



Tesis - TF 185471

**STUDI KONTROL DEVIASI OPERASIONAL UNTUK
MENURUNKAN KONSUMSI BAHAN BAKAR DIESEL
PADA TRUK TAMBANG KAPASITAS 100 TON**

I DEWA BAGUS SUGATA WIRANTAYA
NRP. 02311650022020

DOSEN PEMBIMBING
TOTOK B. RIYANTO, PhD.

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

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M. T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

I Dewa Bagus Sugata Wirantaya

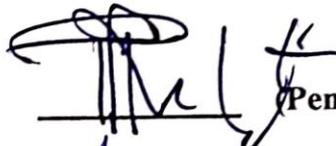
NRP. 02311650022020

Tanggal Ujian : 10 Januari 2019

Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh :

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



(Pembimbing)

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



(Penguji)

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



(Penguji)

Dekan Fakultas Teknologi Industri


Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.
NIP. 19690507 199512 1 001

**STUDI KONTROL DEVIASI OPERASIONAL UNTUK MENURUNKAN
KONSUMSI BAHAN BAKAR DIESEL PADA TRUK TAMBANG
KAPASITAS 100 TON**

Nama Mahasiswa : I Dewa Bagus Sugata Wirantaya
NRP : 241 202 220
Pembimbing : Totok R. Biyanto, Ph. D.

ABSTRAK

Bisnis tambang adalah satu aktifitas dalam dunia industri yang menggunakan bahan bakar khususnya diesel dalam jumlah yang banyak.. Kebanyakan *operator* mengoperasikan unit truk dalam modus daya tinggi, sehingga terjadi pemborosan diesel. Produktifitas alat secara keseluruhan tidak jauh berbeda antara modus ekonomis dengan modus daya tinggi.

Kontrol penghemat bahan bakar (FSC - *fuel saver control*) dibangun dengan menggunakan piranti keras yang dihubungkan ke dalam ECM – *Electronic Control Module* dan diintegrasikan ke dalam sistem pemantauan terhubung melalui radio frekuensi sehingga setiap variabel-variabel deviasi operasional seperti *engine over speeding, ground speed, overload, dan excess dumping rpm*) yang dilakukan oleh *operator* pada saat beroperasi dapat dikendalikan langsung oleh kontrol modul FSC sehingga variabel bahan bakar dapat lebih diefisienkan. .

Konsumsi normal rata-rata diesel sebuah truk CAT 777D adalah 55 liter setiap jam. Target umur normal truk tambang selama 20 tahun, untuk ketersediaan fisik dan utilisasi masing-masing sama sebesar 85% maka truk CAT 777D akan mengkonsumsi diesel sebanyak 6.960.000 liter selama umur truk tersebut. Target pengurangan konsumsi diesel hasil eksperimen berkisar antara 5 – 7 % sehingga dalam 20 tahun sebuah truk CAT 777D akan mampu menghemat diesel berkisar antara 348.000 – 487.000 liter. Angka penghematan ini akan berdampak signifikan bagi konservasi minyak diesel di dunia.

Kata kunci: deviasi operasional, konsumsi diesel, konservasi energi, kontrol penghemat bahan bakar, sistem pemantauan terhubung

A STUDY OF OPERATIONAL DEVIATION CONTROL TO REDUCE DIESEL FUEL CONSUMPTION OF A HUNDRED TONS MINE HAULTRUCK

By : I Dewa Bagus Sugata Wirantaya
Student Identity Number : 2416 202 220
Supervisor : Totok R. Biyanto, PhD.

ABSTRACT

Mining business is one of the activities that consume much fuel, especially diesel oil in the industrial world.. Most of operators operate the truck in powerful mode, thus the truck is operated in non-economic mode. The overall truck's productifity no significant different between economic mode versus powerful mode.

The FSC - Fuel Saver Control sistem is developed through hardware connected in the ECM - electronic control module and integrated through an online radio frequency monitoring sistem thus operational deviation variables such as engine over speeding, ground speed, overload, dan excess dumping rpm performed by truck's operator can be controlled by FSC control module thus fuel burning is more efficient.

Diesel oil average normal consumption of a CAT 777D Truck is 55 litres/hour . Normal life cycle of 100 Ton Mine Truck around 20 years, for Truck's Physical Availability and Utilization set of 85% each, it means that a CAT 777D truck will consumes total diesel fuel 6.96M litres during it services lfe. The reduction target of fuel consumption between 5-7% thus a CAT 777D unit will be capable of saving diesel oil between 348K - 487K liters within 20 years. This number will impact significantly for diesel oil conservation in the world

Keywords: *diesel fuel consumption, energy conservation, fuel saver control, online monitoring sistem, operational deviation*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas perkenan Nya, laporan Tesis dengan judul **“STUDI KONTROL DEVIASI OPERASIONAL UNTUK MENURUNKAN KONSUMSI BAHAN BAKAR DIESEL PADA TRUK TAMBANG KAPASITAS 100 TON”** dapat terselesaikan..

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

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

1. Prof. Ir. Joni Hermana, M. ScES., Ph. D. selaku Rektor Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang telah berkenan memberikan kesempatan terhadap saya untuk mengenyam pendidikan di lingkungan ITS.
2. Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri yang telah memberikan kesempatan terhadap saya untuk menjadi bagian dari keluarga Fakultas Teknologi Industri ITS.
3. Agus Muhamad Hatta, S.T., M. Si., Ph. D. selaku Kepala Departement Teknik Fisika yang telah berkenan memberikan kesempatan terhadap saya untuk mengenyam pendidikan di program Pascasarjana Teknik Fisika ITS.
4. Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph. D, selaku dosen pembimbing utama, atas segala ilmu dan arahan yang telah beliau berikan terhadap saya, sehingga laporan tesisi ini dapat selesai dengan baik.
5. Dr. rer. nat. Ir. Aulia M.T. Nasution, M. Sc. dan Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. selaku Kaprodi dan Sekprodi dari Pascasarjana Teknik Fisika ITS, yang memberikan kemudahan dan menjembatani fasilitas, selama penulis menempuh pendidikan di Teknik Fisika, ITS.

6. I Dewa Ayu Bidardani dan I Dewa Winayaka Pawitra, selaku keluarga penulis, yang senantiasa memberikan semangat dan motivasi terhadap penulis dalam menyelesaikan laporan tesis ini.
7. Dr. Ir. Ali Musyafa' dan Agus Muhamad Hatta, S.T., M. Si., Ph. D, selaku dosen penguji, yang telah memberikan banyak masukan dan tambahan yang bersifat positif, sehingga laporan ini dapat terselesaikan dengan baik.
8. Ibu Martha selaku pegawai TU Pascasarjana Teknik Fisika, yang telah membantu penulis selama mengenyam pendidikan di Teknik Fisika ITS.
9. Teman-teman Pascasarjana Teknik Fisika kelas kerjasama ataupun kelas reguler yang selalu memberikan semangat dan bantuan beserta dukungannya selama penulis menempuh pendidikan studi pada Teknik Fisika bidang rekayasa energi terbarukan

Diharapkan laporan penelitian tesis ini dapat menjadi bahan evaluasi dan tolak ukur dalam pelaksanaan dan implemementasi dari optimasi konsumsi bahan bakar pada kendaraan dan menjadi bahan perbaikan untuk inovasi dan pembaharuan dari teknologi pertambangan di masa yang akan datang.

Surabaya, 15 Januari, 2019

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	6
1.4 Kebaruan Penelitian	8
BAB II DASAR TEORI	11
2.1 Peran <i>Operator</i> dalam Keandalan Alat dan Fungsi Monitoring Operasional Alat	11
2.2 Siklus Diesel	12
2.3 Emisi Gas Buang	15
2.4 Torsi dan <i>Horsepower</i> Optimum Mesin Diesel	15
2.5 Kajian Penelitian Empiris	16
2.6 <i>The Principle Component Analysis</i> (PCA)	18
2.7 <i>Partial Least Square</i> (PLS)	19
2.7.1 Kelebihan dan Kelemahan Analisis PLS	20
2.7.2 Jenis Indikator dalam Penelitian Analisis PLS	21
2.7.3 Langkah – langkah Analisis PLS	22
2.8 Jaringan Syaraf Tiruan (<i>Artificial Neural Network</i>)	23
2.8.1 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan	23
2.8.2 Fungsi Aktivasi	26
2.8.3 Algoritma Pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan	28
2.8.4 <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	32
2.9 Perhitungan <i>Fuel Ratio</i>	33

BAB III METODOLOGI	35
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2 Penentuan Parameter <i>Setting Limit</i> FSC.....	37
3.4 Lokasi Penelitian	37
3.5 Jenis Data dan Teknik Pengumpulan Data.....	38
3.6 Analisis <i>Principle Componen Analysis</i> (PCA) pada Sisitem Operasi <i>Haultruck</i>	39
3.6.1 <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)	39
3.6.2 Konsep Dasar <i>Principal Component Analysis</i> (PCA).....	40
3.6.3 Kriteria Dalam <i>Principal Componen Analysis</i> (PCA)	40
3.6.3 Penentuan Banyak Komponen Utama.....	41
3.7 Uji Korelasi pada Permodelan Jaringan Saraf Tiruan (JST)	42
3.7.1 Perancangan Model JST dengan Variasi <i>Hidden node</i>	43
3.7.2 Pengujian Model JST	46
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Sistem desain dan Studi Kelayakan FSC-CoredataQ.....	47
4.1.1 Sistem Desain CoredataQ.....	48
4.1.2 Studi Kelayakan CoredataQ.....	51
4. 2 Data Pengujian <i>Haultruck</i> dengan Implementasi FSC-CoredataQ Terhadap <i>Paylaod</i>	62
4.3 Data Operasional FSC-CoredataQ dan Analisa PCA (<i>Principle Component Analysis</i>)	67
4.4 Permodelan Jaringan Saraf Tiruan (JST) pada <i>Haultruck</i> dengan FSC- CoredataQ.....	76
4.5.1 Uji Korelasi	76
4.5.2 Permodelan JST pada Matlab.....	78
4.5 <i>Feasibility Study</i> Terhadap Penggunaan FSC-CoredataQ pada <i>Haultruck</i>	85
4.5.1 <i>Total capital investment</i>	85
4.5.2 <i>Total production cost</i>	85
BAB V PENUTUP	91
4.1 Kesimpulan.....	91

4.2 Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN I.....	97
LAMPIRAN II	99
BIODATA PENULIS	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kebaharuan penelitian dan implikasinya.....	8
Gambar 2. 1 Sistem bahan bakar mesin diesel (Benett, 2010).....	13
Gambar 2. 2 Sistem bahan bakar mesin diesel (Benett, 2010).....	14
Gambar 2. 3 Hubungan Torsi dan Horsepower Mesin Diesel pada medium dan heavy trucks (Benett, 2010)	16
Gambar 2. 4 Arsitektur <i>Single-Layer</i>	24
Gambar 2. 5 Arsitektur <i>Multi-Layer</i>	25
Gambar 2. 6 Fungsi Sigmoid Logaritmik.....	27
Gambar 2. 7 Fungsi Sigmoid Tangen.....	28
Gambar 2. 8 Fungsi Linear	28
Gambar 2. 9 Blok diagram pelatihan menggunakan algoritma LM untuk 5 output	31
Gambar 3. 1 Tahapan penelitian implementasi sistem kontrol penghemat bahan bakar Cat 777D (data diolah sendiri)	35
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	36
Gambar 4. 1 Sistem desain CoredataQ.....	49
Gambar 4. 2 <i>Controller</i> FSC	49
Gambar 4. 3 Skema logika FSC dalam modul CoredataQ (sumber: APS Indonesia, 2017).....	51
Gambar 4. 4 Konfigurasi Sistem Transmisi Data CoredataQ (Sumber: APS Indonesia, 2016).....	53
Gambar 4. 5 Konfigurasi perangkat CoredataQ di Unit CAT777D (Sumber: APS Indonesia, 2016).....	54
Gambar 4. 6 Map lokasi dan pengujian unit <i>haultruck</i>	54
Gambar 4. 7 Penggunaan <i>actual gear</i> operasional HT 2074.....	55
Gambar 4. 8 <i>Air filter restriction</i> HT 2074	56
Gambar 4. 9 <i>Nilai Boost Pressure</i> HT 2074.....	56
Gambar 4. 10 <i>Air Brake system pressure</i> HT 2074	57
Gambar 4. 11 <i>Brake cooling oil temperature</i> HT 2074.....	57
Gambar 4. 12 <i>Water cooling temperature</i> HT 2074.....	58

Gambar 4. 13 <i>Engine oil pressure</i> HT 2074	58
Gambar 4. 14 <i>Engine RPM</i> HT 2074.....	59
Gambar 4. 15 Tekanan oli pada silinder suspensi belakang HT 2074.....	60
Gambar 4. 16 Kapasitas bahan bakar di dalam tangki HT 2074.....	60
Gambar 4. 17 Kecepatan unit terhadap <i>ground</i> HT 2074	61
Gambar 4. 18 Kapasitas (<i>tonage</i>) muatan HT 2074.....	61
Gambar 4. 19 Persentasi <i>opening throttle</i> HT 2074.....	62
Gambar 4. 20 <i>Paylaod distribution evaluation</i> (%) pada haultruck	63
Gambar 4. 21 <i>Time distribution</i> pada pengoperasian	64
Gambar 4. 22 <i>Fleet load over SKO</i>	65
Gambar 4. 23 Baseline pada penggunaan sistem FSC-CoredataQ pada HT 2074	68
Gambar 4. 24 Data optimasi setelah penggunaan sistem FSC-CoredataQ pada HT 2074	69
Gambar 4. 25 Nilai rasio konsumsi bahan bakar pada HT 2074	70
Gambar 4. 26 Nilai <i>eigenvalue</i> pada sistem pengoperasian HT 2074	71
Gambar 4. 27 Korelasi hubungan variabel dengan <i>principal component</i>	73
Gambar 4. 28 Grafik PCA terhadap pengoperasian HT 2074	74
Gambar 4. 29 Hubungan antara variabel berpengaruh terhadap variabel lain pada PCA	75
Gambar 4. 30 Permodelan JST pada matlab terhadap <i>paylaod</i>	79
Gambar 4. 31 Plot Regresi untuk 20 <i>hidden node</i>	81
Gambar 4. 32 Plot Regresi untuk 10 <i>hidden node</i>	82
Gambar 4. 33 Performansi Pelatihan untuk 20 <i>hidden node</i>	82
Gambar 4. 34 Hasil Pelatihan JST Menggunakan 10 <i>hidden node</i>	83
Gambar 4. 35 Hasil Pengujian JST	84
Gambar 4. 36 <i>Capital cost</i> dan <i>annual income</i> penggunaan FSC-CoredataQ.....	88
Gambar 4. 37 <i>Cashflow</i> dan <i>investment payback</i> pada pemasangan FSC- CoredataQ pada <i>haultruck</i>	89
Gambar 4. 38 Nilai NPV, IRR, dan <i>payback period</i>	89

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Pedoman Menentukan Tingkat Hubungan Berdasarkan Koefisien Korelasi	43
Tabel 3. 2 Parameter Model JST	45
Tabel 4. 1 Produktifitas muatan (<i>payload</i>) Truk HT2074	66
Tabel 4. 2 Nilai <i>eigenvalue</i>	72
Tabel 4. 3 Uji korelasi Pearson.....	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Topik penghematan energi sudah merupakan persyaratan bagi semua perusahaan tambang di Indonesia. Peraturan pemerintah PERMEN ESDM No. 25 Th. 2013 mewajibkan semua usaha pertambangan di Indonesia menggunakan bahan bakar nabati (*biofuel*). Lebih lanjut secara global, perusahaan tambang internasional wajib melakukan konservasi energi dan melaporkan penggunaan energi secara berkala ke bagian auditor internasional. Kebijakan konservasi energi dalam satu perusahaan tidak hanya melibatkan tingkat manajemen atas untuk mengejar kredibilitas sebagai perusahaan internasional tetapi lebih jauh harus melibatkan peran aktif dari level bawah pelaku di lapangan karena konservasi energi nyata yang terjadi secara aktual dari operasional lapangan. Khusus perusahaan tambang, pelaku nyata penghematan energi adalah dilakukan oleh *operator* alat berat sehingga *operator* yang sadar akan hemat energi akan berperan aktif dalam mewujudkan kelangsungan jangka panjang persediaan energi. Fokus utama perusahaan tambang seharusnya bukan hanya menyediakan alat yang handal bagi para *operator* agar memiliki produktifitas dan nilai ekonomis yang tinggi tetapi juga harus mengembangkan sistem yang mampu mengontrol operasional di lapangan agar operasi yang hemat energi dapat diwujudkan.

Dunia pertambangan merupakan salah satu pengguna besar bahan bakar fosil di dunia. Berdasarkan data statistik pada *Global Mining*, kebutuhan energi tambang 35% berasal dari bahan bakar fosil, energy listrik 32%, dan sisanya energi dalam bentuk lain (energydigital.com). Konsumsi bahan bakar fosil terbesar di dunia tambang adalah bahan bakar diesel yang mayoritas digunakan oleh dunia transportasi salah satunya adalah truk pengangkut (*haultruck*) tambang. Truk kelas 300 ton pada beban maksimum rata-rata menghabiskan minyak diesel 180 liter per jam dan truk kelas 100 Ton pada beban maksimum rata-rata menghabiskan minyak diesel setara 55 liter setiap jam (sumber: CAT Datasheet, 2015). Pada umumnya, kalender produksi alat tambang selama 24 jam setiap hari, jika faktor ketersediaan

alat dan utilisasi maksimum masing-masing sebesar 85%, maka setiap unit truk 100 ton akan menghabiskan bahan bakar rata-rata sebesar: $85\% \times 24 \text{ jam/hari} \times 85\% \times 55 \text{ liter/jam} = 953.7 \text{ liter/hari}$. Untuk operasional selama satu tahun, maka satu unit truk kapasitas 100 Ton akan menghabiskan diesel sebanyak 348.100,5 liter per tahun (2.189,3 barel). Penghematan 1 % konsumsi diesel setara dengan 3.481 liter/tahun (\$ 1.566,45 /tahun, untuk harga diesel industri @ \$0.45 /liter). Konsumsi ini sangat signifikan pengaruhnya jika tidak dilakukan penggunaan bahan bakar secara efisien sehingga peran dunia tambang dalam melakukan konservasi energi sangat dibutuhkan.

Kenaikan dan penurunan konsumsi rata-rata bahan bakar diesel tergantung dari karakteristik operasional alat. Hal ini tentunya dipengaruhi oleh *operator* yaitu kemampuan *operator* dalam mengoperasikan unit tersebut selalu pada zona optimum. Untuk memastikan *operator* selalu mengoperasikan alat pada zona optimum, dibutuhkan sebuah rencana kerja jangka panjang dan menyeluruh yang ditetapkan dalam kerangka kerja penghematan energi. Komponen kerangka kerja tersebut meliputi sistem manajemen untuk merampingkan proses-proses operasional, dan pemasangan piranti sistematis yang memiliki kemampuan untuk menyajikan informasi berupa: i) konsumsi energi secara real-time, ii) peramalan konsumsi energi berdasarkan parameter spesifik, iii) menetapkan target konsumsi energi yang optimal untuk setiap wilayah tambang, iv) mengidentifikasi dan mengukur konsumsi energi jika berada di atas target, vi) mengidentifikasi dan menganalisis akar penyebab kelebihan konsumsi, dan vii) pelaporan konsumsi berlebihan dan perubahan konsumsi sehari-hari (Staff Writer, 2015)

Piranti sistematis yang dibangun harus memiliki kemampuan dasar mengontrol operasional secara *real-time*. Piranti tersebut harus mampu menangkap semua praktik-praktik operasional yang boros energi dan memiliki kemampuan pula melakukan intervensi langsung ke *operator* apabila terjadi indikasi praktik pemborosan, sehingga pemborosan dapat dicegah. Praktik-praktik pemborosan yang terjadi dalam operasional alat berat terutama alat truk tambang berupa;

- Laju kendaraan yang melebihi batas kecepatan (*overspeeding*), *operator* memacu kendaraannya melebihi batas kecepatan yang diijinkan yaitu 40 km/jam dengan tujuan tertentu, tidak berkaitan dengan produksi.
- Penggunaan RPM mesin tinggi saat dumping dengan tujuan mempercepat dumping material. Unit sudah dilengkapi dengan *auto dumping* sistem dengan hanya menekan satu tombol dan unit mengatur sendiri kecepatan putar mesin untuk menggerakkan sistem hidrolik, tetapi *operator* tetap menambah akselerasi mesin dengan tujuan mempercepat proses dumping. Penambahan akselerasi mesin ini tidak mempengaruhi kecepatan dumping dan boros bahan bakar.
- Variasi yang tinggi antara kecepatan dan RPM mesin sehingga unit mendengung (*engine overrunning*). Kondisi ini terjadi pada saat unit di penurunan dimana penggunaan transmisi rendah tidak diimbangi pengaturan kecepatan dan rpm mesin sehingga mesin berputar kencang tetapi kecepatan rendah.
- Penggunaan rasio gigi transmisi yang tidak tepat atau terjadi keterlambatan dalam pemindahan transmisi (*transmission hunting*). Kasus semacam ini terjadi umumnya di tanjakan dimana transmisi tersentak karena tidak seimbang antara torsi dengan kecepatan unit.

Semua kondisi deviasi operasional yang disebutkan di atas seharusnya dalam unit alat berat sepenuhnya dikontrol oleh *operator* pada saat beroperasi karena indikator-indikator deviasi operasional sudah muncul di layar dashboard alat. Namun demikian, tidak semua *operator* mampu melakukan hal tersebut yang disebabkan oleh faktor individu *operator* (*skill, knowledge, familiarisation, dan behaviour*), alat (*substandard condition*) dan faktor lain dari lingkungan berupa topografi jalan, kekasaran permukaan jalan yang tidak merata atau berlubang, dan tuntutan produktifitas yang tinggi.

Alat berat dunia tambang semenjak 10 tahun terakhir sudah menggunakan teknologi instrumentasi digital sehingga parameter-parameter alat selama beroperasi sudah ditampilkan di layar panel *operator*. Meskipun demikian, hanya *operator* yang benar-benar memiliki kompetensi tinggi dan jam operasional yang lama yang bisa mengontrol semua indikator panel alat tersebut untuk membuat

keputusan dalam beroperasi sehingga menghindari kejadian-kejadian pemborosan di atas, dan dalam perusahaan tambang umumnya jumlah *operator* berkemampuan tersebut hanya sebagian kecil saja. Salah satu penyebab kesenjangan di atas adalah perusahaan tambang dituntut melakukan pemberdayaan tenaga kerja lokal melalui UU No.32 tahun 2004 (Permenakertrans 07/MEN/IV/2008) yaitu memasukan isu ketenagakerjaan sebagai urusan wajib daerah yang intinya mengatur penempatan tenaga kerja lokal di setiap perusahaan yang berinvestasi di daerahnya sehingga kesempatan kerja tenaga kerja lokal terlindungi. Perusahaan mengharapkan merekrut *operator-operator* yang siap untuk bekerja (kompeten) dari sumber lokal (Brady, 2009), fakta di lapangan hampir sebagian besar perusahaan tambang menghadapi permasalahan yang sama yaitu kualitas *operator* lokal yang rendah sehingga kebanyakan *operator* tersebut belajar sambil bekerja. Akibatnya, selain kerugian dari sisi produksi, umur alat, dan biaya, juga terjadi pemborosan penggunaan bahan bakar.

Uraian pada pendahuluan menyebutkan, indikator-indikator fungsi kontrol alat berat sudah disusun sedemikian rupa dan ditampilkan dalam bentuk layar panel operasional, namun demikian praktik-praktik deviasi operasional masih sering dilakukan di lapangan sehingga terjadi pemborosan penggunaan bahan bakar. Program pengembangan kemampuan *operator* dalam mengoperasikan alat yang hemat energi terus dilakukan oleh perusahaan tambang namun butuh jangka waktu yang sangat panjang, Di sisi lain, tuntutan konservasi energi jauh lebih cepat menuntut segera untuk dilakukan penghematan bahan bakar, sehingga perlu upaya khusus pemenuhannya melalui sistem monitoring online yang terintegrasi secara penuh dalam operasi alat untuk mengambil alih fungsi kontrol *operator* menjadi fungsi kontrol alat.

Sebagian peralatan tambang dalam beroperasi sudah menyediakan pilihan *economic mode* atau *powerfull mode*, tetapi semuanya tergantung dari tingkat kemampuan *operator* dalam menggunakan pilihan tersebut. Ini berarti, penghematan bahan bakar tidak bisa dilakukan secara mutlak karena masih bergantung pada parameter kemampuan dalam memilih. Banyak perusahaan tambang tidak menyadari kondisi deviasi operational ini dan menganggap sebagai

hal yang wajar sehubungan economic margin dari produk tambang masih sangat tinggi dibandingkan pemborosan bahan bakar tersebut. Dari sisi nilai ekonomi, deviasi operational ini belum diangkat menjadi issue ke permukaan berhubung belum ada fasilitas atau sistem yang mampu mengintegrasikan kapabilitas kerangka kerja penghematan energi dalam bentuk piranti sistem. Di sisi lain, tuntutan untuk konservasi energi sudah menjadi fokus perusahaan tambang dengan tahap demi tahap menggunakan bahan bakar biodiesel, tetapi penghematan dari sisi meminimalkan deviasi operational belum menjadi fokus utama.

Beberapa penelitian dan implementasi empiris yang sudah dilakukan dalam penghematan bahan bakar alat berat lebih berfokus pada bahan bakar sendiri dengan cara penggunaan aditif ke dalam campuran bahan bakar (Keneddy, et al., 2015) dan memperhalus butiran-butiran bahan bakar dengan sistem elektromagnetik dan peningkatan injeksi. Pengambilalihan sistem penggerak sebagian komponen mesin dari mekanikal sistem ke elektrik sistem terbukti bisa menurunkan penggunaan bahan bakar (Khodabakhshian, et al., 2017). Penelitian lain lebih ke arah manajemen operasional alat dengan cara mengurangi *idle time* alat (Luthsey, et al., 2007 & Siami, et al., 2015) dan mengoptimalkan faktor material dan spesifikasi alat (Sahoo, et al., 2014). Semuanya ini sifatnya menjadi bias ketika bahan bakar hasil perlakuan tersebut diatas tidak digunakan sesuai peruntukan sehingga operasional boros bahan bakar karena deviasi operasional seharusnya menjadi perhatian lebih utama dibandingkan melakukan perlakuan khusus terhadap bahan bakar, pemilihan alat, dan manajemen operasional alat.

Fungsi kontrol *operator* dapat digantikan dengan fungsi kontrol alat dengan cara membangun sistem kontrol bahan bakar (FSC – *Fuel Saver Control*) yang terintegrasi langsung ke alat berat, dilakukan monitoring secara *online*, dan memiliki kapabilitas secara independent untuk mampu mengurangi perilaku-perilaku deviasi operasional sehingga alat berat beroperasi selalu dalam mode hemat energi (Hegab, La, and Shayler 2017). Variasi buka tutup sistem throttling dipergunakan sebagai sistematis penghematan bahan bakar yang dilakukan pada pengaplikasian FSC ditempuh, medan yang dilalui, dan interval waktu selama proses pengoperasian.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan dan uraian di atas, maka masalah utama dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana sistem FSC agar mampu mengendalikan deviasi operasional sehingga alat truk tambang selalu beroperasi pada mode hemat energi?
- b. Bagaimana desain piranti FSC (*hardware* dan *software*) sehingga memiliki kapabilitas seperti yang disyaratkan dalam kerangka hemat energi perusahaan tambang global?

Dua pertanyaan di atas akan dijawab dalam penelitian ini dengan melakukan studi ekperimental kontrol penghemat bahan bakar yang akan diterapkan di truk tambang kapasitas 100 ton.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi, implementasi, dan analisis dari sistem kontrol penghemat bakar (FSC) yang diaplikasikan pada unit alat berat tambang dengan mengambil lokasi penelitian di perusahaan tambang terbuka di Sulawesi Selatan. Tujuan penelitian secara spesifik dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Melakukan studi dan implementasi sistem FSC di alat berat tambang dengan mengambil sampel *Haultruck* CAT 777D 100 Ton dengan cara meminimalkan deviasi operasional truk sehingga penggunaan bahan bakar diesel dapat lebih dihemat (tidak melingkup pengurangan emisi gas buang)
- b. Melakukan kajian implikasi implementasi FSC pada perusahaan selain kontribusi hemat bahan bakar yaitu: operasional, teknikal alat (keandalan alat dan umur komponen) dan nilai ekonomis.

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat ditinjau dari berbagai aspek ilmiah dan praktis, yang meliputi:

- a. Manfaat ilmiah:

Mengembangkan riset model baru penghematan bahan bakar selain metode komposional yang sudah ada seperti penambahan aditif, gelombang elektromagnetik, dan manajemen operasional. Metode yang

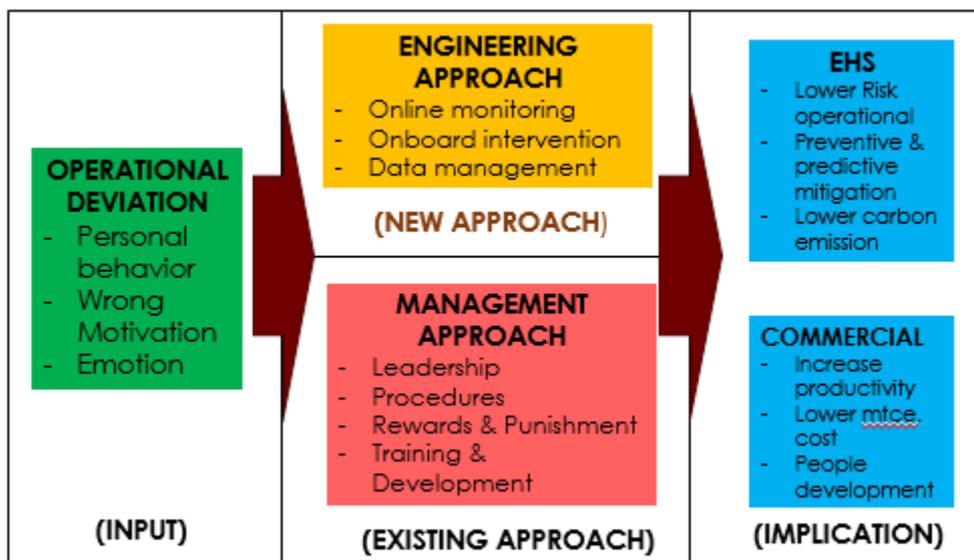
akan diteliti dengan cara mensinergikan dua metode yaitu interkoneksi kontrol modul ECM (*electronic control module*) pada unit alat berat dan diintegrasikan dengan *online monitoring sistem* melalui ruang kendali (*control room*).

b. Manfaat Praktis:

- Bagi dunia industri tambang khususnya tambang terbuka, FSC selain menghemat bahan bakar (nilai ekonomis dan konservasi energi global), sistem ini dapat pula membangun perilaku *operator-operator Haultruck* untuk selalu beroperasi dalam target produktifitas. Ini sangat penting karena sistem ini secara tidak langsung mempercepat skill *operator* di lapangan khususnya *operator* yang berasal dari tenaga kerja lokal, sehingga terjadi win-win solution antara pekerja dan pengusaha.
- FSC dapat mengontrol operasi unit pada seting batas kecepatan (km/hour) tertentu sehingga keselamatan *operator* saat beroperasi lebih terjamin. Nilai keselamatan (TRIFR – *Total Recordable Frequency Injury Rate*) ini sangat penting bagi perusahaan tambang internasional sebagai kredibilitas perusahaan dalam mendapatkan jaminan keberlanjutan usaha tambang.
- FSC menggabungkan sistem kontrol unit dengan *online monitoring sistem* melalui radio frekuensi sehingga semua parameter-parameter kondisi alat berat selama beroperasi dapat disimpan dalam *database* dan dimonitor melalui kontrol *room* dan dapat dilakukan intervensi sedini mungkin sebelum terjadi deviasi operasional. *Database* operasional sangat penting digunakan bagi bagian perawatan (*breakdown, Pm Check, predictive*, dan sebagainya), bagi team investigasi kasus-kasus incident, dan *rewards & punishment* model yang akan diterapkan bagi *operator*.

1.4 Kebaruan Penelitian

Penelitian-penelitian mengenai penghematan bahan bakar diesel di industri pertambangan kaitannya dengan alat berat sudah banyak dilakukan, tetapi hampir sebagian besar kajian melakukan penghematan bahan bakar dengan fokus pada pendekatan manajemen organisasi seperti: i) manajemen lalu lintas operasional (Francia et al, 2007), ii) penambahan aditif ke bahan bakar (Keneddy et al, 2015), iii) penggantian sistem mekanikal dengan electrical (Kodabhakshan et al, 2017), dan iv) strategi operasional peralatan (Sahoo et al, 2014). Fokus penghematan bahan bakar pada deviasi operasional melalui pendekatan *engineering control* merupakan penelitian baru dan memiliki beberapa implikasi baik dari sisi produktivitas, keselamatan kerja (EHS) dan operasional alat. Implikasi tersebut dapat dijelaskan dalam rangkaian implikasi penelitian seperti pada gambar berikut.



Gambar 1. 1 Kebaruan penelitian dan implikasinya.

Penggunaan monitoring secara online mengimpikasikan semua data-data parameter unit selama beroperasi disajikan secara *real time* di *control room* sehingga *operator* selalu dimonitor kinerjanya di lapangan. Jika terjadi devisi operasional dalam beroperasi baik yang sengaja maupun tidak sengaja dilakukan oleh *operator* kaitannya dengan pemborosan bahan bakar, maka sistem *onboard* FSC akan mengambil langkah mitigasi langsung (*instantly*) sehingga pemborosan bahan bakar tidak terjadi. Data-data operasional alat akan disimpan melalui data

manajemen sistem sehingga para leader memiliki data aktual baik berupa event atau *trending* untuk melakukan proses edukasi atau *rewards/punishment* ke *operator*.

