3100097009819

TUGAS AKHIR

NE 1701

PENERAPAN SISTEM MONITORING KINERJA MOTOR DIESEL PENGGERAK UTAMA KAPAL CARAKA JAYA NIAGA III – 24

RSke
623.872
Esw
P-1
1996

Disusun oleh :

SUSNADI ESWANDONO

NRP. 491 420 0294

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

1996

PERPUSTAKAAN I T S	
Tgl. Terima	16 SEP 1996
Terima Dari	H

PENERAPAN SISTEM MONITORING KINERJA MOTOR DIESEL PENGGERAK UTAMA KAPAL CARAKA JAYA NIAGA III – 24

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan
Studi Strata Satu dan memperoleh gelar Sarjana Teknik Sistem Perkapalan

Mengetahui / Menyetujui :

Dosen Pembimbing

Ir. HARI PRASTOWO, MSc.

NIP. 131 933 294

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

1996

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp. 5947254, 5947274
Pesw. 262, 5948757, Fax. 5947254

TUGAS AKHIR (NE. 1701)

Nama	**: Susnadi Eswandono**
Nomor Pokok	**: 4914200294**
Tanggal diberikan tugas	**: 5 Oktober 1995**
Tanggal diselesaikan tugas	**:**

JUDUL KARYA TULIS :

PENERAPAN SISTEM MONITORING KINERJA MOTOR DIESEL PENGGERAK UTAMA KAPAL CARAKA JAYA NIAGA III - 24

Surabaya, 3 Pebruari 1996

Dosen Pembimbing,	**Mahasiswa,**	**Ketua Jurusan**
Ir. Hari Prastowo, Msc	**Susnadi Eswandono**	**Ir. Moch.Orianto BSE,Msc**
NIP : 131 933 294		**NIP : 130 786 955**

1 copy untuk Arsip Jurusan
1 copy untuk Arsip Dosen Pembimbing
1 copy untuk Arsip Mahasiswa ybs.

Barang siapa menuntut ilmu supaya bisa berbangga terhadap Ulama dengan ilmunya, atau supaya dapat menyanggah orang - orang bodoh, atau supaya dengan ilmu itu manusia berpaling kepadanya, maka Allah bakal memasukkannya ke dalam neraka. ***(Rosulullah SAW)***

Karya tulis ini kupersembahkan
kepada Bapak - Ibu dan saudara-saudaraku

ABSTRAK

Suatu motor pembakaran dalam adalah sebuah mesin yang komplit, dibuat dengan derajat presisi tinggi dan mampu beroperasi lama apabila dijaga dalam kondisi pengoperasian yang bagus. Monitoring terhadap parameter - parameter kinerja harus dilakukan untuk mengamati setiap perubahan yang terjadi saat engine bekerja. Dengan suatu penerapan sistem monitoring kinerja yang telah dibuat, operator engine diharapkan dapat dengan mudah mengetahui seberapa besar deviasi (penyimpangan) harga parameter dari harga standart-nya telah terjadi. Selanjutnya dengan metode trouble shooting tertentu, kemungkinan - kemungkinan penyebab deviasi parameter (dalam hal ini adalah kondisi sistem/elemen - elemen engine yang bekerja abnormal atau kondisi pengoperasian kapal) akan diketahui.

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya maka karya tulis ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Karya tulis ini diajukan guna memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya.

Ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Ir. Santoso Tondohartono; Dekan FTK - ITS.
2. Bapak Ir. Moch. Orianto, BSE.MSc.; Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS.
3. Bapak Ir. I Wayan Lingga Indaya; Sekretaris Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS.
4. Bapak Ir. Edi Setyo Koenhardono; dosen wali penulis.
5. Bapak Ir. Hari Prastowo, Msc.; dosen pembimbing dalam penulisan karya tulis ini.
6. Bapak Ir. Suryo Widodoadji, Msc.; yang telah banyak membantu dalam penulisan karya tulis ini.
7. Bapak Ir. Sutak Dwi Hadi; PT. Pelayaran Meratus atas bantuan dan bimbingan yang diberikan.
8. Seluruh staf pengajar dan karyawan Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS yang telah membantu terselesaikannya karya tulis ini.

9. Kedua orang tua dan kakak - kakak yang telah banyak memberikan contoh dalam kehidupan penulis.
10. Rekan - rekan penulis terutama Arius, Sukari, Ario dan seluruh rekan Sistem Perkapalan angkatan '91 seperjuangan.
11. Khoiruddin, Arif Syaiful, Kondang, Aris, Slamet dan rekan-rekan GP 81 yang telah banyak memberikan bantuan kepada penulis.
12. Dan pihak - pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari adanya beberapa kekurangan dalam penyampaian karya tulis ini, oleh sebab itu kritik dan saran membangun sangat diharapkan demi kesempurnaannya. Semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat dan tambahan wawasan yang berguna bagi pembaca khususnya dan tanah airku tercinta pada umumnya.

Surabaya, Juli 1996

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....i

LEMBAR PENGESAHAN.....ii

HALAMAN MOTTO.....iv

HALAMAN PERSEMBAHAN.....v

ABSTRAK.....vi

KATA PENGANTAR.....vii

DAFTAR ISI.....ix

DAFTAR GAMBAR.....xi

DAFTAR TABEL.....xi

DAFTAR LAMPIRAN.....xii

BAB I : PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....1

1.2. Tujuan Penulisan.....2

1.3. Batasan Masalah.....3

1.4. Metode Penulisan.....3

BAB II : DASAR TEORI

2.1. Sistem Monitoring Kinerja.....4

2.2. Sistem Monitoring Kondisi. 5

2.3. Manfaat Sistem Monitoring.....6

2.4. Instrumentasi.....7

2.5. Pemeriksaan Kinerja.....9

2.6. Parameter - Parameter Kinerja.....25

2.7. Perawatan Preventif dan Trouble Shooting.....43

BAB III : PEMBAHASAN MASALAH

3.1. Persamaan - Persamaan Kurva Model.....58

3.2. Perhitungan Deviasi Parameter.....71

3.3. Pembahasan Penyebab Terjadinya Parameter Kinerja.....79

BAB IV : KESIMPULAN..... 85

PENUTUP

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1 : Grafik mean effective pressure terhadap fuel pump indeks terkoreksi 28

2. Gambar 2.2 : Diagram tekanan vs derajat engkol dalam silinder motor 2 tak. 35

3. Gambar 2.3 : Program PM Caldwell untuk stationary engine 45

4. Gambar 2.4 : Tabel trouble shooting Tobold Untuk engine lacks power. . . . 48

5. Gambar 2.5 : Diagram tekanan - derajat engkol pada kondisi tekanan kompresi normal, tekanan maksimum terlalu tinggi . . 50

6. Gambar 2.6 : Diagram tekanan - derajat engkol pada kondisi tekanan kompresi normal, tekanan maksimum terlalu rendah . .51

7. Gambar 2.7 : Diagram tekanan - derajat engkol pada kondisi tekanan kompresi rendah, tekanan maksimum rendah 51

DAFTAR TABEL

1. Tabel prakiraan penyebab deviaisi. 56

LAMPIRAN

1. Lampiran I : Data - Data Penelitian

2. Lampiran II : Kurva - Kurva Model

3. Lampiran III : Listing Program Penerapan Monitoring Kinerja

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam suatu sistem propulsi kapal, mesin induk berperan sebagai main propulsion plant. Motor diesel dalam hal ini mempunyai karakteristik tertentu sehingga layak dipilih sebagai penggerak utama kapal. Motor diesel merupakan salah satu jenis motor pembakaran dalam *(internal combustion engine)*, dimana pembakaran terjadi dengan menginjeksikan sejumlah bahan bakar ke dalam ruang bakar yang bertekanan tinggi. Dari proses ini dihasilkan daya yang dapat memutar poros engkol dan selanjutnya ditransmisikan melalui sistem poros dan roda gigi untuk memutar beban (propeller kapal). Kemampuan motor untuk menghasilkan daya tersebut dipengaruhi kinerja motor *(engine performance)*. Kinerja motor harus selalu diperhatikan agar kerja motor khususnya dan siklus sistem secara umum dapat bekerja baik dan optimal.

Di akhir tahun 1980-an dimana pendapatan *(revenue)* dari perusahaan pelayaran mulai merosot *(decline)*, permasalahan mengenai cost control menjadi perhatian yang sangat penting. Dan metode yang sering diterapkan untuk mengantisipasi problem tersebut adalah dengan mengurangi jumlah staff perusahaan. Pada era 1990-an, pengurangan beaya *(cost reduction)* dan

kemungkinan peningkatan keuntungan perusahaan dapat lebih dioptimalkan. Yaitu

dengan melakukan langkah penyempurnaan dengan cara antara lain : meningkatkan pendayagunaan engine, mengurangi beaya operasional *(operation cost)* ,dan meminimumkan konsumsi untuk suku cadang *(spare parts).* Terobosan yang dapat dilakukan untuk memenuhi tujuan - tujuan tersebut adalah dengan membuat sistem monitoring yang efektif serta mampu menganalisis kondisi kinerja sistem penggerak utamanya. (Surjo, 1995).

Sejalan dengan itu maka melalui tugas akhir ini penulis berusaha memberikan suatu alternatif penerapan sistem monitoring terhadap kinerja motor diesel. Sebagai obyek penelitian adalah motor induk KM. Caraka Jaya Niaga III-24 milik PT. Pelayaran Meratus.

1.2. Tujuan Penulisan

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian dan penulisan ini antara lain

1. Mengetahui kondisi kinerja operasional motor induk kapal.
2. Menerapkan sistem monitoring kinerja (performance monitoring system) motor diesel.
3. Mendapatkan harga deviasi parameter kinerja motor .
4. Membuat prakiraan kondisi equipment motor sebagai penyebab terjadinya deviasi.

1.3. Batasan Masalah

Karena sangat luasnya problem monitoring kinerja ,maka permasalahan yang dibahas dalam tulisan ini dibatasi sebagai berikut :

1. Tidak membahas engine-propeller matching.
2. Tidak membahas instalasi dan peletakan sistem penunjang motor induk.
3. Tidak memperhitungkan parameter - parameter lain di luar parameter yang telah dibuatkan kurva modelnya
4. Kurva model dibuat berdasarkan harga parameter saat *engine shoptest.*
5. Prakiraan perubahan kondisi equipment yang menyebabkan terjadinya deviasi didapat dari buku referensi.
6. Penelitian dan pembahasan dilakukan pada motor diesel MAN B&W 5S26MC motor induk KM. Caraka Jaya Niaga III - 24.

1.4. Metode Penulisan

Tugas akhir ini merupakan penelitian yang akan melibatkan data-data operasi dan dan data teknis dari suatu motor diesel kapal. Dari data tersebut akan dibuat analisa dengan bantuan literatur yang ada. Oleh karena itu akan dilakukan dua bentuk metode penulisan yaitu :

- studi lapangan dimana penulis mengadakan pengujian dan pengukuran motor pada kondisi operasi pelayaran dan ,
- studi literatur/pustaka dipakai sebagai landasan teori dan pengolahan data hasil studi lapangan.

BAB II

DASAR TEORI

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Sistem Monitoring Kinerja

Sistem monitoring untuk kinerja motor diesel *(diesel engine performance monitoring system)* dipakai untuk memantau dan merekam parameter-parameter kinerja *(performance parameters)* seperti tekanan, temperatur dan siklus proses dalam selang waktu tertentu. Kemudian nilai - nilai yang terekam tadi akan dibaca oleh operator. Sehingga operator dapat melakukan justifikasi terhadap kinerja motor diesel tersebut.

Monitoring kinerja bertujuan untuk mendeteksi, dan kemudian mengubah sejumlah informasi termodinamik (yang ada) ke dalam parameter - parameter yang mudah dimengerti melalui sistem software.

Sistem monitoring ini dapat dilaksanakan pada peralatan - peralatan utama suatu sistem permesinan seperti : diesel engine, kompresor, pompa - pompa aksial dan sentrifugal dengan total parameter kinerja sebanyak 50 parameter. Penentuan parameter ini tergantung tipe peralatan. Beberapa peralatan mungkin memerlukan banyak parameter, sedangkan yang lain bisa cukup akurat dengan hanya memakai satu parameter kinerja saja. (Rasmussen, 1982).

Filosofi operasional dari sistem monitoring kinerja adalah untuk memperoleh informasi sistem selama periode 24 jam. Selama periode ini

sistem monitoring mengumpulkan informasi tentang seluruh peralatan yang dimonitor saat beroperasi. Sistem selalu melakukan 15 pengukuran berulang- ulang untuk mengurangi kesalahan random, yaitu kesalahan pembacaan meter. Selanjutnya harga rata - ratanya dipakai untuk perhitungan parameter kinerja. Prosedur ini diulangi lima kali selama 24 jam dan parameter kinerja rata-rata dipakai untuk perhitungan *health condition.* (Rasmussen, 1982).

Menurut tujuannya , sistem monitoring dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu : *performance monitoring* (monitoring kinerja) dan *condition monitoring* (monitoring kondisi). Kalau monitoring kinerja bertujuan untuk lebih mengoptimalkan kinerja dan efisiensi suatu *plant*, maka monitoring kondisi bertujuan untuk memantau kondisi dari keseluruhan equipment dalam suatu plant, yang mana nantinya dapat dipergunakan untuk memprediksi jadwal perawatan dan kemungkinan kegagalan *(faults)* dari plant tersebut.

Apabila kedua sistem ini digabung dalam satu unit maka optimalisasi dalam hal kinerja (performance) kehandalan *(reliability)* dan daya guna *(availability)* akan diperoleh. (Surjo, 1995).

2.2. Sistem Monitoring Kondisi

Sehubungan dengan berkembangnya metode dan peralatan monitoring, sistem monitoring kondisi merupakan tehnik yang paling mengesankan dalam upaya meminimalkan beaya parawatan untuk menjaga performance-nya.

Konsep dasar perawatan membuktikan bahwa saat yang tepat untuk melaksanakan perawatan sebaiknya ditentukan atas hasil monitoring saat peralatan

beroperasi. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut : pertama monitoring dapat menunjukkan problem kecil *(minor)* terhadap suatu peralatan sebelum mengalami kerusakan yang lebih fatal *(catasthropic)*. Kedua dengan monitoring yang baik mampu meminimalkan tindakan perawatan yang tidak begitu penting atau tidak semestinya dilakukan.

Proses monitoring ini mencakup pemilihan metode dan parameter yang tepat untuk mendeteksi kesalahan dini dan data periodik pada saat itu, serta analisa-analisa untuk melihat apakah ada gejala - gejala terhadap kemungkinan terjadinya kesalahan. Hal tersebut menjadikannya mampu memberikan peringatan atas kesalahan dini pada saat yang tepat dan cepat.

2.3. Manfaat Sistem Monitoring

Dengan melakukan sistem monitoring berarti kita telah melakukan hal-hal sebagai berikut :

- melakukan analisa terhadap kondisi yang muncul dalam tampilan dan perubahan sejak dari evaluasi terakhir
- mendiagnosa atau menemukan sumber - sumber penyebab perubahan
- mengestimasikan kondisi yang akan datang mengevalusi terhadap akibat dari penurunan kondisi yang terus berlanjut
- menentukan langkah penyesuaian yang akan dilakukan untuk mengoreksi ketidakwajaran dan mencegah berkembangnya kegagalan sistem lebih lanjut.

Selain hal - hal tersebut di atas sistem monitoring mempunyai keuntungan - keuntungan antara lain :

- pengurangan pemakaian bahan bakar motor karena proses pembakaran lebih efisien dan kinerja lebih optimal
- pengurangan kemungkinan tidak beroperasinya kapal karena kerusakan sistem penggerak yang tidak terprediksi
- pengurangan jumlah spare part yang terpakai untuk penggantian dan menambah waktu antara overhaul *(time between overhaul / TBO)* karena jadwal repair dan perawatan lebih akurat
- tingkat keselamatan sistem meningkat dengan dapat dicegahnya kegagalan sistem secara mendadak.

2.4. Instrumentasi

Banyak sensor - sensor dibutuhkan dalam sistem monitoring kinerja untuk pengawasan dan kontrol. Sensor - sensor tersebut dipasang pada peralatan yang dimonitor antara lain untuk pengukuran aliran *(flow)*, suhu, dan tekanan. Agar dapat diperoleh pengukuran yang akurat, maka harus dilakukan koreksi - koreksi dalam perhitungan secara matematik untuk mencari parameter - perameter yang dibutuhkan. Kesalahan - kesalahan sensor dapat dibagi dalam dua jenis yaitu : *kesalahan sistematik* dan *kesalahan random*. Kesalahan random dapat dikurangi dihindari dengan pemakaian harga rata-rata dari pengukuran yang berulang-ulang. Sedangkan kesalahan sistematik hanya dapat dieliminasi dengan memasang sensor-sensor yang lebih akurat. (Rasmussen, 1982).

Bila digunakan peralatan ukur digital, maka harus diperlengkapi dengan sensor - sensor suhu atau tekanan. Agar akurasi pengukuran dapat diandalkan maka sensor harus memenuhi hal-hal sebagai berikut :

- Linearitas

  Yaitu konversi yang dihasilkan harus benar - benar proporsional karakteristik konversi harus memenuhi persamaan linier. Misalnya pada pengukuran suhu untuk sensor yang memberikan tegangan 10 mV setiap kenaikan 1 K, maka pada temperatur 50 K sensor harus memberikan output tegangan 05 V dan pada 100 K akan memberikan output 1 V.

- Tidak dipengaruhi besaran fisik yang lain

  Agar sensor dapat memberikan output tegangan yang proporsional dengan keadaan yang disensor , maka sensor tidak boleh terpengaruh oleh besaran fisik yang lain.

- Sensitifitas

  Sensitifitas sensor harus dipiih sedemikian rupa sehingga diperoleh tegangan yang cukup besar untuk masukan - masukan yang diinginkan. Dengan kata lain dapat memenuhi range besaran yang terjadi pada obyek yang disensor.

- Waktu reaksi yang cepat

  Waktu reaksi adalah waktu yang diperlukan sensor untuk mencapai nilai akhir- nya. Pada suatu nilai masukan yang berubah output keluaran juga harus berubah. Sensor harus dapat berubah memberikan nilai secara cepat bila sewaktu-waktu nilai masukan berubah.

- Stabilitas output terhadap waktu

  Sensor harus mempunyai stabilitas output yang baik artinya sensor harus memberikan nilai output yang tetap (sama) pula dalam jangka waktu pemakaian yang lama.

Dalam penelitian ini pengamatan kinerja dilakukan dengan peralatan - peralatan seperti berikut :

- *Stopwatch* yang dipergunakan untuk mengukur lama waktu pengamatan.
- *Digital tachometer* untuk mengetahui putaran motor (rpm) yang bekerja otomatis.
- *Flowmeter bahan bakar* untuk mengetahui jumlah bahan bakar yang dikonsumsi motor.
- *Termometer* untuk mengukur parameter temperatur.
- *Pressure gauge* untuk mengukur parameter tekanan.
- *Mechanical indicator* untuk mengukur parameter tekanan dalam silinder.

2.5. Pemeriksaan Kinerja

Instrumen-instrumen yang terpasang pada engine akan menunjukkan harga parameter-parameter kinerja. Hasil pengukuran tersebut selanjutnya dicatat pada *performance monitoring log sheet* (PMLS). Sehingga pada PMLS ini akan terdapat informasi tentang harga-harga hasil pengukuran parameter-parameter antara lain :

- tekanan kompresi (Pcom)
- tekanan pembakaran maksimum (Pmax)

- suhu buang (Texh)
- fuel pump index (FPI)
- daya yang dihasilkan (hp)
- tekanan udara bilas (Pscav) dll.

Harga parameter yang didapat dari pengukuran saat operasi motor tersebut selanjutnya dibandingkan dengan harga modelnya. Untuk sebagian parameter, terlebih dahulu harus dihitung harga rata-ratanya yaitu dari total harga untuk keseluruhan silinder dibagi jumlah silinder engine. Harga ini kemudian dibandingkan dengan harga parameter tersebut pada satu silinder. Hal ini untuk mengetahui apakah masing - masing silinder kondisinya sama atau ada satu silinder yang menyimpang jauh harga parameternya.

Selanjutnya, harga rata-rata yang merupakan harga sebenarnya *(actual value)* dari masing-masing paramater tersebut dibandingkan dengan harga model *(model value)*-nya setelah terlebih dahulu dikoreksi karena pengaruh kondisi lingkungan operasional. Model value adalah harga yang diharapkan *(expected value)* untuk suatu parameter pada kondisi operasional engine saat pengukuran dilakukan. Harga model ini diperoleh dari *engine shop test* dan digambarkan dalam bentuk kurva-kurva model (*model curves*).

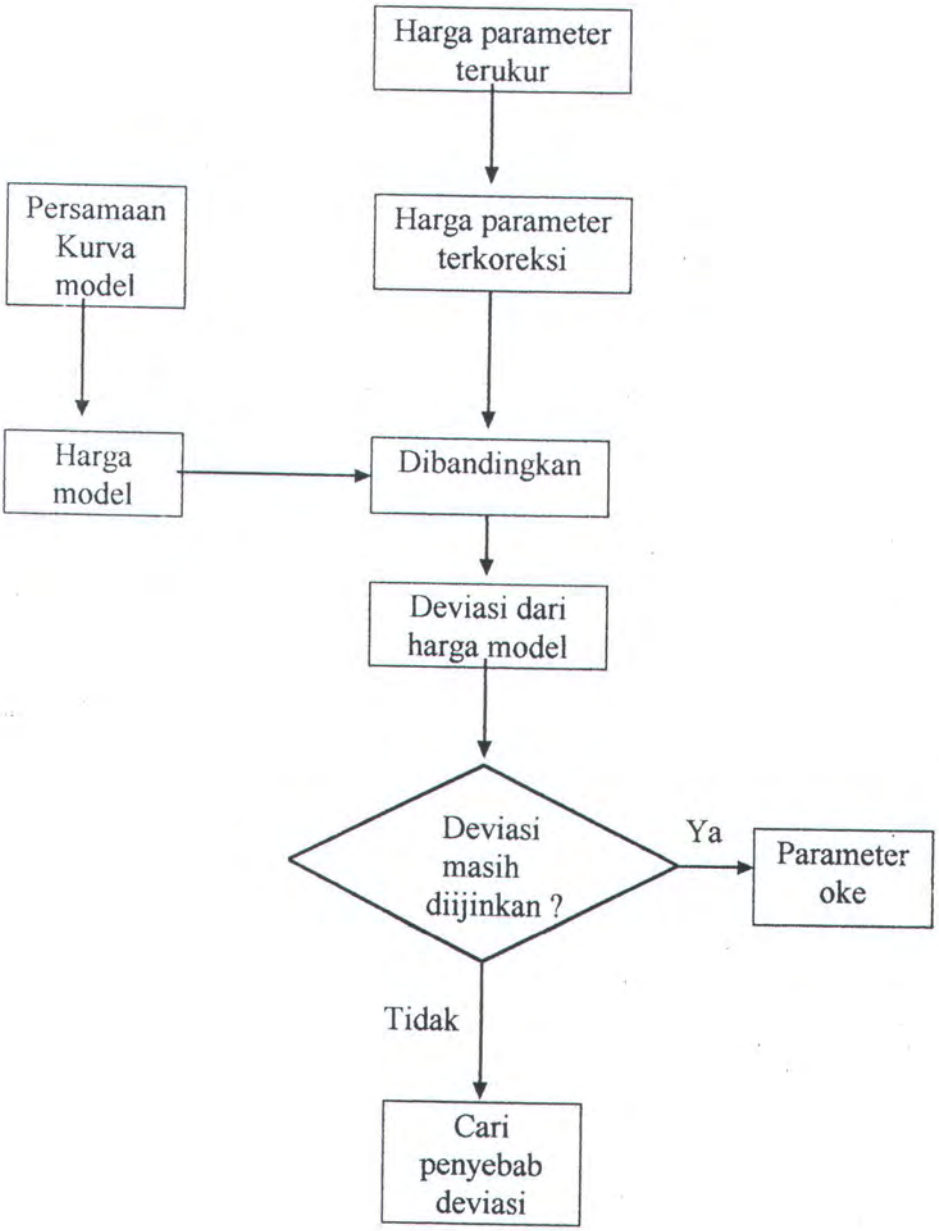
Dalam proses perhitungan, harus terlebih dahulu diketahui persamaan - persamaan kurva model tersebut. Sebagai catatan, seluruh persamaan kurva model parameter - parameter kecuali untuk specific fuel consumption (SFC), adalah garis

$$Y = mX + C$$ (Surjo, 1995).

Perbandingan kedua harga ini yaitu actual value dan model value akan dinyatakan sebagai prosentase (%) deviasi yang terjadi. Kemudian dibuat plot grafik agar dapat diamati kecenderungan deviasi yang terjadi.

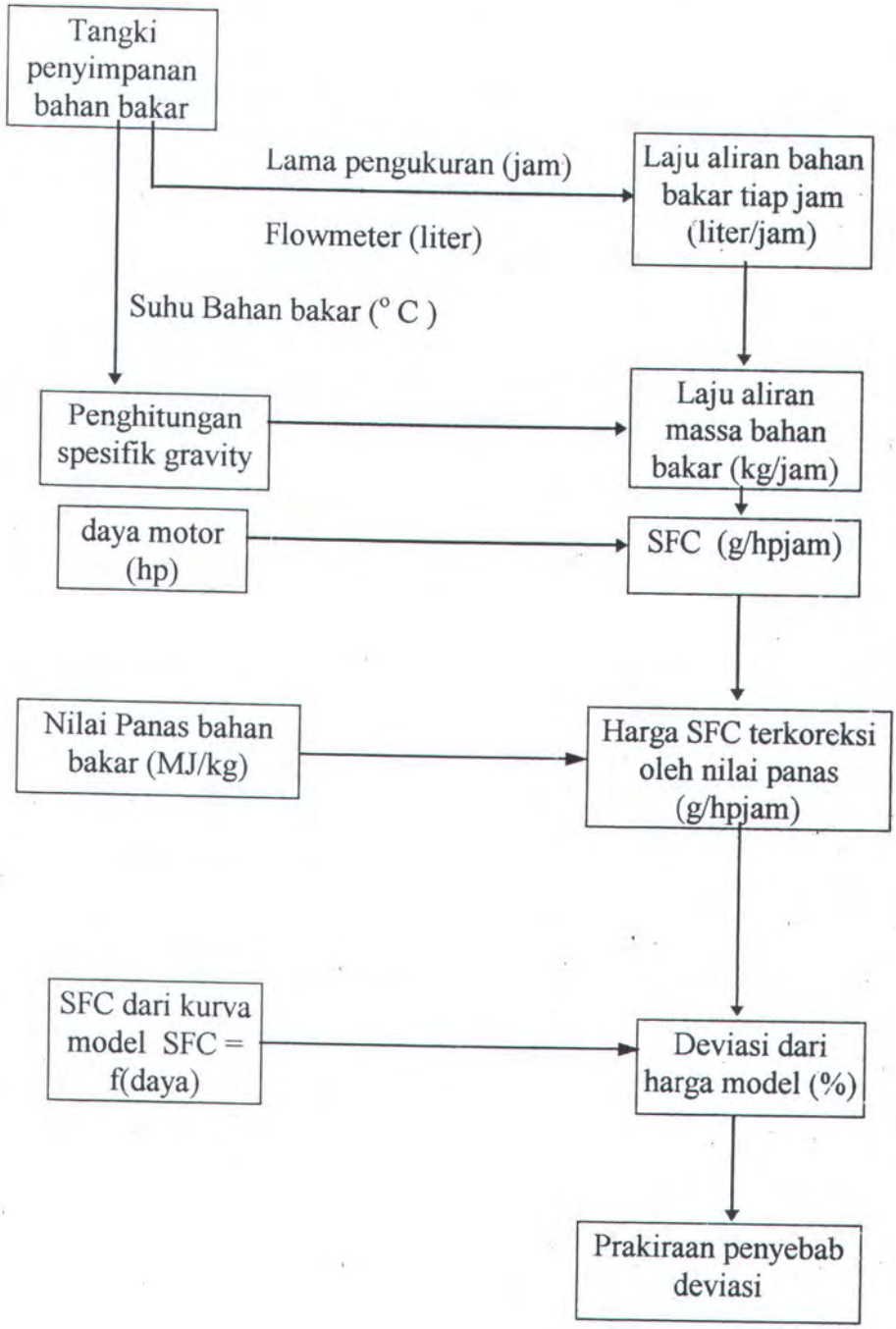
Dengan mengetahui harga deviasi ini operator akan dapat mengetahui kondisi motor. Dan selanjutnya dengan mengacu pada persyaratan yang ditetapkan *engine builder*, operator dapat menganalisa apakah deviasi harga yang terjadi masih dalam batas - batas yang diijinkan atau tidak. Jika tidak, berarti ada kesalahan pada motor dan operator harus menemukan penyebab terjadinya deviasi tersebut sebelum kondisi motor menjadi lebih buruk.

