

SKRIPSI

**PENGGUNAAN PEMANAS TIPE “HOURLASS TUBE HEATER” SEBAGAI
PREHEATER PADA MOTOR BAKAR DENGAN PEMANASAN GAS BUANG
TERHADAP PRESTASI MESIN**



DISUSUN OLEH :

NAMA : Junaidin

NIM : 1511041

**JURUSAN TEKNIK MESIN S1 FAKULTAS TEKNOLOGI
INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2019**

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

PENGUNAAN PEMANAS TIPE "HOURLASS TUBE HEATER" SEBAGAI
PREHEATER PADA MOTOR BAKAR DENGAN PEMANASAN GAS BUANG
TERHADAP PRESTASI MESIN



DISUSUN OLEH :

NAMA : Junaidin
NIM : 1511041
JURUSAN : TEKNIK MESIN S-1

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin S1



Sibut ST, MT
NIP.Y. 1030300379

Diperiksa/Disetujui,
Dosen pembimbing

Ir. Drs. Eko Edy Susanto, MT
NIP. 195703221982111001



BNI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : Junaidin
Nim : 15.11.041
Jurusan / Bidang : Teknik Mesin
Program Studi : Strata Satu (S-1)
Judul Skripsi : **PENGGUNAAN PEMANAS TIPE “HOURGLASS
TUBE HEATER” SEBAGAI PREHEATER PADA
MOTOR BAKAR DENGAN PEMANASAN GAS
BUANG TERHADAP PRESTASI MESIN**

Dipertahankan Dihadapan Tim Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) Pada:

Hari / Tanggal : Senin, 22 Juli 2019

Telah Dievaluasi Dengan Nilai : 82,75 (A)

Panitia Ujian Skripsi

Ketua

Sibut, ST, MT
NIP. Y. 1030300379

Sekretaris

Ir. Teguh Raharjo, MT
NIP 195706011992021001

Anggota Penguji

Penguji I

Ir. Mochtar Asroni, MSME
NIP. Y. 1018100036

Penguji II

Ir. Teguh Raharjo, MT
NIP 195706011992021001



PERNYATAAN KEASLIAN ISI TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Junaidin
NIM : 15.11.041
TT : Ambon, 4 april 1996
Alamat : Belakang konika jalan seroja pasar lama Timika Papua
Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin S-1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional
Malang

Menyatakan,

Bahwa skripsi yang saya buat ini adalah hasil karya saya sendiri dan bukan hasil dari karya orang lain, kecuali kutipan yang telah disebutkan sumbernya.

Demikian surat pernyataan keaslian ini saya buat dengan data yang sebenarnya.

Malang, 21 Juli 2019

METERAI
TEMPEL
TGL 20
ZAEF1AFF901978686
6000
ENAM RIBU RUPIAH
yataan
Junaidin

LEMBAR ASISTENSI LAPORAN SKRIPSI

Nama : Junaidin
NIM : 15.11.041
Jurusan : TEKNIK MESIN S-1
Judul Skripsi : PENGGUNAAN PEMANAS TIPE "HOURLASS TUBE HEATER"
SEBAGAI PREHEATER PADA MOTOR BAKAR DENGAN
PEMANASAN GAS BUANG TERHADAP PRESTASI MESIN

No.	Materi Bimbingan	Waktu	Paraf
1.	Pengajuan judul proposal skripsi		
2.	ACC proposal judul skripsi		
3.	Konsultasi Bab I dan II		
4.	Perbaikan Bab I dan II		
5.	Konsultasi Bab III		
6.	Perbaikan Bab III		
7.	Konsultasi Bab IV dan V		
8.	Perbaikan Bab IV dan V		
9.	Konsultasi Bab I Sampai Bab V		
10.	Selesai		

Diperiksa/Disetujui,
Dosen Pembimbing



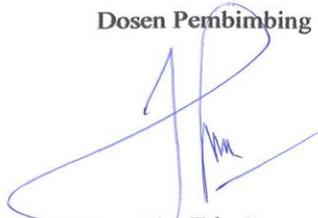
Ir. Drs. Eko Edy Susanto, MT
NIP. 195703221982111001