Tiga keunggulan sistem *engineering control* FSC ini akan berimplikasi pada keselamatan kerja, menurunnya emisi karbon yang kaitannya dengan penurunan bahan bakar, dan tersedianya langkah-langkah terencana untuk menurunkan risiko kecelakaan kerja/lingkungan. Penghematan bahan bakar penting dilakukan oleh perusahaan tambang erat kaitannya dengan penilaian lingkungan hidup (*proper*) dimana penurunan penggunaan bahan bakar khususnya minyak diesel akan mengurangi angka emisi karbon. Penurunan emisi karbon ini merupakan salah satu wujud nyata perusahaan tambang guna mewujudkan *sustainability development*. Sisi lain keunggulan sistem FSC dari sisi komersial berupa meningkatnya produktifitas *operator*, biaya pemeliharaan yang rendah karena alat bekerja dalam kondisi optimum (tidak dipaksa) dan menghemat risiko-risiko biaya kaitannya dengan kompetensi *operator*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II DASAR TEORI

2.1 Peran *Operator* dalam Keandalan Alat dan Fungsi Monitoring Operasional Alat

“Reliability can not be driven by maintenance organization. It must be driven by operating unit,... and lead from the top.”

(Charles Bailey, *formerly* as VP Operation of Eastman Chemical).

Pernyataan di atas adalah kutipan dari perubahan konsep keandalan yang sebelumnya diletakkan tanggung jawab pada bagian perawatan ke bagian operasional alat. Hal ini mengandung pengertian pula bahwa *operator* alat adalah personel kunci dari proses tambang sehingga *operator* harus: i) memahami dengan baik proses operasi dan pengetahuan tentang alat yang dijalankan, ii) memiliki rasa memiliki dan melibatkan empati dalam mengoperasikannya, dan iii) memiliki empati dan tanggung jawab terhadap kegagalan produk yang dikirim ke pelanggannya. Dengan kata lain, seorang *operator* harus memahami dengan baik bagaimana fungsi-fungsi alat yang dioperasikan dan mengetahui proses bagaimana alat tersebut gagal (Hutcheon, 2008).

Beberapa hal yang mendasari perubahan konsep keandalan menjadi tanggung jawab *operator* adalah: i) idealnya, dalam satu siklus waktu tertentu, perawatan hanya memiliki kontribusi waktu tidak lebih dari 10%, ii) hampir sebagian besar kegagalan unit lebih banyak disebabkan oleh faktor *non maintenance* (Picknell, 2016), dan diperkuat lagi iii) hampir 60% dari semua task hasil analisis RCM dilakukan oleh *operator*. Untuk memastikan *operator* menjalankan fungsi keandalan alat dengan benar, maka dibutuhkan alat monitoring kontrol sehingga perilaku *operator* dalam beroperasi selalu menjaga keandalan alat dan produktifitas.

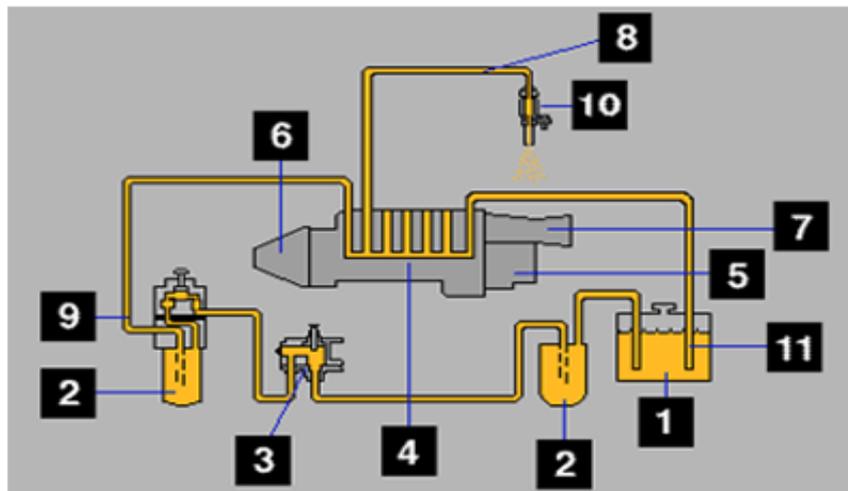
Tanggung jawab keandalan alat memang berada di bagian operasional tetapi fungsi monitoring kontrol dalam beroperasi lebih tepat dilakukan di bagian perawatan dari pada bagian operasional walaupun parameter-parameter yang dikontrol nantinya lebih banyak parameter kondisi alat dalam beroperasi. Salah satu alasan mendasar diletakkan pada fungsi *perawatan* adalah, fungsi prediksi

kemungkinan gagal (*probability failure*) adalah salah satu kapabilitas yang dimiliki oleh personel perawatan dan parameter-parameter alat selama beroperasi (*tonage, cycle, temperature, fuel burning, engine hours, gear shifting*, dan sebagainya) merupakan *input* yang dibutuhkan oleh bagian perawatan untuk menganalisis siklus alat dan nilai ekonomis alat. Dengan demikian, implementasi sistem kontrol penghemat bahan bakar wajib pula dijalankan oleh bagian perawatan karena semua parameter-parameter yang relevan dibutuhkan dalam efisiensi penggunaan bahan bakar dimiliki oleh bagian perawatan.

2.2 Siklus Diesel

Siklus diesel merupakan siklus mesin penyalaan kompresi (*compression-ignition*) ditemukan oleh Rudolph Diesel pada tahun 1890. Perbedaan mesin diesel (bahan bakar diesel) dengan mesin Otto (bahan bakar bensin) terletak pada *ignition burning*. Pada motor bensin, campuran udara-bensin dikompresi dibawah temperatur pembakaran dan proses pembakarannya dimulai dari percikan api (*ignition spark*). Sedangkan pada mesin diesel, udara murni diisap dan dicampur dengan bahan bakar diesel, kemudian dikompresi diatas temperatur pembakaran bahan bakar. Pada mesin diesel tidak terdapat karburator dan busi tetapi diganti oleh injektor bahan bakar (Arismunandar, 1988).

Pada mesin bensin, yang dikompresi adalah campuran udara-bensin dan besarnya perbandingan kompresi dibatasi oleh temperatur terbakarnya bensin. Pada Gambar 2.1, mesin diesel, yang dikompresi adalah udaranya, sehingga mesin diesel dapat didesain pada perbandingan kompresi yang tinggi, antara 12 sampai 24. Proses injeksi bahan bakar dimulai pada saat piston hampir mencapai titik mati atas dan masih berlangsung beberapa saat setelah piston mencapai TMA. Oleh karena itu, proses pembakaran pada mesin diesel terjadi pada interval waktu yang relative panjang dibanding dengan mesin bensin. Dengan interval waktu pembakaran yang relatif panjang tersebut, maka proses pemasukan panas didekati (*approximated*) sebagai proses tekanan konstan, sedangkan tiga proses lainnya sama dengan mesin bensin.



Gambar 2. 1 Sistem bahan bakar mesin diesel (Benett, 2010)

Keterangan gambar:

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. <i>Fuel tank</i> (tanki bahan bakar) | 6. <i>Timing advance mechanism</i> |
| 2. <i>Fuel Filter</i> (saringan bahan bakar) | 7. <i>Fuel ratio control</i> |
| 3. <i>Transfer pump</i> (pompa bahan bakar) | 8. <i>High pressure fuel lines</i> |
| 4. <i>Injection pump</i> (pompa injeksi) | 9. <i>Low pressure fuel lines</i> |
| 5. <i>Governor</i> | 10. <i>Fuel injector</i> |

Perhitungan nilai efisiensi mesin diesel dan rasio kompresi dilakukan dengan menghitung perubahan energi dan volume pada siklus diesel pada gambar 2.2 dengan formula sebagai berikut:

$$Q_{in} = C_p(T_3 - T_2) \quad (2.1)$$

$$Q_{out} = C_v(T_4 - T_1) \quad (2.2)$$

$$\eta_d = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} \quad (2.3)$$

$$r_v = \left(\frac{v_1}{v_2}\right) \quad (2.4)$$

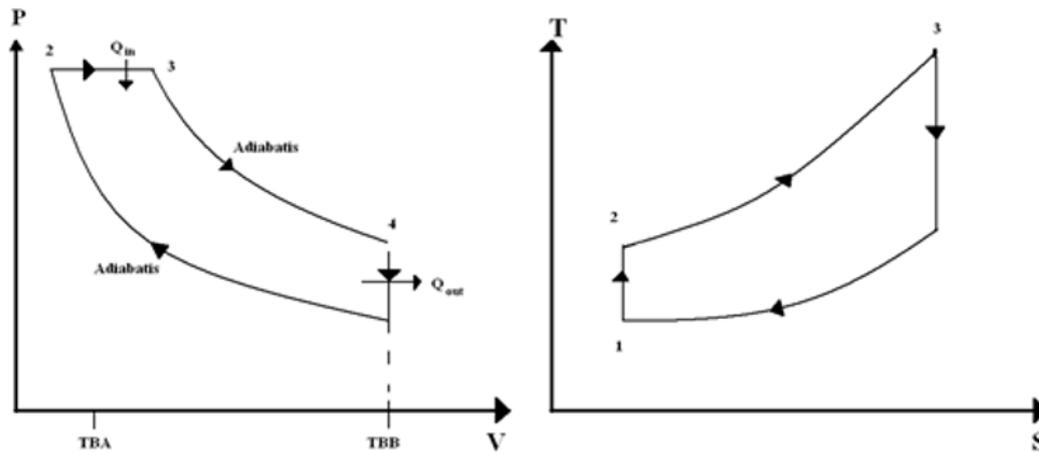
dengan:

C_p = kapasitas panas pada tekanan tetap

C_v = kapasitas panas pada volume tetap

T_1, T_2, T_3, T_4 = temperatur pada kondisi 1,2,3,4

V_1, V_2 = volume pada kondisi 1,2



Gambar 2. 2 Sistem bahan bakar mesin diesel (Benett, 2010)

Proses 1-2 merupakan proses kompresi adiabatik:

$$T_2 = T_1 \left[\frac{v_1}{v_2} \right]^{k-1} = T_1 r_v^{k-1} \quad (2.5)$$

Proses 2-3 merupakan proses tekanan tetap K:

$$T_3 = T_2 \frac{v_3}{v_2} = T_2 r_c = T_1 r_v^{k-1} r_c \quad (2.6)$$

Proses 3-4 merupakan proses ekspansi adiabatik:

$$T_4 = T_3 \left[\frac{v_3}{v_4} \right]^{k-1}; \quad \text{dimana } \frac{v_3}{v_4} = \frac{r_c}{r_v} \quad (2.7)$$

$$T_4 = T_3 \left[\frac{r_c}{r_v} \right]^{k-1} = T_1 r_v^{k-1} r_c \left[\frac{r_c}{r_v} \right]^{k-1} = T_1 r_c^{k-1} \quad (2.8)$$

Setelah nilai T_2 , T_3 , dan T_4 dimasukkan ke persamaan 2.3 maka didapat:

$$\eta_d = 1 - \frac{T_1 r_c^{k-1} - T_1}{k(T_1 r_v^{k-1} r_c - T_1 r_v^{k-1})} = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}} \left[\frac{(r_c^{k-1})}{k(r_c-1)} \right] \quad (2.9)$$

Perbandingan efisiensi antara mesin diesel dengan mesin bensin adalah terletak pada nilai suku yang ada didalam kurung dimana nilainya selalu lebih besar dari satu. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa jika perbandingan kompresi antara mesin bensin dan mesin diesel sama, maka efisiensi mesin bensin lebih tinggi dibanding mesin diesel. Namun, harus diingat bahwa mesin diesel dapat dioperasikan pada perbandingan kompresi yang lebih tinggi tanpa khawatir akan terjadi pembakaran sebelum waktunya sehingga efisiensi mesin diesel lebih tinggi dari mesin otto. Selain itu, proses pembakaran mesin diesel lebih sempurna karena mesin diesel beroperasi pada putaran lebih rendah maka mesin diesel menjadi pilihan

untuk keperluan mesin dengan power besar seperti mesin lokomotif, kapal laut, truk, dan lain lain.

2.3 Emisi Gas Buang

Karakteristik gas buang mesin diesel dipengaruhi jenis bahan bakar diesel tersebut. Bahan bakar diesel terdiri dari dua elemen pokok yaitu *normal cetane* (C₁₆H₃₄) dan *Alpha - methyl naptalene* (C₁₆H₇CH₃), ditambah dengan unsur lain Sulfur (belerang) 1% (lebih besar daripada bensin), dan unsur dasar lain sama dengan bensin. Sifat utama Diesel adalah:

1. Tidak berwarna atau berwarna kuning muda dan berbau
2. Tidak mudah menguap pada temperatur normal
3. Minimum mulai terbakar bila dekat api pada temperatur 40-1000 °C
4. Titik nyala sendiri (*flash point*) pada temperatur 3500 °C
5. Berat Jenis kira-kira 0,82-0,86 kg/liter
6. Tenaga panas/kalori pada setiap kilogramnya adalah (10.500 Kcal/Kg)

Pada motor bensin dikenal dengan istilah bilangan atau angka oktane, namun pada diesel digunakan istilah bilangan atau angka cetane. Cetane number atau bilangan cetane adalah sebuah angka yang menentukan titik bakar dari bahan bakar. Angka ini diperlukan sebagai batasan pemakaian bahan bakar terhadap mesin. Apabila angka cetane yang dipergunakan tidak sesuai dengan rancangan mesin, maka timbul masalah-masalah sebagai berikut:

- Bila cetane terlalu tinggi maka timbul efek panas yang berlebihan terhadap mesin sehingga komponen mesin cepat rusak.
- Bila terlalu rendah mengakibatkan timbulnya gejala ngelitik (*knocking*), sehingga opasitas gas buang akan berlebihan karena pembakaran mesin tidak terjadi dengan sempurna, sehingga asap gas buangan mesin menjadi hitam pekat.

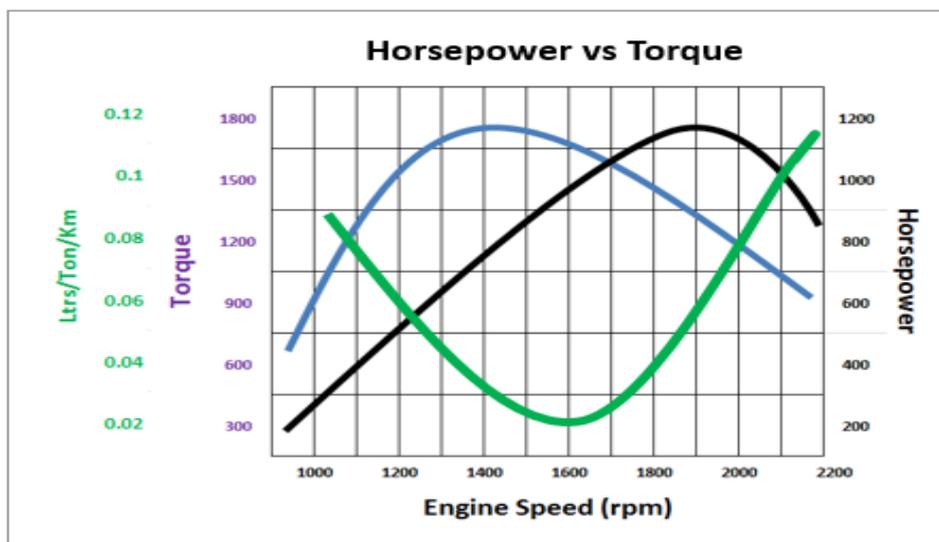
2.4 Torsi dan *Horsepower* Optimum Mesin Diesel

Torque & Horsepower pada gambar 2.3 mempunyai kondisi yang berlawanan dalam hal penggunaan bahan bakar dan produktifitas. Mesin diesel selalu diusahakan berada di sekitar pertemuan torsi dan *horsepower* yang optimum (kisaran 1.600-1.800 rpm) karena pada rentang RPM ini didapatkan penggunaan

bahan bakar yang paling efisien. Berbagai keuntungan secara garis besar jika mesin diesel selalu beroperasi pada rentang optimum tersebut adalah: i) menurunkan konsumsi bahan bakar, ii) meningkatkan / memperpanjang umur komponen dengan cara mengurangi *shock load pada drive train* oleh perpindahan gigi di tanjakan, dan iii) mengurangi biaya operasional dan perawatan.

Deviasi operasional terjadi umumnya pada saat *operator* selalu beroperasi menekan pedal gas maksimum untuk mendapatkan horsepower yang tinggi sehingga terjadi pemborosan *fuel*. Untuk menghindari hal ini, dibutuhkan sistem yang bisa mengontrol beberapa kondisi berikut:

1. Menurunkan *engine speed* ke torsi yang optimum pada saat di jalan tanjakan.
2. Mengontrol *engine speed* selalu pada batas seting manufaktur pada saat *operator* melakukan dumping (dalam hal ini 1,600 rpm).
3. Menurunkan *engine speed* tanpa mengurangi torsi apabila kecepatan telah melebihi batas kecepatan yang ditentukan dalam rentang waktu tertentu (dalam hal ini seting batas kecepatan maksimum 40 km/hour)



Gambar 2. 3 Hubungan Torsi dan *Horsepower* Mesin Diesel pada *medium* dan *heavy trucks* (Benett, 2010)

2.5 Kajian Penelitian Empiris

Berbagai kajian empiris dan riset eksperimental untuk penghematan bahan bakar truk telah dilakukan di dunia. Penelitian-penelitian yang ada lebih berfokus

pada perlakuan bahan bakar sehingga penghematan dihasilkan dari peningkatan efisiensi pembakaran sempurna. Peningkatan efisiensi mesin diesel dapat dilakukan dengan cara mencampur biodiesel dengan bahan bakar lainnya yaitu *acetone butanol etanol* (ABE) untuk mendapatkan pembakaran lebih sempurna sehingga konsumsi bahan bakar dapat dihemat (Kenedy, et al, 2015). Hal lain yang ditemukan pada riset yang sama, penambahan air pada kadar tertentu pada campuran diesel dan ABE dapat menurunkan emisi PAHs dan POPs, sementara *emisi carbon monoxide* (CO) dan *hydrocarbons* (HCs) dapat dihilangkan dengan menambah katalis *diesel oxidation* (Keneddy, et al, 2015).

Penelitian lain lebih berfokus pada manajemen pengoperasian alat dengan berfokus pada kondisi *idle time* alat. Kondisi *ilde time* alat menimbulkan efek pemborosan bahan bakar karena mesin truk diperasikan hanya untuk mengoperasikan sistem *air contionair* (AC) unit untuk memberikan kenyamanan bagi *operator* sehingga dengan penambahan alat *small fuel cell auxiliary power units* (APUs) maka mesin truk tidak dibutuhkan pada saat *idle time*. Pemasangan alat APUs ini terbukti mampu menghemat konsumsi bahan bakar truk berkisar antara 30% saat *idle time* (Lutsey, et al, 2007). Pengembangan model SFC (*specific fuel consumption*) dengan cara mengoptimasi parameter-parameter seperti *paylaod*, *material handling rate*, *vehicle speed*, *distance*, *mine gradient*, dan sebagainya, memberikan perencanaan operasional tambang yang lebih efisien sehingga konsumsi bahan bakar dapat diturunkan (Sahoo, 2014). Model manajemen alat tambang lain yaitu model ANN (*artificial neural networks*) yang dikembangkan dengan *input pay load*, *loading time*, *idled while loaded*, *loaded travel time*, *empty travel time*, and *idled while empty*. Variabel *output* yang dituju adalah jumlah bahan bakar yang dikonsumsi setiap siklus yang didapatkan dari teknik optimasi ANN pada variable *input* tersebut (Siami, et al, 2015).

Kemajuan teknologi listrik juga diaplikasikan pada komponen alat berat. Penelitian yang berfokus pada penggantian sistem mekanikal kipas pendingin radiator menjadi kipas listrik (*electrical fan*) terbukti mampu mengurangi konsumsi bahan bakar truk kapasitas 40 ton sebesar 0,3% dan truk kapasitas 60 ton sebesar 0.69% (Khodabakhshian, et al, 2017).

2.6 The Principle Component Analysis (PCA)

Analisis komponen utama merupakan suatu teknik statistik untuk mengubah dari sebagian besar variabel asli yang digunakan dan saling berkorelasi satu dengan yang lainnya menjadi satu set variabel baru yang lebih kecil dan tidak berkorelasi. Setiap pengukuran *multivariat* (atau observasi), komponen utama merupakan kombinasi linier dari variabel p awal. Tujuan utama analisis komponen utama ialah untuk mengurangi dimensi peubah-peubah yang saling berhubungan dan cukup banyak variabelnya sehingga lebih mudah untuk menginterpretasikan data-data tersebut. Keunggulan metode PCA diantaranya dapat menghilangkan korelasi secara bersih tanpa harus mengurangi jumlah variabel asal. Dimana langkah-langkah penggunaan PCA adalah sebagai berikut :

- a) *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) dan *Barlett Test* yang merepresentasikan layak atau tidaknya analisis faktor, maka perlu dilakukan uji *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) dan *Barlett Test*. Apabila nilai KMO berkisar antara 0.5 samai dengan 1, maka analisi faktor layak dilakukan, sedangkan *Barlett Test* digunakan untuk menguji apakah benar variabel-variabel yang dilibatkan berkorelasi. Dimana hipotesis menjelaskan

Ho : Tidak ada korelasi antar variabel bebas

Hi : Ada korelasi antar variabel bebas

Kriteria uji dengan melihat p-value (signifikan) : terima Ho jika $\text{sig} > 0.05$ atau tolak Ho jika $\text{sig} < 0.005$.

- b) *Anti Image Matriks* menjelaskan khususnya pada angka korelasi yang bertanda a (arah diagonal dari kiri atas ke kanan bawah). Angka MSA (*Measure of Sampling Adequay*) berkisar antara 0 sampai 1, dengan kriteria sebagai berikut:

MSA = 1, variabel tersebut dapat diprediksi tanpa kesalahan oleh variabel lain.

MSA > 0.5, Variabel masih bisa diprediksi dan bisa dianalisis lebih lanjut

MSA < 0.5, variabel tidak bisa diprediksi dan tidak bisa dianalisis lebih lanjut, atau dikeluarkan dari variabel lainnya.

- c) *Communalities*, menunjukkan berapa varians yang dapat dijelaskan oleh faktor yang terbentuk.
- d) *Total Variance Explained*, menjelaskan beberapa komponen yang merupakan variabel. Setiap faktor mewakili variabel yang dianalisis. Kemampuan setiap faktor mewakili variabel yang dianalisis ditunjukkan oleh besarnya varians yang dijelaskan dan disebut dengan *eigenvalue*. *Eigenvalue* menunjukkan kepentingan relatif masing-masing faktor dalam menghitung varians ketiga variabel yang dianalisis. Susunan *eigenvalue* selalu diurutkan dari yang terbesar sampai terkecil, dengan kriteria bahwa angka *eigenvalue* di bawah 1 tidak digunakan dalam menghitung jumlah faktor yang terbentuk.
- e) *Component Matrics*, merupakan tabel yang berisikan faktor beban/ nilai korelasi antara variabel-variabel yang dianalisis dengan faktor yang terbentuk,
- f) *Component Score Coefficient Matrics*, menjelaskan proses setelah faktor yang terbentuk melalui proses reduksi, maka perlu dicari persamaan sehingga dapat dihitung skor setiap faktor secara manual. Persamaan yang dibuat mirip dengan regresi linier berganda, hanya dalam persamaan faktornya tidak terdapat konstanta. Setelah komponen hasil PCA yang bebas multikolinearitas diperoleh, maka komponen-komponen tersebut diregresikan atau dianalisis pengaruhnya terhadap variabel tak bebas dengan menggunakan analisis regresi linier

2.7 Partial Least Square (PLS)

Partial Least Square (PLS) adalah suatu metode yang berbasis keluarga regresi yang dikenalkan oleh Herman O.A Wold untuk penciptaan dan pembangunan model dan metode untuk ilmu-ilmu sosial dengan pendekatan yang berorientasi pada prediksi. PLS memiliki asumsi data penelitian bebas distribusi, artinya data penelitian tidak mengacuh pada < > salah satu distribusi tertentu (misalnya distribusi normal). PLS merupakan metode alternatif dari (SEM) yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan hubungan diantara variable yang

kompleks namun ukuran sampel datanya kecil (30 sampai 100), mengingat SEM memiliki ukuran sampel data minimal 100 (Hair /et.al./, 2010).

PLS digunakan untuk mengetahui kompleksitas hubungan suatu konstruk dan konstruk yang lain, serta hubungan suatu konstruk dan indikator-indikatornya. PLS didefinisikan oleh dua persamaan, yaitu *inner model* dan *outer model*. *Inner model* menentukan spesifikasi hubungan antara konstruk dan indikator-indikatornya. Konstruk terbagi menjadi dua yaitu konstruk eksogen dan konstruk endogen. Konstruk eksogen merupakan konstruk penyebab, konstruk yang tidak dipengaruhi oleh konstruk lainnya. Konstruk eksogen memberikan efek kepada konstruk lainnya, sedangkan konstruk endogen merupakan konstruk yang dijelaskan oleh konstruk eksogen. Konstruk endogen adalah efek dari konstruk eksogen (Yamin dan Kurniawan, 2009).

2.7.1 Kelebihan dan Kelemahan Analisis PLS

PLS dapat digunakan untuk mengetahui kompleksitas hubungan suatu konstruk dan konstruk yang lain, serta hubungan suatu konstruk dan indikator-indikatornya. PLS didefinisikan oleh dua persamaan, yaitu *inner mode dan outer model*. *Inner model* menentukan spesifikasi hubungan antara konstruk dan konstruk lain, sedangkan *outer model* menentukan spesifikasi hubungan antara konstruk dan indikator-indikatornya. PLS dapat bekerja untuk model hubungan konstruk dan indikator-indikatornya yang bersifat reflektif dan formatif, sedangkan SEM hanya bekerja pada model hubungan yang bersifat reflektif saja. Metode PLS mempunyai keunggulan tersendiri diantaranya: data tidak harus berdistribusi *normal multivariate* (indikator dengan skala kategori, ordinal, interval sampai rasio dapat digunakan pada model yang sama) dan ukuran sampel tidak harus besar (Gahazali,2006).

Distribusi data tidak diketahui sehingga tidak bias menilai signifikansi statistik. Kelemahan bisa diatasi dengan menggunakan metode *resampling (Bootstrap)*.

2.7.2 Jenis Indikator dalam Penelitian Analisis PLS

Model Indikator Refleksif sering disebut juga *principal factor model* dimana *covariance* pengukuran indikator dipengaruhi oleh konstruk laten atau mencerminkan variasi dari konstruk laten. Pada Model Refleksif konstruk unidimensional digambarkan dengan bentuk elips dengan beberapa anak panah dari konstruk ke indikator, model ini menghipotesiskan bahwa perubahan pada konstruk laten akan mempengaruhi perubahan pada indikator. Model Indikator Refleksif harus memiliki internal konsistensi oleh karena semua ukuran indikator diasumsikan semuanya valid indikator yang mengukur suatu konstruk, sehingga dua ukuran indikator yang sama reliabilitasnya dapat saling dipertukarkan. Walaupun reliabilitas (*cronbach alpha*) suatu konstruk akan rendah jika hanya ada sedikit indikator, tetapi validitas konstruk tidak akan berubah jika satu indikator dihilangkan (Leardi,2009).

Model Formatif tidak mengasumsikan bahwa indikator dipengaruhi oleh konstruk tetapi mengasumsikan semua indikator mempengaruhi single konstruk. Arah hubungan kausalitas mengalir dari indikator ke konstruk laten dan indikator sebagai grup secara bersama-sama menentukan konsep atau makna empiris dari konstruk laten. Oleh karena diasumsikan bahwa indikator mempengaruhi konstruk laten maka ada kemungkinan antar indikator saling berkorelasi, tetapi model formatif tidak mengasumsikan perlunya korelasi antar indikator atau secara konsisten bahwa model formatif berasumsi tidak adanya hubungan korelasi antar indikator, karenanya ukuran internal konsistensi reliabilitas (*cronbach alpha*) tidak diperlukan untuk menguji reliabilitas konstruk formatif. Kausalitas hubungan antar indikator tidak menjadi rendah nilai validitasnya hanya karena memiliki internal konsistensi yang rendah (*cronbach alpha*), untuk menilai validitas konstruk perlu dilihat variabel lain yang mempengaruhi konstruk laten. Jadi untuk menguji validitas dari konstruk laten, peneliti harus menekankan pada nomological dan atau criterion-related validity. Implikasi lain dari Model Formatif adalah dengan menghilangkan satu indikator dapat menghilangkan bagian yang unik dari konstruk laten dan merubah makna dari konstruk (Vinzi, 2010).

2.7.3 Langkah – langkah Analisis PLS

Analisis data dan pemodelan persamaan struktural dengan menggunakan software PLS, adalah sebagai berikut (Ghazali,2006):

1. Merancang Model Struktural (*Inner Model*)

Inner Model atau Model Struktural menggambarkan hubungan antar variabel laten berdasarkan pada *substantive theory*. Perancangan Model Struktural hubungan antar variabel laten didasarkan pada rumusan masalah atau hipotesis penelitian.

2. Merancang Model Pengukuran (*Outer Model*). *Outer Model* atau Model Pengukuran mendefinisikan bagaimana setiap blok indikator berhubungan dengan variabel latennya. Perancangan Model Pengukuran menentukan sifat indikator dari masing-masing variabel laten, apakah refleksif atau formatif, berdasarkan definisi operasional variabel.

3. Konversi Diagram Jalur ke Sistem Persamaan

4. Estimasi: *Weight*, Koefisien Jalur, dan Loading Metode pendugaan parameter (estimasi) di dalam PLS adalah metode kuadrat terkecil (*least square methods*). Proses perhitungan dilakukan dengan cara iterasi, dimana iterasi akan berhenti jika telah tercapai kondisi kenvergen. Pendugaan parameter di dalam PLS meliputi 3 hal, yaitu:

- a. *Weight estimate* yang digunakan untuk menghitung data variabel laten.
- b. Path estimate yang menghubungkan antar variabel laten dan estimasi loading antara variabel laten dengan indikatornya.
- c. Means dan parameter lokasi (nilai konstanta regresi, intersep) untuk indikator dan variabel laten.

5. Evaluasi *Goodness of Fit*, *Goodness of Fit Model* diukur menggunakan R^2 variabel laten *dependen* dengan interpretasi yang sama dengan regresi. Q^2 *predictive relevance* untuk model struktural mengukur seberapa baik nilai observasi dihasilkan oleh model dan juga estimasi parameternya.

$$Q^2 = 1 - (1 - R^2_1) (1 - R^2_2) \dots (1 - R^2_p)$$

Besaran memiliki nilai dengan rentang $0 < Q^2 < 2$ pada analisis jalur (*path analysis*).

6. Pengujian Hipotesis (*Resampling Bootstrapping*) . Pengujian Hipotesis (β , γ , dan λ) dilakukan dengan metode *resampling Bootstrap* yang dikembangkan oleh

Geisser & Stone. Statistik uji yang digunakan adalah statistik t atau uji t. Penerapan metode resampling, memungkinkan berlakunya data terdistribusi bebas (*distribution free*) tidak memerlukan asumsi distribusi normal, serta tidak memerlukan sampel yang besar (direkomendasikan sampel minimum 30). Pengujian dilakukan dengan *t-test*, bilamana diperoleh *p-value* $\lt \gt$

2.8 Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Network*)

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) atau *Artificial Neural Network* (ANN) merupakan suatu sistem pemrosesan informasi yang memiliki karakteristik performansi yang mirip dengan jaringan syaraf biologis. JST telah dikembangkan sebagai generalisasi dari model matematik untuk kesadaran manusia atau syaraf biologis, dengan asumsi dasar sebagai berikut:

- a. Informasi yang diproses muncul sebagai beberapa elemen sederhana yang disebut neuron atau *node*.
- b. Sinyal dilewatkan diantara neuron menggunakan link koneksi atau koneksi yang terhubung.
- c. Setiap link koneksi membunyai bobot tertentu, dimana pada jaringan syaraf secara umum, bobot tersebut akan melipatgandakan sinyal yang ditransmisikan antara neuron yang satu dengan yang lainnya.
- d. Setiap neuron mengaplikasikan fungsi aktivasi (biasanya non linear) menuju masukan jaringan (gabungan bobot dari sinyal masukan) untuk menentukan sinyal keluaran dari neuron (Fausett, 1994).

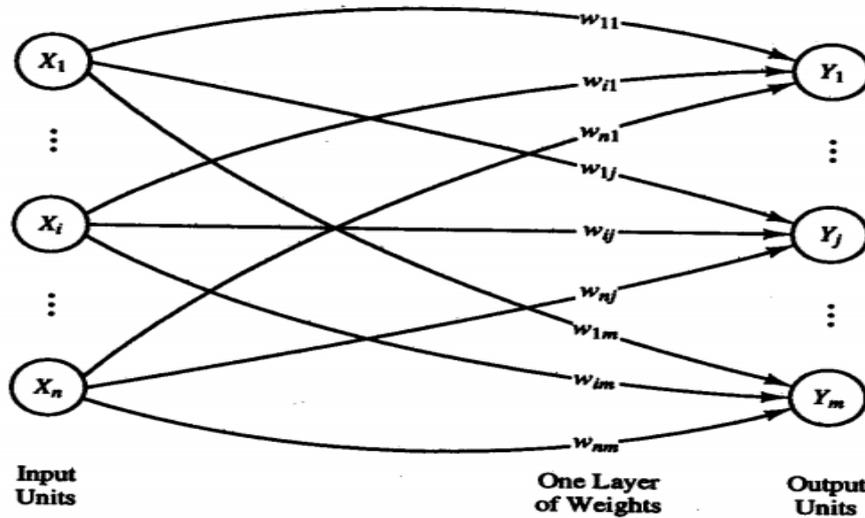
JST dikarakterisasi oleh berbagai hal yaitu, pola dari koneksi antara neuron (*node*) atau disebut juga dengan arsitektur jaringan, metode untuk menentukan bobot pada koneksi yang disebut juga algoritma pelatihan atau pembelajaran, dan fungsi aktivasi. Hal-hal tersebut akan memiliki pola atau nilai yang berbeda pada tiap kasus dalam menggunakan jaringan syaraf tiruan.

2.8.1 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

Arsitektur JST menggambarkan bagaimana susunan dari neuron (*node*) dan pola dari hubungan antara neuron tersebut. Beberapa arsitektur yang sering digunakan yaitu *single-layer* dan *multi-layer*.

