



TUGAS AKHIR - TM 091486

**PERANCANGAN ULANG MANAJEMEN
PEMELIHARAAN INTAKE AIR FILTER UNTUK
MENURUNKAN BIAYA OPERASIONAL TURBIN
GAS
(STUDI KASUS PLTGU PT.PJB UP GRESIK)**

**ERWIN ATSIRUDDIN
NRP 2110 100 086**

**Dosen Pembimbing
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014**



FINAL PROJECT - TM 091486

**REDESIGN OF INTAKE AIR FILTER
MAINTENANCE MANAGEMENT TO REDUCE THE
OPERATING COSTS OF GAS TURBINE
(CASE STUDY OF COMBINED CYCLE POWER
PLANT PT.PJB UP GRESIK)**

**ERWIN ATSIRUDDIN
NRP 2110 100 086**

**Academic Supervisor
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014**

**PERANCANGAN ULANG MANAJEMEN
PEMELIHARAAN INTAKE AIR FILTER UNTUK
MENURUNKAN BIAYA OPERASIONAL TURBIN GAS
(STUDI KASUS PLTGU PT PJB UP GRESIK)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ERWIN ATSIRUDDIN

Nrp. 2110 100 086

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc(Pembimbing)
(NIP: 196303141988031002)
2. Bambang Arip D, ST., M.Eng, PhD(Penguji I)
(NIP: 197804012002121001)
3. Dr. Bambang Sudarmanta, ST., MT(Penguji II)
(NIP: 197301161997021001)
4. Ir. Eddy Harmadi T., ME(Penguji III)
(NIP: 195003141978031001)

**SURABAYA
Desember 2014**

**PERANCANGAN ULANG MANAJEMEN
PEMELIHARAAN INTAKE AIR FILTER UNTUK
MENURUNKAN BIAYA OPERASIONAL TURBIN GAS
(STUDI KASUS PLTGU PT.PJB UP GRESIK)**

Nama Mahasiswa : Erwin Atsiruddin
NRP : 2110 100 086
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstrak

Makin mahalny biaya bahan bakar membuat PT.PJB UP Gresik selalu berusaha menekan biaya produksi. Salah satu peralatan yang menjadi perhatian terkait dengan konsumsi bahan bakar adalah Intake Air Filter. Pressure drop yang terjadi pada peralatan ini diyakini berpengaruh besar pada konsumsi bahan bakar turbin gas. Saat ini, biasanya filter diganti pada saat Differential Pressure (DP) 120 mmH₂O. Penggunaan nilai DP 120 mmH₂O sebagai ukuran saat penggantian belum pernah dievaluasi terkait optimasi biaya penggantian filter dan konsumsi bahan bakar turbin gas. Selain itu, karena kerusakan pada sistem self cleaning compressor, penggantian filter dilakukan ketika turbin gas dalam keadaan hidup. Hal ini akan membuat turbin gas menghisap udara kotor sehingga perlu juga dilakukan analisa terkait prosedur penggantian filter.

Kedua masalah diatas kemudian dianalisa untuk mencari solusi yang tepat. Langkah pertama yang dilakukan adalah mencari pengaruh DP terhadap konsumsi bahan bakar. Oleh karena beban generator berubah-ubah maka perlu dilakukan blocking data untuk menyamakan nilai beban generator. Selanjutnya, biaya penggantian filter baik filter baru maupun filter bekas juga perlu dicari, begitu pula umur filter. Setelah biaya-biaya ini diperloleh maka akan dicari titik optimal penggantian filter dengan menganalisa DP terhadap konsumsi bahan bakar dan biaya penggantian filter. Langkah kedua

adalah merancang ulang prosedur penggantian filter supaya kotoran tidak masuk ke kompresor. Untuk itu perlu dilakukan modifikasi pada modul filter agar aliran udara kotor tidak bisa memasuki modul filter saat dilakukan penggantian.

Hasil optimasi penggantian IAF menunjukkan bahwa penggantian filter yang optimal terdapat pada DP 18 mmH₂O untuk filter baru dan DP 48 mmH₂O untuk filter bekas. Hasil optimasi ini akan menghemat biaya operasional pertahun hingga Rp 65.652.672.709,- untuk filter baru dan Rp 49.220.275.267,- untuk filter bekas dibandingkan dengan prosedur penggantian yang diterapkan saat pada DP 120 mmH₂O. Prosedur penggantian IAF juga dimodifikasi dengan menambahkan plat setebal 1 mm yang diletakkan diantara modul dan filter untuk mencegah kotoran masuk ke modul filter ketika dilakukan penggantian filter dalam keadaan GT hidup. Kedua analisa ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan baru untuk merancang ulang manajemen pemeliharaan IAF.

Kata Kunci : Differential Pressure, Intake Air Filter, Prosedur penggantian IAF

**REDESIGN OF INTAKE AIR FILTER MAINTENANCE
MANAGEMENT TO REDUCE THE OPERATING COSTS
OF GAS TURBINE
(CASE STUDY OF COMBINED CYCLE POWER PLANT
PT.PJB UP Gresik)**

Name : Erwin Atsiruddin
Student ID : 2109 100 086
Major : Mechanical Engineering FTI-ITS
Academic Supervisor : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstract

The increasing of fuel costs makes PT.PJB UP Gresik always try to reduce the production costs. One of the equipment that associated with fuel consumption is intake air filter. Pressure drop that occur to this equipment believed take big effect to gas turbine fuel consumption. In this moment, the filter changed at the 120 mmH₂O of differential pressure. The application of 120 mmH₂O as changing standard never been evaluated yet related to the optimization of filter changing costs and gas turbine fuel consumption. Besides, because of self cleaning compressor damage, the filter changed when the gas turbine on work. It makes gas turbine suck dirty air the analysis is needed related to filter changing procedure.

Both of problem to be analyzed to define the correct solution. The first, define the effect of DP to fuel consumption. Because the generator load fluctuated so the data blocking is needed to equalize the value of generator load. Furthermore, the filter changing costs even new or used is important to defined, the same with filter lifetime. After it costs are defined then define the optimal point of filter changing by analyze the differential pressure related to fuel consumption and filter changing costs. The second, re-design the filter changing procedure so that the dust particle didn't enter to compressor. For that things, the

modification of filter module is needed to prevent dust enter filter module when the filter changed.

The optimization result of IAF changing show that the optimal filter changing at the 18 mmH₂O of differential pressure for new filter and 48 mmH₂O of differential pressure for used filter. This optimization relust will economize the operating costs per year till Rp 65.652.672.709,- for new filter and Rp 49.220.275.267,- for used filter compared with changing procedure at 120 mmH₂O of differential pressure. The changing procedure of IAF also modified by adding 1 mm plate between module and filter to prevent the dust enter filter module when filter changed and gas turbine on work. Both of analysis hoped can be used as new reference to redesign of IAF maintenance management.

Keywords: Differential Pressure, Intake Air Filter, IAF Changing Procedure

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT karena hanya dengan bimbingan, petunjuk, dan kasih sayang-Nya akhirnya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul ***“PERANCANGAN ULANG MANAJEMEN PEMELIHARAAN INTAKE AIR FILTER UNTUK MENURUNKAN BIAYA OPERASIONAL TURBIN GAS (STUDI KASUS PLTGU PT.PJB UP GRESIK)”***.

Penulis berharap dari tugas akhir ini dapat diambil suatu manfaat, meskipun masih banyak kekurangan pada pembuatan tugas akhir ini.

Akhirnya pada kesempatan ini penulis ingin berterima kasih kepada orang-orang secara langsung maupun tidak langsung ikut terlibat dalam penulisan tugas akhir ini. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak dan Ibu penulis (Achmad Mahjudin dan Siwi Ernawati) serta adik-adik yang selalu memberikan dukungan dan doa.
2. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah membimbing saya dengan sangat baik, disiplin dan sabar dalam menuntun penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Eddy Harmadi T., ME , bapak Dr. Bambang Sudarmanta, ST.,MT , Bambang Arip D., ST., M.Eng., PhD, yang telah bersedia menjadi dosen penguji demi kesempurnaan tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Bambang Daryanto, MSME.PhD, selaku dosen wali yang telah membimbing dan membantu selama menempuh masa perkuliahan.
5. Bapak Heri Setiawan, bapak Mukroji, bapak Agus Saksono dan karyawan PT. PJB UP Gresik yang lain yang

telah membagi ilmu dan juga membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

6. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas pengetahuan yang telah diberikan dan pembelajaran, semoga Allah membalasnya, Amin.
7. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2010, teman-teman Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin, serta teman-teman Lab. Sistem Manufaktur yang telah menemani dan berbagi ilmu dan pengalaman selama dibangku kuliah.
8. Teman-teman se-kontrakan, Huda, Isna, Yanuar, Wahyu, Ilmy, Naufal, Ageng dan Yafi yang telah menemani menjalani masa-masa menyenangkan bersama.
9. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuannya yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Kritik dan saran penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Desember 2014

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI | 5 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka..... | 5 |
| 2.1.1 <i>Intake Air Filter</i> | 5 |
| 2.1.2 Kontaminan..... | 7 |
| 2.1.3 <i>Pressure Drop</i> pada Filter..... | 9 |
| 2.1.4 <i>Self Cleaning System</i> | 10 |
| 2.2 Dasar Teori..... | 12 |
| 2.2.1 Konsep Dasar Pemeliharaan..... | 12 |
| 2.2.1.1 <i>Run to Failure</i> | 14 |
| 2.2.1.2 <i>Preventive Maintenance</i> | 15 |
| 2.2.1.3 <i>Corrective Maintenance</i> | 16 |
| 2.2.1.4 <i>Improvement Maintenance</i> | 17 |
| 2.2.1.5 <i>Predictive Maintenance</i> | 18 |
| 2.2.2 Turbin Gas..... | 20 |
| 2.2.2.1 <i>Inlet Air Section</i> | 21 |
| 2.2.2.2 <i>Compressor Section</i> | 22 |
| 2.2.2.3 <i>Combustion Section</i> | 22 |

| | | |
|---------------------------------|--|----|
| 2.2.2.4 | <i>Turbin Section</i> | 23 |
| 2.2.2.5 | <i>Exhaust Section</i> | 24 |
| 2.2.3 | Siklus Gabungan | 24 |
| BAB III | METODOLOGI PENELITIAN | 27 |
| 3.1 | Diagram Alir Penelitian | 27 |
| 3.2 | Metodologi Tugas Akhir | 28 |
| 3.3 | Spesifikasi Teknis PLTGU Gresik | 30 |
| 3.4 | Peralatan | 31 |
| 3.5 | Metode Pengambilan Data | 33 |
| 3.5 | Metode Optimasi | 33 |
| BAB IV | OPTIMASI PENGGANTIAN <i>INTAKE AIR</i> | |
| <i>FILTER</i> | | 35 |
| 4.1 | Analisa Pengaruh DP Terhadap Konsumsi Bahan Bakar | 35 |
| 4.2 | Data Analisa Pengaruh DP Terhadap Biaya Penggantian Filter | 41 |
| 4.3 | Analisa Pengaruh DP Terhadap Interval Waktu Penggantian | 43 |
| 4.4 | Analisa Pengaruh DP Terhadap Biaya Penggantian Filter | 46 |
| 4.5 | Optimasi Penggantian Filter | 47 |
| 4.6 | Perbandingan Biaya Operasional Sekarang dengan Biaya Operasional Optimal | 50 |
| BAB V | ANALISA METODE PENGGANTIAN | |
| <i>INTAKE AIR FILTER</i> | | 53 |
| 5.1 | Identifikasi Metode Penggantian Filter Yang Ada | 53 |
| 5.2 | Metode Penggantian <i>Intake Air Filter</i> Yang Baru | 54 |
| BAB VI | PENUTUP | 57 |
| 6.1 | Kesimpulan | 57 |
| 6.2 | Saran | 58 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 59 |
| LAMPIRAN | | 61 |
| BIODATA PENULIS | | 85 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 2.1 | Pemilihan jenis media filter berdasarkan lingkungan turbin gas..... | 6 |
| Tabel 2.2 | Jenis kontaminan berdasarkan lingkungan turbin gas..... | 8 |
| Tabel 4.1 | Cuplikan data <i>monitoring</i> unit 3.2 (8 Januari 2013 – 12 Februari 2013)..... | 36 |
| Tabel 4.2 | <i>Multiple Linear Regression</i> untuk konsumsi bahan bakar, DP, dan beban generator..... | 37 |
| Tabel 4.3 | Metode regresi linier untuk <i>Differential Pressure</i> dan biaya produksi listrik..... | 40 |
| Tabel 4.4 | Histori penggantian <i>Intake Air Filter</i> | 42 |
| Tabel 4.5 | Data untuk analisa penggantian filter baru..... | 43 |
| Tabel 4.6 | Data untuk analisa penggantian filter bekas..... | 44 |
| Tabel 4.7 | Perbandingan biaya operasional sekarang dan optimal..... | 50 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Macam-Macam Filter Udara | 5 |
| Gambar 2.2 Efek pembersihan terhadap efisiensi turbin gas | 7 |
| Gambar 2.3 Pengaruh <i>Pressure Drop</i> terhadap <i>Rel.Power</i> dan <i>Rel.heat rate</i> turbin gas | 10 |
| Gambar 2.4 Skema <i>Self Cleaning System</i> | 11 |
| Gambar 2.5 Kurva <i>Pressure Loss</i> terhadap waktu pada <i>self cleaning system</i> | 12 |
| Gambar 2.6 Pembagian <i>Maintenance</i> | 18 |
| Gambar 2.7 Strategi optimasi pemeliharaan | 19 |
| Gambar 2.8 Unit turbin gas | 21 |
| Gambar 2.9 Skema <i>Combine Cycle</i> PT.PJB UP Gresik | 26 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir | 27 |
| Gambar 3.2 Area PLTGU Gresik | 31 |
| Gambar 3.3 Unit IAF PLTGU PT.PJB UP Gresik | 32 |
| Gambar 3.4 Manometer di Unit IAF | 32 |
| Gambar 3.5 Grafik optimasi penggantian IAF | 33 |
| Gambar 4.1 Grafik biaya konsumsi bahan bakar vs DP filter | 38 |
| Gambar 4.2 Grafik AFR vs Power Turbin Gas | 39 |
| Gambar 4.3 Grafik DP vs Biaya Produksi Listrik | 41 |
| Gambar 4.4 Grafik DP vs interval waktu | 45 |
| Gambar 4.5 Grafik DP vs biaya penggantian | 47 |
| Gambar 4.6 Grafik DP vs biaya untuk penggantian filter baru | 48 |
| Gambar 4.7 Grafik DP vs biaya untuk penggantian filter bekas | 49 |
| Gambar 4.8 Grafik perbandingan biaya operasional untuk penggantian filter baru dan bekas | 49 |
| Gambar 5.1 Lubang pada modul filter | 53 |
| Gambar 5.2 Plat penutup modul filter | 54 |
| Gambar 5.3 Langkah penggantian filter | 55 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1. 1 Latar Belakang

PT. PJB UP Gresik merupakan salah satu unit pembangkit listrik milik BUMN yang ada di Jawa Timur. Salah satu unit pembangkitnya adalah PLTGU. Total kapasitas daya yang mampu dibangkitkan dari PLTGU adalah ± 1575 MW. Untuk menyediakannya tentu dibutuhkan suatu pembangkit listrik yang memiliki kehandalan yang tinggi. Selain itu unit pembangkit juga dituntut untuk bisa menyediakan listrik dengan harga yang murah dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Seiring berjalannya waktu pasti muncul masalah yang dapat mengganggu kehandalan dan efisiensi pembangkit. Masalah ini tentu harus dapat diatasi dengan tepat agar tidak mengganggu kinerja pembangkit mengingat pentingnya energi listrik bagi manusia. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem perawatan yang baik agar pembangkit dapat terus bekerja secara kontinyu.

Suatu sistem pembangkit terdiri dari beberapa sistem dan subsistem yang saling menopang. Kehandalan sistem tersebut dipengaruhi oleh peralatan-peralatan pendukung (*auxiliary*) yang menyusunnya. Masing-masing peralatan mempunyai fungsi tertentu yang mewakili setiap tahapan proses dari siklus produksi energi listrik. Jika salah satu peralatan peralatan pendukung mengalami gangguan maka akan berakibat pada keseluruhan sistem. Salah satu peralatan turbin gas adalah *Intake Air Filter (IAF)* dimana alat ini akan mendukung suplai udara bersih untuk pembakaran di turbin gas .

Di PLTGU PT. PJB UP Gresik, terdapat beberapa unit *Intake Air Filter (IAF)* tepatnya ada 9 unit IAF, satu unit *IAF* untuk satu unit *gas turbine*. *IAF* merupakan bagian penting dari turbin gas yang berfungsi untuk menyaring debu dan partikel halus di udara. Sejak dioperasikan tahun 1993 hingga sekarang, sudah sering kali diadakan penggantian filter udara. Biasanya filter diganti pada saat *Differential Pressure (DP)* mencapai 120

mmH₂O dalam rentang waktu sekitar 10 bulan. Saat ini sering terjadi bahwa saat DP 120 mmH₂O tercapai, tidak semua filter diganti tetapi dipilih yang paling kotor saja. Penggantian juga dilakukan saat turbin gas dalam keadaan hidup. Hal ini membuat kotoran terhisap kompresor saat penggantian serta filter harus lebih sering diganti. Penggunaan nilai DP 120 mmH₂O sebagai ukuran saat penggantian juga perlu dikaji lebih dalam terkait optimasi biaya penggantian filter dan konsumsi bahan bakar turbin gas. Selain itu, rusaknya unit *self cleaning compressor* juga akan mempercepat kenaikan DP. Agar biaya operasi PLTGU dapat dijaga dengan baik maka diperlukan manajemen penggantian filter yang tepat.

1. 2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dianalisa pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan *differential pressure* yang optimal untuk penggantian filter, terkait dengan konsumsi bahan bakar turbin gas dan biaya penggantian filter.
2. Bagaimana prosedur atau metode penggantian filter yang lebih baik sehingga tidak merusak komponen turbin gas.

1. 3 Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini batasan masalah yang dipakai adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan adalah data *condition monitoring* pada periode Januari 2013 – April 2014.
2. Data yang dianalisa adalah data histori penggantian filter, *differential pressure*, konsumsi bahan bakar, dan beban turbin gas.
3. Peralatan yang dianalisa sebagai data acuan tugas akhir ini berasal dari unit PLTGU PT. PJB UP Gresik.
4. Peningkatan konsumsi bahan bakar diasumsikan hanya dipengaruhi oleh kenaikan *differential pressure* IAF dan beban generator.

5. Alat ukur yang digunakan dalam keadaan layak dan terkalibrasi.

1. 4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui titik optimal dari *Differential Pressure* terkait dengan konsumsi bahan bakar turbin gas dan biaya penggantian filter yang digunakan sebagai referensi penggantian *Intake Air Filter*.
2. Menemukan solusi yang tepat untuk prosedur penggantian *Intake Air Filter (IAF)* untuk menghindari kerusakan pada komponen turbin gas.

1. 5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Dapat menjelaskan seberapa besar pengaruh kenaikan *Differential Pressure* terhadap konsumsi bahan bakar Turbin Gas di PT.PJB UP Gresik.
2. Mendapatkan metode yang tepat untuk perawatan *Intake Air Filter (IAF)* sehingga bisa menekan biaya perawatan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 *Intake Air Filter*

Intake Air Filter merupakan bagian penting pada turbin gas yang mempunyai fungsi untuk menyaring debu dan partikel halus yang ada di udara. Selain fungsi tersebut, penggunaan filter pada turbin gas juga menyebabkan efek negatif yaitu menaikkan *pressure drop* dan menurunkan performasi dan efisiensi dari turbin gas. Untuk mendesign-nya tentu harus diperhatikan bagaimana untuk tetap menjaga *pressure drop* minimum akan tetapi tetap bisa menyaring udara dari partikel dan kelembapan. Jika terjadi kerusakan seperti jebol maupun umur pakai yang telah lewat, dapat menyebabkan beberapa kerusakan terhadap komponen turbin gas seperti *fouling*, *erosion*, *particle fusion*, *corrosion* dan sebagainya.



Gambar 2.1 Macam-macam filter udara

Jenis dari filter ada beberapa macam, dibedakan berdasarkan bentuk dan media filtrasi. Penggunaan jenis filter tertentu tergantung pada lingkungan sekitar unit turbin gas, dimana lingkungan ini akan menentukan kontaminan yang terkandung pada udara. Berdasarkan bentuk, filter ada yang berupa *rectangular* maupun *cylindrical*, dan berdasarkan media filtrasinya ada yang tersusun dari bahan kertas, kain, *synthetic* dan lain sebagainya. Tabel berikut ini akan menjelaskan pemilihan jenis media filter berdasarkan lingkungan sekitarnya.

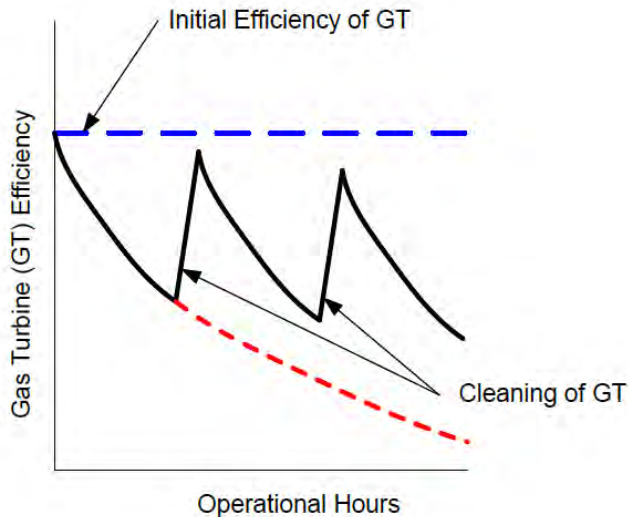
Tabel 2.1 Pemilihan Jenis Media Filter Berdasarkan Lingkungan Turbin Gas

| Donaldson Media Choices | Synthetic/ Spider-WebXP | Synthetic/ Spider-Web | Synthetic | Duratek/ Spider-Web | Duratek | |
|---|----------------------------|--------------------------|--------------|------------------------|----------|---|
| Desert: Arid; frequently heavy windblown dust concentration. | Superior | Satisfactory | Satisfactory | Recommended | Adequate | Superior - Recommended when highest filtration efficiency is needed. |
| Arid/Semi-Arid with frequent seasonal ground fog. | Superior | Recommended | Satisfactory | Satisfactory | Adequate | Satisfactory - Reasonable or good filter life with better than adequate filtration efficiency, but may not offer the best operating characteristics and economic value for this environment. |
| Arctic: very cold, dry air; snow and frost frequently build up on filters. | Superior | Satisfactory | Satisfactory | Recommended | Adequate | Recommended - Good filter life, good filtration efficiency, and best operating characteristics and economic value for this environment. |
| Urban/Industrial: Variety of contaminants, including moderate amounts of hydrocarbons. | Superior | Satisfactory | Satisfactory | Recommended | Adequate | Recommended - Good filter life, good filtration efficiency, and best operating characteristics and economic value for this environment. |
| Marine, coastal, tropical and semi-tropical (i.e., hot, humid, moisture-laden) environments | Superior | Recommended | Satisfactory | Satisfactory | Adequate | Adequate - Reasonable filter life and adequate filtration efficiency. |

Sumber : Donaldson Filtration Solution. *Filter Media Technology*. 2005

Ukuran partikel yang lebih kecil dan halus membuat potensi kerusakan pada komponen turbin gas yaitu *fouling*. Partikel yang biasa menjadi penyebab *fouling* diantaranya uap oli, air, garam, dan substansi lengket lainnya yang melekat pada permukaan kompresor atau turbin. Efek dari *fouling* ini adalah mengganggu balance putar, menghambat aliran udara, dan mengurangi tingkat kehalusan permukaan sudu. Usaha untuk mengurangi efek *fouling* ini adalah dengan pembersihan berkala pada komponen turbin gas. Pembersihan ini menjadi penting karena dapat mengembalikan efisiensi mendekati keadaan

awalnya. Berikut ini adalah grafik pengaruh pembersihan turbin gas terhadap efisiensi turbin gas.



Gambar 2.2 Efek pembersihan terhadap efisiensi turbin gas

2.1.2 Kontaminan

Kontaminan secara umum bersumber dari air (tawar atau laut), debu, dan emisi. Misalnya kontaminan yang ada di udara, partikel halus akan terbawa oleh angin sehingga bisa mencapai *inlet* turbin gas. Hal yang perlu diperhatikan adalah cuaca dan variasi musim, karena kedua hal ini sangat mempengaruhi jenis dan jumlah kontaminan yang ada. Beberapa kontaminan hanya ditemui pada sebagian waktu dalam kurun satu tahun. Contohnya adalah ketika masa tanam di lahan pertanian, partikel dari pupuk terbawa oleh hembusan angin sampai mencapai turbin gas. Partikel yang terbawa ini mengandung zat-zat kimia yang dapat mempengaruhi kinerja turbin gas. Kontaminan yang ada dapat berupa gas, cair, maupun padat. Selain karena cuaca dan musim, lokasi dari unit turbin gas juga mempengaruhi kontaminan yang

ada. Berikut ini adalah tabel yang menjelaskan jenis kontaminan berdasarkan lingkungan turbin gas.

Tabel 2.2 Jenis Kontaminan Berdasarkan Lingkungan Turbin Gas

| No | Environment | Contaminant | No | Environment | Contaminant |
|----|-------------|--------------------------------------|----|---------------------|--------------------------------|
| 1 | Coastal | Salt | 6 | Tropical | Water (rain) |
| | | Cooling tower aerosols | | | Insects |
| | | Land based contaminants | | | Pollen |
| | | Water (rain, sea mist) | | | Salt (near ocean) |
| | | Sand | | | Water (rain, snow, fog) |
| 2 | Marine | Salt (wet) | 7 | Rural Countryside | Agricultural dust |
| | | Salt (dry) | | | Pollen, ground dust, seeds |
| | | Sand | | | Leaves |
| | | Ice | | | Ice |
| | | Water (rain, sea mist, waves, wakes) | | | Water (rain, snow, fog) |
| 3 | Offshore | Salt | 8 | Large City | Agricultural dust |
| | | Cooling tower aerosols | | | Pollen, ground dust, seeds |
| | | Land based contaminants | | | Leaves |
| | | Water (rain, sea mist) | | | Ice |
| | | Sand | | | Soot, Pollution, exhaust fumes |
| | | Hydrocarbons, soot, exhaust | | | Water (rain, snow, fog) |
| | | Sand blasting | | | Ice |
| 4 | Desert | Sand | 9 | Industrial Location | Cooling tower aerosols |
| | | Pollen, sticky substances | | | Grond dust, pollen |
| | | Fog or high humidity | | | Leaves |
| 5 | Arctic | Ice | | | Hydrocarbons, soot, exhaust |
| | | Insects | | | |
| | | Snow | | | |
| | | Summer dust | | | |
| | | | | | |

Sumber : Southwest Research Institute. *Guidline For Gas Turbine Inlet Air Filtration Systems*. 2010

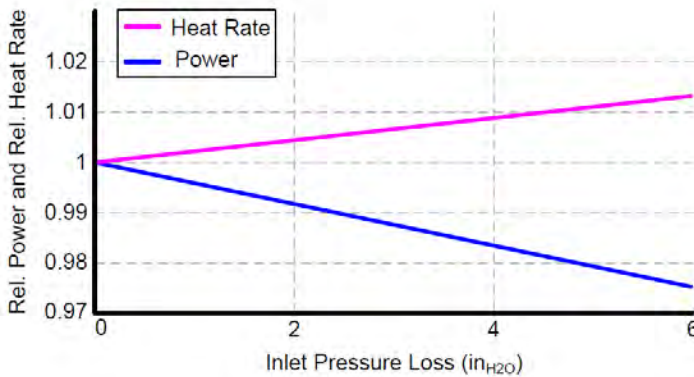
Kontaminan yang masuk ke kompresor mempunyai tingkat kerapatan yang berbeda-beda, tergantung pada filter (umur dan daya saring). Biasanya jumlah kontaminan ini didefinisikan dengan ukuran ppm (*parts per million*). Berdasarkan “*GE Marine, Installation Design Manual, MID-IDM-2500-18*” jumlah kontaminan yang masuk ke kompresor harus memenuhi standar sebagai berikut.

