdot 9,81} = 100,674 \text{ kg/m}^2$$

Menghitung Kerugian pada belokan

$$\Delta p_{\text{belokan}} = k \cdot \rho \cdot \frac{U_p^2}{2 \cdot g} \quad (4.17)$$

Dengan :

k = koefisien kerugian belokan *elbow* 90°
= 1,129

ρ = massa jenis udara berdasarkan temperatur 3,4 °C
= 1,274 kg/m³

g = percepatan gravitasi
= 9,81 m/s²

U_p = Kecepatan aliran pada pipa
= 40,891 m/s

Maka :

$$\Delta p_{\text{belokan}} = 1,129 \cdot 1,274 \cdot \frac{40,891^2}{2 \cdot 9,81} = 11793,879 \text{ kg/m}^2$$

Bilangan *Reynolds numbers*

$$Re = \frac{u_p \cdot d_p}{\nu} \quad (4.18)$$

Dimana :

u_p = Kecepatan udara
= 40,891 m/s

d_p = diameter pipa
= 0,36 m

ν = Viskositas kinematis
= 4,09 · 10⁻⁵ m²/s

Maka :

$$Re = \frac{40,891 \cdot 0,36}{4,09 \cdot 10^{-5}} = 359672,2$$

Aliran ini diperoleh bilangan *Reynolds* >4000 maka dikategorikan sebagai aliran Turbulen. Sehingga faktor gesek pada pipa *Separator* dapat dicari dengan persamaan Blasius untuk aliran turbulen.

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (4.19)$$

$$= \frac{0,316}{(359672,2)^{0,25}}$$

$$= 0,0129$$

Kerugian gesek pada pipa

$$\Delta p_{pipa} = f \cdot \rho \cdot \frac{U_p^2}{2 \cdot g} \quad (4.20)$$

Dengan :

f = factor gesek
= 0,0129

L_p = panjang pipa
= 0,8 m

ρ = massa jenis udara berdasarkan temperature 3,4 °C= 1,274 kg/m³

g = percepatan gravitasi
= 9,81 m/s²

U_p = Kecepatan aliran pada pipa
= 40,891 m/s

Maka :

$$\Delta p_{pipa} = 0,0129 \cdot \frac{0,8}{0,36} \cdot 1,274 \cdot \frac{40,891^2}{2 \cdot 9,81} = 299,544 \text{ Kg/m}^2$$

Menghitung kerugian gesek total

$$\Delta P_T = \Delta p_{separator} + \Delta p_{Belokan} + \Delta p_{pipa} + \Delta p_{Evaporator} \quad (4.21)$$

$$= 100,674 + 11793,879 + 299,544 + 3726,812$$

$$= 15920,908 \text{ kg/m}^2 = 2,309 \text{ Psi}$$

Menghitung Tekanan *Output* yang diijinkan (ΔP_{out})

$$\begin{aligned}\Delta P_{out} &= \Delta P_{in} - \Delta P_T \\ &= 9,630 - 2,309 \\ &= 7,322 \text{ Psi}\end{aligned}\tag{4.22}$$

Menghitung Nilai Kalor

Menghitung Laju Aliran Kalor pada *Exchanger*

$$q = m' \cdot Cp (T_1 - T_2)\tag{4.23}$$

Dengan :

$$\begin{aligned}m_i &= \text{Laju aliran massa udara panas (kg/s)} \\ &= \rho \cdot Q_h \\ &= 1,110 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,160 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 4,6176 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

Maka besarnya kalor yang dilepas udara panas adalah:

$$\begin{aligned}q &= 4,6176 \cdot 1,0083(54 - 35,5) \\ &= 86,13 \text{ kW}\end{aligned}$$

Menghitung Laju Aliran pada *Evaporator*

$$q = m' \cdot Cp (T_2 - T_3)\tag{4.24}$$

Dengan :

$$\begin{aligned}m_i &= \text{Laju aliran massa udara panas (kg/s)} \\ &= \rho \cdot Q_h \\ &= 1,206 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,160 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 5,0183 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

Maka besarnya kalor yang dilepas udara panas adalah:

$$\begin{aligned}q &= 5,0183 \cdot 1,0062(35,5 - 3,4) \\ &= 162,08 \text{ kW}\end{aligned}$$

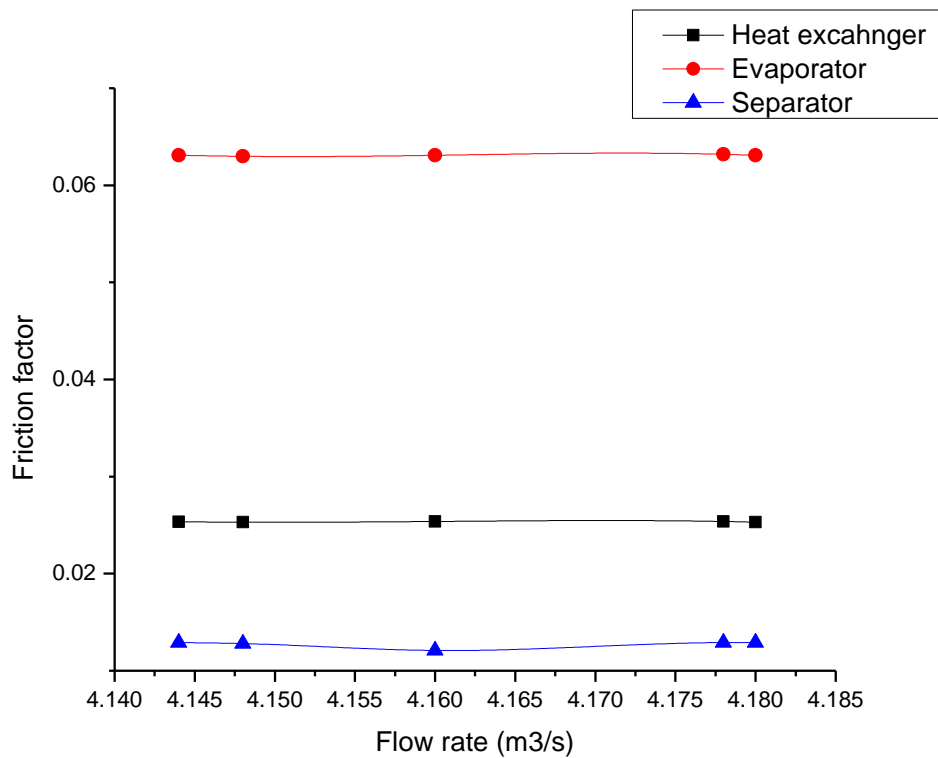
4.1.4 Analisa Penurunan Tekanan Udara

Proses kalkulasi yang dilakukan pada tiap komponen *air dryer* bertujuan untuk mengetahui *pressure drop* yang dihasilkan tiap komponen selama pengoperasian sistem. Ada tiga komponen penting dihadirkan pada penelitian ini, yaitu *air exchanger*,

evaporator dan *separator* untuk mengetahui probabilitas peningkatan *friction factor* sebagai penyebab penurunan tekanan tersebut.

Tabel 4.1 *Friction factor* pada komponen *air dryer*

No	Debit (Q) m ³ /s	<i>f</i> (air excahnger)	<i>f</i> (evaporator)	<i>f</i> (separator)
1	4.16	0.02534	0.0631	0.0129
2	4.18	0.02531	0.063	0.0128
3	4.148	0.02536	0.0631	0.0121
4	4.144	0.02536	0.0632	0.0129
5	4.178	0.02532	0.0631	0.0129



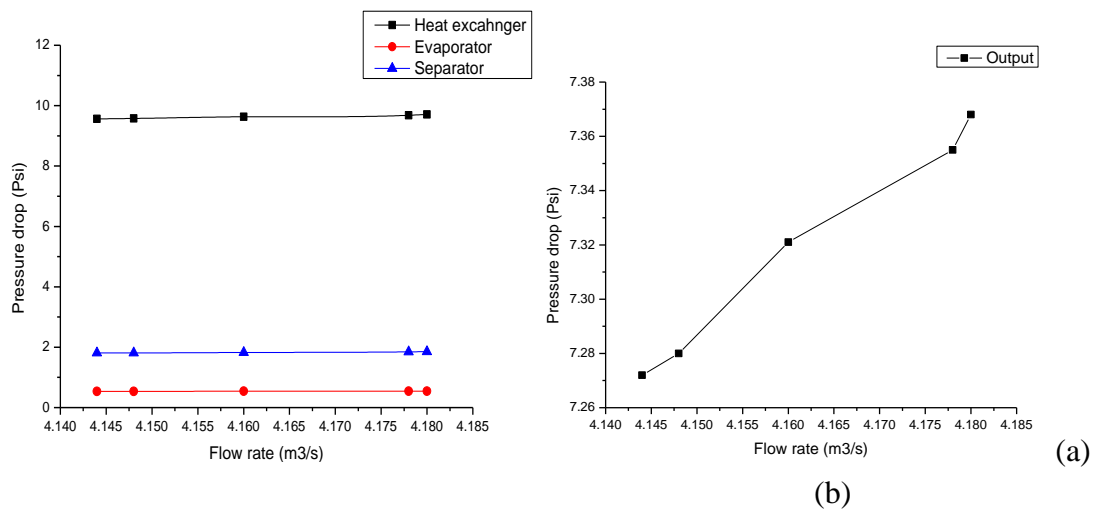
Gambar 4.1 *Friction factor* pada komponen *air dryer*

Gambar 4.1 menunjukkan korelasi antara faktor gesekan dan laju aliran pada sistem pengering udara. Hal ini menunjukkan bahwa evaporator memiliki faktor gesekan tertinggi daripada komponen utama lainnya pada pengering udara dan juga dapat dilihat bahwa nilai tertinggi yang ditemukan dari jumlah *Reynold numbers* dari laju aliran dimana jenis wilayah aliran membuat kasus yang berbeda jika sistem ini

akan beroperasi. Pada aliran stabil atau turbulans tergantung pada *fouling* dan gangguan pada *insider* dari masing-masing sistem.

Tabel 4.2 Table *pressure drop* pada *air dryer*

No	Debit (Q) m ³ /s	D _{pair} (Psi)	D _{peva} (Psi)	D _{psep} (Psi)
1	4.16	9.63	0.54	1.8256
2	4.18	9.706	0.546	1.8508
3	4.148	9.576	0.538	1.8136
4	4.144	9.564	0.537	1.8136
5	4.178	9.684	0.545	1.8438



Gambar 4.2 Hubungan penurunan tekanan per kompoen (a) dan sisi outlet (b) terhadap debit aliran udara

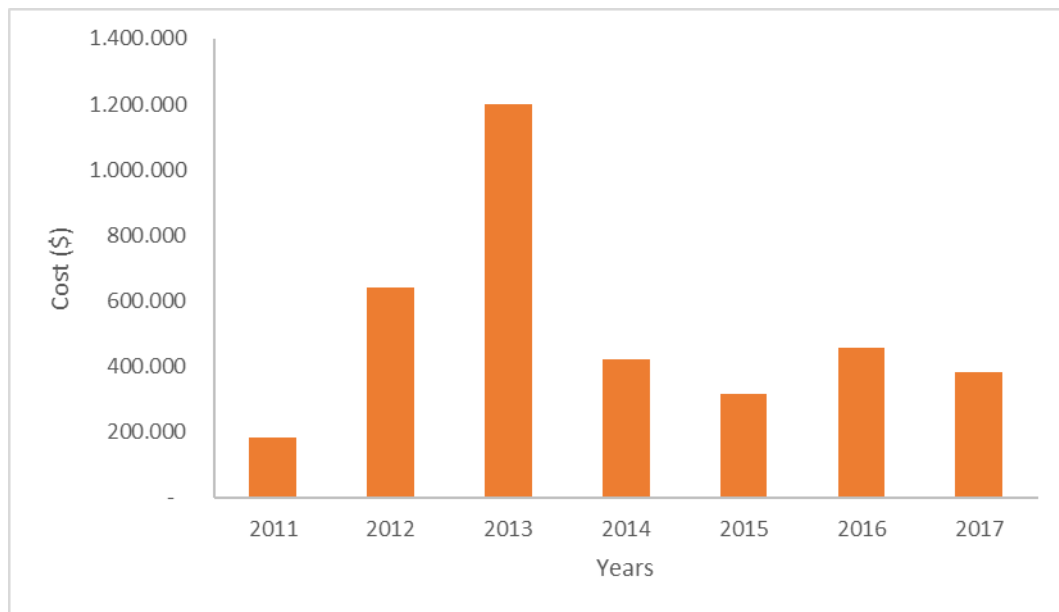
Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara debit aliran udara dengan penurunan tekanan pada *air dryer*. Semakin besar debit aliran udara yang lewat maka penurunan tekanan akibat kalor yang dilepas udara pada *air dryer* juga akan semakin besar. Peningkatan kalor yang dilepas dapat disebabkan oleh pengaruh turbulensi yang semakin besar & gaya inersia aliran pada sepanjang permukaan pipa-pipa tersebut. Kecepatan aliran udara pendingin menyebabkan terjadinya turbulensi aliran pada permukaan pipa-pipa baik pada aliran udara dingin maupun aliran udara panas sehingga hal ini menyebabkan pertukaran panas semakin cepat dan efektif. Fenomena ini akan memberikan karakteristik besarnya panas yang dilepas udara panas untuk setiap peningkatan laju aliran udara panas pada *Air dryer* tersebut.