Langkah - langkah pengerjaan diatas secara umum dapat digambarkan dengan diagram alir seperti pada halaman berikut :

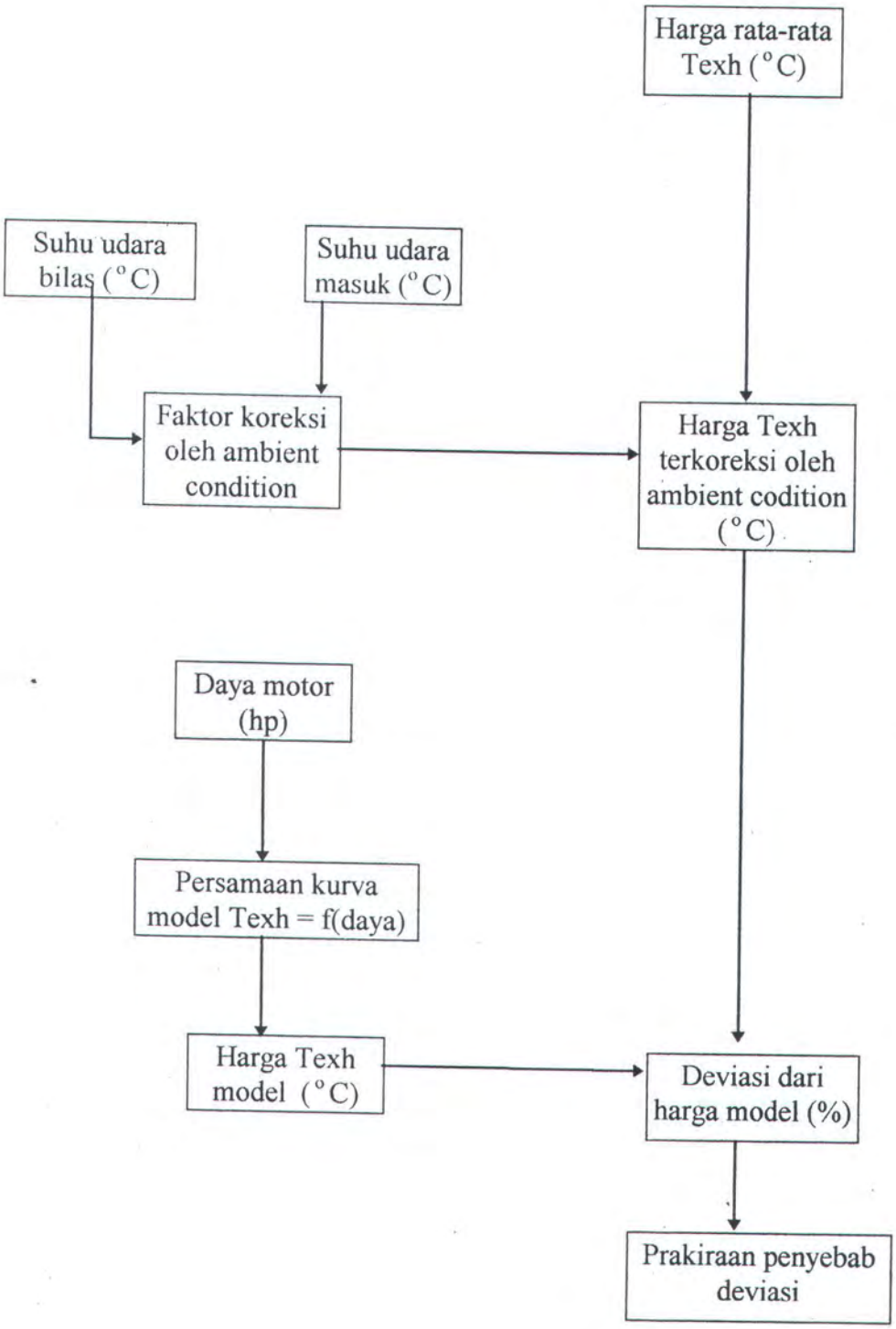


Sementara itu perhitungan deviasi untuk masing - masing paramater adalah mengikuti diagram - diagram alir sebagai berikut :

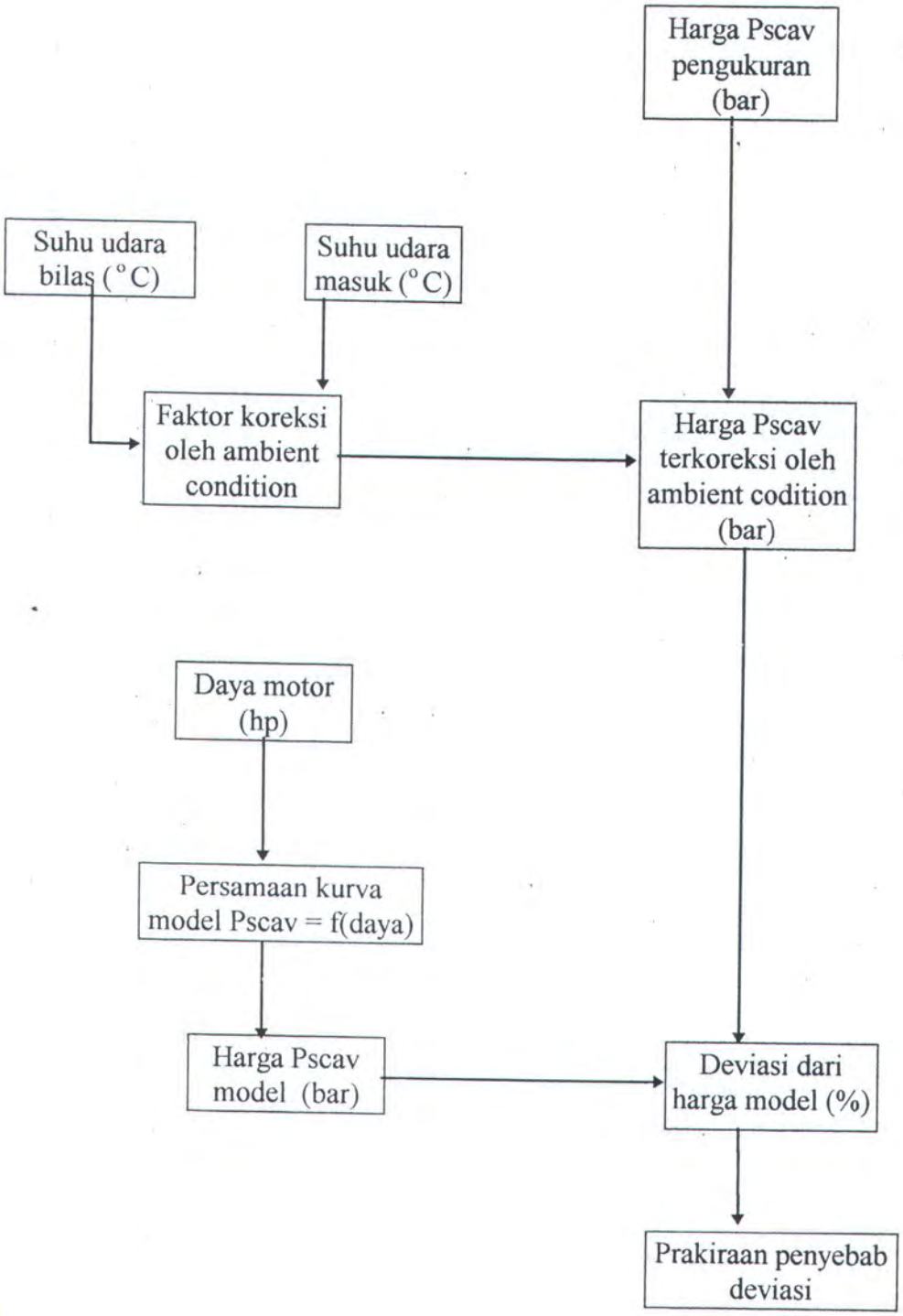
1. Perhitungan deviasi konsumsi bahan bakar spesifik (SFC)



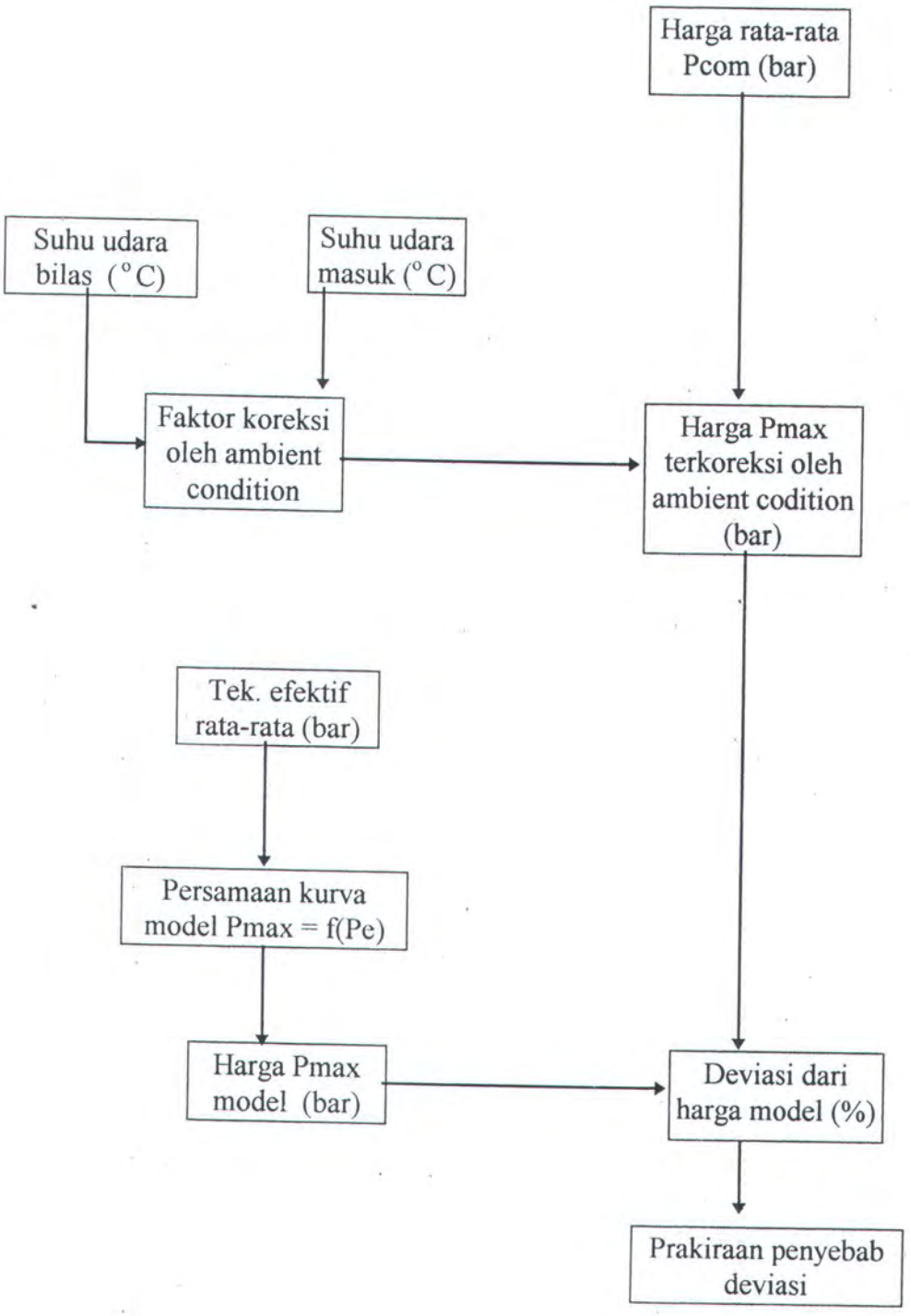
2. Perhitungan deviasi suhu gas buang (Texh)



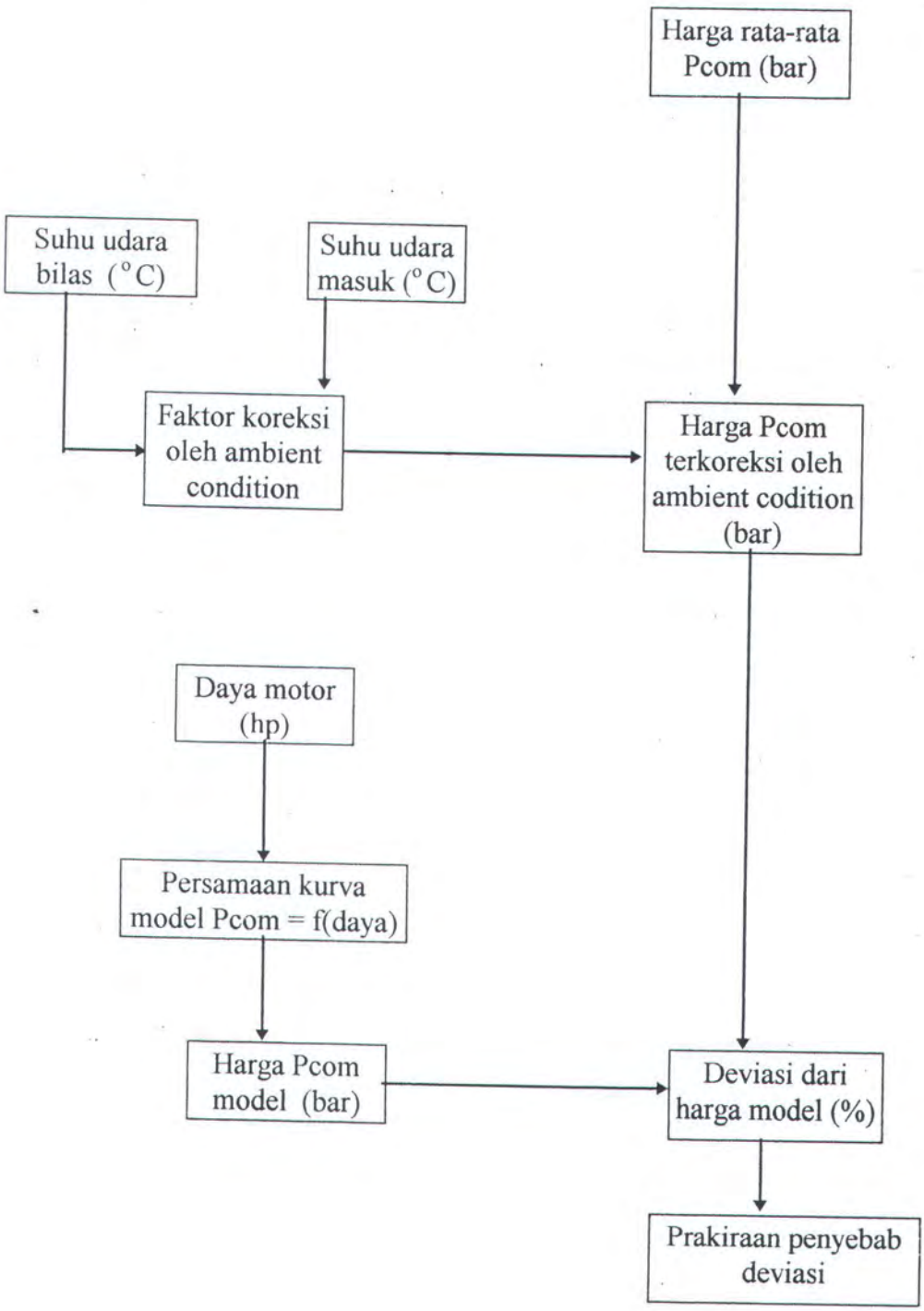
3. Perhitungan deviasi tekanan udara bilas (Pscav)



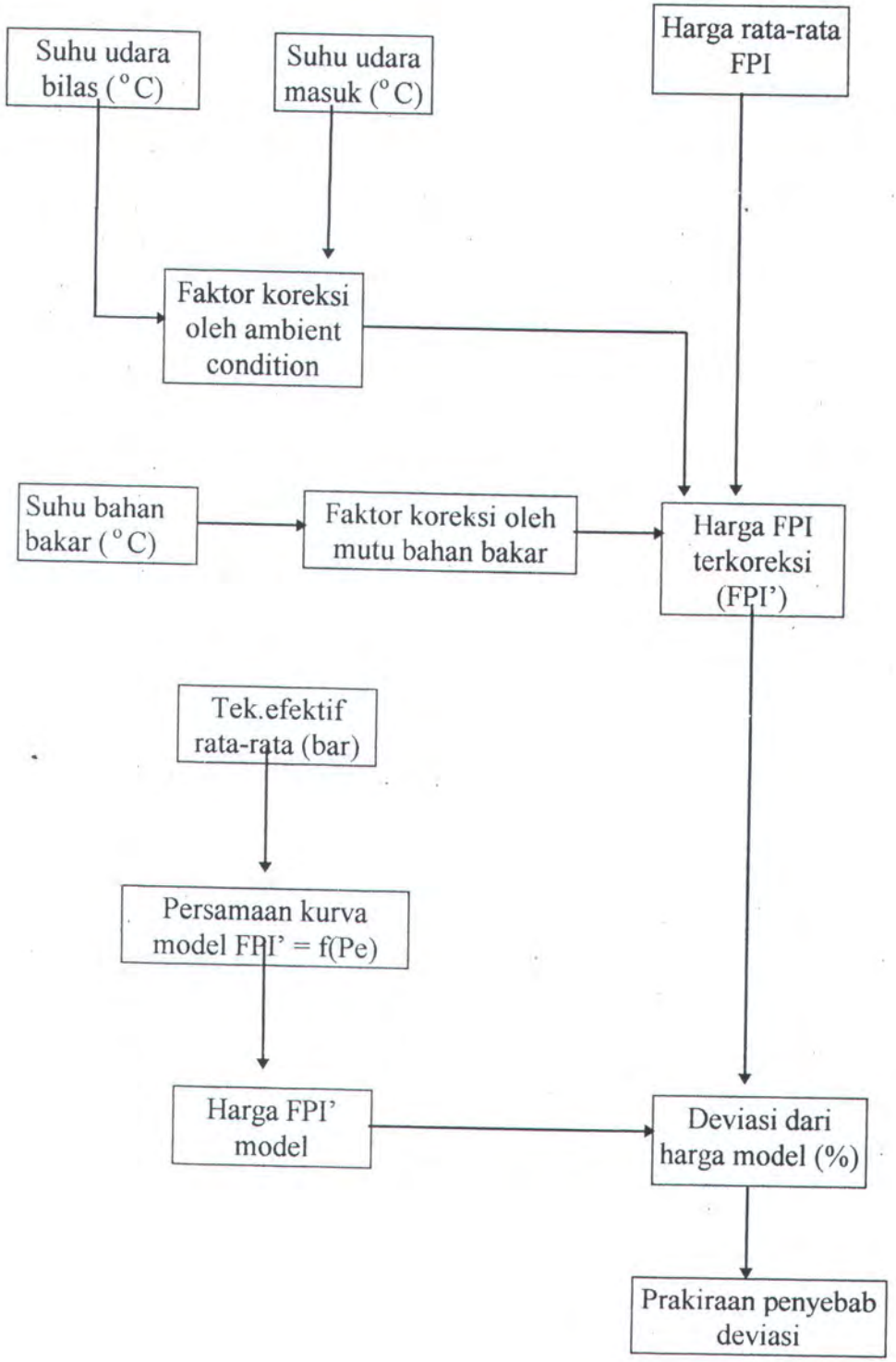
4. Perhitungan deviasi tekanan maksimum pembakaran (Pmax)



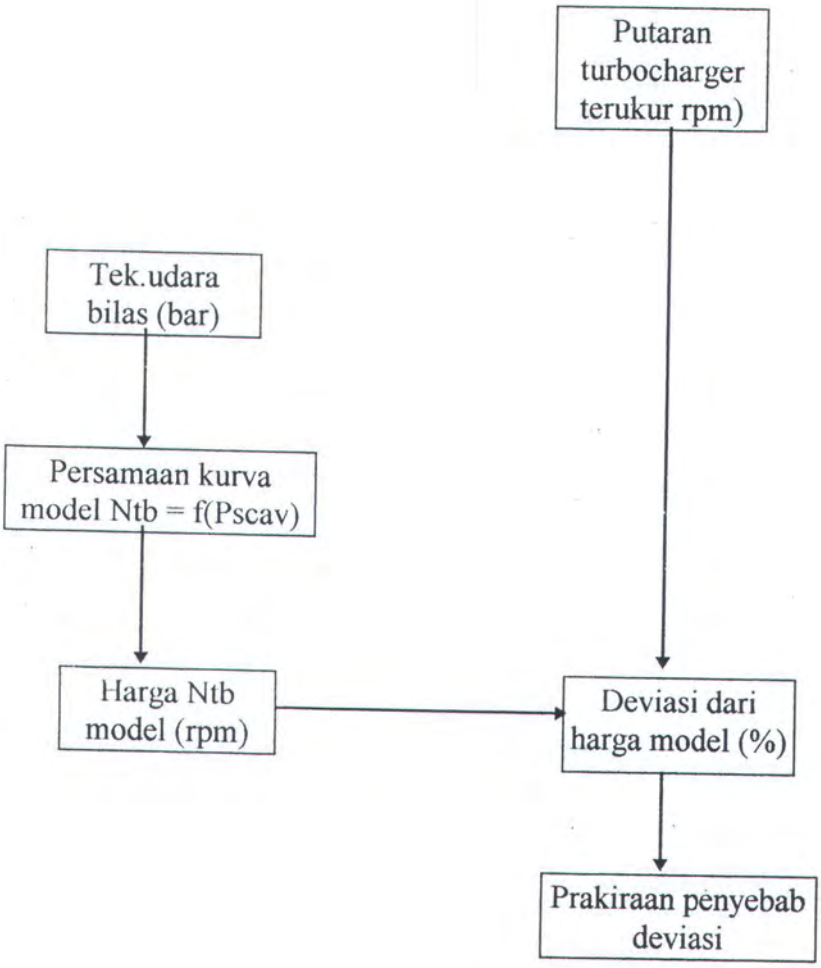
5. Perhitungan deviasi tekanan kompresi (Pcom)



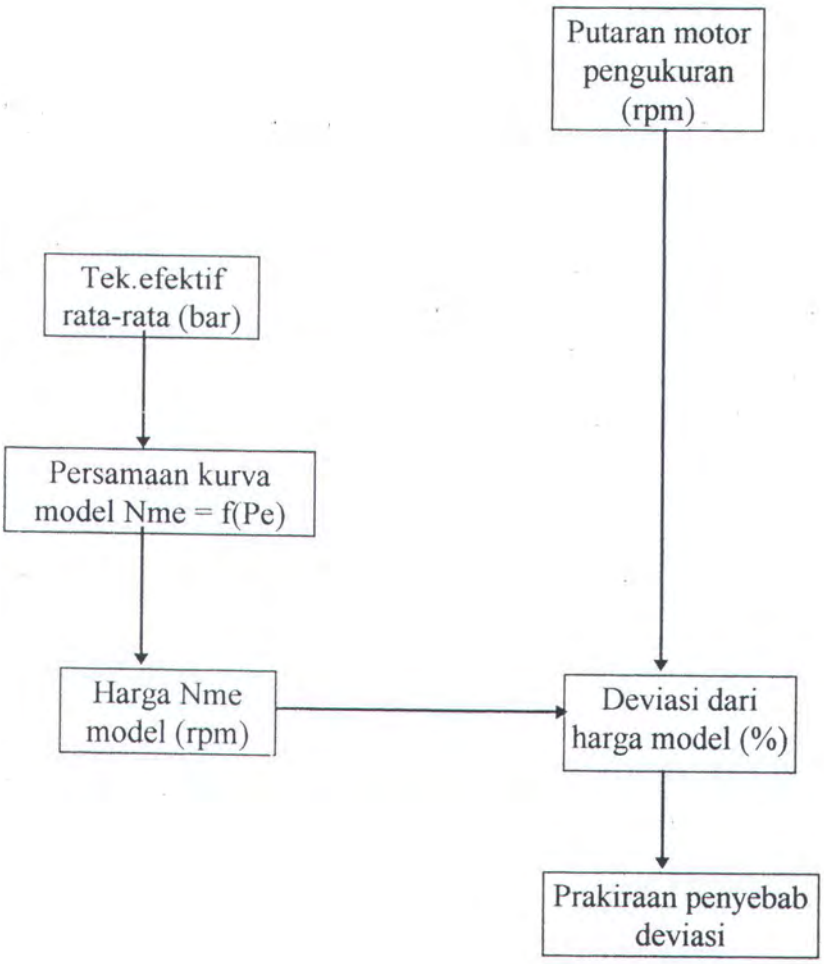
6. Perhitungan deviasi Fuel Pump Index (FPI)



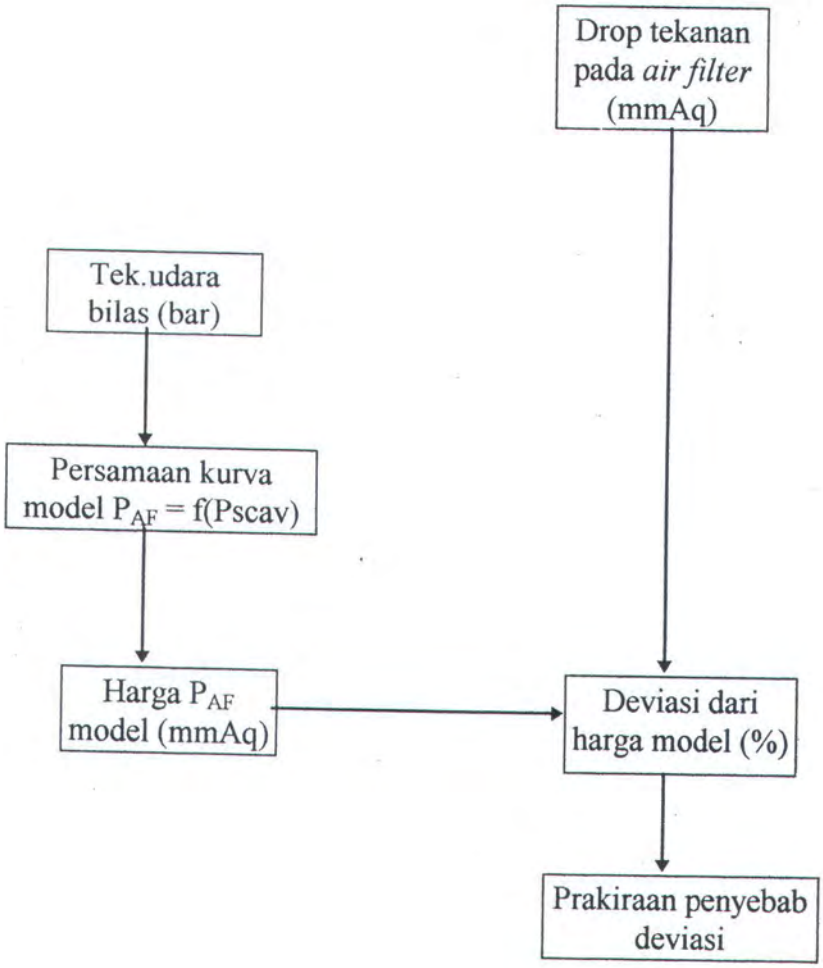
7. Perhitungan deviasi putaran turbocharger (N_{TB})



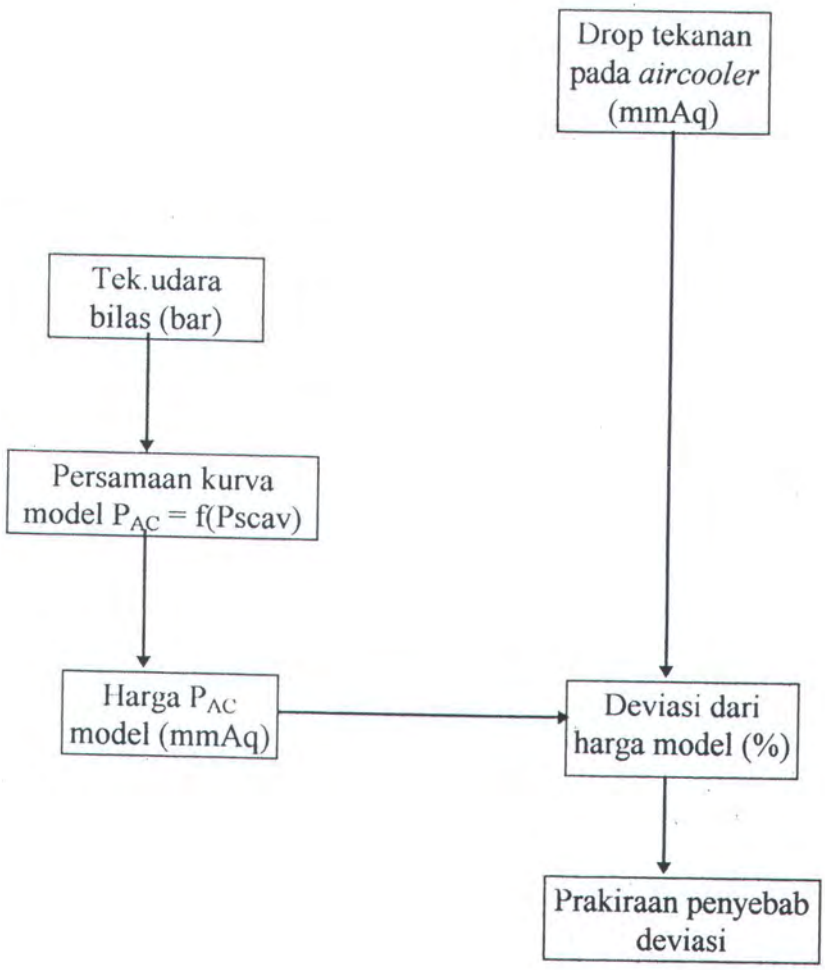
8. Perhitungan deviasi putaran motor (N_{ME})



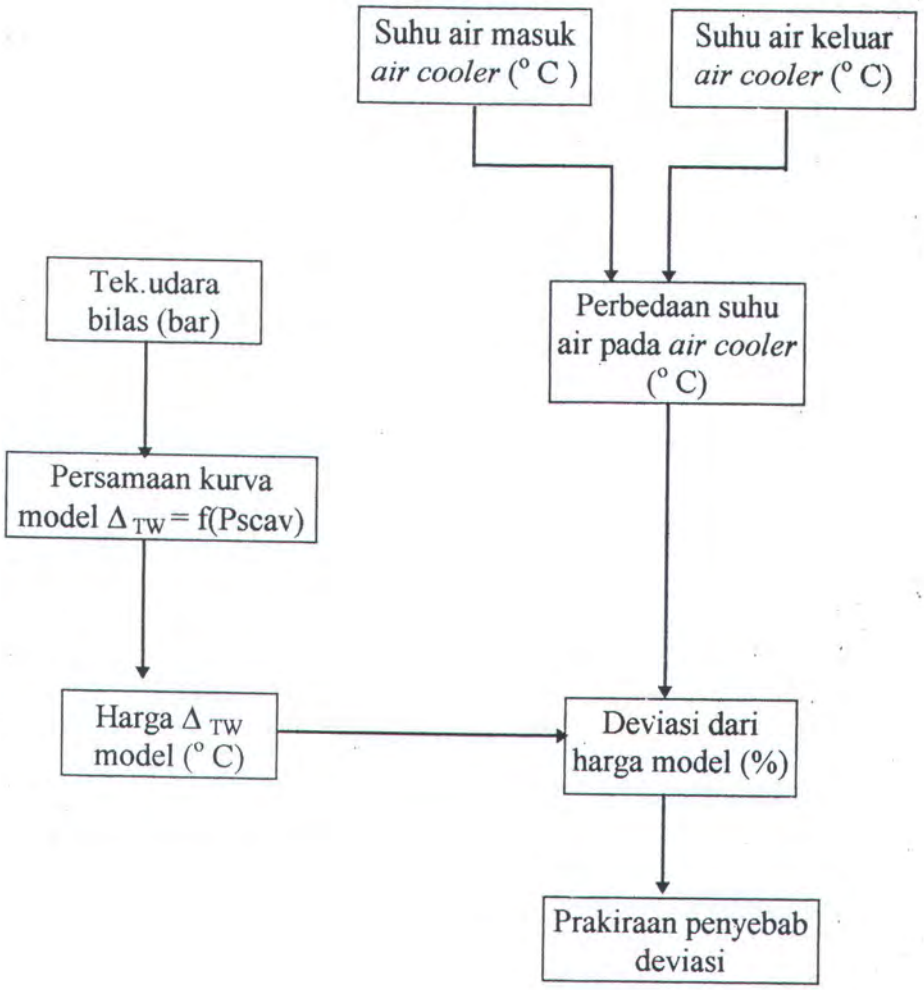
9. Perhitungan deviasi drop tekanan pada saringan udara (P_{AF})



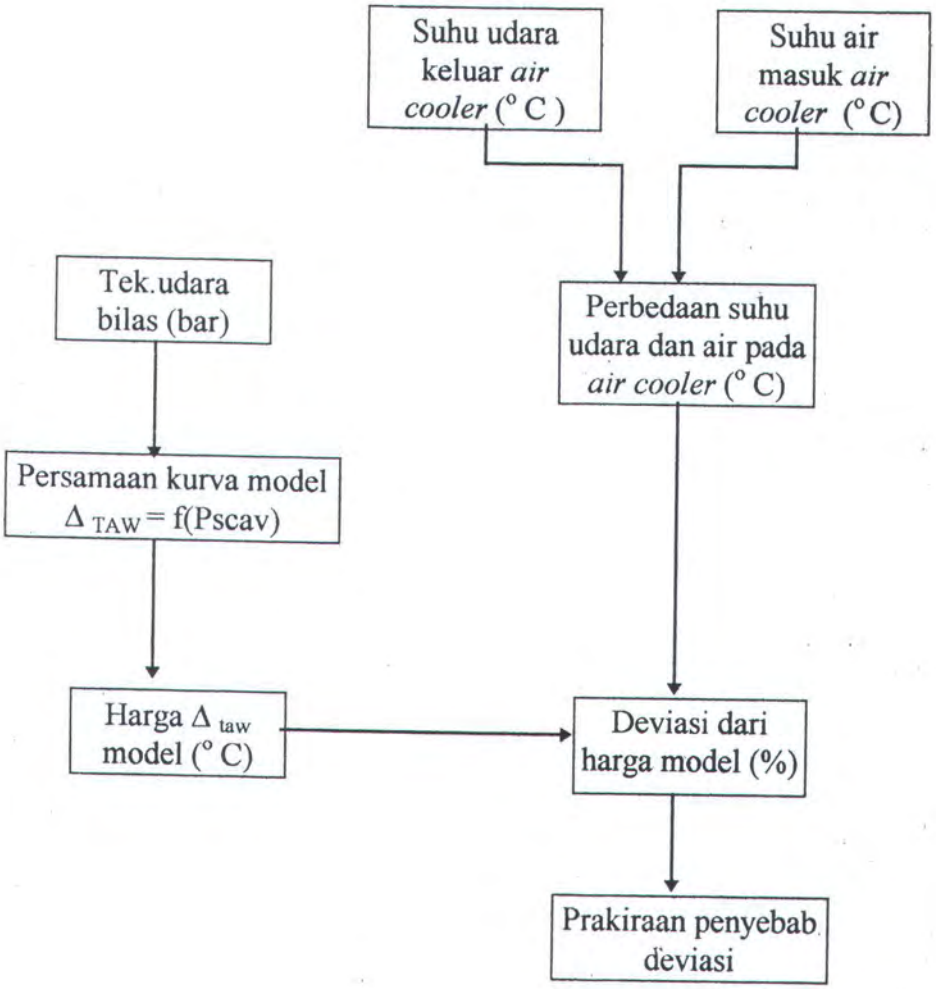
10. Perhitungan deviasi drop tekanan pada pendingin udara (P_{AC})



11. Perhitungan deviasi perbedaan suhu air masuk dan keluar pada pendingin udara (Δ_{TW})



12. Perhitungan deviasi perbedaan suhu udara keluar dan air masuk pada pendingin udara (Δ_{TAW})



2.6. Parameter - Parameter Kinerja

Selama operasi motor, beberapa parameter dasar perlu diperiksa dan dievaluasi dalam interval waktu tertentu. Hal ini penting untuk menjaga kondisi operasional yang akan mempengaruhi kondisi mekanis komponen - komponen motor dan keekonomisan sistem.