- Partikel Udara
 - 95% dari umur pakai, partikel solid harus tidak lebih dari 0.004 grains/1000 ft³ (0.0076 ppm)

- 5% dari umur pakai, partikel solid harus tidak lebih dari 0.04 grains/1000 ft³ (0.076 ppm)
- Untuk pencahayaan yang terbatas, mencapai 48 jam tiap tahun, proses operasi bisa dilakukan dengan kontaminan yang masuk mencapai 0.1 grains/ft³ (190 ppm)
- Tidak lebih dari 5% jumlah partikel yang masuk melebihi 10 mikrometer.
- Air
 - Jumlah air yang masuk ke turbin gas tidak melebihi 0.5% aliran udara yang masuk
- Garam
 - *Salt Aerosol Efficiency* : Garam laut yang masuk ke turbin gas tidak melebihi 0.0015 ppm (rata-rata), atau 0.01 ppm maksimal

2.1.3 *Pressure Drop* pada filter

Kenaikan *pressure drop* pada filter berbanding lurus dengan efisiensi filter dalam menyaring udara. *Pressure drop* mempunyai efek langsung terhadap performansi dari turbin gas. Semakin besar *pressure drop* maka tekanan masuk pada kompresor menurun sehingga konsumsi bahan bakar akan naik dan tenaga yang dihasilkan akan turun. Gambar di bawah ini menunjukkan jika semakin besar *pressure drop*, tenaga akan menurun, dan *heat rate* akan naik secara linear. Contohnya untuk 500 Pa (2 inH₂O) penurunan *pressure drop* menyebabkan 1 % kenaikan tenaga dan 0.2 % penurunan *heat rate* . Pada umumnya *pressure drop* pada filter berkisar antara 2 sampai 6 inH₂O.



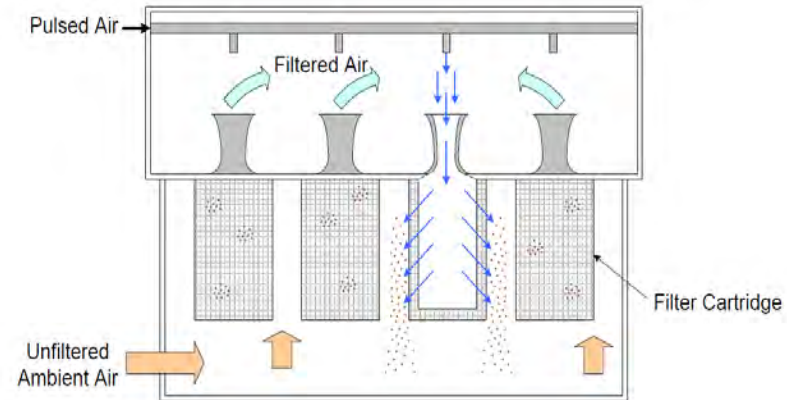
Gambar 2.3 Pengaruh *Pressure Drop* terhadap *Rel.Power* dan *Rel.Heat Rate* turbin gas

Pressure drop filter akan naik seiring bertambahnya umur pakai filter. Jika pemilihan filter dilakukan hanya berdasarkan *initial pressure drop*, maka para insiyur dapat dengan mudah mengetahui performasi terendah dari turbin gas dan dapat mengetahui kapan harus mengganti filter untuk menjaga performansi turbin gas. Perubahan *pressure drop* tergantung pada jenis filter dan partikel kontaminan yang ada di udara.

2.1.4 *Self Cleaning System*

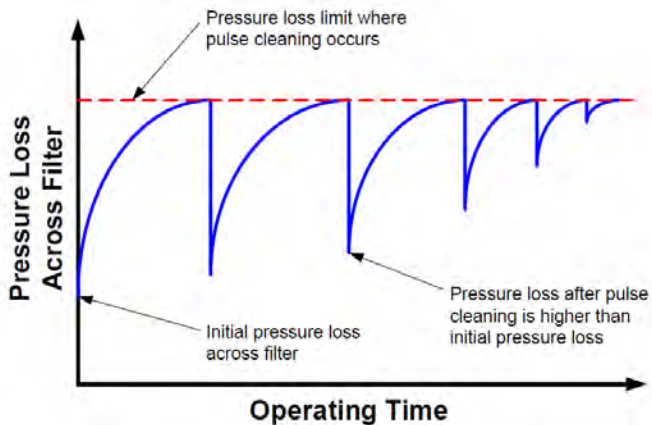
Semua jenis filter turbin gas perlu diganti apabila telah mencapai batas umur pemakaian. Di beberapa jenis lingkungan, partikel udara tertentu dapat mempengaruhi frekuensi penggantian filter. Contohnya di lingkungan gurun dimana terdapat badai pasir. Pada tahun 70-an, *self clening filtration system* dikembangkan di timur tengah dimana turbin gas sering terkena badai pasir. Sejak itu, sistem ini telah dikembangkan lebih lanjut dan digunakan pada kebanyakan sistem filtrasi. Cara kerja sistem ini adalah

menyemprotkan udara bertekanan pada filter dari sisi dalam ketika tingkat *pressure drop* telah mencapai batas. Udara bertekanan diperoleh dari kompresor udara. Dengan sistem ini *pressure drop* filter dapat dikembalikan ke kondisi yang mendekati keadaan awal.



Gambar 2.4 Skema *Self Cleaning System*

Akan tetapi perlu dicatat bahwa elemen filter akan terus mengalami degradasi seiring berjalannya waktu. Degradasi ini adalah efek dari penumpukan partikel, sinar UV, panas, dan umur pakai filter. Filter harus diganti ketika umur maksimal material filter telah tercapai, biasanya umur pakai filter antara 1 sampai 2 tahun. Gambar dibawah ini menunjukkan *Self Cleaning* pada filter semakin lama akan menjadi semakin kurang efektif dalam menurunkan *pressure drop*.



Gambar 2.5 Kurva *Pressure Loss* terhadap waktu pada *self cleaning system*

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Konsep Dasar Pemeliharaan

British Glossary of Terms mendefinisikan maintenance sebagai “*The combination of all **technical and administrative** actions, including supervision actions, intended to retain an item in, or restore it to, a state in which it can perform a required function*”. Juga didefinisikan sebagai “*a set of organised activities that are carried out in order to keep an item in its best operational condition with minimum cost acquired.*”

Dapat diterjemahkan sebagai “Kombinasi antara tindakan teknik dan administrative, termasuk supervisi, dimaksudkan untuk mempertahankan kondisi atau mengembalikan kondisi, dimana peralatan dapat berfungsi sesuai yang diinginkan.” Atau “suatu aktivitas yang terorganisasi untuk membawa peralatan pada kondisi operasional terbaik dengan biaya yang minimal”.

Secara natural, performa peralatan akan mulai menurun setelah usia ekonomisnya terlewati sampai mencapai batas minimal performa dapat diterima. Proses penurunan ini lazim disebut *aging*. Dari sini ada perbedaan, ketika proses *aging* dilalui tanpa pemeliharaan (*likely aging without normal maintenance*)

dibandingkan jika dilakukan maintenance tanpa penggantian part (*likely aging-without renewal with normal maintenance*). Nampak bahwa ketika peralatan dilakukan pemeliharaan (tanpa penggantian), akan memberikan pertambahan usia (*life time extension*), dimana user dapat memanfaatkan peralatan dengan waktu yang lebih lama. Selisih life time jika dipelihara dan tanpa maintenance mengindikasikan keuntungan dari aktivitas pemeliharaan.

Secara lebih lengkap, Abed Schock (2010) menjelaskan tujuan pemeliharaan, sebagai berikut :

1. Memaksimalkan produksi
Dengan minimnya gangguan peralatan, kesempatan berproduksi akan semakin banyak.
2. Menurunkan *breakdown*
Breakdown yang dimaksud adalah suatu sistem peralatan berhenti total dan tidak dapat beroperasi sama sekali. Langkah *recovery* memerlukan penanganan yang serius.
3. Meminimalkan penggunaan energi
Dengan pemeliharaan yang optimal, peralatan akan beroperasi efisien sehingga penggunaan energy dapat ditekan.
4. Mengurangi *downtime*
Yaitu berhentinya peralatan yang menyebabkan berhentinya proses produksi. Biasanya durasi *downtime* relatif lebih singkat dan dapat mudah dipulihkan.
5. Mengoptimalkan umur peralatan
Dengan terjaminnya kualitas pemeliharaan, umur peralatan akan lebih panjang seperti telah dijelaskan sebelumnya.
6. Meningkatkan efisiensi peralatan
Pemeliharaan juga membuat peralatan lebih efisien dalam mengkonsumsi energi.
7. Memberikan manfaat pengendalian anggaran
Pemeliharaan yang lebih terencana membuat manajemen lebih mudah membuat anggaran perusahaan. Di sisi lain,

pengalokasian anggaran secara mendadak untuk keperluan emergency bisa ditekan.

8. Meningkatkan pengendalian persediaan (*inventory control*)

Pemeliharaan yang baik juga mendukung pembuatan perencanaan material, dimana pengadaan dan pemakaian material bisa terencana secara baik.

9. Mengoptimalkan utilisasi *resources*

Penggunaan *resources* (tenaga kerja) saat ini semakin mahal dan berharga. Pemeliharaan yang baik akan menyebabkan *resources* terutilisasi maksimal.

10. Implementasi penurunan biaya

Muara dari semua tujuan pemeliharaan adalah penurunan biaya. Hal ini sinergi dengan tujuan perusahaan yang harusnya berwawasan bisnis.

British Standard Glossary of Terms (3811:1993) mengklasifikasikan pemeliharaan berdasar metodenya sebagai berikut :

2.2.1.1 Run To Failure

Jenis pemeliharaan ini berlangsung sampai berakhirnya perang dunia II, yaitu awal tahun 1950. Filosofi pemeliharaan ini menganut paham *breakdown maintenance* , yaitu usaha pemeliharaan dilakukan setelah peralatan atau mesin rusak. Pada masa itu kecanggihan teknologi belum terlalu tinggi, sedangkan desain peralatan memang cenderung over desain yang artinya peralatan cenderung “awet”. Pemeliharaan dianggap terlepas dari proses produksi dan tidak memberikan kontribusi finansial ke perusahaan.

Karena berprinsip *fix it after break* (perbaiki setelah rusak), Run to Failure (RTF) sifatnya *unplanned*, susah untuk direncanakan. Downtime yang terjadi biasanya lebih lama. RTF berpotensi menyebabkan kerusakan pada peralatan lain. Sebagai contoh bearing failure bisa mengakibatkan kerusakan pada shaft,

bearing housing, bahkan rotor. Biaya yang ditimbulkan kira-kira dua sampai empat kali dibandingkan dengan menghindari terjadinya kerusakan. Pelaksanaan RTF biasanya juga sulit direncanakan secara baik karena waktunya yang mendadak.

Pada beberapa kasus, ada sisi-sisi RTF yang bisa dimanfaatkan sehingga justru dipertahankan sebagai salah satu strategi pemeliharaan. Dalam hal ini RTF dapat digolongkan sebagai tactical maintenance. RTF sangat cocok diterapkan pada beberapa kondisi berikut :

- Kerusakan pada part yang susah diprediksikan. Sebagai contoh part-part control. Karena sampai sekarang belum ada teknologi yang memadai untuk memprediksi kerusakannya, maka pemilihan RTF sebagai strategi pemeliharaan dirasa sudah tepat. Mitigasi yang selanjutnya diperlukan adalah menjamin ketersediaan spare part di gudang sehingga bila terjadi *fault*, tinggal melakukan penggantian tanpa menyebabkan downtime.
- Jika biaya yang diperlukan untuk melakukan RTF lebih murah bila harus menerapkan jenis pemeliharaan lain. Sebagai contoh lampu penerangan (lampu TL), daripada harus melakukan PM pengecekan *ballast*, lebih murah men-*spare* lampu. Jika sewaktu-waktu ada kerusakan tinggal menggantinya.
- Prioritas kerusakan peralatan terlalu rendah untuk secara khusus dialokasikan biaya maupun manhours untuk melakukan preventive maintenance.

2.2.1.2 Preventive Maintenance

Pemeliharaan ini berlangsung dari tahun 1950-an sampai tahun 1970-an. Saat itu orang mulai memahami urgensi pemeliharaan sebagai supporting produksi. Filosofi pemeliharaan menganut paham Preventive Maintenance yaitu usaha pemeliharaan dilakukan secara terencana dalam interval waktu tertentu (time based maintenance) agar kerusakan dapat dicegah sebelumnya, tanpa mempedulikan adanya tanda-tanda kerusakan.

Termasuk dalam pemeliharaan ini adalah overhaul (OH), yaitu inspeksi yang dilaksanakan secara periodic sesuai jam operasi peralatan. PM cocok diterapkan pada peralatan yang kerusakannya menyebabkan dampak yang serius pada produksi.

Penelitian Electrical Power Research Institute (EPRI) pada 1986 menunjukkan, life cycle cost saving PM adalah 12-18 persen dibanding implementasi run to failure. Namun pada perkembangan selanjutnya, PM memiliki kelemahan. Kerusakan peralatan yang bersifat time based ternyata tidak lebih 20 persen. PM tidak bisa mengcover 80 persen kerusakan lainnya. Selain itu, pelaksanaan PM pada peralatan yang “sehat” tidak menutup kemungkinan meninggalkan masalah setelahnya. Bahkan penelitian di Inggris pada medio 90-an membuktikan 30-50 persen task PM tidak memberikan kontribusi pada eliminasi gangguan.

2.2.1.3 *Corrective Maintenance*

Corrective Maintenance (CR) adalah pemeliharaan yang dilaksanakan setelah kerusakan terjadi untuk mengeliminasi sumber permasalahan dan mengurangi frekuensi gangguan terjadi. Termasuk dalam CR adalah perbaikan, penggantian, atau restorasi (proses mengembalikan seperti kondisi sebelumnya). Tujuan utama corrective maintenance adalah untuk memaksimalkan efektivitas semua sistem peralatan yang kritis, mengeliminasi breakdown, meminimalkan perbaikan yang sebetulnya tidak diperlukan, dan mengurangi deviasi terhadap kondisi optimum pengoperasian.

Perbedaan CR dengan PM adalah jika CR dimulai setelah kerusakan telah terjadi, sedangkan PM sudah dijadwalkan rutin bersamaan dengan unit beroperasi tanpa menunggu adanya kerusakan. Perbedaan CR dengan RTF adalah jika CR terencana dan difokuskan untuk menjaga peralatan beroperasi pada kondisi optimumnya, sedangkan RTF tidak terencana serta hanya bertujuan agar peralatan dapat beroperasi pada standar minimalnya.

Dalam konteks PJB yang menggunakan Ellipse sebagai database pemeliharaan, RTF adalah jenis pekerjaan dengan maintenance type emergency/corrective dengan priority emergency (02), sedangkan CM adalah pekerjaan dengan maintenance type corrective dengan priority urgent (03) atau normal (05). Keberhasilan corrective maintenance sangat ditentukan oleh :

- Keakuratan identifikasi permasalahan yang baru terjadi
- Planning pekerjaan yang efektif, meliputi skill planner, kelengkapan database mengenai standar perbaikan, prosedur repair yang lengkap, labour skill yang dibutuhkan, tool spesifik, part, dan peralatan.
- Prosedur repair yang tepat.
- Waktu yang tepat untuk repair.
- Verifikasi hasil repair.

2.2.1.4 Improvement Maintenance

Seperti dijelaskan di atas, kebijakan pemeliharaan yang baik bukan hanya berhenti pada mewujudkan pemeliharaan yang efektif namun bagaimana menghilangkan aktivitas pemeliharaan secara keseluruhan. Dan tujuan ini dapat diakomodasi oleh improvement maintenance. Jenis pemeliharaan ini bersifat meningkatkan kondisi yang sudah ada untuk menjadi lebih baik (improvement). Dapat didefinisikan juga sebagai suatu kegiatan yang dilakukan untuk suatu proyek atau modifikasi peralatan atau unit, baik untuk mengembalikan atau menambah kemampuan dan keandalan peralatan atau unit.

Dengan demikian pelaksanaan pekerjaan ini bisa bersifat menambah asset atau bisa juga hanya menyempurnakan kinerja peralatan atau unit. *Improvement maintenance* dibagi menjadi tiga, yaitu :

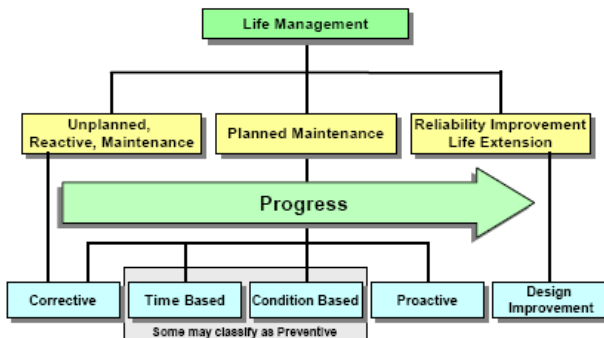
1. *Design Out Maintenance* adalah aktivitas untuk mengeliminasi sebab pemeliharaan, penyederhanaan pemeliharaan, atau meningkatkan performa peralatan (dari sudut pandang

pemeliharaan) dengan melakukan redesain mesin dan fasilitasnya yang rentan terhadap gangguan, dan pekerjaan perbaikan atau penggantian memerlukan biaya yang sangat mahal.

2. *Engineering Services*
termasuk di dalamnya pembangunan, modifikasi, pemindahan, pemasangan dan penataan ulang fasilitas.
3. *Shutdown Improvement Maintenance*
salah satu tipe improvement maintenance yang dilaksanakan saat line produksi stop total.

2.2.1.5 Predictive Maintenance

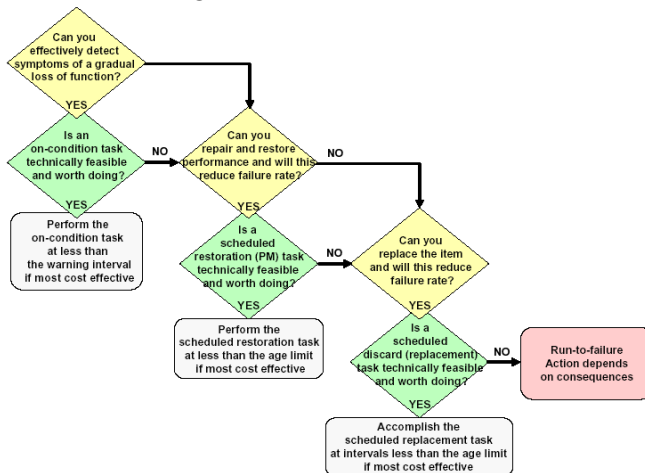
Jenis pemeliharaan ini berlangsung dari tahun 1970 sampai sekarang. Filosofi pemeliharaan menganut paham Condition Maintenance, yaitu usaha pemeliharaan melalui monitoring kondisi peralatan secara periodik dengan selalu melakukan analisis agar tindakan pemeliharaan dilakukan pada saat yang tepat secara teknis maupun ekonomis. *Predictive Maintenance* (PdM) bermanfaat untuk meningkatkan kualitas produksi, availability, dan reliability yang tinggi, dan memaksimalkan umur peralatan (life time) serta pemanfaatan biaya pemeliharaan yang efektif. EPRI menunjukkan saving cost dari PdM sebesar 8-12 persen dibanding dengan implementasi PM.



Gambar 2.6 Pembagian *Maintenance*

Ada juga pembagian jenis pemeliharaan mengacu ke kriteria lain seperti gambar 2.6 . Pada gambar tersebut, nampak kalau CR berada di dua kategori : *unplanned maintenance* dan *planned maintenance*. Seperti dijelaskan sebelumnya, corrective yang masuk kategori unplanned adalah RTF, sedangkan CM itu sendiri masuk ke dalam *planned maintenance*.

Meski kelima jenis pemeliharaan tersebut menunjukkan adanya peningkatan tradisi pemeliharaan berdasar urutan waktu, tetapi tidak bisa diartikan jenis pemeliharaan terakhir adalah yang paling baik dan pemeliharaan semisal RTF serta merta dihilangkan. Kelima jenis maintenance itu memiliki plus minus masing-masing. Yang terpenting adalah bagaimana strategi optimasi sehingga memberikan keuntungan maksimal. John S. Mitchell (2006) memberikan rule of thumbs dalam optimasi jenis pemeliharaan sesuai gambar 2.7 .



Gambar 2.7 Strategi optimasi pemeliharaan

Penjelasan gambar 2.7 adalah sebagai berikut :

- a. “Apakah gejala kegagalan peralatan dapat dideteksi secara efektif ?” Jika tidak, bergeser ke *clue* kedua. Jika bisa, muncul pertanyaan “Apakah condition based

maintenance (PdM) secara teknikal feasible untuk dilakukan?” Jika bisa, maka strategi pemeliharaan yang tepat adalah melakukan maintenance berdasar kondisi sesaat sebelum muncul peringatan terjadinya kegagalan.

- b. “Apakah mungkin dilakukan perbaikan yang dapat mengurangi failure rate?”, Jika tidak, bergeser ke *clue* ketiga. Jika bisa, muncul pertanyaan, “Apakah perbaikan terjadwal (PM) secara teknis memungkinkan dan membawa hasil?” Jika bisa, maka strategi pemeliharaan yang tepat adalah melakukan perbaikan/perbaikan menjelang usia ekonomis hampir habis.
- c. “Apakah dapat dilakukan penggantian part dan dapat mengurangi failure rate?” Jika bisa, muncul pertanyaan, “Apakah pergantian part yang terjadwal secara teknik memungkinkan dan menguntungkan”, Jika ya, strategi pemeliharaan adalah dengan menjadwalkan penggantian part sesaat sebelum usia ekonomis habis. Jika tidak, lakukan RTF namun harus tetap mempertimbangkan konsekuensi dari pengambilan keputusan untuk RTF.

2.2.2 Turbin Gas

Turbin gas adalah sebuah mesin panas pembakaran dalam, proses kerjanya yaitu udara atmosfer dihisap masuk kompresor dan dikompresi, kemudian udara mampat masuk ruang bakar dan dipakai untuk proses pembakaran, sehingga diperoleh suatu energi panas yang besar. Energi panas tersebut diekspansikan pada turbin dan menghasilkan energi mekanik pada poros. Turbin gas tersusun atas komponen-komponen utama seperti *air inlet section*, *compressor section*, *combustion section*, *turbine section*, dan *exhaust section*. Sedangkan komponen pendukung turbin gas adalah *starting equipment*, *lube-oil system*, *cooling system*, dan beberapa komponen pendukung lainnya. Berikut ini penjelasan tentang komponen utama turbin gas:



Gambar 2.8 Unit Turbin Gas

2.2.2.1 Air Inlet Section

Berfungsi untuk menyaring kotoran dan debu yang terbawa dalam udara sebelum masuk ke kompresor. Bagian ini terdiri dari:

- Air Inlet Housing, merupakan tempat udara masuk dimana didalamnya terdapat peralatan pembersih udara.
- Inertia Separator, berfungsi untuk membersihkan debu-debu atau partikel yang terbawa bersama udara masuk.
- Pre-Filter, merupakan penyaringan udara awal yang dipasang pada inlet house.
- Main Filter, merupakan penyaring utama yang terdapat pada bagian dalam inlet house, udara yang telah melewati penyaring ini masuk ke dalam kompresor aksial.
- Inlet Bellmouth, berfungsi untuk membagi udara agar merata pada saat memasuki ruang kompresor.

- Inlet Guide Vane, merupakan blade yang berfungsi sebagai pengatur jumlah udara yang masuk agar sesuai dengan yang diperlukan.

2.2.2.2 Compressor Section

Komponen utama pada bagian ini adalah aksial flow compressor, berfungsi untuk mengkompresikan udara yang berasal dari inlet air section hingga bertekanan tinggi sehingga pada saat terjadi pembakaran dapat menghasilkan gas panas berkecepatan tinggi yang dapat menimbulkan daya output turbin yang besar. Aksial flow compressor terdiri dari dua bagian yaitu:

- Compressor Rotor Assembly. Merupakan bagian dari kompresor aksial yang berputar pada porosnya. Rotor ini memiliki 17 tingkat sudu yang mengompresikan aliran udara secara aksial dari 1 atm menjadi 17 kalinya sehingga diperoleh udara yang bertekanan tinggi. Bagian ini tersusun dari wheels, stubshaft, tie bolt dan sudu-sudu yang disusun kosentris di sekeliling sumbu rotor.
- Compressor Stator. Merupakan bagian dari casing gas turbin yang terdiri dari:
 - Inlet Casing, merupakan bagian dari casing yang mengarahkan udara masuk ke inlet bellmouth dan selanjutnya masuk ke inlet guide vane.
 - Forward Compressor Casing, bagian casing yang didalamnya terdapat empat stage kompresor blade.
 - Aft Casing, bagian casing yang didalamnya terdapat compressor blade tingkat 5-10.
 - Discharge Casing, merupakan bagian casing yang berfungsi sebagai tempat keluarnya udara yang telah dikompresi.

2.2.2.3 Combustion Section

Pada bagian ini terjadi proses pembakaran antara bahan bakar dengan fluida kerja yang berupa udara bertekanan tinggi

dan bersuhu tinggi. Hasil pembakaran ini berupa energi panas yang diubah menjadi energi kinetik dengan mengarahkan udara panas tersebut ke transition pieces yang juga berfungsi sebagai nozzle. Fungsi dari keseluruhan sistem adalah untuk mensuplai energi panas ke siklus turbin. Sistem pembakaran ini terdiri dari komponen-komponen berikut yang jumlahnya bervariasi tergantung besar frame dan penggunaan turbin gas. Komponen-komponen itu adalah :

- Combustion Chamber, berfungsi sebagai tempat terjadinya pencampuran antara udara yang telah dikompresi dengan bahan bakar yang masuk.
- Combustion Liners, terdapat didalam combustion chamber yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya pembakaran.
- Fuel Nozzle, berfungsi sebagai tempat masuknya bahan bakar ke dalam combustion liner.
- Ignitors (Spark Plug), berfungsi untuk memercikkan bunga api ke dalam combustion chamber sehingga campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar.
- Transition Fieces, berfungsi untuk mengarahkan dan membentuk aliran gas panas agar sesuai dengan ukuran nozzle dan sudu-sudu turbin gas.
- Cross Fire Tubes, berfungsi untuk meratakan nyala api pada semua combustion chamber.
- Flame Detector, merupakan alat yang dipasang untuk mendeteksi proses pembakaran terjadi.