Berdasarkan data yang di kumpulkan dari lapangan dimana pada debit aliran udara 4,160 m³/s sampai 4,182 m³/s telah menyebabkan penurunan tekanan udara pada *exchanger* yaitu sebesar 9,564 Psi sampai 9,706 Psi. Selanjutnya pada *evaporator* mengalami penurunan tekanan sebesar 0,537 Psi sampai 0,546 Psi dan pada *separator* sebesar 1,756 Psi sampai 1,792 Psi. Jadi penurunan tekanan pada sisi *output* berdasarkan perhitungan adalah sebesar 7.272 -7.368 Psi sudah tepat dan sesuai dengan tekanan *output* yang terjadi dilapangan saat ini 7 Psi. Hal ini disebabkan karena udara di *Separator* dan *Evaporator* telah mengalami proses pengeringan dan pendinginan, ditambah lagi dengan adanya sekat-sekat yang memungkinkan udara akan mengalami pertukaran panas secara lebih efektif. Perbedaan temperatur pada kedua sisi *inlet* dan *outlet* menyebabkan terjadinya pertukaran panas antara sisi masuk dari *compressor* dengan sisi keluar dari *evaporator/separator*. Seperti yang telah dijelaskan terdahulu untuk mencari letak atau penyebab terjadinya penurunan tekanan udara pada system pengering udara, maka data-data yang dibutuhkan haruslah benar-benar lengkap dan akurat. Dimensi *Air dryer* perlu diukur dan diketahui dengan harapan kita dapat menentukan kerugian yang ditimbulkan akibat design alat sebagai bagian dari kerugian minor maupun major. Data *flow*, tekanan dan temperatur akan sangat dibutuhkan sebagai bahan perhitungan serta analisis performance *air dryer* itu sendiri.

4.2 Analisa Cost Maintenance pada Sistem Pengoperasian Berdasarkan Data

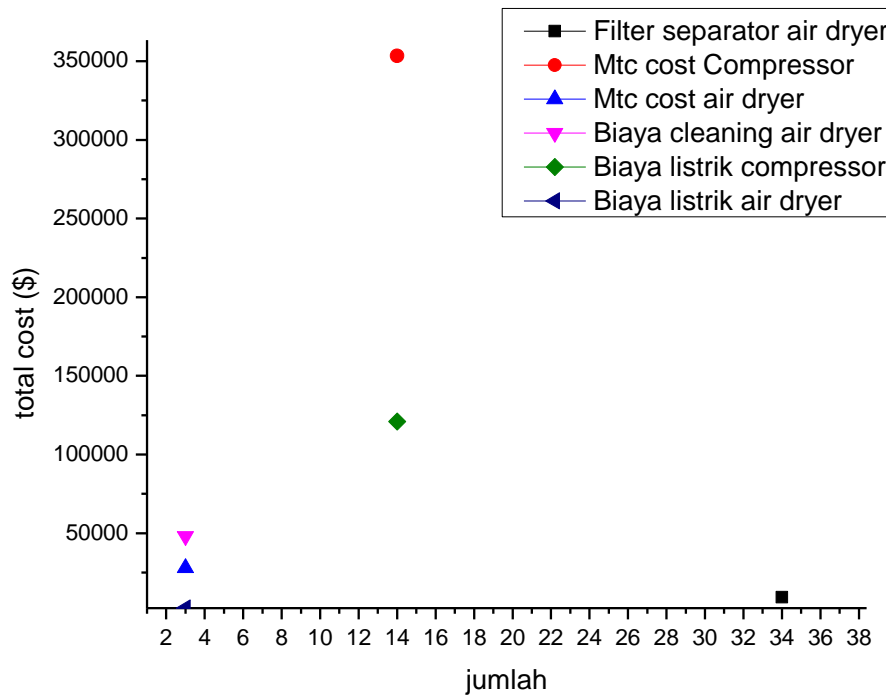
Lapangan

Rekap *cost maintenance* pada *compressor* dan *air dryer* dihadirkan pada penelitian ini, terhitung dimulai tahun 2011 hingga 2017. Hal ini digunakan sebagai parameter dalam melakukan peramalan atau scheduling terhadap waktu pembersihan agar memberikan referensi terhadap tiap komponen yang kemungkinan memiliki jangka waktu mengalami *trouble* paling cepat berdasarkan *pressure drop* yang dihasilkan.



Gambar 4.3 Rekapitulasi *maintenance cost* pada tahun 2011-2017

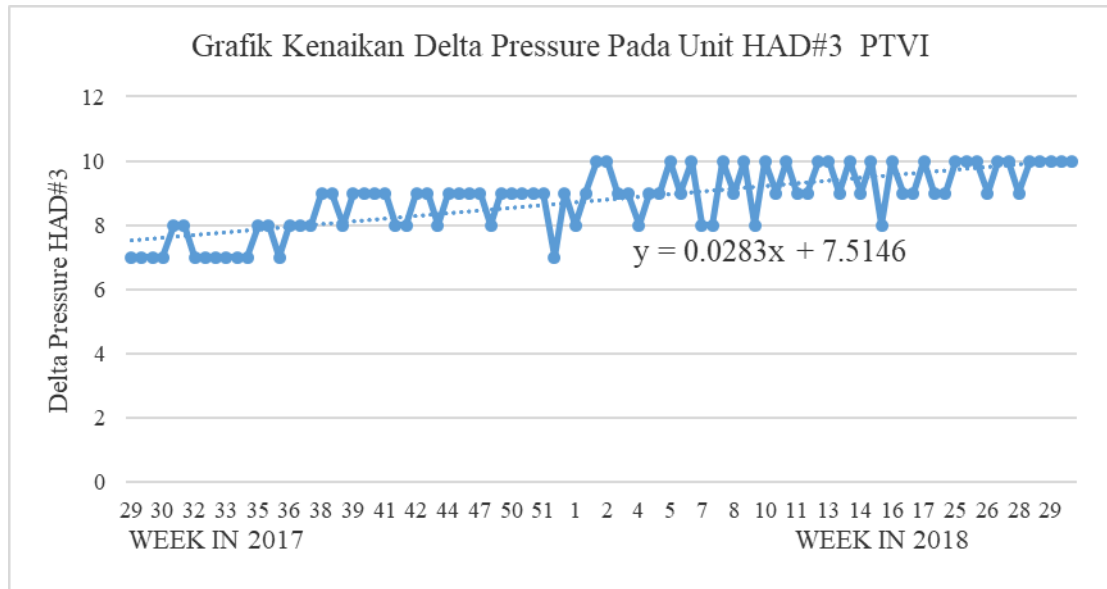
Rekap yang terlihat menjelaskan bahwa pada tahun 2011 merupakan *maintenance cost* terendah selama 7 tahun terakhir, tentunya ini diakibatkan oleh peralatan yang bersifat baru beroperasi dan memiliki reability yang tinggi akibat dari penggunaan awal saat pengoperasian. Pada tahun 2012-2013 terjadi peningkatan linier *maintenance cost* yang dialami pada *compressor* dan *air dryer*, kasus ini disebabkan oleh ke tidak tahuan operator dalam hal mengestimasi waktu pembersihan akibat dari besarnya *load* yang dibebankan. Peningkatan *fouling* pada tiap ruas sistem operasional, menghambat produksi yang dilakukan, dan tentunya aspek major tersebut membuat pengeluaran untuk *cost maintenance* meningkat. Patut dikaji bahwa tren peningkatan *cost* terjadi pada dua tahun pertama dari total 3 tahun estimasi, dimana pada tahun pertama terjadi penurunan, namun tahun selanjutnya terjadi peningkatan *maintenance cost*. Hal ini membuktikan bahwa diperlukannya sistem berkala dalam hal pembersihan untuk mengurangi *cost* yang dibebankan.



Gambar 4.4 *Total cost* tiap komponen selama pengoperasian sistem

Pada gambar 4.4 memperlihatkan beberapa komponen yang mengeluarkan biaya *cost maintenance* terbesar berdasarkan jenis dan jumlah unit yang dioperasikan. Pada gambar tersebut terlihat *Maintenance* terhadap *cost compressor* memiliki biaya terbesar dengan total jumlah unit yang dioperasikan berjumlah 14 dengan per unit membebaskan *cost maintenance* sebesar 25,243.24 dollar per tahun per unit, dengan total pengeluaran 353,405.30 dollar per tahun. *Cost* terbesar kedua dengan per unit alat diperuntukkan pada biaya *cleaning air dryer*, dengan pengeluaran per unit mencapai 16,000 dollar per tahun maka total pengeluaran 48,000 dollar untuk 3 unit. Aspek yang difokuskan pada penghematan ini tertuju pada kedua alat tersebut, dengan kata lain dibutuhkan *preventif maintenance* agar *cost* berkala yang nantinya akan dibebankan tidak meningkat berdasarkan pengoperasiannya. Disisi lain biaya listrik merupakan faktor yang krusial dalam hal *cost maintenance* yang dikeluarkan ,dimana per-tahun tidak kurang dari 8,645.75 dollar per-unit *compressor* dan 786.76 dollar per-unit *air dryer*. Selama pengoperasian kedua alat mengalami masalah dalam proses seperti hal nya besarnya *fouling* yang dihasilkan atau sirkulasi udara bersih yang tidak baik, menyebabkan pembebanan listrik yang dibutuhkan akan meningkat akibat dari

besarnya losses yang dihasilkan selama pengoperasian. Sistematika yang berkala diperlukan untuk menghindarkan peningkatan *cost* selama pengoperasian lewat *forecast* penjadwalan dalam hal mengurangi *cost maintenance* per tahun pada *air dryer* dan *compressor*.



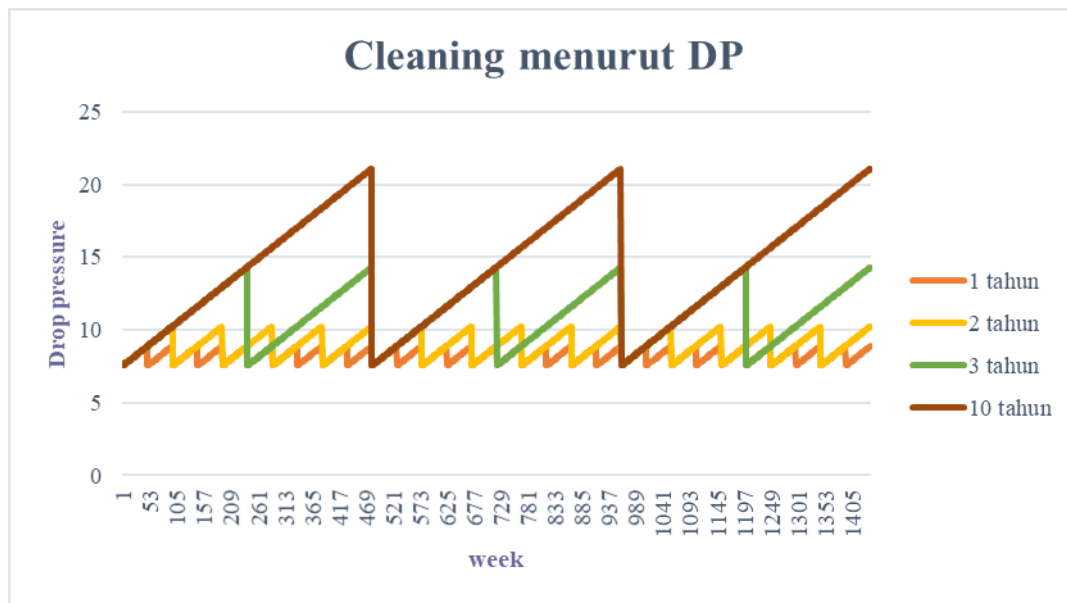
Gambar 4.5 Grafik hubungan penurunan tekanan terhadap waktu

Berdasarkan grafik di atas hubungan antara kenaikan penurunan tekanan udara terhadap waktu. Pada grafik mengindikasikan bahwa *drop pressure* semakin meningkat seiring dengan waktu. Dalam durasi 1 tahun terjadi penurunan tekanan keluaran pada *air dryer* dari 7-10 Psi.

Drop pressure yang diijinkan antara 5-15 Psi berdasarkan *operating* prosedur ketika *commissioning*. Penentuan jadwal pembersihan *air dryer* dapat ditentukan setiap tahun agar kualitas *pressure* ke *costumer* dapat berlangsung dengan baik tanpa menyebabkan gangguan operasi di *process plant*.

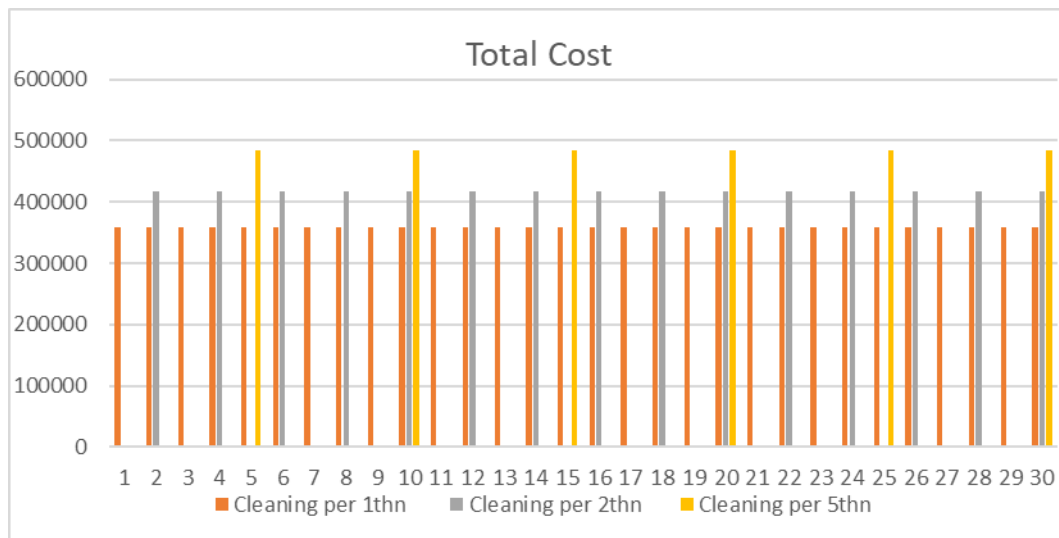
4.3 Analisa Cost Cleaning dan Maintenance Berdasarkan Drop pressure

Sistematika pembersihan berkala yang akan dilakukan berkorelasi dari *pressure drop* yang dihasilkan dengan estimasi waktu selama 30 tahun. Ada 4 kategori pembersihan berkala yang dilakukan, yaitu tiap tahun selama 30 tahun, tiap 2 tahun selama 30 tahun, tiap 5 tahun selama 30 tahun, dan tiap 10 tahun selama 30 tahun



Gambar 4.6 Grafik *drop pressure* berdasarkan *cleaning* per tahunan (1,2,5, 10)

Sistem pengoperasian sendiri peningkatan *drop pressure* yang dihasilkan tidak boleh melebihi 15 Psi, karena hal ini berlatarbelakang dari probabilitas yang tinggi pada komponen mengalami kerusakan. Pada gambar di atas menunjukkan bahwa nilai *pressure drop* yang dihasilkan jika mengalami pembersihan tiap tahun sangat rendah yaitu 8.873 Psi, namun *cost* yang dikeluarkan tentunya lebih besar akibat dari proses yang dilakukan bersifat *annual year*. Pembersihan yang dilakukan tiap 2 tahun dalam 30 tahun estimasi menunjukkan *drop pressure* tertinggi dihasilkan sebesar 10.2314 Psi, sedangkan untuk tiap 5 tahun sekali menghasilkan *pressure drop* maksimal pada nilai 14.3066, yang mana nilai tersebut tidak melewati batas dari nilai *drop pressure* yang ditetapkan yaitu 15 Psi. Pada pembersihan tiap 10 tahun menunjukkan nilai tertinggi dalam menghasilkan *drop pressure* yaitu 21.086 Psi, sehingga pembersihan yang dilakukan tiap 10 tahun ditiadakan akibat dari besarnya *drop pressure* yang dihasilkan.