2.8.1.1 Single-Layer

Arsitektur *single-layer* hanya mempunyai satu lapisan bobot saja. Sehingga, setiap masukan dihubungkan langsung dengan keluaran.



Gambar 2. 4 Arsitektur *Single-Layer*

Dari gambar 2.4 diatas, dapat dilihat bahwa seluruh unit masukan terhubung ke setiap unit keluaran dengan bobot yang berbeda-beda. Tiap unit masukan tidak terhubung ke unit masukan lain dan unit keluaran juga tidak terhubung ke unit keluaran yang lain.

Node masukan (*input node*) disimbolkan sebagai X_i *node* keluaran (*hidden node*) disimbolkan sebagai Y_j , dimana nilai i dan j sesuai dengan jumlah *node* yang digunakan. Persamaan untuk memperoleh besar sinyal masukan ke *node* keluaran adalah sebagai berikut,

$$y_{in.j} = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij} \quad (2.10)$$

dengan:

$y_{in.j}$ = sinyal masukan ke *node* tersembunyi ($j=1,2,3,\dots,n$)

x_i = sinyal keluaran dari *node* masukan ($i=1,2,3,\dots,m$)

w_{ij} = nilai bobot dari *node* masukan menuju *node* tersembunyi.

Kemudian, sinyal keluaran dari *node* keluaran dapat diperoleh dengan mengaplikasikan sinyal masukannya pada fungsi aktivasi. Persamaan berikut dapat digunakan untuk mencari sinyal keluaran *node* tersembunyi,

$$y_j = f(y_{in.j}) \quad (2.11)$$

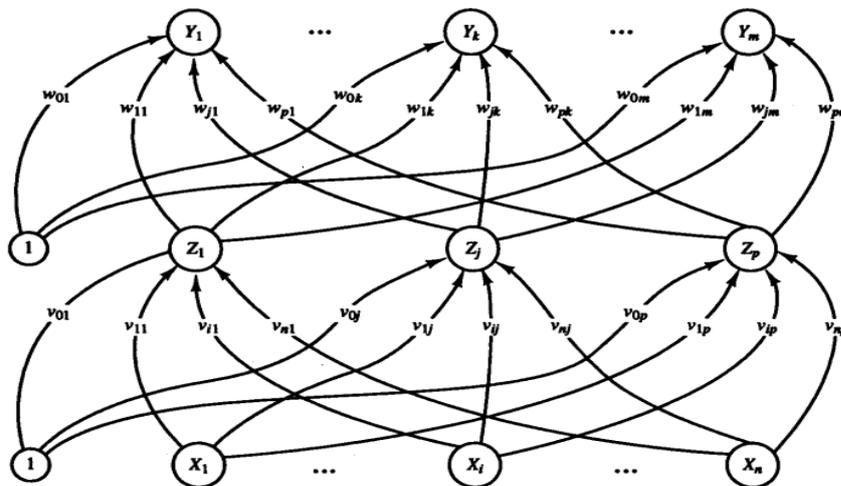
dengan:

y_j = sinyal keluaran dari *node* tersembunyi ($j=1,2,3,\dots,n$)

2.8.1.2 Multi-Layer

Jaringan *multi-layer* merupakan perluasan dari *single-layer*. Dalam jaringan ini, selain unit *input* dan *output*, ada unit-unit lain (sering disebut lapisan tersembunyi). Dimungkinkan pula adabeberapa lapisan tersembunyi. Sama seperti pada unit masukan dan keluaran, unit-unit dalam satu lapisan tidak saling berhubungan.

Sebagai contoh, gambar 2.5 merupakan contoh Jaringan Syaraf Tiruan dengan menggunakan pola atau arsitektur *Multilayer Network* dengan satu lapisan masukan (*input layer*), satu lapisan tersembunyi (*hidden layer*), dan satu lapisan keluaran (*output layer*).



Gambar 2. 5 Arsitektur *Multi-Layer*

Node masukan (*input node*) disimbolkan sebagai X_i , *node* tersembunyi (*hidden node*) disimbolkan sebagai Y_j , dan *node* keluaran (*output node*) disimbolkan sebagai Z_k , dimana nilai i , j , dan k sesuai dengan jumlah *node* yang digunakan. Persamaan untuk memperoleh besar sinyal masukan ke *node* tersembunyi adalah sebagai berikut,

$$y_{in,j} = v_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \quad (2.12)$$

dengan:

$y_{in,j}$ = sinyal masukan ke *node* tersembunyi ($j=1,2,3,\dots,n$)

- v_{0j} = nilai bobot dari bias menuju *node* tersembunyi
- x_i = sinyal keluaran dari *node* masukan ($i=1,2,3,\dots,m$)
- v_{ij} = nilai bobot dari *node* masukan menuju *node* tersembunyi.

Persamaan untuk memperoleh besar sinyal masukan ke *node* keluaran adalah sebagai berikut,

$$z_{in.k} = w_{0k} + \sum_{j=1}^n y_j w_{jk} \quad (2.13)$$

dengan:

- $z_{in.k}$ = sinyal masukan ke *node* keluaran ($k=1,2,3,\dots,p$)
- w_{0k} = nilai bobot dari bias menuju *node* keluaran
- y_j = sinyal keluaran dari *node* tersembunyi ($j=1,2,3,\dots,n$)
- w_{jk} = nilai bobot dari *node* tersembunyi menuju *node* keluaran.

Kemudian, sinyal keluaran dari *node* tersembunyi dan *node* keluaran dapat diperoleh dengan mengaplikasikan sinyal masukan pada fungsi aktivasi. Salah satu fungsi aktivasi yang dapat digunakan yaitu bipolar sigmoid atau disebut juga tangen hiperbolik. Persamaan berikut dapat digunakan untuk mencari sinyal keluaran *node* tersembunyi,

$$y_j = \tanh(y_{in.j}) \quad (2.14)$$

dengan:

- y_j = sinyal keluaran dari *node* tersembunyi ($j=1,2,3,\dots,n$).

Persamaan mencari sinyal keluaran dari *node* keluaran adalah sebagai berikut,

$$z_k = \tanh(z_{in.k}) \quad (2.15)$$

dengan:

- z_k = sinyal keluaran dari *node* keluaran ($k=1,2,3,\dots,p$).

2.8.2 Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi digunakan untuk menghasilkan nilai keluaran dari setiap *node* yang dilewati. Terdapat beberapa jenis fungsi aktivasi yang paling sering digunakan pada jaringan syaraf tiruan yaitu sigmoid logaritmik (*logsig*), sigmoid tangen (*tansig*), dan linear (*purelin*). Fungsi aktivasi sigmoid logaritmik dan sigmoid tangen dapat meminimalisir kapasitas komputasi untuk pelatihan, sedangkan fungsi aktivasi linear lebih banyak digunakan pada *output node*

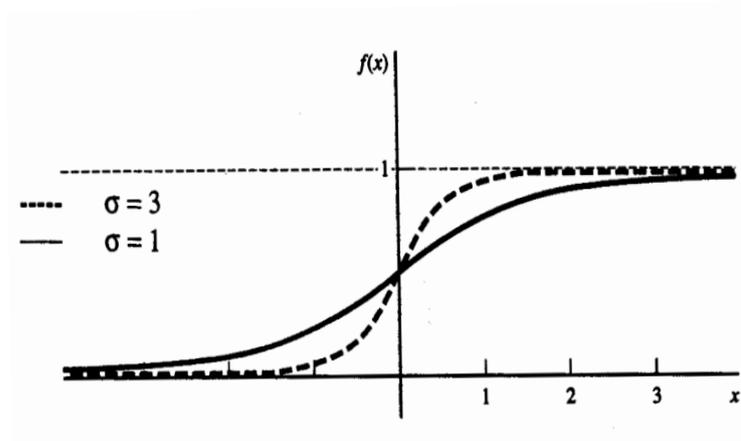
(Montesdeoca-Contreras, Zambrano-Abad, Morales-Garcia, & Ávila-Campoverde, 2014).

2.8.2.1 Sigmoid Logaritmik

Fungsi sigmoid logaritmik merupakan fungsi aktivasi dengan range keluaran dari 0 hingga 1. Persamaan fungsi ini dan turunannya adalah sebagai berikut

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-\sigma x}} \quad (2.16)$$

$$f'(x) = \sigma f(x)[1 - f(x)] \quad (2.17)$$



Gambar 2. 6 Fungsi Sigmoid Logaritmik

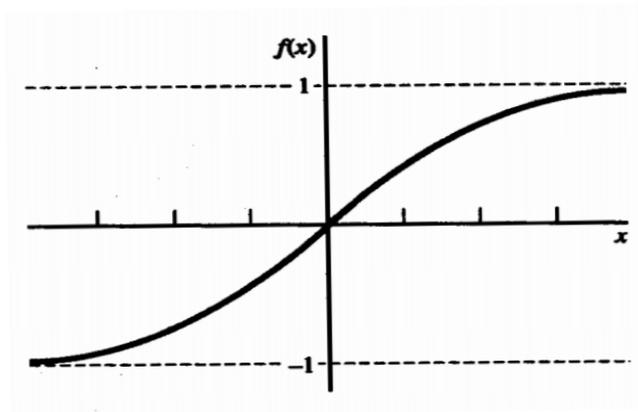
Gambar 2.6 merupakan fungsi sigmoid logaritmik. Fungsi ini biasa disebut sebagai *binary sigmoid*.

2.8.2.2 Sigmoid Tangen

Fungsi sigmoid tangen merupakan fungsi aktivasi dengan *range* keluaran dari -1 hingga 1. Persamaan fungsi ini dan turunannya adalah sebagai berikut

$$f(x) = \frac{2}{1+e^{-\sigma x}} - 1 \quad (2.18)$$

$$f'(x) = \frac{\sigma}{2} [1 + f(x)][1 - f(x)] \quad (2.19)$$



Gambar 2. 7 Fungsi Sigmoid Tangen

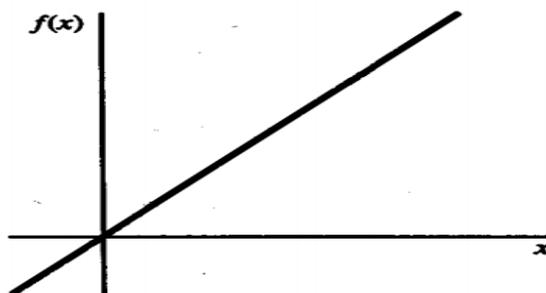
Pada Gambar 2.7 merupakan fungsi yang dihasilkan dari sigmoid tangen. Fungsi ini biasa disebut sebagai *bipolar sigmoid*.

2.8.2.3 Linear

Fungsi *linear* merupakan fungsi aktivasi dengan keluaran sama seperti masukannya. . Fungsi ini biasa disebut sebagai fungsi identitas. Persamaan fungsi ini dan turunannya adalah sebagai berikut

$$f(x) = x \quad (2.20)$$

$$f'(x) = 1 \quad (2.21)$$



Gambar 2. 8 Fungsi Linear

2.8.3 Algoritma Pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan

2.8.3.1 Algoritma *Steepest Descent*

Algoritma *steepest descent* merupakan algoritma turunan pertama. Algoritma ini menggunakan turunan pertama dari fungsi *error* total untuk

meminimalkan *error*. Gradien g didefinisikan sebagai turunan orde pertama dari fungsi *error* total

$$g = \frac{\partial E(x,w)}{\partial w} = \left[\frac{\partial E}{\partial w_1} \frac{\partial E}{\partial w_2} \frac{\partial E}{\partial w_3} \dots \frac{\partial E}{\partial w_N} \right]^T \quad (2.22)$$

Untuk perubahan bobotnya dapat dihitung dengan persamaan

$$w_{k+1} = w_k + \alpha g_k \quad (2.23)$$

dengan α adalah konstanta pembelajaran.

Proses pelatihan dari algoritma ini bersifat asimtotik konvergen. Saat mendekati nilai yang diinginkan, semua elemen g akan menjadi sangat kecil dan akan mengakibatkan perubahan bobot yang sangat kecil sekali.

2.8.3.2 Metode Newton

Metode Newton menggunakan turunan orde 2 dari fungsi *error* total yang diwakilkan dengan matriks Hessian H .

Untuk perubahan bobotnya dapat dihitung dengan persamaan

$$w_{k+1} = w_k - H_k^{-1} g_k \quad (2.24)$$

Sebagai turunan orde 2, matriks Hessian memberikan evaluasi yang tepat pada perubahan vektor gradien. Dengan membandingkan persamaan (2.19) dan (2.21), dapat diketahui bahwa ukuran step yang cocok diberikan dengan invers dari matriks Hessian.

2.8.3.3 Metode Gauss-Newton

Jika metode Newton digunakan untuk memperbarui bobot, untuk mendapat nilai matriks Hessian H , maka turunan orde dua dari fungsi *error* total haruslah dihitung dan dapat memperlama waktu yang digunakan. Untuk mempermudah, maka dikenalkan matriks Jacobian

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_{1,1}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{1,1}}{\partial w_2} \dots & \frac{\partial e_{1,1}}{\partial w_N} \\ \frac{\partial e_{1,2}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{1,2}}{\partial w_2} \dots & \frac{\partial e_{1,2}}{\partial w_N} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_{1,M}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{1,M}}{\partial w_2} \dots & \frac{\partial e_{1,M}}{\partial w_N} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_{P,1}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{P,1}}{\partial w_2} \dots & \frac{\partial e_{P,1}}{\partial w_N} \\ \frac{\partial e_{P,2}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{P,2}}{\partial w_2} \dots & \frac{\partial e_{P,2}}{\partial w_N} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_{P,M}}{\partial w_1} & \frac{\partial e_{P,M}}{\partial w_2} \dots & \frac{\partial e_{P,M}}{\partial w_N} \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Dikenalkan jika vektor *error* dengan bentuk

$$e = \begin{bmatrix} e_{1,1} \\ e_{1,2} \\ \dots \\ e_{1,M} \\ \dots \\ e_{P,1} \\ e_{P,1} \\ \dots \\ e_{P,M} \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Untuk perubahan bobotnya dapat dihitung dengan persamaan

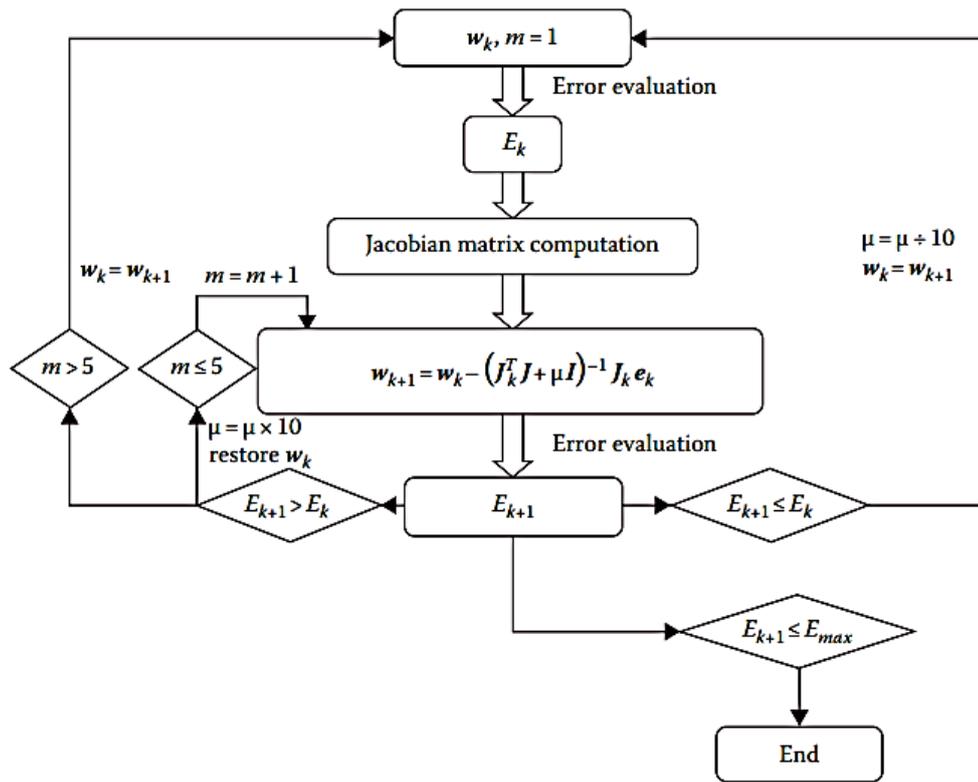
$$w_{k+1} = w_k - (J_k^T J_k)^{-1} J_k e_k \quad (2.27)$$

Kelebihan algoritma ini dibandingkan metode Newton adalah tidak perlu menghitung turunan kedua dari fungsi *error* total

2.8.3.4 Algoritma Levenberg-Marquardt

Algoritma *Levenberg-Marquardt* (LM) merupakan pengembangan dari algoritma *Back Propagation* (BP). Algoritma ini merupakan gabungan antara algoritma *steepest descent* dan algoritma Gauss-Newton. Algoritma LM menggabungkan kecepatan dari algoritma Gauss-Newton dan stabilitas dari algoritma EBP (Yu & Wilamowski, 2011).

Adapun tahapan dari pelatihan algoritma LM dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini



Gambar 2. 9 Blok diagram pelatihan menggunakan algoritma LM untuk 5 *output*

Adapun dari gambar 2.9, dapat dijelaskan tahapan pelatihan algoritma LM sebagai berikut (Yu & Wilamowski, 2011) :

1. Dengan memberikan bobot awal (acak), dihitung nilai SSE melalui persamaan

$$E(x, w) = \frac{1}{2} \sum_{p=1}^p \sum_{m=1}^m e_{p,m}^2 \quad (2.28)$$

dengan :

x = vektor *input*

w = vektor bobot

p = indeks pola

m = indeks *output*

$e_{p,m}$ = *error* pelatihan pada *output* m saat diberikan pola p yang didefinisikan sebagai

$$e_{p,m} = d_{p,m} - o_{p,m} \quad (2.29)$$

dengan :

d = *output* yang diinginkan

- o = *output* yang dihasilkan
2. Menghitung elemen matriks Jacobian
 3. Memperbarui bobot dan menghitung kembali SSE.
 4. Jika nilai SSE yang diperbarui lebih besar, maka nilai w_k tidak diubah dan koefisien kombinasi dinaikkan dengan faktor 10 atau faktor lainnya. Kemudian kembali ke langkah 2 dan perbarui bobot lagi.
 5. Jika nilai SSE yang diperbarui lebih kecil, maka nilai w_k diperbarui dan koefisien kombinasi diturunkan dengan faktor 10 atau faktor yang sesuai dengan faktor langkah 4.
 6. Kembali ke langkah 2 dengan bobot baru sampai nilai SSE lebih kecil dari yang diinginkan.

2.8.4 Root Mean Square Error (RMSE)

Model JST yang dirancang harus dievaluasi performansinya. Metode pengukuran evaluasi performansi model JST dapat menggunakan metode RMSE. Metode RMSE mengukur dengan membandingkan perbedaan nilai estimasi dengan nilai aktual. Dari RMSE, dapat diketahui kualitas model JST apakah layak atau tidak. Semakin kecil nilai RMSE semakin baik karena *error* yang dihasilkan hanya sedikit. Model yang bagus memiliki nilai RMSE mendekati nol. Persamaan RMSE dapat dilihat pada persamaan di bawah (Papantoniou & Kolokotsa, 2015)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2.30)$$

dengan:

- y_i = data aktual
 \hat{y}_i = data hasil prediksi
 n = jumlah data

Untuk membandingkan nilai RMSE pada data yang berbeda ukuran, maka dapat dilakukan dengan menormalisasi RMSE yang dikenal sebagai *normalized* RMSE (nRMSE). Persamaan untuk menghitung nilai nRMSE yaitu

$$nRMSE = \frac{RMSE}{y_{max} - y_{min}} \quad (2.31)$$

dengan:

y_{\max} = data maksimum aktual

y_{\min} = data minimum aktual

2.9 Perhitungan *Fuel Ratio*

Pengambilan data konsumsi bahan bakar sebelum dilakukan pemasangan alat *CoredataQ* dilakukan untuk melihat rasio penggunaan bahan bakar dengan operasi tanpa kontrol FSC-Coredata-Q. Data rasio bahan bakar ini dijadikan *baseline* dalam melakukan penghematan. Efisiensi penggunaan bahan bakar menggunakan rumus dengan persamaan:

$$\text{Efisiensi Penurunan } Fuel (\mu) = \left(\frac{Ratio_{awal} - Ratio_{akhir}}{Ratio_{Awal}} \right) \times 100\% \quad (2.32)$$

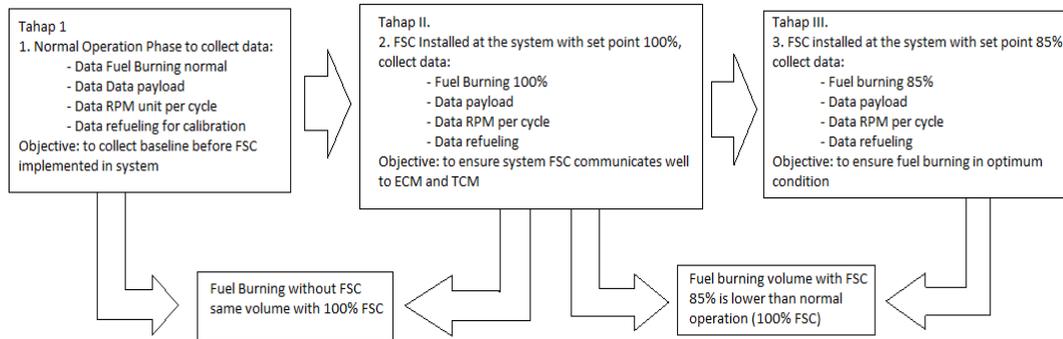
Dimana, rasio awal merupakan nilai baseline sebelum penggunaan FSC-Coredata Q, sedangkan rasio akhir merupakan nilai yang diperoleh berdasarkan *trial* yang dilakukan pada truk dengan pemanfaatan FSC Coredata-Q. Diharapkan penggunaan bahan bakar setelah dipasang alat FSC Coredata-Q lebih rendah dari sebelum dilakukan pemasangan.

Halaman sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

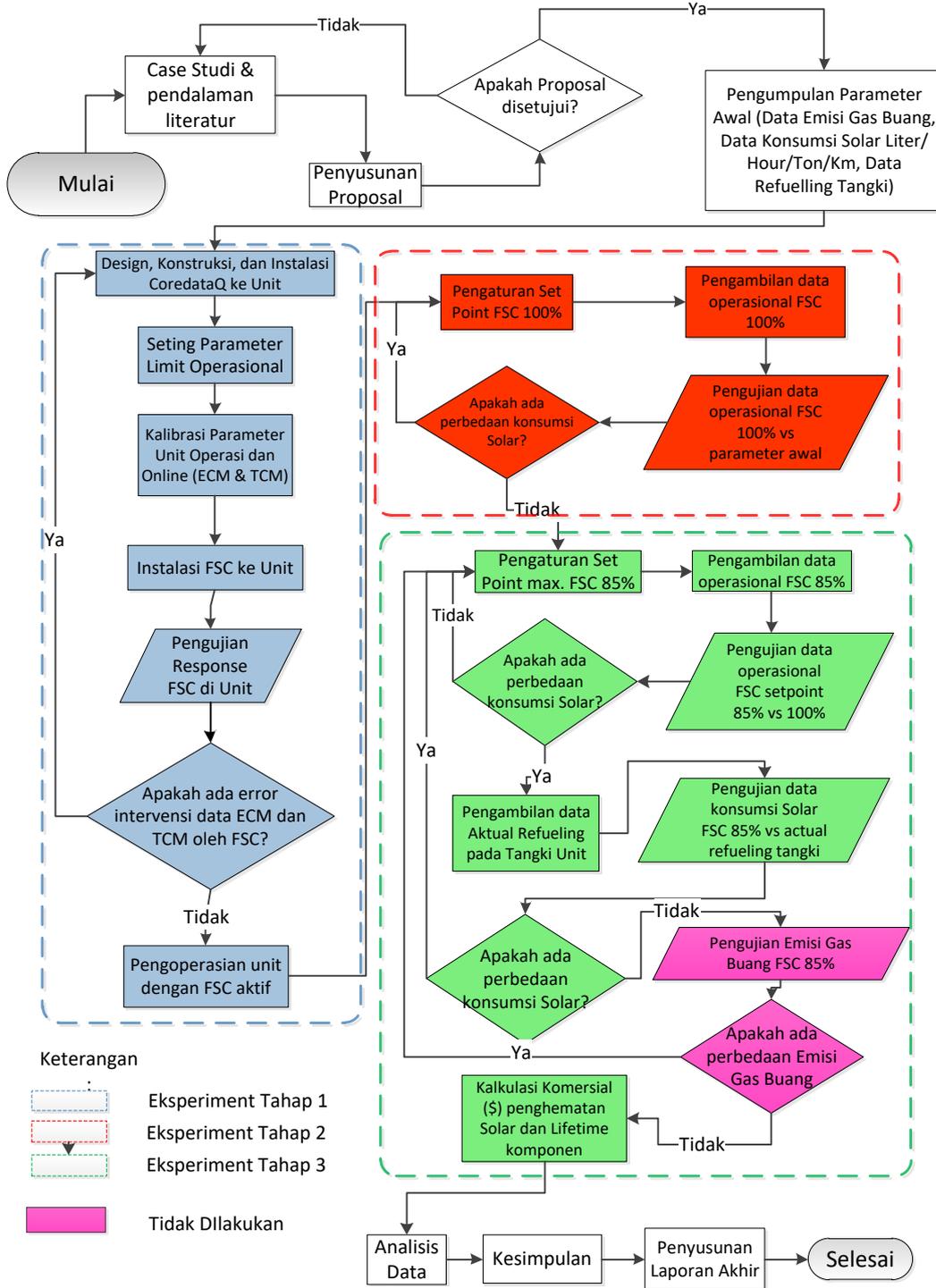
3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan dengan skema sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Tahapan penelitian implementasi sistem kontrol penghemat bahan bakar Cat 777D (data diolah sendiri)

Tahap pertama bertujuan untuk pengumpulan data-data operasional yang dijadikan acuan dasar dalam mengkalkulasi jumlah diesel yang dikonsumsi oleh truk CAT777D dan melakukan uji reliabilitas dari alat CoredataQ dan FSC setelah dipasang pada unit. Tahap kedua merupakan uji eksperimental untuk melihat kinerja FSC pada set point 100% apakah ada pengaruh atau intervensi alat FSC terhadap konsumsi diesel dan kinerja operasional unit. Idealnya, tidak ada error parameter pada unit dan tidak ada perbedaan konsumsi diesel antara parameter awal tanpa dipasang FSC dengan dipasang FSC pada seting FSC 100%. Tahapan ketiga merupakan uji experimental untuk mendapatkan data pengurangan diesel pada masing-masing unit dengan melakukan seting FSC pada level maksimum 85%. Data pengurangan konsumsi diesel unit kemudian dibandingkan dengan data aktual pengisian diesel pada tangki unit sebagai bahan kalibrasi penghematan. Data lain yang diharapkan sebagai penunjang kesuksesan instalasi FSC dalam menghemat diesel adalah tidak terjadi perbedaan signifikan antara emisi gas buang sebelum dan setelah dipasang FSC pada seting 85%, tetapi, sampai saat ini belum ada standar emisi gas buang untuk alat berat tambang yang ditetapkan oleh pemerintah sehingga perbandingan emisi ini tidak dapat dilakukan.. Diagram alir metodologi penelitian seperti tampak pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.2 Penentuan Parameter *Setting Limit* FSC

Penentuan *setting limit* yang digunakan untuk operasional truk 777D berasal dari berbagai sumber seperti spesifikasi OEM (*original equipment manufacture*) untuk hal-hal yang bersifat teknis alat, kebijakan yang ditetapkan oleh perusahaan atau regulasi pemerintah untuk hal-hal yang bersifat keselamatan *operator* atau lingkungan, dan perhitungan rekayasa untuk hal-hal yang bersifat desain. Beberapa *setting limit* yang dimaksud adalah:

- a. Hal-hal yang berhubungan dengan keselamatan *operator* seperti batas kecepatan maksimum yang diterapkan adalah $v_{mak} = 40$ km/hour. Batas kecepatan ini dipertimbangkan oleh manajemen tambang kaitannya dengan keselamatan operasional pertambangan.
- b. Hal-hal yang bersifat teknis alat seperti beban (*paylaod*) berkisar antara 90-105Ton seperti yang tercantum dalam CAT *specification*, limit rpm unit saat dumping material berkisar antara 1,600 rpm s.d. 1,800 rpm dan nilai konsumsi bahan bakar normal mengacu pada spesifikasi CAT 777D yaitu berkisar antara 50 liter/hour s.d. 59.5 liter/hour (*empty weight until fully load*).
- c. Hal-hal yang bersifat rekayasa desain FSC mengacu perhitungan rekayasa seperti batas maksimum opening throttle senilai 85% yang didapat berdasarkan perhitungan:

Berat kosong unit CAT 777D adalah 70.306,8 kg

Berat kosong unit+ material (*loaded weight*) adalah 161.030 kg

Berat material (*normal load*) adalah 90.718,5 kg

Nilai *Horsepower* unit CAT777D adalah 1000Hp (745.7 Kwatt)

3.4 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di departemen perawatan dan operasional tambang yang berlokasi di Sorowako, Sulawesi Selatan, merupakan salah satu perusahaan tambang internasional di Indonesia yang telah memiliki kerangka kerja manajemen asset (*asset management framework*) dan memiliki kebijakan mengenai penghematan energi. Instrument yang akan diteliti adalah alat berat *Haultruck*

Caterpillar tipe 777D, dengan kapasitas angkut 100Ton, dan jumlah alat yang akan diteliti sebanyak 50 unit. Pembangunan piranti FSC sistem melibatkan pihak ketiga PT. APS Indonesia dan hak paten kekayaan intelektual piranti FSC tersebut sepenuhnya nantinya menjadi milik PT. APS Indonesia.

3.5 Jenis Data dan Teknik Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder yang dikumpulkan melalui:

1. Data Primer:

- a) Konsumsi bahan bakar unit diambil langsung secara online dari ECM *Engine* pada bagian *fuel burning per hour*, data *paylaod* (tonnage) unit dari modul TPMS (*total paylaod management sistem*), data aktual bahan bakar unit yang digunakan selama beroperasi diambil dari bagian pengisian tangki melalui sistem ADAPT FMS sebagai pembanding nantinya antara data *engine* unit dan bahan bakar yang disuplai ke dalam tangki.
- b) Data perbedaan operasi sebelum dan sesudah dipasang FSC pada unit akan dilakukan melalui diskusi lapangan ke *operator* untuk menggali informasi pengaruh aspek-aspek operasional alat terutama pada proses pemindahan gear transmisi, kemampuan unit di tanjakan, kecepatan unit, produktivitas *cycle rate*, dan aspek keselamatan selama mengemudi.
- c) Data parameter seting unit running akan diambil pada saat unit dilakukan *PM-Check* di shop. Data ini penting untuk mengetahui *engine performance seting* unit apakah sama sebelum dan setelah dipasang Fuel Saver Module. Jika terjadi perbedaan sebelum dan sesudah dipasang FSC Modul, maka perlu dilakukan kalibrasi ulang pada seting parameter unit sehingga tidak terjadi deviasi engine performance. Data parameter ini akan selalu dibandingkan pada saat unit dilakukan *PM-Ceck* di shop.

2. Data Sekunder:

- a) Data spesifikasi komponen FSC diambil dari spesifikasi katalog.
- b) Data spesifikasi bahan bakar biodiesel diambil dari sertifikat MDS yang diterbitkan oleh provider penyedia bahan bakar.

3.6 Analisis *Principle Componen Analysis (PCA)* pada Sistem Operasi *Haultruck*

3.6.1 *Principal Component Analysis (PCA)*

Pada dasarnya analisis komponen utama (PCA) bertujuan menerangkan struktur varians-kovarians melalui kombinasi linear dari variabel-variabel. Secara umum analisis komponen utama bertujuan untuk mereduksi data dan menginterpretasikannya. Meskipun dari p buah variabel asal dapat diturunkan menjadi p buah komponen utama untuk menerangkan keragaman total sistem (p buah variabel), namun seringkali keragaman total itu dapat diterangkan secara memuaskan oleh sejumlah kecil komponen utama, misal, oleh k buah komponen utama, dimana $k < p$ (k lebih kecil dari pada p). Dalam hal ini, k buah komponen utama dapat menggantikan p buah variabel asal.

Analisis komponen utama sering kali dilakukan tidak saja merupakan akhir dari suatu pengolahan data tetapi juga merupakan tahap (langkah) antara dalam kebanyakan penelitian yang bersifat lebih besar (luas). Sebagai misal dalam analisis regresi komponen utama (*principal component regression*), maka analisis komponen utama akan merupakan tahap antara karena komponen utama dipergunakan sebagai *input* dalam membangun analisis regresi, demikian pula dalam analisis kluster, komponen utama dipergunakan sebagai *input* untuk melakukan pengelompokan. Penelitian ini meneliti beberapa variabel yang dihasilkan berdasarkan proses trial yang dilakukan pada *haultruck*, dengan pemanfaatan dan optimasi dari FSC-CoredatQ, sehingga pada *output* yang diharapkan, terdapat beberapa hasil trial yang memiliki keterikatan antar variabel yang lainnya dalam menentukan *output* yang telah dihasilkan, yaitu *fuel ratio* dengan efektifitas *reduction fuel cost* terhadap *haul truck*

3.6.2 Konsep Dasar Principal Component Analysis (PCA)

1. Komponen utama pertama adalah kombinasi linear terbobot dari variabel asal yang dapat menerangkan keragaman terbesar.
2. Komponen utama kedua adalah kombinasi linear terboboti dari variabel asal yang tidak berkorelasi dengan komponen utama pertama, serta memaksimalkan sisa keragaman data setelah diterangkan oleh komponen utama pertama.