Perubahan - perubahan kondisi operasional motor dapat diketahui dengan berubahnya harga - harga parameter motor. Memperbandingkan harga parameter hasil pengukuran dengan harga pada kondisi kapal baru pada waktu - waktu tertentu amat perlu dilakukan untuk mengetahui sejauh mana deviasi telah terjadi pada parameter tersebut.

Seperti telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, untuk memperbandingkan kedua harga tersebut, masing-masing parameter dibuatkan kurva model. Kurva model menunjukkan hubungan antara parameter - parameter kinerja dengan paremeter acuan (yaitu daya motor, tekanan efektif rata - rata, dan tekanan udara bilas). Hubungan ini dibuat berdasarkan "Engine Manual Book" yang diterbitkan *engine builder*. Sedangkan harga - harga parameternya diperoleh dari data harga *engine shoptest*.

Agar kinerja motor dapat diketahui, maka harus dilakukan pengamatan pada beberapa parameter saat operasi motor. Dengan pengukuran ini juga dapat membantu menemukan gangguan - gangguan operasional secara dini, dan mencegah perkembangan lebih lanjut. Parameter - parameter utama yang dimaksud adalah : sarat kapal, putaran motor, tekanan efektif rata-rata, tekanan kompresi, tekanan pembakaran maksimum, fuel pump index, temperatur gas

buang, tekanan udara bilas, temperatur udara bilas, putaran turbocharge, temperatur kamar mesin, dan lain-lain.

Semua pengamatan terhadap parameter-parameter tersebut dilakukan setiap hari (saat operasional), kecuali untuk *indicator card* yang dapat dilakukan sedikitnya dua kali sebulan untuk mendeteksi kondisi pembakaran dan kondisi silinder secara umum. (Instruction Book For ME, 1991).

Selanjutnya segala sesuatu mengenai parameter - parameter tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

Sarat Kapal

Sarat rata-rata kapal selama operasional perlu dipertimbangkan karena mempengaruhi beban motor yang dapat dihasilkan. Tetapi dalam penelitian ini sarat kapal dianggap konstan selama pelayaran, karena perubahan sarat yang terjadi amat kecil.

Putaran Motor (Rpm)

Putaran motor merupakan parameter yang sangat penting untuk diperhatikan. Tenaga yang dapat dihasilkan motor dari siklus di dalam silinder dibatasi oleh parameter ini dan tekanan efektif rata - rata. Putaran maksimum motor ditentukan oleh gaya inersia yang dihasilkan gerakan piston. Gerakan piston akan bertambah cepat dengan bertambahnya putaran, dan proses pelumasan bagian - bagian motor akan semakin rumit sebagai akibat panas hasil gesekan. Sebab itu

pendesain motor tidak pernah mengijinkan untuk melebihi kecepatan (rpm) dari harga maksimumnya. (Maleev, 1986).

Putaran minimum *(idling speed)* juga dibatasi sehubungan dengan injeksi bahan bakar dan pembakaran. Pada putaran rendah, bahan bakar yang diinjeksikan harus sedikit dan hal ini menimbulkan kesulitan pada konstruksi pompa injeksi. Dan pembakaran juga terganggu karena pada putaran rendah temperatur tidak dapat mencapai titik nyala bahan bakar. (Harrington, 1990).

Putaran motor dapat diketahui dengan alat *tachometer* manual maupun digital. Kurva model menunjukkan hubungan antara putaran motor dan tekanan efektif rata - rata. Deviasi dari kurva model menunjukkan apakah beban propeller ringan atau berat, juga apakah torsi pada propeller besar atau kecil untuk putaran tertentu. Jika ini dihubungkan dengan sarat kapal (pada kondisi cuaca yang sama), maka bisa untuk menentukan apakah perubahan putaran terjadi karena perubahan sarat atau akibat bertambahnya tahanan kapal (karena *fouling factor*, dll).

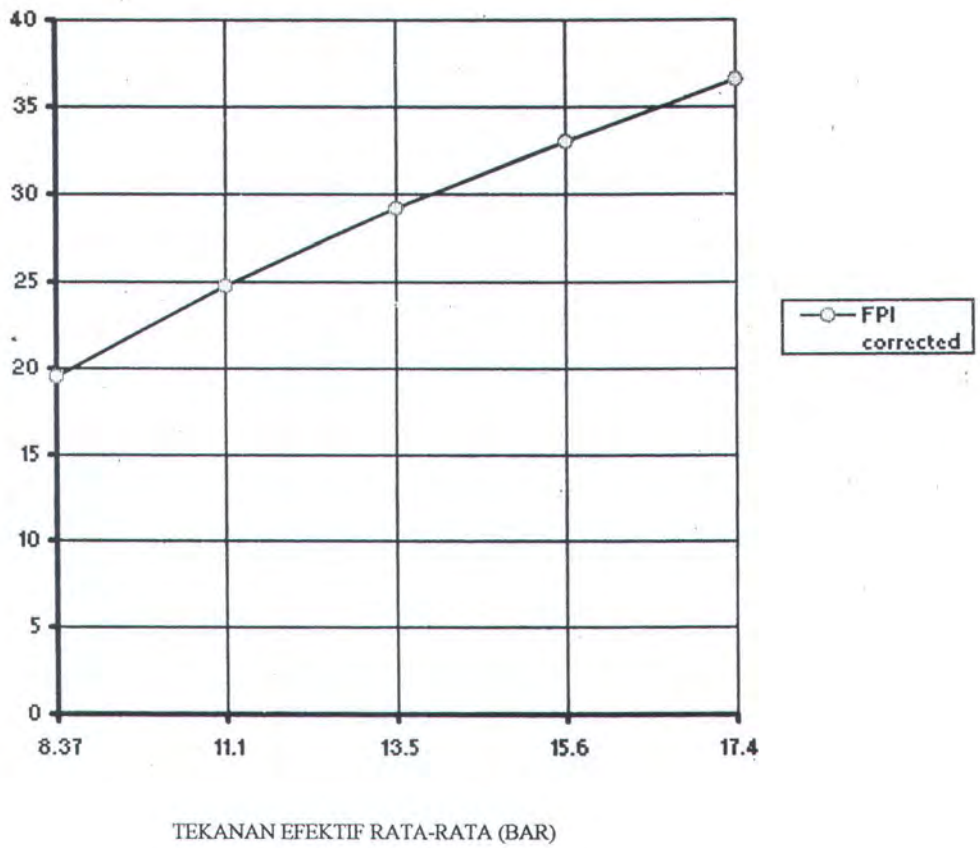
Mean Effective Pressure (Pe)

Output dari suatu motor diesel dinyatakan sebagai brake horse power (BHP). Besarnya bhp berhubungan dengan jumlah silinder dari motor, diameter dan panjang langkah dari piston, putaran motor, dan satu faktor yang dinamakan mean effective pressure (Pe).

Besarnya mean effective pressure ini tidak dapat diukur secara langsung, namun dapat dihitung dengan suatu persamaan apabila diketahui besarnya daya keluaran dari motor, putaran motor, diameter silinder dan panjang langkah piston.

Pada pembahasan ini besarnya mean effective pressure didapat dengan mengeplotkan fuel pump index terkoreksi pada gambar di bawah ini. Grafik hubungan FPI terkoreksi dengan mean effective pressure adalah berbeda untuk tiap tipe motor, didapat berdasar engine shoptest.

Gambar di bawah ini adalah grafik hubungan antara FPI terkoreksi dengan mean effective pressure untuk diesel MAN 5 S26 MC.



Gambar 2.1: Grafik mean effective pressure terhadap fuel pump index terkoreksi

Fuel Pump Index (FPI)

Harga rata-rata dari fuel pump index dapat diekspresikan sebagai suatu suplai energi tiap siklus pada setiap satu silinder motor. Dalam pengamatan lapangan, harga parameter ini dapat diketahui dengan melihat posisi fuel rack pada masing - masing silinder.

Perbedaan kualitas bahan bakar (berhubungan dengan harga nilai panas rendahnya), spesific gravity, dan temperatur bahan bakar akan memberikan deviasi harga terhadap hubungan antara fuel pump index dan jumlah suplai energi. Demikian halnya dengan temperatur udara masuk (Tinlet) dan temperatur udara bilas (Tscav) yang akan mempengaruhi harga fuel pump index pada beberapa kondisi beban motor. Untuk itu perlu dilakukan koreksi terhadap harga parameter ini sebelum dibandingkan dengan harga dari kurva modelnya. (Instruction Book for ME, 1991).

Rumus fuel pump index terkoreksi (FPI') :

$FPI' = FPI \times K$

$K = k1 \times k2 \times \text{Gravity at } 15^0 C$

dimana, FPI = fuel pump index rata-rata

K = faktor koreksi untuk fuel pump index

k1 = faktor koreksi untuk kualitas bahan bakar dan ambient condition

k2 = faktor koreksi untuk gravity bahan bakar pada konndisi preheating

Harga k1 dan k2 didapat dari grafik/kurva seperti pada lampiran.

Contoh perhitungan besarnya FPI.

Tipe mesin : 5 S26 MC

Data bahan bakar :

Spesific gravity :0.947

Lower calorific value : 9700 kcal / kg

(Kandungan sulphur : 2.9 %)

Observasi motor :

Putaran motor : 190 rpm

FPI rata - rata : 40

Temperatur kamar mesin : 30° C

Temperatur udara bilas : 32° C

Temperatur bahan bakar sebelum pompa bahan bakar : 55° C

Maka, koreksi harga Fuel Pump Index (FPI') :

Dari rumus di atas, maka harus dicari dahulu harga - harga koreksi untuk masing - masing faktor. Dari skala gravity pada 0.947, garis yang digambar pada bagian kanan monogram pada kandungan sulphur 2.9% dan garis vertikal ke atas untuk lower calorific menunjukkan 9700 kcal / kg. Jika nilai calorific bahan bakar diketahui, maka perhitungannya adalah bahwa jumlah temperatur kamar mesin 30° C dam temperatur udara bilas 32° C dan dari titik ini ditarik garis secara horisontal ke kiri, maka akan ditemukan besarnya k_1 yaitu 0.953 untuk koreksi kualitas bahan bakar dan perubahan kondisi ambient.

Dari skala gravity, garis yang digambar ke kiri menunjukkan naiknya temperatur bahan bakar sebelum pompa bahan bakar yaitu 55° C dan kemudian

menarik garis vertikal ke atas dari titik tersebut. Faktor koreksi yaitu sebesar 0.926 untuk gravity pada kondisi preheated dapat ditemukan.

Faktor koreksi di atas dan gravity bahan bakar pada 15° C dikalikan dengan fuel pump index rata - rata maka akan memberikan harga fuel pump index terkoreksi (FPI') :

FPI' = 40 x 0.953 x 0.926 x 0.947 = 33

Temperatur Gas Buang

Temperatur gas buang adalah parameter yang penting, sebab kebanyakan kesalahan suplai udara, sistem pembakaran dan sistem gas dideteksi dengan kenaikan harga parameter ini. Dalam pengoperasian motor diesel, temperatur gas buang harus dibatasi. Hal ini berkaitan dengan kekuatan material katup buang dan bagian - bagian lainnya.

Karena pengaruh kondisi lingkungan yang bermacam - macam, beberapa parameter terukur memerlukan pengkoreksian sebelum dibandingkan dengan harga kurva model. Sedangkan faktor - faktor yang dipakai sebagai referensi untuk pengkoreksian adalah temperatur udara masuk dan temperatur udara bilas. (Instruction Book For ME, 1991).

Contoh perhitungan koreksi harga untuk temperatur gas buang :

Dari data pengamatan :

Temperatur *after valves* gas buang : 355 °C

Temperatur udara masuk : 42 °C

Temperatur udara bilas : 49 °C

Berdasar *plate* 70616 (pada lampiran) didapat harga - harga faktor koreksi :

Koreksi karena temperatur udara masuk : - 25 °C

Koreksi karena temperatur udara bilas : - 6 °C

Total : - 31 °C

Maka temperatur gas buang terkoreksi adalah :

355 - 31 = 324 °C

Dan harga inilah yang akan dibandingkan dengan harga model.

Dengan cara yang sama dapat kita lakukan juga untuk parameter - parameter tekanan maksimum, tekanan kompresi, dan tekanan udara bilas berdasarkan *plate* 70615, 70617 dan 70618 pada lampiran. (Instruction Manual Book For ME, 1991)

Kurva model menunjukkan hubungan antara temperatur rata-rata gas buang (yang telah dikoreksi karena ambient condition) dan daya efektif motor.

Kenaikan temperatur gas buang hingga batas maksimum yang diijinkan akan dipengaruhi oleh faktor - faktor antara lain :

- karena kekotoran turbocharger (termasuk filter udara), yang memberi kontribusi kenaikan maksimum hingga 30 °C.
- karena kekotoran pendingin udara, yang memberi kontribusi kenaikan maksimum hingga 10 °C.
- karena memburuknya kondisi mekanis motor, yang memberi kontribusi kenaikan maksimum hingga 10 °C.

- karena kondisi lingkungan pengoperasian motor *(ambient)*, yang memberi kontribusi kenaikan maksimum hingga 45 °C.
- karena pemakaian minyak berat dan lain - lain, yang memberi kontribusi kenaikan maksimum hingga 5 °C.

Sehingga total kenaikan temperatur yang diijinkan adalah 100 °C. Tetapi biasanya penambahan sekitar 70 - 80 ° C (atau 25 % dari harga standart) temperatur gas buang, sudah dianggap sebagai harga maksimum yang diijinkan. (Instruction Book For ME, 1991).

Tekanan Maksimum Pembakaran (Pmax)

Parameter ini dapat diketahui harganya dari pembacaan diagram *indicator card* yang dihasilkan oleh suatu peralatan *mechanical indicator.* Kurva model menunjukkan hubungan antara harga rata-rata tekanan maksimum (yang telah dikoreksi karena ambient factor) dan tekanan efektif rata - rata. Bila harga tersendiri dari Pmax berdeviasi lebih dari 3 bar dari harga rata-rata, penyebabnya harus ditemukan dan kesalahan dikoreksi. Saat operasi motor, dengan berkurangnya tekanan udara bilas, maka perbedaan tekanan maksimum pembakaran (Pmax) dan tekanan kompresi (Pcom) tidak boleh melebihi 15% dari harga pada saat testbed atau sea trial. (Instruction Book For ME, 1991).

Tekanan Kompresi (Pcom)

Tekanan kompresi juga dapat diketahui dari diagram indicator card. Pada diagram tersebut terekam hubungan tekanan di dalam silinder dan derajat engkol. Ketinggian kurva menunjukkan tekanan maksimum. Bila garis - garis kompresi dan ekspansi tepat pada garis kurva saat kondisi normal, berarti sebagai indikasi bahwa kondisi tekanan di dalam silinder bagus. Berkurangnya ketinggian kurva memperlihatkan kondisi tekanan kompresi yang rendah *(low compression).*

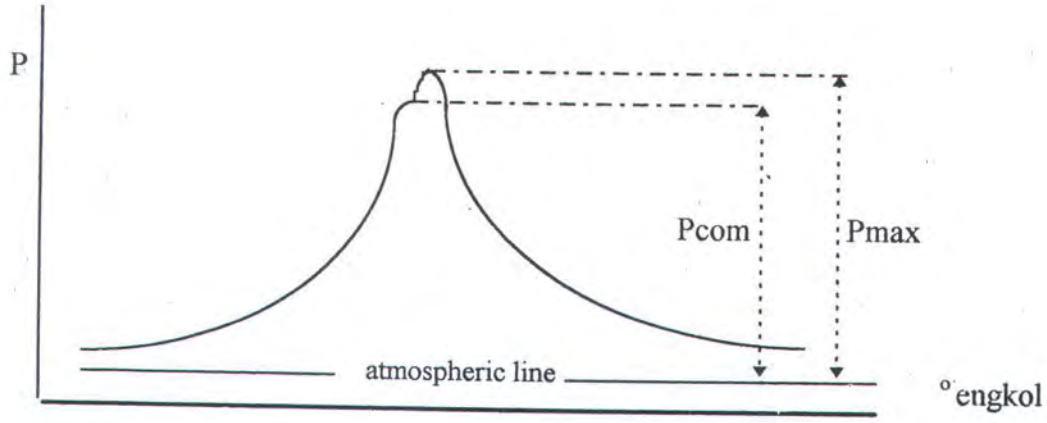
Kurva model menunjukkan hubungan antara tekanan kompresi rata-rata (yang telah dikoreksi karena ambient condition) dan daya efektif motor. Deviasi dari kurva model dapat diakibatkan karena :

- berkurangnya tekanan udara bilas, dan
- kerusakan mekanis pada komponen-komponen motor.

Kerusakan-kerusakan mekanis yang menyebabkan turunnya tekanan kompresi antara lain : kebocoran ring piston, kerusakan mahkota piston, keausan dinding silinder, keausan katup buang serta kesalahan pengaturan timing katup buang.

Sebagai catatan, untuk motor tekanan konstan tekanan kompresi untuk silinder tunggal dapat berdeviasi dengan harga rata - rata dari keseluruhan silinder, hal ini memperlihatkan konsekuensi natural adanya getaran - getaran gas di dalam silinder. Dan besarnya deviasi akan tergantung pada beban. (Instruction Book For ME, 1991) .

Diagram yang dibuat oleh peralatan indikasi tekanan adalah sbb. :



Gambar 2.2 : Diagram tekanan versus derajat engkol yang terjadi di dalam silinder motor 2 tak

Tekanan Udara Bilas (Pscav)

Pembilasan yang cukup untuk masing - masing silinder amat diperlukan sebelum udara segar yang masuk silinder dikompresi. Sebaliknya bila tidak cukup, udara segar yang dihisap tadi akan terkontaminasi oleh gas sisa dari proses sebelumnya. Aliran udara yang masuk selama periode *overlap* ini mempunyai efek - efek pendinginan yang membantu menambah *efisiensi volumetris* dan menjamin temperatur siklus yang rendah. (Pounder, 1968).

Efisiensi motor 2 langkah tergantung efektifitas proses pembilasan. Jeleknya pembilasan berarti tekanan efektif rata - rata rendah dan selanjutnya harga berat dan beaya per daya motor akan bertambah tinggi. Ketidakcukupan pembilasan berakibat rendahnya jumlah oksigen dalam silinder sehingga proses pembakaran tidak sempurna, ini menjadikan naiknya konsumsi bahan bakar spesifik. Tidak hanya itu, minyak pelumas akan terkontaminasi sehingga mutu

pelumasan dalam silinder akan berkurang, dan menambah keausan piston dan liner. Pembilasan yang kurang juga menaikkan temperatur rata - rata silinder sehingga beban panas pada dinding silinder menjadi lebih besar. (Mathur, 1980)

Kurva model menunjukkan tekanan udara bilas (yang telah dikoreksi karena ambient condition) sebagai fungsi dari daya efektif motor. Deviasi pada tekanan udara bilas, seperti halnya temperatur gas buang, adalah parameter yang penting untuk mengestimasi keseluruhan kondisi motor. Penurunan tekanan bilas, selama diberikan beban akan menyebabkan penambahan beban thermal pada komponen *combustion chamber*. Kondisi saringan udara, pendingin udara dan turbocharger akan berpengarih besar terhadap tekanan bilas ini. Sehingga perubahan-perubahan pada tekanan bilas harus dilihat sebagai suatu akibat dari perubahan-perubahan pada kondisi pendingin udara, turbocharger, dan juga pengaturan cam timing. (Instruction Book For ME, 1991)

Putaran Turbocharger (T/C Rpm)

Putaran turbocharger adalah salah satu faktor yang berhubungan dengan efisiensi turbocharger itu sendiri. Kesesuaian turbocharger dengan motor akan mempengaruhi karateristik torsi motor, torsi cenderung pada kondisi puncak pada efisiensi yang terbaik dari turbocharger. Turbocharger tidak mempengaruhi jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, namun menentukan jumlah bahan bakar yang terbakar per siklus karena ia mempengaruhi jumlah udara yang masuk ke dalam silinder. (Woodward, 1971).

Kecepatan (rpm) turbocharger harus dibatasi, karena kecepatan yang terlalu tinggi menyebabkan tidak sempurnanya pembakaran akibat terlalu banyaknya udara yang masuk sementara bahan bakar yang diinjeksikan tidak sebanding. (Harrington, 1990).

Kurva model menunjukkan putaran turbocharger sebagai fungsi dari tekanan udara bilas. Deviasi dari kurva model, karena putaran terlalu rendah biasanya dihubungkan dengan kerusakan pada sisi turbinnya, yang akan menyebabkan temperatur gas buang naik. Deviasi karena putaran terlalu tinggi biasanya karena kerusakan saringan udara *(air filter)*, pendingin udara *(air cooler)*, atau kerusakan pada sisi kompresornya. (Instruction Book For ME).

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik berdasar pada jumlah bahan bakar yang dikonsumsi tiap daya yang dihasilkan pada periode waktu tertentu. Untuk melakukan pengukuran yang akurat terhadap konsumsi bahan bakar dianjurkan melakukannya pada lama waktu yang sesuai, bila memakai flow meter minimal 1 jam. Dan pengukuran harus selalu dilakukan pada kondisi tenang. (Instruction Book For ME, 1991).

Pengukuran tersebut nantinya akan dinyatakan dalam unit berat (gram), untuk itu terlebih dahulu perlu diketahui harga specific gravity (SG) bahan bakar. Specific gravity dapat diketahui dengan mencelupkan hidrometer dalam contoh bahan bakar atau dapat juga dihitung berdasarkan spesifikasi bungker (dengan meneliti sejumlah bungker). Pada tugas akhir ini harga specific gravity ditentukan

berdasarkan temperatur bahan bakar yang akan masuk ke silinder dengan harga acuan specific gravity bahan bakar pada 15° C.

Faktor lain yang menentukan besarnya konsumsi bahan bakar adalah nilai kalor rendahnya (fuel calorific value). Biasanya pada testbed nilai kalor ynag dipakai adalah 10200 kcal/kg (atau 42700 kJ/kg). Nilai panas rendah (Lower Calorific Value/LCV) dapat ditentukan dengan cukup akurat berdasarkan grafik yang berhubungan dengan kandungan sulphur bahan bakar dan spesific gravity pada 15° C. Pada penelitian ini dipakai LCV 9270 kcal/liter, yang diketahui dari spesifikasi bahan bakar minyak diesel Pertamina (lihat lampiran).

Untuk mengoreksi harga konsumsi bahan bakar dapat ditentukan dengan nilai - nilai ini :

LCV_1 / 10200 (bila harga LCV dalam kcal/kg), dan

LCV_2 / 42700 (bila harga LCV dalam kJ/kg).

Contoh perhitungan konsumsi bahan bakar :

Diketahui : daya motor : 2600 bhp

konsumsi selama 4 jam : 1.66 m^3

temperatur pengukuran :110° C

data bahan bakar : SG 0.9364 g/cm^3 pada 15° C, 3 % sulphur

Maka :

SG pada T_{FUEL}° C adalah :

$$SG\ (15^\circ C) \times \{1 - 0.00065 \times (T_{fuel} - 15^\circ C)\}$$

(dari Instruction Book For ME, 1991)

Sehingga SG pada 110 ° C

= 0.9364 x {1-0.00065 x (110-15)}

= 0.8786 g/cm^3

Sehingga konsumsi spesifik :

(1.66 x 0.8786) / (4 x 2600) x 10^6

= 140.2 g/bhpjam

LCV (lower calorific value) :

LCV = 9723 kcal/kg (berdasar grafik)

Konsumsi terkoreksi oleh nilai panas rendah :

140.2 x (9723/10200) = 133.64 g/bhpjam

Kurva model menunjukkan hubungan konsumsi bahan bakar spesifik dengan daya efektif motor. Deviasi dari kurva model dapat disebabkan karena kesalahan pada sistem bahan bakar, masalah mekanis atau kesalahan pengoperasian motor. Untuk detailnya akan dijelaskan di bagian troble shooting pada subbab berikutnya.

Perhitungan Daya Motor

Daya efektif saat pelayaran dapat dihitung dengan memakai indeks pompa bahan bakar (fuel pump index) yaitu suatu bilangan yang secara tidak langsung menunjukkan besarnya konsumsi bahan bakar motor. Harga ini ditunjukkan oleh posisi *fuel rack* pada tiap-tiap silinder. Selanjutnya untuk mendapatkan perhitungan daya motor harga fuel pump index harus dikoreksi karena kualitas

bahan bakar yang berbeda-beda, gravity, dan temperatur sebelum fuel pump serta perubahan kondisi lingkungan.

Faktor daya yang lain, yaitu tekanan efektif rata-rata *(mean effective pressure)* dapat dicari dari kurva hubungan antara corrected fuel pump index dengan tekanan efektif rata - rata (Mep) yang dibuat berdasarkan hasil testbed. Dari kedua faktor diatas kemudian dihubungkan dengan putaran motor akan didapat rumus sebagai berikut :

$Pb = C \times Rpm \times Pe$ (bhp) (C.C Pounder, 1972)

dimana, Pb = daya efektif motor (hp)

C = konstanta silinder

$= (l \times A \times n) / 4500$ dimana,

l = panjang langkah (meter)
A = luas penampang satu silinder (cm^2)
n = jumlah silinder

= 0.57812 (untuk 5 S26 MC)

Rpm = putaran motor (rpm)

Pe = tekanan efektif rata-rata (kg/cm^2)

Penurunan tekanan pada saringan udara (P_{AF})

Parameter ini dapat diketahui harganya dengan mengunakan manometer air yang dipasang pada jalur *air filter*. Ia dinyatakan dengan milimeter air (mmAq). Kurva model memperlihatkan parameter ini sebagai fungsi dari tekanan udara bilas (Pscav). Deviasi dari kurva ini akan memberikan informasi langsung tentang kebersihan saringan udara. Sebagaimana pendingin udara, kondisi saringan udara menentukan tingkat/harga tekanan udara bilas dan temperatur gas buang. Elemen-elemen saringan harus segera dibersihkan ketika harga penurunan tekanan mencapai 50 % daripada saat shoptest. (Instruction Book For ME, 1991).

Parameter - parameter pendingin udara *(air cooler)*

Pendingin udara pada sistem turbocharger (dalam hal ini sebagai *intercooler*) mempunyai parameter - parameter antara lain :

Penurunan tekanan pada pendingin udara (P_{AC})

Parameter ini diukur dengan manometer air yang dipasang pada jalur *air cooler*. Oleh karena itu ia dinyatakan dengan satuan milimeter air (mmAq). Kurva model menunjukkan penurunan tekanan bilas pada pendingin udara sebagai fungsi dari tekanan bilas (Pscav).

Perbedaan temperatur antara temperatur udara keluar dan air masuk (ΔT_{AW})

Pengukuran temperatur keluar udara *(air outlet)* dan temperatur masuk air *(water inlet)* pada peralatan pendingin udara digunakan untuk menentukan

parameter ini. Perbedaan atau selisih kedua temperatur ini merupakan suatu harga yang langsung dapat menentukan kemampuan pendinginan *air cooler* dan juga merupakan parameter yang penting untuk melihat beban termal engine. Kurva model memperlihatkan parameter ini sebagai fungsi tekanan udara bilas (Pscav).

Perbedaan temperatur air pendingin (ΔT_W)

Temperatur air masuk dan keluar pada pendingin udara diukur untuk menentukan parameter ini. Kurva model menunjukkan perbedaan kedua temperatur ini sebagai fungsi tekanan udara bilas (Pscav).

Secara umum untuk ketiga parameter di atas, perubahan kira - kira 50 % dari harga testbed dapat disebut sebagai harga maksimumnya. Efek dari perubahan temperatur pada pendingin udara berhubungan erat dengan temperatur gas buang. Pada kasus penurunan tekanan pada pendingin udara, 50 % margin yang telah disebutkan termasuk di dalamnya adalah disebabkan oleh perubahan - perubahan pada *suction temperature,* temperatur udara bilas, dan efisiensi turbocharger.

Deviasi harga parameter - parameter tersebut dari harga model memperlihatkan memburuknya kemampuan pendinginan *air cooler.* Dan kemungkinan penyebabnya antara lain adalah :

- terjadinya pengotoran *(fouling)* pada sisi udara *(air side).*
- terjadinya pengotoran *(fouling)* pada sisi air *(water side)*

(Instruction Book For ME, 1991)

2.7. Perawatan preventif dan trouble shooting

Suatu motor pembakaran dalam adalah sebuah mesin yang komplit, dibuat dengan derajat presisi tinggi dan mampu beroperasi lama apabila dijaga dalam kondisi pengoperasian yang bagus. Untuk hal tersebut maka perlu diadakan tindakan perawatan pada *engine.*

Ada dua prosedur yang biasa digunakan untuk perawatan motor, antara lain adalah : (Stinson, 1972)

- Inspeksi perawatan periodik
- Program perawatan preventif

Inspeksi perawatan periodik

Tipe perawatan ini didasarkan pada periode inspeksi yang mana waktunya menurut kondisi *performance* akhir peralatan vital sebagaimana ditentukan *engine builder* atau operator sendiri.