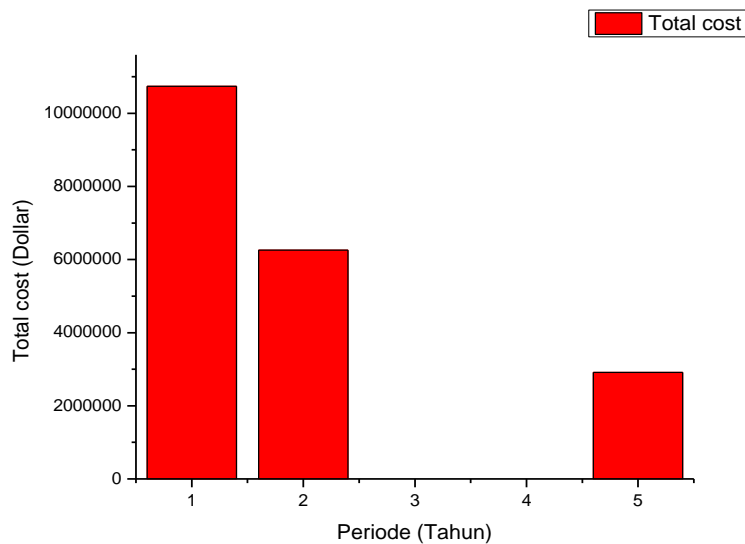


Gambar 4. 7 Grafik *cleaning cost* terhadap estimasi waktu 30 tahun

Gambar 4.7 merepresentasikan total biaya yang harus dikeluarkan selama proses pembersihan dilakukan pada tiap komponen pengoperasian, dimana data ini didasari oleh probabilitas dari *pressure drop* yang dihasilkan tiap setahun pembersihan, 2 tahun pembersihan, dan 5 tahun pembersihan dalam estimasi waktu 30 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa *total cost* yang dikeluarkan dalam melakukan pembersihan tiap setahun sekali lebih rendah jika dibandingkan dengan pembersihan tiap 2 tahun dan 5 tahun. Patut dikaji bahwa hal itu dilakukan tiap tahun sehingga berkorelasi dari total komulatif yang dilakukan pada tiap *cleaning*, memperlihatkan efektifitas waktu *cleaning* yang baik dengan estimasi *cost* yang rendah. Cost terendah di peroleh pada pembersihan tiap 5 tahun dalam estimasi waktu 30 tahun dimana dilakukan sebanyak 6 kali dengan *cost* tiap pembersihan sebesar 485,045 dollar per 5 tahun dengan total estimasi pengeluaran dalam 30 tahun sebesar 2,910,272 dollar. Total cost pembersihan yang dilakukan tiap 2 tahun dalam 30 tahun dilakukan sebanyak 15 kali dengan estimasi *cost* yang dikeluarkan dalam sekali pembersihan sebesar 417,267 dollar per 2 tahun dengan total pengeluaran sebesar 6,259,012. Total cost pembersihan tiap setahun sekali membutuhkan biaya proses *cleaning* sebesar 358,042 dollar per tahun dengan total pengeluaran mencapai 10,741,257 dollar. Berdasarkan analisa total cost ini tentunya menunjukkan *cleaning* 5 tahun memberikan benefit terbaik dengan korelasi bahwa *drop pressure* yang dihasilkan tidak boleh melebihi 15 Psi.

Tabel 4.3 Total Biaya operasional berdasarkan *periode cleaning* pada penggunaan konsumsi listrik PT. Vale

Total Biaya Operasional 30 th (\$)	Periode Cleaning (tahun)
10,741,256.7	1
6,259,012.5	2
2,910,272.82	5



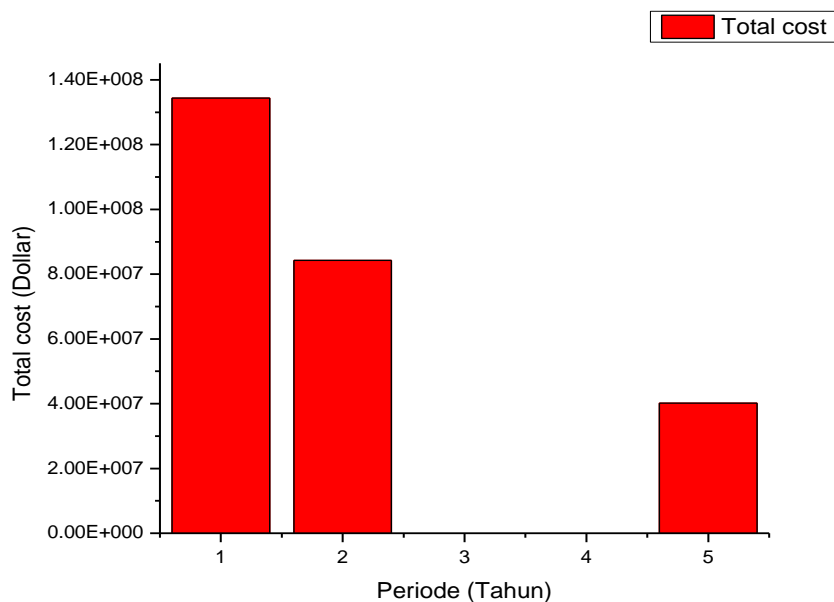
Gambar 4. 8 *Total cost* operasional estimasi waktu 30 tahun pada penggunaan konsumsi listrik PT. Vale

Gambar 4.8 merupakan *total cost* yang dihasilkan berdasarkan beberapa perhitungan kumulatif dari *cost* yang dikeluarkan selama pengoperasian dengan menggunakan listrik dari pembangkit PT Vale Indonesia. Klasifikasi *cost* yang dikeluarkan, meliputi *cleaning cost*, *electrical cost*, dan *maintenance cost*, sehingga jika di lihat pada tren grafik di atas menunjukkan periode 5 tahun memiliki probabilitas dengan tingkat operasional *cost* yang terendah. Operasional *cost* 5 tahun Pling rendah jika dibandingkan dengan interval waktu yang lain yaitu tiap tahun dan tiap 2 tahun.

Tabel 4.4 Total Biaya operasional berdasarkan periode *cleaning* pada penggunaan konsumsi listrik PLN

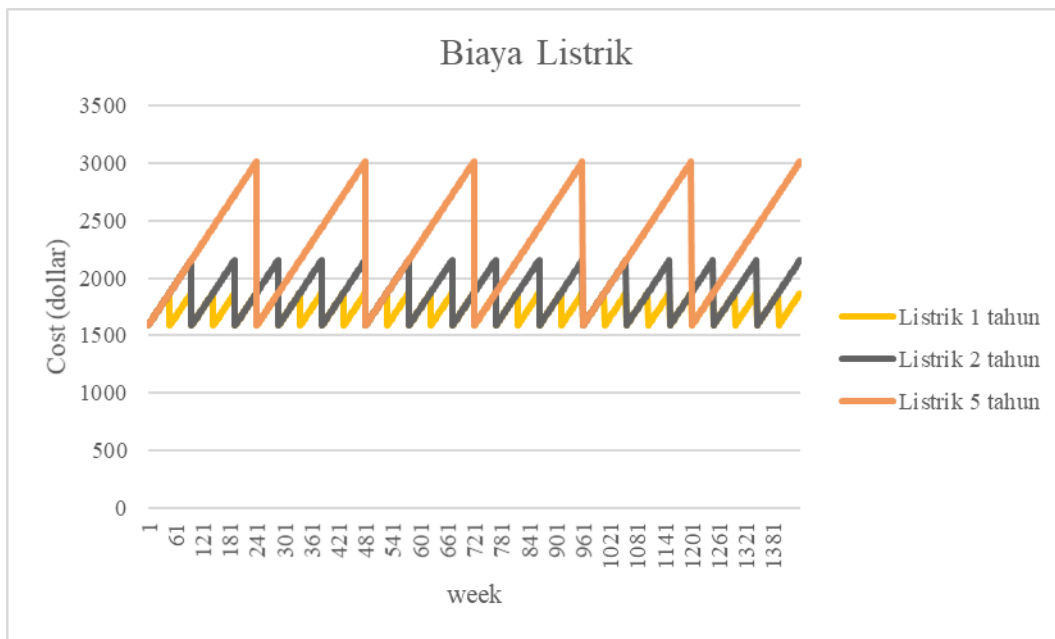
Total Biaya Operasional 30 th (\$)	Periode <i>Cleaning</i> (tahun)
134,384,665.31	1
84,231,708	2
40,171,400	5

Hal yang sama berlaku pada total biaya operasional yang diperoleh berdasarkan pemakaian listrik dari PLN, dengan metrik optimasi dan pengujian yang sama.



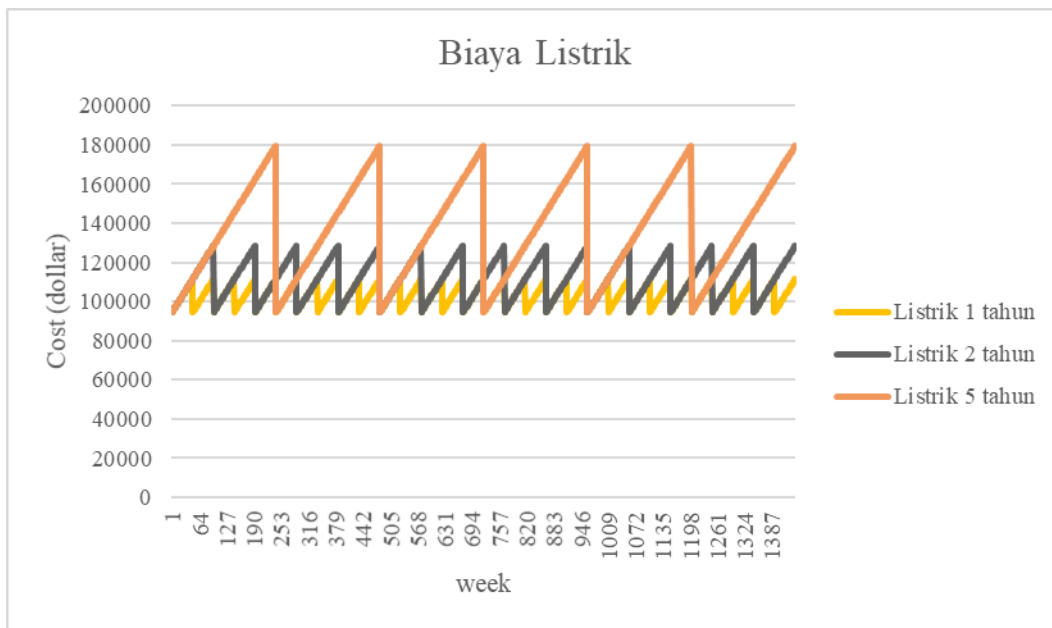
Gambar 4.9 *Total cost* operasional estimasi waktu 30 tahun pada penggunaan konsumsi listrik PLN

Peningkatan *Cost* operasional dialami ketika selama pengoperasian, suplai listrik dibebankan pada PLN, dimana peningkatan tersebut sangat signifikan hingga mencapai 12-14 kali lipat dari total *cost* operasional ketika pengoperasian dibebankan pada penggunaan listrik milik sendiri, sehingga sistematika pemanfaatan listrik PLN kurang efektif jika dibandingkan dengan milik sendiri akibat dari besarnya konsumsi listrik tiap komponen selama pengoperasian.