Sebagai catatan dalam penggunaan *principal component analysis* (PCA), pertama, apabila satuan dari variabel (X) yang digunakan dalam membangun komponen utama tidak sama, maka variabel perlu ditransformasikan terlebih dahulu kedalam angka baku (Z). Kedua, ada dua jenis bentuk *input* dalam pemrosesan pembentukan komponen utama yaitu matriks varians-kovarians dan matriks korelasi, matriks varians-kovarians digunakan jika satuan dari variabel sama dan matriks korelasi digunakan jika satuan dari variabel tidak sama dan variabel di transformasikan ke dalam bentuk angka baku (Z). Ketiga, penentuan dalam penggunaan jenis matriks sebagai *input* dari perhitungan komponen utama (S atau R) menentukan dalam formulasi yang digunakan dalam rangka menghitung besarnya bagian atau persentase keragaman total yang mampu diterangkan oleh komponen utama ke-j dan formulasi yang digunakan untuk mengukur keeratan hubungan (korelasi) antara variabel asal dengan komponen utama yang terbentuk. *Keempat*, perhitungan nilai skor komponen utama diperoleh dari hasil perkalian nilai variabel (X) dengan nilai vektor *eigen* yang dihasilkan dari proses perhitungan (bukan dari hasil perkalian faktor *loading* dengan nilai variabel X-nya).

3.6.3 Kriteria Dalam Principal Component Analysis (PCA)

Biasanya dalam *principal component analysis* (PCA), dari p buah komponen utama yang ada dipilih k buah komponen utama saja yang telah mampu menerangkan keragaman data cukup tinggi, katakanlah sekitar 80% s.d 90% dengan kriteria $k < p$. Misal, apabila p berukuran besar, sedangkan diketahui bahwa sekitar 80% s.d 90% keragaman total telah mampu diterangkan satu, dua atau tiga

komponen utama pertama, maka komponen-komponen utama tersebut telah dapat menggantikan p buah variabel asal tanpa mengurangi informasi yang banyak.

Selanjutnya untuk menentukan variabel mana yang berkontribusi besar pada tiap komponen utama yang terbentuk, ditentukan berdasarkan nilai keeratan hubungan (nilai loading) yang dihasilkan antara variabel asal dengan komponen utama. Besar kontribusi untuk masing-masing variabel penelitian dalam komponen utama ditentukan dengan semakin tinggi nilai loading yang dihasilkan, berdasarkan kriteria korelasi di mana nilai korelasi lebih besar atau sama dengan 0.500 memiliki hubungan yang kuat dan sebaliknya untuk nilai korelasi lebih kecil dari 0.500 memiliki hubungan yang lemah.

3.6.3 Penentuan Banyak Komponen Utama

Penentuan banyaknya komponen utama yang akan di ekstrak dapat ditentukan beberapa cara diantaranya:

1. Kriteria *eigenvalue*, ditentukan dengan memilih komponen utama yang memiliki nilai eigen lebih besar atau sama dengan satu (1). Komponen utama dengan nilai eigen kurang dari satu (1) dikeluarkan dari analisis.
2. Kriteria apriori. Dalam hal ini peneliti sudah menetapkan terlebih dahulu berapa banyak komponen utama yang akan diekstrak.
3. Kriteria persentase varians. Banyaknya komponen utama yang akan diekstrak ditentukan oleh persentase kumulatif varians (bahasan sebelumnya)
4. *Screen test*. Dilakukan dengan membuat plot eigen value terhadap komponen utama berdasarkan urutan perolehannya. Kurva yang diperoleh menjadi dasar penetapan banyaknya komponen utama yang akan diekstrak. Banyak komponen utama ditentukan apabila kurva menjadi datar dengan melihat pada sumbu komponen utama.

3.7 Uji Korelasi pada Permodelan Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Uji korelasi merupakan suatu pengujian data untuk mengetahui tingkat keeratan hubungan antar variabel secara linier yang dinyatakan dalam bentuk koefisien korelasi (r). Nilai koefisien korelasi terletak di antara -1 hingga +1. Semakin mendekati nilai -1 atau +1, semakin erat hubungan antar variabel. Arti tanda negatif merupakan korelasi antar variabel berlawanan. Sedangkan tanda positif merupakan korelasi antar variabel searah.

Metode yang digunakan untuk menghitung koefisien korelasi adalah *Pearson Correlation* dengan persamaan koefisien korelasi pada persamaan (3.1) dibawah ini (Zhou, Deng, Xia, & Fu, 2016)

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \sum(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.1)$$

dengan :

r = koefisien korelasi variabel x dengan y

x_i = data variabel x ke- i

\bar{x} = rata-rata variabel x

y_i = data variabel y ke- i

\bar{y} = rata-rata variabel y

Nilai koefisien korelasi inilah dapat ditentukan variabel apa saja yang dapat dijadikan sebagai data masukan dalam melakukan estimasi *payload*. Semakin nilai koefisien korelasi mendekati nol, maka semakin besar error untuk membuat prediksi. Sebagai pedoman dalam memberikan pernyataan terhadap koefisien korelasi yang dihitung, maka dapat berpedoman pada ketentuan yang tertera pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3. 1 Pedoman Menentukan Tingkat Hubungan Berdasarkan Koefisien Korelasi

Koefisien Korelasi	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat rendah atau tidak berpengaruh
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

3.7.1 Perancangan Model JST dengan Variasi *Hidden node*

Perancangan model JST dilakukan dengan bantuan MATLAB. Langkah pertama yang dilakukan yaitu melakukan normalisasi data dari data yang telah diambil. Persamaan normalisasi yang digunakan adalah (Siang, 2005)

$$x' = \frac{0.8(x-b)}{(a-b)} + 0.1 \quad (3.2)$$

dengan :

x' = data hasil normalisasi

x = data asli

a = nilai maksimum data asli

b = nilai minimum data asli

Dari persamaan (3.2), maka diharapkan data hasil normalisasi memiliki rentang antara 0,1 hingga 0,9.

Data pelatihan yang disediakan dimasukkan dalam program MATLAB untuk melatih jaringan syaraf tiruan. Dikarenakan data yang masuk dalam model JST merupakan data normalisasi, maka nilai MSE yang menjadi target dari JST pada MATLAB merupakan nilai MSE dari data yang telah dinormalisasi. Sehingga perlu dihitung nilai MSE yang menjadi target di MATLAB.

Persamaan mengenai hubungan MSE dan RMSE adalah

$$MSE = RMSE^2 \quad (3.3)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.4)$$

Dengan menggunakan persamaan (3.3) dengan target nRMSE sebesar <10%, maka didapatkan target RMSE dengan y_{\max} dan y_{\min} didapatkan dari data *payload* yang telah didapat sebesar 120 dan 0 berturut-turut yaitu

$$RMSE = 0.10(120 - 0) \quad (3.5)$$

$$RMSE = 12 \quad (3.6)$$

Dengan menggunakan target RMSE bernilai 8, dengan memasukkan ke persamaan (3.3), maka didapatkan nilai MSE

$$MSE = 12^2 \quad (3.7)$$

$$MSE = 144 \quad (3.8)$$

Nilai MSE diatas merupakan nilai MSE yang sesungguhnya. Untuk mengetahui nilai MSE yang telah dinormalisasi dihitung dengan menggabungkan persamaan (3.4) yang dimodifikasi sehingga menjadi persamaan dibawah ini

$$MSE' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y'_i - \hat{y}'_i)^2 \quad (3.9)$$

dengan :

MSE' = MSE hasil normalisasi

y'_i = data aktual normalisasi

\hat{y}'_i = data prediksi normalisasi

Dengan menggabungkan persamaan (3.9) diatas dengan persamaan (3.2), maka didapatkan persamaan

$$MSE' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{0.8(x-b)}{(a-b)} + 0.1 \right) - \left(\frac{0.8(\hat{x}-b)}{(a-b)} + 0.1 \right) \right)^2 \quad (3.10)$$

$$MSE' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{0.8(x-b) - 0.8(\hat{x}-b)}{(a-b)} \right)^2 \quad (3.11)$$

$$MSE' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{0.8(x-\hat{x})}{(a-b)} \right)^2 \quad (3.12)$$

$$MSE' = \left(\frac{0.8}{a-b} \right)^2 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x - \hat{x})^2 \quad (3.13)$$

$$MSE' = \frac{0.64}{(a-b)^2} MSE \quad (3.14)$$

Substitusi nilai MSE dari persamaan (3.8), maka didapatkan nilai MSE normalisasi

$$MSE' = \frac{0.64}{(120-0)^2} \times 144 \quad (3.15)$$

$$MSE' = 0.003136 \quad (3.16)$$

Dari MSE tersebut, maka rancangan arsitektur dibuat dengan parameter seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 2 Parameter Model JST

No	Parameter	Keterangan
1	Arsitektur	<i>Multi-layer feedforward</i>
2	Algoritma pelatihan	Levenberg-Marquardt
3	Jumlah <i>hidden layer</i>	2
4	Target MSE	0.491
5	<i>Epoch</i> maksimum	500
7	Koefisien kombinasi	0.001
8	Fungsi aktivasi	tangen sigmoid (<i>input</i> ke <i>hidden</i>), linier (<i>hidden</i> ke <i>output</i>)

Kemudian dilakukan percobaan dengan melakukan variasi pada jumlah *hidden node* pada *hidden layer* yang dimulai dari 1 hingga 20 *hidden node* pada model JST. Nilai keluaran dari JST merupakan nilai yang telah dinormalisasi, sehingga untuk mengetahui nilai RMSE sesungguhnya maka dilakukan

denormalisasi melalui persamaan yang menggabungkan persamaan (3.3), dan (3.14).

$$RMSE' = \frac{0.8}{(a-b)} RMSE \quad (3.17)$$

$$RMSE = 177.5 \times RMSE' \quad (3.18)$$

dengan :

$RMSE$ = nilai RMSE sesungguhnya

$RMSE'$ = nilai RMSE akibat normalisasi data

Hasil dari data pelatihan tersebut kemudian dilihat nilai RMSE sesungguhnya yang terbaik dari semua jumlah *hidden node*, sehingga akan diperoleh jumlah *hidden node* yang tepat untuk melakukan estimasi. Nilai RMSE nantinya akan diubah dalam bentuk nRMSE.

3.7.2 Pengujian Model JST

Pengujian model JST dilakukan adalah dengan cara melakukan pengujian data yang belum pernah dilatih sebelumnya. Sama seperti saat pelatihan data, data yang akan diuji akan dinormalisasi sebelum masuk dalam model JST. Dari model JST tersebut akan dapat diketahui nilai RMSE. Nilai RMSE tersebut akan didenormalisasi sehingga mendapatkan nilai RMSE sesungguhnya dari data uji tersebut. Dari RMSE tersebut, maka dapat dihitung nilai. Jika nilai nRMSE lebih besar dari 8%, maka akan dilakukan kembali perancangan model JST dengan mengubah parameter JST.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh selama proses pengoperasian sistem dan perhitungan akan diuraikan pada bab IV. Pada bab ini berfokus pada desain FSC-CoredataQ, pengaruh dari implementasi sistem FSC di alat berat tambang dengan sampel yang diambil dari *Haultruck* CAT 777D 100 ton dengan cara meminimalkan deviasi operasional truk Terdapat beberapa sub analisa yang di paparkan pada penelitian ini, menyangkut desain FSC-CoredataQ, pengujian reabilitas sistem pada CoredataQ dan FSC, pengoperasian unit menggunakan FSC dengan (*test error*), sistem pengaturan FSC 100%, Analisa data dalam penggunaan FSC 100% dan 85%, *feasibility study*, dan melakukan *analisa principle analysis component* (PCA) beserta permodelan jaringan saraf tiruan pada sistem operasional. Keseluruhan data tersebut akan diuraikan pada sub bab 4, seperti dibawah ini,

4.1 Sistem desain dan Studi Kelayakan FSC-CoredataQ

Ide pemasangan *CoredataQ* diawali oleh banyaknya bermunculan kasus-kasus *breakdown* truk tambang yang seharusnya bisa diprediksi dari awal jika team *maintenance* mendapatkan informasi indikasi kegagalan alat lebih awal. Kurangnya informasi tersebut karena tidak adanya alat kontrol untuk memonitor kondisi alat berat ketika sedang beroperasi. Indikator kegagalan alat tersebut sudah direkam dalam ECM (*electronic control module*) alat, namun ketidakmudahan akses informasi alat berat dan membutuhkan proses download ke unit apabila membutuhkan informasi parameter alat berat, sehingga semua informasi tersebut hanya bisa di download setelah unit gagal. Dengan kata lain, team *maintenance* sudah terlambat atau tidak dapat menjalankan fungsi *predictive maintenance*. Akibat kegagalan alat tersebut, sudah pasti membawa konsekuensi biaya pemeliharaan yang tinggi yang disebabkan oleh kurang terkontrolnya penggunaan alat berat. Untuk mengatasi kesulitan tersebut, dibentuk suatu ide untuk memasang peralatan yang mampu menampilkan semua informasi-informasi kondisi status parameter alat selama beroperasi secara online sehingga *control room operator*

mampu membaca tren kondisi parameter alat dan melakukan intervensi jika indikasi kegagalan alat sudah mencapai pada batas yang ditolerir.

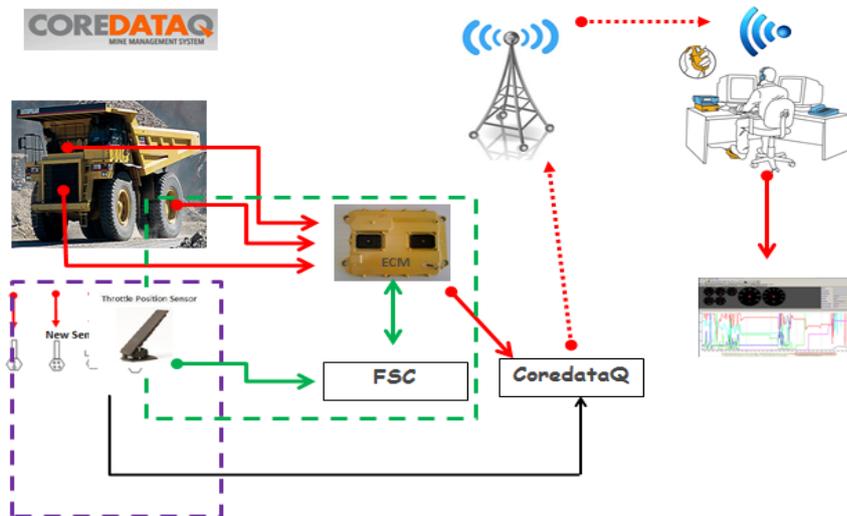
Dalam perkembangannya, berbagai masukan muncul dari bagian operasional untuk memastikan mengukur kinerja operasional secara cepat dan *operator* mengoperasikan alat dengan benar yaitu dengan cara meminimalkan deviasi operasional sehingga produktifitas alat dapat lebih ditingkatkan, *operator* lebih selamat (*safety*), dan penggunaan bahan bakar lebih dieffisienkan. Deviasi operasional yang dapat dijelaskan disini seperti *operator* selalu menekan pedal gas secara berlebih pada saat dumping material, menambah akselerasi jika kecepatan unit sudah mencapai maksimum 40 km/hr, dan menggunakan shifting transmisi yang tidak tepat di daerah tanjakan atau turunan. Berdasarkan masukan operasional di atas, maka CoredataQ dibangun bukan hanya berfungsi sebagai *equipment health monitoring* tetapi berfungsi juga sebagai *operational deviation controller*. Tujuan dipasang alat CoredataQ secara umum yaitu:

1. Sebagai alat bantu untuk otomatisasi agar unit bekerja pada penggunaan bahan bakar dengan beban yang optimum.
2. Memperbaiki kinerja *operator* yang dianggap akan menyebabkan penggunaan bahan bakar berlebih (*fuel saver*).
3. Memperpanjang usia unit.
4. Memonitor secara *real-time* informasi parameter unit, sehingga kerusakan dapat dicegah sejak dini.
5. Dengan kemampuan memonitor deviasi dari *equipment health*, maka tindakan koreksi terhadap cara pengoperasian unit dapat dilakukan sebelum unit gagal.
6. Dapat memberikan evaluasi secara cepat dan memberikan arahan untuk mengambil tindakan yang sesuai dari masalah yang terjadi yang dapat mempengaruhi target produksi.

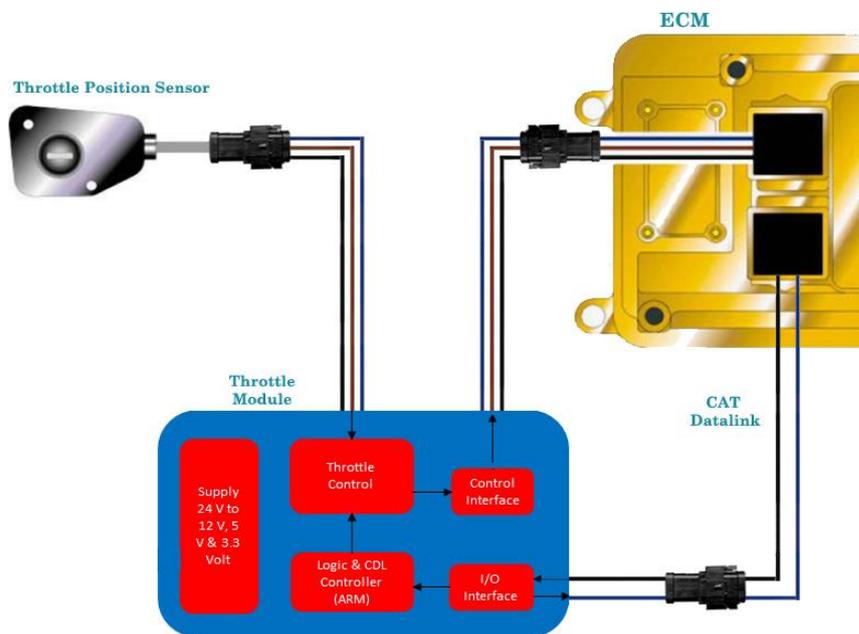
4.1.1 Sistem Desain CoredataQ

Sistem desain CoredataQ dibangun mengacu pada dua fungsi di atas dan harus mampu mengintegrasikan kedua fungsi tersebut dalam satu jaringan infrastruktur. Sistem CoredataQ dibangun dari hasil kerjasama antara bagian rekayasa *Maintenance Mobile Equipment* PT. Vale Indonesia dengan perusahaan

PT. APS Indonesia. Gambaran umum sistem desain CoredataQ adalah seperti pada gambar 4.1 dan 4.2 di bawah:



Gambar 4. 1 Sistem desain CoredataQ



Gambar 4. 2 Controller FSC

Perangkat sistem *CoredataQ* dan FSC pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 yang dibangun harus mampu melakukan dua komunikasi ke ECM (*engine control module*) untuk mendapatkan data operasional *engine* dan TCM (*transmission control module*) untuk mendapatkan data parameter kecepatan dan penggunaan transmisi unit, kemudian FSC modul melalui logika khusus yang didesain pada

gambar 4.3 akan melakukan optimasi untuk memerintahkan engine beroperasi pada horsepower yang dibutuhkan (optimum), dengan cara mengatur jumlah volume bahan bakar yang masuk ke ruang bakar.

Input FSC berupa:

- Sinyal *accelerator* pedal/*Throttle pedal*
- *Data output* ECM, melalui koneksi CAN yang ada.

Output FSC berupa:

- Sinyal *accelerator* ke *input* ECM
- *Action reduce fuel* ke sistem pembakaran pada level optimum

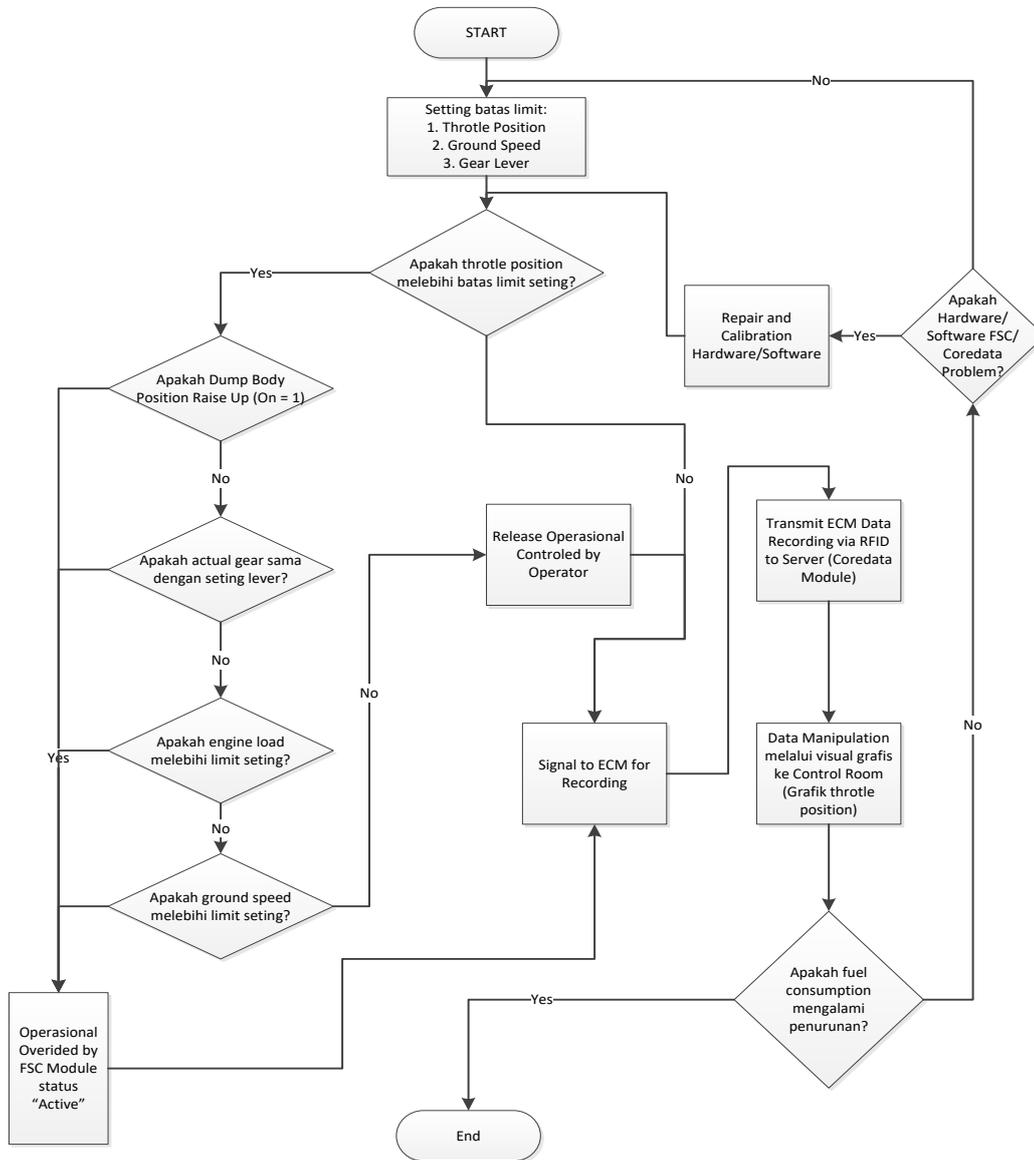
Perangkat FSC ini akan membatasi *operator* untuk menekan pedal berlebihan pada kondisi sebagai berikut :

1. *Load Engine* telah melebihi pembatasan.
2. *Body dump raise (body up)*.
3. Kecepatan bergerak unit melebihi nilai yang telah ditentukan.

Komponen-komponen yang digunakan oleh *FSC Control Module* adalah:

- *ARM Core Processor , 32 bit RISC Technology*
- *Data Recording for last 7 – 28 Days*
- *Data port for connect to ECM*
- *I/O port for automation*
- *Supply Voltage 30 Volt ; DC < 400 mA Current Consumption*
- *Port Ethernet communication*

Logika kontrol FSC *Module* dalam CoredataQ seperti skema pada diagram 4.3 dibawah:



Gambar 4. 3 Skema logika FSC dalam modul CoredataQ (sumber: APS Indonesia, 2017)

4.1.2 Studi Kelayakan CoredataQ

Implementasi system CoredataQ membutuhkan investasi yang sangat besar, oleh karena itu sebelum dilakukan implementasi, penting dilakukan studi kelayakan dengan tujuan untuk memastikan system CoredataQ benar-benar memiliki kapabilitas dan reliabilitas sesuai objektif di atas. Hal ini penting dilakukan mengingat risiko dari operasional yang tinggi bukan hanya menyangkut biaya

investasi, lebih jauh terutama menyangkut masalah biaya produksi tambang yang hilang apabila implementasi system ini mengalami kegagalan. Tahapan-tahapan *trial* dilakukan sebagai berikut:

- a. Tanggal 26 Januari 2016, team PT. APS Indonesia melakukan kunjungan ke PT. Vale Indonesia Plant Site Sorowako – Sulawesi Selatan mengenalkan beberapa solusi.
- b. Dilanjutkan pertemuan di Jakarta pada tanggal 9 Februari 2016, membicarakan rencana *trial Fuel Saver Control* (FSC) dan akuisisi data parameter engine, yang akan diawali dengan observasi ke unit dan area terlebih dahulu.
- c. Tanggal 22 - 25 Pebruari 2016 team PT. APS Indonesia melakukan observasi di unit truk Komatsu HD985-5 dan truk CAT777D.
 - i. Dikarenakan komunikasi ke ECM HD985-5 berbeda dengan seri 7 maka dibutuhkan effort yang besar untuk bisa berkomunikasi dengan ECM sehingga ini butuh studi yang lama. Sehubungan hal tersebut PT. APS Indonesia dan PT. Vale sepakat melakukan *trial Fuel Saver Control* menggunakan unit truk CAT 777.
 - ii. Sebagian area operasional truk CAT777D yang akan di d *trial* tidak ter-cover keseluruhan oleh sinyal jaringan *wireless*.
2. Target awal dari *trial* di CAT777D adalah untuk:
 - a. Mendapatkan hasil dari penggunaan system *Fuel Saver Control* pada unit truk CAT777.
 - b. Mendapatkan data parameter *engine* unit truk CAT777
 - c. Memvisualisasikan data parameter *engine* unit *truk* CAT777 ke dalam aplikasi sederhana.
3. *Trial* tahap pertama, dilakukan tanggal 23 September – 20 Oktober 2016 dan *trial* tahap kedua dilakukan tanggal 19 – 22 Desember 2016

Hasil *trial* tahap pertama:

1. Model Unit : CAT 777D
2. Kode Unit : HT2074
3. Target *Trial* : Mendapatkan hasil dari penggunaan *Fuel Saver Control* pada Off- Highway Truk CAT 777

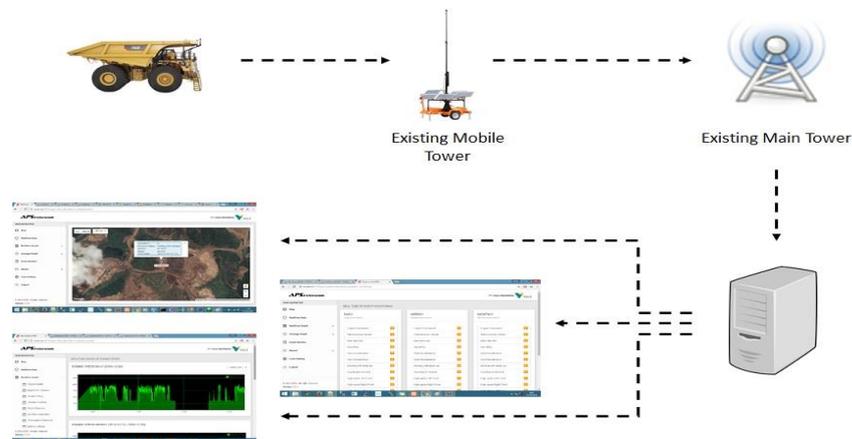
4. Summary Hasil *Trial* :

Tabel 4.1 Hasil *Trial* 1 CoredataQ pada truk CAT777D – HT2074

No	Description	Fuel Saver Control OFF	Fuel Saver Control ON	Satuan
1	Muatan per Jam	134.92	137.50	ton/hour
2	Jarak per jam	12.24	11.04	km/hour
3	Shifting per Jam	143.32	123.84	
4	Jarak per liter	0.21	0.22	km/liter
5	Muatan per liter	2.43	2.80	ton/liter
6	Konsumsi fuel per jam	56.78	49.28	liter/hour

Hasil *trial* tahap kedua:

1. Model Unit : CAT 777D
2. Kode Unit : HT2074
3. Target *Trial* :
 - a. Mendapatkan data parameter engine unit OHT CAT 777D
 - b. Memvisualisasikan data parameter engine unit OHT CAT 777D
4. Summary Hasil *Trial* :
 - a. *CoredataQ* berhasil mendapatkan data parameter unit CAT 777D HT2074 secara *real-time* dan di transmit menggunakan jaringan MMS - PT. Vale Indonesia.
 - b. *CoredataQ* berhasil memvisualisasikan parameter CAT 777D HT2032 dalam bentuk aplikasi secara *real-time*.

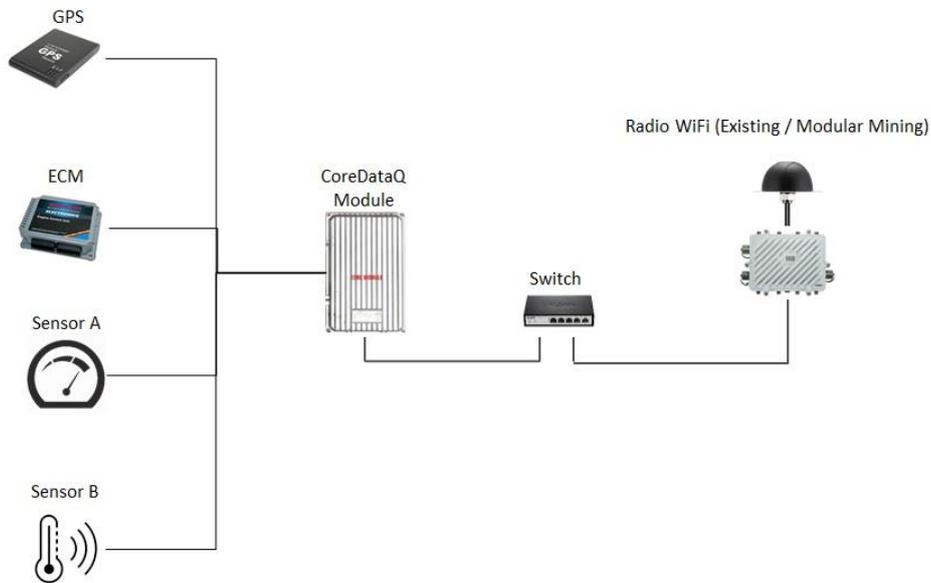


Gambar 4.4 Konfigurasi Sistem Transmisi Data CoredataQ (Sumber: APS Indonesia, 2016)

Konfigurasi yang dihasilkan berasal dari integrasi yang dilakukan antara truk dengan existing mobile tower yang telah tersinkronisasi dengan existing main

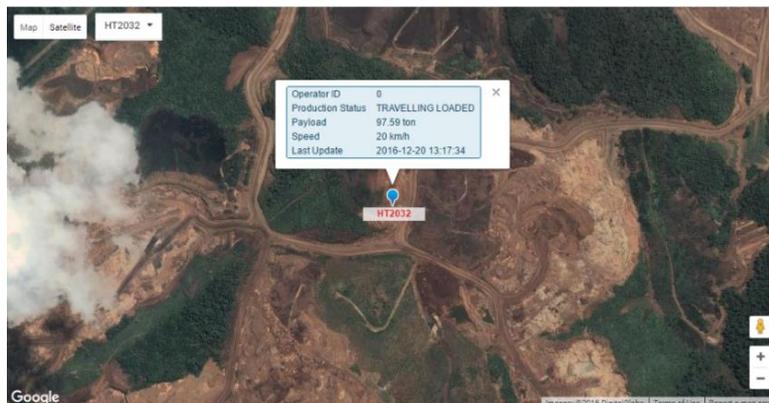
power, dimana keluaran yang dihasilkan adalah beberapa rekap dari optimasi bahan bakar yang dihasilkan pada penggunaan FSC.

5. Konfigurasi Perangkat di Unit



Gambar 4. 5 Konfigurasi perangkat CoredataQ di Unit CAT777D (Sumber: APS Indonesia, 2016)

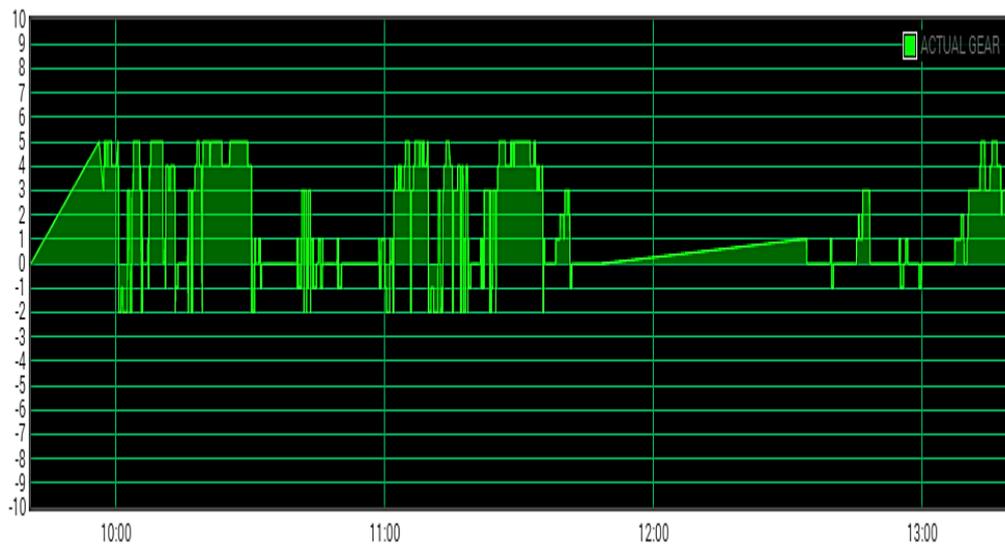
Gambar 4.5 merupakan perangkat sistem pada optimasi penggunaan bahan bakar pada haultruck CAT 77D telah di inialisasi sistem CoredataQ yang bertujuan untuk melakukan komunikasi dua arah, yaitu ke *engine control module* (ECM) untuk mendapatkan data operasional *engine* dan *transmission control module* (TCM) untuk mendapatkan data parameter kecepatan dan penggunaan transmisi unit.