2.2.2.4 Turbin Section

Turbin section merupakan tempat terjadinya konversi energi kinetik menjadi energi mekanik yang digunakan sebagai penggerak compresor aksial dan perlengkapan lainnya. Dari daya total yang dihasilkan kira-kira 60 % digunakan untuk memutar kompresornya sendiri, dan sisanya digunakan untuk kerja yang dibutuhkan. Komponen-komponen pada turbin section adalah sebagai berikut :

- Turbin Rotor Case
- First Stage Nozzle, yang berfungsi untuk mengarahkan gas panas ke first stage turbine wheel.
- First Stage Turbine Wheel, berfungsi untuk mengkonversikan energi kinetik dari aliran udara yang berkecepatan tinggi menjadi energi mekanik berupa putaran rotor.
- Second Stage Nozzle dan Diafragma, berfungsi untuk mengatur aliran gas panas ke second stage turbine wheel, sedangkan diafragma berfungsi untuk memisahkan kedua turbin wheel.
- Second Stage Turbine, berfungsi untuk memanfaatkan energi kinetik yang masih cukup besar dari first stage turbine untuk menghasilkan kecepatan putar rotor yang lebih besar.

2.2.2.5 Exhaust Section

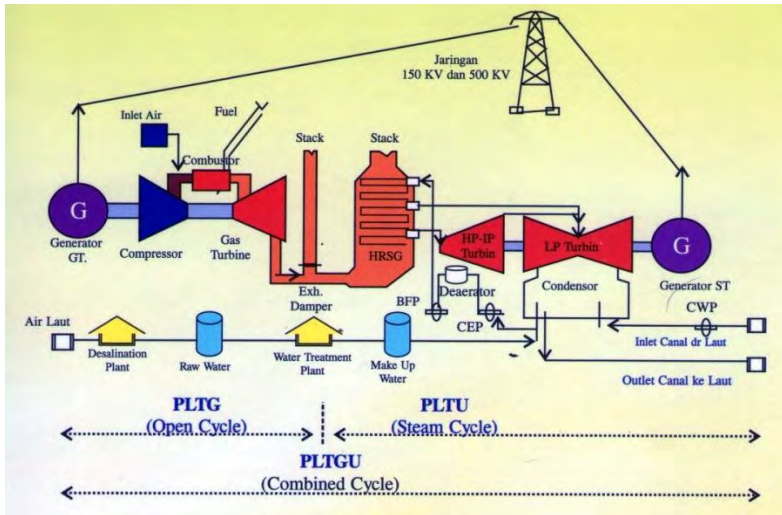
Exhaust section adalah bagian akhir turbin gas yang berfungsi sebagai saluran pembuangan gas panas sisa yang keluar dari turbin gas. Exhaust section terdiri dari beberapa bagian yaitu : Exhaust Frame Assembly, dan Exhaust gas keluar dari turbin gas melalui exhaust diffuser pada exhaust frame assembly, lalu mengalir ke exhaust plenum dan kemudian didifusikan dan dibuang ke atmosfer melalui exhaust stack, sebelum dibuang ke atmosfer gas panas sisa tersebut diukur dengan exhaust thermocouple dimana hasil pengukuran ini digunakan juga untuk data pengontrolan temperatur dan proteksi temperatur trip. Pada exhaust area terdapat 18 buah termokopel yaitu, 12 buah untuk temperatur kontrol dan 6 buah untuk temperatur trip.

2.2.3 Siklus Gabungan

Siklus tenaga gabungan terdiri dari dua buah siklus tenaga sedemikian rupa sehingga energi yang dikeluarkan melalui kalor dari satu siklus digunakan sebagian atau keseluruhan sebagai masukan untuk siklus yang satunya. Aliran yang

meninggalkan turbin di dalam sebuah turbin gas berada pada temperatur tinggi. Salah satu cara untuk memanfaatkan potensi (exergi) dari aliran gas bertemperatur tinggi ini, sehingga meningkatkan pemanfaatan bahan bakar secara keseluruhan, adalah dengan menggunakan regenerator yang memakai gas buangan dari turbin untuk memanaskan udara antara kompresor dan ruang bakar. Metode lain adalah dengan menggabungkan siklus turbin gas dan siklus tenaga uap.

Prinsip kerja dari siklus gabungan atau biasa disebut *combined cycle* ini dimulai dari pemampatan udara oleh kompresor. Selanjutnya udara bertekanan ini dimasukkan ke dalam ruang bakar (*combustor*). Proses pembakaran dapat terjadi dengan memasukkan bahan bakar sehingga dapat terbentuk gas pembakaran. Kemudian gas pembakaran tersebut digunakan untuk memutar turbin gas yang dikopel dengan generator dan kompresor, sehingga dihasilkan daya listrik. Gas sisa pembakaran yang keluar dari turbin gas atau disebut gas buang, selanjutnya dibuang ke atmosfer melalui cerobong atau dimanfaatkan ke dalam HRSG. Gas buang tersebut masih dapat dimanfaatkan karena masih mempunyai temperatur yang tinggi, sekitar 540°C dengan aliran (flow) yang besar. Gas buang ini digunakan untuk memanaskan air sehingga berubah menjadi uap air. Uap air ini kemudian akan menggerakkan turbin uap yang dikopel dengan generator.

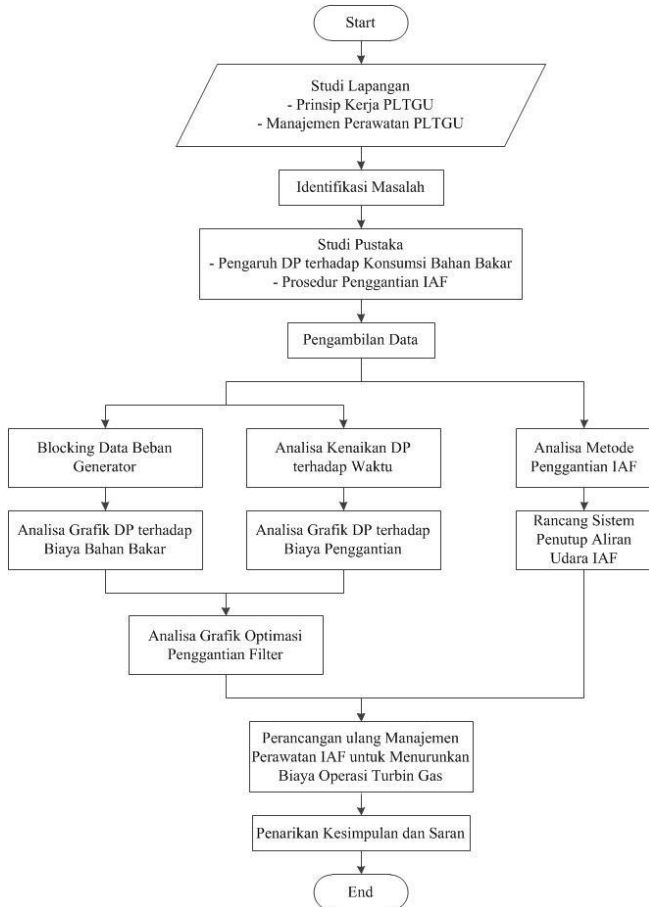


Gambar 2.9 Skema *Combine Cycle* PT.PJB UP Gresik

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian pada tugas akhir ini mengikuti diagram alir yang ditunjukkan oleh gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

3.2 Metodologi Tugas Akhir

Tugas akhir ini dimulai dengan menganalisa kondisi *intake air filter* di unit PLTGU PT. PJB UP Gresik. Kenaikan *differential pressure* pada filter membuat efisiensi dari PLTGU menurun dan konsumsi bahan bakar menjadi lebih boros. Hubungan antara *differential pressure* dengan konsumsi bahan bakar akan menjadi acuan untuk waktu penggantian *intake air filter*. Analisa ini kemudian digunakan untuk mencari solusi perawatan *intake air filter* sehingga biaya yang dikeluarkan menjadi lebih kecil.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Lapangan dan Studi Pustaka

Langkah awal dari penyusunan tugas akhir ini adalah studi lapangan di unit PLTGU PT. PJB UP Gresik. Studi lapangan dilakukan untuk menentukan permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini. Fenomena di lapangan akan dipelajari lebih dalam melalui studi pustaka. Dari studi lapangan diperoleh hasil dari *monitoring* pihak perusahaan yang digunakan untuk mengidentifikasi masalah kenaikan *differential pressure* pada IAF.

Studi pustaka dilakukan untuk mengkaji hal-hal yang dibahas dalam tugas akhir ini. Hal-hal yang dikaji terutama adalah *intake air filter* turbin gas dan pengaruh *differential pressure* terhadap konsumsi bahan bakar turbin gas. Studi pustaka dijadikan landasan dalam pengambilan keputusan *treatment* (perawatan/perbaikan) yang diberikan pada komponen yang dianalisa.

2. Identifikasi Masalah dan Penentuan Variabel

Variabel penyebab besarnya biaya operasional PLTGU sangat luas sehingga dibutuhkan penentuan variabel untuk membatasi dan menentukan data-data yang akan diambil dan dianalisa agar analisa menjadi lebih fokus. Variabel yang diambil pada saat inspeksi

adalah perubahan *differential pressure* selama periode waktu tertentu, nilai konsumsi bahan bakar, serta beban generator. Prosedur penggantian filter yang tepat juga perlu dianalisa lebih dalam karena dapat mempengaruhi kenaikan DP dan dapat menyebabkan kerusakan pada turbin jika terlalu banyak kotoran yang masuk. Dari data tersebut kemudian dilakukan analisa untuk mengetahui metode perawatan *intake air filter* yang paling baik sehingga dapat mengurangi biaya operasional PLTGU.

3. Pengambilan Data

Data yang diambil pada tugas akhir ini adalah data *condition monitoring* dari *Intake Air Filter* yang merupakan data perubahan *differential pressure* (mmH₂O). Besarnya *differential pressure* didapat dari alat ukur yang terpasang pada tiap unit filter. Data ini dihubungkan dengan konsumsi bahan bakar dan biaya penggantian filter. Jika keadaan IAF sudah tidak layak maka perlu dilakukan pembersihan atau penggantian.

Differential Pressure filter akan naik seiring dengan menumpuknya debu, kenaikan DP juga bervariasi tergantung beban dari PLTGU. Konsumsi bahan bakar dan biaya penggantian filter dipilih sebagai variabel yang mewakili biaya operasional PLTGU dan dianalisa hubungannya terkait dengan kenaikan DP. Dari grafik antara DP terhadap konsumsi bahan bakar dan biaya penggantian akan didapat titik optimal penggantian filter.

4. Analisa Data

Analisa data dilakukan untuk mengidentifikasi masalah dan solusi yang tepat pada *intake air filter*. Data nilai *differential pressure* diambil dari sebuah alat inspeksi yaitu manometer yang terpasang pada setiap unit sedangkan data konsumsi bahan bakar dan beban generator dimonitor melalui *control room*. Sebelum melakukan analisa grafik, perlu dilakukan *Blocking* data beban generator terlebih dahulu untuk menghilangkan

pengaruh beban terhadap konsumsi bahan bakar. Selanjutnya, dianalisa hubungan antara DP dengan biaya bahan bakar dan biaya penggantian filter. Dari kedua analisa ini dibuat grafik yang digunakan untuk mendapatkan titik optimal penggantian filter.

5. Analisa Metode Penggantian IAF

Metode penggantian IAF mempunyai peranan penting dalam perawatan turbin gas secara umum, karena apabila ada kesalahan dalam penggantian bisa berakibat pada kerusakan komponen turbin gas. Misalnya ketika penggantian dilakukan pada saat unit turbin gas sedang berjalan, maka kemungkinan ada debu yang akan masuk ke kompresor dan bisa mengakibatkan kerusakan. Oleh karena itu, perlu sebuah evaluasi metode penggantian salah satunya dengan menambahkan plat pada saat penggantian untuk menghindari kerusakan pada komponen turbin gas.

6. Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan dan saran adalah tahap menentukan titik optimal DP *intake air filter*, serta menentukan solusi yang tepat untuk metode penggantian IAF. Keputusan pemberian solusi didasari dari analisa data DP, konsumsi bahan bakar, serta beban PLTGU. Solusi yang dihasilkan berupa titik optimal penggantian filter dan prosedur penggantian filter yang baru.

3.3 Spesifikasi Teknis PLTGU Gresik

Kapasitas total Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Gresik dapat mencapai 1575 MW. PLTGU Gresik blok 1 dan blok 2 dapat menggunakan dua macam bahan bakar yaitu *HSD (High Speed Diesel Oil)* yang dipasok oleh PERTAMINA dan gas alam yang dipasok langsung dari lapangan gas milik HESS dan KODECO yang disalurkan melalui pipa bawah laut dari wilayah Madura utara. Gas menjadi bahan bakar utama untuk PLTGU sedangkan HSD digunakan sebagai bahan bakar

emergency apabila suplai gas tidak mencukupi. Untuk PLTGU Gresik blok 3 didesain hanya dapat menggunakan bahan bakar gas alam saja yang dipasok oleh pemasok yang sama dengan blok 1 dan blok 2. Spesifikasi umum PLTGU Gresik untuk setiap blok pembangkit adalah:

- | | | |
|--------------|---|------------|
| a. Turbin | : | 4 Unit |
| • Turbin gas | : | 3 Unit |
| • Turbin uap | : | 1 Unit |
| b. HRSG | : | 3 unit |
| c. Generator | : | 4 Unit |
| • Turbin gas | : | 3 x 112 MW |
| • Turbin uap | : | 1 x 189 MW |



Gambar 3.2 Area PLTGU Gresik

3.4 Peralatan

Pada tugas akhir ini objek utama yang dianalisa adalah unit *intake air filter (IAF)* yang berfungsi sebagai penyaring partikel udara yang akan masuk ke kompresor. Terdapat 9 unit IAF di PLTGU PT. PJB UP Gresik, setiap unit tersusun dari 6 modul dan setiap modul tersusun oleh 176 filter udara.



Gambar 3.3 Unit IAF PLTGU PT.PJB UP Gresik

Peralatan yang digunakan untuk mengukur nilai *differential pressure* adalah sebuah manometer yang terpasang pada setiap unit IAF. Manometer akan memonitor tingkat *differential pressure* secara aktual sehingga setiap saat dapat diketahui keadaannya. Alat ini digunakan untuk *condition monitoring* yang mendeteksi apakah tingkat *differential pressure* sudah terlalu tinggi.

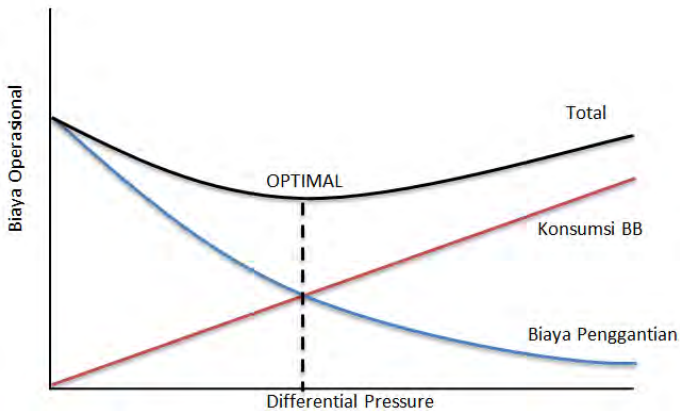


Gambar 3.4 Manometer di unit IAF

3.5 Metode Pengambilan Data

Nilai *differential pressure* dari unit IAF dapat dimonitor melalui manometer yang terpasang pada setiap unit. Selain manometer yang terpasang di setiap unit, juga terdapat indikator lain yang mengukur nilai DP dimana alat ini terdapat di *Control Room* PLTGU. Di ruang ini juga dimonitor nilai konsumsi bahan bakar dan beban Turbin Gas. Data lain yaitu histori penggantian filter didapat dari catatan *preventive maintenance* PLTGU.

3.6 Metode Optimasi



Gambar 3.5 Grafik optimasi penggantian IAF

Metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai optimal dari penggantian filter adalah dengan grafik seperti di atas grafik. Grafik di atas menunjukkan titik potong antara biaya bahan bakar dan biaya penggantian filter. Titik potong inilah yang menunjukkan nilai optimal dari penggantian filter. Langkah yang perlu dilakukan sebelum membuat grafik ini adalah menentukan data apa saja yang akan diambil. Setelah inspeksi dan mendapatkan data yang diperlukan, langkah berikutnya adalah membuat grafik kemudian menganalisisnya. Dari analisa grafik ini kemudian didapat titik optimal penggantian.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

OPTIMASI PENGGANTIAN *INTAKE AIR FILTER*

Pada bab 4 ini akan dibahas tentang pengumpulan dan analisa data pemeliharaan *Intake Air Filter*. Objek penelitian untuk tugas akhir ini adalah unit IAF PLTGU yang terdiri dari 6 modul filter per unit dengan jumlah filter setiap 1 modul adalah 176 buah. Data yang digunakan adalah data konsumsi bahan bakar gas, beban generator, *differential pressure* filter, dan data histori penggantian filter. Data tersebut kemudian dianalisa untuk mengetahui pengaruh DP terhadap konsumsi bahan bakar dan pengaruh penggantian filter terhadap biaya operasional turbin gas. Analisa ini berlaku untuk penggantian filter baru maupun penggantian filter bekas. Setelah itu baru bisa ditentukan titik optimal penggantian filter sehingga dapat menekan biaya operasional turbin gas.

4.1 Analisa Pengaruh DP Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Hasil *monitoring* proses operasi turbin gas selama kurun waktu januari 2013 sampai april 2014 yang ditampilkan dalam bentuk tabel menunjukkan beberapa data yang bervariasi setiap harinya. Data yang dimaksud pada tabel tersebut adalah data konsumsi bahan bakar dengan satuan mmBTU, data *Differential Pressure* dengan satuan mmH₂O, dan data beban generator dengan satuan kwh. Pemilihan tiga data tersebut dikarenakan keperluan untuk menganalisa biaya operasional turbin gas yang dipengaruhi oleh pola penggantian filter. Data-data ini telah melalui proses sortir sebelumnya dengan tujuan untuk mempermudah proses analisa dan untuk mendapatkan hasil analisa yang akurat. Data yang disortir adalah data yang memiliki nilai tidak normal, misalnya nilai 0 atau negatif. Nilai yang tidak normal ini terjadi karena unit turbin gas sedang tidak beroperasi atau *overhaul*.

Jumlah total unit turbin gas yang beroperasi ada 9 unit, akan tetapi tidak semua unit ini dianalisa. Unit yang dianalisa adalah unit 3.2. Hal ini dikarenakan unit 3.2 termasuk dalam blok 3 yang mana pada blok 3 ini bahan bakar yang dipakai hanya gas saja, berbeda dengan blok 1 dan 2 yang bisa memakai dua jenis bahan bakar yaitu gas dan minyak. Selain itu dibandingkan dengan unit 3.1 dan 3.3, unit 3.2 memiliki jumlah *shutdown* yang lebih sedikit sehingga perubahan konsumsi bahan bakar gas akan terpantau lebih baik. Berikut ini adalah contoh data *monitoring* untuk unit 3.2.

Tabel 4.1 Cuplikan Data *Monitoring* Unit 3.2 (8 Januari 2013 – 12 Februari 2013)

| Tanggal | Bahan Bakar Gas (mmBTU) | DP (mmH ₂ O) | Beban Generator (kwh) |
|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 08-01-2013 | 27749.9 | 38 | 1980212 |
| 09-01-2013 | 28675.8 | 45 | 2140226 |
| 10-01-2013 | 28378 | 45 | 2100253 |
| 11-01-2013 | 29176.4 | 45 | 2205184 |
| 12-01-2013 | 29139 | 52 | 2226355 |
| 13-01-2013 | 9968.8 | 52 | 757439.6 |
| 14-01-2013 | 30764.7 | 52 | 2430020 |
| 15-01-2013 | 30432.8 | 52 | 2328319 |
| 16-01-2013 | 25445.9 | 52 | 1820165 |
| 17-01-2013 | 26749.4 | 52 | 1945214 |
| 18-01-2013 | 27907.9 | 46 | 2085232 |

| | | | |
|------------|---------|----|----------|
| 19-01-2013 | 2975.9 | 46 | 200009.5 |
| 21-01-2013 | 15678.3 | 55 | 1170010 |
| 22-01-2013 | 23986.1 | 55 | 1730030 |
| 23-01-2013 | 27108.7 | 55 | 2100030 |
| 31-01-2013 | 3748.5 | 55 | 200010 |
| 01-02-2013 | 25662 | 55 | 1950020 |
| 07-02-2013 | 28677.1 | 52 | 2280010 |
| 08-02-2013 | 27942.2 | 52 | 2200039 |
| 09-02-2013 | 31394.7 | 52 | 2510140 |
| 10-02-2013 | 30681.2 | 52 | 2479374 |
| 11-02-2013 | 29031.7 | 52 | 2270020 |
| 12-02-2013 | 30264 | 52 | 2350030 |

Pada tabel 4.1 terlihat bahwa nilai konsumsi bahan bakar selalu berubah-ubah. Besar kecilnya perubahan nilai konsumsi bahan bakar ini dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu perubahan DP dan beban generator. Semakin besar DP dan beban generator maka

semakin besar pula konsumsi bahan bakarnya. Untuk penelitian ini hubungan yang diperlukan adalah pengaruh DP terhadap konsumsi bahan bakar. Oleh karena itu perlu dilakukan analisa dengan *multiple linear regression* untuk menghilangkan pengaruh beban generator sehingga bisa diketahui bagaimana pengaruh DP terhadap kenaikan konsumsi bahan bakar. Analisa linier ini mengacu pada jurnal “*Guidline For Gas Turbine Inlet Air Filtration Systems*”. Persamaan yang didapat dari analisa regresi ini berupa garis lurus yang menunjukkan bahwa kenaikan konsumsi bahan bakar gas berbanding lurus dengan kenaikan DP filter. Berikut ini adalah hasil dari *multiple linear regression* :

Tabel 4.2 *Multiple Linear Regression* untuk Konsumsi Bahan Bakar, DP, dan Beban Generator

SUMMARY OUTPUT

| Regression Statistics | |
|-----------------------|-------------|
| Multiple R | 0.396698078 |
| R Square | 0.157369365 |
| Adjusted R Square | 0.153459246 |
| Standard Error | 3080.203058 |
| Observations | 434 |

| ANOVA | | | | | |
|------------|-----|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | df | SS | MS | F | Significance F |
| Regression | 2 | 763693181.7 | 381846590.8 | 40.24669496 | 9.43683E-17 |
| Residual | 431 | 4089177530 | 9487650.881 | | |
| Total | 433 | 4852870711 | | | |

| | Coefficients | Standard Error | t Stat | P-value | Lower 95% | Upper 95% |
|--------------|--------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Intercept | 17057.75534 | 758.7562217 | 22.48120655 | 1.25016E-74 | 15566.43264 | 18549.07804 |
| X Variable 1 | 26.73785836 | 5.571792373 | 4.798789432 | 2.20414E-06 | 15.78659338 | 37.68912333 |
| X Variable 2 | 0.002588061 | 0.000296373 | 8.732452541 | 5.54464E-17 | 0.002005545 | 0.003170577 |

Dari analisa data dengan regresi diatas terlihat bahwa nilai P-Value untuk intercept, variabel 1, dan variabel 2 kurang dari 5%, artinya variabel-variabel tersebut signifikan terhadap nilai konsumsi bahan bakar.

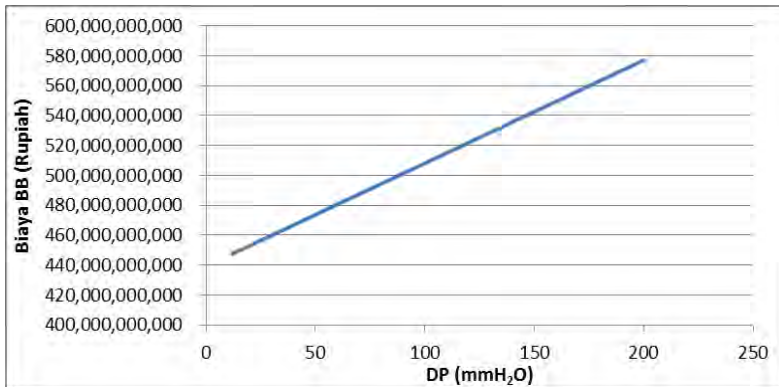
$$Y = 17057,7 + 26,7X$$

dimana : Y = Konsumsi bahan bakar (mmBTU)
 X = *Differential Pressure* (mmH₂O)

Untuk mempermudah dalam analisa yang selanjutnya, maka satuan untuk konsumsi bahan bakar diganti ke Rupiah, kemudian dicari konsumsi bahan bakar untuk satu tahun.

$$\text{Biaya Bahan Bakar} = Y \times 70557 \times 365$$

Rp 70.557 adalah harga gas per mmBTU dan 365 adalah jumlah hari dalam satu tahun. Untuk mengetahui gambaran pengaruh DP terhadap konsumsi bahan bakar baik untuk filter baru maupun filter bekas dapat dilihat pada grafik berikut ini:



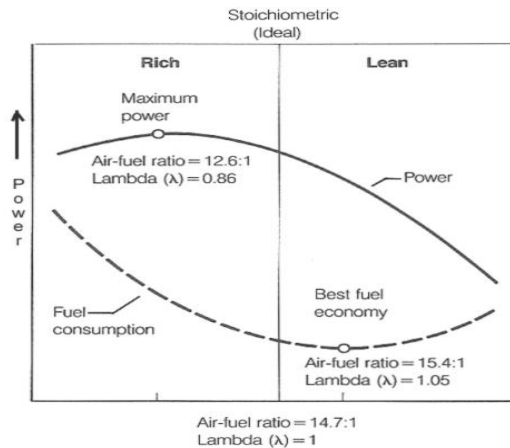
Gambar 4.1 Grafik biaya konsumsi bahan bakar vs DP filter

Grafik konsumsi bahan bakar dengan DP pada gambar 4.1 menunjukkan kenaikan biaya bahan bakar naik secara linear sesuai kenaikan DP filter. Kenaikan tersebut disebabkan oleh kenaikan *Differential Pressure* filter karena penumpukan debu yang menyebabkan *inlet pressure* (P_i) pada compressor semakin kecil bahkan vakum. Hal ini akan menyebabkan daya yang

dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor menjadi lebih besar. Berikut ini adalah persamaan yang menjelaskannya.

$$HP_c = \frac{J}{550} W_a c_p \frac{T_i}{\eta_c} \left[\left(\frac{P_o}{P_i} \right)^\sigma - 1 \right] = \frac{J}{550} W_a c_p (\Delta T)$$

Selain itu, kenaikan *Differential Pressure* pada filter akan menyebabkan laju aliran massa udara menjadi lebih kecil. Hal tersebut akan berimbas pada perbandingan udara dan bahan bakar (AFR) yang menjadi campuran kaya. Pada campuran kaya ini, daya yang dihasilkan akan lebih besar dari pada campuran stoikiometri, namun penambahan daya ini akan digunakan untuk mengantisipasi kenaikan daya yang dibutuhkan oleh kompresor. Jadi, semakin besar nilai *differential pressure* maka konsumsi bahan bakarnya pun akan lebih banyak.