Program perawatan preventif (Preventive Maintenance Program)

Program PM ini memerlukan inspeksi periodik untuk *item - item* spesifik dan sistem perekaman yang akurat yang menampilkan hasil - hasil tertentu sehingga perubahan - perubahan kondisi operasi motor akan terindikasi dengan jelas. Hasil perekaman harus dijaga agar tetap akurat dan *up to date,* kemudian akan dipelajari dan diinterpolasi dengan benar oleh operator yang bersangkutan.

Alasan pragram PM ini adalah bahwa tujuan setiap pemilik yaitu agar *engine* jangan rusak sebelum saat *overhaul.* Perlu diketahui bahwa kebanyakan

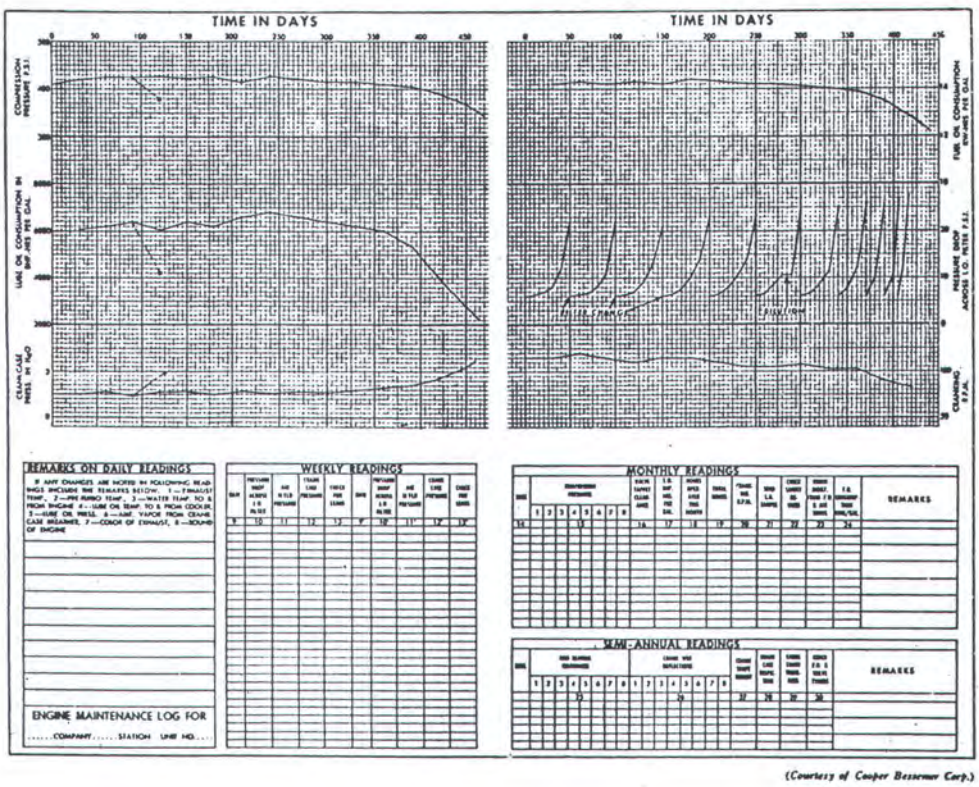
bagian motor akan beoperasi lebih lama dan lebih baik bila tidak sering (jarang) dibongkar pasang. Selain itu banyak *engine builder* mengklaim bahwa 90 % dari seluruh kesalahan didahului dengan perubahan kondisi - kondisi, sinyal - sinyal ataupun indikasi - indikasi tertentu.

Program PM yang ideal harus dapat berperan sebagai *guide* (penuntun) :

- untuk menentukan kapan suatu motor harus di-*overhaul*
- untuk mencegah kesalahan - kesalahan serius motor.

Dari J.H Caldwell dalam *Practical Preventive Mintenance for Gas Diesel and Engine Diesel*, yang diterbitkan *Cooper Bossemer Coorperation.* Ia membuat *log sheet* yang berisi *log* harian sederhana tentang temperatur dan tekanan serta item - item umum lain seperti yang tercantum dalam *daily readings,* dimana abnormal juga harus dicatat. Selain itu juga dibuat pencatatan mingguan, bulanan, dan sete-ngahtahunan. Item - item ini selanjutnya diubah sebagaimana yang diinginkan, atau sebagaimana disyaratkan oleh *engine builder* untuk mencapai kondisi operasi yang lebih baik.

Bagian terpenting dari sistem ini adalah kurva - kurva kodisi yang memperlihatkan perubahan kondisi engine. Kurva - kurva tersebut berkaitan satu sama lain. Gambar di halaman berikut ini adalah program PM yang dibuat Caldwell.



Gambar 2.3 : Program PM Caldwell untuk *stationary engine*

Salah satu parameter yang didata pada log tersebut adalah tekanan kompresi. Parameter ini dicek tiap 30 hari. Bila ring piston tetap dalam kondisi bagus, kurva akan mendatar hingga engine mendekati saat overhaul. Saat kurva mulai turun, ini sebagai indikasi bahwa ring mulai aus.

Bila penurunan tekanan kompresi diketahui terjadi pada satu silinder saja pada 120 hari. Sedangkan kurva konsumsi minyak pelumas juga menunjukkan penurunan pada 120 hari. Ini sebagai indikasi bahwa ring pada pada satu silinder

Bila penurunan tekanan kompresi diketahui terjadi pada satu silinder saja pada 120 hari. Sedangkan kurva konsumsi minyak pelumas juga menunjukkan penurunan pada 120 hari. Ini sebagai indikasi bahwa ring pada pada satu silinder ini lecet atau luka. Maka silinder ini harus diservis sebelum trouble berkembang lebih serius.

Asumsikan bahwa tidak ada penurunan pada kurva konsumsi pelumas, maka ring kompresi bukan penyebab terjadinya penurunan tekanan kompresi. Ini indikasi bahwa bahwa katup - katup mulai longgar atau bocor. Tersumbatnya *air cleaner* juga akan menyebabkan penurunan tekanan kompresi pada keseluruhan silinder.

Trouble shooting

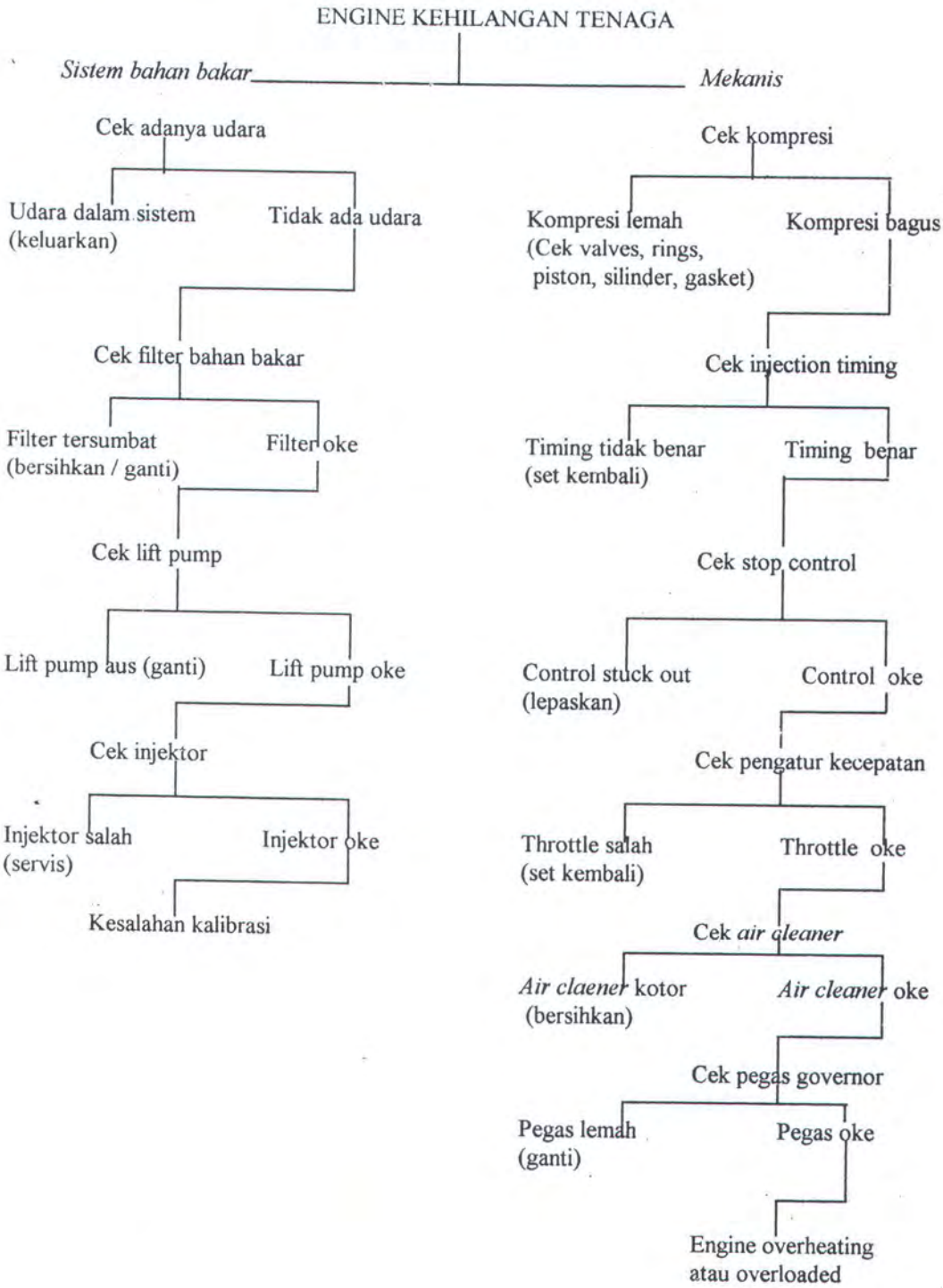
Kesalahan - kesalahan yang dialami motor harus dikoreksi agar kembali pada kondisi operasi normal. Karena banyaknya tipe dan desain motor, maka satu metode khusus untuk pelokasian dan pengoreksian *engine trouble* tidak dapat diberikan. Banyak *engine builder* memberikan prosedur yang detail mengenai *trouble shooting,* tapi tetap bervariasi dari model ke model. *Trouble shooting* akan ditampilkan dalam bentuk tabel - tabel atau saran - saran yang akan membantu mencari penyebab kesalahan. Sedangkan metode pengoreksian yang detail harus diperoleh dari buku manual tentang pemeliharaan dan perbaikan yang dibuat *engine builder.* (Stinson, 1972).

Trouble shooting chart yang dibuat Tobold K, 1983 memperlihatkan langkah - langkah yang harus dilakukan operator pada saat motor mengalami

masalah. Salah satu *chart* yang dibuat adalah untuk kondisi motor saat kehilangan tenaga *(engine lacks power).* Dalam tabel tersebut ia membagi penyebab kesalahan menjadi dua. Yaitu karena kesalahan dalam sistem bahan bakar dan kesalahan mekanis.

Masing - masing penyebab tersebut mempunyai bagian - bagian lagi yang mungkin menjadi penyebab utama kehilangan tenaga pada motor. Pada sistem bahan bakar misalnya, kemungkinan yang ditimbulkan menurut tabel tersebut antara lain adalah adanya udara di dalam sistem. Kemudian dilakukan pengecekan, jika memang terdapat udara maka harus dikeluarkan, jika tidak ada maka penyebab berikutnya harus dicek, yaitu filter bahan bakar. Tersumbat-tidaknya filter akan dicek. Bila tersumbat, filter harus dibersihkan atau diganti, jika tidak maka filter bahan bakar bukan penyebab berkurangnya tenaga motor. Selanjutnya harus dicari kemungkinan penyebab yang lain seperti keausan pompa angkat bahan bakar, kesalahan injektor dan lain - lain.

Kemungkinan kedua adalah kesalahan mekanis motor. Pada kelompok ini terdapat beberapa penyebab seperti lemahnya tekanan kompresi di dalam silinder karena kerusakan katup, ring, gasket atau *liner.* Juga kesalahan atau berubahnya pengaturan *injection timing,* kesalahan kontrol stop, pengaturan kecepatan, pegas governor dan lain - lain. Semuanya harus diperiksa satu per satu hingga penyebab tama kesalahan ditemukan. Selanjutnya gambar tabel yang dibuat Tobold tersebut adalah seperti berikut ini :



Gambar 2.4 : Tabel *trouble shooting* Tobold untuk *engine lacks of power*

Sementara itu pada penelitian ini tindakan *trouble shooting* yang penulis lakukan adalah berdasar buku manual *diesel engine* Mitsui MAN B&W.

Tekanan kompresi

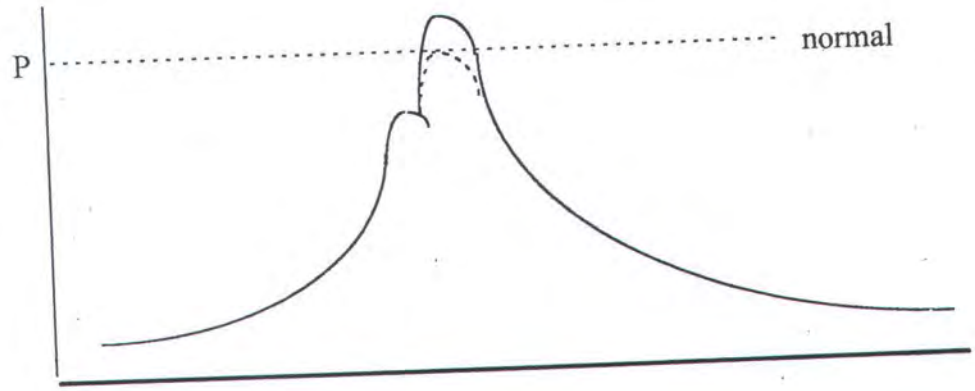
Tekanan kompresi yang terlalu rendah akan menyebabkan rendahnya tenaga yang dihasilkan motor, terjadinya asap yang berlebihan *(excessive smoke)*, dan gagal mencapai kecepatan penuh. Sedangkan kemungkinan penyebab turunnya tekanan kompresi antara lain :

- kurangnya tekanan udara bilas
- kerusakan mekanis pada komponen - komponen, seperti :
    - kebocoran ring piston
    - terbakarnya mahkota piston
    - ausnya cy*linder liner*
    - terbakarnya katup buang, diindikasi dengan naiknya temperatur buang
- kesalahan pengaturan *timing* katup buang

Harga perubahan maksimum dari kondisi standart adalah 15 % sebagaimana disyaratkan Insturction Book For ME..

Tekanan maksimum pembakaran

Dari diagram pada *indicator card* dapat secara langsung diamati kondisi silinder secara umum atau kondisi tekanan maksimum khususnya dengan cara membandingkannya dengan diagram kondisi normal. Gambar - gambar berikut ini menunjukkan kemungkinan diagram yang akan teramati dari kartu indikator.



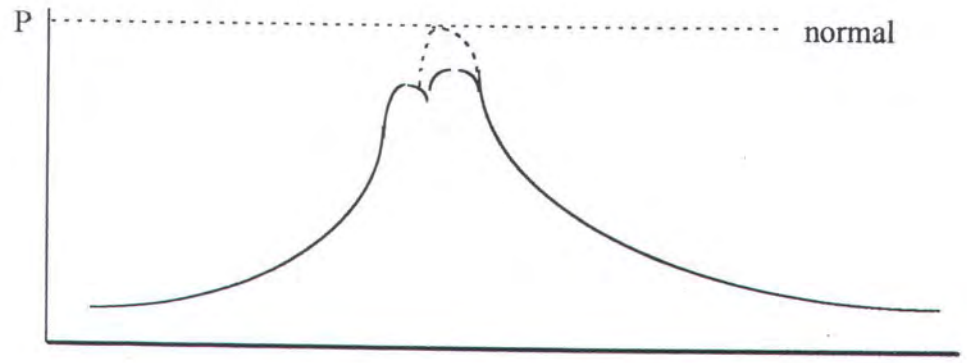
Gambar 2.5 : Diagram tekanan - derajat engkol pada kondisi tekanan kompresi normal, tekanan maksimum terlalu tinggi

Gambar di atas menunjukan injeksi terlalu awal atau penyalaan terlalu awal, akan menyebabkan besarnya tekanan puncak di dalam silinder abnormal. Beban kejut yang besar akan ditransmisikan ke roda - roda gigi dan bantalan - bantalan sehingga menimbulkan bunyi *knocking*. Walaupun efisiensi thermis tinggi dan suhu gas buang rendah, beban kejut ini akan mengakibatkan getaran yang bisa berbahaya. (Wharton A.J, 1989).

Penyebab terjadinya penyalaan yang terlalu awal :

- injeksi bahan bakar terlalu dini / awal
- pompa bahan bakar *lead* terlalu besar
- kesalahan timing pompa bahan bakar
- kerusakan atau kesalahan pengesetan *injector spring*
- kondisi bahan bakar tidak sesuai
- pemanasan lebih pada bagian - bagian dalam silinder.

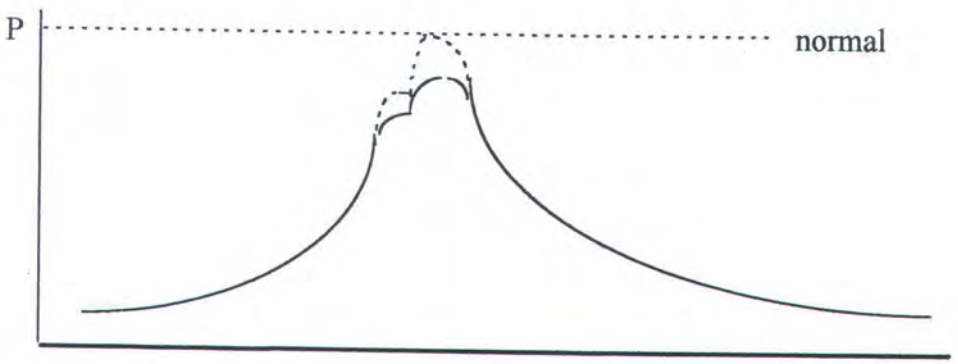
Gambar yang lain ditunjukkan sebagaimana di bawah ini :



Gambar 2.6 : Diagram tekanan - derajat engkol pada kondisi tekanan kompresi normal, tekanan maksimum terlalu rendah

Diagram di atas menunjukkan injeksi atau penyalaan terlalu lambat, kemungkinan penyebabnya :

- penginjeksian bahan bakar terlambat
- kerusakan katup *suction* pada pompa bahan bakar
- pompa bahan bakar *lead* terlalu kecil



Gambar 2.7 : Diagram tekanan - derajat engkol pada kondisi tekanan kompresi rendah, tekanan maksimum juga rendah

Diagram terakhir menunjukkan kesalahan pembakaran, penyebabnya :

- kebocoran piston ring
- kesalahan pada katup buang
- mahkota piston luka (menyebabkan pertambahan volume ruang bakar)
- tekanan bilas rendah yang diakibatkan kekotoran pada sistem buang dan atau sistem udara masuk, serta tersumbatnya *scavenging port*
- kesalahan pada turbocharger.

Harga perubahan maksimum parameter ini dari standart adalah 15%. (Instruction Book For ME, 1991).

Temperatur gas buang

Faktor - faktor yang dapat menyebabkan kenaikan temperatur gas buang :

- tingkat kekotoran turbocharger
- tingkat kekotoran pendingin udara *(air cooler)*

kedua hal ini menyebabkan ketidakcukupan udara pembilasan yang sekaligus sebagai media pendinginan dalam silinder.

- kondisi mekanis motor (sistem injeksi, kondisi silinder dan katup buang)
- perubahan kondisi sekeliling *(ambient condition)*
- pemakaian minyak berat (atau tidak sempurnanya *fuel cleaning*)
- *engine overload*

Deviasi maksimum temperatur gas buang adalah sebesar 25 % dari harga standart. (Instruction Book For ME, 1991).

Tekanan udara bilas

Penurunan tekanan udara bilas dapat diakibatkan karena :

- kekotoran sistem pemasukan udara, untuk itu perlu dilakukan pemeriksaan terhadap kondisi pendingin udara dan turbocharger
- kesalahan pengaturan *timing cam* katup buang
- bertambahnya *exhaust back pressure* setelah turbin.

Deviasi yang diijinkan adalah sebesar 15 % lebih kecil dari harga model. (Instruction Book For ME, 1991).

Putaran motor

Putaran motor dapat berdeviasi positif bila terjadi pengurangan tahanan kapal karena turunnya sarat kapal. Deviasi akan sebaliknya bila tahanan kapal bertambah karena pengotoran *hull* atau kesalahan pada propeller. Selain itu putaran motor akan turun pada pembebanan yang sama bila:

- komponen gigi penggerak mulai panas
- gesekan poros propeller di *stern tube* berlebihan
- kesalahan pada *fuel pump*
- kesalahan pada *turbocharger* atau pendingin udara
- kekotoran *scavenging port.*

Putaran turbocharger

Kenaikan putaran turbocharger dari kondisi normalnya disebabkan :

- kekotoran pada saringan udara

- kekotoran pada pendingin udara
- kesalahan pada sisi kompresornya.

Sementara penurunan putaran dapat terjadi karena adanya kesalahan pada sisi turbinnya. Perubahan maksimum yang diijinkan dari harga standart untuk parameter ini adalah sebesar 25 %. (Instruction Book For ME, 1991).

Fuel pump indeks

Deviasi negatif parameter ini sebagai salah satu indikasi ausnya plunyer, atau bocornya *suction valve* pompa bahan bakar. Harga deviasi maksimum parameter ini sebesar 1 % dari standart. (Surjo, 1995)

Drop tekanan pada saringan udara

Deviasi positif akan mengindikasikan terjadinya kekotoran pada saringan udara. Sedangkan harga maksimum deviasinya adalah 50 %. (Instruction Book For ME, 1991).

Drop tekanan pada pendingin udara

Deviasi positif sebagai indikasi terjadinya kekotoran pada pendingin udara. Harga deviasi maksimumnya juga 50 %. (Instruction Book For ME, 1991).

Perbedaan temperatur air pendingin pada cooler

Terjadinya deviasi positif parameter ini sebagai indikasi adanya kekotoran pada elemen pendingin udara yaitu sisi pipa air. Deviasi maksimumnya adalah sebesar 50 %. (Instruction Book For ME, 1991).

Perbedaan temperatur antara udara keluar dan air masuk pada cooler

Terjadinya deviasi positif parameter ini sebagai indikasi adanya kekotoran pada elemen pendingin udara yaitu sisi pipa air dan pipa udara. Deviasi maksimumnya adalah sebesar 50 %. (Instruction Book For ME, 1991).

Konsumsi bahan bakar spesifik

Kelebihan dalam konsumsi bahan bakar dapat diakibatkan antara lain oleh :

- terhambatnya udara masuk
- besarnya *back pressure* gas buang
- kesalahan *fuel injector* (bocor, aus)
- operasi pada beban lebih
- operasi pada *idle* yang terlalu lama
- rendahnya kualitas bahan bakar.

Harga yang masih dianggap normal dibatasi hingga sebesar 3 % dari kondisi standart. (Testbed Result, 1991)

Selanjutnya prakiraan penyebab deviasi di atas dapat ditampilkan dalam bentuk sedemikian rupa untuk mempermudah pembacaan, yaitu dalam bentuk tabel seperti pada halaman berikut.

TABEL PRAKIRAAN PENYEBAB DEVIASI

KONDISI SISTEM / KURVA MODEL NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tekanan udara bilas rendah	–	–	+	–								
Ring, gasket, liner, katup buang aus atau mahkota piston terbakar (*)	–	–	+									
Kesalahan exhaust valves timing	–	–		–								
Injeksi fuel terlalu awal		+										
Fuel pump lead terlalu besar (*)		+										
Fuel rack terlalu masuk (*)		+	+				+					
Fuel rack terlalu keluar (*)		–					–					
Silinder overheating (*)		+	+									
Injeksi fuel terlambat		–	+									+
Kebocoran suction valve pada fuel pump (*)			+				+					+
Fuel pump lead terlalu kecil (*)		–										
Kesalahan pada turbocharger		–	+	–								
Kotornya air cooler	–	–	+	–		+			+			
Kotornya scavenging port	–	–	+	–								
Perubahan ambient condition			+									
Engine overload			+									+
Naiknya exhaust back pressure		–	+	–								+
Berkurangnya tahanan kapal		–			+							
Bertambahnya tahanan kapal		+			–							+
Komponen gears mulai panas					–							
Gesekan poros propeller di stern tube berlebihan					–							+
Kotornya air filter	–		+	–		+		+				+
Kesalahan pada sisi kompresor						+						
Kesalahan pada sisi turbin						–						
Kesalahan fuel injector (*)			+									+
Keausan plunyer (*)			+				+					
Kekotoran air cooler pada water side			+							+	+	
Kekotoran air cooler pada air side			+						+		+	
Terhambatnya udara masuk	–		+	–								+
Operasi motor pada idle terlalu lama												+
Kualitas fuel rendah		–	+									+

KETERANGAN :

Kurva model no. 1 : tekanan kompresi sebagai fungsi daya motor.

Kurva model no. 2 : tekanan maksimum sebagai fungsi tekanan efektif rata - rata.

Kurva model no. 3 : temperatur gas buang sebagai fungsi daya motor.

Kurva model no. 4 : tekanan udara bilas sebagai fungsi daya motor.

Kurva model no. 5 : putaran motor sebagai fungsi tekanan efektif rata -rata.

Kurva model no. 6 : putaran turbocharger sebagai fungsi tekanan udara bilas.

Kurva model no. 7 : fuel pump indeks sebagai fungsi tekanan efektif rata -rata.

Kurva model no. 8 : drop tekanan pada saringan udara sebagai fungsi tekanan udara bilas.

Kurva model no. 9 : drop tekanan pada pendingin udara sebagai fungsi tekanan udara bilas.

Kurva model no.10 : perbedaan temperatur air pendingin pada cooler sebagai fungsi tekanan udara bilas.

Kurva model no.11 : perbedaan temperatur antara udara keluar dan air masuk pada cooler sebagai fungsi tekanan udara bilas.

Kurva model no.12 : konsumsi bahan bakar spesifik sebagai fungsi daya motor.

Tanda " +" : parameter berdeviasi positif melebihi yang diijinkan.

Tanda " – " : parameter berdeviasi negatif melebihi yang diijinkan.

Tanda (*) : kondisi yang terjadi pada silinder tersendiri (*individual cylinder*).

BAB III

ANALISA DAN PEMBAHASAN MASALAH

BAB III

ANALISA DAN PEMBAHASAN MASALAH

3.1. Persamaan - Persamaan Kurva Model

Untuk mengetahui seberapa deviasi yang terjadi, terlebih dahulu harus diketahui persamaan - persamaan kurva model dari beberapa parameter. Sedangkan hubungan antara satu parameter dengan yang lain (satu paramater sebagai fungsi dari yang lain) ditentukan sesuai yang disyaratkan dalam "Instruction Manual Book For M/E" yang diterbitkan *engine builder.*

Sesuai pembatasan masalah, maka kurva-kurva model yang dibuat masing-masing adalah :

- kurva model hubungan temperatur gas buang sebagai fungsi daya motor,
- kurva model hubungan tekanan kompresi sebagai fungsi daya motor,
- kurva model hubungan tekanan udara bilas sebagai fungsi daya motor,
- kurva model hubungan konsumsi bahan bakar spesifik sebagai fungsi daya motor,
- kurva model hubungan tekanan maksimum pembakaran sebagai fungsi tekanan efektif rata-rata,
- kurva model hubungan putaran motor sebagai fungsi tekanan efektif rata-rata,
- kurva model hubungan fuel pump index sebagai fungsi tekanan efektif rata-rata,

- kurva model hubungan putaran turbocharger sebagai fungsi tekanan udara bilas,
- kurva model hubungan penurunan tekanan pada saringan udara sebagai fungsi tekanan udara bilas,
- kurva model hubungan penurunan tekanan padapendingin udara sebagai fungsi tekanan udara bilas,
- kurva model hubungan perbedaan temperatur air pendingin (pada pendingin udara) sebagai fungsi tekanan udara bilas,
- kurva model hubungan perbedaan temperatur udara keluar dan air masuk (pada pendingin udara) sebagai fungsi tekanan udara bilas.

Selanjutnya dari kurva-kurva tadi akan didapat harga parameter yang akan diperbandingkan dengan harga aktual hasil pengukuran.

Persamaan kurva model temperatur gas buang sebagai fungsi daya motor

Hubungan antara temperatur gas buang (Texh) dan daya motor (Bhp) didapatkan dari harga keduanya selama shoptest.

Texh (° C)	224	276	310	328	337	350
Bhp (HP)	540	1041	1570	1767	2070	2269

Dari hasil koreksi terhadap temperatur gas buang akibat 'ambient condition', yaitu pengaruh temperatur udara masuk dan temperatur udara bilas selama shoptest, didapatkan temperatur gas buang terkoreksi (Texh') :

Texh' (°C)	220	271	303	318	325	336
Bhp (HP)	540	1041	1570	1767	2070	2269

Selanjutnya dari perhitungan dengan pendekatan persamaan linier (karena hubungan kedua parameter tersebut mendekati garis lurus, lihat *lampiran kurva model*). Dengan formula *regresi linier* $y = A + Bx$, dimana : (Walpole, 1986).

$$A = \frac{\sum y - B\sum x}{n}$$

$$B = \frac{n.\sum xy - \sum x.\sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

dan koefisien korelasi (r) :

$$r = \frac{n.\sum xy - \sum x.\sum y}{\sqrt{\{n.\sum x^2 - (\sum x)^2\}\{n.\sum y^2 - (\sum y)^2\}}}$$

Koefisien korelasi menunjukkan tingkat kelinieran hubungan, nilainya antara – 1 dan 1. Kurva akan semakin mendekati linier bila harga r mendekati 1 atau – 1.

Selanjutnya dengan menganggap BHP sebagai variabel x dan Texh' sebagai variabel y, maka dari data di atas dapat diperoleh :

$\sum x = 9257$ $\sum y = 1773$ $\sum xy = 2873661$

$\sum x^2 = 16395731$ $\sum y^2 = 533295$

sehingga,

$$B = \frac{(6x2873661) - (9257x1773)}{(6x16395731) - 9257^2} = 0.06539$$

$$A = \frac{1773 - (0.06539x9257)}{6} = 194.6133$$

$$r = \frac{(6x.2873661) - (9257x1773)}{\sqrt{\{(6x16385731 - 9257^2\}\{(6x533295) - 1773^2\}}} = 0.98195$$

Jadi persamaan yang didapat adalah :

$$y = 194.6133 + 0.06539\,x$$

Sehingga persamaan kurva modelnya adalah :

Texh' = 194.6133 + (0.06539 x Bhp)

Persamaan kurva model tekanan kompresi sebagai fungsi daya motor

Hubungan antara tekanan kompresi rata - rata (Pcom) dan daya motor (Bhp) didapatkan dari harga keduanya selama shoptest.