Gambar 4. 6 Map lokasi dan pengujian unit haultruck

Pada gambar 4.6 merupakan lokasi yang digunakan sebagai pengujian pada *trial* data untuk mengetahui reliabilitas sistem dalam pemanfaatan CoredataQ pada unit *haultruck*, dimana terdapat beberapa parameter dan nilai yang dihasilkan pada pengujian ini, yaitu

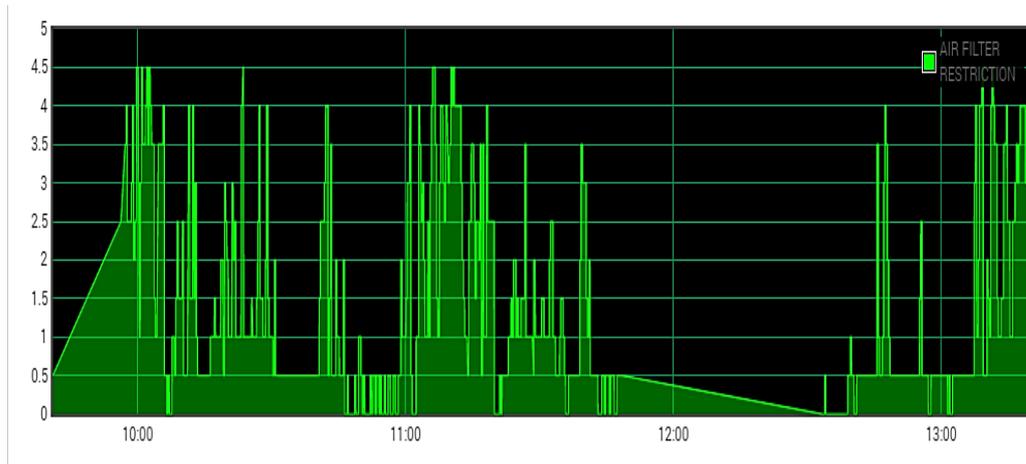
a. *Actual Gear*



Gambar 4. 7 Penggunaan *actual gear* operasional HT 2074

Gambar 4.7 menunjukkan penggunaan *gear* selama beroperasi. Angka minus (-) menunjukkan penggunaan *reverse gear*. Angka positif menunjukkan penggunaan *forward gear*. Analisa penggunaan *gear* bertujuan untuk mengetahui kecepatan putaran dan torsi yang dibangkitkan selama beroperasi, sehingga pada gambar 4.7 nilai negatif diakibatkan oleh jalur atau slip yang dialami oleh roda gigi selama beroperasi.

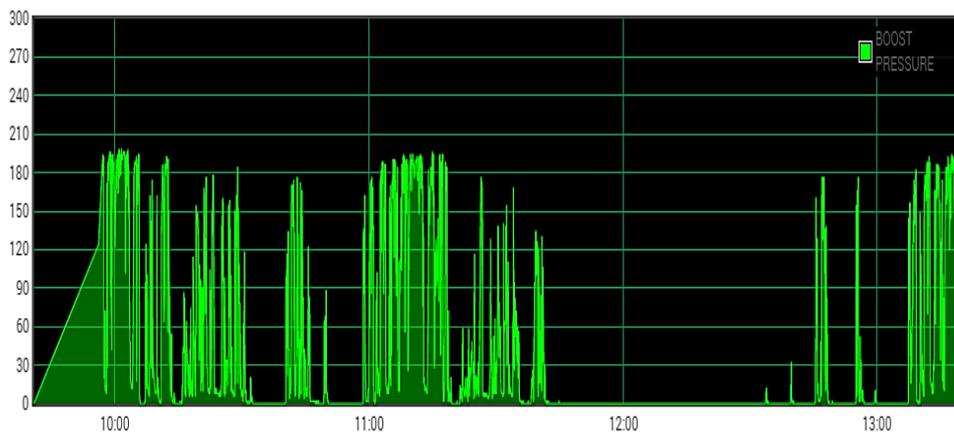
b. *Air Filter Restriction*



Gambar 4. 8 *Air filter restriction* HT 2074

Gambar 4.8 menunjukkan tingkat *restriction*/hambatan dari *filter* udara. Nilai ini didapatkan dari perhitungan antara *atmospheric pressure* dan *turbocharger inlet air pressure* oleh ECM. Satuannya Kpa. Jika nilai hambatan *filter* ini mencapai 6.5 Kpa maka *power engine* akan mengalami penurunan sampai dengan 20% dari *rated*-nya. Hal tersebut membuat sistem mengalami masalah dalam penyaringan menuju ruang bakar, sehingga performansi yang diberikan jika bekerja pada jangka waktu yang lama akan membuat *engine* menjadi panas dan *cost* yang dibutuhkan dalam pemberian bahan bakar akan terserap.

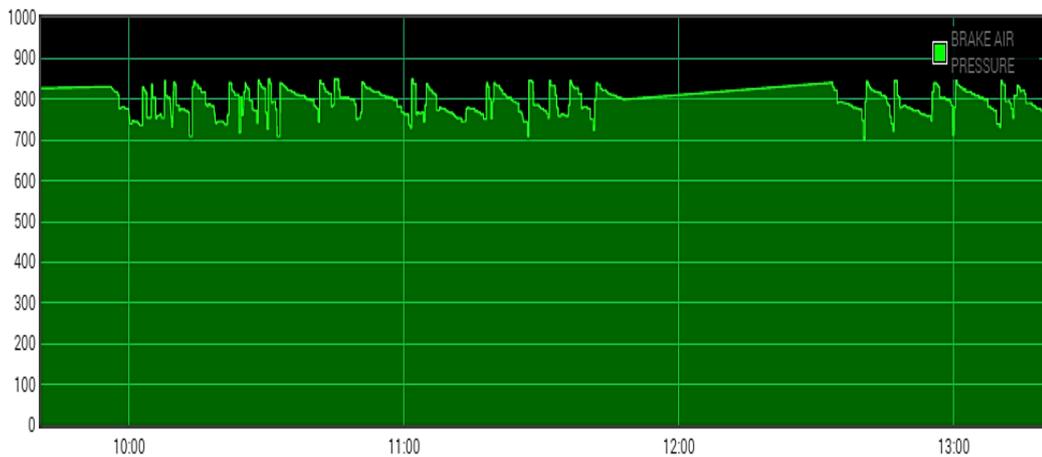
c. *Boost Pressure*



Gambar 4. 9 Nilai *Boost Pressure* HT 2074

Gambar 4.9 menunjukkan nilai *Boost Pressure*. Nilai *Boost* ini mengindikasikan banyaknya udara yang ada di dalam *cylinder* semakin tinggi semakin banyak udara. Nilai *Boost* akan mempengaruhi ECM untuk memasukan BBM ke ruang bakar.

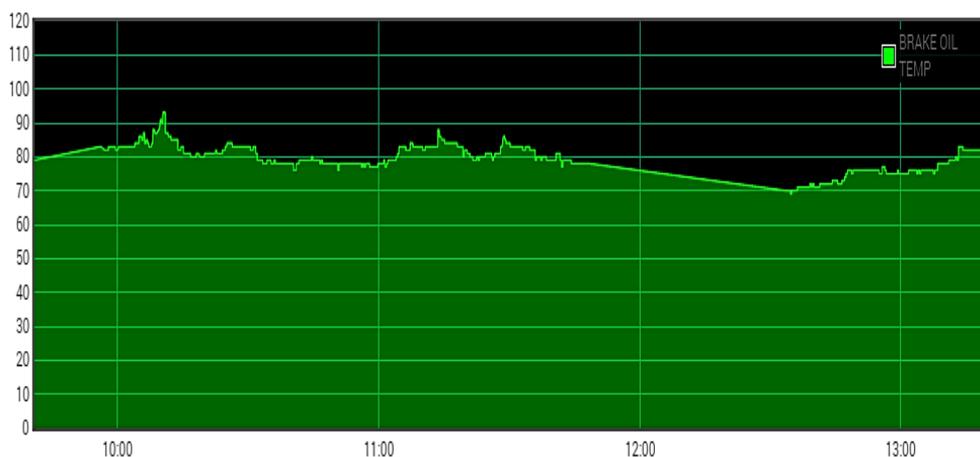
d. *Brake Air Pressure*



Gambar 4. 10 *Air Brake system pressure HT 2074*

Gambar 4.10 menunjukkan nilai tekanan udara dalam system pengereman (*Brake System*) Grafik ini dapat dimanfaatkan untuk menganalisa performa dari *compressor* udara dan kemungkinan kebocoran seal.

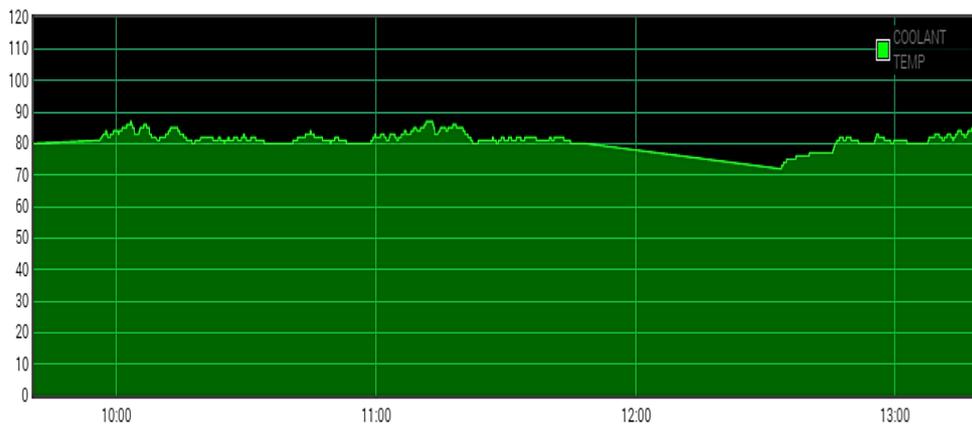
e. *Brake Oil Temperature*



Gambar 4. 11 *Brake cooling oil temperature HT 2074*

Gambar 4.11 menunjukkan nilai *temperature* dari *oil cooling brake system*. Satuannya adalah derajat *celcius*. Semakin tinggi *temperature* semakin tinggi intensitas penggunaan *Brake*. Sehingga pada sistem dianjurkan temperatur yang diberikan tidak melebihi batas $> 120^{\circ}\text{C}$ karena meingkatkan probabilitas dari sistem dalam mengkonsusmi bahan bakar yang besar.

f. *Coolant Temperature*



Gambar 4. 12 *Water cooling temperature* HT 2074

Gambar 4.12 menunjukkan nilai *temperature* dari *engine cooling system*. Satuannya adalah derajat *celcius*. Kita bisa melihat tren dari sistem pendinginan *engine daily, weekly, monthly*.

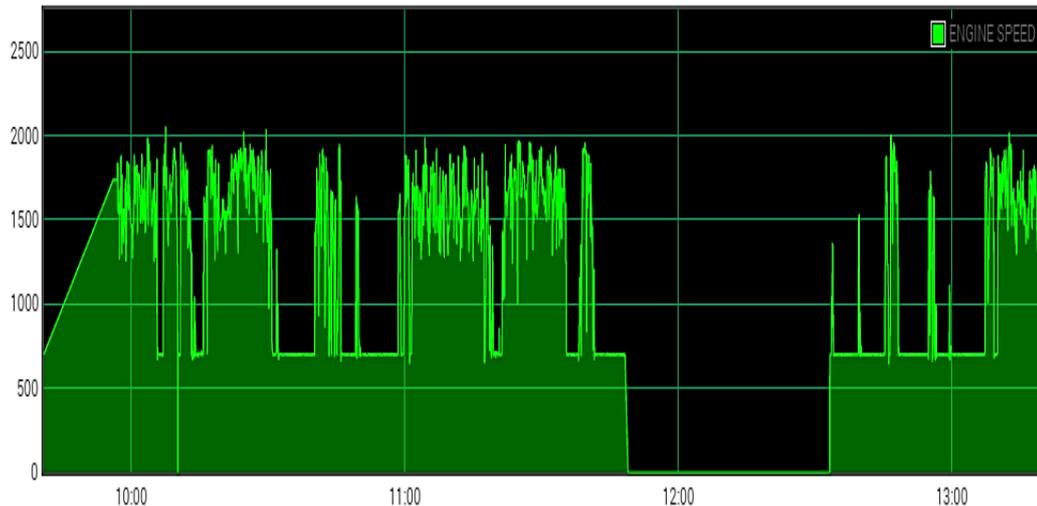
g. *Engine Oil Pressure*



Gambar 4. 13 *Engine oil pressure* HT 2074

Gambar 4.13 menunjukkan nilai tekanan oli di dalam *engine* setelah *filter* Oli. Satuannya adalah Kpa. Grafik ini bisa dimanfaatkan untuk melihat performa oil pump. Pada grafik di atas *oil pump* bekerja di 240 Kpa.

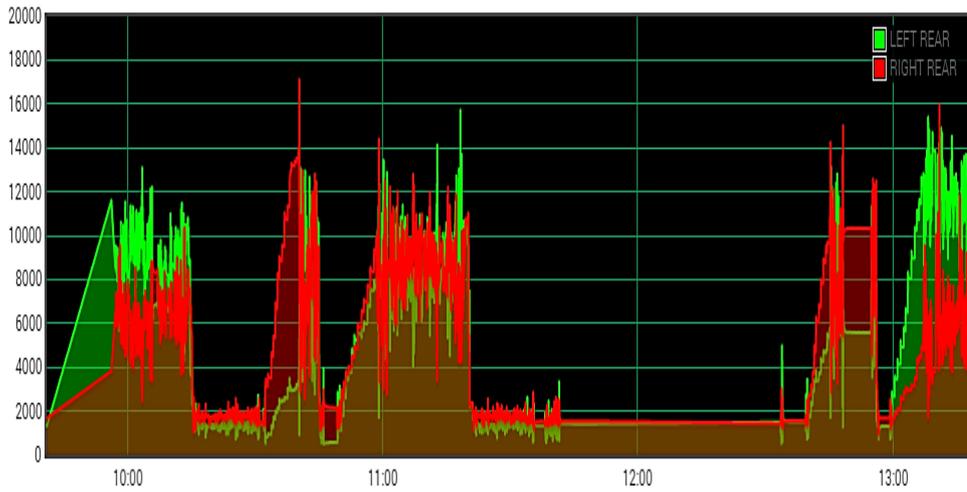
h. Engine Speed



Gambar 4. 14 *Engine* RPM HT 2074

Gambar 4.14 menunjukkan nilai kecepatan putaran mesin. Satuan yang dipergunakan adalah *rotational per minute* (RPM), dimana pada grafik menunjukkan nilai RPM yang dihasilkan selama *haultruck* beroperasi, pada gambar memperlihatkan tren data dengan kondisi RPM tidak dihasilkan, hal tersebut diakibatkan oleh ketika *haultruck* berkerja terjadi roses pengisian beban atau penurunan beban sehingga pada monitoring akan memperlihatkan tingkat atau perbesaran nilai RMP berdasarkan studi lapangan.

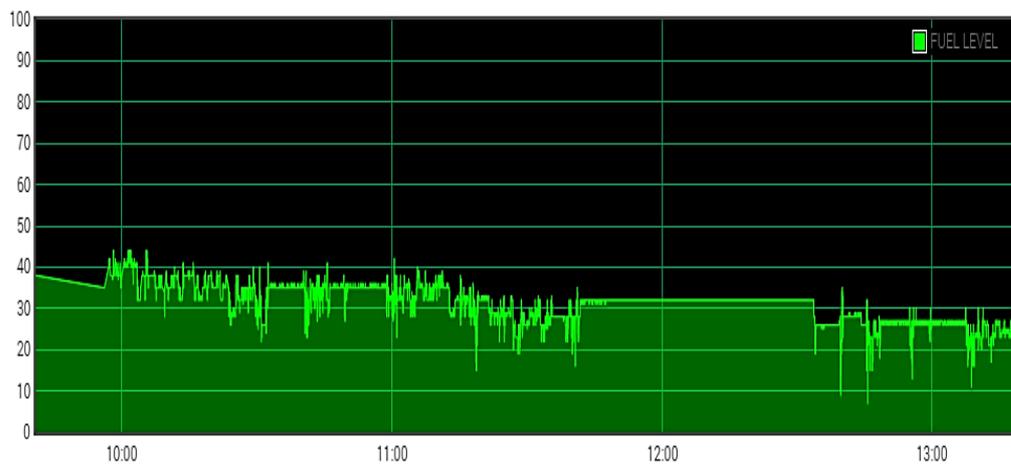
i. *Suspension*



Gambar 4. 15 Tekanan oli pada silinder suspensi belakang HT 2074

Gambar 4.15 menunjukkan nilai tekanan didalam *cylinder suspension* belakang. Satuannya adalah Kpa. Jika tekanan di dalam *cylinder* banyak terjadi spike maka dapat memperpendek umur *cylinder* dan *chasis*. Untuk tingkat *advance* parameter ini dapat digunakan menganalisa kondisi jalan.

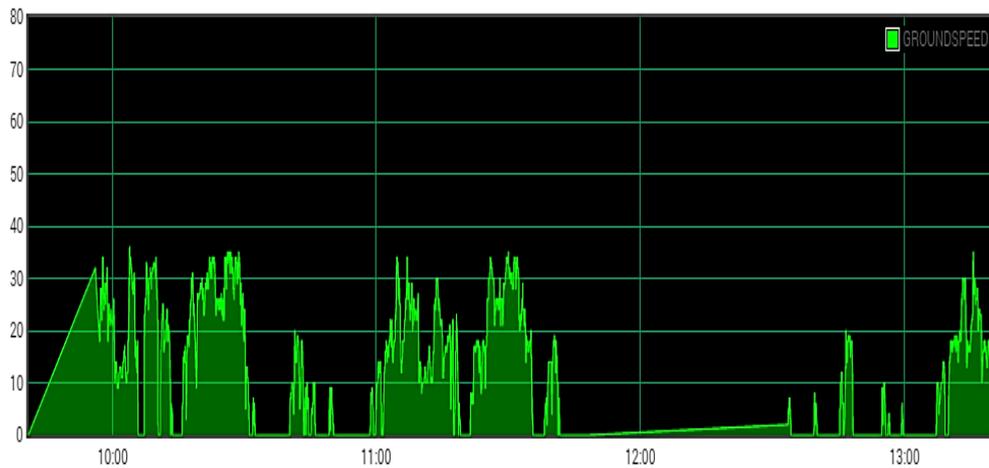
j. *Fuel Level*



Gambar 4. 16 Kapasitas bahan bakar di dalam tangki HT 2074

Gambar 4.16 menunjukkan level dari ketinggian BBM (%) yang ada di tangki penyimpanan BBM di unit. Parameter ini bisa dimanfaatkan untuk pengaturan prioritas pengisian bahan bakar.

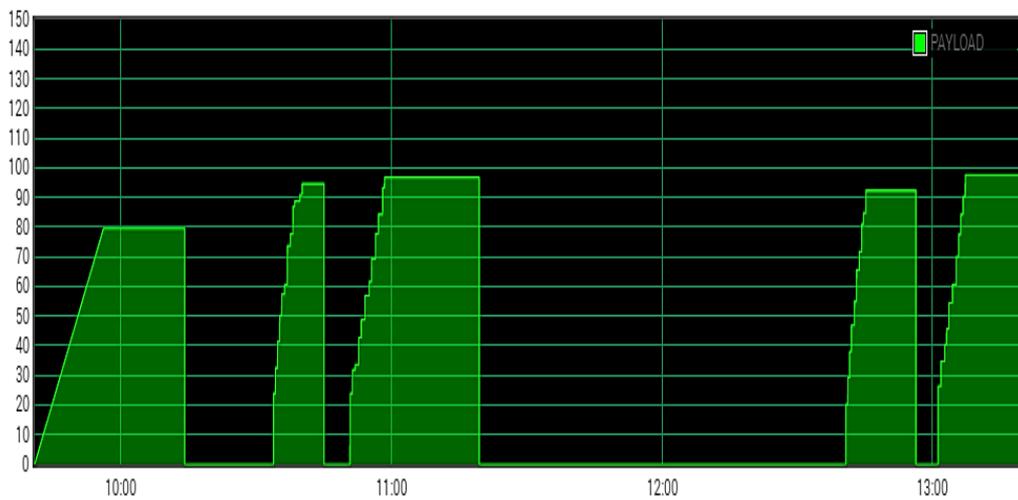
k. *Ground Speed*



Gambar 4.17 Kecepatan unit terhadap *ground* HT 2074

Gambar 4.17 menunjukkan kecepatan bergerak unit. Satuannya adalah Km/jam. Kita bisa melihat performa *operator* dalam mengoperasikan unit. Dengan kecepatan tertentu berdasarkan medan dan beban yang diangkut

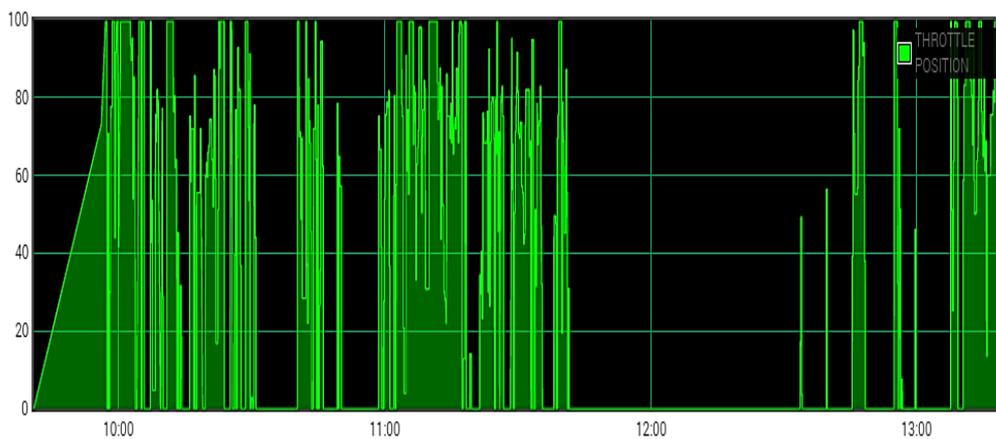
l. *Payload*



Gambar 4.18 Kapasitas (*tonage*) muatan HT 2074

Gambar 4.18 menunjukkan Muatan yang dibawa oleh unit. Satuannya adalah Ton. Di grafik ini kita bisa melihat nilai maksimal *paylaod* (*overload*, *inrange*, *underload*). Dan juga kita bisa melihat rata-rata per 1 jam bisa mengangkut berapa muatan. Sehingga pada *monitoring result* akan menunjukkan pada jarak berapa dump truk mengangkut beban dan tidak mengangkut beban sesuai dengan jalur sistem tersebut bekerja

m. Throttle Position



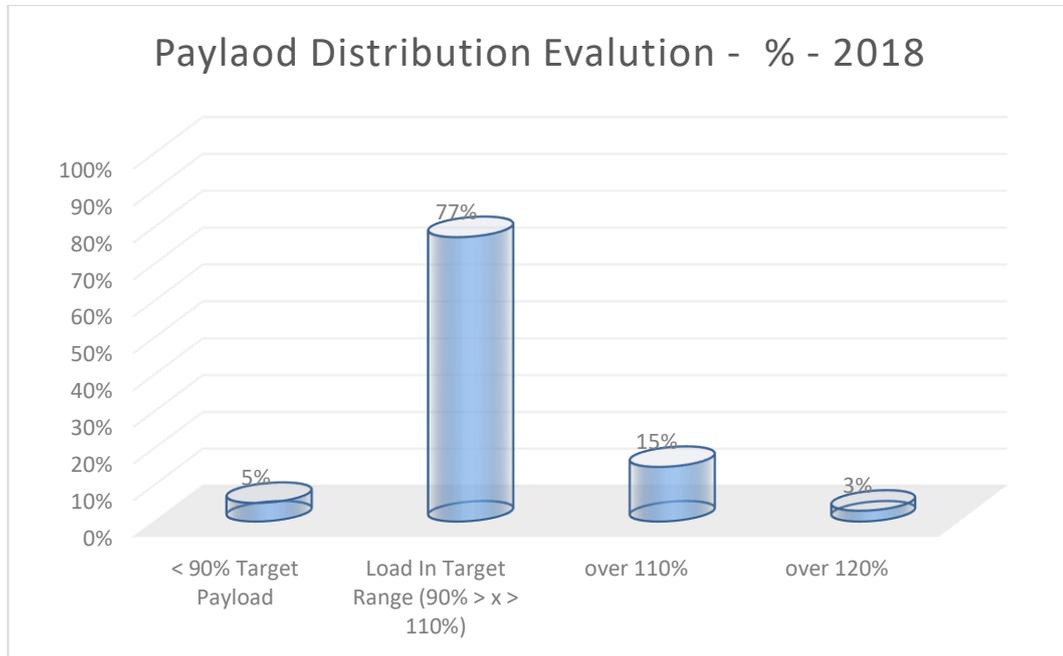
Gambar 4. 19 Persentasi opening *throttle* HT 2074

Gambar 4.19 menunjukkan tingkat kedalaman pedal *throttle* (*acceleration pedal*). Satuannya %. Grafik *throttle* ini kita bisa melihat *profile operator* dalam men-trigger unit melalui pedal akselerasi. Pada sistem *throtlle* ini difungsikan untuk mengatur besarnya bahan bakar yang dikonsumsi berdasarkan kecepatan, beban, dan lintasan dari *haultruck*, sehingga tidak terjadi *abuse* pada saat sistem bekerja pada RPM tinggi namun torsi yang dibangkitkan rendah.

4. 2 Data Pengujian *Haultruck* dengan Implementasi FSC-Coredatq Terhadap *Paylaod*.

Objektif implementasi FSC-Coredatq yaitu penurunan penggunaan bahan bakar dan *equipment health* alat yang bisa dimonitor secara *realtime*. Terdapat beberapa korelasi yang dihasilkan berdasarkan data yang diperoleh selama pengujian lapangan dalam implementasi FSC-Coredatq dalam hal pengurangan bahan bakar selama pengoperasi, dimana faktor *paylaod* mempengaruhi hampir keseluruhan

sistem selama beroperasi, yang meliputi *payload distribution*, *time distribution*, dan *fleet load over*. Keseluruhan data tersebut dikalkulasikan berdasarkan pengoperasian selama 5 bulan terhitung dimulai dari minggu awal hingga minggu ke 20.

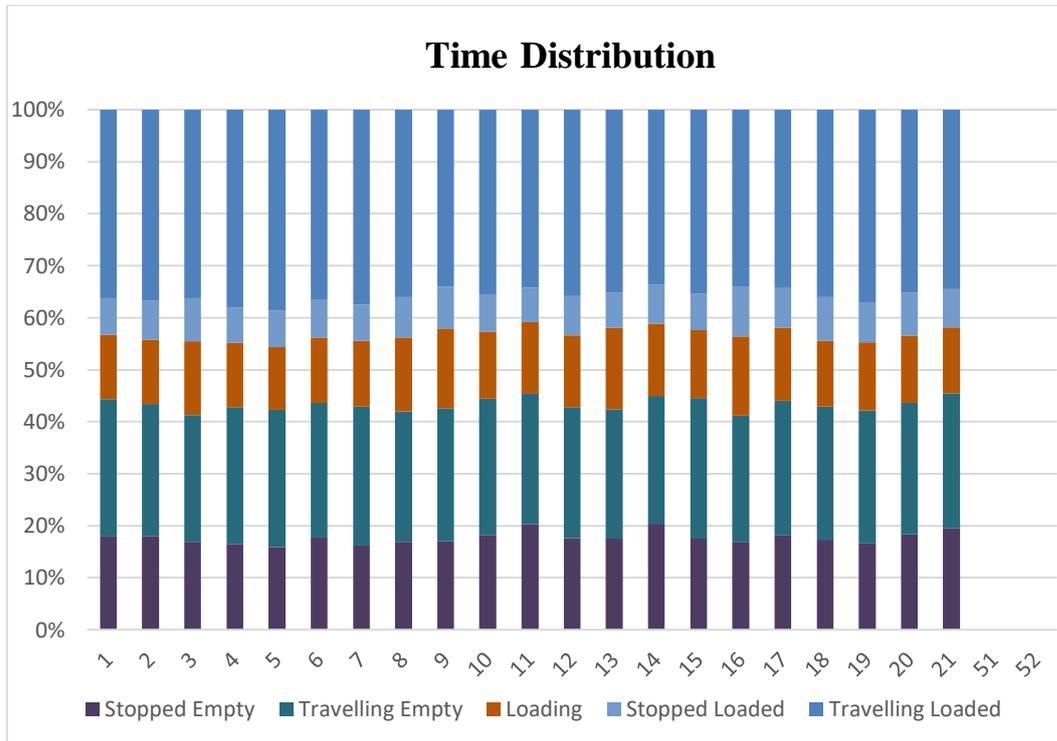


Gambar 4. 20 *Payload distribution evaluation (%) pada haultruck*

Terdapat empat jenis *payload* yang dihasilkan sebagai evaluasi pada sistem operasional *haultruck* selama beroperasi, yaitu *payload* < 90%, *payload* 90%-110%, *payload* > 100%, dan *payload* > 120%. Tiap karakteristik nilai yang dibatasi berdampak pada sistematis operasional dan konsumsi bahan bakar yang dikeluarkan. Evaluasi dilakukan terhadap *haultruck* dengan jumlah 150 unit dan beroperasi selama >10 jam. Untuk *payload* < 90%, yang merupakan dibawah target memiliki presentase rendah yaitu 5%, sehingga distribusi mining yang diangkat masih dalam batas yang ditentukan sehingga tidak mengurangi produksi yang dihasilkan selama sistem operasional berjalan.

Untuk target *load* sebesar 90% -110%, menghasilkan presentase tertinggi selama sistem beroperasi, hal ini membuktikan bahwa keseluruhan unit dalam beroperasi berkesesuaian dengan *demand* yang dibutuhkan yaitu melebihi 75%, untuk tren yang melebihi *payload* yaitu > 110% dan > 120%, menjelaskan sistem

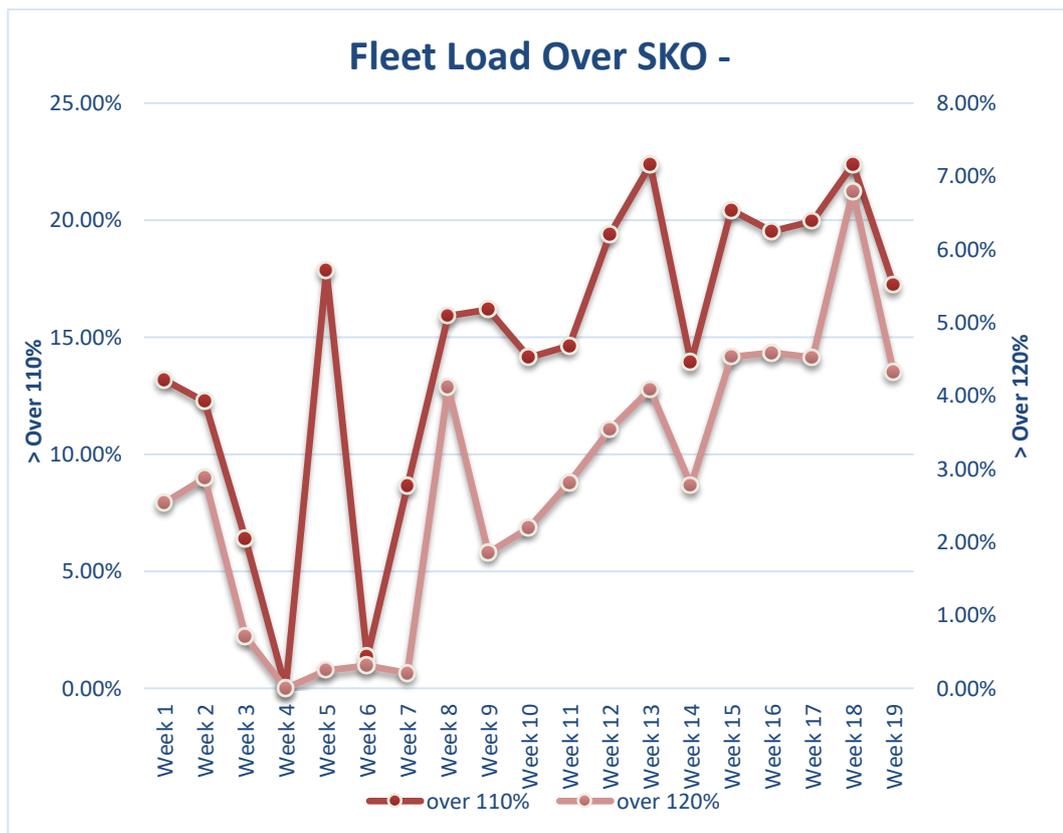
beroperasi secara *overload* sehingga membutuhkan konsumsi bahan bakar yang lebih banyak dan mengganggu kinerja sistem buka tutup *throtling* dalam menentukan beban dan medan yang telah di integrasikan pada sistem FSC-CoredatQ. Namun presentase yang dihasilkan masih redah berkisar antara 3% - 15 %.



Gambar 4. 21 *Time distribution* pada pengoperasian

Pada sistem distribusi *paylaod*, terdapat beberapa kriteria selama proses distribusi ini yang bermuara dari muatan kosong hingga penuh selama pengoperasian, karena selama proses berlangsung terdapat beberapa estimasi distribusi yang dilakukan, sehingga membutuhkan waktu yang berbeda-beda dan hal ini berdampak pada *fuel saving ratio* yang dihasilkan. Parameter tersebut yaitu *Stopped empty*, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk berhenti, *traveling empty*, yaitu waktu yang dibutuhkan oleh *haultruck* selama pengoperasian tanpa mengangkut beban, sedangkan *loading* merupakan estimasi waktu yang dibutuhkan selama pengisian muatan pada *haultruck*, *stopped load* merupakan waktu yang dibutuhkan sistem dalam integrasi setelah muatan berhenti untuk diisi dan yang terakhir yaitu *traveling loaded* merupakan estimasi waktu pada saat *haultruck* mengirim dengan muatan penuh pada pengoperasian.