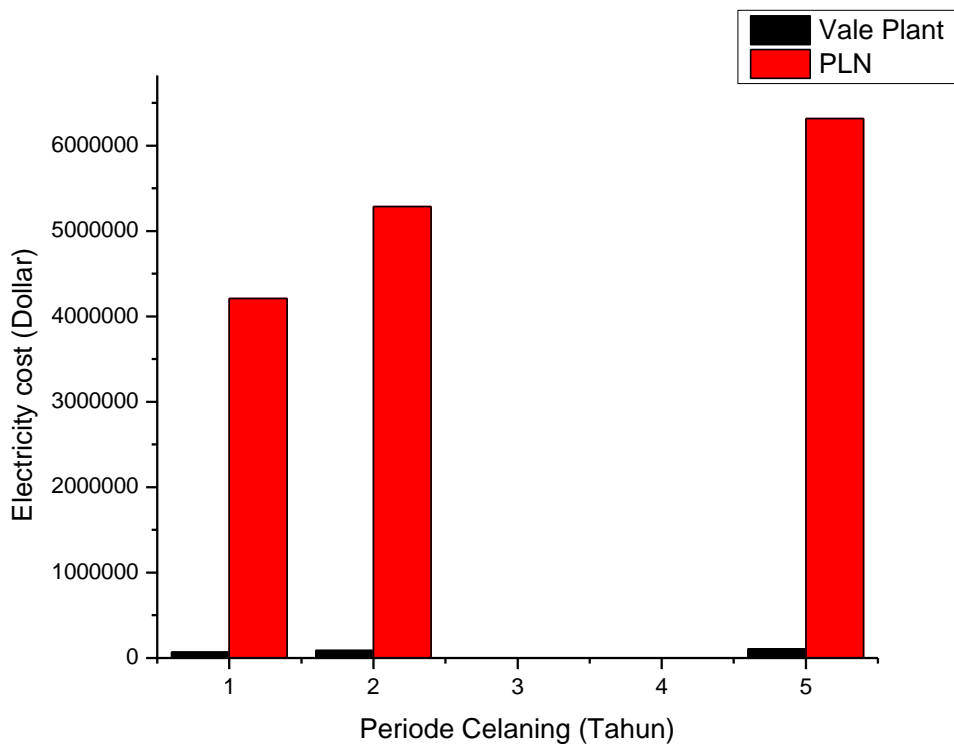
Gambar 4.10 *Electricity cost* terhadap estimasi waktu 30 tahun dari suplai PLTA PT. Vale

Grafik *electricity cost* dihadirkan pada penelitian ini untuk mengestimasi jumlah listrik yang dikeluarkan selama sistem beroperasi dengan korelasi kapasitas tiap komponen dan lamanya unit bekerja. Hubungan yang dihadirkan didasari oleh *drop pressure* yang dihasilkan selama estimasi waktu 30 tahun perhitungan. Perhitungan *electricity cost* diperuntukkan untuk estimasi *profit* yang dihasilkan berdasarkan total energy yang terjual dikurangi biaya pembersihan dan listrik yang dikeluarkan. Diperlihatkan bahwa *cost* yang dikeluarkan rendah yang diakibatkan oleh PT. Vale sendiri mesuplai listrik yang digunakan dari pembangkit sendiri yaitu PLTA dan bersifat *off grid*, sehingga perhitungan ini diberlakukan dengan harga jual listrik pada pembangkit PLTA sebagai referensi *cost* yang dihasilkan. Untuk tiap tahun pertama perkiraan *cost* yang dikeluarkan sebesar 1898 dollar per tahun selama 30 tahun, sedangkan tiap 2 tahun *cost* yang harus dikeluarkan sebesar 2154 dollar per 2 tahun, dan tiap 5 tahun sebesar 3011.98 dollar, hal ini tentunya berpihak estimasi waktu tiap 5 tahun dalam kurun waktu 30 tahun, namun besaran yang dikeluarkan tidak terlalu besar akibat pasokan listrik yang digunakan selama pengoperasian disuplai oleh pembangkit internal.



Gambar 4.11 *Electricity cost* terhadap estimasi waktu 30 tahun dari suplai PLN

Tren grafik yang diberikan berdasarkan peningkatan *pressure drop* antara suplai dari PLN memiliki tren peningkatan *cost* yang sama, dimana aspek yang dirubah pada tampilan ini hanya harga jual yang diberikan per kWh oleh PLN dengan skema perbandingan harga *electricity cost*, sehingga jika dilihat berdasarkan estimasi waktu *cleaning* tiap tahun, tiap 2 tahun, dan tiap 5 tahun dalam estimasi waktu 30 memperlihatkan tren dengan efektifitas pengurangan *cost* terbaik pada *cleaning* tiap 5 tahun, dimana pada proses *cleaning* tiap tahun memberikan harga yang lebih murah, namun hal ini dilakukan secara terus menerus tiap tahun sehingga jika dibandingkan dengan *cleaning* tiap 2 tahun dan 5 tahun memperlihatkan tren yang lebih menguntungkan jika dilakukan proses *celaning* tiap 5 tahun atau dalam 30 tahun dilakukan sebanyak 6 kali proses *celaning* untuk mereduksi *cost* yang dihasilkan



Gambar 4.12 Perbandingan *electricity cost* pada pembelian listrik PLN dan PT. Vale

Gambar 4.12 menghadirkan perbandingan atau tren yang dihasilkan pada *electricity cost* yang dikeluarkan jika melakukan pembelian pada PLN atau pada milik PT. Vale, hal ini menunjukkan keuntungan yang tinggi diperoleh jika penggunaan listrik milik sendiri, dengan ketentuan antara tiap interval yang memiliki perbandingan harga yang jauh. Sehingga dengan penggunaan listrik milik sendiri dapat mereduksi *cost* yang *dihasilkan* berdasarkan listrik yang dikonsumsi, namun patut dikaji, bahwa tidak menutup kemungkinan bahwa keberlanjutan yang digunakan jika suplai milik sendiri memiliki kendala sehingga dibutuhkan pembaharuan dalam hal pengembangan energi baru yang dapat memberikan pasokan dan *back up* jika terjadi kekurangan pasokan listrik pada saat sistem beroperasi.

Perbedaan harga antara penggunaan pasokan PLN dengan PT. Vale memiliki interval yang signifikan bahkan 59 kali harga *cost* yang dikeluarkan pada pemanfaatan listrik sendiri atau pada PLTA. Hal ini diakibatkan banyaknya komponen dengan

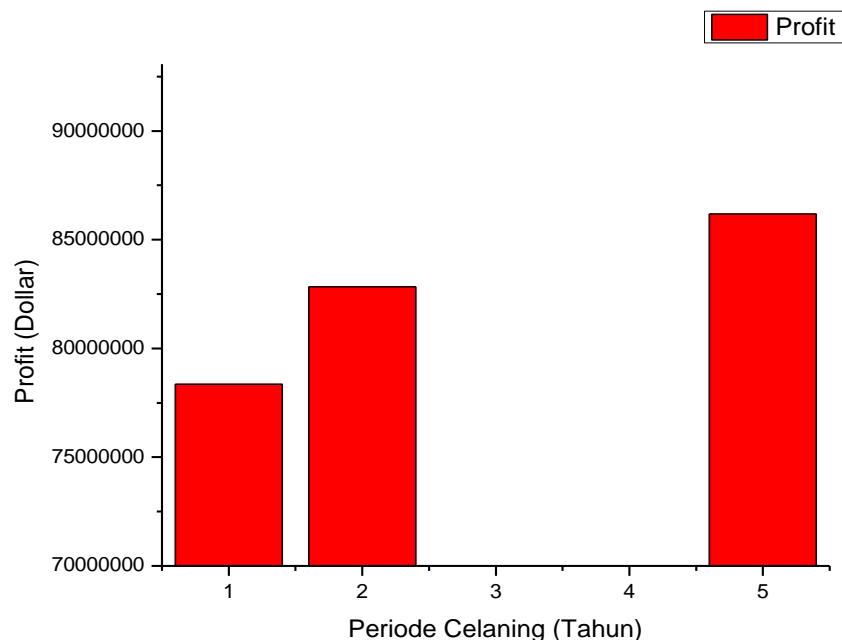
kapasitas tinggi bekerja secara bersamaan dan menyeluruh sehingga dibutuhkan suplai listrik yang tinggi.

4.4 Analisa *Profit* dan *Saving* yang Dihasilkan Selama Periode 30 Tahun

Berdasarkan perhitungan *cost* yang dikeluarkan meliputi *maintenance cost* dan *cleaning cost*, maka dari parameter ini digunakan sebagai perhitungan besarnya *profit* yang dihasilkan berdasarkan total penjualan SCFM yang dihasilkan selama beroperasi.

Tabel 4. 5 *Profit* yang dihasilkan berdasarkan penjualan produk menggunakan konsumsi listrik PT. Vale

periode cleaning (tahun)	Biaya Operasional (\$)	Penjualan produk (\$)	<i>Profit</i> (\$)
1	10,741,256.70	89,089,200	78,347,943
2	6,259,012.50	89,089,200	82,830,188
5	2,910,272.82	89,089,200	86,178,927



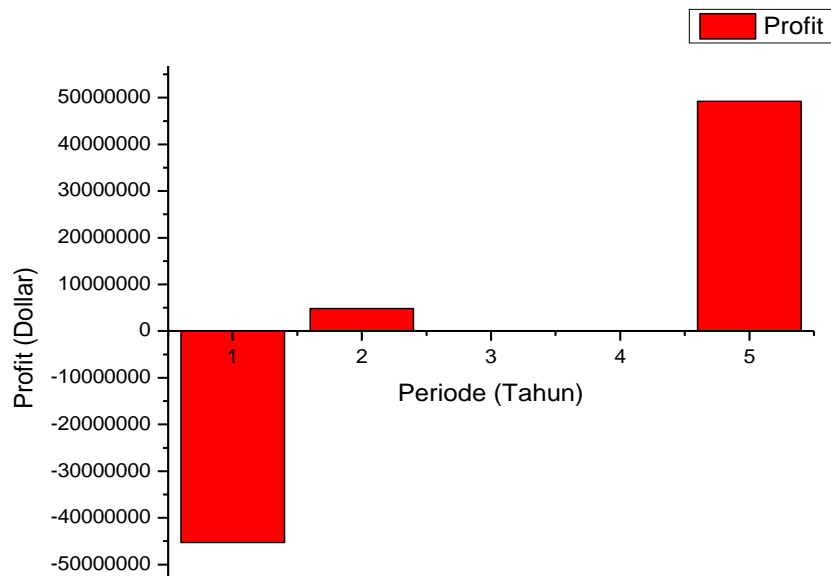
Gambar 4.13 *Profit* terhadap estimasi waktu 30 tahun dengan konsumsi listrik PT. Vale

Produksi SCFM yang dihasilkan dalam pengoperasian sebesar 32762.68 SCFM, namun jika dilihat dari aspek harga per *barrel* yang dihasilkan dengan konversi BOE dapat menghasilkan *profit* sebesar \$78,347,943 per tahun, dengan skema tiap tahun selama 30 tahun dengan estimasi pengurangan dari biaya operasional (*maintenance* dan listrik), sehingga bisa dikatakan bahwa *profit* tertinggi dihasilkan pada tiap 5 tahun dengan estimasi 30 tahun, karena *profit* yang dihasilkan dari penjualan produk berupa SCFM lebih besar apalagi biaya operasional yang dibebankan tiap 5 tahun sekali, dengan korelasi dari keseluruhan aspek 5 tahun ini lebih efisien didasari oleh nilai *pressure drop* yang dihasilkan tidak melebihi 15 Psi pada kondisi tiap 5 tahun dengan total *profit* sebesar \$86,178,927.

Tabel 4.6 *Profit* yang dihasilkan berdasarkan penjualan produk menggunakan konsumsi listrik PLN

periode <i>cleaning</i> (tahun)	Biaya Operasional (\$)	Penjualan produk (\$)	<i>Profit</i> (\$)
1	134,384,665.31	89,089,200	-45,295,465
2	84,231,708	89,089,200	4,857,492
5	40,171,400	89,089,200	49.233.160

Analisis sama berlaku pada *profit* yang diperoleh berdasarkan pemakaian listrik dari PLN, dengan metrik optimasi dan pengujian yang sama.



Gambar 4.14 *Profit* terhadap estimasi waktu 30 tahun dengan konsumsi listrik PT. PLN

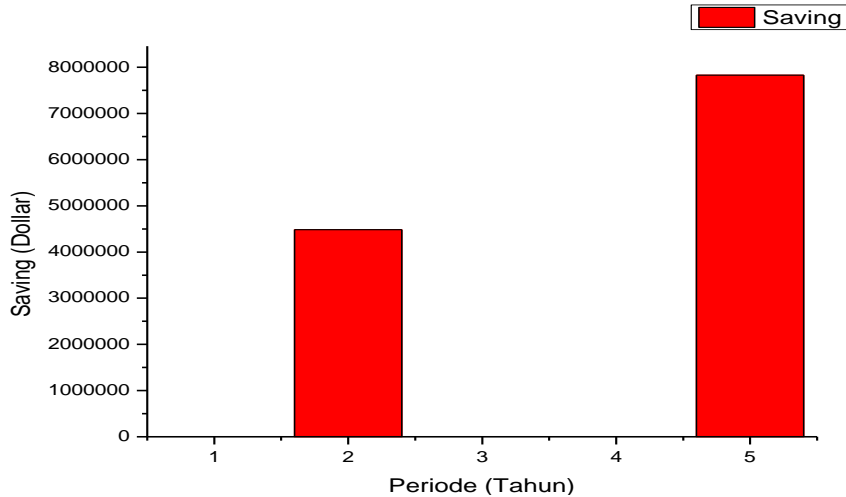
Terjadi penurunan *profit* akibat dari penggunaan listrik PLN selama pengoperasian, hal ini didasari dari *cost electricity* yang dihasilkan melebihi kapasitas produksi yang dijual, sehingga pada tahun pertama, tentunya berdampak pada defisit yang mencapai -45,295,465 dollar, dengan ketentuan pada periode 2 tahun dan 5 tahun, *profit* yang dihasilkan mengalami surplus, namun jika dibandingkan dengan penggunaan konsumsi listrik miliki sendiri, interval antara *profit* yang dihasilkan jauh lebih menguntungkan dengan pemanfaatan listrik milik sendiri.

Tabel 4.7 *Saving* berdasarkan biaya operasional yang dihasilkan pada penggunaan listrik PT. Vale

<i>Periode Cleaning</i>	Biaya Operasional (\$)	<i>Saving (\$)</i>
1 tahun	10,741,256.7	0
2 tahun	6,259,012.5	4,482,244
5 tahun	2,910,272.82	7,830,984

Saving yang dihadirkan merupakan representasi dari faktor biaya operasional yang dikeluarkan berdasarkan tiap interval waktu pembersihan yang telah ditentukan, dimana interval pertama merupakan data primary yang digunakan sebagai faktor

pengurang dalam mencari nilai *saving* yang diperoleh tiap pemilihan interval waktu yang diberikan.