Gambar 4.2 Grafik AFR vs Power Turbin Gas

Analisa yang selanjutnya diperlukan untuk mencari tahu biaya produksi listrik dari PLTGU. Besarnya biaya produksi ini dihitung berdasarkan konsumsi bahan bakar (Rupiah) yang dikonsumsi oleh turbin gas per kWh-nya, kemudian dikaitkan

dengan nilai *Differential Pressure*. Analisa lebih lanjut menggunakan metode regresi linier.

Tabel 4.3 Metode Regresi Linier untuk *Differential Pressure* dan Biaya Produksi Listrik

SUMMARY
OUTPUT

| <i>Regression Statistics</i> | |
|------------------------------|-------------|
| Multiple R | 0.222836553 |
| R Square | 0.049656129 |
| Adjusted R Square | 0.047456259 |
| Standard Error | 383.0062741 |
| Observations | 434 |

| ANOVA | | | | | |
|------------|-----------|-------------|-----------|----------|-----------------------|
| | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> |
| Regression | 1 | 3311216.748 | 3311217 | 22.5723 | 2.75935E-06 |
| Residual | 432 | 63371724.18 | 146693.8 | | |
| Total | 433 | 66682940.93 | | | |

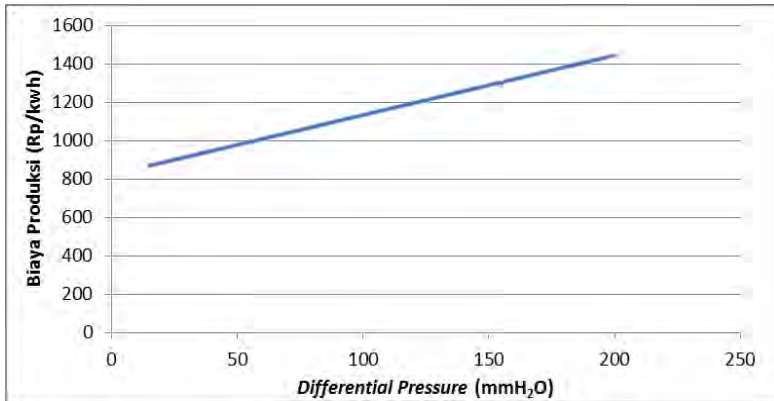
| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> |
|--------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|
| Intercept | 822.6631177 | 48.65953776 | 16.90651 | 1.4E-49 | 727.0242312 | 918.3020041 |
| X Variable 1 | 3.110958333 | 0.654796392 | 4.751032 | 2.76E-06 | 1.823975336 | 4.397941331 |

Persamaan linier yang didapatkan dari regresi diatas adalah sebagai berikut :

$$Y = 3,11X - 822,6$$

dimana : $Y = \text{Biaya Produksi (Rp/kwh)}$
 $X = \text{Differential Pressure (mmH}_2\text{O)}$

Persamaan diatas menunjukkan hubungan DP terhadap biaya produksi. Besarnya biaya produksi listrik yang dihasilkan ini berdasarkan daya yang dihasilkan turbin gas saja, jika daya dari turbin uap dimasukkan maka nilai biaya produksi akan turun. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik berikut ini.



Gambar 4.3 Grafik DP vs Biaya Produksi Listrik

4.2 Data Analisa Pengaruh DP Terhadap Biaya Penggantian Filter

Data yang diperlukan untuk menganalisa pengaruh DP terhadap biaya penggantian filter didapat dari histori penggantian filter yang telah dicatat oleh petugas *preventive maintenance* PLTGU. Data tersebut terdiri dari tanggal penggantian, nama unit yang diganti, jumlah filter yang diganti, DP sebelum dan sesudah penggantian, dan keterangan filter yang diganti filter baru atau filter bekas. Kemudian untuk mempermudah dalam menganalisa maka setiap penggantian diberi warna yang berbeda-beda sesuai dengan jenis dan jumlah filter yang diganti. Warna kuning untuk penggantian 1056 buah filter baru, warna hijau untuk penggantian 1056 buah filter bekas, warna coklat untuk penggantian 352 buah filter bekas, dan warna biru untuk penggantian 176 buah filter bekas.

Tabel 4.4 Histori Penggantian *Intake Air Filter*

| TANGGAL | GT | JUMLAH | DP sebelum (mmH ₂ O) | DP sesudah (mmH ₂ O) | Keterangan |
|-----------|-----|--------|------------------------------------|------------------------------------|------------|
| 24-Jan-12 | 1.1 | 352 | 185 | 110 | bekas |
| 14-Feb-12 | 1.1 | 1056 | 170 | 12 | baru |
| 17-Dec-12 | 1.1 | 352 | 120 | 65 | bekas |
| 16-May-13 | 1.1 | 1056 | 120 | 10 | baru |
| 8-Aug-12 | 1.2 | 1056 | 130 | 10 | baru |
| 13-Jan-14 | 1.2 | 1056 | 135 | 12 | baru |
| 31-Dec-11 | 1.3 | 1056 | 178 | 10 | baru |
| 17-Dec-12 | 1.3 | 352 | 120 | 65 | bekas |
| 25-Dec-12 | 1.3 | 1056 | 120 | 10 | baru |
| 28-Mar-13 | 2.1 | 1056 | 125 | 45 | bekas |
| 13-Dec-13 | 2.1 | 352 | 130 | 72 | bekas |
| 16-Feb-14 | 2.1 | 176 | 110 | 80 | bekas |
| 4-Apr-12 | 2.2 | 1056 | 185 | 10 | baru |
| 15-Feb-14 | 2.2 | 176 | 115 | 83 | bekas |
| 19-Aug-12 | 2.3 | 352 | 135 | 80 | bekas |
| 29-Sep-12 | 2.3 | 1056 | 120 | 10 | baru |
| 20-Feb-12 | 3.1 | 352 | 175 | 25 | bekas |
| 16-Jun-13 | 3.1 | 1056 | 125 | 50 | bekas |
| 14-Feb-14 | 3.1 | 352 | 155 | 60 | bekas |
| 23-Jan-14 | 3.2 | 1056 | 120 | 10 | baru |
| 3-Aug-12 | 3.3 | 1056 | 130 | 52 | bekas |
| 15-Feb-13 | 3.3 | 176 | 120 | 90 | bekas |

Data pada tabel diatas kemudian digunakan untuk mengetahui berapa lama waktu antar penggantian apabila filter diganti pada DP tertentu. Kemudian dari interval waktu antar penggantian ini dicari berapa kali penggantian dalam kurun waktu 1 tahun (365 hari). Biaya penggantian filter sendiri dapat diketahui dari berapa kali filter diganti dikalikan dengan biaya pemasangan filter dan harga filter untuk filter baru atau biaya pembersihan untuk filter bekas.

4.3 Analisa Pengaruh DP Terhadap Interval Waktu Penggantian

Langkah pertama yang dilakukan adalah mengelompokkan data penggantian filter yang baru dengan jumlah penggantian 1 unit atau 1056 buah filter. Dari tabel 4.3 terlihat bahwa penggantian filter baru yang berjumlah 1056 buah terjadi pada unit 1.1 , 1.2 , 1.3 , 2.2 , 2.3 , dan 3.2 . Akan tetapi, tidak semua data dapat dipakai karena yang dipakai adalah data penggantian dimana dalam 1 unit IAF terdapat 2 atau lebih penggantian filter baru sehingga bisa didapatkan jarak waktu antara 1 penggantian ke penggantian yang lain. Selain itu, data yang berjumlah 2 atau lebih dalam 1 unit ini bertujuan untuk menentukan nilai DP awal ketika baru diganti dan nilai DP akhir ketika akan diganti. Berdasarkan hal ini maka hanya ada 3 data penggantian saja yang dapat dipakai yaitu pada unit 1.1 , 1.2 , dan 1.3.

Tabel 4.5 Data untuk Analisa Penggantian Filter Baru

| NO | TANGGAL | GT | JUMLAH | DP sebelum (mmH ₂ O) | DP sesudah (mmH ₂ O) | Interval waktu (hari) |
|----|-----------|-----|--------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 1 | 14-Feb-12 | 1.1 | 1056 | 170 | 12 | 457 |
| | 16-May-13 | 1.1 | 1056 | 120 | 10 | |
| 2 | 8-Aug-12 | 1.2 | 1056 | 130 | 10 | 523 |
| | 13-Jan-14 | 1.2 | 1056 | 135 | 12 | |
| 3 | 31-Dec-11 | 1.3 | 1056 | 178 | 10 | 360 |
| | 25-Dec-12 | 1.3 | 1056 | 120 | 10 | |

Pada unit 1.1 penggantian 1056 buah filter baru terjadi pada tanggal 14 Februari 2012 dan 16 Mei 2013 dengan interval waktu antara keduanya adalah 457 hari serta DP awal 12 mmH₂O dan DP akhir 120 mmH₂O . Pada unit 1.2 penggantian 1056 buah filter baru terjadi pada tanggal 8 Agustus 2012 dan 13 Januari 2014 dengan interval waktu antara keduanya adalah 523 hari serta DP awal 10 mmH₂O dan DP akhir 135 mmH₂O. Dan pada unit 1.3 penggantian 1056 buah filter baru terjadi pada tanggal 31 Desember 2011 dan 25 Desember 2012 dengan interval waktu antara keduanya adalah 360 hari serta DP awal 10 mmH₂O dan DP akhir 120 mmH₂O.

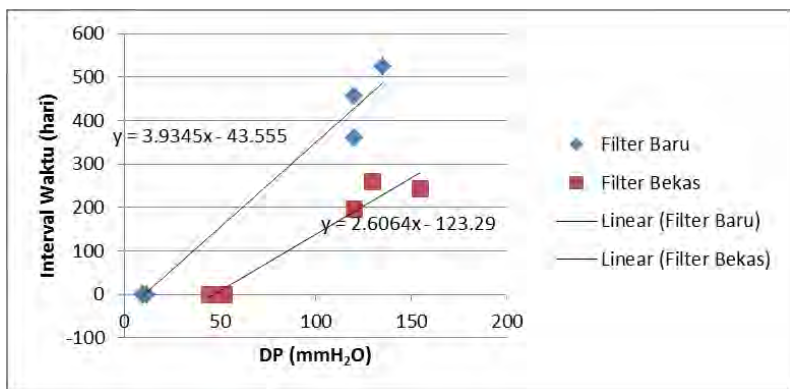
Langkah yang sama dilakukan untuk data penggantian filter bekas yaitu mengelompokkan penggantian filter bekas dengan jumlah penggantian 1 unit atau 1056 buah filter. Dari tabel 4.3 terlihat bahwa penggantian filter bekas yang berjumlah 1056 buah terjadi pada unit 2.1 , 3.1 dan 3.3 . Oleh karena keterbatasan data dimana data untuk penggantian filter bekas berjumlah 1056 buah ini hanya terdapat 1 data dalam 1 unit maka untuk menentukan lama waktu antar penggantian bisa dibandingkan dengan data penggantian filter bekas dengan jumlah yang berbeda akan tetapi tetap dalam 1 unit. Berdasarkan hal ini maka ketiga data ini dapat dipakai yaitu pada unit 2.1 , 3.1 dan 3.3.

Tabel 4.6 Data untuk Analisa Penggantian Filter Bekas

| NO | TANGGAL | GT | JUMLAH | DP sebelum (mmH ₂ O) | DP sesudah (mmH ₂ O) | Interval waktu (hari) |
|----|-----------|-----|--------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 1 | 28-Mar-13 | 2.1 | 1056 | 125 | 45 | 260 |
| | 13-Dec-13 | 2.1 | 352 | 130 | 72 | |
| 2 | 16-Jun-13 | 3.1 | 1056 | 125 | 50 | 243 |
| | 14-Feb-14 | 3.1 | 352 | 155 | 60 | |
| 3 | 3-Aug-12 | 3.3 | 1056 | 130 | 52 | 196 |
| | 15-Feb-13 | 3.3 | 176 | 120 | 90 | |

Pada unit 2.1 penggantian 1056 buah filter bekas terjadi pada tanggal 28 Maret 2013 dan penggantian 352 buah filter bekas terjadi pada tanggal 13 Desember 2013 dengan interval waktu antara kedua penggantian tersebut adalah 260 hari serta DP awal 45 mmH₂O dan DP akhir 130 mmH₂O . Pada unit 3.1 penggantian 1056 buah filter bekas terjadi pada tanggal 16 Juni 2013 dan penggantian 352 filter bekas terjadi pada tanggal 14 Februari 2014 dengan interval waktu antara kedua penggantian tersebut adalah 243 hari serta DP awal 50 mmH₂O dan DP akhir 155 mmH₂O. Dan yang terakhir pada unit 3.3 penggantian 1056 buah filter bekas terjadi pada tanggal 3 Agustus 2012 dan penggantian 176 filter bekas terjadi pada tanggal 15 Februari 2013 dengan interval waktu antara kedua penggantian tersebut adalah 196 hari serta DP awal 52 mmH₂O dan DP akhir 120 mmH₂O.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, untuk setiap jenis penggantian (baru atau bekas) terdapat tiga data penggantian yang akan dipakai. Selanjutnya data ini akan dimuat dalam bentuk grafik untuk mempermudah membandingkan antara penggantian filter baru dan bekas serta untuk mendapatkan persamaan liniernya. Persamaan yang didapat akan digunakan untuk mengetahui interval waktu filter untuk mencapai DP tertentu.



Gambar 4.4 Grafik DP vs interval waktu

Dari gambar 4.4 secara umum terlihat bahwa penggantian filter pada DP yang semakin tinggi menyebabkan interval waktu untuk mencapai DP tersebut semakin lama. Akan tetapi jika dibandingkan kedua jenis filter ini memiliki perbedaan. Pada penggantian filter baru *trendline* yang terbentuk lebih tegak dan lebih panjang jika dibandingkan dengan *trendline* pada penggantian filter bekas. Hal ini menunjukkan bahwa filter baru memiliki interval waktu penggantian yang lebih lama dan rentang DP yang lebih lebar jika dibandingkan dengan filter bekas.

4.4 Analisa Pengaruh DP Terhadap Biaya Penggantian Filter

Persamaan linier yang didapatkan dari gambar 4.2 adalah sebagai berikut :

$$Y = 3,9345X - 43,555; \text{ untuk penggantian filter baru}$$

$$Y = 2,6064X - 123,29; \text{ untuk penggantian filter bekas}$$

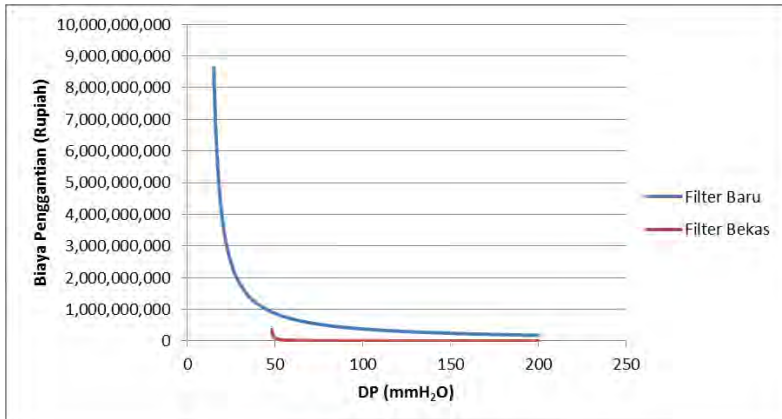
dimana : $Y = \text{Interval waktu (hari)}$
 $X = \text{titik penggantian (DP mmH}_2\text{O)}$

Persamaan tersebut digunakan untuk mencari nilai interval waktu penggantian masing-masing jenis filter. Kemudian dicari jumlah penggantian filter untuk satu tahun. Biaya penggantian didapatkan dari jumlah penggantian, biaya pemasangan, dan biaya filter baru atau pembersihan filter.

$$\text{Biaya Penggantian Filter Baru} = \frac{365 \times 1056 \times (852,27 + 345.400)}{Y}$$

$$\text{Biaya Penggantian Filter Bekas} = \frac{365 \times 1056 \times (852,27 + 852,27)}{Y}$$

Rp 852,27 adalah biaya pemasangan per satu buah filter, Rp 345.400 untuk harga filter baru dan Rp 852,27 untuk biaya pembersihan filter bekas. Analisa lebih lanjut akan dilakukan dengan menggunakan grafik berikut.



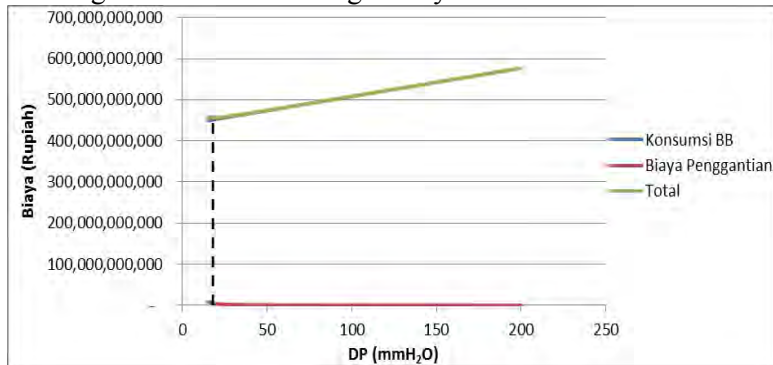
Gambar 4.5 Grafik DP vs biaya penggantian

Grafik antara penggantian filter pada DP tertentu dengan biaya penggantian filter seperti gambar 4.5 secara umum menunjukkan biaya penggantian baik untuk filter baru maupun bekas akan tinggi pada DP rendah karena lebih sering diganti dan akan turun pada DP yang lebih tinggi. Akan tetapi jika dibandingkan antara penggantian filter baru dan bekas terdapat perbedaan jumlah biaya yang mencolok dimana untuk penggantian filter baru mencapai nilai milyaran rupiah sedangkan penggantian filter bekas nilainya hanya puluhan juta rupiah saja. Hal ini disebabkan karena harga untuk filter baru lebih mahal jika dibandingkan dengan penggunaan filter bekas yang hanya memerlukan biaya pembersihan saja. Perbedaan ini nantinya akan berpengaruh terhadap optimasi penggantian filter karena terkait dengan biaya operasional total turbin gas.

4.5 Optimasi Penggantian Filter

Dari kedua analisa sebelumnya yaitu analisa tentang pengaruh DP terhadap konsumsi bahan bakar dan analisa DP terhadap biaya penggantian filter akan dibuat sebuah grafik baru yang terdiri dari kedua analisa tersebut. Grafik ini akan memperlihatkan jumlah biaya total operasional turbin gas yang

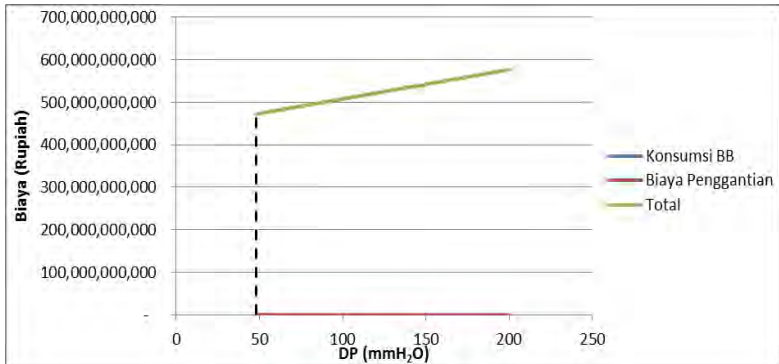
digunakan sebagai acuan dalam mengoptimisasi penggantian filter. Pengoptimalisasian ini diharapkan mampu memberikan solusi penghematan untuk biaya oprasional turbin gas. Berikut ini adalah grafik anatara DP dengan biaya:



Gambar 4.6 Grafik DP vs biaya untuk penggantian filter baru

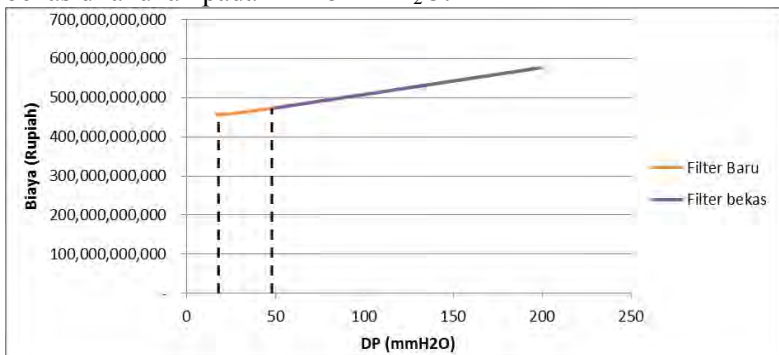
Grafik pengaruh DP terhadap biaya operasional turbin gas seperti gambar diatas menunjukkan bahwa untuk biaya konsumsi bahan bakar akan naik seiring kenaikan DP sedangkan untuk biaya penggantian filter justru kebalikannya, nilainya akan turun seiring kenaikan DP. Total biaya dari kedua garis tersebut akan membentuk garis baru yang menunjukkan biaya operasional turbin gas. Dari perhitungan didapatkan biaya total paling rendah akan terjadi pada DP 18 mmH₂O dengan jumlah biaya operasional Rp 456.582.885.287,-. Jadi biaya operasional turbin gas yang paling rendah akan terjadi jika penggantian filter baru dilakukan pada DP 18 mmH₂O.

Sama seperti optimasi penggantian filter baru, pada optimasi penggantian untuk filter bekas ini merupakan gabungan antara kedua analisa yang telah dilakukan sebelumnya yaitu analisa tentang pengaruh DP terhadap konsumsi bahan bakar dan analisa DP terhadap biaya penggantian filter bekas. Sebuah grafik baru yang terdiri dari kedua analisa tersebut akan dibuat dan digunakan sebagai acuan dalam mengoptimisasi penggantian filter bekas. Berikut ini adalah grafik anatara DP dengan biaya:



Gambar 4.7 Grafik DP vs biaya untuk penggantian filter bekas

Grafik diatas menunjukkan bahwa untuk biaya konsumsi bahan bakar akan naik seiring kenaikan DP sedangkan untuk biaya penggantian filter justru kebalikannya, nilainya akan turun seiring kenaikan DP. Total biaya tersebut menunjukkan biaya operasional turbin gas. Dari perhitungan didapatkan biaya total paling rendah akan terjadi pada DP 48 mmH₂O dengan jumlah biaya operasional Rp 472.707.354.558,- . Jadi biaya operasional turbin gas yang paling rendah akan terjadi jika penggantian filter bekas dilakukan pada DP 48 mmH₂O.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan biaya operasional untuk penggantian filter baru dan bekas

Grafik 4.8 menunjukkan bahwa titik optimal penggantian filter baru terdapat pada DP yang lebih rendah jika dibandingkan dengan penggantian filter bekas. Hal ini disebabkan karena pada penggantian filter baru nilai DP minimalnya lebih kecil daripada filter bekas sehingga titik optimalnya terletak pada DP yang lebih rendah dari titik penggantian filter bekas. Akan tetapi titik penggantian pada filter baru tidak tepat pada titik yang paling rendah karena biaya penggantian filter baru yang masih berpengaruh terhadap biaya total. Beda halnya dengan penggantian filter bekas, biaya penggantian yang terlalu kecil menyebabkan biaya konsumsi bahan bakar yang sepenuhnya mempengaruhi biaya total sehingga titik optimal penggantian terletak pada DP minimal.

4.6 Perbandingan Biaya Operasional Sekarang dengan Biaya Operasional Optimal

Tabel 4.7 Perbandingan Biaya Operasional Sekarang dan Optimal

| | Filter Baru | | Filter Bekas | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Sekarang | Optimal | Sekarang | Optimal |
| Titik Penggantian (mmH ₂ O) | 120 | 18 | 120 | 48 |
| Biaya Bahan Bakar (Rupiah) | 521.924.162.415 | 451.688.163.841 | 521.924.162.415 | 472.345.810.481 |
| Biaya Penggantian (Rupiah) | 311.395.581 | 4.894.721.446 | 3.467.410 | 361.544.077 |
| Biaya Operasional (Rupiah) | 522.235.557.996 | 456.582.885.287 | 521.927.629.825 | 472.707.354.558 |
| Selisih Biaya Operasional (Rupiah) | 65.652.672.709 | | 49.220.275.267 | |

Berdasarkan pengolahan data yang sudah dilakukan, besarnya biaya operasional turbin gas dengan sistem penggantian yang sekarang ada adalah Rp 522.235.557.996,- untuk filter baru dan Rp 521.927.629.825,- untuk filter bekas. Nilai ini adalah hasil dari penggantian filter pada DP 120 mmH₂O yang saat ini diterapkan oleh pihak perusahaan. Apabila dibandingkan dengan hasil optimasi tentu nilai biaya operasional yang sekarang ada lebih besar. Hasil optimasi menunjukkan bahwa titik penggantian berada pada DP yang relatif rendah karena biaya penggantian filter yang terlalu kecil jika dibandingkan dengan biaya bahan bakar sehingga mengakibatkan biaya operasional minimum terdapat pada DP rendah dimana nilai biaya bahan bakarnya rendah. Selisih biaya antara keduanya adalah Rp 65.652.672.709,- untuk penggantian filter baru dan Rp 49.220.275.267,- untuk penggantian filter bekas. Besarnya selisih antara penggantian yang sekarang dengan penggantian hasil optimasi tentu bisa dijadikan sebuah pertimbangan guna menurunkan biaya operasional turbin gas.

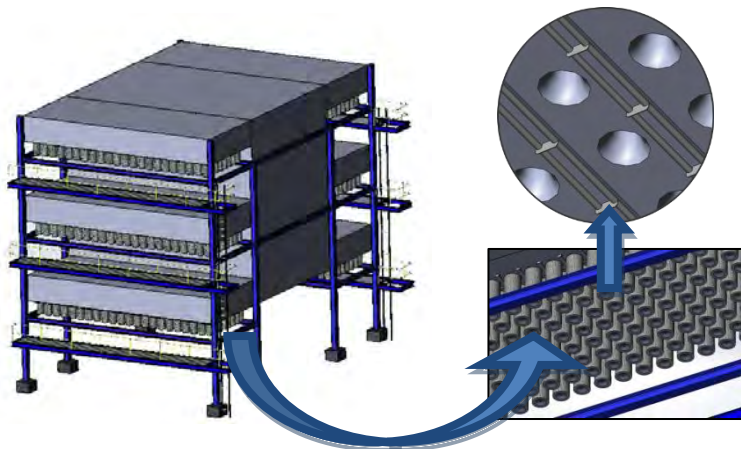
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

ANALISA METODE PENGANTIAN *INTAKE AIR FILTER*

5.1 Identifikasi Metode Penggantian Filter Yang Ada

Prosedur penggantian yang selama ini dilakukan memang memungkinkan untuk debu masuk ke kompresor karena penggantian dilakukan per baris filter yang terdiri dari 8 buah filter per barisnya. Jadi dalam satu modul akan ada 22 baris filter. 8 buah filter ini dilepas dari tempatnya sehingga lubang pada modul terbuka dan menyebabkan debu secara langsung dapat masuk ke kompresor. Debu yang masuk akan semakin banyak jika jumlah filter yang diganti semakin banyak. Satu unit IAF terdiri dari 6 modul yang terdiri dari 176 buah filter per modulnya. Maka akan terbayang berapa banyak debu yang akan masuk.