Pcom(bar)	57.8	83.4	114.6	126.2	144.6	157.2
Bhp (HP)	540	1041	1570	1767	2070	2269

Dari hasil koreksi terhadap tekanan kompresi akibat 'ambient condition', yaitu pengaruh temperatur udara masuk dan temperatur udara bilas selama shoptest, didapatkan tekanan kompresi terkoreksi (Pcom') :

Pcom'(bar)	58.6	84.67	116	127.4	146.07	158.5
Bhp (HP)	540	1041	1570	1767	2070	2269

Selanjutnya dengan metode yang sama, dari perhitungan dengan bantuan *software pendekatan persamaan linier* (karena hubungan kedua parameter tersebut mendekati garis lurus, *lihat lampiran*) didapat persamaan kurva model :

Pcom' = 25.7525 + (0.05798 x Bhp)

Persamaan kurva model tekanan udara bilas sebagai fungsi daya motor

Hubungan antara tekanan udara bilas (Pscav) dan daya motor (Bhp) didapatkan dari harga keduanya selama shoptest.

Pscav (kg/cm^2)	0.49	1.11	1.88	2.15	2.58	2.86
Bhp (HP)	540	1041	1570	1767	2070	2269

Dari hasil koreksi terhadap tekanan udara bilas akibat 'ambient condition', yaitu pengaruh temperatur udara masuk dan temperatur udara bilas selama shoptest, didapatkan tekanan udara bilas terkoreksi (Pscav') :

Pscav (kg/cm^2)	0.5	1.125	1.898	2.163	2.589	2.87
Bhp (HP)	540	1041	1570	1767	2070	2269

Selanjutnya dengan metode yang sama, dari perhitungan dengan bantuan *software pendekatan persamaan linier* (karena hubungan kedua parameter tersebut mendekati garis lurus, *lihat lampiran*) didapat persamaan kurva model :

Pscav' = – 0.2734 + (0.00138 x Bhp)

Persamaan kurva model SFC sebagai fungsi daya motor

Hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) dan daya motor (Bhp) didapatkan dari harga keduanya selama shoptest. Dari harga SFC terkoreksi didapatkan :

SFOC(g/ BHPjam)	143.4	133.5	130.8	130.3	129.9	131.4
Bhp (HP)	540	1041	1570	1767	2070	2269

Karena hubungan ini merupakan persamaan polinomial berderajat lebih dari satu *(*bukan *linier, lihat lampiran),* maka dapat didekati dengan persamaan polinomial berderajat 3. Kemudian dengan menganggap parameter BHP sebagai variabel x dan SFOC sebagai y, maka akan didapatkan persamaan kurva dengan rumus *matrik penyelesaian eliminasi metode* ***Gauss.*** Dari perhitungan dengan bantuan *Microsoft Excel* (seperti pada lampiran) didapatkan :

$$y = 163.564 - 0.04901\,x + 2.32648.\,10^{-5}\,x^2 - 3.5177.10^{-9}\,x^3$$

Sehingga persamaan kurva modelnya adalah :

$$SFOC' = 163.564 - (0.04901\ BHP) + (2.32648.\ 10^{-5}\ BHP^2) - (3.5177.10^{-9}\ BHP^3)$$

Persamaan kurva model putaran motor sebagai tekanan efektif rata - rata

Hubungan antara putaran motor (N_{ME}) dan tekanan efektif rata - rata (Pe) didapatkan dari harga keduanya selama shoptest.

N_{ME} (rpm)	130.2	164	188.1	196.3	207	214
Pe (bar)	7.174	10.980	14.438	15.570	17.297	18.340

Selanjutnya dengan metode yang sama, dari perhitungan dengan bantuan *software pendekatan persamaan linier* (karena hubungan kedua parameter tersebut mendekati garis lurus, *lihat lampiran*) didapat persamaan kurva model :

$$N_{ME} = 79.4572 + (7.4327 \times Pe)$$

Persamaan kurva model FPI sebagai fungsi tekanan efektif rata - rata

Hubungan antara fuel pump indeks (FPI) rata - rata dan tekanan efektif rata - rata (Pe) didapatkan dari harga keduanya selama shoptest.

FPI	23.2	29.4	36.4	38.7	43.4	47
Pe (bar)	7.174	10.980	14.438	15.570	17.297	18.340

Dari hasil koreksi terhadap FPI karena pengaruh temperatur bahan bakar yang masuk sillinder, temperatur udara bilas serta temperatur ruangan selama shoptest, didapatkan fuel pump indeks (FPI') :

FPI '	19.541	24.764	30.660	32.597	36.556	41.102
Pe (bar)	7.174	10.980	14.438	15.570	17.297	18.340

Selanjutnya dengan metode yang sama, dari perhitungan dengan bantuan *software pendekatan persamaan linier* (karena hubungan kedua parameter tersebut mendekati garis lurus, *lihat lampiran*) didapat persamaan kurva model :

$$FPI' = 4.4054 + (1.8422 \times Pe)$$

Persamaan kurva model tekanan maksimum sebagai fungsi tekanan efektif rata- rata

Hubungan antara tekanan maksimum (Pmax) rata - rata dan tekanan efektif rata - rata (Pe) didapatkan dari harga keduanya selama shoptest.

Pmax(bar)	101. 6	123.4	150.6	158.4	170.2	174.8
Pe (bar)	7.174	10.980	14.438	15.570	17.297	18.340

Dari hasil koreksi terhadap tekanan maksimum akibat 'ambient condition', yaitu pengaruh temperatur udara masuk dan temperatur udara bilas selama shoptest, didapatkan tekanan maksimum terkoreksi (Pmax') :

Pmax'(bar)	102.67	124.6	151.9	159.52	171.3	176.12
Pe (bar)	7.174	10.980	14.438	15.570	17.297	18.340

Selanjutnya dengan metode yang sama, dari perhitungan dengan bantuan *software pendekatan persamaan linier* (karena hubungan kedua parameter tersebut mendekati garis lurus, *lihat lampiran*) didapat persamaan kurva model :

$$Pmax' = 51.6397 + (6.9019 \times Pe)$$

Persamaan kurva model putaran turbocharger sebagai fungsi tekanan udara bilas

Hubungan antara putaran turbocharger (N_{TB}) dan tekanan udara bilas (Pscav) didapatkan dari harga keduanya selama shoptest.

N_{TB} (rpm)	16900	24400	30000	31600	33700	35000
Pscav(kg/cm^2)	0.49	1.11	1.88	2.15	2.58	2.86

Selanjutnya dengan metode yang sama, dari perhitungan dengan bantuan *software pendekatan persamaan linier* (karena hubungan kedua parameter tersebut mendekati garis lurus, *lihat lampiran*) didapat persamaan kurva model :

$N_{TB} = 14834.696 + (7460.869 \times Pscav)$

Persamaan kurva model drop tekanan pada saringan udara sebagai fungsi tekanan udara bilas

Hubungan antara drop tekanan pada saringan udara (P_{AF}) dan tekanan udara bilas (Pscav) didapatkan dari harga keduanya selama shoptest.

P_{AF} (mmAq)	12	33	60	73	95	105
Pscav(kg/cm^2)	0.49	1.11	1.88	2.15	2.58	2.86

Selanjutnya dengan metode yang sama, dari perhitungan dengan bantuan *software pendekatan persamaan linier* (karena hubungan kedua parameter tersebut mendekati garis lurus, *lihat lampiran*) didapat persamaan kurva model :

$P_{AF} = -10.4467 + (39.9507 \times Pscav)$

Persamaan kurva model drop tekanan pada pendingin udara sebagai fungsi tekanan udara bilas

Hubungan antara drop tekanan pada pendingin udara (P_{AC}) dan tekanan udara bilas (Pscav) didapatkan dari harga keduanya selama shoptest.

P_{AC} (mmAq)	48	60	75	80	86	90
Pscav(kg/cm^2)	0.49	1.11	1.88	2.15	2.58	2.86

Selanjutnya dengan metode yang sama, dari perhitungan dengan bantuan *software pendekatan persamaan linier* (karena hubungan kedua parameter tersebut mendekati garis lurus, *lihat lampiran*) didapat persamaan kurva model :

P_{AC} = 40. 1856 + (17.8274 x Pscav)

Persamaan kurva model perbedaan temperatur air pendingin sebagai fungsi tekanan udara bilas

Hubungan antara perbedaan temperatur air pendingin (Δ_{TW}) dan tekanan udara bilas (Pscav) didapatkan dari harga keduanya selama shoptest.

SWin(°C)	22	22	22	22	23	24
SWout(°C)	23	25	27	28	30	32
Δ_{TW}(°C)	1	3	5	6	7	8
Pscav(kg/cm^2)	0.49	1.11	1.88	2.15	2.58	2.86

Selanjutnya dengan metode yang sama, dari perhitungan dengan bantuan *software pendekatan persamaan linier* (karena hubungan kedua parameter tersebut mendekati garis lurus, *lihat lampiran*) didapat persamaan kurva model :

$\Delta_{TW} = -0.321 + (2.871 \times Pscav)$

Persamaan kurva model perbedaan temperatur udara keluar dan air masuk sebagai fungsi tekanan udara bilas

Hubungan antara perbedaan temperatur udara keluar dan air masuk (Δ_{TAW}) pada pendingin udara sebagai fungsi tekanan udara bilas (Pscav) didapatkan dari harga keduanya selama shoptest.

AIRout(°C)	25	27	31	34	37	40
SWin(°C)	22	22	22	22	23	24
Δ_{TW}(°C)	3	5	9	12	14	16
Pscav(kg/cm^2)	0.49	1.11	1.88	2.15	2.58	2.86

Selanjutnya dengan metode yang sama, dari perhitungan dengan bantuan *software pendekatan persamaan linier* (karena hubungan kedua parameter tersebut mendekati garis lurus, *lihat lampiran*) didapat persamaan kurva model :

$\Delta_{TAW} = -0.5488 + (5.6212 \times Pscav)$

3.2. Perhitungan Deviasi Parameter

Setelah proses pengamatan terhadap parameter - parameter kinerja, maka proses pengkoreksian, perhitungan harga parameter dan besar deviasi dilakukan. Di bawah ini disajikan hasil proses pengambilan data dan perhitungan pada kondisi putaran motor 190 rpm.

Data pengamatan :

Putaran motor (N_{ME})	:	190 rpm.
Lama pengukuran (t)	:	4 jam.
Konsumsi fuel	:	1060 liter.
Temperatur fuel (T_{fuel})	:	50° C.

Dari data fuel yang digunakan didapatkan :

Specific gravity fuel pada 15° C (SG_{15})	:	0.8646 g/cm^3.
Nilai panas rendah fuel (LCV)	:	10720 kcal/kg.
Temperatur udara masuk (T_{in})	:	37° C.
Temperatur udara bilas (T_{scav})	:	50° C.
Putaran turbocharger (N_{TB})	:	31800 rpm.
Tekanan udara bilas (P_{scav})	:	1.9 kg/cm^2.

Data pada air filter :

Pressure drop air filter	(P_{AF})	:	70 mmAq.

Data pada air cooler :

Pressure drop air cooler (P_{AC})	:	80 mmAq.
Temperatur masuk udara	:	177° C.

Temperatur keluar udara : 45° C.

Temperatur masuk air laut : 31° C.

Temperatur keluar air laut : 37° C.

Kondisi pada masing - masing silinder pada saat itu adalah :

	Nomor Silinder :					
	1	2	3	4	5	Rata-rata
T_{exh} (° C)	370	360	370	390	355	369
P_{max} (bar)	140	145	143	142	142	142.4
P_{com} (bar)	114	117	115	116	115	115.4
FPI	37	38	35	40	39	37.8

Perhitungan :

Berdasarkan data di atas dapat dibuat perhitungan sebagai berikut :

FPI rata - rata = 37.8

FPIcorrected (FPI') = k x FPI rata-rata ,dimana :

$k = K_1 \times K_2 \times SG_{15}$ (mencari K_1 dan K_2 lihat pada bab sebelumnya).

didapat, $k = 0.8369$

FPI' = 0.8369 x 37.8 = 31.636.

Harga FPI' ini selanjutnya dipakai untuk mencari harga tekanan efektif rata - rata (Mep), dalam tulisan ini ditulis sebagai *Pe.* Dan dari *grafik 2.1* pada bab sebelumnya didapatkan :

Pe = 14.778 bar.

Maka daya motor dapat dihitung sebagai :

$BHP = C \times Pe \times N_{ME}$,dimana C = konstanta silinder = 0.57812

Sehingga,

$BHP = 0.57812 \times 14.778 \times 190 = 1623.257$ HP

Menghitung parameter SFC :

$$SFC = \frac{FCxSGat50^{o}Cx1000}{txBHP}$$

dimana $SG_{50} = SG_{15} \times \{1 - 0.00065 \times (50 - 15)\}$

$SG_{50} = 0.8646 \times \{1 - 0.00065 \times (50 - 15)\} = 0.8449$ g/cm^3

Sehingga,

$$SFC = \frac{1060x0.8449x1000}{4x1623.257} = 137.93 \text{ g/hpjam.}$$

SFC terkoreksi oleh nilai panas rendah (SFC'),

$$SFC' = 137.93 \times \frac{LCV}{10200}$$

$$SFC' = 137.93 \times \frac{10720}{10200} = 144.96 \text{ g/hpjam.}$$

Sedangkan SFC' model didapat dengan memasukkan harga BHP pada persamaan kurva model untuk SFC, diperoleh :

SFC' model = 130.264 g/hpjam.

Maka deviasi dapat dihitung.

$$\text{Deviasi} = \frac{(SFC,-SFC'\text{model})}{SFC'\text{model}}x100\%$$

Sehingga,

$$\text{Deviasi} = \frac{(144.96 - 130.264)}{130.264} x100\% = 11.26\ \%$$

Menghitung parameter Texh :

Texh rata - rata = 369° C

Texh'(terkoreksi) = 369 + C_1 + C_2

dimana harga C_1 dan C_2 didapat dari *plate 70616* pada lampiran. Dengan temperatur udara masuk sebesar 37° C dan temperatur bilas 50° C didapatkan harga C_1 = – 15.645 dan C_2 = – 6.91, sehingga :

Texh' = 369 – 15.645 – 6.91 = 346.445 ° C.

Sedangkan Texh' model didapat dengan memasukkan harga BHP pada persamaan kurva model untuk Texh, diperoleh :

Texh' model = 194.6133 + (0.0654 x 1623.257) = 300.758 ° C

Maka,

$$\text{Deviasi} = \frac{(346.445 - 300.758)}{300.758} x100\% = 15.19\ \%$$

Menghitung parameter Pcom :

Pcom rata - rata = 115.4 bar

Pcom' (terkoreksi) = 115.4 + D_1 + D_2

dimana harga D_1 dan D_2 didapat dari *plate 70615* pada lampiran. Dengan temperatur udara masuk sebesar 37° C dan temperatur bilas 50° C didapatkan

harga D_1 = 3.1 bar dan D_2 = – 1.617 bar, sehingga :

Pcom' = 115.4 + 3.1 – 1.617 = 116.883 bar.

Sedangkan Pcom' model didapat dengan memasukkan harga BHP pada persamaan kurva model untuk Pcom, diperoleh :

Pcom' model = 25.7525 + (0.05798 x 1623.257) = 119.896 bar

Maka,

$$\text{Deviasi} = \frac{(116.883 - 119.364)}{119.364} x100\% = -2.49\ \%$$

Menghitung parameter Pscav :

Pscav = 1.9 kg/cm^2

Pscav' (terkoreksi) = 115.4 + A_1 + A_2

dimana harga A_1 dan A_2 didapat dari *plate 70618* pada lampiran. Dengan temperatur udara masuk sebesar 37° C dan temperatur bilas 50° C didapatkan harga A_1 = 0.0472 dan A_2 = – 0.042, sehingga :

Pscav' = 1.9 + 0.0472 – 0.042 = 1.9052 kg/cm^2.

Sedangkan Pscav' model didapat dengan memasukkan harga BHP pada persamaan kurva model untuk Pscav, diperoleh :

Pscav' model = – 0.2734 + (0.00138 x 1623.257) = 1.967 kg/cm^2

Maka,

$$\text{Deviasi} = \frac{(1.9052 - 1.967)}{1.967} x100\% = -3.14\ \%$$

Menghitung parameter Pmax :

Pmax rata - rata = 142.4 bar

Pmax' (terkoreksi) = $142.4 + E_1 + E_2$

dimana harga E_1 dan E_2 didapat dari *plate 70617* pada lampiran. Dengan temperatur udara masuk sebesar 37° C dan temperatur bilas 50° C didapatkan harga E_1 = 2.456 bar dan E_2 = – 1.065 bar, sehingga :

Pmax' = 142.4 + 2.456 – 1.065 = 143.791 bar.

Sedangkan Pmax' model didapat dengan memasukkan harga Pe pada persamaan kurva model untuk Pcom, diperoleh :

Pmax' model = 51.6397 + (6.9019 x 14.778) = 153.636 bar

Maka,

$$\text{Deviasi} = \frac{(143.791 - 153.636)}{153.636} x100\% = -\ 6.41\ \%$$

Menghitung parameter N_{ME} :

Diketahui :

N_{ME} = 190 rpm

Sedangkan N_{ME} model didapat dengan memasukkan harga Pe pada persamaan kurva model untuk N_{ME} , diperoleh :

N_{ME} model = 79.4572 + (7.4327 x 14.778) = 189.298 rpm

Maka,

$$\text{Deviasi} = \frac{(190 - 189.298)}{189.298} x100\% = 0.37\ \%$$

Menghitung parameter N_{TB} :

Diketahui :

N_{TB} = 31800 rpm

Sedangkan N_{TB} model didapat dengan memasukkan harga Pscav pada persamaan kurva model untuk N_{TB} , diperoleh :

N_{TB} model = 14834.696 + (7460.896 x 1.9) = 29010.347 rpm

Maka,

$$\text{Deviasi} = \frac{(31800 - 29010.347)}{29010.347} x100\% = 9.62\ \%$$

Menghitung parameter FPI :

Diketahui :

- FPI rata - rata = 37.8

  FPI' (terkoreksi) = 31.636

Sedangkan FPI' model didapat dengan memasukkan harga Pe pada persamaan kurva model untuk FPI, diperoleh :

FPI' model = 40.127 + (7.685 x 14.778) = 31.629

Maka,

$$\text{Deviasi} = \frac{(31.636 - 31.629)}{31.629} x100\% = 0.022\ \%$$

Menghitung parameter P_{AF} :

Diketahui :

$P_{AF} = 70$ mmAq

Sedangkan P_{AF} model didapat dengan memasukkan harga Pscav pada persamaan kurva model untuk P_{AF} , diperoleh :

P_{AF} model $= -10.4467 + (39.9507 \times 1.9) = 65.46$ mmAq

Maka,

$$\text{Deviasi} = \frac{(70 - 65.46)}{65.46} x100\% = 6.93\ \%$$

Menghitung parameter P_{AC} :

Diketahui :

$P_{AC} = 80$ mmAq

Sedangkan P_{AC} model didapat dengan memasukkan harga Pscav pada persamaan kurva model untuk P_{AC} , diperoleh :

P_{AC} model $= 40.1856 + (17.8274 \times 1.9) = 74.06$ mmAq

Maka,

$$\text{Deviasi} = \frac{(80 - 74.06)}{74.06} x100\% = 8.02\ \%$$

Menghitung parameter Δ_{TW} pada pendingin udara :

Diketahui :

T air masuk = 31 °C

T air keluar = 37 °C

Δ_{TW} = 37 – 31 = 6 °C

Sedangkan Δ_{TW} model didapat dengan memasukkan harga Pscav pada persamaan kurva model untuk Δ_{TW} , diperoleh :

Δ_{TW} model = – 0.321 + (2.871 x 1.9) = 5.134 °C

Maka,

$$\text{Deviasi} = \frac{(6 - 5.134)}{5.134} x100\% = 16.86\ \%$$

Menghitung parameter Δ_{TW} pada pendingin udara :

Diketahui :

T air masuk = 31 °C

T udara keluar = 45 °C

Δ_{TW} = 45 – 31 = 14 °C

Sedangkan Δ_{TAW} model didapat dengan memasukkan harga Pscav pada persamaan kurva model untuk Δ_{TAW} , diperoleh :

Δ_{TAW} model = – 0.5488 + (5.6212 x 1.9) = 10.131°C

Maka,

$$\text{Deviasi} = \frac{(14 - 10.131)}{10.131} x100\% = 38.19\ \%$$

3.3. Pembahasan Penyebab Terjadinya Deviasi Parameter Kinerja

Hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat ditabelkan seperti berikut :

Parameter	Harga aktual (satuan)	Harga model (satuan)	Deviasi (%)	Max.deviasi ijin (%)
SFC	144.96	130.264	11.26	+ 3
T exh	346.445	300.758	15.19	+ 20
P com	116.883	119.869	– 2.49	– 15
P scav	1.9052	1.967	– 3.14	– 15
P max	143.791	153.636	– 6.41	± 15
N_{ME}	190	189.298	0.37	
N_{TB}	31800	29010.347	9.62	± 25
FPI	31.636	31.629	0.022	+ 1
P_{AF}	70	65.46	6.93	+ 50
P_{AC}	80	74.06	8.02	+ 50
Δ_{TW}	6	5.134	16.86	+ 50
Δ_{TAW}	14	10.131	38.19	+ 50

Dari hasil perhitungan di atas dapat diketahui bahwa semua parameter yang diteliti mengalami deviasi dari harga standartnya. Walaupun masih di bawah batas maksimum deviasi, namun penyebabnya perlu dicari. Selanjutnya mengacu pada *tabel prakiraan deviasi* pada bab sebelumnya, maka dilakukan langkah - langkah untuk mencari penyebab sebenarnya.

Langkah pertama, menganalisa apakah deviasi terjadi pada keseluruhan silinder, atau hanya pada silinder tertentu.

Parameter yang harga terukurnya didapat dari masing - masing silinder adalah Texh, Pcom, Pmax dan FPI. Harga tiap silindernya tidak boleh jauh lebih besar/lebih kecil dibanding harga rata - ratanya. Sebagaimana disyaratkan Instruction Book for ME- MAN B&W, maka :

a. *Harga Pmax untuk tiap silinder berselisih maksimum 3 bar dari harga rata - rata untuk keseluruhan silinder.*
b. *Harga Texh tiap silinder berselisih maksimum 25° C dari rata - ratanya.*
c. *Harga FPI tiap silinder bersilih maksimum 3 dari rata- ratanya.*

Dari data di atas, kondisi parameter - parameter tersebut untuk tiap silinder hampir sama (silinder balans). Jadi kondisi sistem yang terjadi adalah yang mempengaruhi keseluruhan silinder.

Langkah kedua, menganalisa kondisi sistem untuk keseluruhan silinder.

Dari hasil perhitungan deviasi parameter didapat prakiraan kondisi sistem sebagai berikut :

Kondisi yang dapat menyebabkan deviasi Pmax, Pcom, Texh dan Pscav a.l :

- tekanan bilas rendah
- kesalahan pengaturan katup buang
- kesalahan pada turbocharger
- injeksi *fuel* terlambat

- kotornya *scavenging port*

- kotornya *air cooler*

- kotornya *air filter*

- terhambatnya udara masuk silinder

- naiknya *back pressure*

- rendahnya kualitas bahan bakar.

Kondisi yang dapat menyebabkan deviasi N_{ME} a.l. :

- berkurangnya tahanan kapal, karena perubahan sarat kapal

Kondisi yang dapat menyababkan deviasi N_{TB} a.l. :

- kotornya *air cooler*

- kotornya *air filter*

- kesalahan pada sisi kompressor turbocharger.

Kondisi yang dapat menyebabkan deviasi FPI :

- tidak ada, karena silinder balans.

Kondisi yang dapat menyebabkan deviasi P_{AF} :

- kotornya *air filter.*

Kondisi yang dapat menyebabkan deviasi P_{AC} :

- kotornya *air cooler* pada sisi udara.

Kondisi yang dapat menyebabkan deviasi Δ_{TW} :

- kotornya *air cooler* pada sisi air.

Kondisi yang dapat menyebabkan deviasi Δ_{TAW} :

- kotornya *air cooler* pada sisi udara

- kotornya *air cooler* pada sisi air.

Kondisi yang dapat menyebabkan deviasi SFC :

- *engine overload*
- naiknya *back pressure*
- kotornya *air filter*
- terhambatnya udara masuk silinder
- operasi pada *idle* terlalu lama
- kualitas bahan bakar rendah.

Langkah ketiga, mencari kondisi yang mempengaruhi banyak parameter dan juga mempengaruhi kondisi lain.

Kondisi sistem yang dapat menjadi penyebab deviasi pada beberapa parameter a.l. :

- kotornya air cooler
- kotornya air filter
- kotornya scavenging port.

Di samping itu, kondisi tersebut juga mempengaruhi kondisi yang lain seperti : rendahnya tekanan bilas, terhambatnya udara masuk dll. Sedangkan kondisi - kondisi lain yaitu : engine overload, naiknya back pressure, kualitas fuel rendah, injeksi terlambat, kesalahan pada turbocharger, kesalahan timing katup buang dan berkurangnya tahanan kapal dapat dipertimbangkan sebagaimana berikut.

a. Engine overload jelas tidak terjadi karena motor pada 190 rpm dan sarat kapal saat itu 4.875 m (tidak maksimum).

b. Kualitas fuel juga bukan penyebab, karena *LCV fuel* yang dipakai sudah seperti yang disyaratka engine builder (lihat lampiran fuel)

c. .*Back pressure* naik bisa saja terjadi karena deposit - deposit karbon yang mengurangi penampang pipa buang.

d. Kesalahan timing katup buang juga mungkin terjadi karena setting yang telah berubah (retardasi).

e. Kesalahan turbocharger khususnya pada sisi kompressor bisa juga terjadi karena pengotoran atau hal lain.

f. Injeksi fuel terlambat juga bisa terjadi karena pengaturan (setting) telah berubah.

g. Berkurangnya tahanan kapal juga terjadi karena sarat kapal tidak maksimum saat operasional.

Sehingga kemungkinan kondisi yang terjadi adalah :

1. *Air cooler* mulai kotor
2. *Air filter* mulai kotor
3. *Back pressure* cenderung naik
4. Tahanan kapal berkurang karena sarat tidak penuh
5. Injeksi *fuel* terlambat
6. Retardasi pengaturan timing katup buang
7. Kesalahan turbocharger pada sisi kompressor.

Langkah keempat, menghubungkannya dengan jadwal/skedul inspeksi dan perawatan sebagaimana ditetapkan engine builder.

Dalam skedul tersebut tercantum periode inspeksi dan perawatan terhadap suatu equipment berdasarkan jam operasional. Untuk mengetahui dengan pasti penyebab deviasi, maka perlu dipertimbangkan skedul tersebut. Sehingga dapat ditentukan apakah salah satu equipment yang ada dalam daftar penyebab deviasi (seperti tertulis pada langkah ketiga) itu sudah lama, baru saja, atau belum saatnya diinspeksi ataupun dirawat.

BAB IV

KESIMPULAN

BAB IV

KESIMPULAN

Dari uraian dan penyusunan penulisan tentang penerapan sistem monitoring kinerja motor diesel yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Kondisi kinerja motor induk kapal Caraka Jaya Niaga III-24, yang diwakili oleh parameter-parameter yang telah dibahas, dapat diketahui dengan cara memonitor, dalam hal ini adalah mengukur harga parameter - parameternya. Dari hasil pengukuran (seperti pada lampiran) didapatkan bahwa kondisi engine masih laik untuk beroperasi.

Penerapan monitoring kinerja dilaksanakan dengan mengukur harga aktual parameter dan kemudian dibandingkan dengan harga modelnya. Dari perbandingan tersebut akan muncul harga deviasi. Harga deviasi dapat menentukan laik-tidaknya kondisi motor induk, dengan melihat apakah deviasi yang terjadi tersebut masih dalam batas atau sudah melebihi batas maksimum yang diijinkan.

Harga deviasi parameter (Δ) dapat memberikan gambaran awal untuk menentukan kondisi kapal pada saat itu atau kondisi *equipment* motor induk. Dari hasil pengukuran dan perhitungan yang telah dilakukan kondisi masing - masing parameter motor induk kapal Caraka Jaya Niaga III-24 adalah sebagai berikut :

Parameter	Harga aktual (satuan)	Harga model (satuan)	Deviasi (%)	Max.deviasi ijin (%)
SFC	144.96	129.994	11.51	+ 3
T exh	346.445	300.758	15.19	+ 25
P com	116.883	119.869	- 2.49	- 15
P scav	1.9052	1.967	- 3.14	- 15
P max	143.791	153.636	- 6.41	± 15
N_{ME}	190	189.298	0.37	
N_{TB}	31800	29010.347	9.62	± 25
FPI	31.636	31.629	0.022	+ 1
P_{AF}	70	65.46	6.93	+ 50
P_{AC}	80	74.06	8.02	+ 50
Δ_{TW}	6	5.134	16.86	+ 50
Δ_{TAW}	14	10.131	38.19	+ 50

Setelah dianalisa kemungkinan-kemungkinan penyebab deviasi - deviasi tersebut adalah : kondisi pendingin udara yang mulai kotor, kondisi saringan udara yang mulai kotor, kondisi *scavenging port* mulai kotor, terjadi kenaikan *back pressure* akibat pengotoran pada pipa buang, terjadinya penurunan tahanan kapal karena sarat yang tidak maksimum, injeksi fuel terlambat, kesalahan pengaturan timing katup buang (retardasi) dan kesalahan turbocharger pada sisi kompressor.

Sedangkan untuk memastikan penyebab sebenarnya di antara kemungkinan-kemungkinan tersebut perlu mempertimbangkannya dengan skedul inspeksi dan perawatan *equipment* motor induk.

PENUTUP

PENUTUP

Demikianlah Tugas Akhir ini, semoga studi yang telah dilakukan penulis dapat bermanfaat dan mampu memberikan tambahan wawasan bagi pembaca khususnya, dan bagi tanah air tercinta pada umumnya. Penulis telah mencurahkan seluruh tenaga dan pikiran untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini, berhubung keterbatasan kemampuan penulis maka masih banyak sekali kekurangan-kekurangan. Besar harapan penulis agar di masa mendatang terdapat penelitian maupun pengembangan lebih luas terhadap masalah yang disajikan ini, sehingga mampu memberi sumbangan yang lebih berarti bagi ilmu pengetahuan.

Atas kritik dan saran membangun yang telah diberikan, penulis mengucapkan terima kasih, semoga Allah SWT melimpahkan rahmat-NYA.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. Harrington, Roy. L : *Marine Engineering*, The Society of Naval Architect and Marine Engineers, Jersey City, New York, 1990.
2. Hufner, R. : *The Influence of Diesel Engine Automation on Performance, Maintenance and TBO's*, Ship Operation Automation III, Proceeding of The 3rd IFIP/IFAC Symposium, Holland, 1980.
3. *Instruction Book for Marine Engines*, Mitsui MAN B&W, Japan, 1991.
4. Lahar Baliwangi : *Program Komputer untuk Monitoring Performance Main Diesel Engine*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 1995.
5. Maleev, V.L, ME, DR. A.M : *Operasi dan Pemeliharaan Motor Diesel* (terjemahan), Erlangga Jakarta, 1986.
6. Mathur, L & Sharman, R.P : *A Course of Internal Combustion Engines*, Dhampat Rai and Sons, New Delhi,1980.
7. Obert, Edward F. : *Internal Combustion Engines*, International Textbook Company, Scranton, Pennsylvania, 1968.
8. Pounder, C.C : *Marine Diesel Engines*, Newnes, Butterworths, London, 1968.
9. Rasmussen, M. Eng. : *Condition Monitoring System for Rotating Machinery on Ships*, Ship Operation Automation IV, Proceeding of The 4th IFIP/IFAC Symposium, Genova, Italy, 1982.
10. Stinson, Karl W, ME. : *Diesel Engineering Handbook*, 12th edition, Bussiness Journals Inc., Stamford, Connecticut, 1972.