Selama pengoperasian terlihat presentase waktu yang paling banyak dibutuhkan adalah estiamasi ketika *haultruck* beroperasi ketika muatan penuh, kosong dan juga ketika melakukan proses pengisian muatan, sehingga semakin kecil estimasi waktu yang dibuthkan akan memberikan dampak pada konsumsi bahan bakar dan *time distribution* bertujuan untuk memonitoring sistem distribusi selama pengoperasian agar tidak melebihi batas waktu yang telah ditentukan untuk penghematan yang berkala pada tiap proses.



Gambar 4. 22 Fleet load over SKO

Faktor muatan berlebih selama sistem beroperasi mempengaruhi konsumsi bahan bakar yang dikeluarkan selama beroperasi, hal ini berdampak pada kinerja dari CoredataQ sebagai inetgrasi sistem dalam hal proses monitoring sistem, secara tidak langsung pada aspek ini akan memperlihatkan tren *overload* yang dihasilkan selama pengoperasian dimulai, terhuing pada awal bulan hingga akhir bulan Mei. Terlihat faktorisasi ini berhubungan dengan *fuel ratio* yang dapat dihasilkan,

dimana semakin tinggi presentase *overload* yang diberikan berakibat pada rendahnya *fuel ratio* yang dihasilkan.

Gambar 4.22 memperlihatkan data yang bersifat fluktuatif namun tren peningkatan dan penurunan terjadi diantara *overload* > 110% dan > 120 %, yang memiliki tren hampir sama, sehingga kejadian dan *real time* yang dihasilkan berdasarkan proses estimasi pengangkutan waktu muatan yang lama sehingga berdampak pada muatan yang diangkut berlebih dan sistem yang telah terintegrasi memerintahkan *driver* untuk membuka tutupan *throtling* yang lebih besar dan membuat konsumsi bahan bakar pun meningkat padahal medan yang dilalui dan jalur memiliki karakteristik yang sama. Sehingga aspek *fleet over payload* dikurangi kedepannya.

Produktivitas truk bisa dilihat dari total muatan yang dipindahkan selama periode yang sama sehingga penghematan bahan bakar (*lower input*) dikatakan efisien jika menghasilkan output yang sama pada periode yang sama. Tabel 4.2 di bawah menunjukkan bahwa produktivitas truk tidak mengalami penurunan karena memiliki jumlah siklus dan total muatan yang hampir sama setiap bulan selama rentang pengambilan data.

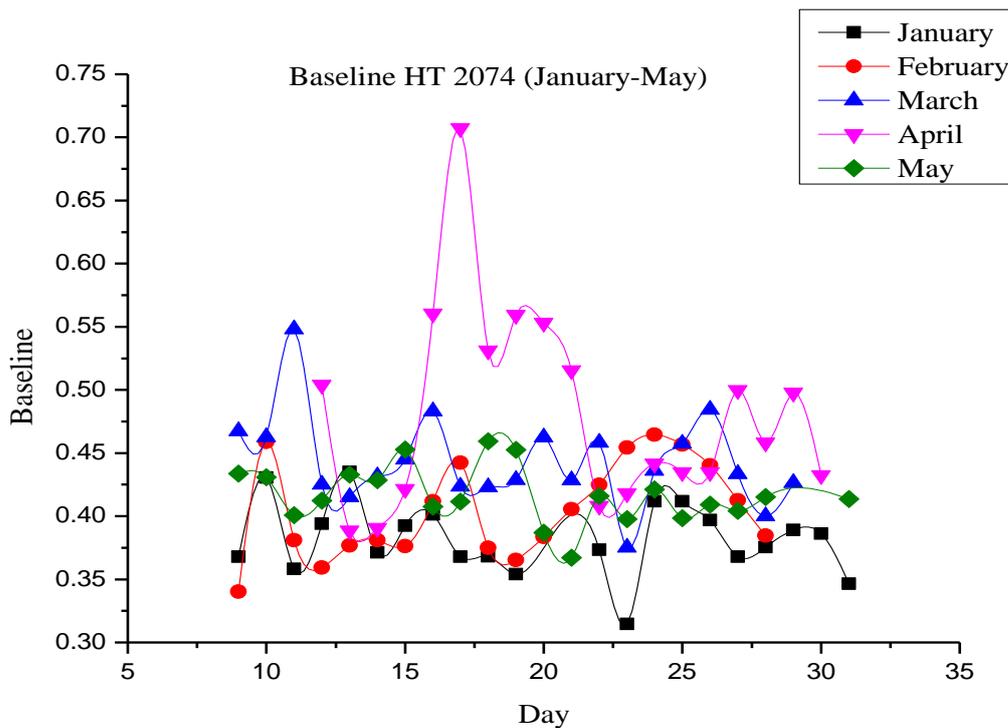
Tabel 4. 1 Produktivitas muatan (*payload*) Truk HT2074

No	Bulan (Th. 2018)	Konsumsi Bahan Bakar (liter/jam)	Jumlah Siklus (<i>cycle</i>)	Total Muatan (ton)	Muatan rata-rata per siklus (ton/ <i>cycle</i>)
1	Janari	55.49999	967	96,406.2	97.68
2	Februari	54.03386	821	82,884.9	100.68
3	Maret	53.42959	799	78,486.9	98.23
4	April	50.20592	833	81,025.9	97.27
5	Mei	53.50873	340	33,207.1	97.67

Tabel 4.1 di atas menunjukkan bahwa produktifitas truk setiap bulan memindahkan payload rata-rata masih dalam rentang target operasional dan penggunaan bahan bakar mengalami penurunan dari *baseline* sebelum dipasang system FSC yaitu 56.78 liter/jam. Dengan demikian, untuk output tetap dan input mengalami penurunan menunjukkan truk beroperasi dengan sistem FSC ini lebih efisien dari sebelumnya.

4.3 Data Operasional FSC-CoredataQ dan Analisa PCA (*Principle Component Analysis*)

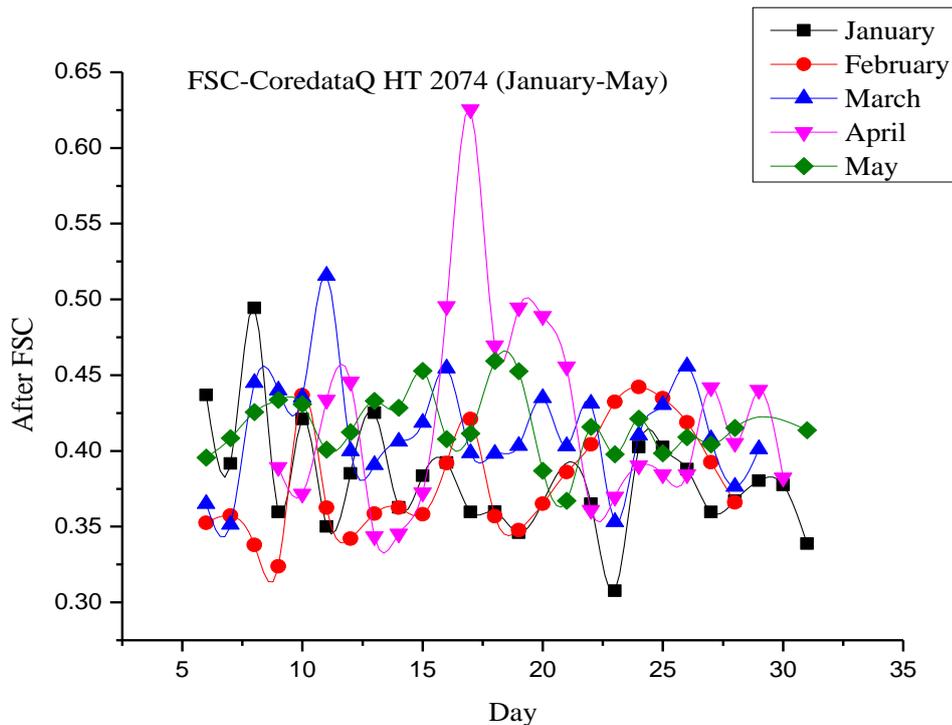
Fuel saving ratio merupakan parameter utama dalam penentuan apakah optimasi kontrol deviasi terhadap *haultruck* memberikan efek signifikan atau tidak. Terdapat dua hasil data yang diperoleh, yaitu data berdasarkan *baseline*, dimana data diperoleh pada sistem operasional *haultruck* sebelum diberikan optimasi kontrol deviasi bahan bakar menggunakan coredataQ dan yang kedua, merupakan hasil data yang diperoleh berdasarkan pemasangan coredataQ yang telah terintegrasi pada sistem kontrol bahan bakar pada *haultruck*. Data yang diambil berdasarkan waktu operasional yang dilakukan pada bulan Januari hingga Mei. Untuk parameter yang digunakan sebagai pembanding adalah *fuel ratio*, dimana bertujuan untuk mengetahui sistematika penghematan bahan bakar pada sistem operasional berjalan dengan kriteria akan dilakukan tindak *payback period* dalam hal *cost* yang dapat dikurangi menjadi suatu investasi dalam penghematan bahan bakar.



Gambar 4. 23 *Baseline* pada penggunaan sistem FSC-CoredataQ pada HT 2074

Terdapat beberapa variabel yang digunakan dalam penentuan *baseline*, yaitu konsumsi awal bahan bakar per jam, dimana data tersebut diperoleh selama *haultruck* bekerja tanpa menggunakan *device* optimasi (*coredataQ*) terhadap bahan bakar, sehingga dari konsumsi awal dilanjutkan dengan jarak tempuh yang dilalui oleh *haultruck* berdasarkan estimasi waktu per jam dan muatan rata-rata yang diangkut selama sistem operasional berjalan berdasarkan jam. Ketiga data tersebut memiliki perbedaan pada muatan, dimana berlainan hari memiliki muatan yang berbeda dengan jarak dan asumsi bahan bakar awal sama.

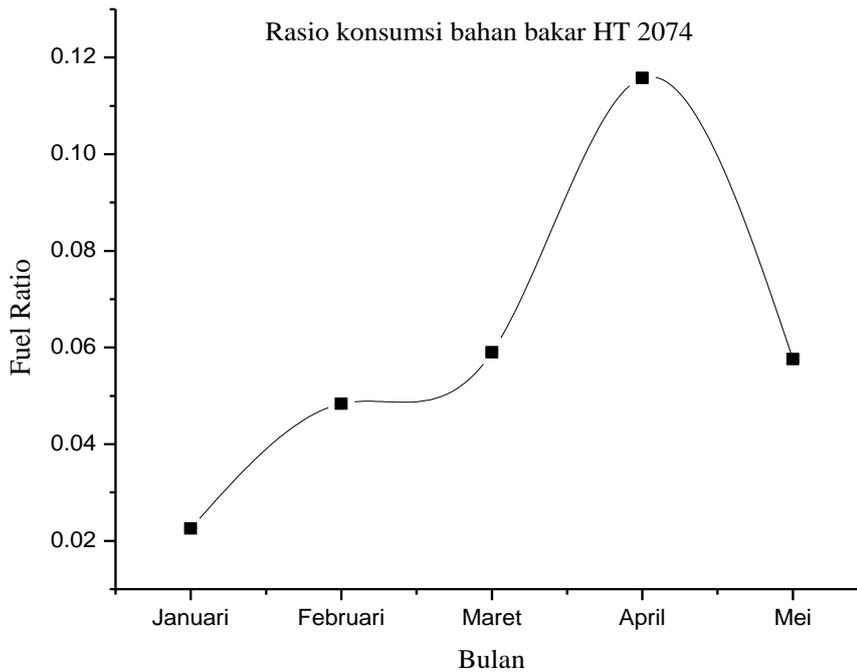
Gambar 4.23 menunjukkan nilai *baseline* pada *haultruck* HT 2074 dengan estimasi waktu operasional dari bulan Januari hingga Mei, pada tren terlihat nilai *fuel ratio* yang dihasilkan berbeda-beda berdasarkan muatan yang dibebankan.



Gambar 4. 24 Data optimasi setelah penggunaan sistem FSC-CoredataQ pada HT 2074

Implementasi dari penggunaan sistem FSC-Coredata Q CAD 77 HT 2074 terletak pada penurunan konsumsi bahan bakar yang dimonitor secara *real time*. Proses perbandingan antara *baseline* dengan penggunaan sistem FSC-Coredata terletak pada besaran *fuel ratio* (liter per ton kilometer per hour). Gambar 4.24 menunjukkan nilai aktual yang diperoleh pada penggunaan Coredata2 yang diperoleh selama pengoperasian CAD HT 2074 dengan konsumsi bahan bakar rata-rata 56.78 liter/jam, dengan jarak dan *paylaod* yang dibebankan sama dengan penggunaan FSC CoredataQ.

Terlihat bahwa antara grafik menunjukkan tren antar bulan berdasarkan nilai *fuel ratio* hampir sama, dengan kecondongan nilai lebih kecil pada penggunaan FSC CoredataQ, hal tersebut mengindikasikan bahwa selama pengoperasian caterpillar 770 D HT 2074 mengalami penurunan konsumsi bahan bakar yang telah dilakukan dengan presentase yang nantinya bisa digunakan sebagai metode penghematan pemakaian bahan bakar konvensional.



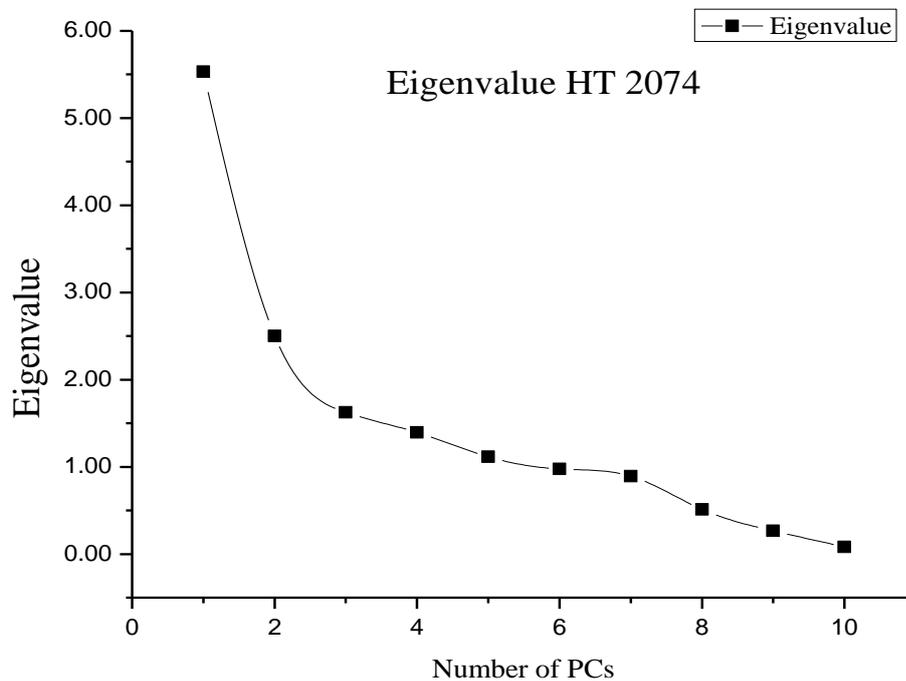
Gambar 4. 25 Nilai rasio konsumsi bahan bakar pada HT 2074

Kecenderungan tren yang diperoleh memberikan dampak positif pada penggunaan FSC CoredataQ dengan peningkatan *fuel ratio* tiap bulan. Nilai tertinggi terjadi pada bulan April, dengan presentasi penghematan mencapai 11.58 %. Hal tersebut tidak lepas dari proses akselerasi sistem pada pedal *throttle* yang diintervensi oleh FSC CoredataQ pada saat pengoperasian.

Pemberian *open throttling* berkesesuaian dengan jarak tempuh, medan, dan lamanya proses pengangkutan sehingga memungkinkan batas limit yang terbuka mencapai 85% tergantung dari muatan yang dibebankan sehingga respon unit akan semakin melambat akibat dari aliran bahan bakar menuju ruang bakar mengalami penyempitan oleh *throttling* dengan torsi dan kecepatan sama. Hal berkebalikan dialami pada pengoperasian bulan Mei, penurunan *fuel ratio* terjadi dengan nilai sebesar 5.76 % (hampir 2 kali lipat penurunan), hal tersebut tidak lepas dari *payload* yang dibebankan terhadap HT 2074 yang bersifat fluktuatif pada tiap pengiriman, sehingga *operator* tidak memungkinkan untuk menurunkan katup *throttling* seperti pada halnya bulan April, dan hal tersebut mengindikasikan bahwa penyempitan dan pelebaran secara bertahap pada *throttling* membuat aliran bahan bakar yang dapat dihemat sedikit karena adanya tekanan balik yang di berikan pada proses *throttling*,

bawasannya dengan adanya tekanan balik membuat proses optimasi pengurangan bahan bakar akan terganggu pada area *throtling* sehingga *fuel ratio* yang dihasilkan rendah.

Untuk bulan awal seperti Januari, Februari, dan Maret, memiliki nilai rasio yang kecil namun peningkatan secara linier tiap bulan, hal tersebut diakibatkan oleh proses adaptasi yang dilakukan oleh *operator* dalam penggunaan FSC-CoredataQ, sehingga nilai minimum dalam buka tutup *throtling* digunakan, yaitu sebesar 95%, sehingga nilai tersebut nantinya bertahap diturunkan dengan penyesuaian beban, gar bahan bakar yang dihemat lebih besar. Secara tidak langsung penggunaan FSC-CoredataQ benar-benar mengefisiensikan penggunaan bahan bakar pada HT 2074.



Gambar 4. 26 Nilai *eigenvalue* pada sistem pengoperasian HT 2074

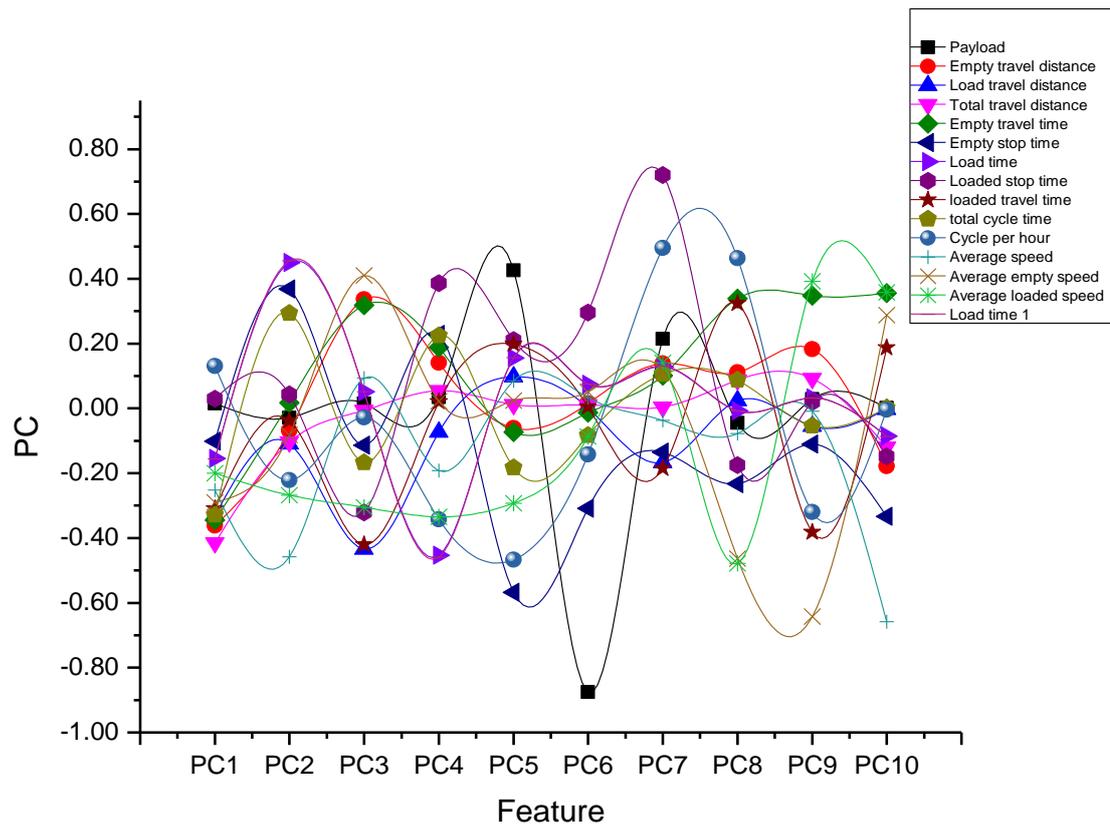
Dalam analisa faktor terdapat beberapa komponen yang merupakan variabel setiap faktor mewakili variabel yang dianalisis. Kemampuan setiap faktor mewakili variabel yang dianalisis ditunjukkan oleh besarnya varians yang dijelaskan. *Eigenvalue* menunjukkan kepentingan relatif masing-masing faktor dalam menghitung varian semua variabel yang dianalisis. Susunan *eigenvalue* selalu diurutkan dari yang terbesar sampai yang terkecil, dengan kriteria bahwa angka

eigenvalue di bawah 1 tidak digunakan dalam menghitung jumlah faktor yang terburuk, terlihat pada gambar 4.26 dari beberapa variabel yang mempengaruhi sistem pengoperasian HT 2074, variabel direduksi menjadi hanya 10 variabel penting berdasarkan nilai *eigenvalue* yang diperoleh.

Tabel 4. 2 Nilai *eigenvalue*

PC No.	Name	Value (%)	PC No.	Name	Value (%)
1	<i>Payload (ton)</i>	5.53	6	<i>Empty Stop Time (hr)</i>	0.97
2	<i>Empty Travel Distance (km)</i>	2.50	7	<i>Load Time (hr)</i>	0.89
3	<i>Load Travel Distance (km)</i>	1.62	8	<i>Loaded Stop Time (hr)</i>	0.51
4	<i>Total Travel Distance (km)</i>	1.39	9	<i>Loaded Travel Time (hr)</i>	0.26
5	<i>Empty Travel Time (hr)</i>	1.11	10	<i>Total Cycle Time (hr)</i>	0.08

Paylaod memiliki nilai *eigenvalue* yang paling tinggi dari nilai *eigenvalue* yang diperoleh dengan nilai 5.53, artinya faktor *paylaod* dapat menjelaskan 5.53 atau 5.53 % dari total kumulatif. Sedangkan untuk batas faktor yang tidak melebihi nilai *eigen* sebesar 1 ditujukan sampai dengan nomor 5 (5.53, 2.5, 1.626, 1.393, dan 1.11) dengan kata lain nilai PC 1-5 merupakan komponen utama yang mempengaruhi sistem pengoperasian HT 2074 yaitu, *paylaod*, *empty travel distance*, *loaded travel distance*, *total travel distance*, dan *empty travel (minutes)*. Sedangkan untuk PC 6-10 memiliki nilai dibawah *eigenvalue* 1 (0.97, 0.89, 0.512, 0.265, dan 0.07984).

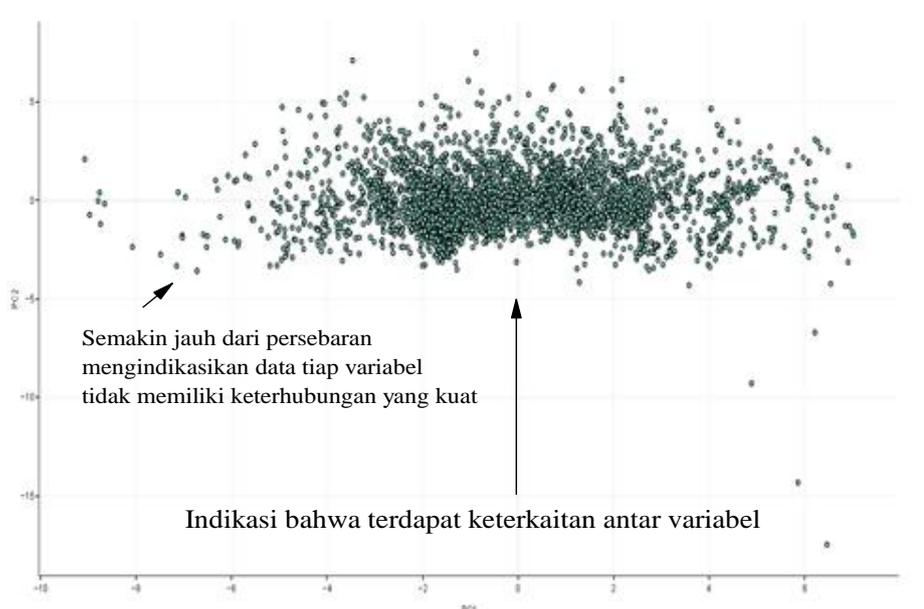


Gambar 4. 27 Korelasi hubungan variabel dengan *principal component*

Gambar 4.27 menunjukkan hubungan antar variabel yang mempengaruhi kinerja HT 2074 pada sistem pengoperasian. Antar dua variabel yang saling berhubungan memiliki perbedaan yang signifikan tanpa dipengaruhi oleh nilai *eigen* yang didapat.

Hubungan antara *paylaod* dengan *empty stop time* memiliki parameter yang terendah, dikarenakan *paylaod* sendiri merupakan beban yang diberikan pada *truck* yang notabene terisi dan siap diantarkan, sedangkan jika dilihat dari parameter pemberhentian *truck* pada beban kosong menjelaskan hubungan yang sangat rendah antara kedua variabel tersebut, sehingga nilai nya kecil, sedangkan nilai tertinggi pada grafik diperlihatkan korelasi antara *loaded stop time* dengan *load time*, hal tersebut mengindikasikan bahwa kedua variabel memiliki hubungan yang sangat kuat dengan korelasi bahwa *load time* merupakan waktu pembebanan yang dibutuhkan untuk mengisi *paylaod* pada *truck* sedangkan *loaded time* merupakan estimasi waktu yang dibutuhkan untuk sistem melakukan *recovery* ulang setelah

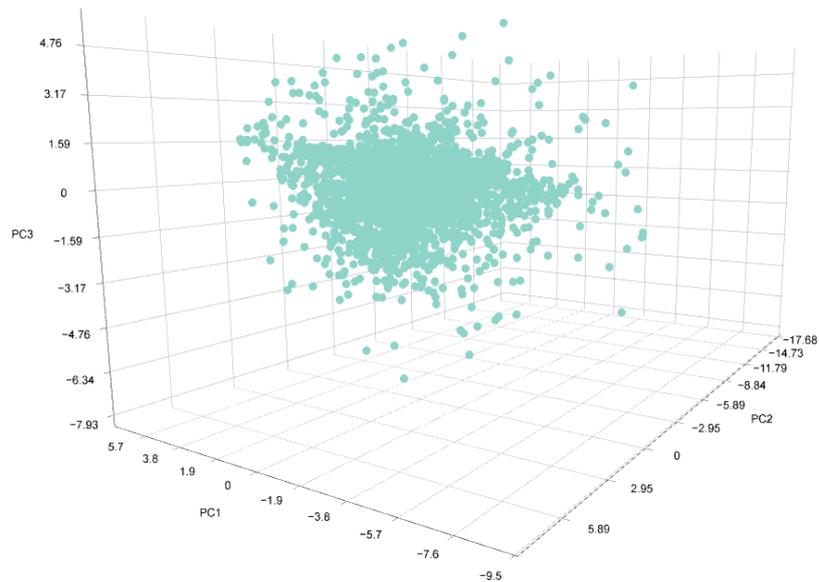
load time selesai dilakukan pada *truck*. Dan ada beberapa variabel yang memiliki hubungan yang rendah dan tinggi berdasarkan sistematika pengoperasian dari HT 2074.



Gambar 4. 28 Grafik PCA terhadap pengoperasian HT 2074

Analisa keterkaitan antara beberapa variabel dalam proses penggunaan FSC CoredataQ terhadap HT 2074 menggunakan analisa statistik *principal componet analysis* (PCA), yang bertujuan untuk memonitor pengendalian sistem kerja pada HT 2074 dengan cara mengubah dari sebagian besar variabel asli yang digunakan yang saling berkorelasi satu dengan lainnya menjadi satu set variabel baru yang lebih kecil dan saling bebas (tidak berkorelasi lagi), jadi analisa komponen utama berguna untuk mereduksi data, sehingga lebih mudah untuk menginterpretasikan data-data tersebut. Pada gambar 4.28 Menunjukkan persebaran data yang dilakukan menggunakan metode PCA, dimana terdapat beberapa variabel yang bertindak sebagai point utama dalam kinerja sistem HT 2074, menyangkut, *paylaod*, *empty travel time*, *empty travel distance*, *empty stop time*, *load time*, *loaded stop time*, *loaded travel time*, *loaded travel distance*, *total cycle time*, *total travel distance*, *empty travel (minutes)*, *empty stop time (minutes)*, *loade time (minutes)*, *loaded stop time (minutes)*, *loaded travel time (minutes)*, *total cycle time (minutes)*, *cycle per hour*, *average speed*, *average empty speed*, dan *load time (Second)* . Dengan

banyaknya variabel keterkaitan pada sistem monitoring HT 2074 membuat metode PCA sangat penting untuk digunakan. Persebaran variabel pada diagram PCA menunjukkan kumpulan variabel yang membentuk pola menjadi satu kesatuan yang mengindikasikan bahwa variabel-variabel yang berada pada pola tersebut memiliki keterkaitan antar variabel, sedangkan beberapa variabel menjauhi pola yang telah terbuat, hal tersebut mengindikasikan bahwa, adanya ketidaksesuaian pada beberapa variabel terhadap proses pengoperasian HT 2074 belum terkendali secara statistik. Seperti yang diketahui bahwa variabel yang paling dominan pada pengamatan ini adalah *payload*, *total distance*, dan *fuel consumption*.



Gambar 4. 29 Hubungan antara variabel berpengaruh terhadap variabel lain pada PCA

Korelasi antar variabel pengaruh terhadap variabel yang lain berdasarkan pengeplotan tiga dimensi menunjukkan, variabel *payload* memberikan pengaruh yang paling signifikan terhadap sistem pengoperasian, karena dengan kefluktuatifan terhadap beban yang diangkut oleh *Truck* membuat konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan pun akan berubah dengan range yang besar, disamping itu dengan jarak yang ditempuh oleh *truck* tidak terlalu berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar karena jarak tempuh yang tidak terlalu panjang. Dengan

estimasi kilometer per jam, dibandingkan dengan beban yang diangkut memiliki presentase satuan dengan perbedaan angkut mencapai 1-20 ton, sehingga konsumsi bahan bakar pun akan berubah sesuai kebutuhan *truck* dalam mengangkut beban. Sistem *throttling* yang digunakan dalam penghematan bahan bakar pun akan berubah sistem tutup buka yang diberikan berdasarkan beban yang diangkut dengan estimasi monitoring selama proses pengangkutan.

4.4 Permodelan Jaringan Saraf Tiruan (JST) pada *Haultruck* dengan FSC-CoredataQ

4.5.1 Uji Korelasi

Uji korelasi dilakukan dengan menggunakan *software* IBM SPSS *Statistics* 25. Uji korelasi digunakan mengetahui arah dan hubungan antara variabel independen dan dependen. Uji korelasi digunakan untuk menyeleksi variabel independen yang tidak berpengaruh terhadap variabel dependen. Hal ini nantinya digunakan untuk menentukan variabel apa saja yang dapat dijadikan sebagai data masukan dalam melakukan estimasi variabel *payload* yang diinginkan.

Variabel independen yang digunakan adalah variabel yang telah diperoleh datanya, yaitu *loaded travel time*, *Load time*, *average load speed*, *loaded travel distance*, *average empty speed*, *empty stop time*, *total travel distance*, *total cycle time*, *cycle per hour*, *empty travel distance*, *empty travel time*, *average speed*, dan *loaded stop time*. Data yang digunakan untuk uji korelasi merupakan data yang diperoleh dari hasil *trial* yang dilakukan pada *haultruck* dengan pemasangan FSC CoredataQ. Uji korelasi yang dilakukan menggunakan uji korelasi Pearson. Hasil dari uji korelasi dapat dilihat dari Tabel 4.2 dibawah ini

Tabel 4. 3 Uji korelasi Pearson

Paramter	Nilai
<i>Paylaod</i>	1
<i>Loaded Travel Time (minutes)</i>	0.086494
<i>Load Time (Seconds)</i>	0.062718
<i>Load Time (minutes)</i>	0.062718
<i>Average Loaded Speed</i>	0.045896
<i>Loaded Travel Distance (km)</i>	0.039035
<i>Average Empty Speed</i>	0.03309
<i>Empty Stop Time (minutes)</i>	0.026509
<i>Total Travel Distance (km)</i>	0.026349
<i>Total Cycle Time (minutes)</i>	0.023967
<i>Cycle per Hour</i>	0.012590
<i>Empty Travel Distance (km)</i>	0.009144
<i>Empty Travel Time (minutes)</i>	0.008887
<i>Average Speed</i>	0.006556
<i>Loaded Stop Time (minutes)</i>	0.003703

Tabel 4.3 menunjukkan hasil uji korelasi dari masing-masing variabel. Untuk mengetahui hubungan antara satu variabel independen terhadap *paylaod*, dapat dilihat dari nilai r pada baris *paylaod*.Dilihat dari nilai yang tertera, maka dapat disimpulkan bahwa variabel *paylaod*, *load time* memiliki korelasi tinggi,

sehingga dapat dikategorikan memiliki hubungan yang sangat kuat terhadap berdasarkan Tabel 4.3. Pada nilai koefisien korelasi kecepatan sudut, terdapat tanda negatif yang berarti bahwa semakin besar nilai *paylaod*, maka kecepatan sudut akan berkurang. Sedangkan pada nilai koefisien korelasi pada tegangan masuk dan arus, tidak terdapat tanda yang berarti bahwa semakin besar nilai *paylaod*, maka tegangan masuk dan arus akan bertambah.