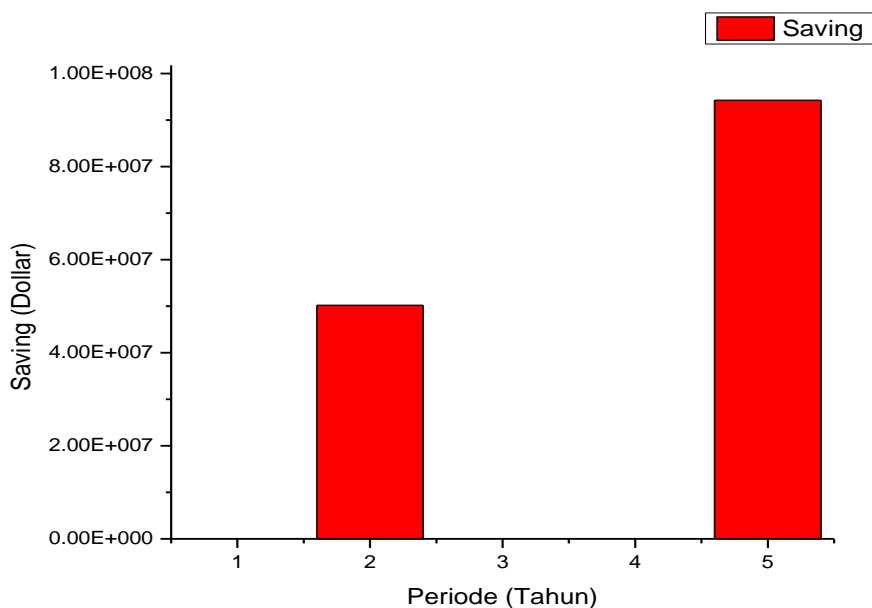
Gambar 4.15 *Saving* terhadap estimasi waktu 30 tahun terhadap konsumsi listrik PT. Vale

Periode 5 tahun memberikan dampak dengan nilai *saving* tertinggi jika dibandingkan dengan variasi interval yang lain, hal ini disebabkan oleh acuan yang digunakan merupakan data operasional tiap tahun pertama sehingga jika dihubungkan dengan *saving* maka tiap interval digunakan sebagai parameter pengurangan dan hal ini memperlihatkan tren grafik yang dihasilkan terdapat hanya tiap 2 tahun dan 5 tahun.

Tabel 4.8 *Saving* berdasarkan biaya operasional yang dihasilkan pada penggunaan listrik PLN

<i>Periode Cleaning</i>	Biaya Operasional (\$)	<i>Saving</i> (\$)
1 tahun	134,384,665.31	0
2 tahun	84,231,708	50,152,958
5 tahun	40,171,400	94,213,226

Hal yang sama berlaku pada *saving* yang diperoleh berdasarkan pemakaian listrik dari PLN, dengan metrik optimasi dan pengujian yang sama.



Gambar 4. 16 *Saving* terhadap estimasi waktu 30 tahun terhadap konsumsi listrik PLN

Saving yang dihasilkan lebih tinggi, jika dibandingkan dengan penggunaan listrik milik sendiri, hal ini didasari dari *cost electricity* yang dibebankan sangat tinggi, sehingga aspek tersebut berdampak pada *saving* yang dihasilkan jika pemanfaatan listrik pada pasokan PLN, namun patut dikaji, bahwa hal-hal yang berkaitan dengan *saving* pada umumnya memiliki korelasi yang tentu menguntungkan namun dilihat dari segi *profit* sendiri, jelas dampak penggunaan / konsumsi listrik pada pasokan PLN memberikan keuntungan yang kurang baik jika dibandingkan dengan konsumsi menggunakan milik sendiri yaitu PT. Vale.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Interval terbaik pada jadwal pembersihan adalah tiap 5 tahun sekali dalam jangka waktu 30 tahun dengan nilai *drop pressure* sebesar 14.3066 Psi.
2. *Cost cleaning* terendah adalah sebesar 485,045 dollar per 5 tahun dengan total estimasi pengeluaran dalam 30 tahun sebesar 2,910,272 dollar.
3. *Profit* yang terbesar diperoleh pada interval waktu 5 tahun selama 30 tahun sebesar \$86,178,927 dengan menggunakan listrik dari pembangkit PLTA PT Vale Indonesia Tbk.
4. *Saving cost* tertinggi diperoleh pada interval waktu 5 tahun selama 30 tahun sebesar \$7,830,984 dengan menggunakan listrik dari pembangkit PLTA PT Vale Indonesia Tbk.

Halaman sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mostafa M. Awad, *Fouling of Heat Transfer Surface*, 2011.
- [2] Chenoweth, J.M., "Final Report of the HTRI/TEMA Joint Committee to Review the *Fouling* Section of the TEMA Standards", *Heat Transfer Research*, Inc., Alhambra, Calif, 1988.
- [3] Sandeep K. Patel, Prof. Alkesh M. Mavani., *Shell & Tube Heat Exchanger Thermal Design with Optimizing of Mass Flow Rate & Baffle Spacing*, 2012. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*
- [4] Fransisco Coletti dan Sandro Macchietto (2013), A Dynamic, Distributed Model of *Shell-and-Tube Heat Exchangers Undergoing Crude Oil Fouling*, I&EC Research, Industrial and Chemistry Engineering Research, 4515-4533
- [5] Taborek, J. (2002). *Shell-and-Tube Heat Exchangers: Single-Phase Flow*. In *Heat Exchanger Design Handbook* Vol. 3; Hewitt, G. F., Ed.; Begell House, New York
- [6] Roetzel, W. dan Xuan, Y. (1999). *Dynamic Behaviour of Heat Exchangers*, Computational Mechanics Publications 3; WIT Press, Boston,
- [7] Toyoda, I. dan Fryer, P. J. A. (1997). *Computational Model for Reaction and Mass Transfer in Fouling from Whey Protein Solutions*. In *Fouling Mitigation of Industrial Heat-Exchange Equipment*; Panchal, C. B., Ed.; Begell House, San Luis Obispo
- [8] Marcin Torjan dan Jan Taler. (2013). *Effect Of Scale Deposit On Internal Surface Of Tube On Superheater Operation*, *Archive of Thermodynamic* no. 4
- [9] T. Kuppan. (2000). *Heat Exchanger Design Handbook*. Dekker Mechanical Engineering.
- [10] Rifnaldi Veriyawan, dkk, 2014. *Jurnal, Optimasi Desain Heat Exchanger Shell-And-Tube Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization*

- [11] E. Diaz-Bejarano, F. Coletti, and S. Macchietto. Thermo-hydraulic analysis of refinery *heat exchangers* undergoing *fouling*, 2016 American Institute of Chemical Engineers (AIChE)
- [12] Rahul Kr. Gautam, Kumar, Nirmal S. Parmar, Bipin G. Vyas, Effect of *fouling* on thermal and hydraulic parameter of *Shell and Tube Heat exchanger*, 2017 Student's conference Czech Technical University in Prague.
- [13] T.R. Bott, *Fouling of Heat Exchangers*, 1995 Elsevier Science & Technology Books.
- [14] I. Bizzy, R. Setiadi, 2013, Jurnal, Studi Perhitungan STHE dengan Program *Heat Transfer Research Inc (HTRI)*
- [15] Ardiansyah. 2011: *Pengaruh Variasi Sudut Static Mixer terhadap Laju Perpindahan Panas dan Pressure drop pada Counter Flow Heat Exchanger*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.
- [16] Ekadewi A. Handoyo, 2000, Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Efektivitas *Shell and Tube Heat Exchanger*, Jurnal Teknik Mesin Universitas Kristen Petra, Jakarta.
- [17] Cengel, Yunus A. 2002: *Heat Transfer a Practical Approach: 2nd Edition*; McGraw-Hill Companies Inc, New York.
- [18] Holman. J.P., *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [19] Incropera, Frank P., *Introduction To Heat Transfer*, John Wiley & Sons, 1990.
- [20] Keith, Frank P., *Principles of Heat Transfer*, Harper & Row, 1973
- [21] Morris, Alan S., *Principles Of Measurement And Instrumentation*, Orentice Hall, UK, 1988.
- [22] Sitompul, Tunggul M, *Alat Penukar Kalor*, PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta, 1993.

[23] Sugiyanto. 2005. *Analisis Alat Penukar Kalo Tipe Shell and Tube Dan Aplikasi Perhitungan dengan Microsoft Visual Basic 6.0*, Jurnal, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma:Depok

[24] Taborek., J., Hewit, G, F., and Afgan, N., 1983, *Heat Exchanger Theory and Practice*, Hemisphere Publishing Corp., Mc Graw-Hill, New York.

[25] Kern 1965, process *heat transfer*, Mc Graw Hill Book Company

[26] Li, CH. 1986, Exact Transient solutions of pararel-curret Transfer Proseses, *Journal of heat Transfer* Vol 108,PP. 365-369

Halaman sengaja dikosongkan

LAMPIRAN I

Data Pengamatan Komponen pada *Air dryer*

Data Pengamatan Pada Exchanger

No	Alat uji	Debit (Q) m ³ /s	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)
1	Exchanger	4.160	54	35.5	3.4	15
2		4.180	54	35.8	2.1	16
3		4.148	55	34.9	3.0	17
4		4.144	54	35.7	3.2	15
5		4.178	54	35.8	3.1	16

Data Pengamatan Pada Evaporator

No	Alat uji	Debit (Q) m ³ /s	T2 (°C)	T3 (°C)
1	Evaporator	4.160	35.5	3.4
2		4.180	35.8	2.1
3		4.148	34.9	3.0
4		4.144	35.7	3.2
5		4.178	35.8	3.1

Data Pengamatan Pada Separator

No	Alat uji	Debit (Q) m ³ /s	T3 (°C)
1	Separator	4.160	3.4
2		4.180	2.1
3		4.148	3.0
4		4.144	3.2
5		4.178	3.1

Halaman sengaja dikosongkan

LAMPIRAN II

Hasil Perhitungan *Pressure drop* Pada Heat Exchanger

No	Alat uji	Debit (Q) m ³ /s	T _{rata-rata} (°C)	U (m/s)	Re	f	Δp _{inp} (Psi)
1	Exchanger	4.160	44.75	65.713	24188.1	0.02534	9.630
2		4.180	44.90	66.021	24293.58	0.02531	9.706
3		4.148	44.95	65.519	24106.25	0.02536	9.576
4		4.144	44.85	65.465	24091.38	0.02536	9.564
5		4.178	45.4	65.989	24255.27	0.02532	9.684

Hasil Perhitungan *Pressure drop* Pada Evaporator

No	Alat uji	Debit (Q) m ³ /s	T _{rata-rata} (°C)	U (m/s)	Ma (kg/s)	Remax	f	G (m/s)	U _E (m/s)	Δp _{evaporator} (Psi)
1	Evaporator	4.160	19.45	65.713	5.018	60885.816	0.0631	60.397	3.833	0.540
2		4.180	18.95	66.021	5.051	61471.128	0.0630	60.785	3.851	0.546
3		4.148	18.95	65.519	5.012	61003.755	0.0631	60.323	3.822	0.538
4		4.144	19.45	65.465	4.999	60655.572	0.0632	60.168	3.819	0.537
5		4.178	19.45	65.989	5.039	61141.387	0.0631	60.650	3.849	0.545

Hasil Perhitungan *Pressure drop* Pada Separator

No	Alat uji	Debit (Q) m ³ /s	T _{rata-rata} (°C)	U _{sp} (m/s)	U _p (m/s)	Δp _{sep} (Psi)	Δp _{belokan} (Psi)	Re	f	Δp _{gesekan} (Psi)	Δp _T (Psi)	Δp _{out} (Psi)
1	Sepa rator	4.160	3.4	6.690	40.891	0.0146	1.710	359672.2	0.0129	0.043	1.768	7.321
2		4.180	2.1	6.722	41.082	0.0148	1.734	372236.2	0.0128	0.044	1.792	7.368
3		4.148	3.0	6.671	40.770	0.0146	1.702	458091.2	0.0121	0.041	1.758	7.280
4		4.144	3.2	6.665	40.736	0.0146	1.698	359930.2	0.0129	0.043	1.756	7.272
5		4.178	3.1	6.718	41.062	0.0148	1.726	363634.1	0.0129	0.044	1.785	7.355

Halaman sengaja dikosongkan

LAMPIRAN III

Data Pengamatan Pressure *Air dryer*

YEAR	WEEK	Pressure Inlet (Psi)	Pressure Outlet (Psi)	Δ Pressure (Psi)
2017	29	105	98	7
	29	105	98	7
	30	102	95	7
	30	101	94	7
	31	100	92	8
	31	101	93	8
	32	104	97	7
	32	90	83	7
	33	92	85	7
	33	96	89	7
	34	96	89	7
	34	97	90	7
	35	101	93	8
	35	100	92	8
	36	90	83	7
	36	100	92	8
	37	101	93	8
	37	97	89	8
	38	103	94	9
	38	102	93	9
	39	104	96	8
	39	104	95	9
	40	105	96	9
	40	105	96	9
	41	97	88	9
	41	100	92	8
	42	101	93	8
	42	100	91	9
	43	97	88	9
	43	100	92	8
	44	101	92	9
	44	100	91	9
	47	101	92	9
	47	101	92	9
	49	104	96	8

YEAR	WEEK	Pressure Inlet (Psi)	Pressure Outlet (Psi)	Δ Pressure (Psi)
2017	49	104	95	9
	50	104	95	9
	50	104	95	9
	51	101	92	9
	51	102	93	9
	52	100	93	7
	52	101	92	9
2018	1	97	89	8
	1	100	91	9
	2	98	88	10
	2	98	88	10
	3	100	91	9
	3	103	94	9
	4	96	88	8
	4	97	88	9
	5	104	95	9
	5	104	94	10
	6	105	96	9
	6	105	95	10
	7	102	94	8
	7	101	93	8
	8	101	91	10
	8	100	91	9
	9	102	92	10
	9	104	96	8
	10	102	92	10
	10	101	92	9
	11	97	87	10
	11	100	91	9
	12	100	91	9
	12	100	90	10
	13	105	95	10
	13	101	92	9
	14	97	87	10
	14	99	90	9
	15	101	91	10
	15	100	92	8
	16	104	94	10