11. Surjo Widodo Adji, Ir, Msc : *Diktat Mata Kuliah Sistem Monitoring*, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 1995.

12. Tobold, William K : *Diesel Fundamentals, Service, Repair*, The Goodheart-Willcox Company Inc, South Holland, Illinois, 1983.

13. Walpole, E. Ronald & Myers, H. Raymond : *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*, ITB Bandung, 1986.

14. Wharton, A.J : *Diesel Engines*, Marine Engineering Series, 3rd edition Newnes, Butterworth-Heinemann Ltd., 1991.

15. Woodward III, J.B : *The Diesel Engine to Drive A Ship*, Newnes-Butterworths, London, 1968.

LAMPIRAN

LAMPIRAN I

DATA - DATA PENELITIAN

DATA UTAMA KAPAL

Nama Kapal	:	KM. CARAKA JAYA NIAGA III - 24
Jenis Kapal	:	Semi container
Rute Pelayaran	:	Surabaya - Ujung Pandang
LOA	:	98.00 m
LWL	:	94.09 m
LPP	:	92.15 m
Bmld.	:	16.50 m
Hmld.	:	7.80 m
T	:	5.40 m
Koef. Block (Cb)	:	0.67
Vs	:	12.5 knots
Net Tonnage	:	1949 Ton

DATA - DATA TEKNIK MOTOR DIESEL DAN TURBOCHARGER

Motor diesel kapal :

Maker	: Mitsui - MAN - B&W
Type	: 5 S 26 MC, two stroke turbocharged
Cylinder number	: 5
HP	: 2050
Rpm	: 207
Bore	: 260 mm
Stroke	: 980 mm
Firing order	: 1-4-3-2-5

Turbocharger :

Type	: Mitsubishi MET 26 SR
Turbocharger no	: 5524
Max. gas inlet	: 580 °C
Revolution T / C	: 35700 Rpm

DATA - DATA HASIL PENGAMATAN

DATE : 15 JANUARY 1996	MEASUREMENT TIME : 4 hours
AMBIENT CONDITION	HUMIDITY : %
ROOM TEMPERATURE : 37 ^{O}C	BAROMETRIC PRESSURE :1011 mbar

ENGINE SPEED (RPM)	FUEL OIL (litres)	TURBOCHARGER REVOLUTION (rpm)
190	1060	31800

Cyl. Number :	1	2	3	4	5	Average
Fuel Pump Index	37	38	35	40	39	37.8
Exh. Gas Temp. Cyl. Outlet (^{o}C)	370	360	370	390	355	369
P max. (bar)	140	145	143	142	142	142.4
P comp.(bar)	114	117	115	116	115	115.4
Piston Cooling Oil Temp. Cyl. Outlet (^{o}C)	56	58	56	56	54	56

AIR COOLER	
Press. Drop (mmAq)	80
Temp. Air In (^{o}C)	177
Temp. Air Out (^{o}C)	45
Temp SW In (^{o}C)	31
Temp.. SW Out (^{o}C)	37

SCAVENGING AIR	
Pressure (kg/cm^{2})	Temperature (^{o}C)
1.9	50

INTAKE AIR		EXHAUST GAS	
Temp. (^{o}C)	Filter Pressure. Drop (mmAq)	Inlet Temp. (^{o}C)	Outlet Temp. (^{o}C)
37	70	440	270

PLATE 70601

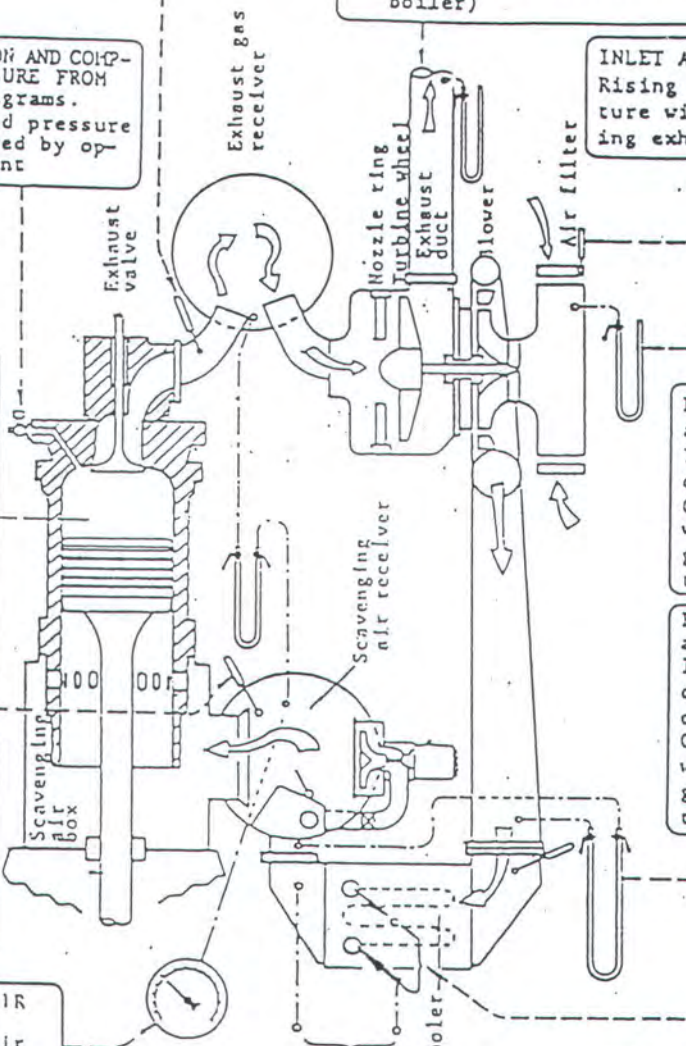
READINGS RELATING TO THERMODYNAMIC CONDITIONS

EXHAUST TEMPERATURE increasing on a single cylinder indicates:
a) Fuel valves need overhaul.
b) Compression pressure too low owing to exhaust valve leakage or blow-by passed piston rings.

EXHAUST TEMPERATURE increasing on all cylinders indicates:
a) Air system fouled. (air filter/blower/cooler/ scavenging ports)
b) Exhaust system fouled (protection grid/nozzle ring/ turbine wheel/exhaust gas boiler)

MAX. COMBUSTION AND COMPRESSION PRESSURE FROM indicator diagrams. Mean indicated pressure can be measured by optinal equipment

INLET AIR TEMPERATURE Rising ambient temperature will give increasing exhaust temperature.



PRESSURES and TEMPERATURES in combustion chamber. Will be reduced by piston ring blow-by burnt piston top; wear; leaking exhaust valve; defective fuel valves; etc.

PRESSURE DROP across air filter. Increasing Δp indicates fouling. Cleaning required when Δp is 50% greater than on testbed.

PRESSURE DROP across air cooler. Increasing Δp indicates fouling of air side. Cleaning required when Δp is 50% greater than on testbed.

SCAVENGING AIR TEMPERATURE Rising scavenging air temperature will give increasing exhaust temperature.

SCAVENGING AIR PRESSURE Decreasing air pressure implies decreasing air quantity and indicates fouling of air system.

TEMPERATURE DIFFERENCE air after cooler and at water inlet. Increasing temperature difference indicates fouled air cooler.

TEMPERATURE RISE of cooling water increasing temperature difference indicates reduced water flow.

Correction factor for fuel pump index K
K = K1 x K2 x gravity at 15°C

Example

Fuel oil characteristics

- Lower calorific value : 9700 kcal / kg
  (If not provided, can be estimated from Sulphur Content and gravity)
- Specific gravity : 0.947 (@ 15°C)
- Preheated temp. : 104°C

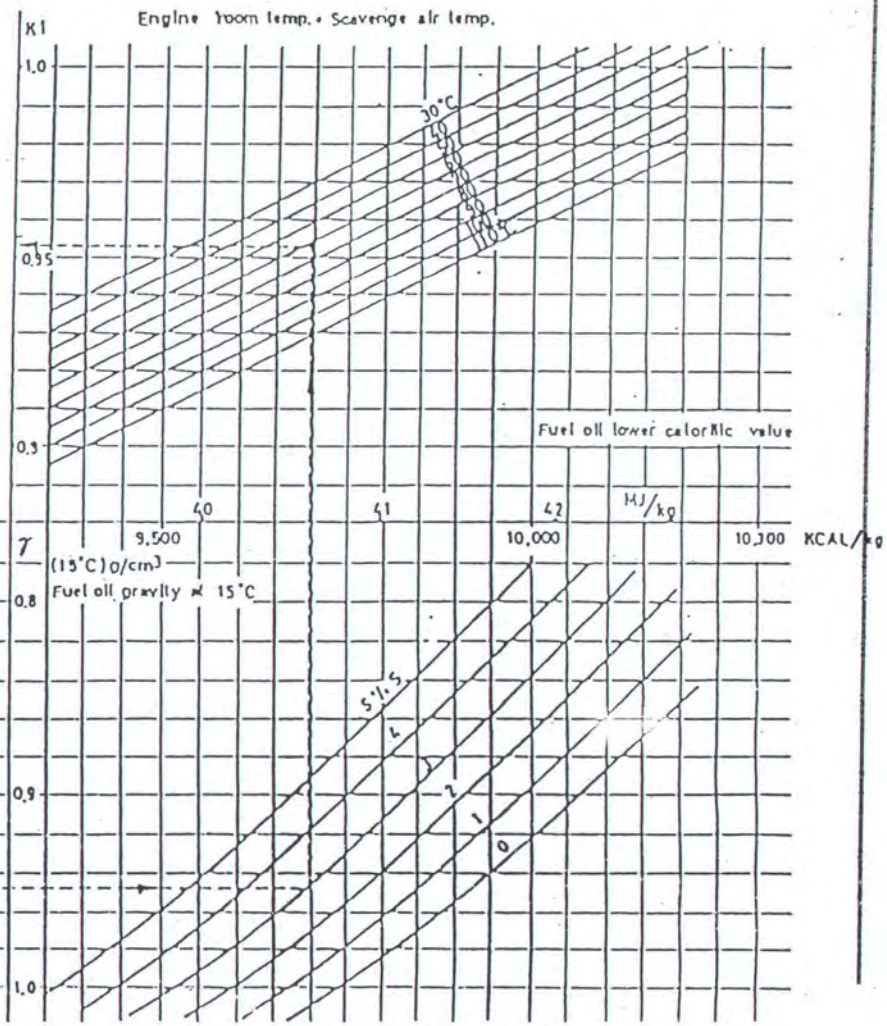
Ambient Condition

- Room temp. : 30°C
- Scav. air temp : 32°C

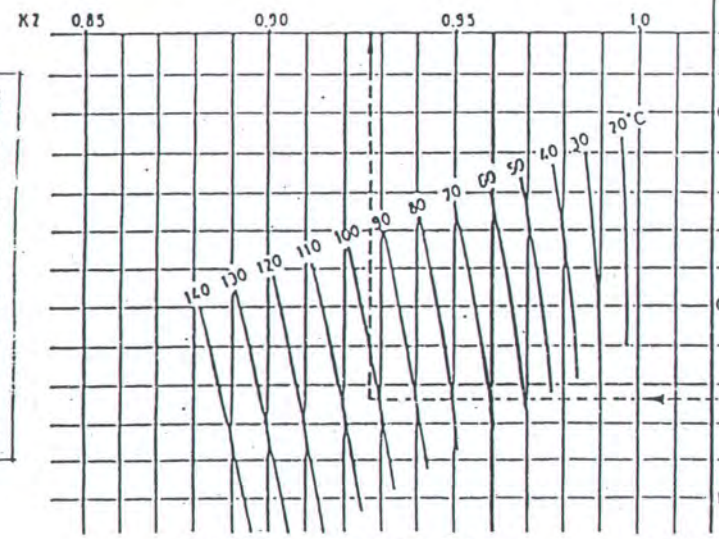
K1 = 0.953 K2 = 0.926

K = 0.953 x 0.926 x 0.947 = 0.836

Correction factor for fuel oil quality and change of ambient condition K1



Correction factor K2 for fuel oil gravity at preheated condition



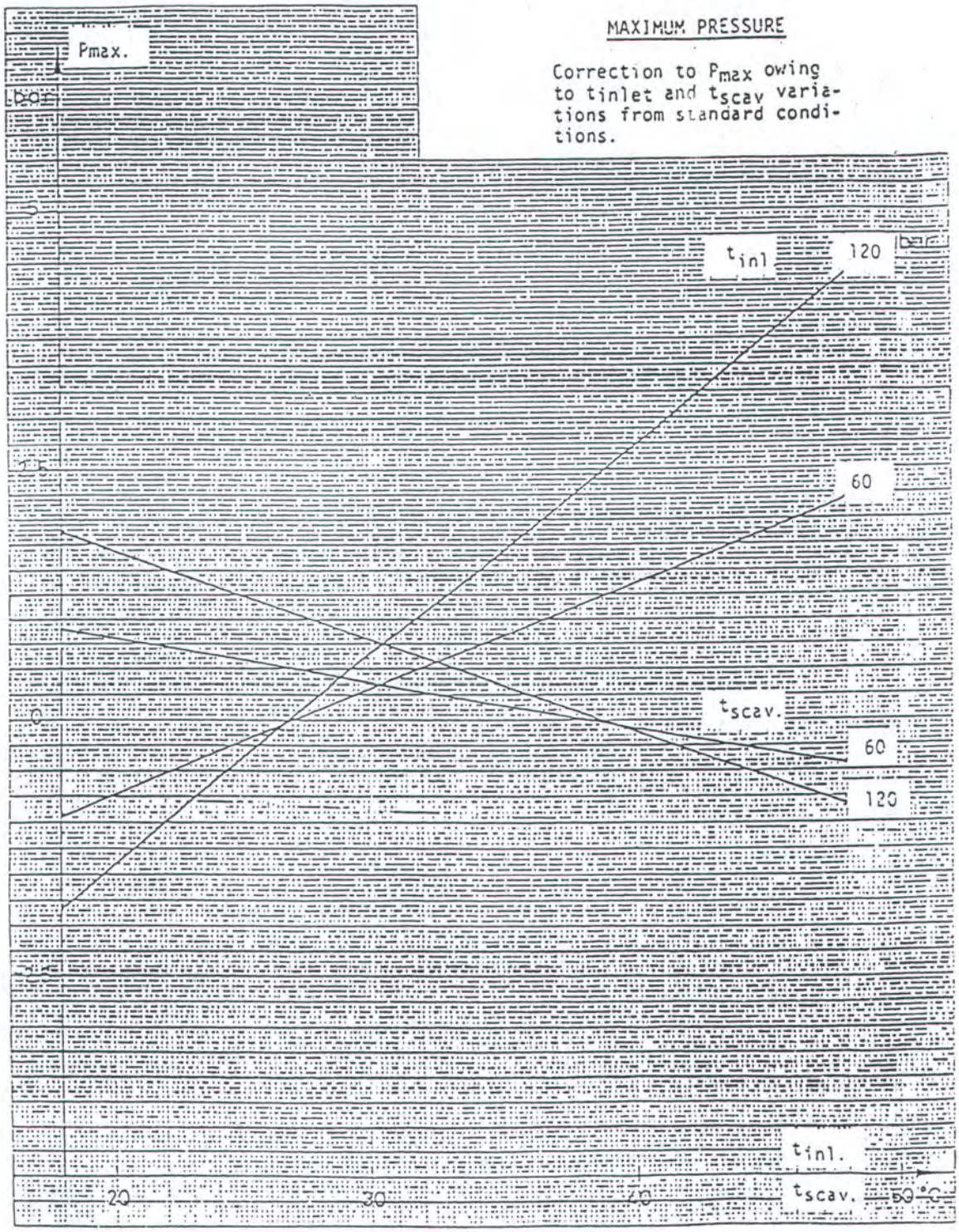
Fuel oil temperature before fuel pump

Gravity scale

Fuel oil sulphur content

KM CARINA JAYA NIKOA III - 24

LAMPIRAN



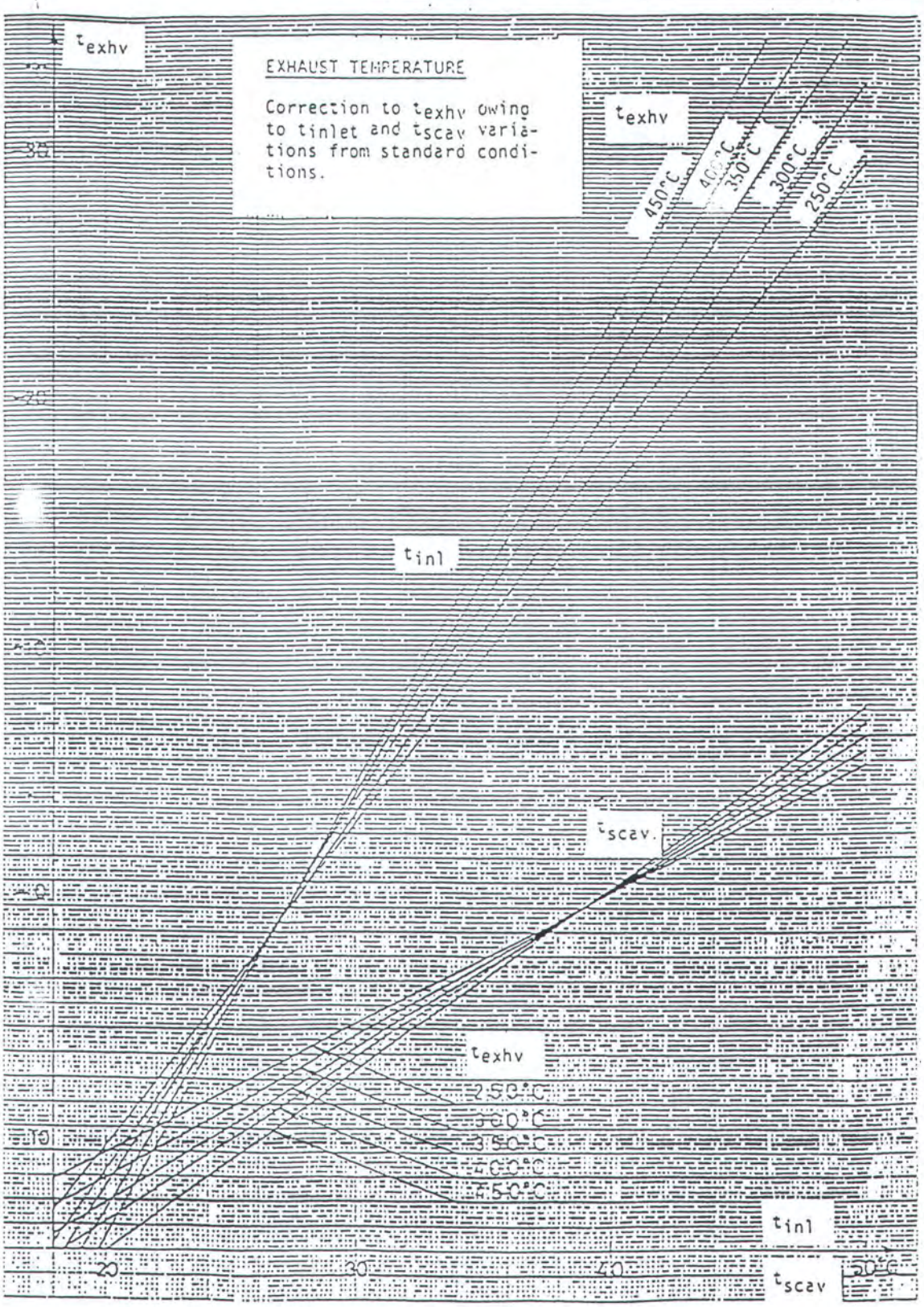
MAXIMUM PRESSURE

Correction to P_{max} owing to tinlet and t_{scav} variations from standard conditions.

KM. SARAKA JAYA NO 01 III - 24

CORRECTION TO REFERENCE CONDITIONS

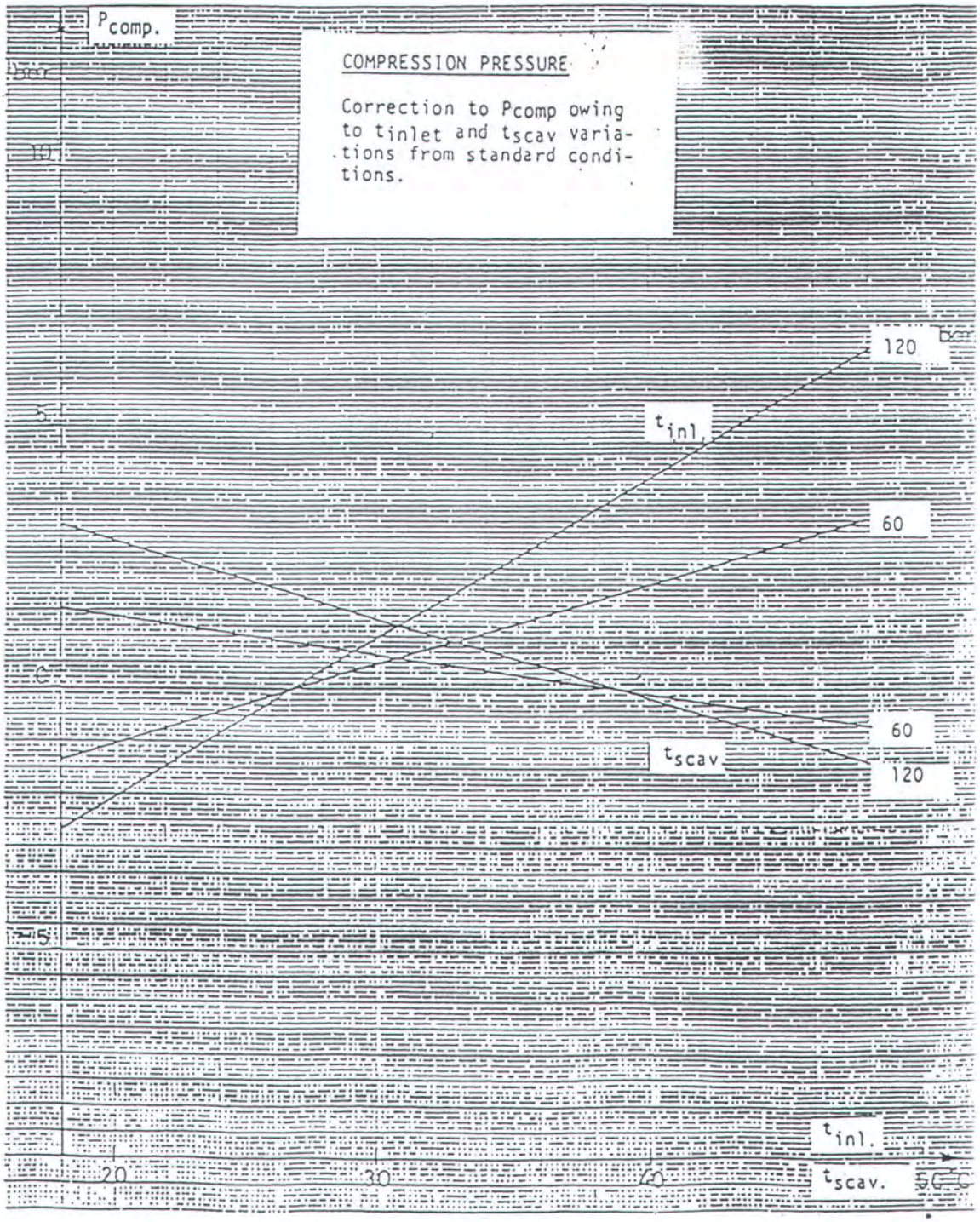
PLATE 70616



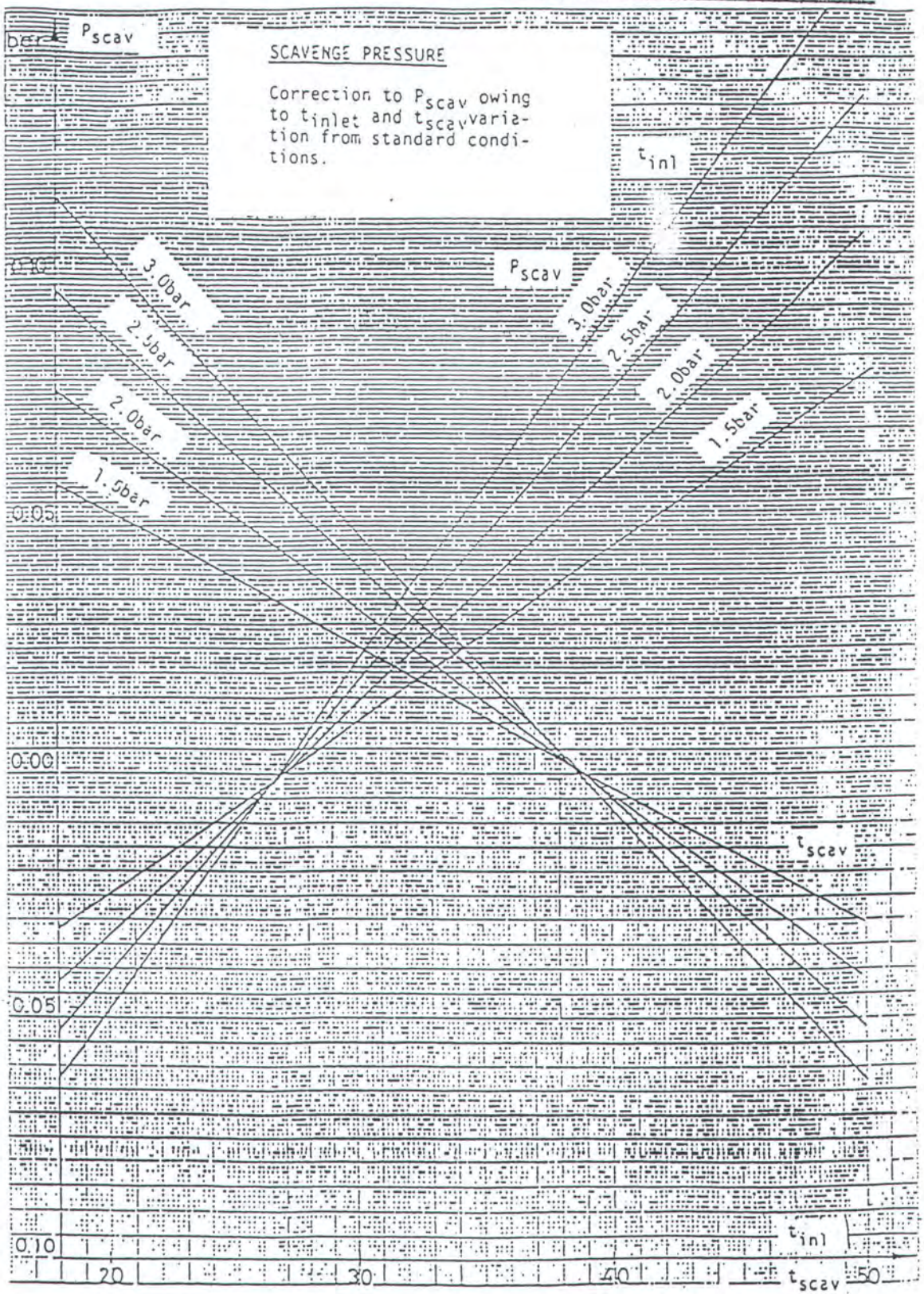
CORRECTION TO REFERENCE CONDITIONS PLATE 70617

LAMPIRAN

KM. GARUDA JAYA NIAGA III - 24



CORRECTION TO REFERENCE CONDITIONS PLATE 7561S



LAMPIRAN

PERSAMAAN POLINOMIAL DERAJAT 3 ($y = a + bx + cx^2 + dx^3$)

jumlah data : n = 6

xi	yi	xi^2	xi^3	xi^4	xi^5	xi^6	xi.yi	xi^2 yi	xi^3 yi	$(yi - y)^2$	$(yi-a-bx-cx^2-dx^3)^2$
540	143.4	291600	157464000	8.5031E+10	4.59165E+13	2.4795E+16	77436	41815440	2.26E+10	103.7003	0.005130899
1041	133.5	1083681	1128111921	1.1744E+12	1.22251E+15	1.2726E+18	138973.5	144671414	1.51E+11	17822.25	0.08250656
1570	130.8	2464900	3869893000	6.0757E+12	9.5389E+15	1.4976E+19	205356	322408920	5.06E+11	17108.64	0.202797472
1767	130.3	3122289	5517084663	9.7487E+12	1.72259E+16	3.0438E+19	230240.1	406834257	7.19E+11	16978.09	0.011176139
2070	129.9	4284900	8869743000	1.836E+13	3.8006E+16	7.8672E+19	268893	556608510	1.15E+12	16874.01	0.487678541
2269	131.4	5148361	11681631109	2.6506E+13	6.01413E+16	1.3646E+20	298146.6	676494635	1.53E+12	17265.96	0.128093441
9257	799.3	16395731	31223927693	6.195E+13	1.2618E+17	2.6184E+20	1219045.2	2148833176	4.09E+12	86152.65	0.917383052

jumlah data : n = 6

$x_{rata\text{-}rata}$ = 1542.833333

$y_{rata\text{-}rata}$ = 133.2166667

matrik penyelesaian dengan eliminasi GAUSS

6	9257	16395731	3.1224E+10	=	799.3
9257	16395731	31223927693	6.195E+13	=	1219045.2
16395731	3.1224E+10	6.19498E+13	1.2618E+17	=	2148833176
31223927693	6.195E+13	1.2618E+17	2.6184E+20	=	4.0854E+12
6	9257	16395731	3.1224E+10	=	799.3
	2113722.83	5928047382	1.3776E+13	=	-14141.4833
	5928047382	1.71465E+13	4.0857E+16	=	-35351455.8
	1.3776E+13	4.08573E+16	9.9356E+19	=	-7.416E+10
6	9257	16395731	3.1224E+10	=	799.3
	2113722.83	5928047382	1.3776E+13	=	-14141.4833
		5.2095E+11	2.2204E+15	=	4309081.51
		2.2204E+15	9.5654E+18	=	1.8009E+10
6	9257	16395731	3.1224E+10	=	799.3
	2113722.83	5928047382	1.3776E+13	=	-14141.4833
		5.2095E+11	2.2204E+15	=	4309081.51
			1.0158E+17	=	-357326184

d = -3.5177E-09

c = 2.32648E-05

b = -0.04901055

a = 163.5639609

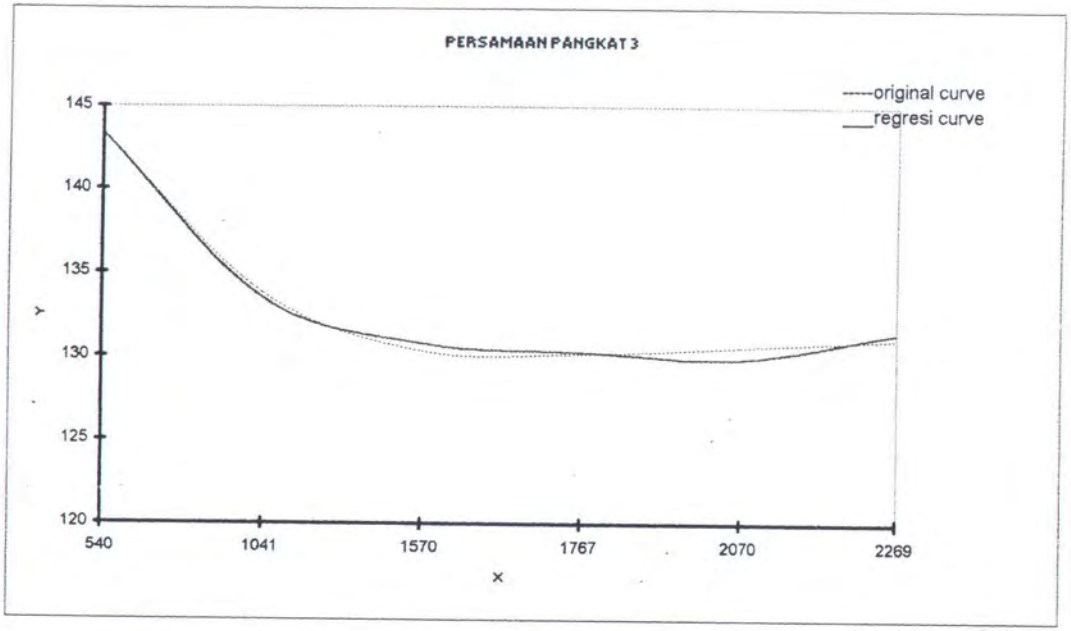
Maka :

$y = 163.5639609 + -0.049010546\ x + 2.32648E\text{-}05\ x2 + -3.5177E\text{-}09\ x3$

LAMPIRAN

Akurasi 99.99893517 % Ok !

xi	yi	y
540	143.4	143.33
1041	133.5	133.79
1570	130.8	130.35
1767	130.3	130.19
2070	129.9	130.6
2269	131.4	131.04



Spesifikasi-spesifikasi tersebut diatas di maksudkan untuk memenuhi permintaan/syarat yang diperlukan dari bahan bakar minyak di berbagai tempat di seluruh dunia, sehingga dengan demikian mencakup batasan umum.
Bahan bakar minyak Pertamina yang diperdagangkan di Indonesia sifat-sifatnya tentunya disesuaikan dengan iklim Indonesia, sehingga ada beberapa sifat yang tidak cocok dengan spesifikasi tersebut di atas.