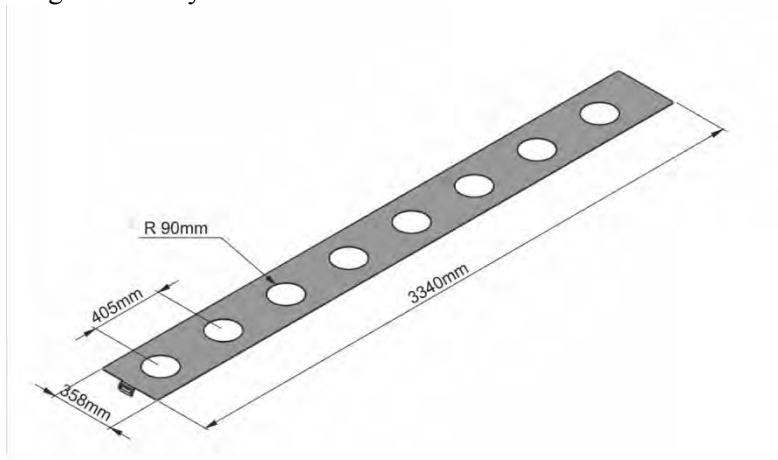


Gambar 5.1 Lubang pada modul filter

5.2 Metode Penggantian *Intake Air Filter* yang baru

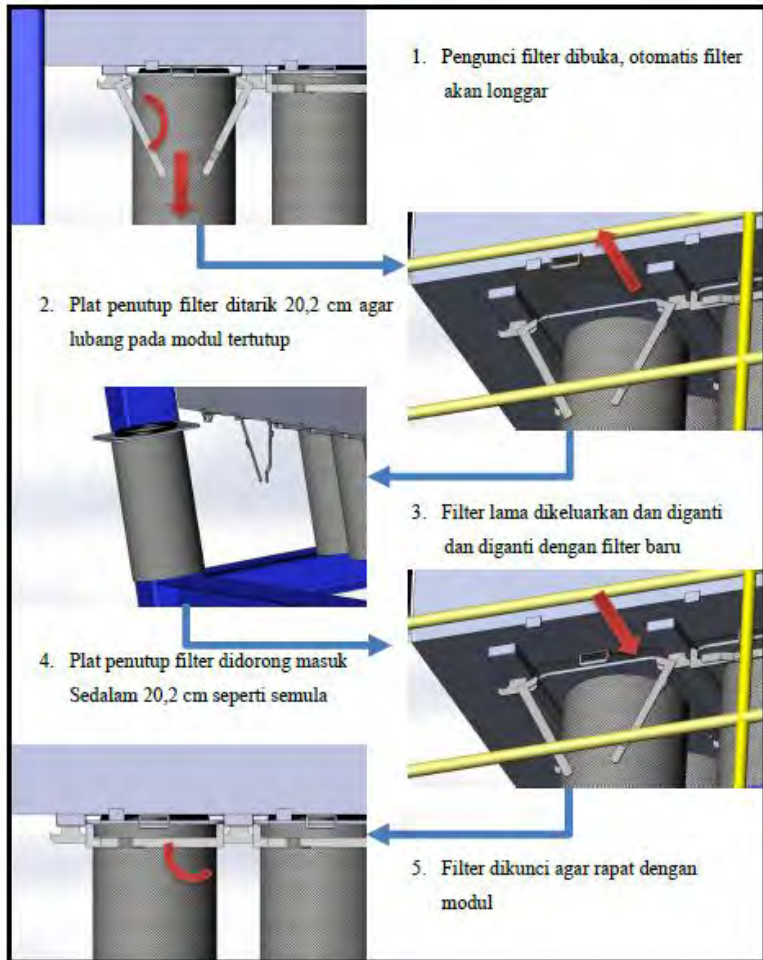
Metode penggantian filter yang baru harus memenuhi syarat untuk bisa menutup kemungkinan masuknya debu ke kompresor. Metode ini juga mencakup modifikasi pada unit *Intake Air Filter*. Konsep penggantian yang baru ini adalah menutup satu baris filter (8 buah filter) dengan sebuah plat berlubang dimana plat ini akan terjepit diantara filter dan modul filter. Plat ini memiliki rel sendiri yang letaknya diatas rel filter sehingga plat bisa ditarik dan didorong sejauh 20.2 cm sesuai kebutuhan. Ketebalan untuk plat ini adalah 1 mm dan terbuat dari *Stainless Steel*.

Ketika akan dilakukan penggantian, filter yang akan diganti terlebih dahulu dibuka kuncinya sehingga filter akan meregang dari modulnya. Kemudian plat yang berlubang tadi di tarik sehingga lubang pada modul filter akan tertutup plat sehingga debu tidak bisa masuk. Filter yang sudah meregang tadi diambil dan diganti dengan filter baru satu per satu, selanjutnya plat didorong kembali ke posisi semula sehingga lubang modul kembali terbuka dan terakhir filter yang baru dikunci agar rapat dengan modulnya.



Gambar 5.2 Plat penutup modul filter

Dibawah ini adalah gambar urutan penggantian filter :



Gambar 5.3 Langkah penggantian filter

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari pembahasan dan analisa data yang telah dilakukan tentang pemeliharaan *Intake Air Filter*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Konsumsi bahan bakar naik secara linear sesuai kenaikan DP filter. Hal ini disebabkan disebabkan karena kenaikan DP merupakan kerugian aliran yang harus diatasi dengan melakukan kerja tambahan pada kompresor.
2. Titik optimal penggantian filter berdasarkan analisa terdapat pada DP 18 mmH₂O dengan biaya operasional total Rp 456.582.885.287,- pertahun untuk penggantian filter baru dan DP 48 mmH₂O dengan biaya operasional total Rp 472.707.354.558,- pertahun untuk penggantian filter bekas. Jumlah penghematan biaya operasional jika dibandingkan dengan keadaan sekarang dimana titik penggantian pada DP 120 mmH₂O adalah Rp 65.652.672.709,- untuk filter baru dan Rp 49.220.275.267,- untuk filter bekas. Namun penggantian filter hasil optimasi ini menjadi tidak praktis karena filter menjadi sering sekali diganti, hal tersebut disebabkan oleh biaya bahan bakar yang terlalu tinggi jika dibandingkan dengan biaya penggantian filter.
3. Prosedur penggantian filter yang baru adalah dengan menambahkan plat *Stainless Steel* berlubang dengan tebal 1 mm diantara modul dengan filter. Penambahan ini juga meliputi penambahan rel baru untuk penyangga plat penutup. Plat ini bisa digerakkan 20.2 cm untuk membuka dan menutup lubang pada modul. Tujuan dari metode penggantian yang baru ini adalah untuk menghindari masuknya udara kotor ketika filter diganti dalam keadaan turbin gas beroperasi.

6.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran agar penelitian selanjutnya yang sejenis dapat menghasilkan hasil yang lebih baik, yaitu:

1. Pihak perusahaan perlu memperhatikan pencatatan data pemeliharaan *Intake Air Filter* mengingat sedikitnya jumlah data yang bisa digunakan pada tugas akhir ini. Data yang paling penting diperhatikan adalah data histori penggantian filter. Data ini meliputi tanggal penggantian, jumlah filter yang diganti, dan modul mana yang diganti.
2. Penggunaan *Self Cleaning System* perlu dikaji lebih dalam terkait dengan kenaikan *Differential Pressure* filter. Penggunaan sistem ini diharapkan mampu memperlambat waktu kenaikan DP dan memperpanjang umur filter.
3. Untuk memperlambat kenaikan *Differential Pressure* sekaligus untuk memperpanjang umur filter jumlah kompartemen filter perlu ditambah. Jumlah penambahan tersebut disesuaikan dengan kebutuhan pihak perusahaan dalam rangka menurunkan biaya operasional turbin gas. Penambahan kompartemen filter ini bisa diposisikan diatas unit maupun disamping unit yang sudah ada.
4. Pihak perusahaan perlu mempertimbangkan jenis maupun ukuran filter yang sudah ada. Apabila jenis filter tetap dipertahankan, maka ukuran filter bisa diperpanjang sesuai dengan dimensi yang memungkinkan filter tersebut terpasang. Diharapkan dari penggantian ukuran filter ini kenaikan *Differential Pressure* akan lebih lambat.

Data lanjutan

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 66 | 18822.45 | 1,328,055,886 | 484,740,398,464 | 216.12 | 1.69 | 617,519,156 | 485,357,917,620 | 1,028 |
| 67 | 18849.19 | 1,329,942,429 | 485,428,986,686 | 220.06 | 1.66 | 606,478,222 | 486,035,464,908 | 1,031 |
| 68 | 18875.93 | 1,331,828,972 | 486,117,574,907 | 223.99 | 1.63 | 595,825,167 | 486,713,400,074 | 1,034 |
| 69 | 18902.67 | 1,333,715,515 | 486,806,163,128 | 227.93 | 1.60 | 585,539,902 | 487,391,703,030 | 1,037 |
| 70 | 18929.41 | 1,335,602,058 | 487,494,751,350 | 231.86 | 1.57 | 575,603,705 | 488,070,355,054 | 1,040 |
| 71 | 18956.14 | 1,337,488,602 | 488,183,339,571 | 235.79 | 1.55 | 565,999,101 | 488,749,338,672 | 1,044 |
| 72 | 18982.88 | 1,339,375,145 | 488,871,927,792 | 239.73 | 1.52 | 556,709,764 | 489,428,637,556 | 1,047 |
| 73 | 19009.62 | 1,341,261,688 | 489,560,516,013 | 243.66 | 1.50 | 547,720,422 | 490,108,236,435 | 1,050 |
| 74 | 19036.36 | 1,343,148,231 | 490,249,104,235 | 247.60 | 1.47 | 539,016,773 | 490,788,121,008 | 1,053 |
| 75 | 19063.09 | 1,345,034,774 | 490,937,692,456 | 251.53 | 1.45 | 530,585,411 | 491,468,277,867 | 1,056 |
| 76 | 19089.83 | 1,346,921,317 | 491,626,280,677 | 255.47 | 1.43 | 522,413,756 | 492,148,694,433 | 1,059 |
| 77 | 19116.57 | 1,348,807,860 | 492,314,868,899 | 259.40 | 1.41 | 514,489,989 | 492,829,358,888 | 1,062 |
| 78 | 19143.31 | 1,350,694,403 | 493,003,457,120 | 263.34 | 1.39 | 506,803,001 | 493,510,260,121 | 1,065 |
| 79 | 19170.05 | 1,352,580,946 | 493,692,045,341 | 267.27 | 1.37 | 499,342,333 | 494,191,387,674 | 1,068 |
| 80 | 19196.78 | 1,354,467,489 | 494,380,633,563 | 271.21 | 1.35 | 492,098,136 | 494,872,731,699 | 1,072 |
| 81 | 19223.52 | 1,356,354,032 | 495,069,221,784 | 275.14 | 1.33 | 485,061,123 | 495,554,282,907 | 1,075 |
| 82 | 19250.26 | 1,358,240,575 | 495,757,810,005 | 279.07 | 1.31 | 478,222,532 | 496,236,032,538 | 1,078 |
| 83 | 19277.00 | 1,360,127,118 | 496,446,398,227 | 283.01 | 1.29 | 471,574,087 | 496,917,972,313 | 1,081 |
| 84 | 19303.74 | 1,362,013,662 | 497,134,986,448 | 286.94 | 1.27 | 465,107,966 | 497,600,094,413 | 1,084 |
| 85 | 19330.47 | 1,363,900,205 | 497,823,574,669 | 290.88 | 1.25 | 458,816,770 | 498,282,391,439 | 1,087 |
| 86 | 19357.21 | 1,365,786,748 | 498,512,162,891 | 294.81 | 1.24 | 452,693,496 | 498,964,856,387 | 1,090 |
| 87 | 19383.95 | 1,367,673,291 | 499,200,751,112 | 298.75 | 1.22 | 446,731,510 | 499,647,482,622 | 1,093 |
| 88 | 19410.69 | 1,369,559,834 | 499,889,339,333 | 302.68 | 1.21 | 440,924,521 | 500,330,263,854 | 1,096 |
| 89 | 19437.42 | 1,371,446,377 | 500,577,927,555 | 306.62 | 1.19 | 435,266,563 | 501,013,194,118 | 1,100 |
| 90 | 19464.16 | 1,373,332,920 | 501,266,515,776 | 310.55 | 1.18 | 429,751,972 | 501,696,267,748 | 1,103 |
| 91 | 19490.90 | 1,375,219,463 | 501,955,103,997 | 314.48 | 1.16 | 424,375,367 | 502,379,479,364 | 1,106 |
| 92 | 19517.64 | 1,377,106,006 | 502,643,692,218 | 318.42 | 1.15 | 419,131,631 | 503,062,823,850 | 1,109 |
| 93 | 19544.38 | 1,378,992,549 | 503,332,280,440 | 322.35 | 1.13 | 414,015,902 | 503,746,296,341 | 1,112 |

Data lanjutan

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|-----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 94 | 19571.11 | 1,380,879,092 | 504,020,868,661 | 326.29 | 1.12 | 409,023,547 | 504,429,892,208 | 1,115 |
| 95 | 19597.85 | 1,382,765,635 | 504,709,456,882 | 330.22 | 1.11 | 404,150,156 | 505,113,607,039 | 1,118 |
| 96 | 19624.59 | 1,384,652,178 | 505,398,045,104 | 334.16 | 1.09 | 399,391,528 | 505,797,436,632 | 1,121 |
| 97 | 19651.33 | 1,386,538,721 | 506,086,633,325 | 338.09 | 1.08 | 394,743,657 | 506,481,376,982 | 1,124 |
| 98 | 19678.07 | 1,388,425,265 | 506,775,221,546 | 342.03 | 1.07 | 390,202,718 | 507,165,424,265 | 1,128 |
| 99 | 19704.80 | 1,390,311,808 | 507,463,809,768 | 345.96 | 1.06 | 385,765,066 | 507,849,574,833 | 1,131 |
| 100 | 19731.54 | 1,392,198,351 | 508,152,397,989 | 349.90 | 1.04 | 381,427,214 | 508,533,825,203 | 1,134 |
| 101 | 19758.28 | 1,394,084,894 | 508,840,986,210 | 353.83 | 1.03 | 377,185,834 | 509,218,172,044 | 1,137 |
| 102 | 19785.02 | 1,395,971,437 | 509,529,574,432 | 357.76 | 1.02 | 373,037,743 | 509,902,612,174 | 1,140 |
| 103 | 19811.75 | 1,397,857,980 | 510,218,162,653 | 361.70 | 1.01 | 368,979,896 | 510,587,142,549 | 1,143 |
| 104 | 19838.49 | 1,399,744,523 | 510,906,750,874 | 365.63 | 1.00 | 365,009,381 | 511,271,760,255 | 1,146 |
| 105 | 19865.23 | 1,401,631,066 | 511,595,339,096 | 369.57 | 0.99 | 361,123,408 | 511,956,462,503 | 1,149 |
| 106 | 19891.97 | 1,403,517,609 | 512,283,927,317 | 373.50 | 0.98 | 357,319,305 | 512,641,246,622 | 1,152 |
| 107 | 19918.71 | 1,405,404,152 | 512,972,515,538 | 377.44 | 0.97 | 353,594,512 | 513,326,110,050 | 1,156 |
| 108 | 19945.44 | 1,407,290,695 | 513,661,103,760 | 381.37 | 0.96 | 349,946,574 | 514,011,050,334 | 1,159 |
| 109 | 19972.18 | 1,409,177,238 | 514,349,691,981 | 385.31 | 0.95 | 346,373,138 | 514,696,065,118 | 1,162 |
| 110 | 19998.92 | 1,411,063,781 | 515,038,280,202 | 389.24 | 0.94 | 342,871,943 | 515,381,152,145 | 1,165 |
| 111 | 20025.66 | 1,412,950,324 | 515,726,868,424 | 393.17 | 0.93 | 339,440,821 | 516,066,309,244 | 1,168 |
| 112 | 20052.40 | 1,414,836,868 | 516,415,456,645 | 397.11 | 0.92 | 336,077,689 | 516,751,534,334 | 1,171 |
| 113 | 20079.13 | 1,416,723,411 | 517,104,044,866 | 401.04 | 0.91 | 332,780,546 | 517,436,825,412 | 1,174 |
| 114 | 20105.87 | 1,418,609,954 | 517,792,633,087 | 404.98 | 0.90 | 329,547,469 | 518,122,180,557 | 1,177 |
| 115 | 20132.61 | 1,420,496,497 | 518,481,221,309 | 408.91 | 0.89 | 326,376,609 | 518,807,597,917 | 1,180 |
| 116 | 20159.35 | 1,422,383,040 | 519,169,809,530 | 412.85 | 0.88 | 323,266,186 | 519,493,075,716 | 1,184 |
| 117 | 20186.08 | 1,424,269,583 | 519,858,397,751 | 416.78 | 0.88 | 320,214,489 | 520,178,612,240 | 1,187 |
| 118 | 20212.82 | 1,426,156,126 | 520,546,985,973 | 420.72 | 0.87 | 317,219,870 | 520,864,205,843 | 1,190 |
| 119 | 20239.56 | 1,428,042,669 | 521,235,574,194 | 424.65 | 0.86 | 314,280,744 | 521,549,854,938 | 1,193 |
| 120 | 20266.30 | 1,429,929,212 | 521,924,162,415 | 428.59 | 0.85 | 311,395,581 | 522,235,557,996 | 1,196 |
| 121 | 20293.04 | 1,431,815,755 | 522,612,750,637 | 432.52 | 0.84 | 308,562,909 | 522,921,313,545 | 1,199 |

Data lanjutan

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|-----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 122 | 20319.77 | 1,433,702,298 | 523,301,338,858 | 436.45 | 0.84 | 305,781,308 | 523,607,120,166 | 1,202 |
| 123 | 20346.51 | 1,435,588,841 | 523,989,927,079 | 440.39 | 0.83 | 303,049,410 | 524,292,976,489 | 1,205 |
| 124 | 20373.25 | 1,437,475,384 | 524,678,515,301 | 444.32 | 0.82 | 300,365,894 | 524,978,881,194 | 1,208 |
| 125 | 20399.99 | 1,439,361,927 | 525,367,103,522 | 448.26 | 0.81 | 297,729,486 | 525,664,833,008 | 1,212 |
| 126 | 20426.73 | 1,441,248,471 | 526,055,691,743 | 452.19 | 0.81 | 295,138,956 | 526,350,830,700 | 1,215 |
| 127 | 20453.46 | 1,443,135,014 | 526,744,279,965 | 456.13 | 0.80 | 292,593,118 | 527,036,873,083 | 1,218 |
| 128 | 20480.20 | 1,445,021,557 | 527,432,868,186 | 460.06 | 0.79 | 290,090,825 | 527,722,959,011 | 1,221 |
| 129 | 20506.94 | 1,446,908,100 | 528,121,456,407 | 464.00 | 0.79 | 287,630,968 | 528,409,087,376 | 1,224 |
| 130 | 20533.68 | 1,448,794,643 | 528,810,044,629 | 467.93 | 0.78 | 285,212,478 | 529,095,257,107 | 1,227 |
| 131 | 20560.41 | 1,450,681,186 | 529,498,632,850 | 471.86 | 0.77 | 282,834,320 | 529,781,467,170 | 1,230 |
| 132 | 20587.15 | 1,452,567,729 | 530,187,221,071 | 475.80 | 0.77 | 280,495,493 | 530,467,716,564 | 1,233 |
| 133 | 20613.89 | 1,454,454,272 | 530,875,809,293 | 479.73 | 0.76 | 278,195,029 | 531,154,004,322 | 1,236 |
| 134 | 20640.63 | 1,456,340,815 | 531,564,397,514 | 483.67 | 0.75 | 275,931,993 | 531,840,329,506 | 1,240 |
| 135 | 20667.37 | 1,458,227,358 | 532,252,985,735 | 487.60 | 0.75 | 273,705,477 | 532,526,691,212 | 1,243 |
| 136 | 20694.10 | 1,460,113,901 | 532,941,573,956 | 491.54 | 0.74 | 271,514,606 | 533,213,088,563 | 1,246 |
| 137 | 20720.84 | 1,462,000,444 | 533,630,162,178 | 495.47 | 0.74 | 269,358,530 | 533,899,520,708 | 1,249 |
| 138 | 20747.58 | 1,463,886,987 | 534,318,750,399 | 499.41 | 0.73 | 267,236,427 | 534,585,986,826 | 1,252 |
| 139 | 20774.32 | 1,465,773,530 | 535,007,338,620 | 503.34 | 0.73 | 265,147,499 | 535,272,486,120 | 1,255 |
| 140 | 20801.06 | 1,467,660,074 | 535,695,926,842 | 507.28 | 0.72 | 263,090,976 | 535,959,017,818 | 1,258 |
| 141 | 20827.79 | 1,469,546,617 | 536,384,515,063 | 511.21 | 0.71 | 261,066,109 | 536,645,581,172 | 1,261 |
| 142 | 20854.53 | 1,471,433,160 | 537,073,103,284 | 515.14 | 0.71 | 259,072,172 | 537,332,175,456 | 1,264 |
| 143 | 20881.27 | 1,473,319,703 | 537,761,691,506 | 519.08 | 0.70 | 257,108,462 | 538,018,799,968 | 1,268 |
| 144 | 20908.01 | 1,475,206,246 | 538,450,279,727 | 523.01 | 0.70 | 255,174,298 | 538,705,454,025 | 1,271 |
| 145 | 20934.74 | 1,477,092,789 | 539,138,867,948 | 526.95 | 0.69 | 253,269,016 | 539,392,136,965 | 1,274 |
| 146 | 20961.48 | 1,478,979,332 | 539,827,456,170 | 530.88 | 0.69 | 251,391,976 | 540,078,848,146 | 1,277 |
| 147 | 20988.22 | 1,480,865,875 | 540,516,044,391 | 534.82 | 0.68 | 249,542,553 | 540,765,586,944 | 1,280 |
| 148 | 21014.96 | 1,482,752,418 | 541,204,632,612 | 538.75 | 0.68 | 247,720,143 | 541,452,352,756 | 1,283 |
| 149 | 21041.70 | 1,484,638,961 | 541,893,220,834 | 542.69 | 0.67 | 245,924,159 | 542,139,144,992 | 1,286 |

Data lanjutan

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|-----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 150 | 21068.43 | 1,486,525,504 | 542,581,809,055 | 546.62 | 0.67 | 244,154,028 | 542,825,963,083 | 1,289 |
| 151 | 21095.17 | 1,488,412,047 | 543,270,397,276 | 550.55 | 0.66 | 242,409,198 | 543,512,806,474 | 1,292 |
| 152 | 21121.91 | 1,490,298,590 | 543,958,985,498 | 554.49 | 0.66 | 240,689,130 | 544,199,674,627 | 1,296 |
| 153 | 21148.65 | 1,492,185,133 | 544,647,573,719 | 558.42 | 0.65 | 238,993,300 | 544,886,567,019 | 1,299 |
| 154 | 21175.39 | 1,494,071,677 | 545,336,161,940 | 562.36 | 0.65 | 237,321,199 | 545,573,483,139 | 1,302 |
| 155 | 21202.12 | 1,495,958,220 | 546,024,750,161 | 566.29 | 0.64 | 235,672,334 | 546,260,422,495 | 1,305 |
| 156 | 21228.86 | 1,497,844,763 | 546,713,338,383 | 570.23 | 0.64 | 234,046,222 | 546,947,384,605 | 1,308 |
| 157 | 21255.60 | 1,499,731,306 | 547,401,926,604 | 574.16 | 0.64 | 232,442,396 | 547,634,369,000 | 1,311 |
| 158 | 21282.34 | 1,501,617,849 | 548,090,514,825 | 578.10 | 0.63 | 230,860,402 | 548,321,375,227 | 1,314 |
| 159 | 21309.07 | 1,503,504,392 | 548,779,103,047 | 582.03 | 0.63 | 229,299,796 | 549,008,402,843 | 1,317 |
| 160 | 21335.81 | 1,505,390,935 | 549,467,691,268 | 585.97 | 0.62 | 227,760,148 | 549,695,451,416 | 1,320 |
| 161 | 21362.55 | 1,507,277,478 | 550,156,279,489 | 589.90 | 0.62 | 226,241,038 | 550,382,520,527 | 1,324 |
| 162 | 21389.29 | 1,509,164,021 | 550,844,867,711 | 593.83 | 0.61 | 224,742,057 | 551,069,609,768 | 1,327 |
| 163 | 21416.03 | 1,511,050,564 | 551,533,455,932 | 597.77 | 0.61 | 223,262,810 | 551,756,718,742 | 1,330 |
| 164 | 21442.76 | 1,512,937,107 | 552,222,044,153 | 601.70 | 0.61 | 221,802,908 | 552,443,847,061 | 1,333 |
| 165 | 21469.50 | 1,514,823,650 | 552,910,632,375 | 605.64 | 0.60 | 220,361,974 | 553,130,994,349 | 1,336 |
| 166 | 21496.24 | 1,516,710,193 | 553,599,220,596 | 609.57 | 0.60 | 218,939,641 | 553,818,160,237 | 1,339 |
| 167 | 21522.98 | 1,518,596,736 | 554,287,808,817 | 613.51 | 0.59 | 217,535,552 | 554,505,344,369 | 1,342 |
| 168 | 21549.72 | 1,520,483,280 | 554,976,397,039 | 617.44 | 0.59 | 216,149,357 | 555,192,546,395 | 1,345 |
| 169 | 21576.45 | 1,522,369,823 | 555,664,985,260 | 621.38 | 0.59 | 214,780,716 | 555,879,765,976 | 1,348 |
| 170 | 21603.19 | 1,524,256,366 | 556,353,573,481 | 625.31 | 0.58 | 213,429,299 | 556,567,002,780 | 1,352 |
| 171 | 21629.93 | 1,526,142,909 | 557,042,161,703 | 629.24 | 0.58 | 212,094,782 | 557,254,256,484 | 1,355 |
| 172 | 21656.67 | 1,528,029,452 | 557,730,749,924 | 633.18 | 0.58 | 210,776,850 | 557,941,526,774 | 1,358 |
| 173 | 21683.40 | 1,529,915,995 | 558,419,338,145 | 637.11 | 0.57 | 209,475,195 | 558,628,813,341 | 1,361 |
| 174 | 21710.14 | 1,531,802,538 | 559,107,926,367 | 641.05 | 0.57 | 208,189,519 | 559,316,115,886 | 1,364 |
| 175 | 21736.88 | 1,533,689,081 | 559,796,514,588 | 644.98 | 0.57 | 206,919,529 | 560,003,434,117 | 1,367 |
| 176 | 21763.62 | 1,535,575,624 | 560,485,102,809 | 648.92 | 0.56 | 205,664,939 | 560,690,767,748 | 1,370 |
| 177 | 21790.36 | 1,537,462,167 | 561,173,691,030 | 652.85 | 0.56 | 204,425,470 | 561,378,116,501 | 1,373 |