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Junaidin
Nim : 1511041
Jurusan : TEKNIK MESIN S-1
Judul skripsi : PENGGUNAAN PEMANAS TIPE "HOURLASS TUBE HEATER"
SEBAGAI PREHEATER PADA MOTOR BAKAR DENGAN
PEMANASAN GAS BUANG TERHADAP PRESTASI MESIN

Tanggal mengajukan skripsi : 10 april 2019
Tanggal menyelesaikan skripsi :
Dosen pembimbing : Ir,Drs, Eko Edy Susanto, MT
Telah dievaluasi dengan nilai : 

Diperiksa/ Disetujui
Dosen Pembimbing



Ir,Drs, Eko Edy Susanto, MT
NIP. 195703221982111001

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga tahap demi tahap dalam penyusunan skripsi ini bisa terselesaikan tepat waktu. Skripsi ini disusun untuk menyelesaikan studi s1program studi teknik mesin, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.

Penyusunan skripsi tentu saja tidak lepas dengan dari adanya bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu penyusun ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr.Ir.Kustamar, MT selaku rektor ITN Malang.
2. Bapak Ir. Yusuf Ismail Nahkoda, MT. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang.
3. Bapak Sibut ST. MT . sebagai ketua jurusan teknik mesin s1 ITN Malang.
4. Bapak Ir. Drs. Eko Edy Susanto. MT selaku dosen pembimbing penyusunan skripsi
5. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME. Sebagai dosen ahli konsentrasi dalam penyusunan skripsi.
6. Bapak M Zam Zam Teguh Harto ST, sebagai pembimbing lapangan laboratorium motor bakar
7. Bapak, ibu dan rekan-rekan terdekat yang selalu memberikan dukungan baik melalui doa maupun dukungan finansial.

Penyusun menyadari sebagai manusia biasa bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Untuk itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan skripsi ini. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Malang, 15 april 2019

Penyusun



Junaidin

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI.....	ii
BERITA ACARA.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN ISI TULISAN.....	iv
LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI.....	v
LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	x
ABSTRAK.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	4
2.1 Motor Bakar.....	4
2.2 Klasifikasi Motor Bakar.....	4
2.3 Proses Keliling Motor 4 Tak.....	4
2.4 Siklus Termodinamika.....	6
2.5 Performansi Motor Bakar.....	8
2.6 Karburator.....	10
2.7 Bahan Bakar.....	13
2.7.1 Bahan Bakar Cair.....	14
2.7.2 Karakteristik Bahan Bakar.....	14
2.8 Karakteristik kualitas Pembakaran.....	15
2.8.1 Kualitas Bahan Bakar.....	19
2.8.2 Kualitas Campuran Bahan Bakar dan Udara.....	20
2.9 Tinjauan Terhadap Prestasi.....	21
2.9.1 Daya.....	21
2.9.2 Torsi.....	23
2.9.3 pemakaian Bahan Bakar Spesifik.....	24
2.10 Teori Pembakaran.....	25
2.11 Prinsip-Prinsip Perpindahan Kalor.....	27
2.11.1 Konduksi.....	27
2.11.2 Konveksi.....	28
2.11.3 Radiasi.....	29
2.11.4 Temperatur Acuan.....	29
2.11.5 Kelompok Tanpa Dimensi.....	31
2.11.6 Konveksi Paksa Diluar Pipa Heater.....	34
2.11.7 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh.....	34
2.11.8 Benda Temperatur Efektif Rata-Rata (LMTD).....	35
2.11.9 Keefektifan Heat Exchanger.....	37

2.11.10 NTU (Number Of Transfer Unit).....	37
BAB III METODE PENELITIAN.....	39
3.1 Diagram Alir.....	39
3.2 Alat Uji.....	40
3.3 Desain Alat Uji.....	40
3.4 Komponen Yang Digunakan.....	41
3.5 Tempat Penelitian.....	44
3.6 Waktu Penelitian.....	44
3.7 Rumus-Rumus Motor Bakar.....	45
BAB IV HASIL PENELITIAN dan ANALISA DATA.....	46
4.1 Hasil Pengujian Penelitian.....	46
4.2 Data Empiris dan Perhitungan.....	48
4.3 Grafik dan Analisa.....	53
BAB V PENUTUP.....	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66
LAMPIRAN 1.....	67
LAMPIRAN 2.....	71
LAMPIRAN 3.....	72