Sifat fisis dari bahan bakar minyak Pertamina.

Seperti tercantum dalam Tabel 1, data yang disajikan merupakan typical test figures yang diambil dari hasil pemeriksaan laboratorium atas contoh dari minyak Solar, Minyak Diesel dan Minyak Bakar, sedangkan Tabel 7 memberikan perkiraan calorific value *(gross)* dalam satuan Kcal/Kg dan Kcal/l menurut besarnya specific gravity 60/60° F.

Berikut ini adalah typical test figures bahan bakar minyak Pertamina dan spesifikasi-spesifikasi tersebut di atas dengan disertai jenis bahan bakar minyak Pertamina yang sifat-sifatnya mendekati spesifikasi tersebut di atas.

TABEL : 1

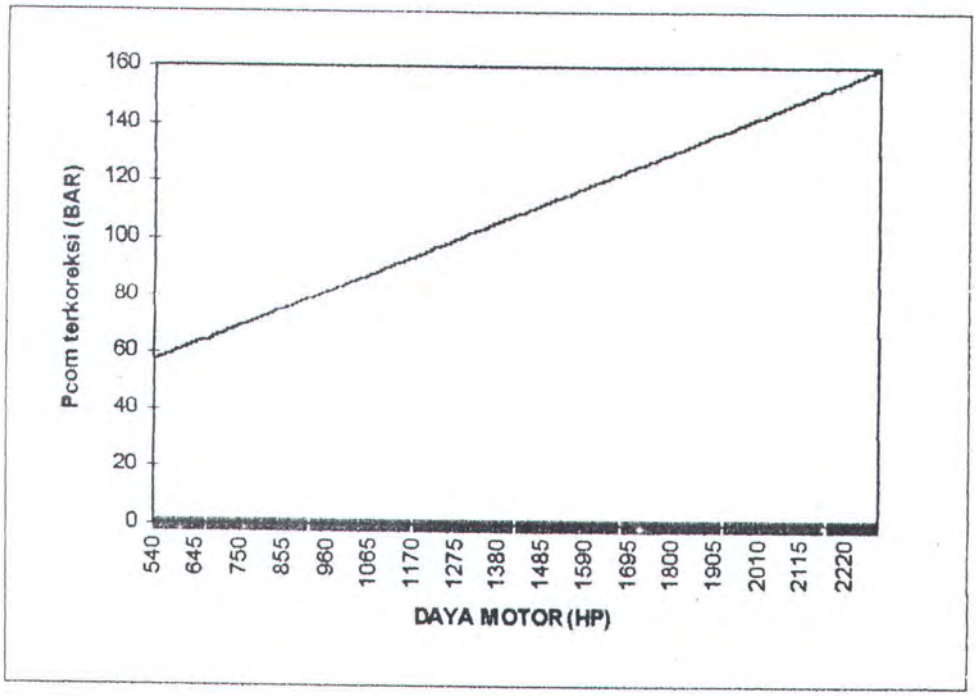
TYPICAL TEST FIGURES BAHAN BAKAR MINYAK PERTAMINA

Tests	MINYAK SOLAR	MINYAK DIESEL	MINYAK BAKAR
Strong Acid Number mg KOH/g	Nil	Nil	Nil
Flash Point PM cc °F	167	185	208
Pour Point °F	35	40	50
Sediment % wt	Nil	0.008	0.026
Specific Gravity 60/60°F	0.8373	0.8646	0.9492
Sulphur Content % wt	0.40	1.30	3.20
Viscosity Kin./100°F cS	4.50	—	—
Water Content % vol	Nil	0.02	0.10
Calorific Value, Gross kcal/ltr	9063	9270	9766
Visc. Redwood I, 100°F Second.	—	38.67	1160

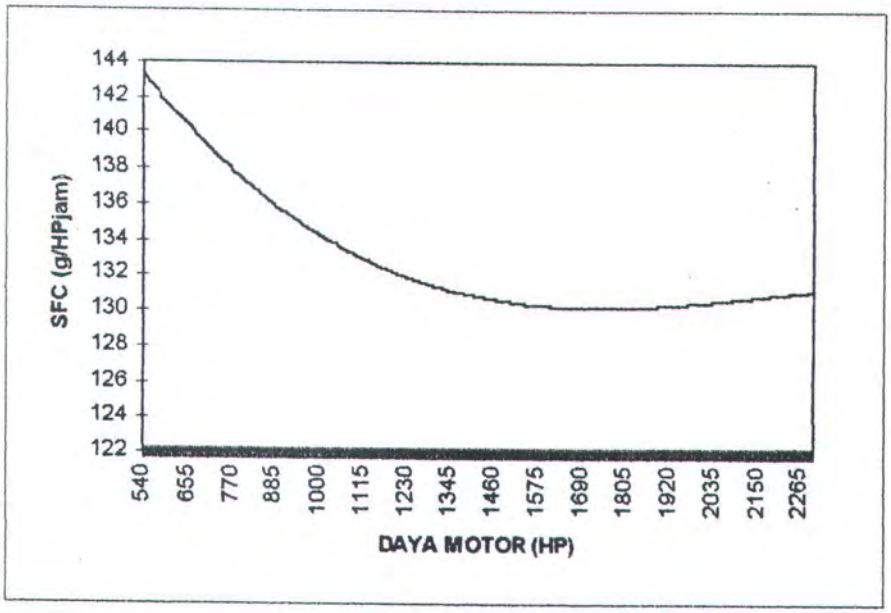
LAMPIRAN II

KURVA - KURVA MODEL

KURVA MODEL TEKANAN KOMPRESI SEBAGAI FUNGSI DAYA MOTOR

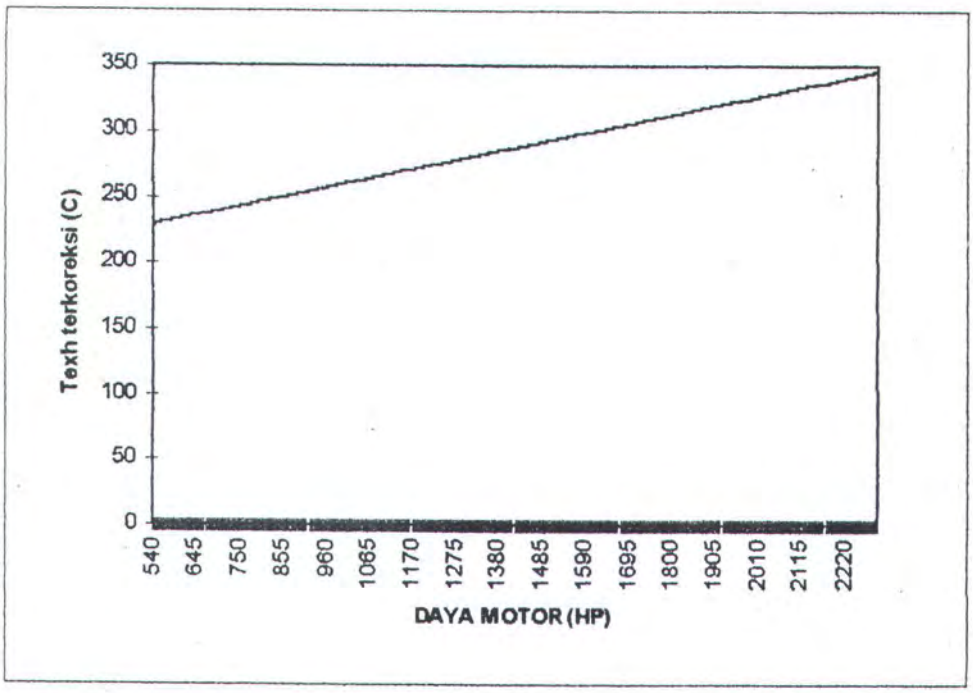


KURVA MODEL SFC SEBAGAI FUNGSI DAYA MOTOR

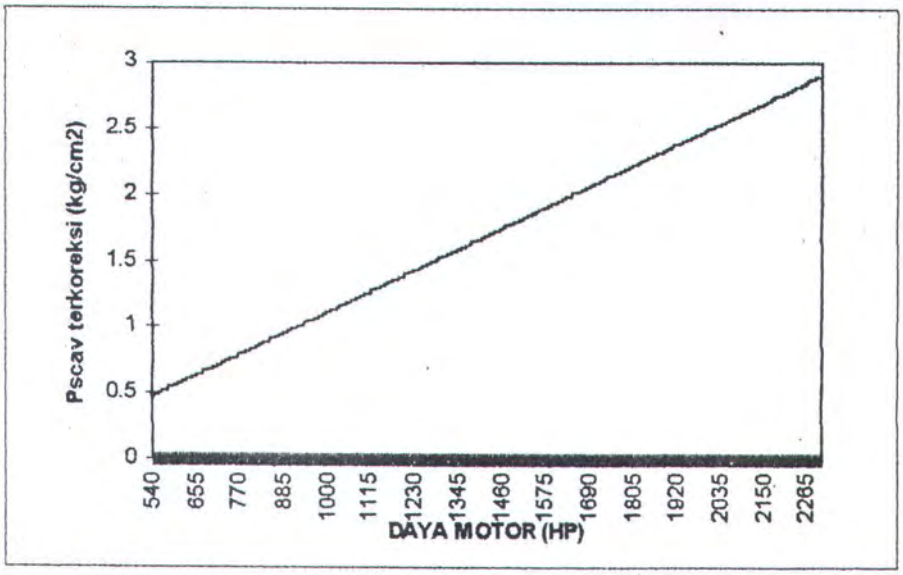


KURVA MODEL TEMPERATUR GAS BUANG

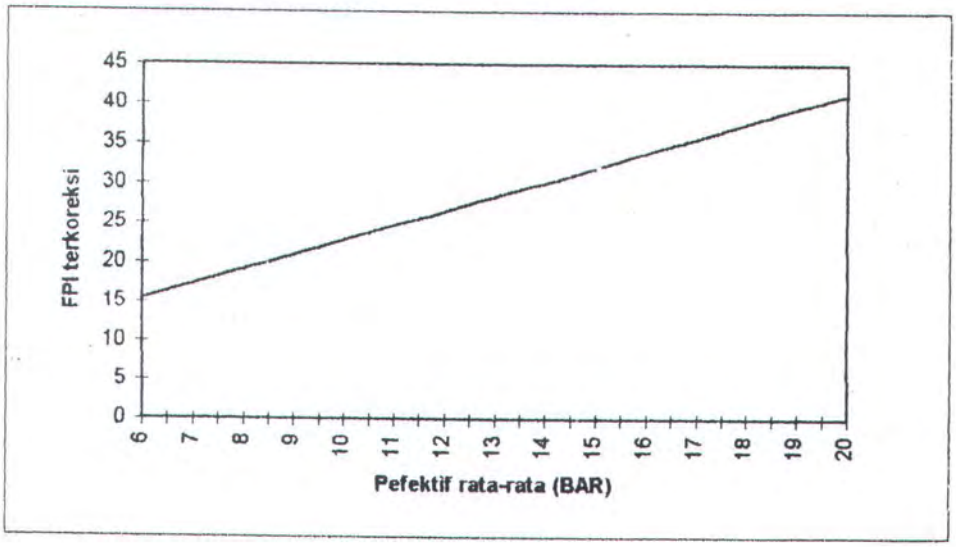
SEBAGAI FUNGSI DAYA MOTOR



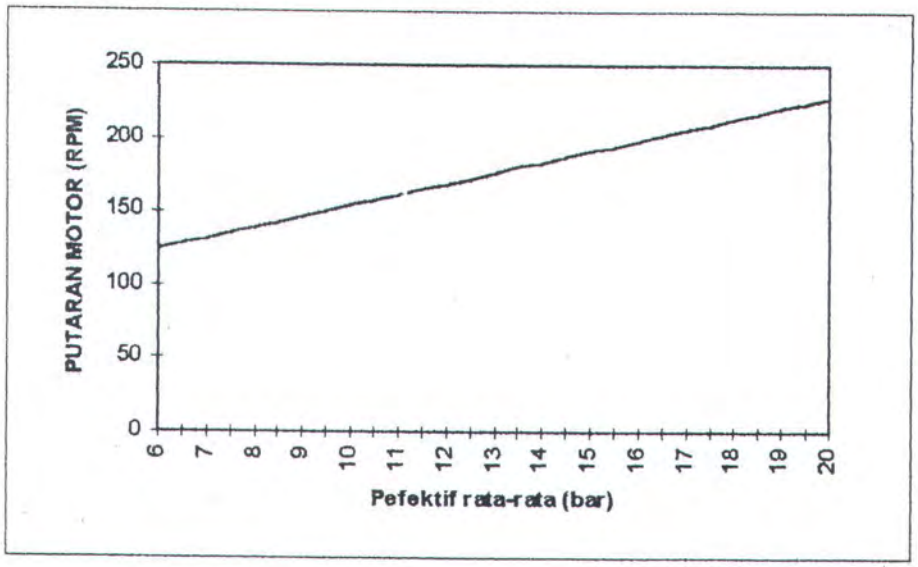
KURVA MODEL TEKANAN BILAS SEBAGAI FUNGSI DAYA MOTOR



KURVA MODEL FUEL PUMP INDEKS SEBAGAI FUNGSI TEKANAN EFEKTIF RATA - RATA

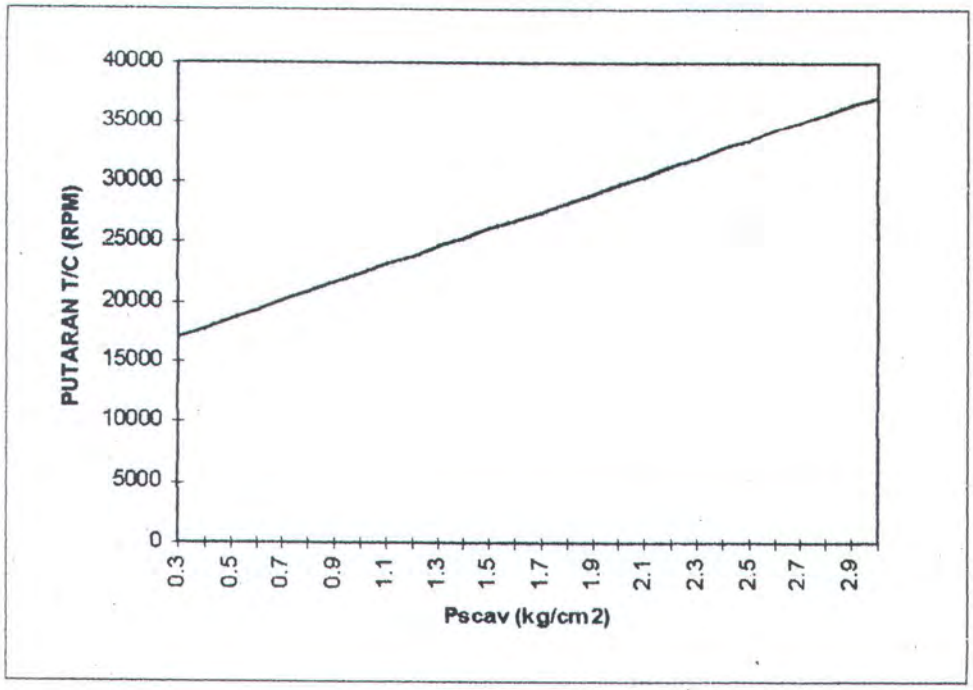


KURVA MODEL PUTARAN MOTOR SEBAGAI FUNGSI TEKANAN EFEKTIF RATA - RATA



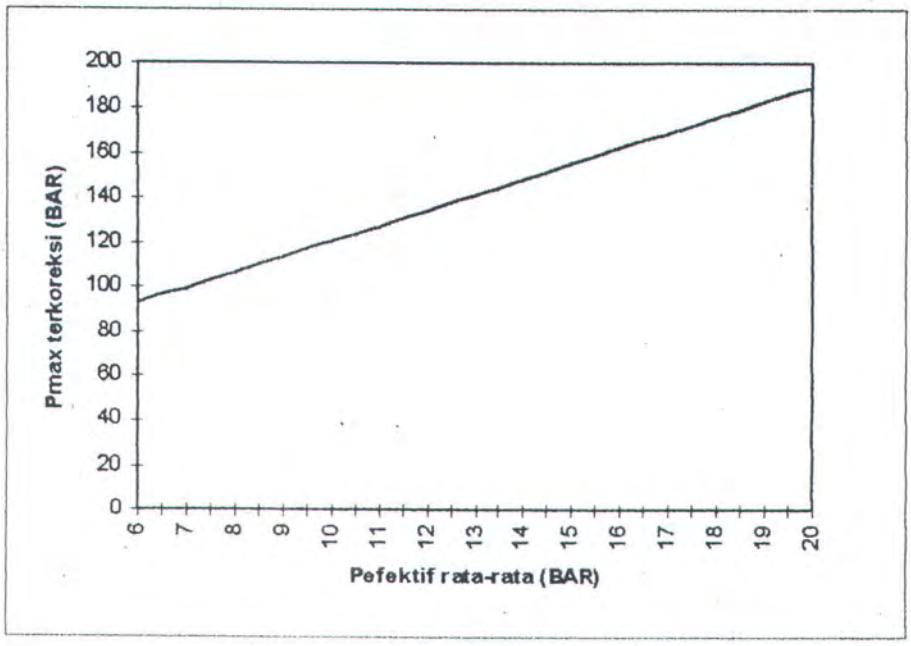
KURVA MODEL PUTARAN TURBOCHARGER SEBAGAI FUNGSI

TEKANAN UDARA BILAS



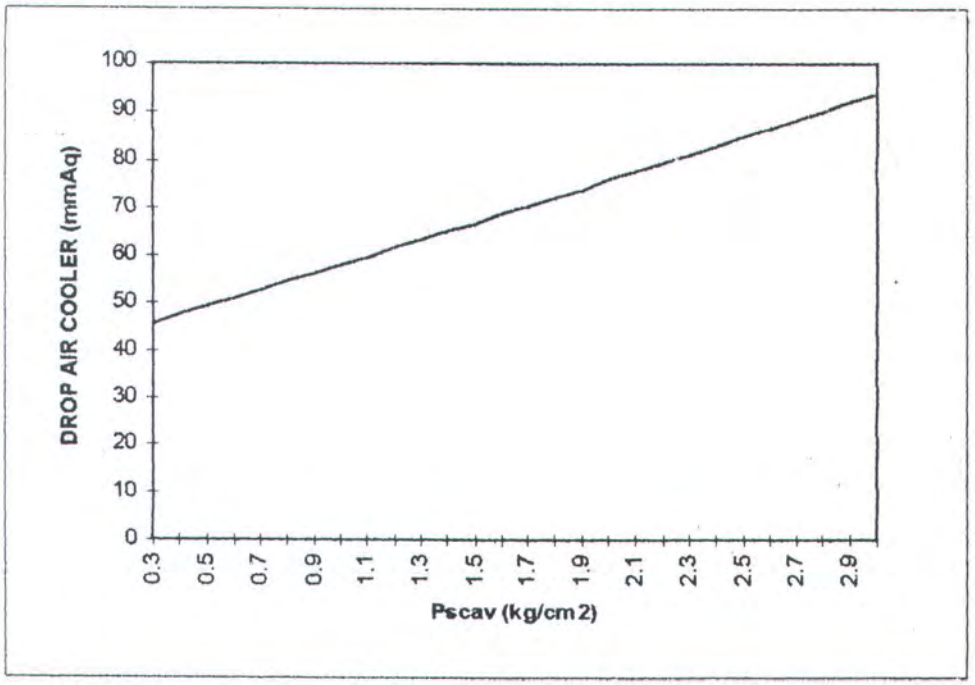
KURVA MODEL TEKANAN MAKSIMUM SEBAGAI FUNGSI TEKANAN

EFEKTIF RATA - RATA



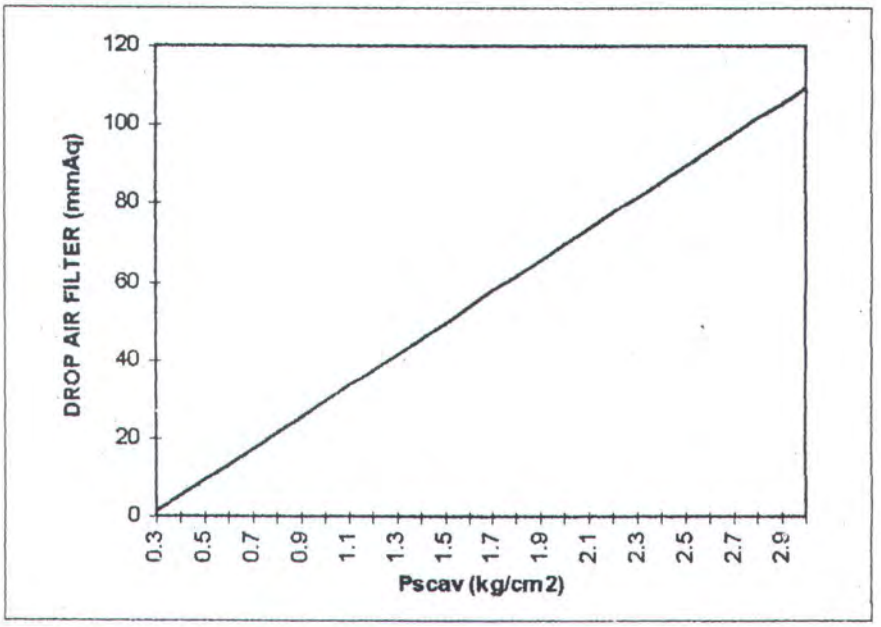
KURVA MODEL DROP TEKANAN AIR COOLER SEBAGAI FUNGSI