YEAR	WEEK	Pressure Inlet (Psi)	Pressure Outlet (Psi)	Δ Pressure (Psi)
2018	16	98	89	9
	17	100	91	9
	17	103	93	10
	24	100	91	9
	24	92	83	9
	25	99	89	10
	25	100	90	10
	26	92	82	10
	26	96	87	9
	27	99	89	10
	27	94	84	10
	28	101	92	9
	28	96	86	10
	29	100	90	10
	29	101	91	10
	30	97	87	10
	30	97	87	10

Halaman sengaja dikosongkan

LAMPIRAN IV

Data *Pressure drop* Dengan Interval Waktu 1, 2, 5 dan 10 Tahun

Minggu	1 Tahun	Minggu	2 Tahun	Minggu	5 Tahun	Minggu	10 tahun
1	7.5429	1	7.5429	1	7.5429	1	7.5429
2	7.5712	2	7.5712	2	7.5712	2	7.5712
3	7.5995	3	7.5995	3	7.5995	3	7.5995
4	7.6278	4	7.6278	4	7.6278	4	7.6278
5	7.6561	5	7.6561	5	7.6561	5	7.6561
6	7.6844	6	7.6844	6	7.6844	6	7.6844
7	7.7127	7	7.7127	7	7.7127	7	7.7127
8	7.741	8	7.741	8	7.741	8	7.741
9	7.7693	9	7.7693	9	7.7693	9	7.7693
10	7.7976	10	7.7976	10	7.7976	10	7.7976
11	7.8259	11	7.8259	11	7.8259	11	7.8259
12	7.8542	12	7.8542	12	7.8542	12	7.8542
13	7.8825	13	7.8825	13	7.8825	13	7.8825
14	7.9108	14	7.9108	14	7.9108	14	7.9108
15	7.9391	15	7.9391	15	7.9391	15	7.9391
16	7.9674	16	7.9674	16	7.9674	16	7.9674
17	7.9957	17	7.9957	17	7.9957	17	7.9957
18	8.024	18	8.024	18	8.024	18	8.024
19	8.0523	19	8.0523	19	8.0523	19	8.0523
20	8.0806	20	8.0806	20	8.0806	20	8.0806
21	8.1089	21	8.1089	21	8.1089	21	8.1089
22	8.1372	22	8.1372	22	8.1372	22	8.1372
23	8.1655	23	8.1655	23	8.1655	23	8.1655
24	8.1938	24	8.1938	24	8.1938	24	8.1938
25	8.2221	25	8.2221	25	8.2221	25	8.2221
26	8.2504	26	8.2504	26	8.2504	26	8.2504
27	8.2787	27	8.2787	27	8.2787	27	8.2787
28	8.307	28	8.307	28	8.307	28	8.307
29	8.3353	29	8.3353	29	8.3353	29	8.3353
30	8.3636	30	8.3636	30	8.3636	30	8.3636
31	8.3919	31	8.3919	31	8.3919	31	8.3919
32	8.4202	32	8.4202	32	8.4202	32	8.4202
33	8.4485	33	8.4485	33	8.4485	33	8.4485
34	8.4768	34	8.4768	34	8.4768	34	8.4768
35	8.5051	35	8.5051	35	8.5051	35	8.5051
36	8.5334	36	8.5334	36	8.5334	36	8.5334
37	8.5617	37	8.5617	37	8.5617	37	8.5617

38	8.59	38	8.59	38	8.59	38	8.59
39	8.6183	39	8.6183	39	8.6183	39	8.6183
40	8.6466	40	8.6466	40	8.6466	40	8.6466
41	8.6749	41	8.6749	41	8.6749	41	8.6749
42	8.7032	42	8.7032	42	8.7032	42	8.7032
43	8.7315	43	8.7315	43	8.7315	43	8.7315
44	8.7598	44	8.7598	44	8.7598	44	8.7598
45	8.7881	45	8.7881	45	8.7881	45	8.7881
46	8.8164	46	8.8164	46	8.8164	46	8.8164
47	8.8447	47	8.8447	47	8.8447	47	8.8447
48	8.873	48	8.873	48	8.873	48	8.873
1	7.5429	49	8.9013	49	8.9013	49	8.9013
2	7.5712	50	8.9296	50	8.9296	50	8.9296
3	7.5995	51	8.9579	51	8.9579	51	8.9579
4	7.6278	52	8.9862	52	8.9862	52	8.9862
5	7.6561	53	9.0145	53	9.0145	53	9.0145
6	7.6844	54	9.0428	54	9.0428	54	9.0428
7	7.7127	55	9.0711	55	9.0711	55	9.0711
8	7.741	56	9.0994	56	9.0994	56	9.0994
9	7.7693	57	9.1277	57	9.1277	57	9.1277
10	7.7976	58	9.156	58	9.156	58	9.156
11	7.8259	59	9.1843	59	9.1843	59	9.1843
12	7.8542	60	9.2126	60	9.2126	60	9.2126
13	7.8825	61	9.2409	61	9.2409	61	9.2409
14	7.9108	62	9.2692	62	9.2692	62	9.2692
15	7.9391	63	9.2975	63	9.2975	63	9.2975
16	7.9674	64	9.3258	64	9.3258	64	9.3258
17	7.9957	65	9.3541	65	9.3541	65	9.3541
18	8.024	66	9.3824	66	9.3824	66	9.3824
19	8.0523	67	9.4107	67	9.4107	67	9.4107
20	8.0806	68	9.439	68	9.439	68	9.439
21	8.1089	69	9.4673	69	9.4673	69	9.4673
22	8.1372	70	9.4956	70	9.4956	70	9.4956
23	8.1655	71	9.5239	71	9.5239	71	9.5239
24	8.1938	72	9.5522	72	9.5522	72	9.5522
25	8.2221	73	9.5805	73	9.5805	73	9.5805
26	8.2504	74	9.6088	74	9.6088	74	9.6088
27	8.2787	75	9.6371	75	9.6371	75	9.6371
28	8.307	76	9.6654	76	9.6654	76	9.6654
29	8.3353	77	9.6937	77	9.6937	77	9.6937
30	8.3636	78	9.722	78	9.722	78	9.722

31	8.3919	79	9.7503	79	9.7503	79	9.7503
32	8.4202	80	9.7786	80	9.7786	80	9.7786
33	8.4485	81	9.8069	81	9.8069	81	9.8069
34	8.4768	82	9.8352	82	9.8352	82	9.8352
35	8.5051	83	9.8635	83	9.8635	83	9.8635
36	8.5334	84	9.8918	84	9.8918	84	9.8918
37	8.5617	85	9.9201	85	9.9201	85	9.9201
38	8.59	86	9.9484	86	9.9484	86	9.9484
39	8.6183	87	9.9767	87	9.9767	87	9.9767
40	8.6466	88	10.005	88	10.005	88	10.005
41	8.6749	89	10.0333	89	10.0333	89	10.0333
42	8.7032	90	10.0616	90	10.0616	90	10.0616
43	8.7315	91	10.0899	91	10.0899	91	10.0899
44	8.7598	92	10.1182	92	10.1182	92	10.1182
45	8.7881	93	10.1465	93	10.1465	93	10.1465
46	8.8164	94	10.1748	94	10.1748	94	10.1748
47	8.8447	95	10.2031	95	10.2031	95	10.2031
48	8.873	96	10.2314	96	10.2314	96	10.2314
1	7.5429	1	7.5429	97	10.2597	97	10.2597
2	7.5712	2	7.5712	98	10.288	98	10.288
3	7.5995	3	7.5995	99	10.3163	99	10.3163
4	7.6278	4	7.6278	100	10.3446	100	10.3446
5	7.6561	5	7.6561	101	10.3729	101	10.3729
6	7.6844	6	7.6844	102	10.4012	102	10.4012
7	7.7127	7	7.7127	103	10.4295	103	10.4295
8	7.741	8	7.741	104	10.4578	104	10.4578
9	7.7693	9	7.7693	105	10.4861	105	10.4861
10	7.7976	10	7.7976	106	10.5144	106	10.5144
11	7.8259	11	7.8259	107	10.5427	107	10.5427
12	7.8542	12	7.8542	108	10.571	108	10.571
13	7.8825	13	7.8825	109	10.5993	109	10.5993
14	7.9108	14	7.9108	110	10.6276	110	10.6276
15	7.9391	15	7.9391	111	10.6559	111	10.6559
16	7.9674	16	7.9674	112	10.6842	112	10.6842
17	7.9957	17	7.9957	113	10.7125	113	10.7125
18	8.024	18	8.024	114	10.7408	114	10.7408
19	8.0523	19	8.0523	115	10.7691	115	10.7691
20	8.0806	20	8.0806	116	10.7974	116	10.7974
21	8.1089	21	8.1089	117	10.8257	117	10.8257
22	8.1372	22	8.1372	118	10.854	118	10.854
23	8.1655	23	8.1655	119	10.8823	119	10.8823

24	8.1938	24	8.1938	120	10.9106	120	10.9106
25	8.2221	25	8.2221	121	10.9389	121	10.9389
26	8.2504	26	8.2504	122	10.9672	122	10.9672
27	8.2787	27	8.2787	123	10.9955	123	10.9955
28	8.307	28	8.307	124	11.0238	124	11.0238
29	8.3353	29	8.3353	125	11.0521	125	11.0521
30	8.3636	30	8.3636	126	11.0804	126	11.0804
31	8.3919	31	8.3919	127	11.1087	127	11.1087
32	8.4202	32	8.4202	128	11.137	128	11.137
33	8.4485	33	8.4485	129	11.1653	129	11.1653
34	8.4768	34	8.4768	130	11.1936	130	11.1936
35	8.5051	35	8.5051	131	11.2219	131	11.2219
36	8.5334	36	8.5334	132	11.2502	132	11.2502
37	8.5617	37	8.5617	133	11.2785	133	11.2785
38	8.59	38	8.59	134	11.3068	134	11.3068
39	8.6183	39	8.6183	135	11.3351	135	11.3351
40	8.6466	40	8.6466	136	11.3634	136	11.3634
41	8.6749	41	8.6749	137	11.3917	137	11.3917
42	8.7032	42	8.7032	138	11.42	138	11.42
43	8.7315	43	8.7315	139	11.4483	139	11.4483
44	8.7598	44	8.7598	140	11.4766	140	11.4766
45	8.7881	45	8.7881	141	11.5049	141	11.5049
46	8.8164	46	8.8164	142	11.5332	142	11.5332
47	8.8447	47	8.8447	143	11.5615	143	11.5615
48	8.873	48	8.873	144	11.5898	144	11.5898
1	7.5429	49	8.9013	145	11.6181	145	11.6181
2	7.5712	50	8.9296	146	11.6464	146	11.6464
3	7.5995	51	8.9579	147	11.6747	147	11.6747
4	7.6278	52	8.9862	148	11.703	148	11.703
5	7.6561	53	9.0145	149	11.7313	149	11.7313
6	7.6844	54	9.0428	150	11.7596	150	11.7596
7	7.7127	55	9.0711	151	11.7879	151	11.7879
8	7.741	56	9.0994	152	11.8162	152	11.8162
9	7.7693	57	9.1277	153	11.8445	153	11.8445
10	7.7976	58	9.156	154	11.8728	154	11.8728
11	7.8259	59	9.1843	155	11.9011	155	11.9011
12	7.8542	60	9.2126	156	11.9294	156	11.9294
13	7.8825	61	9.2409	157	11.9577	157	11.9577
14	7.9108	62	9.2692	158	11.986	158	11.986
15	7.9391	63	9.2975	159	12.0143	159	12.0143
16	7.9674	64	9.3258	160	12.0426	160	12.0426

17	7.9957	65	9.3541	161	12.0709	161	12.0709
18	8.024	66	9.3824	162	12.0992	162	12.0992
19	8.0523	67	9.4107	163	12.1275	163	12.1275
20	8.0806	68	9.439	164	12.1558	164	12.1558
21	8.1089	69	9.4673	165	12.1841	165	12.1841
22	8.1372	70	9.4956	166	12.2124	166	12.2124
23	8.1655	71	9.5239	167	12.2407	167	12.2407
24	8.1938	72	9.5522	168	12.269	168	12.269
25	8.2221	73	9.5805	169	12.2973	169	12.2973
26	8.2504	74	9.6088	170	12.3256	170	12.3256
27	8.2787	75	9.6371	171	12.3539	171	12.3539
28	8.307	76	9.6654	172	12.3822	172	12.3822
29	8.3353	77	9.6937	173	12.4105	173	12.4105
30	8.3636	78	9.722	174	12.4388	174	12.4388
31	8.3919	79	9.7503	175	12.4671	175	12.4671
32	8.4202	80	9.7786	176	12.4954	176	12.4954
33	8.4485	81	9.8069	177	12.5237	177	12.5237
34	8.4768	82	9.8352	178	12.552	178	12.552
35	8.5051	83	9.8635	179	12.5803	179	12.5803
36	8.5334	84	9.8918	180	12.6086	180	12.6086
37	8.5617	85	9.9201	181	12.6369	181	12.6369
38	8.59	86	9.9484	182	12.6652	182	12.6652
39	8.6183	87	9.9767	183	12.6935	183	12.6935
40	8.6466	88	10.005	184	12.7218	184	12.7218
41	8.6749	89	10.0333	185	12.7501	185	12.7501
42	8.7032	90	10.0616	186	12.7784	186	12.7784
43	8.7315	91	10.0899	187	12.8067	187	12.8067
44	8.7598	92	10.1182	188	12.835	188	12.835
45	8.7881	93	10.1465	189	12.8633	189	12.8633
46	8.8164	94	10.1748	190	12.8916	190	12.8916
47	8.8447	95	10.2031	191	12.9199	191	12.9199
48	8.873	96	10.2314	192	12.9482	192	12.9482
1	7.5429	1	7.5429	193	12.9765	193	12.9765
2	7.5712	2	7.5712	194	13.0048	194	13.0048
3	7.5995	3	7.5995	195	13.0331	195	13.0331
4	7.6278	4	7.6278	196	13.0614	196	13.0614
5	7.6561	5	7.6561	197	13.0897	197	13.0897
6	7.6844	6	7.6844	198	13.118	198	13.118
7	7.7127	7	7.7127	199	13.1463	199	13.1463
8	7.741	8	7.741	200	13.1746	200	13.1746
9	7.7693	9	7.7693	201	13.2029	201	13.2029