DAFTAR GAMBAR

2.1 proses 4 tak (langkah).....	6
2.2 diagram p-v dan t-s.....	6
2.3 diagram siklus p-v dan t-s mesin otto.....	7
2.4 prinsip kerja perpindahan panas.....	27
2.5 LMTD untuk paralel flow.....	36
2.6 LMTD untuk counter flow.....	36
2.7 grafik faktor koreksi untuk penukar kalor counter flow.....	37
2.8 efektivitas	39
3.1 desain alat uji.....	41

DAFTAR TABEL

3.1 Waktu penelitian.....	44
4.1 data hasil pengujian tanpa heater.....	46
4.2 data hasil pengujian memakai heater.....	47
4.3 data hasil pengujian memakai heater setelah di rata-rata.....	58
4.4 hasil perhitungan kalor.....	51
4.5 hasil perhitungan Prestasi.....	51
LAMPIRAN.....	71

ABSTRACT

junaidin (1511041)

Jurusan Teknik Mesin S-1, FTI – Institut Teknologi Nasional Malang

Email : junaidinsaputra96@yahoo.com

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi merupakan sebuah aspek kehidupan yang harus terpenuhi mengikuti perkembangan sekarang ini. Kemajuan teknologi di berbagai bidang kehidupan manusia terdorong oleh semakin kompleksnya kebutuhan manusia sehingga diharapkan penerapan teknologi dapat banyak kemudahan dan manfaat bagi kehidupan manusia. Di samping itu, permintaan manusia selalu berubah ubah dan keinginan manusia yang tidak terbatas menyebabkan para peneliti semakin gencar melakukan inovasi karya ciptanya, sehingga makin efektif dan efisien serta memenuhi kebutuhan manusia. Pemanfaatan sisa panas gas buang akhir akhir ini menjadi tren pada kalangan industri. Pengolahan panas sisa turbin, generator dan sebagainya diproses untuk dimanfaatkan kembali menjadi energi yang lebih berguna. Salah satu upaya nyata pemanfaatan panas sisa gas buang pembakaran yang umumnya terbuang percuma.

Dalam pengambilan data yang dilakukan adalah dengan 2 cara yaitu pengambilan data sebelum yang memakai heater dan sesudah yang memakai heater dan menyusun data tersebut melalui tabel yang sudah dianalisa melalui perhitungan dengan tujuan agar mengetahui perubahan-perubahan data yang tanpa heater dan yang memakai heater.

Untuk nilai daya yang paling tinggi pada memakai heater adalah terjadi pada putaran 2500 rpm dengan nilai daya yaitu $0,87 \frac{\text{kg}}{\text{s}}/\text{Kw}$ dan nilai daya yang paling rendah terjadi pada putaran 1000 rpm dengan nilai daya yaitu $0,31 \frac{\text{kg}}{\text{s}}/\text{Kw}$. Untuk nilai torsi yang paling tinggi pada memakai heater adalah terjadi pada putaran 1500 rpm dengan nilai torsi yaitu 1,8 dan nilai torsi yang paling rendah terjadi pada putaran 2000 rpm dengan nilai torsi yaitu 1,5. Untuk nilai pemakaian bahan bakar yang paling tinggi pada memakai heater adalah terjadi pada putaran 1000 rpm dengan nilai pemakaian bahan bakar yaitu 0,81 ml/s dan nilai pemakaian bahan bakar yang paling rendah terjadi pada putaran 1500 rpm dengan nilai yaitu 0,68 ml/s.

Temperature udara panas adalah salah satu faktor yang mempengaruhi temperature dari campuran bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar. Adanya perubahan temperature udara panas menyebabkan perubahan tekanan pada saat proses awal kompresi sehingga mempengaruhi efisiensi yang dihasilkan.

KATA KUNCI : “PREHEATER TIPE “HOURLASS TUBE HEATER”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi merupakan sebuah aspek kehidupan yang harus terpenuhi mengikuti perkembangan sekarang ini. Kemajuan teknologi di berbagai bidang kehidupan manusia terdorong oleh semakin kompleksnya kebutuhan manusia sehingga diharapkan penerapan teknologi dapat banyak kemudahan dan manfaat bagi kehidupan manusia. Di samping itu, permintaan manusia selalu berubah ubah dan keinginan manusia yang tidak terbatas menyebabkan para peneliti semakin gencar melakukan inovasi karya ciptanya, sehingga makin efektif dan efisien serta memenuhi kebutuhan manusia.