4.5.2 Permodelan JST pada Matlab

```

%clc;
%close all;
warning off;

% Proses membaca data latih dari excel
filename = 'data tes.xlsx';
sheet = 2;
xlRange = 'E2:R3531';

Data = xlsread(filename, sheet, xlRange);
% total_cycle_time = Data(:,18)';
% total_travel_distance = Data(:,12)';
% ave_speed = Data(:,20)';
% data_latih = [total_cycle_time;total_travel_distance;ave_speed];
data_latih = Data(:,2:6)';
target_latih = Data(:,1)';
[m,n] = size(data_latih);

for jumlahnode=1:20
    % Pembuatan JST
    net = newff(minmax(data_latih),[jumlahnode node_layer 1],{'logsig','logsig','purelin'},'trainlm');

    % Memberikan nilai untuk mempengaruhi proses pelatihan
    net.performFcn = 'mse';
    net.trainParam.goal = 1; %rmse==sqrt(mse) rmse=0,1
    net.trainParam.show = 20;
    net.trainParam.min_grad=1e-20;
    net.trainParam.epochs = 500;

    % Proses training
    [net_keluaran,tr,Y,E] = train(net,data_latih,target_latih);

    % Hasil setelah pelatihan
    bobot_hidden = net_keluaran.IW{1,1};
    bobot_keluaran = net_keluaran.LW{2,1};
    bias_hidden = net_keluaran.b{1,1};
    bias_keluaran = net_keluaran.b{2,1};
    jumlah_iterasi = tr.num_epochs;
    nilai_keluaran = Y;
    nilai_error = E;
    error_MSE = (1/n)*sum(nilai_error.^2);
    error_RMSE = sqrt(error_MSE);

    % if(jumlahnode==1)
    % RMSE_beat=error_RMSE;

```

```

if(jumlahnode==1)
    RMSE_best=error_RMSE;
    node_best=1;
    save('netbest.mat','net_keluaran');
    save('bobotbiasbest.mat','bobot_hidden','bobot_keluaran','bias_hidden','bias_keluaran');
else
    if(error_RMSE<RMSE_best)
        RMSE_best=error_RMSE;
        node_best=jumlahnode;
        node_best2=node_layer;
        save('netbest.mat','net_keluaran');
        save('bobotbiasbest.mat','bobot_hidden','bobot_keluaran','bias_hidden','bias_keluaran');
    end
end
filename=sprintf('net%d.mat', jumlahnode);
save(filename,'net_keluaran');

% Hasil prediksi
hasil_latih = sim(net_keluaran,data_latih);
max_data = 150.7;
min_data = 53.5;
hasil_latih = ((hasil_latih-0.1)*(max_data-min_data)/0.8)+min_data;

% Performansi hasil prediksi
filename = 'data tes.xlsx';
sheet = 1;
xlRange = 'Y2:Y3531';

%target_latih_asli = xlsread(filename, sheet, xlRange);

figure,
plotregression(target_latih,hasil_latih, strcat([' Regression ', num2str(jumlahnode)]))

figure,
plotperform(tr)

figure,
plot(hasil_latih,'b.-')
hold on
plot(target_latih,'r.:')
hold off
----

clc;clear;close all;
node_layer=20;
RMSE_best=10;
while (node_layer>0)
    contohlatihjst
    node_layer=node_layer-1;
end
RMSE_best
node_best
node_best2

```

Gambar 4. 30 Permodelan JST pada matlab terhadap *paylaod*

Pada penelitian ini digunakan arsitektur jaringan syaraf tiruan dengan menggunakan satu *hidden layer*, satu *input layer*, dan satu *output layer*. Dengan menggunakan algoritma pelatihan Levenberg-Marquardt, digunakan koefisien

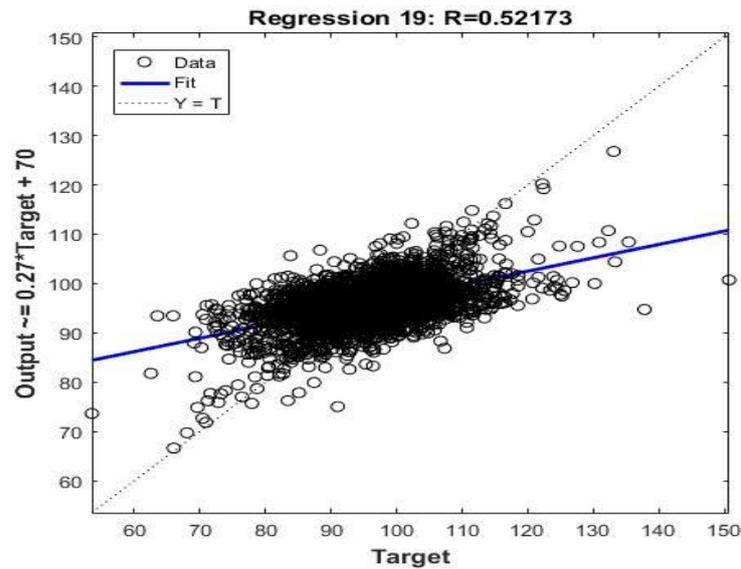
kombinasi (μ) sebesar 0,0001 dan target MSE sesuai dengan perhitungan sebelumnya yakni sebesar <8%. Fungsi aktivasi tangen sigmoid dipilih sebagai fungsi aktivasi dari *input layer* ke *hidden layer*, dan fungsi aktivasi linear dipilih sebagai aktivasi dari *hidden layer* ke *output layer*.

Variabel yang digunakan pada *input layer* dipilih berdasarkan hasil dari pengujian korelasi sebelumnya, yaitu variabel keseluruhan yang diperoleh selama sistem *trial* dilapangan berlangsung. Data yang digunakan adalah data yang telah diambil, yakni sebanyak 3500 set data.

Pada penelitian ini, dilakukan variasi jumlah *hidden node*. Jumlah *hidden node* tersebut diharapkan mampu meningkatkan performa dan keakuratan dari hasil keluaran JST. Untuk mengetahui berapa jumlah *hidden node* yang akan menghasilkan nilai terbaik, dilakukan percobaan dengan menggunakan *hidden node* dengan jumlah 1 hingga 20 dengan menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan. Dari percobaan tersebut kemudian dianalisa hasil yang didapat dilihat dari nilai nRMSE yang dihasilkan.

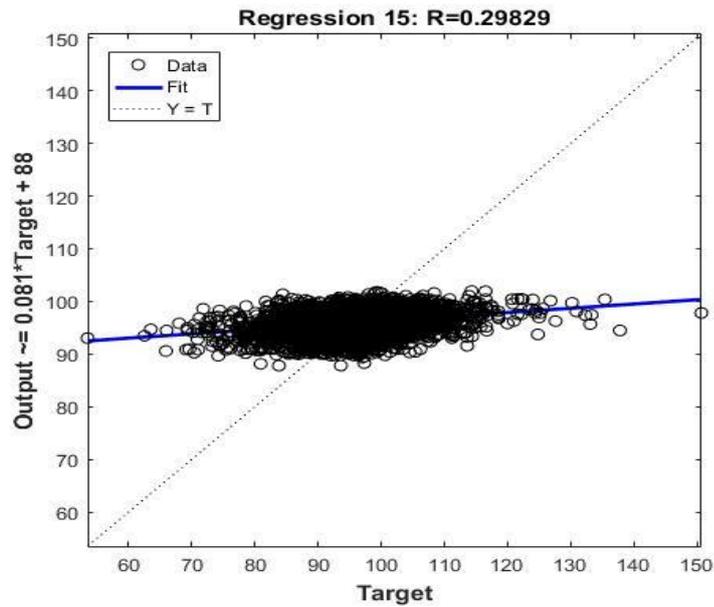
4.1.1 Hasil JST pada sistem operasi haultruck

Variabel yang dapat digunakan sebagai variabel masukan pada *input layer* untuk melakukan estimasi *paylaod* berdasarkan hasil pengujian data adalah arus dan tegangan masukan. Data untuk pelatihan dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran. Kemudian dilakukan pelatihan data untuk estimasi.



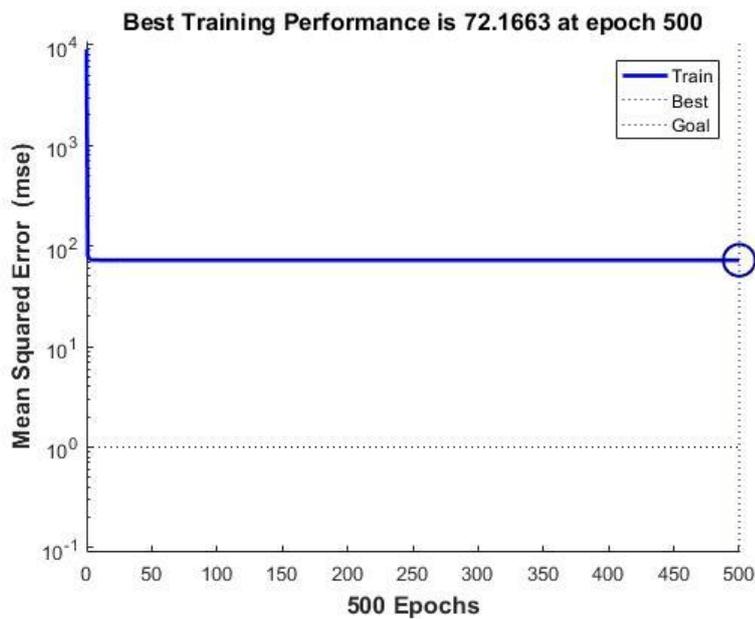
Gambar 4. 31 Plot Regresi untuk 20 *hidden node*

Dari Gambar 4.31 diatas, dapat diketahui bahwa dengan 20 *hidden node* memiliki nilai R sebesar 0,52173. Walau masih jauh mendekati satu, namun data jukah *hidden node* yang digunakan lebih baik jika dibandingkan dengan yang lainnya, hal ini diperlihatkan pada gambar 4.31. dimana nilai R yang diperoleh sebesar 0.29829 yang memiliki nilai R jauh dari angka 1 dengan jumlah *hidden node* sebesar 10, sehingga dapat dikatakan bahwa penggunaan 20 *hidden node* memiliki tingkat akurasi yang baik dengan jumlah data yang digunakan hampir mencapai 3,500 dengan jumlah korelasi variabel sebanyak 15.



Gambar 4. 32 Plot Regresi untuk 10 *hidden node*

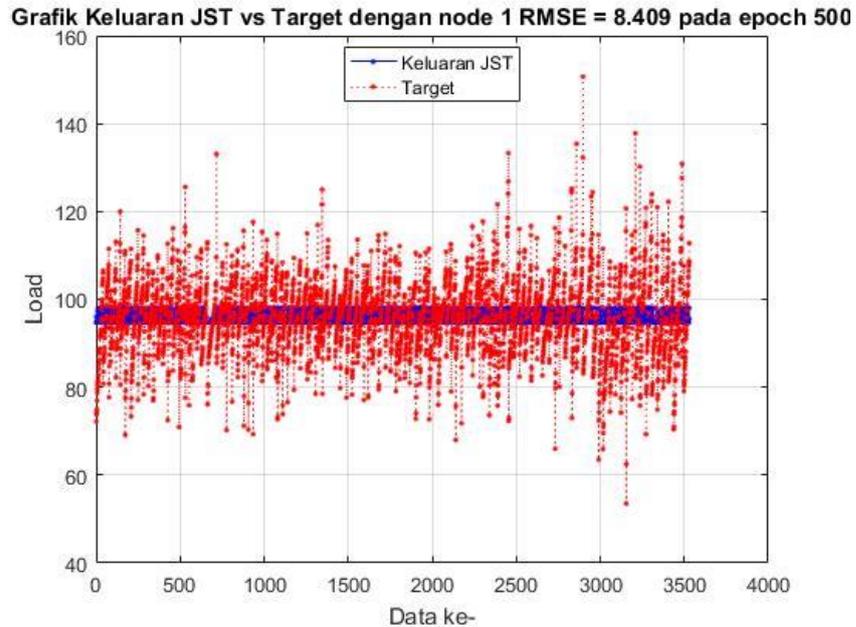
Untuk grafik performansi dari pelatihan dengan 20 *hidden node* ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 33 Performansi Pelatihan untuk 20 *hidden node*

Dari gambar 4.33 diatas, dapat diketahui bahwa pelatihan dengan 20 *hidden node* mampu mencapai *error* yang mendekati diinginkan, Perbandingan nilai

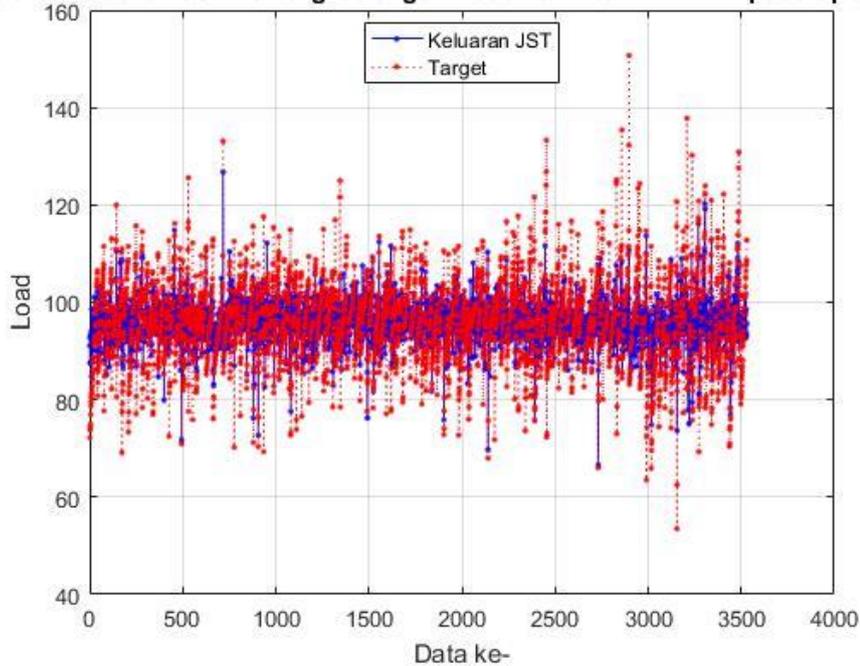
keluaran JST dengan target dengan jumlah *hidden node* sebanyak 20 *node* tersebut juga dapat dilihat grafik estimasi dibawah ini.



Gambar 4. 34 Hasil Pelatihan JST Menggunakan 10 *hidden node*

Gambar 4.34 diatas merupakan grafik perbandingan hasil keluaran JST yang ditunjukkan dengan lingkaran biru dan nilai sesungguhnya yang ditunjukkan dengan garis merah. Dari Gambar 4.34 tersebut, dapat diketahui bahwa semua keluaran JST sedikit mencapai target dengan nilai RMSE yang diperoleh seesar 8.409. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan *hidden node* 10 tidak dapat menangkap keseluruhan data yang dihasilkan dengan target akibat dari banyak nya data dan variabel yang digunakan, sehingga sistem susah mengidentifikasi hasil dari keluaran JST yang dihasilkan, bandingkan dengan penggunaan *hidden node* sebesar 20, yang diperlihatkan pada gambar 4.34.

Grafik Keluaran JST vs Target dengan node 19 RMSE = 7.2717 pada epoch 50



Gambar 4. 35 Hasil Pengujian JST

Dari grafik pada Gambar 4.35 diatas, dapat diketahui bahwa model JST yang telah dibuat telah mampu mengikuti target keluaran dengan baik. Masih terdapat sebagian kecil data yang menyimpang cukup tinggi,. Hal ini terjadi dikarenakan semakin besar *payload* yang diberikan, maka semakin tidak stabil keluaran dari sistem *haultruck* dalam beroperasi karena terdapat banyak korelasi yang mempengaruhi sistem tersebut, sehingga JST tidak mampu mengikuti dengan baik target yang diinginkan. Selain itu, hal ini dapat terjadi akibat adanya *overfitting*. *Overfitting* terjadi jika data yang digunakan pada pelatihan terlalu akurat, sehingga pada pelatihan mampu menghasilkan *error* yang kecil tetapi saat diberikan data selain data pelatihan tidak bisa menghasilkan *error* yang kecil. Numun jika dilihat dari nilai RMSE yang diperoleh, memperlihatkan bahwa penggunaan *hidden node* sebanyak 20 memiliki nilai RMSE yang lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan *hidden node* 10, dengan perbandingan nilai RMSE bisa direduksi hingga mencapai 7.2717.

4.5 Feasibility Study Terhadap Penggunaan FSC-CoredataQ pada Haultruck

Feasibility study merupakan evaluasi dan analisis yang dilakukan dalam proposal investasi yang akan dilakukan selama proses investigasi dan penelitian dalam kajian pemasangan FSC-CoredataQ terhadap sistem operasional *haultruck*. Pada proses *feasibility model* ini dilakukan beberapa evaluasi yang nantinya digunakan sebagai acuan pada instalasi di lapangan. Terdapat beberapa perhitungan dalam penentuan *feasibility model* ini, sebagai berikut

1. *Total capital investment*
2. *Total production cost*
3. *Net profit*
4. *Payback period*
5. *Net present value (NPV)*
6. *Profitability index (PI)*

4.5.1 Total capital investment

Total capital investment menyangkut tentang investasi yang dilakukan, baik berdasarkan manufaktur, non manufaktur, dan pekerja. Yang nantinya dikalkulasikan sebagai acuan dalam hal investasi balik (*payback period*) yang diperoleh.

4.5.2 Total production cost

Bertujuan untuk mengetahui biaya pengeluaran yang nantinya dilakukan dalam hal investasi, proses ini nantinya menyangkut tentang beberapa pengeluaran pada *item* penunjang dan dapat dilakukan perhitungan optimal dengan cara mengurangi *item/bahan* yang memungkinkan untuk dihilangkan tanpa mempengaruhi proses pengerjaan. Telah dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa, rata-rata penggunaan bahan bakar untuk CAT777D setiap jam dari *baseline* awal sebesar 56.78 liter/jam. PT Vale mengoperasikan 60 unit truk CAT777D dan dengan *warranty PA* unit sebesar 80-85%. Untuk faktor utilisasi unit sebesar 85%, maka dalam satu tahun 1(satu) unit *truk* akan beroperasi sekitar $(85\% \times 80\% \times 365$

hari x 24 hour) = 5.956 hours setiap tahun dan harga solar industry sebesar \$0.45/liter.

Perhitungan Saving fuel (\$) per unit Truk CAT777D setiap tahun berkorelasi dari persamaan (2.29) dengan mengambil konsumsi *fuel average* bulan Sept17 dan Oct 17, maka adalah:

$$\text{Saving Fuel} = (56.78 - 55.665) \times 5.956 \times \$ 0.45 = \text{US } \$ 2,988.423$$

/unit/ tahun

$$\text{Total 60 unit truk} = \text{US } \$179,305.38 / \text{tahun.}$$

Investasi yang dilakukan untuk 60 unit CoredataQ sebesar = 60 x US \$ 5,310/unit = US \$318,600. Terdapat beberapa aspek yang dikaji pada perhitungan *business cost* dalam hal investasi yang akan dilakukan, pada metode ini, *payback period*, IRR, NPV dan *profitability index* dicari untuk menentukan apakah investasi yang akan dilakukan bermanfaat atau malah menambah biaya pengeluaran terhadap sistem, beberapa variabel dari perhitungan tersebut digunakan untuk parameter awal dalam perhitungan *cashflow*. Berdasarkan data yang diperoleh dan diperitungkan, *bussines cost* dapat dicari melalui langkah dibawah.

1. *Capital cost* = Rp 4.620,000,000
2. *Annual income* yang diperoleh dari penggunaan FSC-CoredataQ adalah penghematan dari penggunaan bahan bakar terhadap = Rp 2,625,986,202.01
3. Dengan *interest rate* yang diasumsikan sebesar 8 % = 0.08
4. *Lifetime* dari sistem dalam pergantian beberapa *device/engine* sendiri berkisar 5 tahun tergantung suplier dan *maintenance* yang dilakukan
5. Untuk Operasional dan *maintenance* dihitung berdasarkan 10% dari total *payment* per tahun terhadap *capital cost* yaitu Rp 115,710,882
6. Masa *tenor* investasi sebesar 5 tahun.

Sehingga *payback period* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{payback period} &= \frac{\text{capital cost}}{\text{annual income}} = \frac{(4,620,000,000 + (5 * 289,277,205))}{2,625,986,202.01} \\ &= 1 \text{ tahun 11 bulan} \end{aligned}$$

$$\text{Discounted payback } p = \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{\text{capital cost} \times \text{interest rate}}{\text{annual income}}} \right) / \ln(1 + \text{interest rate})$$

$$\text{Discounted payback } p = \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{(11,500,000,000 + (5 * 289,277,205))}{6,564,965,505.02}} \right) / \ln(1 + 0,08) = 1$$

Tahun 10 bulan.

Nilai *internal rate of return* (IRR) yang diperoleh berdasarkan data dapat dicari menggunakan rumusan pada fungsi persamaan *excel*, dimana nilai IRR, yang diperoleh sebesar 8.25 % dan NPV sebesar Rp5,950,646,128.38

Total Unit FSC-CoredataQ			60	unit
Installation per unit FSC-CoredataQ			77,000,000	IDR
Total Installation per unit FSC-CoredataQ			4,620,000,000	IDR
Installation per unit FSC-CoredataQ			5,310.34	US\$
		1 US\$	14,500	IDR
Demand			338,181.68	IDR/a
Component A (Capital Cost)				
Interest rate			8%	
Masa tenor			5	years
Capacity Return Factor			0.250456455	
Annual Payment			1,157,108,820.10	IDR/a
Component B (O&M)				
O&M cost			115,710,882	IDR/a
Component C (fuel)				
Diesel cost			6,300.00	IDR/L
Fuel consumption per unit			56.78	L/Hr
			357,714.00	IDR/Hr
Total fuel consumption			21,462,840.00	L/a
Annual saving per unit			41,837,922.00	IDR/a
Total			2,510,275,320	IDR/a
Total Component Cost			2,888,584,822	IDR/a
inflation rate			5%	
Service life			5	years

Gambar 4. 36 *Capital cost dan annual income* penggunaan FSC-CoredataQ

Gambar 4.36 merupakan klasifikasi perhitungan *annuity* yang dilakukan pada pemasangan FSC-CoredataQ. 150 unit, merupakan jumlah total pemasangan FSC-CoredataQ pada *haultruck*, dengan total *capital cost* yang digunakan adalah Rp 4,620,000,000. sedangkan untuk masa *tenor* yang diberikan sebesar 5 tahun dengan *interest rate* sebesar 8% tiap tahun. Sehingga untuk perhitungan *annual income* yang diperoleh berdasarkan perbandingan bahan bakar sebelum dan sesudah pemakaian FSC-CoredataQ dengan perhitungan berdasarkan tahu, dengan *service life* selama 5 tahun.

Year	Total Annual Saving total	Investment	Operation & Maintenance	Total Cost Saving		
				Annual Saving	Unit	Total annual saving
	L/a	IDR	IDR/a	IDR/a		IDR/a
2017	0	- 4,620,000,000				
2018	1	6641	- 115,710,882	41,837,922.00	60	2,625,986,202.01
2019	2	6641	- 115,710,882	41,837,922.00	60	2,625,986,202.01
2020	3	6641	- 115,710,882	41,837,922.00	60	2,625,986,202.01
2021	4	6641	- 115,710,882	41,837,922.00	60	2,625,986,202.01
2022	5	6641	- 115,710,882	41,837,922.00	60	2,625,986,202.01

Gross Revenue	Net Cash-Flow	Investment Payback
	IDR/a	IDR/a
- 4,620,000,000	- 4,620,000,000	- 4,620,000,000
2,625,986,202	2,510,275,320	- 2,109,724,680
2,625,986,202	2,510,275,320	400,550,640
2,625,986,202	2,510,275,320	2,910,825,960
2,625,986,202	2,510,275,320	5,421,101,280
2,625,986,202	2,510,275,320	7,931,376,600

Gambar 4. 37 Cashflow dan investment payback pada pemasangan FSC-CoredataQ pada haultruck

Result				
NPV				Rp5,950,646,128.38 IDR
IRR				8.25 %
Payback period				2 years

Gambar 4. 38 Nilai NPV, IRR, dan payback period

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai *profability index* dengan persamaan :

$$Profability\ index = \left(\frac{net\ present\ value}{capital\ cost} \right) = \frac{5,950,646,128.38}{4,620,000,000} = 1.288$$

Perhitungan dilakukan berdasarkan parameter yang telah ditentukan, yaitu Biaya investasi yang kita berikan dengan cara menentukan nilai *capital cost* yang telah dikeluarkan dan berasumsi pada 10% O&M dari *cost* per tahun yang dikeluarkan, dengan nilai *capital cost* sebesar Rp4,620,000,000. Hasil dari proses

perhitungan menyatakan bahwa Investasi yang nantinya akan ditanamkan akan kembali ketika memasuki tahun ke 2, lebih tepatnya 23 bulan, sehingga bisa dikatakan skema penambahan FSC-CoredataQ pada *haultruck* merupakan alternatif yang baik dalam berinvestasi karena waktu tenggang yang diberikan sebesar 5 tahun, dapat diminimalisir menjadi hanya 23 bulan. Hal tersebut dikuatkan dengan nilai IRR sebesar 8.25%, yang merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi sehingga nilai tersebut berada pada titik positif dalam hal proses investasi yang diberikan.

Untuk nilai NPV yang diperoleh sebesar Rp 5,950,646,128.38 berdasarkan masa tenor selama 5 tahun, dengan kata lain, nilai tersebut termasuk kategori baik. Sehingga dari hasil tersebut membuktikan, bahwa penambahan FSC-CoredataQ pada *haultruck* merupakan solusi yang masih menguntungkan dalam melakukan suatu investasi, pada bagian pengurangan konsumsi bahan bakar solar. Nilai IPP dan NPV yang dihasilkan berdasarkan asumsi bahwa sisa *excess power* yang diperoleh nantinya dijual sehingga data tersebut merupakan nilai yang diperoleh berdasarkan tarif yang dijual ke perusahaan minyak. Untuk nilai *profitability index* diperoleh sebesar 1.288, hal tersebut mengindikasikan bahwa investasi ini memiliki tingkat keuntungan yang tinggi dalam hal efisiensi *cost* dan bahan bakar.

BAB V PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan data yang diambil dan analisis yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan, yaitu:

1. Berdasarkan *trial* yang dilakukan memperlihatkan pengurangan konsumsi bahan bakar pada *haultruck*, indikator *fuel ratio* digunakan sebagai parameter *saving fuel* yang dapat dihasilkan secara rata-rata 6%. Hal ini memperlihatkan *saving cost* yang diperoleh sebesar \$179,305.38 / tahun dengan penggunaan FSC-CoredataQ.
2. Analisis *principle component analysis* (PCA) dihadirkan pada penelitian ini, dimana faktor *paylaod* memiliki pengaruh yang paling signifikan selama proses sistem operasi *haultruck* berlangsung, dengan nilai *eigenvalue* sebesar 5.53, artinya faktor *paylaod* dapat menjelaskan 5.53 atau 5.53 % dari total kumulatif atau presentasi pengaruh variabel yang lain pada sistem operasi.
3. Model Jaringan Syaraf Tiruan (JST) yang telah dirancang mampu menghasilkan nilai nRMSE estimasi dibawah 8% (7.7217), dimana model JST yang telah dibuat telah mampu mengikuti target keluaran dengan baik. Masih terdapat sebagian kecil data yang menyimpang cukup tinggi,. Hal ini terjadi dikarenakan semakin besar *paylaod* yang dihasilkan, maka semakin tidak stabil keluaran dari sistem *haultruck* dalam beroperasi karena terdapat banyak korelasi yang mempengaruhi sistem tersebut, sehingga JST tidak mampu mengikuti dengan baik target yang diinginkan.
4. Pemasangan FSC-CoredataQ memiliki tingkat investasi yang baik, hal ini dibuktikan pada *feasibility study* yang dilakukan, dimana *payback period* yang dihasilkan pada investasi ini kembali dalam kurun waktu kurang dari 2 tahun (1 tahun 10 bulan), dimana nilai IRR yang diperoleh sebesar 8.25 % dan NPV sebesar Rp 5,950,646,128.38 dengan masa *tenor* 5 tahun terhadap jangka waktu investasi yang diberikan.

4.2 Saran

1. Kecepatan operasi truk dibatasi oleh FSC pada maksimum 40 km/hr, angka kecepatan ini merupakan hasil studi dari operasional tambang dan merupakan nilai ketetapan manajemen. Perlu dilakukan studi lebih lanjut dengan variasi kecepatan truk sehingga terlihat dampak system FSC pada kecepatan optimum berapa menghasilkan penghematan tertinggi (*optimasi design*). Tentunga faktor keselamatan operasional tetap menjadi fokus utama dalam operasional tambang.
2. Implikasi impementasi sistem FSC ini berkaitan dengan penghematan biaya pemeliharaan alat (*maintenance cost*), perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai *multiplier effects* kaitannya dengan *maintenance* sebagai implikasi system FSC ini. Studi ini nantinya membutuhkan data yang sangat panjang (*longitudinal data*) karena terkiat dengan umur komponen seperti *transmission*, *engine*, *final drive*, dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Gupta and A. Barbu, "Parameterized principal component analysis," *Pattern Recognit.*, vol. 78, pp. 215–227, 2018.
- A. Hegab, A. La, and P. Shayler, "Towards keeping diesel *fuel* supply and demand in balance : Dual-fuelling of diesel engines with natural gas," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 70, no. November 2016, pp. 666–697, 2017.
- Alex Hutcheon, 2008. " *Operation Engagement* ". Relogica, MAPREC 2008, Jakarta..
- A. Korfiati *et al.*, "Estimation of the Global Solar Energy Potential and Photovoltaic Cost with the use of Open Data," *Int. J. Sustain. Energy Plan. Manag.*, vol. 9, p. Start-End, 2016.
- Arifin Siagian & Mawardi Silaban, 2013, "Performa dan Karakteristik Emisi Gas Buang Mesin Diesel Berbahan Bakar Ganda", Balai Besar Teknologi Energi (B2TE), BPPT Kawasan PUSPIPTEK, Cisauk, Tangerang Selatan, Banten, 15314. Email: silaban90210@yahoo.com
- Bernard Challen, Rodica Baranescu, Butterworth-Heinemann, 1999. "*Diesel Engine, reference book*". ISBN 0768004039, 9780768004038, 1st Edition, Society of Automotive *Engineers*, USA, 1999.
- B. Roha and T. Arne, "Control Engineering Practice Mass flow estimation with model bias correction for a turbocharged Diesel engine," vol. 23, pp. 22–31, 2014.
- B. Yang, L. Ning, W. Chen, B. Wang, K. Zeng, and W. Dong, "Parametric investigation the particle number and mass distributions characteristics in a diesel / natural gas dual-*fuel* engine," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 127, pp. 402–408, 2017.
- Elnaz Siami-Irdemoosaa and Saeid R. Dindarloob, 2015. "Prediction of *fuel* consumption of mining *haultrucks*: A neural networks approach". Applied

Energy Volume 151, 1 August 2015, Pages 77-84

- F. Payri, P. Olmeda, J. Martín, and R. Carre, “Experimental analysis of the global energy balance in a DI diesel engine,” vol. 89, no. x, 2015.
- J. Benajes, P. Olmeda, J. Martín, D. Blanco-cavero, and A. Warey, “Evaluation of swirl effect on the Global Energy Balance of a HSDI Diesel engine,” *Energy*, vol. 122, pp. 168–181, 2017.
- John D. Cambell and James Reyes-Picknell, 2016. “Uptime: The Strategies for Excelent in Maintenance Management System”. 3rd Edtion, CRC Press, Canada.
- J. Huang and P. Zhang, “Fault Diagnosis for Diesel Engines Based on Discrete Hidden Markov Model,” *2009 Second Int. Conf. Intell. Comput. Technol. Autom.*, pp. 513–516, 2009.
- John Kennedy, Mwangia, Wen-Jhy, LeeaYu-Cheng, Changa Chia-Yang, Chena, and Lin-ChiWang (2015). “An overview: Energy saving and pollution reduction by using green *fuel* blends in diesel *engines*”. *Applied Energy* Volume 159, 1 December 2015, Pages 214-236
- Lalit Lalit KumarSahooa bSantanu Bandyopadhyaya RanganBanerjeea , (2014). “Benchmarking energy consumption for *haultrucks* in mines”. *Applied Energy*, Volume 113, January 2014, Pages 1382-1396.
- L. Li, S. Liu, Y. Peng, and Z. Sun, “Overview of principal component analysis algorithm,” *Optik (Stuttg.)*, vol. 127, no. 9, pp. 3935–3944, 2016.
- M. Hoseinpour, H. Sadrnia, M. Tabasizadeh, and B. Ghobadian, “Energy and exergy analyses of a diesel engine *fuelled* with diesel , biodiesel-diesel blend and gasoline fumigation,” *Energy*, vol. 141, pp. 2408–2420, 2017.
- Mohammad Khodabakhshian, Lei Fenga ,Stefan Börjessonb, Olof Lingärdeb, & Jan Wikander, 2017. “Reducing auxiliary energy consumption of heavy *trucks* by onboard prediction and real-time optimization”, *Applied Energy*,

Volume 188, 15 February 2017, Pages 652-671.

- M. Fu and P. Wang, "Fault Diagnosis and Application Based on PCA- GABP," pp. 929–933, 2015.
- M. N. Shelar, S. D. Bagade, and G. N. Kulkarni, "Energy and Exergy analysis of diesel engine powered trigeneration systems," *Energy Procedia*, vol. 90, no. December 2015, pp. 27–37, 2016.
- Nicholas Lutsey, Christie-Joy Brodrick and Timothy Lipman, 2007. "Analysis of potential *fuel* consumption and emissions reductions from *fuel* cell auxiliary power units (APUs) in long-*haul trucks*". *Applied Energy*, 2007, vol. 32, issue 12, 2428-2438 [10]
- Sean Benett, 2010. "*Medium/Heavyduty Trucks Engine, Fuel and Computerized Management System*". ISBN-1-4283-6666-0, 3rd Edition, Delmar USA.
- S. Lee and T. Y. Kim, "Performance and emission characteristics of a DI diesel engine operated with diesel / DEE blended *fuel*," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 121, pp. 454–461, 2017.
- T. Li, Z. Liu, H. Zhang, and Q. Jiang, "Environmental emissions and energy consumptions assessment of a diesel engine from the life cycle perspective," *J. Clean. Prod.*, vol. 53, pp. 7–12, 2013.
- T. Li, J. A. Caton, and T. J. Jacobs, "Energy distributions in a diesel engine using low heat rejection (LHR) concepts," *Energy Convers. Manag.*, vol. 130, pp. 14–24, 2016.
- Wiranto Arismunandar, 1988. "*Penggerak Mula, Motor Bakar Torak*". Edisi 8, Penerbit ITB, Bandung.
- X. Tag and D. X. X, "Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation," vol. 59, pp. 32–78, 2017.
- X. Wang, U. Kruger, G. W. Irwin, G. McCullough, and N. McDowell, "Nonlinear

- PCA with the local approach for diesel engine fault detection and diagnosis,” *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 16, no. 1, pp. 122–129, 2008.
- Y. Yu, L. Baoliang, and S. Jingshan, “PCA and Local-Wave Method Analysis on Fault Diagnosis of Diesel,” *2009 Int. Conf. Inf. Technol. Comput. Sci.*, no. 1, pp. 317–321, 2009.
- Yustinus Setiawan, Semin, dan Tjoek Soeprejitno, 2015. “Analisis Perbandingan Emisi Gas Buang Mesin Diesel Menggunakan Bahan Bakar Solar dan CNG Berbasis Pada Simulasi”. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- Z. Chen, J. Liu, Z. Han, B. Du, Y. Liu, and C. Lee, “Study on performance and emissions of a passenger-car diesel engine *fueled* with butanol e diesel blends,” *Energy*, vol. 55, pp. 638–646, 2013.