10	7.7976	10	7.7976	202	13.2312	202	13.2312
11	7.8259	11	7.8259	203	13.2595	203	13.2595
12	7.8542	12	7.8542	204	13.2878	204	13.2878
13	7.8825	13	7.8825	205	13.3161	205	13.3161
14	7.9108	14	7.9108	206	13.3444	206	13.3444
15	7.9391	15	7.9391	207	13.3727	207	13.3727
16	7.9674	16	7.9674	208	13.401	208	13.401
17	7.9957	17	7.9957	209	13.4293	209	13.4293
18	8.024	18	8.024	210	13.4576	210	13.4576
19	8.0523	19	8.0523	211	13.4859	211	13.4859
20	8.0806	20	8.0806	212	13.5142	212	13.5142
21	8.1089	21	8.1089	213	13.5425	213	13.5425
22	8.1372	22	8.1372	214	13.5708	214	13.5708
23	8.1655	23	8.1655	215	13.5991	215	13.5991
24	8.1938	24	8.1938	216	13.6274	216	13.6274
25	8.2221	25	8.2221	217	13.6557	217	13.6557
26	8.2504	26	8.2504	218	13.684	218	13.684
27	8.2787	27	8.2787	219	13.7123	219	13.7123
28	8.307	28	8.307	220	13.7406	220	13.7406
29	8.3353	29	8.3353	221	13.7689	221	13.7689
30	8.3636	30	8.3636	222	13.7972	222	13.7972
31	8.3919	31	8.3919	223	13.8255	223	13.8255
32	8.4202	32	8.4202	224	13.8538	224	13.8538
33	8.4485	33	8.4485	225	13.8821	225	13.8821
34	8.4768	34	8.4768	226	13.9104	226	13.9104
35	8.5051	35	8.5051	227	13.9387	227	13.9387
36	8.5334	36	8.5334	228	13.967	228	13.967
37	8.5617	37	8.5617	229	13.9953	229	13.9953
38	8.59	38	8.59	230	14.0236	230	14.0236
39	8.6183	39	8.6183	231	14.0519	231	14.0519
40	8.6466	40	8.6466	232	14.0802	232	14.0802
41	8.6749	41	8.6749	233	14.1085	233	14.1085
42	8.7032	42	8.7032	234	14.1368	234	14.1368
43	8.7315	43	8.7315	235	14.1651	235	14.1651
44	8.7598	44	8.7598	236	14.1934	236	14.1934
45	8.7881	45	8.7881	237	14.2217	237	14.2217
46	8.8164	46	8.8164	238	14.25	238	14.25
47	8.8447	47	8.8447	239	14.2783	239	14.2783
48	8.873	48	8.873	240	14.3066	240	14.3066
1	7.5429	49	8.9013	1	7.5429	241	14.3349
2	7.5712	50	8.9296	2	7.5712	242	14.3632

3	7.5995	51	8.9579	3	7.5995	243	14.3915
4	7.6278	52	8.9862	4	7.6278	244	14.4198
5	7.6561	53	9.0145	5	7.6561	245	14.4481
6	7.6844	54	9.0428	6	7.6844	246	14.4764
7	7.7127	55	9.0711	7	7.7127	247	14.5047
8	7.741	56	9.0994	8	7.741	248	14.533
9	7.7693	57	9.1277	9	7.7693	249	14.5613
10	7.7976	58	9.156	10	7.7976	250	14.5896
11	7.8259	59	9.1843	11	7.8259	251	14.6179
12	7.8542	60	9.2126	12	7.8542	252	14.6462
13	7.8825	61	9.2409	13	7.8825	253	14.6745
14	7.9108	62	9.2692	14	7.9108	254	14.7028
15	7.9391	63	9.2975	15	7.9391	255	14.7311
16	7.9674	64	9.3258	16	7.9674	256	14.7594
17	7.9957	65	9.3541	17	7.9957	257	14.7877
18	8.024	66	9.3824	18	8.024	258	14.816
19	8.0523	67	9.4107	19	8.0523	259	14.8443
20	8.0806	68	9.439	20	8.0806	260	14.8726
21	8.1089	69	9.4673	21	8.1089	261	14.9009
22	8.1372	70	9.4956	22	8.1372	262	14.9292
23	8.1655	71	9.5239	23	8.1655	263	14.9575
24	8.1938	72	9.5522	24	8.1938	264	14.9858
25	8.2221	73	9.5805	25	8.2221	265	15.0141
26	8.2504	74	9.6088	26	8.2504	266	15.0424
27	8.2787	75	9.6371	27	8.2787	267	15.0707
28	8.307	76	9.6654	28	8.307	268	15.099
29	8.3353	77	9.6937	29	8.3353	269	15.1273
30	8.3636	78	9.722	30	8.3636	270	15.1556
31	8.3919	79	9.7503	31	8.3919	271	15.1839
32	8.4202	80	9.7786	32	8.4202	272	15.2122
33	8.4485	81	9.8069	33	8.4485	273	15.2405
34	8.4768	82	9.8352	34	8.4768	274	15.2688
35	8.5051	83	9.8635	35	8.5051	275	15.2971
36	8.5334	84	9.8918	36	8.5334	276	15.3254
37	8.5617	85	9.9201	37	8.5617	277	15.3537
38	8.59	86	9.9484	38	8.59	278	15.382
39	8.6183	87	9.9767	39	8.6183	279	15.4103
40	8.6466	88	10.005	40	8.6466	280	15.4386
41	8.6749	89	10.0333	41	8.6749	281	15.4669
42	8.7032	90	10.0616	42	8.7032	282	15.4952
43	8.7315	91	10.0899	43	8.7315	283	15.5235

44	8.7598	92	10.1182	44	8.7598	284	15.5518
45	8.7881	93	10.1465	45	8.7881	285	15.5801
46	8.8164	94	10.1748	46	8.8164	286	15.6084
47	8.8447	95	10.2031	47	8.8447	287	15.6367
48	8.873	96	10.2314	48	8.873	288	15.665
1	7.5429	1	7.5429	49	8.9013	289	15.6933
2	7.5712	2	7.5712	50	8.9296	290	15.7216
3	7.5995	3	7.5995	51	8.9579	291	15.7499
4	7.6278	4	7.6278	52	8.9862	292	15.7782
5	7.6561	5	7.6561	53	9.0145	293	15.8065
6	7.6844	6	7.6844	54	9.0428	294	15.8348
7	7.7127	7	7.7127	55	9.0711	295	15.8631
8	7.741	8	7.741	56	9.0994	296	15.8914
9	7.7693	9	7.7693	57	9.1277	297	15.9197
10	7.7976	10	7.7976	58	9.156	298	15.948
11	7.8259	11	7.8259	59	9.1843	299	15.9763
12	7.8542	12	7.8542	60	9.2126	300	16.0046
13	7.8825	13	7.8825	61	9.2409	301	16.0329
14	7.9108	14	7.9108	62	9.2692	302	16.0612
15	7.9391	15	7.9391	63	9.2975	303	16.0895
16	7.9674	16	7.9674	64	9.3258	304	16.1178
17	7.9957	17	7.9957	65	9.3541	305	16.1461
18	8.024	18	8.024	66	9.3824	306	16.1744
19	8.0523	19	8.0523	67	9.4107	307	16.2027
20	8.0806	20	8.0806	68	9.439	308	16.231
21	8.1089	21	8.1089	69	9.4673	309	16.2593
22	8.1372	22	8.1372	70	9.4956	310	16.2876
23	8.1655	23	8.1655	71	9.5239	311	16.3159
24	8.1938	24	8.1938	72	9.5522	312	16.3442
25	8.2221	25	8.2221	73	9.5805	313	16.3725
26	8.2504	26	8.2504	74	9.6088	314	16.4008
27	8.2787	27	8.2787	75	9.6371	315	16.4291
28	8.307	28	8.307	76	9.6654	316	16.4574
29	8.3353	29	8.3353	77	9.6937	317	16.4857
30	8.3636	30	8.3636	78	9.722	318	16.514
31	8.3919	31	8.3919	79	9.7503	319	16.5423
32	8.4202	32	8.4202	80	9.7786	320	16.5706
33	8.4485	33	8.4485	81	9.8069	321	16.5989
34	8.4768	34	8.4768	82	9.8352	322	16.6272
35	8.5051	35	8.5051	83	9.8635	323	16.6555
36	8.5334	36	8.5334	84	9.8918	324	16.6838

37	8.5617	37	8.5617	85	9.9201	325	16.7121
38	8.59	38	8.59	86	9.9484	326	16.7404
39	8.6183	39	8.6183	87	9.9767	327	16.7687
40	8.6466	40	8.6466	88	10.005	328	16.797
41	8.6749	41	8.6749	89	10.0333	329	16.8253
42	8.7032	42	8.7032	90	10.0616	330	16.8536
43	8.7315	43	8.7315	91	10.0899	331	16.8819
44	8.7598	44	8.7598	92	10.1182	332	16.9102
45	8.7881	45	8.7881	93	10.1465	333	16.9385
46	8.8164	46	8.8164	94	10.1748	334	16.9668
47	8.8447	47	8.8447	95	10.2031	335	16.9951
48	8.873	48	8.873	96	10.2314	336	17.0234
1	7.5429	49	8.9013	97	10.2597	337	17.0517
2	7.5712	50	8.9296	98	10.288	338	17.08
3	7.5995	51	8.9579	99	10.3163	339	17.1083
4	7.6278	52	8.9862	100	10.3446	340	17.1366
5	7.6561	53	9.0145	101	10.3729	341	17.1649
6	7.6844	54	9.0428	102	10.4012	342	17.1932
7	7.7127	55	9.0711	103	10.4295	343	17.2215
8	7.741	56	9.0994	104	10.4578	344	17.2498
9	7.7693	57	9.1277	105	10.4861	345	17.2781
10	7.7976	58	9.156	106	10.5144	346	17.3064
11	7.8259	59	9.1843	107	10.5427	347	17.3347
12	7.8542	60	9.2126	108	10.571	348	17.363
13	7.8825	61	9.2409	109	10.5993	349	17.3913
14	7.9108	62	9.2692	110	10.6276	350	17.4196
15	7.9391	63	9.2975	111	10.6559	351	17.4479
16	7.9674	64	9.3258	112	10.6842	352	17.4762
17	7.9957	65	9.3541	113	10.7125	353	17.5045
18	8.024	66	9.3824	114	10.7408	354	17.5328
19	8.0523	67	9.4107	115	10.7691	355	17.5611
20	8.0806	68	9.439	116	10.7974	356	17.5894
21	8.1089	69	9.4673	117	10.8257	357	17.6177
22	8.1372	70	9.4956	118	10.854	358	17.646
23	8.1655	71	9.5239	119	10.8823	359	17.6743
24	8.1938	72	9.5522	120	10.9106	360	17.7026
25	8.2221	73	9.5805	121	10.9389	361	17.7309
26	8.2504	74	9.6088	122	10.9672	362	17.7592
27	8.2787	75	9.6371	123	10.9955	363	17.7875
28	8.307	76	9.6654	124	11.0238	364	17.8158
29	8.3353	77	9.6937	125	11.0521	365	17.8441

30	8.3636	78	9.722	126	11.0804	366	17.8724
31	8.3919	79	9.7503	127	11.1087	367	17.9007
32	8.4202	80	9.7786	128	11.137	368	17.929
33	8.4485	81	9.8069	129	11.1653	369	17.9573
34	8.4768	82	9.8352	130	11.1936	370	17.9856
35	8.5051	83	9.8635	131	11.2219	371	18.0139
36	8.5334	84	9.8918	132	11.2502	372	18.0422
37	8.5617	85	9.9201	133	11.2785	373	18.0705
38	8.59	86	9.9484	134	11.3068	374	18.0988
39	8.6183	87	9.9767	135	11.3351	375	18.1271
40	8.6466	88	10.005	136	11.3634	376	18.1554
41	8.6749	89	10.0333	137	11.3917	377	18.1837
42	8.7032	90	10.0616	138	11.42	378	18.212
43	8.7315	91	10.0899	139	11.4483	379	18.2403
44	8.7598	92	10.1182	140	11.4766	380	18.2686
45	8.7881	93	10.1465	141	11.5049	381	18.2969
46	8.8164	94	10.1748	142	11.5332	382	18.3252
47	8.8447	95	10.2031	143	11.5615	383	18.3535
48	8.873	96	10.2314	144	11.5898	384	18.3818
1	7.5429	1	7.5429	145	11.6181	385	18.4101
2	7.5712	2	7.5712	146	11.6464	386	18.4384
3	7.5995	3	7.5995	147	11.6747	387	18.4667
4	7.6278	4	7.6278	148	11.703	388	18.495
5	7.6561	5	7.6561	149	11.7313	389	18.5233
6	7.6844	6	7.6844	150	11.7596	390	18.5516
7	7.7127	7	7.7127	151	11.7879	391	18.5799
8	7.741	8	7.741	152	11.8162	392	18.6082
9	7.7693	9	7.7693	153	11.8445	393	18.6365
10	7.7976	10	7.7976	154	11.8728	394	18.6648
11	7.8259	11	7.8259	155	11.9011	395	18.6931
12	7.8542	12	7.8542	156	11.9294	396	18.7214
13	7.8825	13	7.8825	157	11.9577	397	18.7497
14	7.9108	14	7.9108	158	11.986	398	18.778
15	7.9391	15	7.9391	159	12.0143	399	18.8063
16	7.9674	16	7.9674	160	12.0426	400	18.8346
17	7.9957	17	7.9957	161	12.0709	401	18.8629
18	8.024	18	8.024	162	12.0992	402	18.8912
19	8.0523	19	8.0523	163	12.1275	403	18.9195
20	8.0806	20	8.0806	164	12.1558	404	18.9478
21	8.1089	21	8.1089	165	12.1841	405	18.9761
22	8.1372	22	8.1372	166	12.2124	406	19.0044