Data lanjutan

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|-----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 178 | 21817.09 | 1,539,348,710 | 561,862,279,252 | 656.79 | 0.56 | 203,200,852 | 562,065,480,104 | 1,376 |
| 179 | 21843.83 | 1,541,235,253 | 562,550,867,473 | 660.72 | 0.55 | 201,990,819 | 562,752,858,292 | 1,380 |
| 180 | 21870.57 | 1,543,121,796 | 563,239,455,694 | 664.66 | 0.55 | 200,795,112 | 563,440,250,806 | 1,383 |
| 181 | 21897.31 | 1,545,008,339 | 563,928,043,916 | 668.59 | 0.55 | 199,613,477 | 564,127,657,393 | 1,386 |
| 182 | 21924.05 | 1,546,894,883 | 564,616,632,137 | 672.52 | 0.54 | 198,445,669 | 564,815,077,806 | 1,389 |
| 183 | 21950.78 | 1,548,781,426 | 565,305,220,358 | 676.46 | 0.54 | 197,291,445 | 565,502,511,803 | 1,392 |
| 184 | 21977.52 | 1,550,667,969 | 565,993,808,580 | 680.39 | 0.54 | 196,150,570 | 566,189,959,150 | 1,395 |
| 185 | 22004.26 | 1,552,554,512 | 566,682,396,801 | 684.33 | 0.53 | 195,022,814 | 566,877,419,615 | 1,398 |
| 186 | 22031.00 | 1,554,441,055 | 567,370,985,022 | 688.26 | 0.53 | 193,907,952 | 567,564,892,974 | 1,401 |
| 187 | 22057.73 | 1,556,327,598 | 568,059,573,244 | 692.20 | 0.53 | 192,805,764 | 568,252,379,008 | 1,404 |
| 188 | 22084.47 | 1,558,214,141 | 568,748,161,465 | 696.13 | 0.52 | 191,716,035 | 568,939,877,500 | 1,408 |
| 189 | 22111.21 | 1,560,100,684 | 569,436,749,686 | 700.07 | 0.52 | 190,638,554 | 569,627,388,241 | 1,411 |
| 190 | 22137.95 | 1,561,987,227 | 570,125,337,908 | 704.00 | 0.52 | 189,573,118 | 570,314,911,025 | 1,414 |
| 191 | 22164.69 | 1,563,873,770 | 570,813,926,129 | 707.93 | 0.52 | 188,519,524 | 571,002,445,653 | 1,417 |
| 192 | 22191.42 | 1,565,760,313 | 571,502,514,350 | 711.87 | 0.51 | 187,477,577 | 571,689,991,927 | 1,420 |
| 193 | 22218.16 | 1,567,646,856 | 572,191,102,572 | 715.80 | 0.51 | 186,447,084 | 572,377,549,655 | 1,423 |
| 194 | 22244.90 | 1,569,533,399 | 572,879,690,793 | 719.74 | 0.51 | 185,427,857 | 573,065,118,650 | 1,426 |
| 195 | 22271.64 | 1,571,419,943 | 573,568,279,014 | 723.67 | 0.50 | 184,419,713 | 573,752,698,727 | 1,429 |
| 196 | 22298.38 | 1,573,306,486 | 574,256,867,236 | 727.61 | 0.50 | 183,422,473 | 574,440,289,708 | 1,432 |
| 197 | 22325.11 | 1,575,193,029 | 574,945,455,457 | 731.54 | 0.50 | 182,435,959 | 575,127,891,416 | 1,436 |
| 198 | 22351.85 | 1,577,079,572 | 575,634,043,678 | 735.48 | 0.50 | 181,460,000 | 575,815,503,678 | 1,439 |
| 199 | 22378.59 | 1,578,966,115 | 576,322,631,899 | 739.41 | 0.49 | 180,494,428 | 576,503,126,327 | 1,442 |
| 200 | 22405.33 | 1,580,852,658 | 577,011,220,121 | 743.35 | 0.49 | 179,539,077 | 577,190,759,197 | 1,445 |

Lampiran 3**Tabel Perhitungan untuk Filter Bekas**

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 48 | 18341.17 | 1,294,098,111 | 472,345,810,481 | 1.82 | 200.86 | 361,544,077 | 472,707,354,558 | 972 |
| 49 | 18367.91 | 1,295,984,654 | 473,034,398,702 | 4.42 | 82.51 | 148,521,091 | 473,182,919,793 | 975 |
| 50 | 18394.65 | 1,297,871,197 | 473,722,986,923 | 7.03 | 51.92 | 93,456,315 | 473,816,443,239 | 978 |
| 51 | 18421.39 | 1,299,757,740 | 474,411,575,144 | 9.64 | 37.88 | 68,178,770 | 474,479,753,914 | 981 |
| 52 | 18448.12 | 1,301,644,283 | 475,100,163,366 | 12.24 | 29.81 | 53,664,023 | 475,153,827,389 | 984 |
| 53 | 18474.86 | 1,303,530,826 | 475,788,751,587 | 14.85 | 24.58 | 44,244,666 | 475,832,996,253 | 988 |
| 54 | 18501.60 | 1,305,417,369 | 476,477,339,808 | 17.46 | 20.91 | 37,638,231 | 476,514,978,039 | 991 |
| 55 | 18528.34 | 1,307,303,912 | 477,165,928,030 | 20.06 | 18.19 | 32,748,375 | 477,198,676,405 | 994 |
| 56 | 18555.08 | 1,309,190,455 | 477,854,516,251 | 22.67 | 16.10 | 28,982,985 | 477,883,499,236 | 997 |
| 57 | 18581.81 | 1,311,076,999 | 478,543,104,472 | 25.27 | 14.44 | 25,994,188 | 478,569,098,660 | 1000 |
| 58 | 18608.55 | 1,312,963,542 | 479,231,692,694 | 27.88 | 13.09 | 23,564,190 | 479,255,256,884 | 1003 |
| 59 | 18635.29 | 1,314,850,085 | 479,920,280,915 | 30.49 | 11.97 | 21,549,676 | 479,941,830,591 | 1006 |
| 60 | 18662.03 | 1,316,736,628 | 480,608,869,136 | 33.09 | 11.03 | 19,852,478 | 480,628,721,614 | 1009 |
| 61 | 18688.76 | 1,318,623,171 | 481,297,457,358 | 35.70 | 10.22 | 18,403,096 | 481,315,860,454 | 1012 |
| 62 | 18715.50 | 1,320,509,714 | 481,986,045,579 | 38.31 | 9.53 | 17,150,947 | 482,003,196,526 | 1016 |
| 63 | 18742.24 | 1,322,396,257 | 482,674,633,800 | 40.91 | 8.92 | 16,058,336 | 482,690,692,136 | 1019 |
| 64 | 18768.98 | 1,324,282,800 | 483,363,222,022 | 43.52 | 8.39 | 15,096,598 | 483,378,318,619 | 1022 |
| 65 | 18795.72 | 1,326,169,343 | 484,051,810,243 | 46.13 | 7.91 | 14,243,548 | 484,066,053,791 | 1025 |
| 66 | 18822.45 | 1,328,055,886 | 484,740,398,464 | 48.73 | 7.49 | 13,481,747 | 484,753,880,211 | 1028 |
| 67 | 18849.19 | 1,329,942,429 | 485,428,986,686 | 51.34 | 7.11 | 12,797,298 | 485,441,783,983 | 1031 |
| 68 | 18875.93 | 1,331,828,972 | 486,117,574,907 | 53.95 | 6.77 | 12,178,987 | 486,129,753,894 | 1034 |
| 69 | 18902.67 | 1,333,715,515 | 486,806,163,128 | 56.55 | 6.45 | 11,617,671 | 486,817,780,799 | 1037 |
| 70 | 18929.41 | 1,335,602,058 | 487,494,751,350 | 59.16 | 6.17 | 11,105,817 | 487,505,857,166 | 1040 |

Data lanjutan

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 71 | 18956.14 | 1,337,488,602 | 488,183,339,571 | 61.76 | 5.91 | 10,637,161 | 488,193,976,732 | 1044 |
| 72 | 18982.88 | 1,339,375,145 | 488,871,927,792 | 64.37 | 5.67 | 10,206,458 | 488,882,134,251 | 1047 |
| 73 | 19009.62 | 1,341,261,688 | 489,560,516,013 | 66.98 | 5.45 | 9,809,277 | 489,570,325,290 | 1050 |
| 74 | 19036.36 | 1,343,148,231 | 490,249,104,235 | 69.58 | 5.25 | 9,441,850 | 490,258,546,085 | 1053 |
| 75 | 19063.09 | 1,345,034,774 | 490,937,692,456 | 72.19 | 5.06 | 9,100,954 | 490,946,793,410 | 1056 |
| 76 | 19089.83 | 1,346,921,317 | 491,626,280,677 | 74.80 | 4.88 | 8,783,817 | 491,635,064,495 | 1059 |
| 77 | 19116.57 | 1,348,807,860 | 492,314,868,899 | 77.40 | 4.72 | 8,488,038 | 492,323,356,937 | 1062 |
| 78 | 19143.31 | 1,350,694,403 | 493,003,457,120 | 80.01 | 4.56 | 8,211,529 | 493,011,668,649 | 1065 |
| 79 | 19170.05 | 1,352,580,946 | 493,692,045,341 | 82.62 | 4.42 | 7,952,468 | 493,699,997,809 | 1068 |
| 80 | 19196.78 | 1,354,467,489 | 494,380,633,563 | 85.22 | 4.28 | 7,709,252 | 494,388,342,815 | 1072 |
| 81 | 19223.52 | 1,356,354,032 | 495,069,221,784 | 87.83 | 4.16 | 7,480,472 | 495,076,702,256 | 1075 |
| 82 | 19250.26 | 1,358,240,575 | 495,757,810,005 | 90.43 | 4.04 | 7,264,879 | 495,765,074,885 | 1078 |
| 83 | 19277.00 | 1,360,127,118 | 496,446,398,227 | 93.04 | 3.92 | 7,061,365 | 496,453,459,592 | 1081 |
| 84 | 19303.74 | 1,362,013,662 | 497,134,986,448 | 95.65 | 3.82 | 6,868,943 | 497,141,855,391 | 1084 |
| 85 | 19330.47 | 1,363,900,205 | 497,823,574,669 | 98.25 | 3.71 | 6,686,729 | 497,830,261,399 | 1087 |
| 86 | 19357.21 | 1,365,786,748 | 498,512,162,891 | 100.86 | 3.62 | 6,513,933 | 498,518,676,824 | 1090 |
| 87 | 19383.95 | 1,367,673,291 | 499,200,751,112 | 103.47 | 3.53 | 6,349,843 | 499,207,100,955 | 1093 |
| 88 | 19410.69 | 1,369,559,834 | 499,889,339,333 | 106.07 | 3.44 | 6,193,816 | 499,895,533,149 | 1096 |
| 89 | 19437.42 | 1,371,446,377 | 500,577,927,555 | 108.68 | 3.36 | 6,045,273 | 500,583,972,828 | 1100 |
| 90 | 19464.16 | 1,373,332,920 | 501,266,515,776 | 111.29 | 3.28 | 5,903,689 | 501,272,419,465 | 1103 |
| 91 | 19490.90 | 1,375,219,463 | 501,955,103,997 | 113.89 | 3.20 | 5,768,584 | 501,960,872,581 | 1106 |
| 92 | 19517.64 | 1,377,106,006 | 502,643,692,218 | 116.50 | 3.13 | 5,639,525 | 502,649,331,744 | 1109 |
| 93 | 19544.38 | 1,378,992,549 | 503,332,280,440 | 119.11 | 3.06 | 5,516,114 | 503,337,796,554 | 1112 |
| 94 | 19571.11 | 1,380,879,092 | 504,020,868,661 | 121.71 | 3.00 | 5,397,989 | 504,026,266,650 | 1115 |
| 95 | 19597.85 | 1,382,765,635 | 504,709,456,882 | 124.32 | 2.94 | 5,284,817 | 504,714,741,700 | 1118 |
| 96 | 19624.59 | 1,384,652,178 | 505,398,045,104 | 126.92 | 2.88 | 5,176,293 | 505,403,221,397 | 1121 |
| 97 | 19651.33 | 1,386,538,721 | 506,086,633,325 | 129.53 | 2.82 | 5,072,136 | 506,091,705,462 | 1124 |
| 98 | 19678.07 | 1,388,425,265 | 506,775,221,546 | 132.14 | 2.76 | 4,972,089 | 506,780,193,635 | 1128 |

Data lanjutan

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|-----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 99 | 19704.80 | 1,390,311,808 | 507,463,809,768 | 134.74 | 2.71 | 4,875,912 | 507,468,685,679 | 1131 |
| 100 | 19731.54 | 1,392,198,351 | 508,152,397,989 | 137.35 | 2.66 | 4,783,385 | 508,157,181,374 | 1134 |
| 101 | 19758.28 | 1,394,084,894 | 508,840,986,210 | 139.96 | 2.61 | 4,694,304 | 508,845,680,514 | 1137 |
| 102 | 19785.02 | 1,395,971,437 | 509,529,574,432 | 142.56 | 2.56 | 4,608,481 | 509,534,182,912 | 1140 |
| 103 | 19811.75 | 1,397,857,980 | 510,218,162,653 | 145.17 | 2.51 | 4,525,739 | 510,222,688,392 | 1143 |
| 104 | 19838.49 | 1,399,744,523 | 510,906,750,874 | 147.78 | 2.47 | 4,445,916 | 510,911,196,790 | 1146 |
| 105 | 19865.23 | 1,401,631,066 | 511,595,339,096 | 150.38 | 2.43 | 4,368,860 | 511,599,707,956 | 1149 |
| 106 | 19891.97 | 1,403,517,609 | 512,283,927,317 | 152.99 | 2.39 | 4,294,429 | 512,288,221,746 | 1152 |
| 107 | 19918.71 | 1,405,404,152 | 512,972,515,538 | 155.59 | 2.35 | 4,222,493 | 512,976,738,031 | 1156 |
| 108 | 19945.44 | 1,407,290,695 | 513,661,103,760 | 158.20 | 2.31 | 4,152,926 | 513,665,256,686 | 1159 |
| 109 | 19972.18 | 1,409,177,238 | 514,349,691,981 | 160.81 | 2.27 | 4,085,615 | 514,353,777,596 | 1162 |
| 110 | 19998.92 | 1,411,063,781 | 515,038,280,202 | 163.41 | 2.23 | 4,020,450 | 515,042,300,653 | 1165 |
| 111 | 20025.66 | 1,412,950,324 | 515,726,868,424 | 166.02 | 2.20 | 3,957,332 | 515,730,825,756 | 1168 |
| 112 | 20052.40 | 1,414,836,868 | 516,415,456,645 | 168.63 | 2.16 | 3,896,165 | 516,419,352,810 | 1171 |
| 113 | 20079.13 | 1,416,723,411 | 517,104,044,866 | 171.23 | 2.13 | 3,836,860 | 517,107,881,727 | 1174 |
| 114 | 20105.87 | 1,418,609,954 | 517,792,633,087 | 173.84 | 2.10 | 3,779,334 | 517,796,412,421 | 1177 |
| 115 | 20132.61 | 1,420,496,497 | 518,481,221,309 | 176.45 | 2.07 | 3,723,507 | 518,484,944,816 | 1180 |
| 116 | 20159.35 | 1,422,383,040 | 519,169,809,530 | 179.05 | 2.04 | 3,669,305 | 519,173,478,835 | 1184 |
| 117 | 20186.08 | 1,424,269,583 | 519,858,397,751 | 181.66 | 2.01 | 3,616,659 | 519,862,014,410 | 1187 |
| 118 | 20212.82 | 1,426,156,126 | 520,546,985,973 | 184.27 | 1.98 | 3,565,502 | 520,550,551,475 | 1190 |
| 119 | 20239.56 | 1,428,042,669 | 521,235,574,194 | 186.87 | 1.95 | 3,515,772 | 521,239,089,966 | 1193 |
| 120 | 20266.30 | 1,429,929,212 | 521,924,162,415 | 189.48 | 1.93 | 3,467,410 | 521,927,629,825 | 1196 |
| 121 | 20293.04 | 1,431,815,755 | 522,612,750,637 | 192.08 | 1.90 | 3,420,361 | 522,616,170,997 | 1199 |
| 122 | 20319.77 | 1,433,702,298 | 523,301,338,858 | 194.69 | 1.87 | 3,374,571 | 523,304,713,429 | 1202 |
| 123 | 20346.51 | 1,435,588,841 | 523,989,927,079 | 197.30 | 1.85 | 3,329,991 | 523,993,257,070 | 1205 |
| 124 | 20373.25 | 1,437,475,384 | 524,678,515,301 | 199.90 | 1.83 | 3,286,574 | 524,681,801,874 | 1208 |
| 125 | 20399.99 | 1,439,361,927 | 525,367,103,522 | 202.51 | 1.80 | 3,244,274 | 525,370,347,796 | 1212 |
| 126 | 20426.73 | 1,441,248,471 | 526,055,691,743 | 205.12 | 1.78 | 3,203,049 | 526,058,894,792 | 1215 |

Data lanjutan

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|-----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 127 | 20453.46 | 1,443,135,014 | 526,744,279,965 | 207.72 | 1.76 | 3,162,859 | 526,747,442,823 | 1218 |
| 128 | 20480.20 | 1,445,021,557 | 527,432,868,186 | 210.33 | 1.74 | 3,123,665 | 527,435,991,851 | 1221 |
| 129 | 20506.94 | 1,446,908,100 | 528,121,456,407 | 212.94 | 1.71 | 3,085,430 | 528,124,541,837 | 1224 |
| 130 | 20533.68 | 1,448,794,643 | 528,810,044,629 | 215.54 | 1.69 | 3,048,120 | 528,813,092,749 | 1227 |
| 131 | 20560.41 | 1,450,681,186 | 529,498,632,850 | 218.15 | 1.67 | 3,011,702 | 529,501,644,552 | 1230 |
| 132 | 20587.15 | 1,452,567,729 | 530,187,221,071 | 220.75 | 1.65 | 2,976,143 | 530,190,197,214 | 1233 |
| 133 | 20613.89 | 1,454,454,272 | 530,875,809,293 | 223.36 | 1.63 | 2,941,415 | 530,878,750,707 | 1236 |
| 134 | 20640.63 | 1,456,340,815 | 531,564,397,514 | 225.97 | 1.62 | 2,907,487 | 531,567,305,001 | 1240 |
| 135 | 20667.37 | 1,458,227,358 | 532,252,985,735 | 228.57 | 1.60 | 2,874,333 | 532,255,860,069 | 1243 |
| 136 | 20694.10 | 1,460,113,901 | 532,941,573,956 | 231.18 | 1.58 | 2,841,927 | 532,944,415,884 | 1246 |
| 137 | 20720.84 | 1,462,000,444 | 533,630,162,178 | 233.79 | 1.56 | 2,810,244 | 533,632,972,422 | 1249 |
| 138 | 20747.58 | 1,463,886,987 | 534,318,750,399 | 236.39 | 1.54 | 2,779,259 | 534,321,529,658 | 1252 |
| 139 | 20774.32 | 1,465,773,530 | 535,007,338,620 | 239.00 | 1.53 | 2,748,950 | 535,010,087,570 | 1255 |
| 140 | 20801.06 | 1,467,660,074 | 535,695,926,842 | 241.61 | 1.51 | 2,719,295 | 535,698,646,136 | 1258 |
| 141 | 20827.79 | 1,469,546,617 | 536,384,515,063 | 244.21 | 1.49 | 2,690,272 | 536,387,205,336 | 1261 |
| 142 | 20854.53 | 1,471,433,160 | 537,073,103,284 | 246.82 | 1.48 | 2,661,863 | 537,075,765,148 | 1264 |
| 143 | 20881.27 | 1,473,319,703 | 537,761,691,506 | 249.43 | 1.46 | 2,634,048 | 537,764,325,553 | 1268 |
| 144 | 20908.01 | 1,475,206,246 | 538,450,279,727 | 252.03 | 1.45 | 2,606,808 | 538,452,886,535 | 1271 |
| 145 | 20934.74 | 1,477,092,789 | 539,138,867,948 | 254.64 | 1.43 | 2,580,125 | 539,141,448,073 | 1274 |
| 146 | 20961.48 | 1,478,979,332 | 539,827,456,170 | 257.24 | 1.42 | 2,553,983 | 539,830,010,153 | 1277 |
| 147 | 20988.22 | 1,480,865,875 | 540,516,044,391 | 259.85 | 1.40 | 2,528,366 | 540,518,572,757 | 1280 |
| 148 | 21014.96 | 1,482,752,418 | 541,204,632,612 | 262.46 | 1.39 | 2,503,257 | 541,207,135,870 | 1283 |
| 149 | 21041.70 | 1,484,638,961 | 541,893,220,834 | 265.06 | 1.38 | 2,478,642 | 541,895,699,476 | 1286 |
| 150 | 21068.43 | 1,486,525,504 | 542,581,809,055 | 267.67 | 1.36 | 2,454,507 | 542,584,263,562 | 1289 |
| 151 | 21095.17 | 1,488,412,047 | 543,270,397,276 | 270.28 | 1.35 | 2,430,837 | 543,272,828,113 | 1292 |
| 152 | 21121.91 | 1,490,298,590 | 543,958,985,498 | 272.88 | 1.34 | 2,407,619 | 543,961,393,117 | 1296 |
| 153 | 21148.65 | 1,492,185,133 | 544,647,573,719 | 275.49 | 1.32 | 2,384,841 | 544,649,958,560 | 1299 |
| 154 | 21175.39 | 1,494,071,677 | 545,336,161,940 | 278.10 | 1.31 | 2,362,489 | 545,338,524,430 | 1302 |

Data lanjutan

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|-----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 155 | 21202.12 | 1,495,958,220 | 546,024,750,161 | 280.70 | 1.30 | 2,340,553 | 546,027,090,714 | 1305 |
| 156 | 21228.86 | 1,497,844,763 | 546,713,338,383 | 283.31 | 1.29 | 2,319,020 | 546,715,657,403 | 1308 |
| 157 | 21255.60 | 1,499,731,306 | 547,401,926,604 | 285.91 | 1.28 | 2,297,880 | 547,404,224,484 | 1311 |
| 158 | 21282.34 | 1,501,617,849 | 548,090,514,825 | 288.52 | 1.27 | 2,277,122 | 548,092,791,947 | 1314 |
| 159 | 21309.07 | 1,503,504,392 | 548,779,103,047 | 291.13 | 1.25 | 2,256,735 | 548,781,359,782 | 1317 |
| 160 | 21335.81 | 1,505,390,935 | 549,467,691,268 | 293.73 | 1.24 | 2,236,710 | 549,469,927,979 | 1320 |
| 161 | 21362.55 | 1,507,277,478 | 550,156,279,489 | 296.34 | 1.23 | 2,217,038 | 550,158,496,527 | 1324 |
| 162 | 21389.29 | 1,509,164,021 | 550,844,867,711 | 298.95 | 1.22 | 2,197,708 | 550,847,065,419 | 1327 |
| 163 | 21416.03 | 1,511,050,564 | 551,533,455,932 | 301.55 | 1.21 | 2,178,713 | 551,535,634,645 | 1330 |
| 164 | 21442.76 | 1,512,937,107 | 552,222,044,153 | 304.16 | 1.20 | 2,160,043 | 552,224,204,197 | 1333 |
| 165 | 21469.50 | 1,514,823,650 | 552,910,632,375 | 306.77 | 1.19 | 2,141,691 | 552,912,774,065 | 1336 |
| 166 | 21496.24 | 1,516,710,193 | 553,599,220,596 | 309.37 | 1.18 | 2,123,647 | 553,601,344,243 | 1339 |
| 167 | 21522.98 | 1,518,596,736 | 554,287,808,817 | 311.98 | 1.17 | 2,105,906 | 554,289,914,723 | 1342 |
| 168 | 21549.72 | 1,520,483,280 | 554,976,397,039 | 314.59 | 1.16 | 2,088,458 | 554,978,485,496 | 1345 |
| 169 | 21576.45 | 1,522,369,823 | 555,664,985,260 | 317.19 | 1.15 | 2,071,297 | 555,667,056,557 | 1348 |
| 170 | 21603.19 | 1,524,256,366 | 556,353,573,481 | 319.80 | 1.14 | 2,054,415 | 556,355,627,897 | 1352 |
| 171 | 21629.93 | 1,526,142,909 | 557,042,161,703 | 322.40 | 1.13 | 2,037,807 | 557,044,199,509 | 1355 |
| 172 | 21656.67 | 1,528,029,452 | 557,730,749,924 | 325.01 | 1.12 | 2,021,465 | 557,732,771,389 | 1358 |
| 173 | 21683.40 | 1,529,915,995 | 558,419,338,145 | 327.62 | 1.11 | 2,005,383 | 558,421,343,528 | 1361 |
| 174 | 21710.14 | 1,531,802,538 | 559,107,926,367 | 330.22 | 1.11 | 1,989,555 | 559,109,915,921 | 1364 |
| 175 | 21736.88 | 1,533,689,081 | 559,796,514,588 | 332.83 | 1.10 | 1,973,974 | 559,798,488,562 | 1367 |
| 176 | 21763.62 | 1,535,575,624 | 560,485,102,809 | 335.44 | 1.09 | 1,958,636 | 560,487,061,445 | 1370 |
| 177 | 21790.36 | 1,537,462,167 | 561,173,691,030 | 338.04 | 1.08 | 1,943,535 | 561,175,634,565 | 1373 |
| 178 | 21817.09 | 1,539,348,710 | 561,862,279,252 | 340.65 | 1.07 | 1,928,664 | 561,864,207,916 | 1376 |
| 179 | 21843.83 | 1,541,235,253 | 562,550,867,473 | 343.26 | 1.06 | 1,914,019 | 562,552,781,493 | 1380 |
| 180 | 21870.57 | 1,543,121,796 | 563,239,455,694 | 345.86 | 1.06 | 1,899,595 | 563,241,355,290 | 1383 |
| 181 | 21897.31 | 1,545,008,339 | 563,928,043,916 | 348.47 | 1.05 | 1,885,387 | 563,929,929,303 | 1386 |
| 182 | 21924.05 | 1,546,894,883 | 564,616,632,137 | 351.07 | 1.04 | 1,871,390 | 564,618,503,527 | 1389 |

Data lanjutan

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|-----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 183 | 21950.78 | 1,548,781,426 | 565,305,220,358 | 353.68 | 1.03 | 1,857,599 | 565,307,077,958 | 1392 |
| 184 | 21977.52 | 1,550,667,969 | 565,993,808,580 | 356.29 | 1.02 | 1,844,010 | 565,995,652,590 | 1395 |
| 185 | 22004.26 | 1,552,554,512 | 566,682,396,801 | 358.89 | 1.02 | 1,830,618 | 566,684,227,419 | 1398 |
| 186 | 22031.00 | 1,554,441,055 | 567,370,985,022 | 361.50 | 1.01 | 1,817,420 | 567,372,802,442 | 1401 |
| 187 | 22057.73 | 1,556,327,598 | 568,059,573,244 | 364.11 | 1.00 | 1,804,410 | 568,061,377,654 | 1404 |
| 188 | 22084.47 | 1,558,214,141 | 568,748,161,465 | 366.71 | 1.00 | 1,791,585 | 568,749,953,050 | 1408 |
| 189 | 22111.21 | 1,560,100,684 | 569,436,749,686 | 369.32 | 0.99 | 1,778,941 | 569,438,528,628 | 1411 |
| 190 | 22137.95 | 1,561,987,227 | 570,125,337,908 | 371.93 | 0.98 | 1,766,475 | 570,127,104,382 | 1414 |
| 191 | 22164.69 | 1,563,873,770 | 570,813,926,129 | 374.53 | 0.97 | 1,754,182 | 570,815,680,311 | 1417 |
| 192 | 22191.42 | 1,565,760,313 | 571,502,514,350 | 377.14 | 0.97 | 1,742,059 | 571,504,256,409 | 1420 |
| 193 | 22218.16 | 1,567,646,856 | 572,191,102,572 | 379.75 | 0.96 | 1,730,102 | 572,192,832,673 | 1423 |
| 194 | 22244.90 | 1,569,533,399 | 572,879,690,793 | 382.35 | 0.95 | 1,718,308 | 572,881,409,101 | 1426 |
| 195 | 22271.64 | 1,571,419,943 | 573,568,279,014 | 384.96 | 0.95 | 1,706,674 | 573,569,985,688 | 1429 |
| 196 | 22298.38 | 1,573,306,486 | 574,256,867,236 | 387.56 | 0.94 | 1,695,197 | 574,258,562,432 | 1432 |
| 197 | 22325.11 | 1,575,193,029 | 574,945,455,457 | 390.17 | 0.94 | 1,683,873 | 574,947,139,329 | 1436 |
| 198 | 22351.85 | 1,577,079,572 | 575,634,043,678 | 392.78 | 0.93 | 1,672,699 | 575,635,716,377 | 1439 |
| 199 | 22378.59 | 1,578,966,115 | 576,322,631,899 | 395.38 | 0.92 | 1,661,672 | 576,324,293,572 | 1442 |
| 200 | 22405.33 | 1,580,852,658 | 577,011,220,121 | 397.99 | 0.92 | 1,650,790 | 577,012,870,911 | 1445 |

Lampiran 4

| | | |
|--|-----------------------|------------------|
| PREVENTIVE MAINTENANCE PLTGU PT PJB UP GRESIK | | |
| PEMELIHARAAN <i>INTAKE AIR FILTER</i> | | |
| Kode : | Tanggal dikeluarkan : | Tanggal Revisi : |

| PERSETUJUAN | NAMA | TTD/TANGGAL |
|-----------------|------|-------------|
| Disiapkan oleh: | | |
| Direview oleh: | | |
| Disetujui oleh: | | |

TUJUAN

Standar Operasional Prosedur ini bertujuan untuk:

1. Memberikan arahan dan informasi tentang peralatan di unit IAF PLTGU.
2. Memberikan panduan tentang prosedur pemeliharaan IAF.
3. Mendata kondisi IAF.