LAMPIRAN I

Spesifikasi Caterpillar 77D

CATERPILLAR

Service Informa

Previous Screen

Product: ENGINE - MACHINE
 Model: 25000 ENGINE - MACHINE 26Fuel
 Configuration: NO CONFIGURATION SELECTED

Test Spec Numbers: 2T-7522
Engine Serial Number: 2GR08287
Engine Model:
Combustion: DI
Aspiration: TASCAC

Test Specification Data

Description	Nominal	Ceiling	Floor
Corr Full Load Power	746.0 kW	775.9 kW	731.0 kW
Full Load Speed	1750 RPM	1760 RPM	1740 RPM
High Idle Speed	1937 RPM	1957 RPM	1917 RPM
Low Idle Speed	700 RPM	710 RPM	690 RPM
Governor Setting Speed	0 RPM	0 RPM	0 RPM
FL Static Fuel Setting	18.70 mm		
FT Static Fuel Setting	19.30 mm		
FLS (Intercept)	-2		
FTS (Slope)	-1		
Adjusted Boost	225.7 kPa	259.6 kPa	191.8 kPa
Adj Boost at TC RPM	175.0 kPa	201.3 kPa	148.7 kPa
Power Loss/cyl	0.0% C FL PWR	0.0% C FL PWR	0.0% C FL PWR
Inlet Fuel Pressure		40 kPa	1 kPa
Inlet Fuel Temp	30 DEG C	33 DEG C	27 DEG C
Fuel Pressure	509 kPa	728 kPa	364 kPa
Fuel Density		36 DEG API	34 DEG API
Boost Constant	0		
Governor Setting Constant	0		
Gov Setting Torq	90% RTD TRQ	91% RTD TRQ	89% RTD TRQ
Connected Fuel Rate	2747.0 G/min	2940.0 G/min	2554.0 G/min
CSFC	215.0 G/kW.H	225.8 G/kW.H	203.1 G/kW.H
Torque Check Speed	1300 RPM	1310 RPM	1290 RPM
Corr Torq Rise AT TC RPM	19.7%	0%	0%
Corr Torq AT TC RPM	4941 N.m	5287 N.m	4594 N.m
C Fuel Rate At TC RPM	2245.0 G/min	2403.0 G/min	2087.0 G/min
CSFC AT TC RPM	200.1 G/kW.H	210.2 G/kW.H	189.0 G/kW.H
Temp Jacket Water Pump Inlet	85 DEG C	88 DEG C	82 DEG C
Delta T Jacket Water(Out-In)	3 DEG C	8 DEG C	-2 DEG C
Temp Engine Water Outlet	0	0	0
Inlet Manifold Temp	0 DEG C	0 DEG C	0 DEG C
Water Temp To SCAC	56 DEG C	59 DEG C	53 DEG C
SCAC Water Flow	0 L/min	0 L/min	0 L/min
Oil Pressure	450 kPa	600 kPa	352 kPa
Oil Pressure Low Idle	260 kPa	600 kPa	172 kPa
Inlet Air Pressure		104.0 kPa	87.0 kPa
Inlet Air Restriction		4.00 kPa	0.00 kPa
Inlet Air Temperature		50.0 DEG C	10.0 DEG C

Engine Reference Information

Description	Value
FL Static Fuel Setting	18.70 mm
FT Static Fuel Setting	19.30 mm
Dynamic A/F Control Set	0.00 mm
Static A/F Lever Set	0.00 mm

Fuel Valve Part Number	
Stat Timing BTDC	0 DEG
Advance	0 DEG
Unit Injector Part Number	392-0211
Timing Dimension	64.34 mm
Torque Control Group Number	
Mechanical Advance P/N & OCC No	
Personality Module Part Number	2575916
Advance Start	0 RPM
Advance Inter	0 RPM
Advance Stop	0 RPM
Fuel Pump/GOV GRP Part Number	100-8780
Fuel Pump Type	EUI
Governor Type	PEEC
Flyweight Part Number/Attitude	
Turbo Assembly Part Number(s)	2395045
Turbo Housing Nozzle Size	BTL85 C50-0.96 2
Certifications	
Advertised Power/Govern Speed	700.0 kW/1750 RPM
Compression Ratio	14
Torque Rise Cam Part Number	
Manifold Type	DRY

Altitude Derating Information

Description	Value
Maximum Altitude	2285 m
Engine Power Rating W/O Fan	746.0 kW
Engine Power Rating W/ Fan	700.0 kW
High Idle Speed	0 RPM
PL Static Fuel Setting	0.00 mm
Full Load Boost Pressure	0.0 kPa
Converter Stall Boost Pressure	0.0 kPa
Converter Stall Speed	1606 RPM
PT Static Fuel Setting	0.60 mm
Corrected Fuel Rate	2747.0 G/min

Application/Performance Data

Description	Value
Application Identification	OT
Engine Sales Model & Series	
Combustion System Type	DI
Aspiration Type	TASCAC
Engine Source Factory Ref Number	88
Power Setting PL/PP Ref Number	
Engine Perf Data Ref No & Chg Level	
Low Idle In-Veh Speed	700 RPM
Multi Engine Rating	2T8752
Emissions Family	
Generator Rating	0 EKW
Generator Frequency	0 HZ
Certified Engine Rating	0.0 kW

LAMPIRAN II

Data Trial HT 2074 pada Periode Januari-Mei

January	Payload	Empty travel	Load travel	Total distance	Payload + beban	Baseline FR full
1	97.83617747	2.666552901	3.249488055	5.916040956	162.5061775	0.107525277
2	93.69711934	2.528395062	3.207201646	5.735596708	158.3671193	0.111790296
3	95.01462766	2.916755319	3.563297872	6.480053191	159.6846277	0.099788421
4	93.61256158	2.956157635	3.473399015	6.42955665	158.2825616	0.103277958
5	98.06733333	2.462666667	3.234333333	5.697	162.7373333	0.107875648
6	95.59212598	2.59507874	3.261614173	5.856692913	160.262126	0.108625529
7	95.1416092	2.896091954	3.645057471	6.541149425	159.8116092	0.09747263
8	93.58132911	2.222468354	3.239072848	5.439873418	158.2513291	0.110771314
9	92.8616307	3.197601918	3.857640751	6.935731415	157.5316307	0.093434193
10	93.3323741	2.674580336	3.509352518	6.183932854	158.0023741	0.102401137
11	99.21758794	3.253768844	3.922110553	7.175879397	163.8875879	0.088334325
12	104.1424242	2.745511062	4.536363636	7.281874699	168.8124242	0.074145214
13	97.84520548	2.636073059	3.426027397	6.062100457	162.5152055	0.101978955
14	96.55588235	3.135539216	3.863480392	6.999019608	161.2258824	0.091155298
15	97.15122494	2.910022272	3.863697105	6.773719376	161.8212249	0.090814842
16	98.85721271	2.836674817	3.780684597	6.617359413	163.5272127	0.091840641
17	97.48023599	3.142477876	3.954572271	7.097050147	162.150236	0.088547904
18	96.91111111	3.159207459	3.895337995	7.054545455	161.5811111	0.090211032
19	92.635	3.36	3.895	7.255	157.305	0.092671331
22	97.44367246	3.082133995	3.954094293	7.036228288	162.1136725	0.088578582
23	96.30290909	3.653090909	4.747272727	8.400363636	160.9729091	0.074301642
24	95.44009434	2.801650943	3.604716981	6.406367925	160.1100943	0.098379702
25	95.44009434	2.801650943	3.604716981	6.406367925	160.1100943	0.098379702
26	96.4982659	2.920231214	3.660115607	6.580346821	161.1682659	0.096254502
27	96.44321767	3.108201893	4.125236593	7.233438486	161.1132177	0.085430974
28	97.42359813	3.070560748	3.910981308	6.981542056	162.0935981	0.089566125
29	99.42317073	2.910365854	3.956707317	6.867073171	164.0931707	0.087452243
30	97.25409836	2.987119438	3.801405152	6.78852459	161.9240984	0.092244343
31	96.65739796	3.372193878	4.082653061	7.454846939	161.327398	0.086207447

Baseline FR no 77D	Total Baseline	Control FR full	Control FR no 77D	Total aktual	FR
0.329262539	0.436787816	0.105101169	0.321839469	0.426940638	2.25%
0.347254269	0.459044565	0.109270036	0.339425583	0.448695619	2.25%
0.301018044	0.400806464	0.097538737	0.294231732	0.391770469	2.25%
0.297005805	0.400283763	0.100949604	0.290309948	0.391259552	2.25%
0.356522461	0.464398108	0.105443641	0.348484828	0.453928469	2.25%
0.338331152	0.446956681	0.106176617	0.330703634	0.43688025	2.25%
0.303165781	0.400638411	0.095275155	0.29633105	0.391606204	2.25%
0.395054435	0.505825749	0.108274026	0.386148116	0.494422142	2.25%
0.274579514	0.368013707	0.091327763	0.268389246	0.359717009	2.25%
0.328274297	0.430675434	0.100092551	0.320873506	0.420966057	2.25%
0.269839691	0.358174016	0.086342869	0.263756281	0.350099149	2.25%
0.319793277	0.393938491	0.072473644	0.312583686	0.385057331	2.25%
0.333069668	0.435048623	0.099679886	0.325560768	0.425240654	2.25%
0.280014351	0.371169649	0.089100244	0.273701558	0.362801802	2.25%
0.301714522	0.392529364	0.088767464	0.294912509	0.383679972	2.25%
0.309515907	0.401356548	0.089770136	0.302538015	0.392308152	2.25%
0.279396073	0.367943978	0.086551633	0.273097219	0.359648852	2.25%
0.277916532	0.368127564	0.088177266	0.271651033	0.359828299	2.25%
0.261308327	0.353979658	0.090582099	0.255417253	0.345999351	2.25%
0.284866259	0.37344484	0.086581619	0.278444081	0.3650257	2.25%
0.240343315	0.314644957	0.072626546	0.234924887	0.307551433	2.25%
0.313385214	0.411764916	0.096161777	0.30632009	0.402481867	2.25%
0.313385214	0.411764916	0.096161777	0.30632009	0.402481867	2.25%
0.300659748	0.39691425	0.094084489	0.293881513	0.387966003	2.25%
0.282477139	0.367908113	0.083504972	0.276108824	0.359613796	2.25%
0.285939948	0.375506073	0.087546898	0.279493565	0.367040463	2.25%
0.301678904	0.389131147	0.085480673	0.294877693	0.380358366	2.25%
0.29392731	0.386171652	0.090164737	0.287300855	0.377465592	2.25%
0.260363434	0.346570881	0.08426394	0.254493662	0.338757602	2.25%

February	Payload	Empty travel	Load travel	Total distance	payload + beban	Baseline 2
1	83.95519126	2.614754098	3.408196721	6.02295082	148.6251913	0.112092952
2	97.65473146	3.372890026	4.258567775	7.631457801	162.3247315	0.082138569
3	104.4847973	3.088851351	3.919594595	7.008445946	169.1547973	0.085638671
4	96.84617414	2.842480211	3.478891821	6.321372032	161.5161741	0.101050495
5	96.82423208	3.367918089	4.023890785	7.391808874	161.4942321	0.087376006
6	96.70408163	3.101749271	4.027696793	7.129446064	161.3740816	0.087358433
7	100.0590698	3.072093023	3.842325581	6.914418605	164.7290698	0.08970796
8	100.8455	3.297	3.8635	7.1605	165.5155	0.088792401
9	97.46491228	3.405263158	4.248070175	7.653333333	162.1349123	0.082437946
10	98.13396226	2.528679245	3.12490566	5.653584906	162.8039623	0.111607533
11	94.80655738	3.084299517	3.695784543	6.78008406	159.4765574	0.096336728
12	99.66811594	3.249275362	3.874637681	7.123913043	164.3381159	0.089171482
13	93.53352113	3.061690141	3.988450704	7.050140845	158.2035211	0.089986014
14	96.06071429	3.050952381	3.790238095	6.841190476	160.7307143	0.093203028
15	96.0428934	3.081725888	3.866497462	6.94822335	160.7128934	0.091374905
16	95.66947368	2.826947368	3.500631579	6.327578947	160.3394737	0.101159932
17	100.0354667	2.5936	3.319466667	5.913066667	164.7054667	0.103853004
18	94.56228571	3.065142857	4.026857143	7.092	159.2322857	0.088551931
19	92.96544118	3.171078431	4.074509804	7.245588235	157.6354412	0.088402827
20	100.489899	2.98047138	3.863811563	6.844282944	165.159899	0.088976402
21	97.78417582	2.818461538	3.715604396	6.534065934	162.4541758	0.094066512
22	94.71624919	2.727785255	3.459458651	6.187243906	159.3862492	0.102976089
23	95.53803132	2.535346756	3.279642058	5.814988814	160.2080313	0.1080649
24	95.15026178	2.477748691	3.223036649	5.70078534	159.8202618	0.110229619
25	96.14226328	2.529099307	3.219861432	5.748960739	160.8122633	0.109657677
26	94.12115385	2.806490385	2.806490385	5.612980769	158.7911538	0.127410589
27	94.95242967	2.823785166	3.501278772	6.325063939	159.6224297	0.101595572
28	101.6196172	3.001435407	3.70861244	6.710047847	166.2896172	0.09207014

Baseline FR no 77D	Total Baseline	Control FR full	Control FR no 77D	Total Aktual	FR
0.335785296	0.447878248	0.106671619	0.319545168	0.426216787	4.84%
0.260309697	0.342448266	0.078165968	0.247719917	0.325885885	4.84%
0.284246757	0.369885428	0.081496789	0.27049927	0.35199606	4.84%
0.308883762	0.409934256	0.096163226	0.293944716	0.390107942	4.84%
0.260693983	0.348069988	0.083150098	0.248085617	0.331235715	4.84%
0.283064781	0.370423214	0.083133376	0.269374461	0.352507836	4.84%
0.285797329	0.375505289	0.085369268	0.271974849	0.357344118	4.84%
0.26630148	0.355093881	0.084497991	0.25342191	0.3379199	4.84%
0.257834986	0.340272933	0.078450866	0.245364895	0.323815761	4.84%
0.347215243	0.458822776	0.106209677	0.33042231	0.436631986	4.84%
0.284666251	0.381002979	0.091677439	0.270898475	0.362575914	4.84%
0.270212857	0.35938434	0.084858738	0.257144115	0.342002852	4.84%
0.286768399	0.376754413	0.085633874	0.272898954	0.358532828	4.84%
0.287777674	0.380980702	0.088695299	0.273859416	0.362554715	4.84%
0.284903983	0.376278888	0.086955592	0.27112471	0.358080302	4.84%
0.310580943	0.411740875	0.09626737	0.295559813	0.391827184	4.84%
0.338524051	0.442377055	0.098830193	0.322151464	0.420981657	4.84%
0.28644537	0.374997301	0.08426915	0.272591548	0.356860699	4.84%
0.276876148	0.365278975	0.084127258	0.263485138	0.347612396	4.84%
0.294582926	0.383559328	0.084673092	0.280335534	0.365008627	4.84%
0.311516041	0.405582553	0.089517021	0.296449686	0.385966707	4.84%
0.321871371	0.42484746	0.09799569	0.306304184	0.404299874	4.84%
0.346302129	0.454367029	0.102838382	0.329553358	0.43239174	4.84%
0.354352313	0.464581932	0.104898405	0.337214198	0.442112603	4.84%
0.347157574	0.456815251	0.104354125	0.330367429	0.434721555	4.84%
0.31284482	0.44025541	0.121248425	0.297714199	0.418962624	4.84%
0.310928746	0.412524318	0.096681941	0.295890795	0.392572736	4.84%
0.292525362	0.384595502	0.087617203	0.278377484	0.365994687	4.84%

March	Payload	Empty travel	Load travel	Total distance	payload + beban	Baseline 3
1	95.62237197	2.989218329	3.691374663	6.680592992	160.292372	0.095960921
2	93.3304	2.711733333	3.447466667	6.1592	158.0004	0.104240654
3	96.13586387	2.737696335	3.394502618	6.132198953	160.8058639	0.104020122
4	94.18446069	2.657952468	3.247897623	5.905850091	158.8544607	0.110050911
5	97.79312321	3.024068768	3.698853868	6.722922636	162.4631232	0.094487295
6	95.90734908	2.982414698	3.773753281	6.756167979	160.5773491	0.093699571
7	94.33050847	3.06440678	4.112590799	7.176997579	159.0005085	0.086832314
8	98.74741784	2.40258216	3.230679157	5.633261317	163.4174178	0.107548217
9	98.03126615	2.457881137	3.165374677	5.623255814	162.7012661	0.110250186
10	96.1096463	2.510932476	3.125080386	5.636012862	160.7796463	0.113006422
11	95.56651376	2.097706422	2.73646789	4.834174312	160.2365138	0.129492181
12	93.77543103	2.709051724	3.549353448	6.258405172	158.445431	0.10096397
13	96.76246851	2.743576826	3.692947103	6.436523929	161.4324685	0.095242637
14	98.38226744	2.601744186	3.692947103	6.294691289	163.0522674	0.094296475
15	96.60380048	2.594774347	3.304750594	5.899524941	161.2738005	0.106535139
16	94.65284091	2.40094697	3.037121212	5.438068182	159.3228409	0.117342469
17	98.83551913	2.722677596	3.435245902	6.157923497	163.5055191	0.101089289
18	99.56054054	2.722677596	3.435245902	6.157923497	164.2305405	0.100643014
19	97.60736544	2.690934844	3.416147309	6.107082153	162.2773654	0.102423792
20	94.7245614	2.494298246	3.22872807	5.723026316	159.3945614	0.110329187
21	94.12817797	2.677754237	3.550635593	6.228389831	158.798178	0.100703316
22	93.04451902	2.46935123	3.505369128	5.974720358	157.714519	0.102704614
23	99.90544218	3.085034014	3.802721088	6.887755102	164.5754422	0.090726861
24	98.46737968	2.617914439	3.456684492	6.07459893	163.1373797	0.100689032
25	97.07607053	2.524685139	3.202015113	5.726700252	161.7460705	0.109632236
26	94.0768262	2.392191436	3.047858942	5.440050378	158.7468262	0.117353345
27	98.59296188	2.663049853	3.35483871	6.017888563	163.2629619	0.103665936
28	94.65828402	2.912426036	3.613313609	6.525739645	159.328284	0.098627234
29	97.92429577	2.718661972	3.379577465	6.098239437	162.5942958	0.103330297

Baseline FR no 77D	Total Baseline	Control FR full	Control FR no 77D	Total aktual	FR
0.293720927	0.389681848	0.09029856	0.276389352	0.366687912	5.90%
0.323776667	0.42801732	0.098089731	0.304671594	0.402761325	5.90%
0.320706124	0.424726246	0.097882212	0.301782234	0.399664446	5.90%
0.330327946	0.440378857	0.103557143	0.310836302	0.414393445	5.90%
0.290335983	0.384823278	0.088911888	0.273204143	0.362116031	5.90%
0.294390978	0.388090549	0.088170645	0.277019865	0.36519051	5.90%
0.286514175	0.373346489	0.081708604	0.269607848	0.351316452	5.90%
0.365438483	0.4729867	0.101202125	0.343875074	0.445077198	5.90%
0.357216615	0.467466801	0.103744659	0.336138353	0.439883012	5.90%
0.349669291	0.462675714	0.106338258	0.329036374	0.435374632	5.90%
0.418550456	0.548042637	0.121851242	0.393853071	0.515704314	5.90%
0.324097164	0.425061133	0.095006394	0.304973179	0.399979573	5.90%
0.320018733	0.41526137	0.08962266	0.301135404	0.390758064	5.90%
0.337464377	0.431760852	0.088732328	0.317551634	0.406283962	5.90%
0.338370842	0.444905981	0.100248826	0.318404611	0.418653437	5.90%
0.365687369	0.483029837	0.110418448	0.344109273	0.454527721	5.90%
0.322475192	0.423564481	0.095124318	0.303446915	0.398571233	5.90%
0.322475192	0.423118206	0.094704377	0.303446915	0.398151292	5.90%
0.326279167	0.428702959	0.096380077	0.307026429	0.403406506	5.90%
0.352001202	0.462330389	0.103818999	0.331230685	0.435049684	5.90%
0.327885198	0.428588514	0.094761121	0.308537694	0.403298814	5.90%
0.35555735	0.458261964	0.096644328	0.334576996	0.431221324	5.90%
0.284598476	0.375325337	0.085373346	0.267805189	0.353178535	5.90%
0.335379937	0.436068969	0.094747679	0.315590191	0.41033787	5.90%
0.347764545	0.457396782	0.103163172	0.327244021	0.430407194	5.90%
0.367025802	0.484379147	0.110428682	0.345368729	0.455797412	5.90%
0.32969566	0.433361596	0.097548925	0.310241326	0.407790251	5.90%
0.301465503	0.400092737	0.092807542	0.283676944	0.376484486	5.90%
0.322951507	0.426281803	0.097233091	0.303895124	0.401128215	5.90%

April	Payload	Empty travel	Load travel	Total distance	payload + beban	Baseline4
4	101.2217391	2.647515528	3.188509317	5.836024845	165.8917391	0.107345276
5	96.55421687	2.976385542	3.700481928	6.67686747	161.2242169	0.09517148
6	98.33476071	2.976385542	3.700481928	6.67686747	163.0047607	0.094131897
7	96.87017167	2.782920792	3.2527897	6.035710492	161.5401717	0.108058482
8	96.74554455	2.997524752	3.683415842	6.680940594	161.4155446	0.095499101
9	96.01674009	2.649740933	3.247206704	5.896947637	160.6867401	0.108819171
10	97.36704225	2.741880342	3.49915493	6.241035271	162.0370423	0.10014238
11	98.51806283	2.411157025	2.754581673	5.165738698	163.1880628	0.126313959
12	97.37673913	2.296956522	2.876304348	5.17326087	162.0467391	0.121820465
13	95.21855072	2.937391304	3.956811594	6.894202899	159.8885507	0.089749627
14	94.50110803	3.008587258	3.613573407	6.622160665	159.171108	0.098717527
15	94.56980198	3.008587258	2.752722772	5.76131003	159.239802	0.129533256
16	97.40463576	2.062734082	2.600773694	4.663507777	162.0746358	0.134703156
17	102.71625	1.55125	2.40125	3.9525	167.38625	0.141266189
18	94.6161165	2.170291262	2.816504854	4.986796117	159.2861165	0.126563058
19	98.15835476	2.055082742	2.638770686	4.693853428	162.8283548	0.132148946
20	97.89772727	2.07892562	2.67231405	4.751239669	162.5677273	0.130699389
21	95.41992481	2.218421053	2.964473684	5.182894737	160.0899248	0.119642034
22	96.1611236	2.843370787	3.550268817	6.393639604	160.8311236	0.099440673
23	94.14488372	2.749767442	3.618604651	6.368372093	158.8148837	0.098801389
24	93.40623656	2.616129032	3.392903226	6.009032258	158.0762366	0.105866201
25	92.35746606	2.68959276	3.336425339	6.0260181	157.0274661	0.108377307
26	92.35746606	2.68959276	3.336425339	6.0260181	157.0274661	0.108377307
27	95.22706422	2.28853211	3.059633028	5.348165138	159.8970642	0.116060799
28	94.24420601	2.509871245	3.295922747	5.805793991	158.914206	0.10840658
29	95.79671053	2.374122807	2.764473684	5.138596491	160.4667105	0.127996466
30	95.96010101	2.673232323	3.403535354	6.076767677	160.630101	0.103857578

Baseline FR no 77D	Total Baseline	Control FR full	Control FR no 77D	Total Aktual	FR
0.331630153	0.438975429	0.094916667	0.293233479	0.388150146	11.58%
0.294987315	0.390158795	0.084152373	0.260833208	0.344985581	11.58%
0.294987315	0.389119212	0.083233154	0.260833208	0.344066362	11.58%
0.315494419	0.423552901	0.095547297	0.278965967	0.374513264	11.58%
0.292906999	0.388406099	0.084442061	0.258993754	0.343435815	11.58%
0.331351631	0.440170802	0.096219912	0.292987205	0.389207117	11.58%
0.320216738	0.420359118	0.088547734	0.283141528	0.371689262	11.58%
0.364138864	0.490452823	0.111689125	0.321978279	0.433667404	11.58%
0.382243186	0.504063652	0.107715895	0.337986454	0.445702349	11.58%
0.298903309	0.388652935	0.07935827	0.264295802	0.343654072	11.58%
0.291829987	0.390547514	0.087287853	0.25804144	0.345329293	11.58%
0.291829987	0.421363243	0.114535687	0.25804144	0.372577128	11.58%
0.425646712	0.560349868	0.119107007	0.376364649	0.495471656	11.58%
0.565992573	0.707258763	0.124910162	0.500461041	0.625371203	11.58%
0.404552142	0.5311152	0.111909383	0.357712443	0.469621826	11.58%
0.42723145	0.559380396	0.116848528	0.377765904	0.494614431	11.58%
0.422331598	0.553030988	0.115566803	0.373433365	0.489000168	11.58%
0.395775175	0.515417209	0.105789686	0.349951687	0.455741373	11.58%
0.308787016	0.408227689	0.087927271	0.273035157	0.360962429	11.58%
0.319298267	0.418099656	0.087362005	0.282329399	0.369691404	11.58%
0.335608821	0.441475022	0.093608841	0.29675149	0.390360332	11.58%
0.326441978	0.434819284	0.095829208	0.288645999	0.384475207	11.58%
0.326441978	0.434819284	0.095829208	0.288645999	0.384475207	11.58%
0.383650278	0.499711077	0.102623093	0.33923063	0.441853723	11.58%
0.34981714	0.458223719	0.095855091	0.309314747	0.405169838	11.58%
0.369819108	0.497815574	0.113176829	0.327000856	0.440177684	11.58%
0.328439834	0.432297411	0.09183278	0.29041254	0.38224532	11.58%

Mei	Payload	Empty travel	Load travel	Total distance	payload + beban	Baseline4
1	94.82046332	2.565830116	3.534169884	6.1	159.4904633	0.100733343
2	94.9079646	2.136283186	2.954424779	5.090707965	159.5779646	0.120434116
3	95.05559772	2.066034156	2.662428843	4.728462998	159.7255977	0.133518934
4	95.58428571	2.724734724	2.965306122	5.690040847	160.2542857	0.119485774
5	93.78601695	2.786652542	3.83220339	6.618855932	158.4560169	0.093505704
6	94.6309795	2.930296128	3.717312073	6.6476082	159.3009795	0.095884392
7	95.45670103	2.840824742	3.566185567	6.407010309	160.126701	0.099432348
8	94.50414079	2.745962733	3.370600414	6.116563147	159.1741408	0.105831659
9	96.54	2.697281553	3.257475728	5.954757282	161.21	0.108124029
10	94.56417582	2.686593407	3.43032967	6.116923077	159.2341758	0.103949701
11	95.41497976	2.932793522	3.493724696	6.426518219	160.0849798	0.101521055
12	95.32175732	2.840585774	3.436820084	6.277405858	159.9917573	0.103262107
13	94.52720157	2.687475538	3.358121331	6.045596869	159.1972016	0.106209552
14	94.79063063	2.713693694	3.395675676	6.109369369	159.4606306	0.104861413
15	95.28423154	2.588223553	3.122954092	5.711177645	159.9542315	0.11366691
16	96.05096419	2.861157025	3.504407713	6.365564738	160.7209642	0.100811072
17	95.50915493	2.790140845	3.664084507	6.454225352	160.1791549	0.096743971
18	96.88419811	2.503066038	3.239386792	5.74245283	161.5541981	0.108496151
19	94.6951417	2.58805668	3.143724696	5.731781377	159.3651417	0.113333304
20	96.9735363	3.001873536	3.722482436	6.724355972	161.6435363	0.094363575
21	95.52515723	3.127463312	4.106498952	7.233962264	160.1951572	0.086312618
22	95.1513382	2.765450122	3.611678832	6.377128954	159.8213382	0.09836747
23	95.39836735	2.937346939	3.588979592	6.526326531	160.0683673	0.098836847
24	94.98959811	2.684160757	3.779905437	6.464066194	159.6595981	0.09408479
25	94.0272	2.865866667	3.8896	6.755466667	158.6972	0.091985883
26	97.58579387	2.782451253	3.742061281	6.524512535	162.2557939	0.093515646
27	93.63162791	2.815581395	3.881162791	6.696744186	158.3016279	0.092416209
28	98.158125	2.732974468	3.7125	6.445474468	162.828125	0.093928958
31	94.8938914	2.809502262	3.516968326	6.326470588	159.5638914	0.101179449

Baseline FR no 77D	Total	Control FR full	Control FR no 77D	Total 0	FR
0.342187885	0.442921228	0.094929789	0.322473401	0.417403189	5.76%
0.410992319	0.531426435	0.113495541	0.387313802	0.500809343	5.76%
0.424966827	0.558485761	0.125826503	0.400483196	0.526309699	5.76%
0.322231728	0.441717502	0.112601835	0.303666979	0.416268814	5.76%
0.315071925	0.408577628	0.088118556	0.296919673	0.385038229	5.76%
0.299627048	0.395511441	0.090360201	0.282364623	0.372724824	5.76%
0.309063761	0.408496109	0.093703748	0.291257658	0.384961406	5.76%
0.319740676	0.425572335	0.099734375	0.301319444	0.401053819	5.76%
0.325511431	0.433635461	0.101894675	0.306757729	0.408652404	5.76%
0.326806422	0.430756123	0.097960843	0.307978111	0.405938954	5.76%
0.299371904	0.400892959	0.095672119	0.282124178	0.377796297	5.76%
0.309089762	0.412351868	0.097312863	0.291282161	0.388595024	5.76%
0.326699152	0.432908704	0.100090497	0.307877021	0.407967518	5.76%
0.323542772	0.428404185	0.098820029	0.304902489	0.403722518	5.76%
0.339227258	0.452894168	0.107118214	0.319683345	0.426801559	5.76%
0.306867457	0.407678528	0.095003039	0.28918789	0.384190929	5.76%
0.314678014	0.411421985	0.091170257	0.296548457	0.387718714	5.76%
0.350768204	0.459264356	0.102245358	0.330559382	0.43280474	5.76%
0.339249131	0.452582434	0.106803827	0.319703957	0.426507785	5.76%
0.292482668	0.386846243	0.088927003	0.275631852	0.364558855	5.76%
0.280737419	0.367050037	0.081339886	0.264563283	0.345903169	5.76%
0.317487548	0.415855019	0.092700221	0.299196126	0.391896347	5.76%
0.298907823	0.397744671	0.093142556	0.281686835	0.374829391	5.76%
0.327102606	0.421187397	0.08866428	0.308257231	0.396921511	5.76%
0.306363164	0.398349047	0.086686297	0.288712651	0.375398948	5.76%
0.315547659	0.409063305	0.088127926	0.297367999	0.385495925	5.76%
0.3118347	0.404250909	0.08709183	0.293868955	0.380960785	5.76%
0.32126022	0.415189178	0.088517425	0.302751443	0.391268868	5.76%
0.31250944	0.41368889	0.095350194	0.294504822	0.389855015	5.76%

BIODATA PENULIS



I Dewa Bagus Sugata Wirantaya, lahir di Bangli, 20, Februari, 1974. Penulis merupakan suami dari I Dewa Ayu Bidardani dan ayah dari I Dewa Winyaka Pawitra. Penulis memulai pendidikan pada tingkat strata 1 yang dimulai dari Teknik Mesin- ITS tahun 1997, kemudian melanjutkan pendidikan untuk mengambil program magister di Universitas Hasanudin dengan jurusan Magister Management tahun 2010. Selain itu penulis juga telah menyelesaikan pendidikan program doktoral dalam bidang

Ilmu Ekonomi pada tahun 2019. Penulis merupakan *Manager Central Maintenance* di perusahaan PT. Vale Indonesia, Tbk. Selama menempuh pendidikan atau pekerjaan terdapat beberapa penelitian dan publikasi yang telah dilakukan oleh penulis, yaitu *Asset Integrity Management of Critical Asset (A Case Study of Process Plant Equipment)*, *Evaluation of Asset Integrity Implementation: A Case Study of Asset Management Framework Approach*, *The Role of Maintenance Engineer in Financial Asset Management*, *Continues Improvement of Maintenance Business Process*, *Floor Management Daily System (FMDS) Approach to Leverage Productivity*, *Local Labour Empowerment to Increase Subjective Well-being and Global Capability*, *Front Line Planning and Scheduling (FLPS) Strategy Implementation to Sustain Maintenance Performance*, *Social Process Performance Approach to Leverage Supervisor Engagement*, dan *Local Labor Empowerment and Its Implication to Increase Subjective Welfare and Global Capability*. Selama beberapa dekade, penulis telah menjadi pembicara di berbagai event nasional dan internasional, yaitu *Global Engineering and Maintenance Summit (GEMS)* (2006), Singapore, *Maintenance Practitioner and Engineering Conference (MAPREC)* (2010), Jakarta, Indonesia, *Asset Integrity Summit (Inco Global)*, 2008, Mississauga, Canada, *Maintenance Standard Business Process across Vale Base Metals* (2018), Sudbury, Canada. Penulis dapat dihubungi melalui Dewa.Wirantaya@vale.com atau Dewawiran@yahoo.com.