23	8.1655	23	8.1655	167	12.2407	407	19.0327
24	8.1938	24	8.1938	168	12.269	408	19.061
25	8.2221	25	8.2221	169	12.2973	409	19.0893
26	8.2504	26	8.2504	170	12.3256	410	19.1176
27	8.2787	27	8.2787	171	12.3539	411	19.1459
28	8.307	28	8.307	172	12.3822	412	19.1742
29	8.3353	29	8.3353	173	12.4105	413	19.2025
30	8.3636	30	8.3636	174	12.4388	414	19.2308
31	8.3919	31	8.3919	175	12.4671	415	19.2591
32	8.4202	32	8.4202	176	12.4954	416	19.2874
33	8.4485	33	8.4485	177	12.5237	417	19.3157
34	8.4768	34	8.4768	178	12.552	418	19.344
35	8.5051	35	8.5051	179	12.5803	419	19.3723
36	8.5334	36	8.5334	180	12.6086	420	19.4006
37	8.5617	37	8.5617	181	12.6369	421	19.4289
38	8.59	38	8.59	182	12.6652	422	19.4572
39	8.6183	39	8.6183	183	12.6935	423	19.4855
40	8.6466	40	8.6466	184	12.7218	424	19.5138
41	8.6749	41	8.6749	185	12.7501	425	19.5421
42	8.7032	42	8.7032	186	12.7784	426	19.5704
43	8.7315	43	8.7315	187	12.8067	427	19.5987
44	8.7598	44	8.7598	188	12.835	428	19.627
45	8.7881	45	8.7881	189	12.8633	429	19.6553
46	8.8164	46	8.8164	190	12.8916	430	19.6836
47	8.8447	47	8.8447	191	12.9199	431	19.7119
48	8.873	48	8.873	192	12.9482	432	19.7402
1	7.5429	49	8.9013	193	12.9765	433	19.7685
2	7.5712	50	8.9296	194	13.0048	434	19.7968
3	7.5995	51	8.9579	195	13.0331	435	19.8251
4	7.6278	52	8.9862	196	13.0614	436	19.8534
5	7.6561	53	9.0145	197	13.0897	437	19.8817
6	7.6844	54	9.0428	198	13.118	438	19.91
7	7.7127	55	9.0711	199	13.1463	439	19.9383
8	7.741	56	9.0994	200	13.1746	440	19.9666
9	7.7693	57	9.1277	201	13.2029	441	19.9949
10	7.7976	58	9.156	202	13.2312	442	20.0232
11	7.8259	59	9.1843	203	13.2595	443	20.0515
12	7.8542	60	9.2126	204	13.2878	444	20.0798
13	7.8825	61	9.2409	205	13.3161	445	20.1081
14	7.9108	62	9.2692	206	13.3444	446	20.1364
15	7.9391	63	9.2975	207	13.3727	447	20.1647

16	7.9674	64	9.3258	208	13.401	448	20.193
17	7.9957	65	9.3541	209	13.4293	449	20.2213
18	8.024	66	9.3824	210	13.4576	450	20.2496
19	8.0523	67	9.4107	211	13.4859	451	20.2779
20	8.0806	68	9.439	212	13.5142	452	20.3062
21	8.1089	69	9.4673	213	13.5425	453	20.3345
22	8.1372	70	9.4956	214	13.5708	454	20.3628
23	8.1655	71	9.5239	215	13.5991	455	20.3911
24	8.1938	72	9.5522	216	13.6274	456	20.4194
25	8.2221	73	9.5805	217	13.6557	457	20.4477
26	8.2504	74	9.6088	218	13.684	458	20.476
27	8.2787	75	9.6371	219	13.7123	459	20.5043
28	8.307	76	9.6654	220	13.7406	460	20.5326
29	8.3353	77	9.6937	221	13.7689	461	20.5609
30	8.3636	78	9.722	222	13.7972	462	20.5892
31	8.3919	79	9.7503	223	13.8255	463	20.6175
32	8.4202	80	9.7786	224	13.8538	464	20.6458
33	8.4485	81	9.8069	225	13.8821	465	20.6741
34	8.4768	82	9.8352	226	13.9104	466	20.7024
35	8.5051	83	9.8635	227	13.9387	467	20.7307
36	8.5334	84	9.8918	228	13.967	468	20.759
37	8.5617	85	9.9201	229	13.9953	469	20.7873
38	8.59	86	9.9484	230	14.0236	470	20.8156
39	8.6183	87	9.9767	231	14.0519	471	20.8439
40	8.6466	88	10.005	232	14.0802	472	20.8722
41	8.6749	89	10.0333	233	14.1085	473	20.9005
42	8.7032	90	10.0616	234	14.1368	474	20.9288
43	8.7315	91	10.0899	235	14.1651	475	20.9571
44	8.7598	92	10.1182	236	14.1934	476	20.9854
45	8.7881	93	10.1465	237	14.2217	477	21.0137
46	8.8164	94	10.1748	238	14.25	478	21.042
47	8.8447	95	10.2031	239	14.2783	479	21.0703
48	8.873	96	10.2314	240	14.3066	480	21.0986

LAMPIRAN V

Cost Tiap Komponen

Componen Cost	jumlah	\$/ea	<i>total cost</i> (\$)/year
Filter separator <i>air dryer</i>	34	274.68	9,339.12
Mtc cost Compressor	14	25,243.24	353,405.30
Mtc cost <i>air dryer</i>	3	9,339.12	28,017.36
Biaya <i>cleaning air dryer</i> 2017	3	16,000.00	48,000.00
Biaya listrik compressor	14	8,645.75	121,040.50
Biaya listrik <i>air dryer</i>	3	786.76	2,360.28

Halaman sengaja dikosongkan

LAMPIRAN VI

Tabel Biaya Operasional (Perawatan, *Cleaning*, Listrik) tiap tahun, 2 tahun dan 5 tahun dalam 30 tahun

Tahun	<i>Cleaning</i> per 1thn	<i>Cleaning</i> per 2thn	<i>Cleaning</i> per 5thn
1	358041.89	0	0
2	358041.89	417267.5	0
3	358041.89	0	0
4	358041.89	417267.5	0
5	358041.89	0	485045.47
6	358041.89	417267.5	0
7	358041.89	0	0
8	358041.89	417267.5	0
9	358041.89	0	0
10	358041.89	417267.5	485045.47
11	358041.89	0	0
12	358041.89	417267.5	0
13	358041.89	0	0
14	358041.89	417267.5	0
15	358041.89	0	485045.47
16	358041.89	417267.5	0
17	358041.89	0	0
18	358041.89	417267.5	0
19	358041.89	0	0
20	358041.89	417267.5	485045.47
21	358041.89	0	0
22	358041.89	417267.5	0
23	358041.89	0	0
24	358041.89	417267.5	0
25	358041.89	0	485045.47
26	358041.89	417267.5	0
27	358041.89	0	0
28	358041.89	417267.5	0
29	358041.89	0	0
30	358041.89	417267.5	485045.47

Halaman sengaja dikosongkan

LAMPIRAN VII

Total *Saving Cost* dan *Profit* Berdasarkan Total Biaya Operasional Menggunakan Listrik PLTA PT Vale Indonesia Tbk.

Total Biaya Operasional 30 th (\$)	Periode <i>Cleaning</i> (tahun)
10741256.7	1
6259012.5	2
2910272.82	5

Periode <i>Cleaning</i>	Biaya Operasional (\$)	<i>Saving</i> (\$)
1 tahun	10,741,256.7	0
2 tahun	6,259,012.5	4,482,244
5 tahun	2,910,272.82	7,830,984

Periode cleaning	Biaya Operasional (\$)	Penjualan produk (\$)	Profit (\$)
1 tahun	10,741,256.70	89,089,200	78,347,943
2 tahun	6,259,012.50	89,089,200	82,830,188
5 tahun	2,910,272.82	89,089,200	86,178,927

Halaman sengaja dikosongkan



BIODATA

Personal Data :

Name: Pamrih
Sex: Male.
Marital status: Married, 3 Children.
Place and date of birth: Makassar & September 10, 1967.
Nationality: Indonesian.
Address: Nusa Indah C.3 Salonsa - Soroako 92984 (Residence).
Maintenance & Utilities Department DP. 41 – Sorowako
92984 (Office).
Phone: (021)5249669 (Office), (021)5249898 (Residence)
HP. 0811 424 094
Email address: pamrih.pammu@vale.com

Education :

D3- Energy Engineering (Polytechnic Hasanuddin).

S1- Electrical Engineering (UMI)

S2- Physics Engineering (ITS)

Training, Course, Seminar & Certification:

1. Boiler Operation & Safety Procedure Courses
2. Certification Boiler Class 1
3. Leadership 2001 Course
4. Seminar-The 10th Hydro Power Engineering Exchange by Snowy Hydro Ltd, Cooma- New South Wales- Australia, 2002.
5. Reliability Centre Maintenance Training, by Prof. Jardine, 2003.
6. Earthquake Engineering, Hydraulic & Civil Structures training, by S. Everitt – Hydropower Technology, 2003.
7. Turbine, Generator, Governor, Control System and Protection training, by J. Grilli – Hydropower Technology, 2003.
8. Transformer, auxiliary Plant, HV Switchgear, Cables & Isophase Bus, Earthing training, by J. Grilli – Hydropower Technology, 2003.
9. Operation & Maintenance Hydro Plant training, by J. Grilli – Hydropower Technology, 2003.
10. Scaffolding Inspector certification, by PT Alkon Trianindo Utama, 2003.

11. RCM.2 (Reliability Centre Maintenance 2) course, by PT Relogika Indonesia, 2004.
12. Safety Competency (K3 Certification) by Inspector Tambang Indonesia, 2004.
13. POP Competency (Uji Pengawas Operasional Pertama) by Mine Inspector, 2004
14. Workshop Project Management at Jakarta by Marcus Evans, 2005.
15. POM Competency (Uji Pengawas Operasional Madya) by Mine Inspector, 2005.
16. LGS3 Digital governor training by Kevin Geraghty, 2006.
17. Impact 5 - Business of Leadership training at PT Inco by HROD PTI, 2006
18. Seminar Evaluation Existing Dam by Bereau of Reclamation at Denver-Colorado, 2006.
19. Work shop Maintaining Sustainability of Catchments Area to Improve Reliability of Hydro Power Plant by PT PLN Udiklat Padang, Sumatra Barat, 2006.
20. Advanced Safety Auditing Program training by ASA Master Trainer, 2007
21. Seminar National Big Dam at Yogyakarta, 2009.
22. Seminar National Big Dam at Bali, 2011.
23. Seminar National Big Dam at Semarang, 2012.
24. Seminar National Big Dam at Jakarta, 2012
25. Pengawas Operasional Madya certification by PT Allsys Solutions, 2012
26. Seminar International Commission on Large Dams (ICOLD) at Bali, 2014.
27. Seminar National Big Dam at Kupang, 2015.
28. Engineering Physics International Conference (EPIC) at Surabaya, 2018

Work Experience :

1. October 1, 2015 – Now as Senior Manager/GM Utilities Maintenance (Hydro Power Plants (Larona, Balambano & Karebbe) & Thermal Power Plants (Steam Turbine Generator & Diesel Generators) included steam, water and air distribution) at PT. Vale Indonesia.
2. February 20, 2012 – September 30, 2015 as General Manager Utilities Operation (Hydro Power Plants Larona, Balambano, Karebbe & Thermal Power Plants (Steam turbine & Diesel Power Plants) included steam, water and air distribution) at PT. Vale Indonesia.
3. June 2009 until February 2012 Readiness team of Larona Hydro unit 1 & 2 replacements (2 x 68 MW), at PT Vale Indonesia.
4. July 2009 until October 2011 Readiness team of Karebbe Hydro Power Plant (2 x 65 MW), at PT Vale Indonesia.
5. May 15, 2007 – February 19, 2012 as General Manager Hydro Plant Larona, Balambano & Karebbe (Operation & Maintenance) at PT. Vale Indonesia.
6. May 11, 2004 – May 14, 2007 as Manager Hydro Operation Power Plant Larona & Balambano at PT. Vale Indonesia
7. November 3, 2003–May 10, 2004 as Utilities Electric Engineer at PT. Vale Indonesia.
8. April 2003 – November 2, 2003 as Utilities Asst. Electric Engineer at PT. Vale Indonesia.
9. July 2000 – March 2003 as Project Engineer for Larona generator replacement project (85 MVA), VAR compensation project (3X20 MVAR), 150 KV OCB replacement project, Replacement superheater tubes of B&W boiler, Modification 11 & 3.3 KV bus, Field Coordinator canal repair project.

10. June 1999 – February 2000. As a commissioning staff of Balambano Hydro Electric Power Plant (2 x 68.5 MW) at PT Vale Indonesia.
11. April- July1998 as Commissioning staff of ABB Steam Turbine Generator 28 MW at PT. Vale Indonesia.
12. June 1993 - September 1993 as a commissioning Staff of Diesel Power Plant Project (3 x 8.0 MW) at PT. Vale Indonesia.
13. January 1992 – May 1999 as Operation Staff of Thermal Power Plant (Steam turbine and Diesel Power Plant) of Utilities Department at PT. Vale Indonesia.