RUANG LINGKUP

Kegiatan pemeliharaan *Intake Air Filter* melibatkan bagian *Preventive Maintenance* PLTGU.

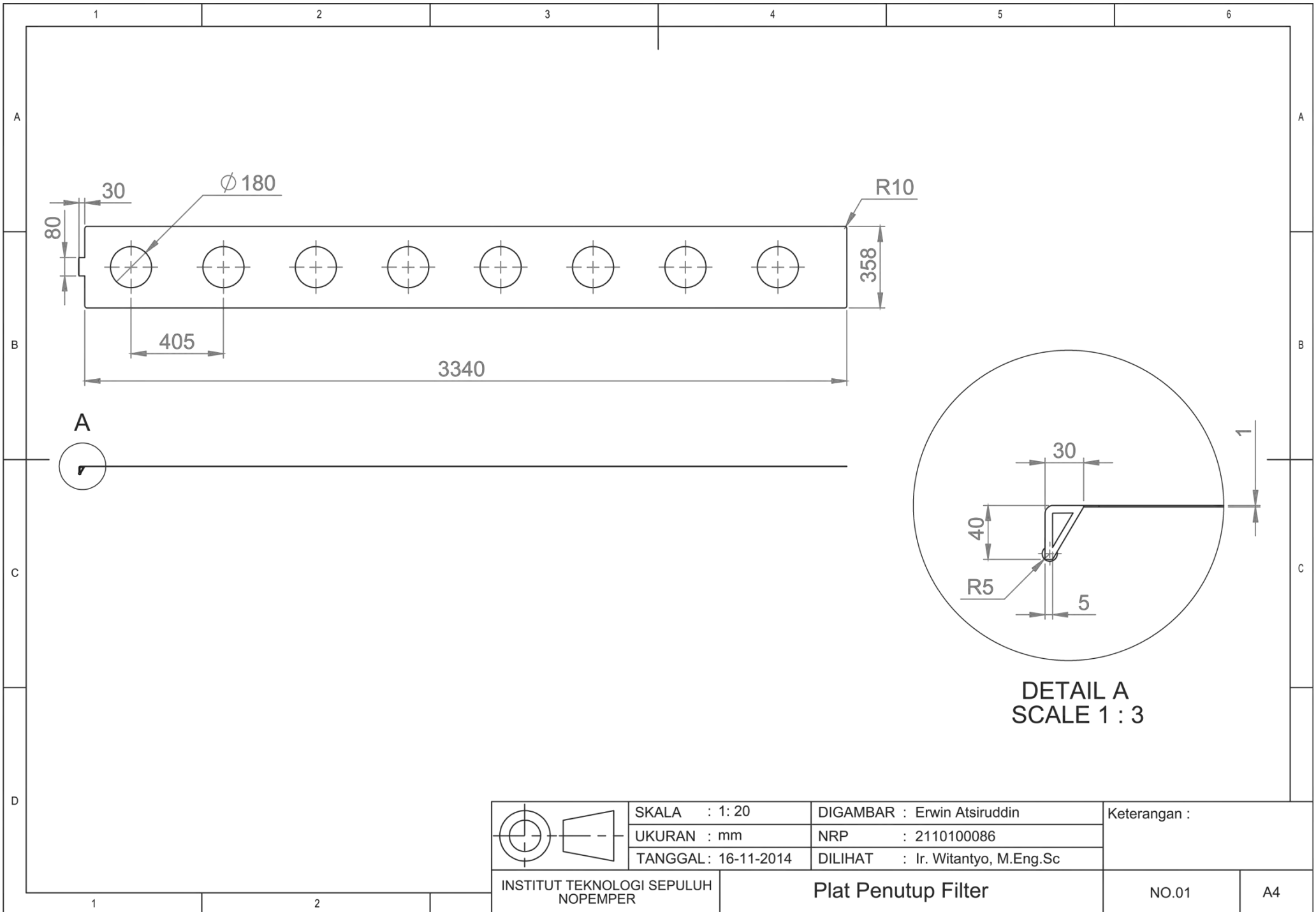
DEFINISI

Yang dimaksud dengan pemeliharaan IAF adalah pemeriksaan kondisi peralatan di unit IAF yang dimiliki PLTGU. Laporan hasil pemeliharaan berupa data tanggal penggantian

filter, DP filter sebelum dan sesudah diganti, jumlah filter yang diganti, dan modul filter mana yang diganti. Selain itu jumlah karyawan yang menangani proses penggantian dan pembersihan filter juga perlu didata. Data inilah yang nantinya akan digunakan sebagai dasar untuk pengajuan penggantian filter.

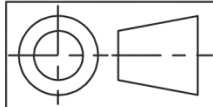
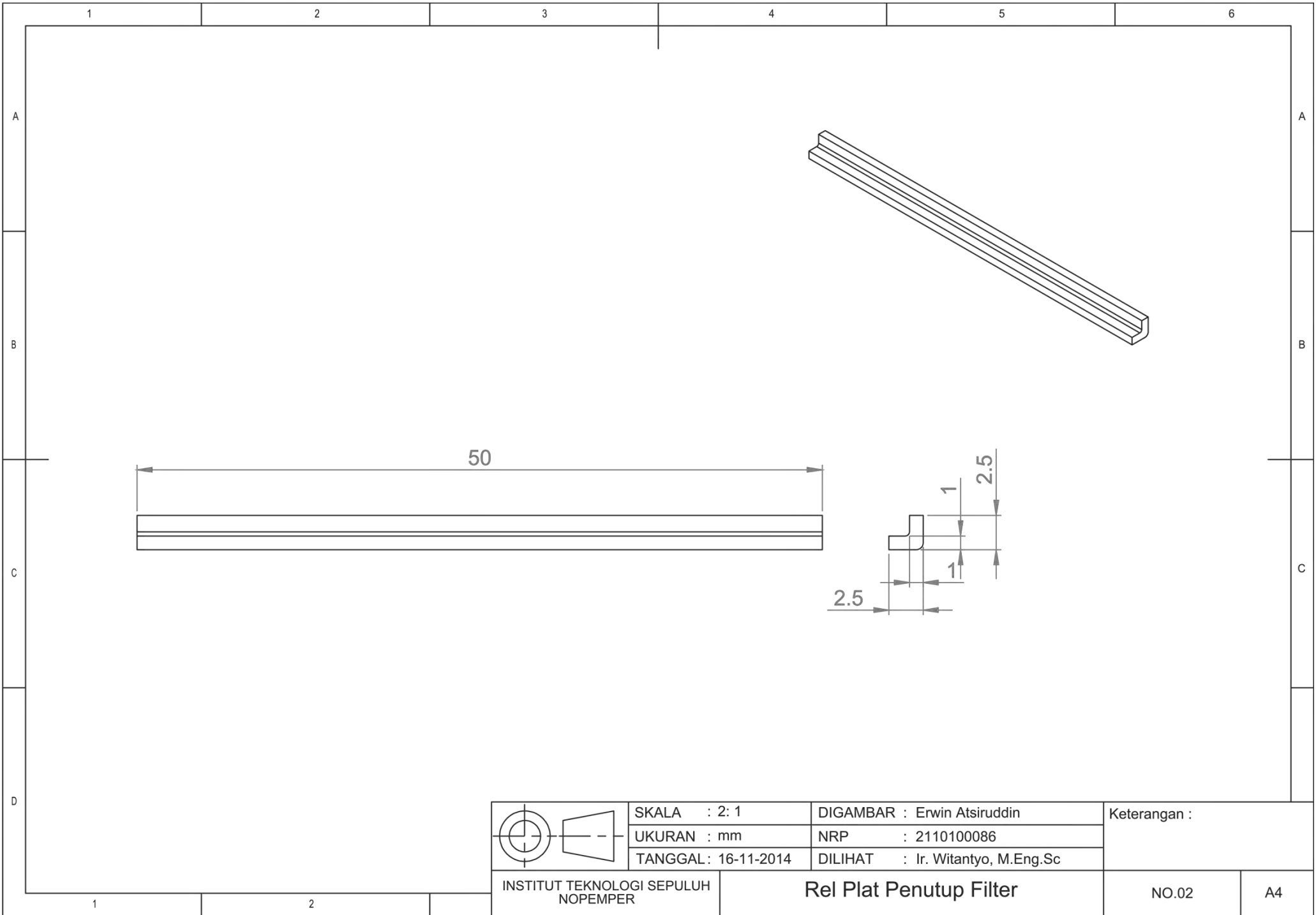
PROSEDUR DAN MEKANISME

1. Setiap filter yang masuk ke unit IAF harus dimasukkan didaftar terlebih dahulu.
2. Perawatan meliputi penggantian filter baru atau penggunaan filter bekas yang sudah dibersihkan terlebih dahulu.
3. Pemeliharaan yang dilakukan pada IAF harus mempertimbangkan nilai ekonomis.
4. Prosedur perawatan adalah sebagai berikut:
 - a. Bagian Preventive Maintenance PLTGU mendapati filter sudah mencapai batas penggantian.
 - b. Batas penggantian filter ini adalah pada DP 18 mmH₂O untuk filter baru dan DP 48 mmH₂O untuk filter bekas.
 - c. Apabila penggantian filter dilakukan pada saat unit turbin gas dalam keadaan hidup, maka plat penutup modul filter perlu digunakan untuk mencegah masuknya udara kotor.
 - d. Setelah selesai, laporan dibuat berdasarkan data pada saat penggantian.



DETAIL A
SCALE 1 : 3

| | | | | |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------------------|--------------|----|
| | SKALA : 1: 20 | DIGAMBAR : Erwin Atsiruddin | Keterangan : | |
| | UKURAN : mm | NRP : 2110100086 | | |
| | TANGGAL : 16-11-2014 | DILIHAT : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc | | |
| INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMPEM | Plat Penutup Filter | | NO.01 | A4 |



| | |
|---------------------|----------------------------------|
| SKALA : 2: 1 | DIGAMBAR : Erwin Atsiruddin |
| UKURAN : mm | NRP : 2110100086 |
| TANGGAL: 16-11-2014 | DILIHAT : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc |

Keterangan :

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMPER

Rel Plat Penutup Filter

NO.02

A4

Lampiran 1

Data monitoring unit 3.2 (Januari 2013 – April 2014)

| Tanggal | Bahan Bakar Gas (mmBTU) | DP (mmH ₂ O) | Beban Generator (kwh) |
|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 08-01-2013 | 27749.9 | 38 | 1980212 |
| 09-01-2013 | 28675.8 | 45 | 2140226 |
| 10-01-2013 | 28378 | 45 | 2100253 |
| 11-01-2013 | 29176.4 | 45 | 2205184 |
| 12-01-2013 | 29139 | 52 | 2226355 |
| 13-01-2013 | 9968.8 | 52 | 757439.6 |
| 14-01-2013 | 30764.7 | 52 | 2430020 |
| 15-01-2013 | 30432.8 | 52 | 2328319 |
| 16-01-2013 | 25445.9 | 52 | 1820165 |
| 17-01-2013 | 26749.4 | 52 | 1945214 |
| 18-01-2013 | 27907.9 | 46 | 2085232 |
| 19-01-2013 | 2975.9 | 46 | 200009.5 |
| 21-01-2013 | 15678.3 | 55 | 1170010 |
| 22-01-2013 | 23986.1 | 55 | 1730030 |
| 23-01-2013 | 27108.7 | 55 | 2100030 |
| 31-01-2013 | 3748.5 | 55 | 200010 |
| 01-02-2013 | 25662 | 55 | 1950020 |
| 07-02-2013 | 28677.1 | 52 | 2280010 |
| 08-02-2013 | 27942.2 | 52 | 2200039 |
| 09-02-2013 | 31394.7 | 52 | 2510140 |
| 10-02-2013 | 30681.2 | 52 | 2479374 |
| 11-02-2013 | 29031.7 | 52 | 2270020 |
| 12-02-2013 | 30264 | 52 | 2350030 |
| 13-02-2013 | 28639 | 52 | 2120366 |
| 14-02-2013 | 31636.1 | 54 | 2400010 |
| 15-02-2013 | 30657.3 | 54 | 2299944 |
| 16-02-2013 | 26100.1 | 54 | 1844942 |
| 17-02-2013 | 30709.5 | 54 | 2360030 |
| 18-02-2013 | 28625.1 | 54 | 2139916 |
| 19-02-2013 | 13870.7 | 54 | 986464.5 |
| 20-02-2013 | 29685.3 | 54 | 2230104 |
| 21-02-2013 | 28659.2 | 54 | 2159370 |
| 22-02-2013 | 27539.1 | 54 | 2030020 |
| 23-02-2013 | 30967.8 | 54 | 2430020 |
| 24-02-2013 | 30816.2 | 54 | 2420020 |
| 25-02-2013 | 30996.9 | 56 | 2427284 |
| 26-02-2013 | 27427.3 | 58 | 2054864 |
| 27-02-2013 | 29202.2 | 58 | 2254852 |

| | | | |
|------------|---------|----|----------|
| 28-02-2013 | 25956.9 | 58 | 1949905 |
| 01-03-2013 | 27528.7 | 60 | 2109711 |
| 02-03-2013 | 29767.3 | 60 | 1949956 |
| 03-03-2013 | 27849.2 | 60 | 2140009 |
| 04-03-2013 | 27169.4 | 60 | 2079953 |
| 05-03-2013 | 27103.5 | 60 | 2079893 |
| 06-03-2013 | 27031.4 | 60 | 2054939 |
| 07-03-2013 | 27294.4 | 60 | 2054913 |
| 08-03-2013 | 25483.5 | 60 | 1931406 |
| 09-03-2013 | 24899.1 | 60 | 1785391 |
| 10-03-2013 | 25079.5 | 60 | 1744887 |
| 11-03-2013 | 26126.3 | 60 | 1894754 |
| 12-03-2013 | 27595.9 | 60 | 2014858 |
| 13-03-2013 | 24826.9 | 60 | 1764758 |
| 14-03-2013 | 24378.3 | 60 | 1723543 |
| 15-03-2013 | 24977.1 | 60 | 1808644 |
| 16-03-2013 | 8895.3 | 60 | 636515.5 |
| 17-03-2013 | 26207.9 | 51 | 1924757 |
| 18-03-2013 | 26097.4 | 51 | 1939747 |
| 19-03-2013 | 25955.4 | 51 | 1904616 |
| 20-03-2013 | 25985.9 | 51 | 1904680 |
| 21-03-2013 | 25915.6 | 55 | 1899642 |
| 22-03-2013 | 26698.2 | 58 | 2009666 |
| 23-03-2013 | 27358.4 | 58 | 1944642 |
| 24-03-2013 | 24801 | 58 | 2089590 |
| 25-03-2013 | 27356.5 | 58 | 2079644 |
| 26-03-2013 | 27825.6 | 58 | 2094627 |
| 27-03-2013 | 25693.4 | 58 | 1839753 |
| 28-03-2013 | 25025.9 | 58 | 1834704 |
| 29-03-2013 | 23669.1 | 58 | 1789731 |
| 30-03-2013 | 24476.7 | 58 | 1719714 |
| 31-03-2013 | 26019.4 | 58 | 1849699 |
| 01-04-2013 | 27106.1 | 58 | 1994625 |
| 02-04-2013 | 26853.4 | 58 | 1969537 |
| 03-04-2013 | 25984.3 | 62 | 1844778 |
| 04-04-2013 | 25515.9 | 62 | 1784516 |
| 05-04-2013 | 25380.7 | 62 | 1739537 |
| 06-04-2013 | 26201.9 | 62 | 1859728 |
| 07-04-2013 | 24796 | 62 | 1684762 |
| 08-04-2013 | 26106.5 | 62 | 1899689 |

Data lanjutan

| Tanggal | Bahan Bakar Gas (mmBTU) | DP (mmH ₂ O) | Beban Generator (kwh) |
|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 09-04-2013 | 24758.6 | 62 | 1699776 |
| 10-04-2013 | 26042.3 | 62 | 1844436 |
| 11-04-2013 | 25531.5 | 45 | 1814641 |
| 12-04-2013 | 26579.1 | 45 | 1939569 |
| 13-04-2013 | 26381.9 | 45 | 1964602 |
| 14-04-2013 | 26753.5 | 45 | 2019599 |
| 15-04-2013 | 25188.4 | 56 | 1814694 |
| 16-04-2013 | 24247.8 | 56 | 1724568 |
| 17-04-2013 | 25025 | 56 | 1774723 |
| 18-04-2013 | 25712.5 | 56 | 1864634 |
| 19-04-2013 | 26525.9 | 62 | 1924645 |
| 20-04-2013 | 26586.1 | 62 | 1939600 |
| 21-04-2013 | 24897.2 | 62 | 1749639 |
| 22-04-2013 | 24635.1 | 62 | 1709648 |
| 23-04-2013 | 25856.7 | 62 | 1854579 |
| 24-04-2013 | 26844.4 | 62 | 1944483 |
| 25-04-2013 | 26519.4 | 62 | 1854645 |
| 26-04-2013 | 25333.7 | 62 | 2740766 |
| 27-04-2013 | 26232.2 | 64 | 1874674 |
| 28-04-2013 | 25629.1 | 61 | 1789611 |
| 29-04-2013 | 27126.4 | 64 | 1994562 |
| 30-04-2013 | 24548.6 | 64 | 1704753 |
| 01-05-2013 | 25791.4 | 64 | 2104641 |
| 02-05-2013 | 26932.5 | 64 | 2019610 |
| 03-05-2013 | 26040.4 | 64 | 1919592 |
| 04-05-2013 | 25642.6 | 64 | 1874646 |
| 05-05-2013 | 26239.1 | 64 | 1949530 |
| 06-05-2013 | 26135.9 | 64 | 1899460 |
| 07-05-2013 | 24498.5 | 64 | 1704489 |
| 08-05-2013 | 22593.9 | 64 | 1469594 |
| 09-05-2013 | 27048.8 | 64 | 1934689 |
| 10-05-2013 | 26840.4 | 64 | 1939528 |
| 11-05-2013 | 28656.5 | 65 | 2089599 |
| 12-05-2013 | 28001.9 | 65 | 2019670 |
| 13-05-2013 | 27335.9 | 200 | 1969659 |
| 14-05-2013 | 26920.2 | 61 | 1974599 |
| 15-05-2013 | 25729.4 | 64 | 1799666 |
| 16-05-2013 | 26368.9 | 64 | 1934713 |
| 18-05-2013 | 26442.2 | 64 | 1904686 |
| 19-05-2013 | 25700.8 | 64 | 1794511 |
| 20-05-2013 | 25645.2 | 60 | 1859538 |
| 21-05-2013 | 25790.7 | 65 | 1839683 |
| 22-05-2013 | 26482.9 | 65 | 1909585 |

| | | | |
|------------|---------|----|---------|
| 23-05-2013 | 27229.8 | 65 | 1999607 |
| 24-05-2013 | 26067.8 | 65 | 1879589 |
| 25-05-2013 | 25285.4 | 65 | 1774629 |
| 26-05-2013 | 25946.5 | 65 | 1869690 |
| 27-05-2013 | 23589 | 52 | 1609727 |
| 28-05-2013 | 24692.5 | 54 | 1699781 |
| 29-05-2013 | 23323.8 | 54 | 1569855 |
| 30-05-2013 | 24402.6 | 54 | 1679553 |
| 31-05-2013 | 25207.5 | 54 | 1799758 |
| 01-06-2013 | 24882.2 | 54 | 1729672 |
| 02-06-2013 | 25867.2 | 55 | 1759684 |
| 03-06-2013 | 28776.6 | 72 | 2090364 |
| 04-06-2013 | 25566 | 72 | 1760000 |
| 05-06-2013 | 26905.1 | 72 | 2110000 |
| 06-06-2013 | 22754.3 | 72 | 1850000 |
| 07-06-2013 | 22280.9 | 71 | 1820000 |
| 08-06-2013 | 21711.9 | 71 | 1830000 |
| 09-06-2013 | 22010.6 | 76 | 1900000 |
| 10-06-2013 | 22869.7 | 76 | 1910000 |
| 11-06-2013 | 23753.5 | 76 | 2000000 |
| 12-06-2013 | 23236.8 | 76 | 1990000 |
| 13-06-2013 | 21369.8 | 76 | 1750000 |
| 14-06-2013 | 22126.8 | 76 | 1482004 |
| 15-06-2013 | 21622.6 | 76 | 608872 |
| 16-06-2013 | 19811.1 | 76 | 616073 |
| 17-06-2013 | 20846.5 | 58 | 623283 |
| 18-06-2013 | 20488.6 | 58 | 630131 |
| 19-06-2013 | 21994.7 | 58 | 637677 |
| 20-06-2013 | 21309.5 | 58 | 645152 |
| 21-06-2013 | 22286.3 | 58 | 653099 |
| 22-06-2013 | 20710.7 | 58 | 660126 |
| 23-06-2013 | 18517 | 58 | 666366 |
| 24-06-2013 | 22754.6 | 58 | 673090 |
| 25-06-2013 | 21521.5 | 58 | 680960 |
| 26-06-2013 | 20867.7 | 58 | 687935 |
| 27-06-2013 | 20376 | 56 | 694826 |
| 28-06-2013 | 19789.9 | 52 | 701174 |
| 29-06-2013 | 20011.3 | 64 | 707685 |
| 30-06-2013 | 20676.6 | 64 | 715093 |
| 02-07-2013 | 20359.6 | 64 | 730208 |
| 03-07-2013 | 20844.3 | 64 | 736870 |
| 04-07-2013 | 20579 | 64 | 743953 |
| 05-07-2013 | 19335 | 64 | 750391 |
| 06-07-2013 | 20212.7 | 64 | 757010 |
| 07-07-2013 | 19247 | 64 | 763972 |