TEKANAN UDARA BILAS

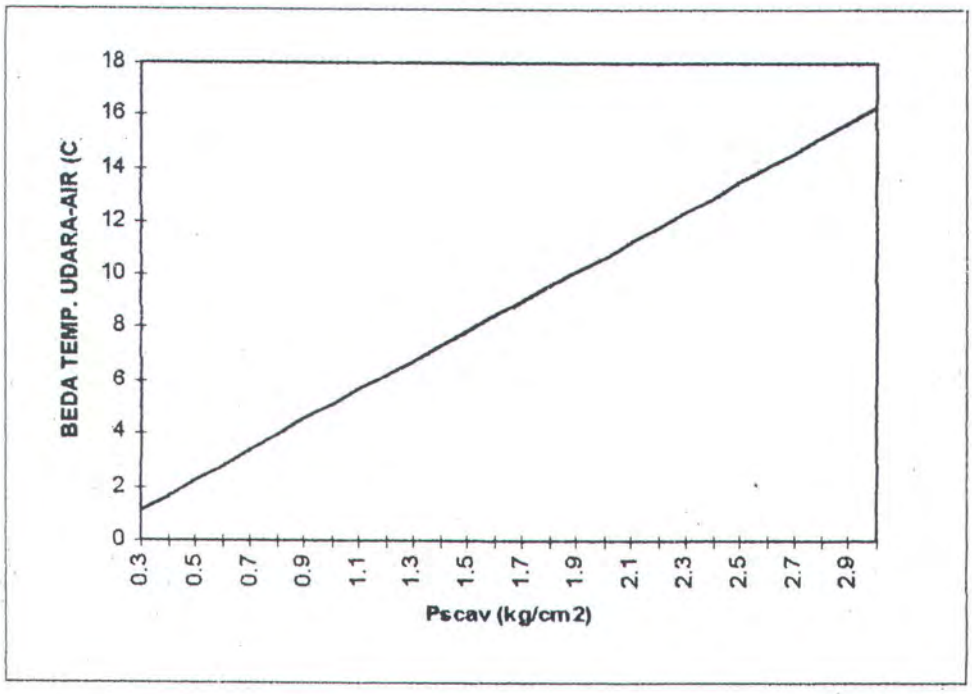


KURVA MODEL DROP TEKANAN AIR FILTER SEBAGAI FUNGSI

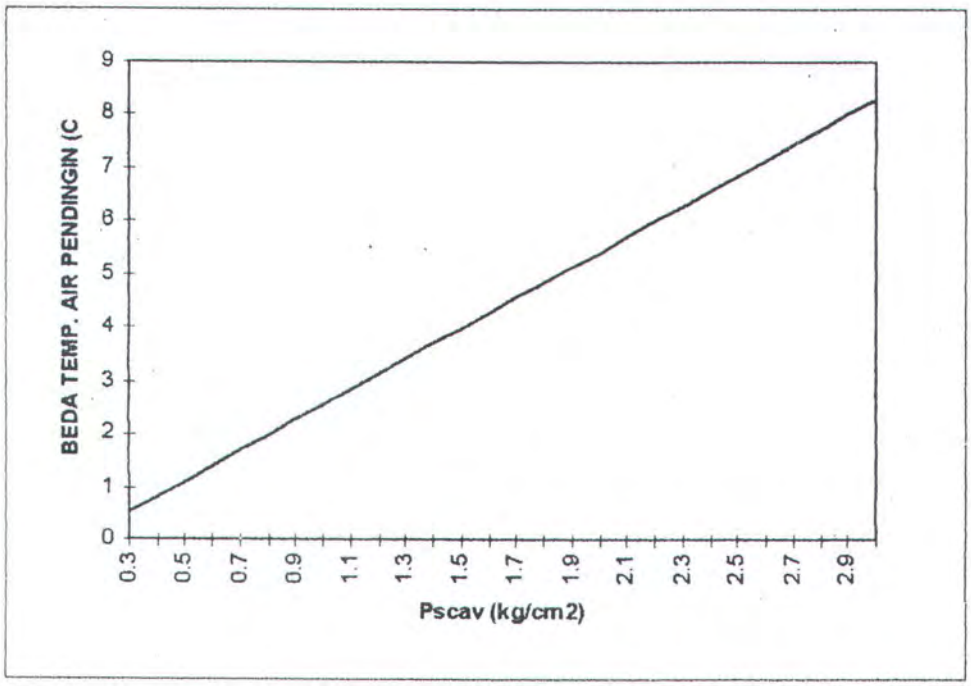
TEKANAN UDARA BILAS



KURVA MODEL PERBEDAAN TEMPERATUR UDARA KELUAR DAN AIR MASUK SEBAGAI FUNGSI TEKANAN UDARA BILAS



KURVA MODEL PERBEDAAN TEMPERATUR AIR PENDINGIN SEBAGAI FUNGSI TEKANAN UDARA BILAS



LAMPIRAN III

LISTING PROGRAM

PENERAPAN MONITORING KINERJA

```
unit hitung;
interface
uses crt,dos;
var
  FPI  : array[1..10] of real;
  texh : array[1..10] of real;
  Pcom : array[1..10] of real;

  waktu,solar,suhu,rpm,
  spec_grav,lcv,ert,pscav,tscav,tinlet,BHP,Pe,SP_G,FPI_x,
  devpcom,FPI_xrata,pcom_xrata : real;

{ mencari deviasi }
function f_deviasi(corc,model :real) : real;
FUNCTION f_k(SG_15,suhux :real) :real;
procedure P_Tem_correct(t_exh,t_inlet,t_scav :real;var c1,c2 :real);
function f_FPI_correct(SG_at15,t,fpirata:real):real;
procedure p_proses(t,kec,sg_15,fpirata :real;var f_pe,f_bhp :real);
procedure p_fs_daya(time,bb,t,kec,sg_15,lcvx,fpirata :real;
            var f_sfc,f_sfcx,f_sfc_mod:real);
procedure p_data_fpi(x,y,a :integer;var fpi_rata :real);
procedure p_data_texh(x,y,a:integer;var texh_rata :real);
procedure P_tek_komp(p_com,t_inlet,t_scav :real;var b1,b2 : real);
procedure p_data_pcom(x,y,a :integer;var pcom_rata :real);
procedure p_tek_udarabilas(p_scav,t_inlet,t_scav :real;var nd1,nd2 :real);
procedure p_data_tmax(x,y,a :integer;var p_maxrata :real;var komen:string);
procedure p_tekanan_max(p_maxrata,t_inlet,t_scav :real; var ne1,ne2 :real);

implementation
function f_deviasi(corc,model :real) : real;
var dev :real;
begin
 dev :=(corc-model)/model*100;
 f_deviasi :=dev;
end;

FUNCTION f_k(SG_15,suhux :real) :real;
var
 k,k1,k2 :real;
begin
 k1 :=1;
{ if (suhux>=0) and (suhux<=17.5) then k2 :=1;
 if (suhux>=17.6) and (suhux<=27.5) then k2 :=0.995;
 if (suhux>=27.6) and (suhux<=37.5) then k2 :=0.985;
 if (suhux>=37.6) and (suhux<=47.5) then k2 :=0.978;
 if (suhux>=47.6) and (suhux<=57.5) then k2 :=0.968;
 if (suhux>=57.6) and (suhux<=67.5) then k2 :=0.96;
```

```
 if (suhux>=67.6) and (suhux<=77.5) then k2 :=0.95;}
 {edit 27/07/96}
 if (suhux>=0) and (suhux<17.5) then k2 :=1;
 if (suhux>=17.5) and (suhux<27.5) then k2 :=0.995;
 if (suhux>=27.5) and (suhux<37.5) then k2 :=0.985;
 if (suhux>=37.5) and (suhux<47.5) then k2 :=0.978;
 if (suhux>=47.5) and (suhux<57.5) then k2 :=0.968;
 if (suhux>=57.5) and (suhux<67.5) then k2 :=0.96;
 if (suhux>=67.5) then k2 :=0.95;
 k :=(k1*k2*SG_15);
 f_k := k;
end;
function f_FPI_correct(SG_at15,t,FPIrata:real):real;
var
   FPIx,k  : real;
begin
   k:=f_k(SG_at15,t);
   FPIx := k*FPIrata;
   f_FPI_correct :=FPIx;
end;
procedure P_Tem_correct(t_exh,t_inlet,t_scav :real;var c1,c2 :real);
begin
 if (t_exh>=0)  and (t_exh<225) then
   begin
    c1 :=31.765-(1.176*t_inlet);
    c2 :=18.2-(0.467*t_scav);
   end;
 if (t_exh>=225)  and (t_exh<275) then
   begin
    c1 :=35.262-(1.306*t_inlet);
    c2 :=20.5-(0.525*t_scav);
   end;
 if (t_exh>=275)  and (t_exh<325) then
   begin
    c1 :=38.745-(1.435*t_inlet);
    c2 :=22.596-(0.579*t_scav);
   end;
 if (t_exh>=325)  and (t_exh<375) then
   begin
    c1 :=42.26-(1.565*t_inlet);
    c2 :=24.59-(0.63*t_scav);
   end;
 if (t_exh>=375)  and (t_exh<425) then
   begin
    c1 :=45.738-(1.694*t_inlet);
    c2 :=26.204-(0.671*t_scav);
   end;
```

```
 if (t_exh>=426) then
   begin
    c1 :=49.221-(1.823*t_inlet);
    c2 :=28.592-(0.733*t_scav);
   end;
end;
{ mencari tek. eff. rata2 sbg. fungsi FPI'}
procedure p_proses(t,kec,sg_15,fpirata :real;var f_pe,f_bhp :real);
var
  FPIx :real;
  SG,ppe :real;
BEGIN
 fpix :=f_FPI_CORRECT(SG_15,t,fpirata);
 f_Pe := -2.35268+(0.54149*fpix);
 f_BHP :=(0.57812 * f_pe * kec);
END;
procedure p_fs_daya(time,bb,t,kec,sg_15,lcvx,fpirata :real;
                var f_sfc,f_sfcx,f_sfc_mod:real);
var
 f_pe,f_bhp,sg :real;
begin
 p_proses(t,kec,sg_15,fpirata,f_pe,f_bhp);
 SG := SG_15*(1-0.00065*(t-15));
 f_SFC := (bb*SG*1000)/(time*f_bhp);
 f_SFCx :=f_sfc * lcvx/10200; {dalam g/bkpjm}
 { f_SFC_mod :=8.6183*0.000001*f_bhp*f_bhp-(0.02989*f_bhp)+155.668068;}
 {edit 26/07/96}
 f_sfc_mod:=8.56811*0.000001*f_bhp*f_bhp+(-0.030598*f_bhp)+157.086;
END;
procedure p_data_fpi(x,y,a :integer;var FPI_rata :real);
var i:byte;
   six_fpi : real;
begin
 six_fpi :=0;
 for i:=1 to 5 do
 BEGIN
  gotoxy(x+a,y+i);readln(fpi[i]);
  six_fpi:=six_fpi + fpi[i];
 end;
 FPI_rata := six_fpi/5;
end;
procedure p_data_texh(x,y,a :integer;var texh_rata : real);
var i:byte;
   six_texh :real;
begin
 six_texh :=0;
 for i:=1 to 5 do
```

```
  BEGIN
   gotoxy(x+a,y+i);readln(texh[i]);
   six_texh :=six_texh + texh[i];
  end;
  texh_rata := six_texh/5;
end;□□
procedure p_data_pcom(x,y,a :integer;var pcom_rata :real);
var i       :byte;
    six_pcom :real;
   komentar  :string;
begin□□□
   six_pcom :=0;
   gotoxy(x+5,y-3);write('Fungsi tekanan compressi');
   gotoxy(x,y-1);write('Masukan data Pcom  :');
   gotoxy(x,y+1);write('1. Pcom[1]  : ');
   gotoxy(x,y+2);write('2. Pcom[2]  : ');
   gotoxy(x,y+3);write('3. Pcom[3]  : ');
   gotoxy(x,y+4);write('4. Pcom[4]  : ');
   gotoxy(x,y+5);write('5. Pcom[5]  : ');
   for i:=1 to 5 do
  BEGIN
   gotoxy(x+a,y+i);{$I-}readln(pcom[i]);{$I+}
   if ioresult<>0 then exit;
   six_pcom :=six_pcom + pcom[i];
  end;
  pcom_rata := six_pcom/5;
{  if (abs(pcom_rata-pcom[1])<3) and (abs(pcom_rata-pcom[2])<3)
  and (abs(pcom_rata-pcom[3])<3)  and (abs(pcom_rata-pcom[4])<3)
  and (abs(pcom_rata-pcom[5])<3) then komentar:=' Silinder Balance '
  else komentar:=' Selisih Tekanan Kompresi antar silinder '
             +'melebihi yang diijinkan ';
  komen:=komentar;}
end;□□
procedure p_data_tmax(x,y,a :integer;var p_maxrata :real;var komen:string);
var i       :byte;
    six_pmax :real;
    pmax     :array[1..5] of real;
    komentar :string;
begin□□□
  six_pmax :=0;
   gotoxy(x,y+1);write('Pmax[1] : ');
   gotoxy(x,y+2);write('Pmax[2] : ');
   gotoxy(x,y+3);write('Pmax[3] : ');
   gotoxy(x,y+4);write('Pmax[4] : ');
   gotoxy(x,y+5);write('Pmax[5] : ');
   for i:=1 to 5 do
  BEGIN
```

```
  gotoxy(x+a,y+i);{$I-}readln(pmax[i]);{$I+}
  if ioresult<>0 then exit;
  six_pmax :=six_pmax + pmax[i];
 end;
 p_maxrata := six_pmax/5;
{ if (abs(p_maxrata-pmax[1])<3) and (abs(p_maxrata-pmax[2])<3)
 and (abs(p_maxrata-pmax[3])<3)  and (abs(p_maxrata-pmax[4])<3)
 and (abs(p_maxrata-pmax[5])<3) then komentar:=' Silinder Balance '
 else komentar:=' Selisih Tekanan Kompresi antar silinder '
          +'melebihi yang diijinkan ';}
 komen:='';{komentar;}
end;□□
procedure P_tek_komp(p_com,t_inlet,t_scav :real;var b1,b2 : real);
begin
 if (p_com>=0) and (p_com<65) then
 begin
  b1 :=-4.104+(0.152*t_inlet);
  b2 := 2.886-(0.074*t_scav);
 end;
 if (p_com>=65) and (p_com<75) then
 begin
  b1 :=-4.752+(0.176*t_inlet);
  b2 := 3.198-(0.082*t_scav);
 end;
 if (p_com>=75) and (p_com<85) then
 begin
  b1 :=-5.67+(0.21*t_inlet);
  b2 := 3.705-(0.095*t_scav);
 end;
 if (p_com>=85) and (p_com<95) then
 begin
  b1 :=-6.291+(0.233*t_inlet);
  b2 := 4.212-(0.108*t_scav);
 end;
 if (p_com>=95) and (p_com<105) then
 begin
  b1 :=-6.939+(0.257*t_inlet);
  b2 := 4.719-(0.121*t_scav);
 end;
 if (p_com>=105) and (p_com<115) then
 begin
  b1 :=-7.587+(0.281*t_inlet);
  b2 := 5.148-(0.132*t_scav);
 end;
 if (p_com>=115) and (p_com<125) then
 begin
  b1 :=-8.37+(0.31*t_inlet);
```

```
   b2 := 5.733-(0.147*t_scav);
  end;
 end;
 procedure p_tek_udarabilas(p_scav,t_inlet,t_scav :real;var nd1,nd2 :real);
 begin
  if (p_scav>=0) and (p_scav<1.25) then
  begin
   nd1 := -0.0623+(0.0023*t_inlet);
   nd2 := 0.0728-(0.00187*t_scav);
  end;
  if (p_scav>=1.25) and (p_scav<1.75) then
  begin
   nd1 := -0.0935+(0.0035*t_inlet);
   nd2 := 0.1092-(0.0028*t_scav);
  end;
  if (p_scav>=1.75) and (p_scav<2.25) then
  begin
   nd1 := -0.1267+(0.0047*t_inlet);
   nd2 := 0.143-(0.0037*t_scav);
  end;
  if (p_scav>=2.25) and (p_scav<2.75) then
  begin
   nd1 := -0.16+(0.0059*t_inlet);
   nd2 := 0.182-(0.0047*t_scav);
  end;
  if (p_scav>=2.75) then
  begin
   nd1 := -0.193+(0.0072*t_inlet);
   nd2 := 0.2132-(0.0055*t_scav);
  end;
 { if (p_scav>=1.25) and (p_scav<=1.25) then
  begin
   nd1 := -0.0623+(0.0023*t_inlet);
   nd2 := 0.0728-(0.00187*t_scav);
  end;}
 end;
 procedure p_tekanan_max(p_maxrata,t_inlet,t_scav :real; var ne1,ne2 .real);
 begin
  if (p_maxrata>=0) and (p_maxrata<60) then
  begin
   ne1:=-2.285+(0.085*t_inlet);
   ne2:=1.262-(0.032*t_scav);
  end;
  if (p_maxrata>=60) and (p_maxrata<90) then
  begin
   ne1:=-3.531+(0.131*t_inlet);
   ne2:=2.065-(0.053*t_scav);
```

```
  end;
  if (p_maxrata>=90) and (p_maxrata<113) then
  begin
   ne1:=-4.985+(0.185*t_inlet);
   ne2:=2.982-(0.076*t_scav);
  end;
  if (p_maxrata>=113) and (p_maxrata<128) then
  begin
   ne1:=-5.712+(0.212*t_inlet);
   ne2:=3.441-(0.088*t_scav);
  end;
  if (p_maxrata>=128) and (p_maxrata<143) then
  begin
   ne1:=-6.646+(0.246*t_inlet);
   ne2:=3.785-(0.097*t_scav);
  end;
  if (p_maxrata>=143) and (p_maxrata<149) then
  begin
   ne1:=-6.792+(0.252*t_inlet);
   ne2:=4.244-(0.109*t_scav);
  end;
  if (p_maxrata>=149) then
  begin
   ne1:=-7.034+(0.261*t_inlet);
   ne2:=4.474-(0.115*t_scav);
  end;
end;
end.
```

```
deviasi :=f_deviasi(pcomx,pcomx_model);
gotoxy(x,y+6);write('Hasil Pengukuran :');
gotoxy(x,y+7);writeln('1. Nilai Pcom  (bar)    : ',pcomx:5:5);
gotoxy(x,y+8);writeln('2. Nilai Pcom model (bar): ',pcomx_model:5:5);
gotoxy(x,y+9);writeln('3. Nilai Deviasi  (%)   : ',deviasi:5:5);
gotoxy(x,y+11);write('Komentar :');
if (deviasi>=-15) then
begin
 gotoxy(x,y+12);write(' masih diijinkan ');
end
else
begin
{    gotoxy(x,y+12);writeln('1. tekanan udara bilas terlalu rendah, periksa
kondisi ');
 gotoxy(x,y+12);writeln(' tekanan udara bilas terlalu rendah ');
 gotoxy(x,y+12);writeln(' tekanan udara bilas terlalu rendah ');
 gotoxy(x,y+12);writeln(' tekanan udara bilas terlalu rendah ');
 gotoxy(x,y+12);writeln(' tekanan udara bilas terlalu rendah ');
 gotoxy(x,y+12);writeln(' tekanan udara bilas terlalu rendah ');}
 assign(berkas,'komon.txt');
 {$I-}reset(berkas);{$I+}
 if ioresult<>0 then exit;
 i:=0;
 repeat
  readln(berkas,dta);
  gotoxy(x,y+13+i);writeln(dta);
  inc(i);
 until eof(berkas);
 close(berkas);
end ;
{ gotoxy(x,y+11);write('Kondisi silinder :');
gotoxy(x,y+12);writeln(komt);}
devpcom :=deviasi;
gotoxy(x,y+15);write(' Nilai Deviasi baru disimpan .... (y/t) ! ');
repeat gotoxy(x+45,y+15);clreol;readln(khar);
until (upcase(khar)='Y') OR (upcase(khar)='T');
if upcase(khar) ='Y' then
begin
 assign(berkas,'fil02.dat');
 {$I-}reset(berkas);{$I+}
 if Ioresult<>0 then rewrite(berkas)
  else  append(berkas);
 writeln(berkas,deviasi:5:2);
 close(berkas);
end;
```

```
 deviasi,sfc,sfcx,sfc_model :real;
begin
 clrscr;
 p_fs_daya(waktu,solar,suhu,rpm,spec_grav,lcv,fpi_xrata,sfc,sfcx,sfc_model);
 deviasi :=f_deviasi(sfcx,sfc_model);
 gotoxy(x,y-1);write('Hasil Perhitungan :');
 gotoxy(x,y);writeln('1. Nilai Pe      (bar)   :  ',pe:5:5);
 gotoxy(x,y+1);writeln('2. Nilai BHP     (HP)    :  ',bhp:5:5);
 gotoxy(x,y+2);writeln('3. Nilai SFC',chr(39),'    (g/HPjam):  ',sfcx:5:5);
     gotoxy(x,y+3);writeln('4.      Nilai      SFC',chr(39),'model      (g/HPjam):
',sfc_model:5:5);
 gotoxy(x,y+4);writeln('5. Nilai Deviasi  (%)     :  ',deviasi:5:5);
 gotoxy(x,y+10);write(' Data baru disimpan .... (y/t) ! ');
 repeat gotoxy(x+35,y+10);clreol;readln(khar);
 until (upcase(khar)='Y') OR (upcase(khar)='T');
 if upcase(khar) ='Y' then
 begin
  assign(berkas,'fil01.dat');
  {$I-}reset(berkas);{$I+}
  if Ioresult<>0 then rewrite(berkas)
   else
  append(berkas);
  writeln(berkas,deviasi:5:2);
  close(berkas);
 end;
{ kursor_off;textcolor(red+blink);
 gotoxy(35,24);write('tekan sembarang tombol...!');
 repeat until keypressed or (readkey=#13);kursor_on;
 textcolor(lightgray);}
 {grapik(3,black,450,100,100,300,'fil01.dat','');}
end;
procedure p_ftekanan(x,y,a,c :byte);   {Pcompression}
var
 i:byte;
 pcomrata,pcomx,texrata,pcomx_model :real;
 deviasi,nb1,nb2 :real;
 komt,dta:string;
begin
 clrscr;
 p_data_pcom(x,y,a,pcomrata);
 p_tek_komp(pcomrata,tinlet,tscav,nb1,nb2);
 Pcomx :=pcomrata+nb1+nb2;
{ pcomx_model :=20.9458+(0.06063*bhp);}
{ edit 26/07/96 }
 pcomx_model :=25.75253+(0.05798*bhp);
```

```
  gotoxy(x+a,y+i);{$I-}readln(pmax[i]);{$I+}
  if ioresult<>0 then exit;
  six_pmax :=six_pmax + pmax[i];
 end;
 p_maxrata := six_pmax/5;
{ if (abs(p_maxrata-pmax[1])<3) and (abs(p_maxrata-pmax[2])<3)
 and (abs(p_maxrata-pmax[3])<3)  and (abs(p_maxrata-pmax[4])<3)
 and (abs(p_maxrata-pmax[5])<3) then komentar:=' Silinder Balance '
 else komentar:=' Selisih Tekanan Kompresi antar silinder '
          +'melebihi yang diijinkan ';}
 komen:='';{komentar;}
end;□□
procedure P_tek_komp(p_com,t_inlet,t_scav :real;var b1,b2 : real);
begin
 if (p_com>=0) and (p_com<65) then
 begin
  b1 :=-4.104+(0.152*t_inlet);
  b2 := 2.886-(0.074*t_scav);
 end;
 if (p_com>=65) and (p_com<75) then
 begin
  b1 :=-4.752+(0.176*t_inlet);
  b2 := 3.198-(0.082*t_scav);
 end;
 if (p_com>=75) and (p_com<85) then
 begin
  b1 :=-5.67+(0.21*t_inlet);
  b2 := 3.705-(0.095*t_scav);
 end;
 if (p_com>=85) and (p_com<95) then
 begin
  b1 :=-6.291+(0.233*t_inlet);
  b2 := 4.212-(0.108*t_scav);
 end;
 if (p_com>=95) and (p_com<105) then
 begin
  b1 :=-6.939+(0.257*t_inlet);
  b2 := 4.719-(0.121*t_scav);
 end;
 if (p_com>=105) and (p_com<115) then
 begin
  b1 :=-7.587+(0.281*t_inlet);
  b2 := 5.148-(0.132*t_scav);
 end;
 if (p_com>=115) and (p_com<125) then
 begin
  b1 :=-8.37+(0.31*t_inlet);
```

```
 BEGIN
  gotoxy(x+a,y+i);readln(texh[i]);
  six_texh :=six_texh + texh[i];
 end;
 texh_rata := six_texh/5;
end;□□
procedure p_data_pcom(x,y,a :integer;var pcom_rata :real);
var i       :byte;
   six_pcom :real;
  komentar  :string;
begin□□□
  six_pcom :=0;
  gotoxy(x+5,y-3);write('Fungsi tekanan compressi');
  gotoxy(x,y-1);write('Masukan data Pcom  :');
  gotoxy(x,y+1);write('1. Pcom[1]  : ');
  gotoxy(x,y+2);write('2. Pcom[2]  : ');
  gotoxy(x,y+3);write('3. Pcom[3]  : ');
  gotoxy(x,y+4);write('4. Pcom[4]  : ');
  gotoxy(x,y+5);write('5. Pcom[5]  : ');
  for i:=1 to 5 do
 BEGIN
  gotoxy(x+a,y+i);{$I-}readln(pcom[i]);{$I+}
  if ioresult<>0 then exit;
  six_pcom :=six_pcom + pcom[i];
 end;
 pcom_rata := six_pcom/5;
{ if (abs(pcom_rata-pcom[1])<3) and (abs(pcom_rata-pcom[2])<3)
 and (abs(pcom_rata-pcom[3])<3)  and (abs(pcom_rata-pcom[4])<3)
 and (abs(pcom_rata-pcom[5])<3) then komentar:=' Silinder Balance '
 else komentar:=' Selisih Tekanan Kompresi antar silinder '
           +'melebihi yang diijinkan ';
 komen:=komentar;}
end;□□
procedure p_data_tmax(x,y,a :integer;var p_maxrata :real;var komen:string);
var i       :byte;
   six_pmax :real;
   pmax     :array[1..5] of real;
   komentar :string;
begin□□□
 six_pmax :=0;
  gotoxy(x,y+1);write('Pmax[1] : ');
  gotoxy(x,y+2);write('Pmax[2] : ');
  gotoxy(x,y+3);write('Pmax[3] : ');
  gotoxy(x,y+4);write('Pmax[4] : ');
  gotoxy(x,y+5);write('Pmax[5] : ');
  for i:=1 to 5 do
 BEGIN
```

```
uses crt,dos,graph,hitung;
var
  i    : byte;
   nilai,nilaik :real;
   berkas :text;
   namafile :string;
   khar :char;
PROCEDURE Kursor_On;
VAR reg:registers;
BEGIN
  reg.ah:=$1; reg.cx:=$707; intr($10,reg);
END;

PROCEDURE Kursor_Off;
VAR reg:registers;
BEGIN
  reg.ah:=$1; reg.ch:=$32; intr($10,reg);
END;
procedure dataPcom;
begin
clrscr;
assign(berkas,'pcom.dat');
{$I+}rewrite(berkas);{$I-}
for i:=1 to 5 do
begin
 readln(pcom[i]);
 writeln(berkas,i,pcom[i]:8:3);
end;
close(berkas);
end;
function kompress(dev :real) :boolean;
begin
  if (dev<=-15) then kompress :=true else
  kompress:=false;
end;
procedure pmax(dev :real);
begin
  if (dev>=15) then
    begin
     writeln;
     writeln('1. injeksi terlalu awal, lead pompa bahan bakar perlu dikurangi ');
     writeln('2. bertambahnya tahanan kapal akibat hull fauling atau damaged
propeller');
    end
    else
```

```
{ kursor_off;textcolor(red+blink);
 gotoxy(35,24);write('tekan sembarang tombol...!');
 repeat until keypressed or (readkey=#13);kursor_on;
 textcolor(lightgray);}
{ grapik(3,black,450,100,100,300,'fil03.dat',");}
end;
procedure p_ftekananbilas(x,y,a,c :byte); {Pscavenging}
var
 d1,d2,pscav_correct,pscav_model,deviasi :real;
begin
 clrscr;
 gotoxy(x+3,y-2);write(' Fungsi tekanan udara bilas ');
 gotoxy(x,y);write('1. Nilai Pscav corrected (kg/cm',chr(253),') : ');
 gotoxy(x,y+1);write('2. Nilai Pscav model    (kg/cm',chr(253),') : ');
 gotoxy(x,2+y);write('3. Nilai Deviasi    (%)        : ');
 p_tek_udarabilas(pscav,tinlet,tscav,d1,d2);
 pscav_correct :=pscav+d1+d2;
{  pscav_model :=-0.3705+(0.00144*bhp);}
 {edit 26/07/96}
 pscav_model :=-0.2734+(0.00138*bhp);
 deviasi:=f_deviasi(pscav_correct,pscav_model);
 gotoxy(x+35,y);writeln(pscav_correct:5:5);
 gotoxy(x+35,1+y);writeln(pscav_model:5:5);
 gotoxy(x+35,2+y);writeln(deviasi:5:5);
 gotoxy(x,y+10);write(' Data baru disimpan .... (y/t) ! ');
 repeat gotoxy(x+35,y+10);clreol;readln(khar);
 until (upcase(khar)='Y') OR (upcase(khar)='T');
 if upcase(khar) ='Y' then
 begin
  assign(berkas,'fil04.dat');
  {$I-}reset(berkas);{$I+}
  if Ioresult<>0 then rewrite(berkas)
   else  append(berkas);
  writeln(berkas,deviasi:5:2);
  close(berkas);
 end;
{  kursor_off;textcolor(red+blink);
 gotoxy(35,24);write('tekan sembarang tombol...!');
 repeat until keypressed or (readkey=#13);kursor_on;
 textcolor(lightgray);}
 { grapik(3,black,450,100,100,300,'fil04.dat',");}
end;
procedure p_ftekananmax(x,y,a,c :byte); {Pmaximum}
var
  deviasi,pmax_corrected,e1,e2,pmaxrata :real;
```

```
    line(i2,round((getmaxy/2+scale2)-(datamax*skala+20)),i2,
    round((getmaxy/2+scale2)+(datamax*skala+20)));
   end;}
   i1   := 120;
   hit1  :=(getmaxy/2+scale2)-skala*data[1];
   for i:=1 to m do
   begin
    hitung :=(getmaxy/2+scale2)-data[i]*(skala);
    i2    := round(scale1/m)*(i-1)+120;
    {if i2 >= 470 then i2:=470;}
    y1 :=round(hit1);
    y2 :=round(hitung);
    line(i1,round(hit1),i2,round(hitung));
    settextjustify(1,2);
    outtextxy(i2,round(hitung),chr(223));
    hit1 := hitung; i1 := i2;
   end;
   i1   := round(scale1/m)*(m-1)+120;
   str(data[1]:10:2,ht);
   settextstyle(smallfont,horizdir,4);
{   outtextxy(i1,round(getmaxy-40),ht);}
   for i:=1 to m do
   begin
    i2    := round(scale1/m)*(i-1)+120;
    str(i:10,ht);
    settextjustify(righttext,righttext);
    settextstyle(smallfont,horizdir,5);
    outtextxy(i2,round(getmaxy-40),ht);
    hit1 := hitung; i1 := i2;
   end;
end;

procedure masukan_data;
begin
clrscr;
assign(berkas,'file1.dat');
{$I-}reset(berkas);{$I+}
if ioresult<>0 then rewrite(berkas) else append(berkas);
gotoxy(12,1);write(' Masukan data      ');
gotoxy(10,3);write(' 1.  Lama pengukuran (jam)          : ');
gotoxy(10,4);write(' 2.  Jumlah bahan bakar (liter)     : ');
gotoxy(10,5);write(' 3.  Suhu bahan bakar (',CHR(248),'C)          : ');
gotoxy(10,6);write(' 4.  Engine revolution (rpm)        : ');
gotoxy(10,7);write(' 5.  Spec. Grav. bb at 15 ',CHR(248),'C (g/cm3)   : ');
gotoxy(10,8);write(' 6.  Lower calorific value/LCV (kcal/kg) : ');
```

```
{ kursor_off;textcolor(red+blink);
  gotoxy(35,24);write('tekan sembarang tombol...!');
  repeat until keypressed or (readkey=#13);kursor_on;
  textcolor(lightgray);}
{ grapik(3,black,450,100,100,300,'fil02.dat',''); }
end;
procedure p_ftemperatur(x,y,a,c:byte); {Texhaust}
var
   nc1,nc2,texrata,texhmodel :real;
   deviasi,texh : real;
begin
 clrscr;
 gotoxy(x+8,y-3);write(' Fungsi temperatur ');
 gotoxy(x,y);write('Masukan data :');
  gotoxy(x,y+1);write('1. tex1 (',CHR(248),'C) : ');
  gotoxy(x,y+2);write('2. tex2 (',CHR(248),'C) : ');
  gotoxy(x,y+3);write('3. tex3 (',CHR(248),'C) : ');
  gotoxy(x,y+4);write('4. tex4 (',CHR(248),'C) : ');
  gotoxy(x,y+5);write('5. tex5 (',CHR(248),'C) : ');
 gotoxy(x,y+7);write('Hasil Perhitungan ');
 gotoxy(x,y+8);write('1. Nilai Texh Corrected (',CHR(248),'C) : ');
 gotoxy(x,y+9);write('2. Nilai Texh model    (',CHR(248),'C) : ');
 gotoxy(x,y+10);write('3. Nilai Deviasi      (%)   : ');
 p_data_texh(x,y,a,texrata);
 p_tem_correct(texrata,tinlet,tscav,nc1,nc2);
 texh:=texrata+nc1+nc2;
 gotoxy(x+35,y+8);writeln(texh:5:5);
{ texhmodel := 199.60055+(0.06719*bhp);}
{edit 26/07/96}
 texhmodel := 194.61328+(0.06539*bhp);
 deviasi :=f_deviasi(texh,texhmodel);
 gotoxy(x+35,y+9);writeln(texhmodel:5:5);
 gotoxy(x+35,y+10);writeln(deviasi:5:5);
 gotoxy(x,y+15);write(' Data baru disimpan .... (y/t) ! ');
 repeat gotoxy(x+35,y+15);clreol;readln(khar);
 until (upcase(khar)='Y') OR (upcase(khar)='T');
 if upcase(khar) ='Y' then
 begin
   assign(berkas,'fil03.dat');
   {$I-}reset(berkas);{$I+}
   if Ioresult<>0 then rewrite(berkas)
    else   append(berkas);
   writeln(berkas,deviasi:5:2);
 close(berkas);
 end;
```

```
                line(120-round(scale1/m),round(y),round(120+(scale1/m)*(m-
1))+20,round(y));
  outtextxy(220,50,pesan);
  range := datamax/m;
  tit1  := 0;
  skala := (getmaxy-scale)/((datamax+abs(datamin))*2);
  for i:=1 to 1 do
  begin
   i2    := 120+round(scale1/m)*(i-1);
   line(i2,round((getmaxy/2+scale2)-((datamax+abs(datamin))*skala+20)),i2,
   round((getmaxy/2+scale2)+((datamax+abs(datamin))*skala+20)));
  end;
{  for i:=1 to m do
  begin
   i2    := 120+round(scale1/m)*(i-1);
   line(i2,round((getmaxy/2+scale2)-(datamax*skala+20)),i2,
   round((getmaxy/2+scale2)+(datamax*skala+20)));
  end;}
  i1    := 120;
  hit1  :=(getmaxy/2+scale2)-skala*data[1];
  for i:=1 to m do
  begin
   hitung :=(getmaxy/2+scale2)-data[i]*(skala);
   i2    := round(scale1/m)*(i-1)+120;
   {if i2 >= 470 then i2:=470;}
   y1 :=round(hit1);
   y2 :=round(hitung);
   line(i1,round(hit1),i2,round(hitung));
   settextjustify(1,2);
   outtextxy(i2,round(hitung),chr(223));
   hit1 := hitung; i1 := i2;
  end;
  i1    := round(scale1/m)*(m-1)+120;
  str(data[1]:10:2,ht);
  settextstyle(smallfont,horizdir,4);
{  outtextxy(i1,round(getmaxy-40),ht);}
  for i:=1 to m do
  begin
   i2    := round(scale1/m)*(i-1)+120;
   str(i:10,ht);
   settextjustify(righttext,righttext);
   settextstyle(smallfont,horizdir,5);
   outtextxy(i2,round(getmaxy-40),ht);
   hit1 := hitung; i1 := i2;
  end;
```

DEPARTEMEN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Telp. 5947254, 5947274
Pesw. 262, 5948757, Fax. 5947254

DAFTAR KEMAJUAN TUGAS AKHIR (NE. 1701)

Judul karya tulis : PENERAPAN SISTEM MONITORING KINERJA MOTOR DIESEL PENGGERAK UTAMA KAPAL CARAKA JAYA NIAGA III-24

Dosen pembimbing : Ir.Hari Prastowo,MSc
Nama : Susnadi Eswandono
Nomor Pokok : 4914200294
Tanggal diberikan tugas : Oktober 1995
Tanggal diselesaikan tugas : Juli 1996

No	TGL	KEMAJUAN	T.T. DOSEN	No	TGL	KEMAJUAN	T.T DOSEN
1.	12/96 /2	Introduction & Konsultasi I	hp.-	10			
2	11/96 /3	Konsultasi Bab I	hp.-	11			
3	7/96 /5	Konsultasi Bab I & II	hp.-	12			
4	20/96 /5	Konsultasi Bab II	hp.-	13			
5	3/96 /6	Revisi Bab II	hp.-	14			
6	18/96 /6	Konsultasi Bab III	hp.-	15			
7	1/96 /7	Konsultasi Bab IV	hp.-	16			
8	8/96 /7	Evaluasi seluruh bab.	hp.-	17			
9	18/96 /7	revisi bab?	hp.-	18			

Catatan :

Siap untuk diujikan	✓ hp.-
Belum siap untuk diujikan	
waktu tugas diperpanjang	
Tugas dibatalkan	

Surabaya, 25 Juli 1996

Dosen pembimbing

Ir.Hari Prastowo,MSc
NIP : 131 933 294