Saat ini kendaraan roda dua (sepeda motor) tidak hanya digunakan oleh kalangan tertentu saja tetapi semua kalangan menggunakan kendaraan roda dua, mulai dari ekonomi bawah sampai kalangan atas juga menggunakannya. Namun pemanfaatan gas buang sisa pembakaran kendaraan masih jarang, sumber panas ini biasanya langsung di buang/dikeluarkan melalui knalpot ke udara bebas, padahal panas sisa pembakaran masih memiliki temperature yang cukup tinggi. Pemanfaatan sisa panas gas buang akhir akhir ini menjadi tren pada kalangan industri. Pengolahan panas sisa turbin, generator dan sebagainya diproses untuk dimanfaatkan kembali menjadi energi yang lebih berguna. Salah satu upaya nyata pemanfaatan panas sisa gas buang pembakaran yang umumnya terbuang percuma.

Disini saya melakukan penelitian gas buang sebagai pemanas udara masuk sebelum pencampuran bahan bakar dengan alat berbahan pipa tembaga yang dialiri udara gas buang yang berfungsi untuk pemanas udara yang menuju pencampuran bahan bakar (karburator) untuk mempengaruhi kesempurnaan pembakaran dan menghasilkan performa mesin motor bakar yang lebih baik.

Temperature udara adalah salah satu faktor yang mempengaruhi temperature dari campuran bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar. Adanya perubahan temperature udara menyebabkan perubahan tekanan pada saat proses awal kompresi sehingga berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan dengan perubahan temperature udara maka tekanan dari campuran bahan bakar tersebut akan berubah, sehingga dengan volume yang sama akan menghasilkan tekanan yang berbeda.

Maka dari itu berdasarkan penjelasan di atas, sepanjang pengetahuan dan kemampuan peneliti maka peneliti tertarik mengadakan penelitian dengan mengambil judul **“PENGUNAAN PEMANAS TIPE “HOURGLASS TUBE HEATER” SEBAGAI PREHEATER PADA MOTOR BAKAR DENGAN PEMANASAN GAS BUANG TERHADAP PRESTASI MESIN”**.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini penulis dapat merumuskan permasalahan apa saja yang akan dilakukan oleh peneliti untuk dapat melakukan penelitian ini secara spesifik.

Dan hasil penelitian diharapkan dapat menjelaskan terhadap :

1. Apakah heater yang dimanfaatkan bisa mempengaruhi prestasi mesin pada kendaraan?
2. Apakah penggunaan heater berfungsi secara efisien terhadap prestasi mesin?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mencegah agar tidak meluasnya pembahasan dalam penelitian kali ini, maka penulis perlu melakukan pembatasan masalah dalam penelitian ini. Adapun batasan masalahnya yaitu :

1. Tidak membahas komposisi bahan bakar dan sifat-sifatnya.
2. Tidak membahas analisa biaya.
3. Mesin yang digunakan 1 unit PETROL ENGINE (MERLIN 1)
4. Tidak membahas tentang sirip
5. Tidak membahas tentang emisi gas buang

1.4 Tujuan

Menganalisa pengaruh temperature udara panas terhadap prestasi mesin yaitu:

1. Daya
2. Torsi
3. Pemakaian bahan bakar

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Bakar

Mesin (engine) adalah gabungan dari alat-alat yang bergerak (dinamis) dan alat-alat yang tidak bergerak (statis) yang bila bekerja dapat menimbulkan energi.

Motor bakar adalah suatu mesin yang dapat mengubah energi panas menjadi energi mekanik dengan jalan pembakaran bahan bakar.

2.2 Klasifikasi Motor Bakar

Motor bakar sendiri digolongkan atas 2 jenis pembakaran, yaitu :

1. Internal combustion chamber

Yaitu proses pembakarannya yang terjadi di dalam mesin itu sendiri, mesin pembakaran dalam pada umumnya dikenal dengan nama motor bakar.

Mesin-mesin yang menggunakan pembakaran dalam adalah motor bakar torak, sistem turbin gas, dan propulsi pancar gas.