Data lanjutan

| Tanggal | Bahan Bakar Gas (mmBTU) | DP (mmH ₂ O) | Beban Generator (kwh) |
|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 08-07-2013 | 19788.4 | 66 | 770767 |
| 11-07-2013 | 25444.4 | 53 | 793006 |
| 20-07-2013 | 22051.4 | 86 | 859572 |
| 21-07-2013 | 22156.9 | 86 | 912980 |
| 22-07-2013 | 22421.6 | 86 | 875203 |
| 23-07-2013 | 23177.9 | 86 | 884134 |
| 24-07-2013 | 20780.4 | 86 | 890920 |
| 25-07-2013 | 22753.5 | 59 | 898716 |
| 26-07-2013 | 24590.3 | 59 | 906078 |
| 27-07-2013 | 22207.3 | 59 | 913895 |
| 28-07-2013 | 22492.9 | 59 | 921076 |
| 29-07-2013 | 24455 | 59 | 929248 |
| 30-07-2013 | 25186.4 | 59 | 936888 |
| 01-08-2013 | 25060.3 | 88 | 1191432 |
| 02-08-2013 | 25014 | 88 | 962373 |
| 03-08-2013 | 25749.8 | 88 | 970268 |
| 04-08-2013 | 24289.6 | 88 | 978187 |
| 05-08-2013 | 26390.5 | 88 | 986706 |
| 06-08-2013 | 24124.2 | 88 | 995418 |
| 07-08-2013 | 23376 | 88 | 1026260 |
| 08-08-2013 | 21862.3 | 88 | 1033361 |
| 09-08-2013 | 21902.6 | 88 | 1016933 |
| 10-08-2013 | 25772.4 | 88 | 1025780 |
| 11-08-2013 | 26010.1 | 88 | 1033857 |
| 12-08-2013 | 26167.6 | 88 | 1042398 |
| 13-08-2013 | 22364.1 | 89 | 1049574 |
| 14-08-2013 | 23110.7 | 89 | 1057286 |
| 15-08-2013 | 23411.3 | 89 | 1064653 |
| 16-08-2013 | 25524.5 | 89 | 1071900 |
| 17-08-2013 | 18547.8 | 89 | 1079034 |
| 18-08-2013 | 23386.9 | 89 | 1085872 |
| 19-08-2013 | 23982.9 | 89 | 1093523 |
| 20-08-2013 | 23069.6 | 90 | 1100973 |
| 21-08-2013 | 23858.8 | 90 | 1108308 |
| 22-08-2013 | 22598.4 | 95 | 1115361 |
| 23-08-2013 | 23799.1 | 95 | 1123398 |
| 24-08-2013 | 20184.6 | 65 | 1130402 |
| 25-08-2013 | 19763 | 67 | 1137165 |
| 26-08-2013 | 22472.4 | 67 | 1144281 |
| 27-08-2013 | 24196.8 | 67 | 1152303 |
| 28-08-2013 | 23046.8 | 67 | 1160080 |
| 29-08-2013 | 22461.9 | 67 | 1167794 |
| 30-08-2013 | 23573.2 | 67 | 645751 |

| | | | |
|------------|---------|-----|---------|
| 31-08-2013 | 20224 | 67 | 1182745 |
| 02-09-2013 | 14219.1 | 92 | 1187467 |
| 03-09-2013 | 23068.2 | 92 | 1195532 |
| 04-09-2013 | 23732.7 | 92 | 1203553 |
| 05-09-2013 | 23964.6 | 92 | 1212006 |
| 06-09-2013 | 22868.6 | 79 | 1220152 |
| 07-09-2013 | 22990.6 | 79 | 1228181 |
| 08-09-2013 | 23539.4 | 79 | 1236806 |
| 09-09-2013 | 24863.3 | 96 | 1245452 |
| 10-09-2013 | 24526.3 | 100 | 1254242 |
| 11-09-2013 | 24165.3 | 100 | 1262981 |
| 12-09-2013 | 23739.9 | 100 | 1271137 |
| 13-09-2013 | 22200.1 | 100 | 1278390 |
| 14-09-2013 | 23044.1 | 100 | 1286018 |
| 15-09-2013 | 23167.4 | 100 | 1293885 |
| 16-09-2013 | 22360.7 | 100 | 1300815 |
| 17-09-2013 | 24983.4 | 100 | 1309705 |
| 18-09-2013 | 22078 | 100 | 1317298 |
| 19-09-2013 | 21599 | 100 | 1324528 |
| 20-09-2013 | 23321 | 100 | 1332166 |
| 21-09-2013 | 25782.8 | 100 | 1341058 |
| 22-09-2013 | 23363.1 | 92 | 1349527 |
| 23-09-2013 | 24611.1 | 92 | 1358804 |
| 24-09-2013 | 22524.9 | 92 | 1365497 |
| 25-09-2013 | 21401.7 | 92 | 1372803 |
| 26-09-2013 | 23631.6 | 92 | 1380683 |
| 27-09-2013 | 24717.3 | 92 | 1389327 |
| 28-09-2013 | 24175.1 | 92 | 1397679 |
| 29-09-2013 | 22989.5 | 92 | 1406167 |
| 30-09-2013 | 23919.6 | 92 | 1414518 |
| 01-10-2013 | 24269.6 | 92 | 1778461 |
| 02-10-2013 | 22638.6 | 92 | 1431382 |
| 03-10-2013 | 22048.3 | 92 | 1438983 |
| 04-10-2013 | 22908.3 | 92 | 1446693 |
| 05-10-2013 | 23247.4 | 92 | 1454411 |
| 06-10-2013 | 22630.4 | 92 | 1463015 |
| 07-10-2013 | 23398.5 | 92 | 1470996 |
| 08-10-2013 | 23002.6 | 92 | 1479229 |
| 09-10-2013 | 23625.7 | 92 | 1487813 |
| 10-10-2013 | 22270.3 | 88 | 1495950 |
| 11-10-2013 | 21731.5 | 88 | 1503611 |
| 12-10-2013 | 21316.7 | 108 | 1511296 |
| 13-10-2013 | 20626.7 | 108 | 1518808 |
| 14-10-2013 | 20967.7 | 108 | 1526805 |
| 15-10-2013 | 20590.6 | 108 | 1534681 |

Data lanjutan

| Tanggal | Bahan Bakar Gas (mmBTU) | DP (mmH ₂ O) | Beban Generator (kwh) |
|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 16-10-2013 | 17726.3 | 108 | 1541508 |
| 17-10-2013 | 18706 | 108 | 1547891 |
| 18-10-2013 | 19183.7 | 108 | 1555385 |
| 19-10-2013 | 19504.7 | 108 | 1562798 |
| 20-10-2013 | 18148.5 | 108 | 1569332 |
| 21-10-2013 | 20474.1 | 108 | 1576314 |
| 22-10-2013 | 19166.3 | 108 | 1583831 |
| 23-10-2013 | 21481.2 | 108 | 1591551 |
| 24-10-2013 | 23254.8 | 108 | 1600422 |
| 25-10-2013 | 22280.4 | 108 | 1608924 |
| 26-10-2013 | 22026.2 | 108 | 1616903 |
| 27-10-2013 | 22705.4 | 120 | 1624579 |
| 28-10-2013 | 24700.6 | 120 | 1632758 |
| 29-10-2013 | 23539.2 | 120 | 1640892 |
| 30-10-2013 | 25243.6 | 120 | 1649448 |
| 31-10-2013 | 24063.5 | 120 | 1657781 |
| 01-11-2013 | 25235.4 | 120 | 2081421 |
| 02-11-2013 | 25038.3 | 122 | 1673386 |
| 03-11-2013 | 25460.8 | 122 | 1681690 |
| 04-11-2013 | 21887.8 | 122 | 1688803 |
| 05-11-2013 | 23099.3 | 122 | 1695681 |
| 06-11-2013 | 25146.5 | 122 | 1703020 |
| 07-11-2013 | 25282.1 | 122 | 1710330 |
| 08-11-2013 | 24515.6 | 122 | 1718032 |
| 09-11-2013 | 23261.8 | 122 | 1725255 |
| 10-11-2013 | 23573.4 | 122 | 1732643 |
| 11-11-2013 | 25024.1 | 122 | 1741575 |
| 12-11-2013 | 23804.3 | 122 | 1749444 |
| 13-11-2013 | 24476.3 | 122 | 1757190 |
| 14-11-2013 | 24528.1 | 89 | 1764981 |
| 15-11-2013 | 23165.8 | 89 | 1772160 |
| 16-11-2013 | 21552.3 | 89 | 1778730 |
| 17-11-2013 | 22077.2 | 89 | 1785198 |
| 18-11-2013 | 21957.9 | 89 | 1791601 |
| 19-11-2013 | 22942.5 | 89 | 1797665 |
| 20-11-2013 | 23979.3 | 89 | 1804690 |
| 21-11-2013 | 24576.9 | 93 | 1812173 |
| 22-11-2013 | 24421.1 | 93 | 1819924 |
| 23-11-2013 | 26445.4 | 93 | 1827926 |
| 24-11-2013 | 25124.4 | 93 | 1835761 |
| 25-11-2013 | 24064.9 | 93 | 1843302 |
| 26-11-2013 | 24570.7 | 96 | 1433246 |
| 27-11-2013 | 25202 | 96 | 1857549 |

| | | | |
|------------|---------|-----|---------|
| 28-11-2013 | 24675.2 | 96 | 1865401 |
| 29-11-2013 | 26444.9 | 96 | 1873561 |
| 30-11-2013 | 25640.8 | 96 | 1881498 |
| 01-12-2013 | 24254.9 | 96 | 2360151 |
| 02-12-2013 | 24807.5 | 96 | 1895382 |
| 03-12-2013 | 25811.5 | 96 | 1904001 |
| 04-12-2013 | 27304.6 | 96 | 1912188 |
| 05-12-2013 | 27139.1 | 96 | 1920919 |
| 06-12-2013 | 24170.1 | 96 | 1928508 |
| 07-12-2013 | 24212.7 | 96 | 1936075 |
| 08-12-2013 | 23535.1 | 105 | 1943114 |
| 09-12-2013 | 23287.6 | 105 | 1949714 |
| 10-12-2013 | 24015.4 | 105 | 1957119 |
| 11-12-2013 | 23514.7 | 105 | 1963849 |
| 12-12-2013 | 26653.7 | 105 | 1971109 |
| 13-12-2013 | 24484.5 | 105 | 1979318 |
| 14-12-2013 | 20919 | 105 | 1985751 |
| 15-12-2013 | 23865.1 | 105 | 1992496 |
| 16-12-2013 | 22807.6 | 80 | 1998611 |
| 17-12-2013 | 24960.5 | 80 | 2004985 |
| 18-12-2013 | 25499.6 | 80 | 2073171 |
| 19-12-2013 | 25763.7 | 80 | 2020613 |
| 20-12-2013 | 22779.6 | 144 | 2027695 |
| 21-12-2013 | 21645.5 | 144 | 2034261 |
| 08-01-2014 | 23874.8 | 114 | 2114622 |
| 09-01-2014 | 24213.4 | 114 | 2122490 |
| 10-01-2014 | 24101 | 114 | 2130250 |
| 11-01-2014 | 23292.8 | 114 | 2137708 |
| 12-01-2014 | 23811 | 114 | 2145465 |
| 13-01-2014 | 24161.9 | 115 | 2153049 |
| 14-01-2014 | 24741.8 | 115 | 2160829 |
| 15-01-2014 | 22848 | 115 | 2168242 |
| 16-01-2014 | 23856.9 | 115 | 2175824 |
| 17-01-2014 | 24008.3 | 115 | 2183894 |
| 18-01-2014 | 22189 | 115 | 2191242 |
| 19-01-2014 | 21668.5 | 115 | 2198396 |
| 20-01-2014 | 22539.7 | 115 | 2205441 |
| 21-01-2014 | 18767.8 | 115 | 2211882 |
| 22-01-2014 | 21918.8 | 115 | 2518726 |
| 23-01-2014 | 21288.1 | 115 | 2226002 |
| 24-01-2014 | 22228.2 | 115 | 2233372 |
| 25-01-2014 | 22999.6 | 32 | 2241658 |
| 26-01-2014 | 20386.3 | 32 | 2248773 |
| 27-01-2014 | 22124 | 32 | 2255781 |
| 28-01-2014 | 21685.8 | 28 | 2263239 |

Data lanjutan

| Tanggal | Bahan Bakar Gas (mmBTU) | DP (mmH ₂ O) | Beban Generator (kwh) |
|------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 29-01-2014 | 22798.8 | 28 | 2270481 |
| 30-01-2014 | 23355.9 | 28 | 2278153 |
| 31-01-2014 | 20692.3 | 28 | 2284854 |
| 01-02-2014 | 20739.7 | 28 | 2863867 |
| 02-02-2014 | 20133.9 | 28 | 2297777 |
| 03-02-2014 | 21052 | 28 | 2304268 |
| 04-02-2014 | 21194.9 | 28 | 2311026 |
| 05-02-2014 | 24442.5 | 28 | 2318393 |
| 06-02-2014 | 23743.7 | 28 | 2326211 |
| 07-02-2014 | 23547.4 | 28 | 2333820 |
| 08-02-2014 | 22561.6 | 28 | 2340953 |
| 09-02-2014 | 20696 | 35 | 2347076 |
| 10-02-2014 | 21809.4 | 35 | 2353794 |
| 11-02-2014 | 23274.4 | 35 | 2360252 |
| 12-02-2014 | 24960.8 | 35 | 2368648 |
| 13-02-2014 | 23824.3 | 35 | 2511035 |
| 14-02-2014 | 22970.3 | 35 | 2384174 |
| 15-02-2014 | 23592.1 | 35 | 2382091 |
| 16-02-2014 | 23280.4 | 35 | 2397949 |
| 17-02-2014 | 22835.4 | 35 | 2403568 |
| 18-02-2014 | 22401.2 | 35 | 2413541 |
| 19-02-2014 | 22457.6 | 35 | 2419754 |
| 20-02-2014 | 22350.3 | 35 | 2426499 |
| 21-02-2014 | 22259.7 | 35 | 2433089 |
| 22-02-2014 | 21447.2 | 35 | 2440008 |
| 23-02-2014 | 20402.7 | 35 | 2446324 |
| 24-02-2014 | 21524.1 | 34 | 2453248 |
| 25-02-2014 | 21083.9 | 34 | 2459503 |
| 26-02-2014 | 23022.2 | 34 | 2466822 |
| 27-02-2014 | 22260 | 34 | 2473840 |
| 28-02-2014 | 23678.9 | 34 | 2481499 |
| 01-03-2014 | 21992.2 | 34 | 3110725 |
| 02-03-2014 | 22051.8 | 34 | 2495391 |
| 03-03-2014 | 22851.3 | 34 | 2503005 |
| 04-03-2014 | 23691.7 | 34 | 2510647 |
| 05-03-2014 | 21942.5 | 34 | 2518118 |
| 06-03-2014 | 20872 | 34 | 2524832 |
| 07-03-2014 | 21355.3 | 34 | 2531610 |
| 08-03-2014 | 20989.8 | 34 | 2538315 |
| 09-03-2014 | 20554.1 | 33 | 2544416 |
| 10-03-2014 | 21984.5 | 33 | 2550902 |
| 11-03-2014 | 21800.9 | 33 | 2557820 |
| 12-03-2014 | 21058.8 | 33 | 2564169 |

| | | | |
|------------|---------|----|---------|
| 13-03-2014 | 22482.2 | 33 | 2570574 |
| 14-03-2014 | 22683.7 | 34 | 2577561 |
| 15-03-2014 | 21740.9 | 34 | 2584500 |
| 16-03-2014 | 22347.7 | 34 | 2591278 |
| 17-03-2014 | 22335.9 | 26 | 2598192 |
| 18-03-2014 | 22188.9 | 26 | 2605497 |
| 19-03-2014 | 22460.4 | 26 | 2612394 |
| 20-03-2014 | 21634.9 | 36 | 2619240 |
| 21-03-2014 | 21932.1 | 36 | 2626062 |
| 22-03-2014 | 20834.5 | 36 | 2633093 |
| 23-03-2014 | 19387.5 | 36 | 2639981 |
| 24-03-2014 | 20447.8 | 36 | 2647312 |
| 25-03-2014 | 20047 | 36 | 2654291 |
| 26-03-2014 | 21646.1 | 36 | 2661718 |
| 27-03-2014 | 22660.2 | 36 | 2669852 |
| 28-03-2014 | 21805.8 | 36 | 2677761 |
| 29-03-2014 | 20037.8 | 36 | 2684951 |
| 30-03-2014 | 18579.6 | 36 | 2691329 |
| 31-03-2014 | 19787.1 | 36 | 2697843 |
| 01-04-2014 | 24047.5 | 36 | 1875000 |
| 02-04-2014 | 19152.1 | 36 | 1904000 |
| 03-04-2014 | 21831.4 | 36 | 1848000 |
| 04-04-2014 | 16636.6 | 36 | 1433000 |
| 05-04-2014 | 16632.5 | 36 | 1396000 |
| 06-04-2014 | 19330.7 | 36 | 1781000 |
| 07-04-2014 | 15710.8 | 36 | 1529000 |
| 08-04-2014 | 14144.6 | 36 | 1432000 |
| 09-04-2014 | 18497.7 | 36 | 1499000 |
| 10-04-2014 | 19994.2 | 36 | 1799000 |
| 11-04-2014 | 20782 | 36 | 1901000 |
| 12-04-2014 | 19702.3 | 36 | 1840000 |
| 13-04-2014 | 18817.9 | 36 | 1639000 |
| 14-04-2014 | 18894.1 | 36 | 1619000 |
| 15-04-2014 | 19062.6 | 36 | 1727000 |
| 16-04-2014 | 19261.2 | 36 | 1776000 |
| 17-04-2014 | 20384.6 | 36 | 1890000 |
| 18-04-2014 | 19964.4 | 36 | 1804000 |
| 19-04-2014 | 19902.8 | 29 | 1833000 |
| 20-04-2014 | 19008.7 | 29 | 1724000 |
| 21-04-2014 | 18751.9 | 29 | 1634000 |
| 22-04-2014 | 20472.8 | 33 | 1859000 |
| 23-04-2014 | 20152.3 | 33 | 1957000 |
| 24-04-2014 | 19625.4 | 33 | 1809000 |
| 25-04-2014 | 21067.7 | 39 | 1856000 |
| 26-04-2014 | 20800.6 | 39 | 1776000 |

Data lanjutan

| Tanggal | Bahan Bakar Gas (mmBTU) | DP (manf,O) | Beban Generator (kwh) |
|------------|-------------------------|-------------|-----------------------|
| 27-04-2014 | 18016.9 | 39 | 1478000 |
| 28-04-2014 | 20551 | 39 | 1854000 |
| 29-04-2014 | 21512.7 | 39 | 1886000 |
| 30-04-2014 | 22100.5 | 39 | 1936000 |

Lampiran 2

Tabel Perhitungan untuk Filter Baru

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 15 | 17458.82 | 1,231,842,190 | 449,622,399,177 | 15.46 | 23.61 | 8,631,170,571 | 458,253,569,748 | 869 |
| 16 | 17485.56 | 1,233,728,733 | 450,310,987,398 | 19.40 | 18.82 | 6,880,418,361 | 457,191,405,759 | 872 |
| 17 | 17512.30 | 1,235,615,276 | 450,999,575,620 | 23.33 | 15.64 | 5,720,141,223 | 456,719,716,843 | 876 |
| 18 | 17539.04 | 1,237,501,819 | 451,688,163,841 | 27.27 | 13.39 | 4,894,721,446 | 456,582,885,287 | 879 |
| 19 | 17565.77 | 1,239,388,362 | 452,376,752,062 | 31.20 | 11.70 | 4,277,478,725 | 456,654,230,787 | 882 |
| 20 | 17592.51 | 1,241,274,905 | 453,065,340,284 | 35.14 | 10.39 | 3,798,476,589 | 456,863,816,872 | 885 |
| 21 | 17619.25 | 1,243,161,448 | 453,753,928,505 | 39.07 | 9.34 | 3,415,950,420 | 457,169,878,925 | 888 |
| 22 | 17645.99 | 1,245,047,991 | 454,442,516,726 | 43.00 | 8.49 | 3,103,420,030 | 457,545,936,756 | 891 |
| 23 | 17672.73 | 1,246,934,534 | 455,131,104,948 | 46.94 | 7.78 | 2,843,283,764 | 457,974,388,711 | 894 |
| 24 | 17699.46 | 1,248,821,077 | 455,819,693,169 | 50.87 | 7.17 | 2,623,385,193 | 458,443,078,362 | 897 |
| 25 | 17726.20 | 1,250,707,620 | 456,508,281,390 | 54.81 | 6.66 | 2,435,058,613 | 458,943,340,004 | 900 |
| 26 | 17752.94 | 1,252,594,163 | 457,196,869,612 | 58.74 | 6.21 | 2,271,960,011 | 459,468,829,622 | 904 |
| 27 | 17779.68 | 1,254,480,706 | 457,885,457,833 | 62.68 | 5.82 | 2,129,338,348 | 460,014,796,181 | 907 |
| 28 | 17806.42 | 1,256,367,249 | 458,574,046,054 | 66.61 | 5.48 | 2,003,565,101 | 460,577,611,155 | 910 |
| 29 | 17833.15 | 1,258,253,793 | 459,262,634,275 | 70.55 | 5.17 | 1,891,821,235 | 461,154,455,511 | 913 |
| 30 | 17859.89 | 1,260,140,336 | 459,951,222,497 | 74.48 | 4.90 | 1,791,883,391 | 461,743,105,888 | 916 |
| 31 | 17886.63 | 1,262,026,879 | 460,639,810,718 | 78.41 | 4.65 | 1,701,974,443 | 462,341,785,161 | 919 |
| 32 | 17913.37 | 1,263,913,422 | 461,328,398,939 | 82.35 | 4.43 | 1,620,656,899 | 462,949,055,838 | 922 |
| 33 | 17940.10 | 1,265,799,965 | 462,016,987,161 | 86.28 | 4.23 | 1,546,755,463 | 463,563,742,623 | 925 |
| 34 | 17966.84 | 1,267,686,508 | 462,705,575,382 | 90.22 | 4.05 | 1,479,299,862 | 464,184,875,244 | 928 |
| 35 | 17993.58 | 1,269,573,051 | 463,394,163,603 | 94.15 | 3.88 | 1,417,482,010 | 464,811,645,613 | 932 |
| 36 | 18020.32 | 1,271,459,594 | 464,082,751,825 | 98.09 | 3.72 | 1,360,623,477 | 465,443,375,301 | 935 |
| 37 | 18047.06 | 1,273,346,137 | 464,771,340,046 | 102.02 | 3.58 | 1,308,150,487 | 466,079,490,533 | 938 |

Data lanjutan

| DP | Bahan Bakar (mmBTU) | Bahan Bakar per hari (Rupiah) | Bahan Bakar per tahun (Rupiah) | Waktu (hari) | Frekuensi Penggantian | Biaya Penggantian (Rupiah) | Biaya Total (Rupiah) | Biaya Produksi Listrik (Rp/kwh) |
|----|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 38 | 18073.79 | 1,275,232,680 | 465,459,928,267 | 105.96 | 3.44 | 1,259,574,493 | 466,719,502,760 | 941 |
| 39 | 18100.53 | 1,277,119,223 | 466,148,516,489 | 109.89 | 3.32 | 1,214,476,911 | 467,362,993,399 | 944 |
| 40 | 18127.27 | 1,279,005,766 | 466,837,104,710 | 113.83 | 3.21 | 1,172,497,034 | 468,009,601,744 | 947 |
| 41 | 18154.01 | 1,280,892,309 | 467,525,692,931 | 117.76 | 3.10 | 1,133,322,364 | 468,659,015,296 | 950 |
| 42 | 18180.75 | 1,282,778,852 | 468,214,281,153 | 121.69 | 3.00 | 1,096,680,814 | 469,310,961,966 | 953 |
| 43 | 18207.48 | 1,284,665,396 | 468,902,869,374 | 125.63 | 2.91 | 1,062,334,382 | 469,965,203,756 | 956 |
| 44 | 18234.22 | 1,286,551,939 | 469,591,457,595 | 129.56 | 2.82 | 1,030,073,979 | 470,621,531,574 | 960 |
| 45 | 18260.96 | 1,288,438,482 | 470,280,045,817 | 133.50 | 2.73 | 999,715,163 | 471,279,760,979 | 963 |
| 46 | 18287.70 | 1,290,325,025 | 470,968,634,038 | 137.43 | 2.66 | 971,094,614 | 471,939,728,652 | 966 |
| 47 | 18314.43 | 1,292,211,568 | 471,657,222,259 | 141.37 | 2.58 | 944,067,194 | 472,601,289,453 | 969 |
| 48 | 18341.17 | 1,294,098,111 | 472,345,810,481 | 145.30 | 2.51 | 918,503,486 | 473,264,313,966 | 972 |
| 49 | 18367.91 | 1,295,984,654 | 473,034,398,702 | 149.24 | 2.45 | 894,287,719 | 473,928,686,421 | 975 |
| 50 | 18394.65 | 1,297,871,197 | 473,722,986,923 | 153.17 | 2.38 | 871,316,021 | 474,594,302,944 | 978 |
| 51 | 18421.39 | 1,299,757,740 | 474,411,575,144 | 157.10 | 2.32 | 849,494,922 | 475,261,070,066 | 981 |
| 52 | 18448.12 | 1,301,644,283 | 475,100,163,366 | 161.04 | 2.27 | 828,740,087 | 475,928,903,453 | 984 |
| 53 | 18474.86 | 1,303,530,826 | 475,788,751,587 | 164.97 | 2.21 | 808,975,229 | 476,597,726,816 | 988 |
| 54 | 18501.60 | 1,305,417,369 | 476,477,339,808 | 168.91 | 2.16 | 790,131,166 | 477,267,470,974 | 991 |
| 55 | 18528.34 | 1,307,303,912 | 477,165,928,030 | 172.84 | 2.11 | 772,145,016 | 477,938,073,046 | 994 |
| 56 | 18555.08 | 1,309,190,455 | 477,854,516,251 | 176.78 | 2.06 | 754,959,497 | 478,609,475,748 | 997 |
| 57 | 18581.81 | 1,311,076,999 | 478,543,104,472 | 180.71 | 2.02 | 738,522,313 | 479,281,626,785 | 1,000 |
| 58 | 18608.55 | 1,312,963,542 | 479,231,692,694 | 184.65 | 1.98 | 722,785,627 | 479,954,478,321 | 1,003 |
| 59 | 18635.29 | 1,314,850,085 | 479,920,280,915 | 188.58 | 1.94 | 707,705,595 | 480,627,986,510 | 1,006 |
| 60 | 18662.03 | 1,316,736,628 | 480,608,869,136 | 192.52 | 1.90 | 693,241,955 | 481,302,111,091 | 1,009 |
| 61 | 18688.76 | 1,318,623,171 | 481,297,457,358 | 196.45 | 1.86 | 679,357,672 | 481,976,815,029 | 1,012 |
| 62 | 18715.50 | 1,320,509,714 | 481,986,045,579 | 200.38 | 1.82 | 666,018,619 | 482,652,064,198 | 1,016 |
| 63 | 18742.24 | 1,322,396,257 | 482,674,633,800 | 204.32 | 1.79 | 653,193,298 | 483,327,827,099 | 1,019 |
| 64 | 18768.98 | 1,324,282,800 | 483,363,222,022 | 208.25 | 1.75 | 640,852,593 | 484,004,074,614 | 1,022 |
| 65 | 18795.72 | 1,326,169,343 | 484,051,810,243 | 212.19 | 1.72 | 628,969,543 | 484,680,779,786 | 1,025 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1 Data <i>monitoring</i> unit 3.2 (Januari 2013-April 2014)..... | 61 |
| Lampiran 2 Tabel Perhitungan untuk Filter Baru..... | 67 |
| Lampiran 3 Tabel Perhitungan untuk Filter Bekas..... | 74 |
| Lampiran 4 SOP Penggantian Filter..... | 80 |
| Lampiran 5 Gambar Teknik Modifikasi IAF..... | 83 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT PJB. 2014. **Power Plant Academy : Work Planning and Controlling**. Surabaya: PT PJB.
- [2] Raja, A.K., Srivastava, A.P., Dwivedi, M. 2006. **Power Plant Engineering**. New Delhi: New Age.
- [3] Wilcox, M., Kurz R., dan Brun, K. 2012. **Technology Review of Modern Gas Turbine Inlet Filtration Systems**. San Antonio: Hindawi.
- [4] Bentley, John. 1999. **Introduction to Reliability and Quality Engineering**. Harlow: Addison Wesley.
- [5] Wilcox, M., Baldwin, R., Hernandez, A.G., dan Brun, K. 2010. **Guidline For Gas Turbine Inlet Air Filtration Systems**. Southwest Research Institute.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Erwin Atsiruddin, dilahirkan di Rembang pada tanggal 28 April 1992. Merupakan anak pertama dari pasangan Achmad Mahjudin dan Siwi Ernawati. Penulis mengenyam pendidikan dasar di SDN Krikilan 2 Rembang. Jenjang pendidikan selanjutnya di SMPN 2 Sumber Rembang dan SMAIT Ittihadul Muwahidin Pati.

Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan Jurusan Teknik Mesin melalui jalur masuk SNMPTN pada tahun 2010. Selama kuliah penulis aktif dalam akademik dan kemahasiswaan. Dalam bidang kemahasiswaan penulis aktif berkecimpung menjadi pengurus Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin dan pernah menjabat sebagai Kepala Biro Otomotif (2012-2013). Selain itu penulis juga turut berpartisipasi aktif di berbagai event Jurusan Teknik Mesin baik skala kecil maupun nasional. Dalam bidang akademik penulis memilih bidang studi manufaktur dan menjadi anggota Laboratorium Sistem Manufaktur.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)