2. External combustion chamber

Yaitu proses pembakarannya yang terjadi luar mesin, energi termal dari gas hasil pembakaran di pindahkan fluida ke fluida kerja mesin melalui beberapa dinding pemisah. Contoh mesin dari jenis ini adalah mesin uap

2.3 Proses Keliling Motor 4 Tak

Proses 4 tak (langkah) adalah proses suatu motor yang tiap satu silindernya untuk mendapatkan satu kali pembakaran membutuhkan 4 kali gerakan piston yaitu 2 kali bergerak ke atas dan 2 kali bergerak ke bawah atau 2 kali putaran poros engkol.

Untuk lebih jelasnya maka siklus kerja motor 4 tak (langkah) dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Langkah isap (intake stroke)

Pada waktu piston mulai bergerak dari TMA maka katup masuk terbuka, dan campuran antara bahan bakar dan udara yang telah tercampur di dalam karburator

masuk dan di hisap ke dalam silinder. Ketika piston berada di TMB katup masuk akan tertutup.

2. Langkah kompresi (compression stroke)

Selanjutnya pada waktu piston bergerak dari TMB ke TMA, katup masuk dan katup terbuang tertutup. Sehingga gas yang telah dihisap ke dalam silinder mesin tidak dapat keluar pada waktu ditekan oleh piston, yang mengakibatkan tekanan gas ini akan mencapai tekanan optimum.

Beberapa saat piston sebelum mencapai TMA gas yang telah mencapai tekanan optimum di bakar oleh bunga api listrik dari busi.

3. Langkah kerja (power stroke)

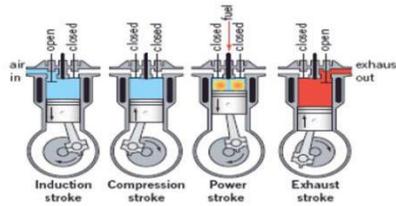
Gas-gas hasil pembakaran tadi yang mempunyai suhu dan tekanan tinggi akan mengembang dan menekan piston ke bawah, sehingga dengan tenaga yang kuat sekali piston ditekan dan dipaksa menuju TMB. Pada langkah ini tenaga panas di ubah menjadi tenaga mekanis.

Pada langkah ini katup masuk dan katup buang dalam keadaan tertutup.

4. Langkah buang (exhaust stroke)

Pada saat piston mulai bergerak dari TMB ke TMA katup-katup buang membuka dan sisa pembakaran tertekan oleh piston melalui katup menuju udara bebas.

Dengar terbuangnya gas sisa pembakaran itu maka kerja ke 4 langkah sesuai untuk 1 siklus.



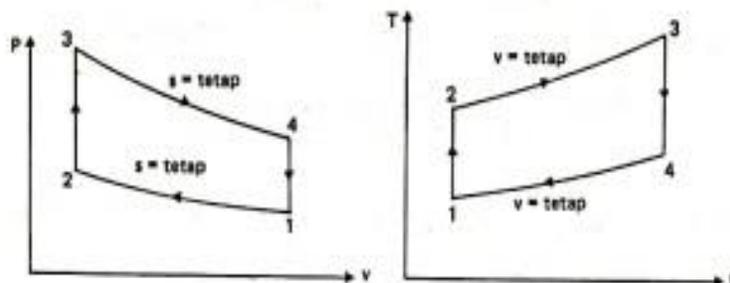
Gambar 2.1 proses 4 tak (langkah)

1.4 Siklus Termodinamika

Konversi energi yang terjadi pada motor bakar bensin berdasarkan pada siklus termodinamika. Proses sebenarnya amat kompleks, sehingga analisa dilakukan pada kondisi ideal dengan fluida kerja udara.

Idealisasi proses tersebut sebagai berikut:

1. Fluida kerja dari awal proses hingga akhir proses.
2. Panas jenis dianggap konstan meskipun terjadi perubahan temperatur pada udara.
3. Proses kompresi dan ekspansi berlangsung secara adiabatik, tidak terjadi perpindahan panas antara gas dan dinding silinder.
4. Sifat-sifat kimia fluida kerja tidak berubah selama siklus berlangsung.
5. Motor 2 (dua) langkah mempunyai siklus termodinamika yang sama dengan motor 4 (empat) langkah.

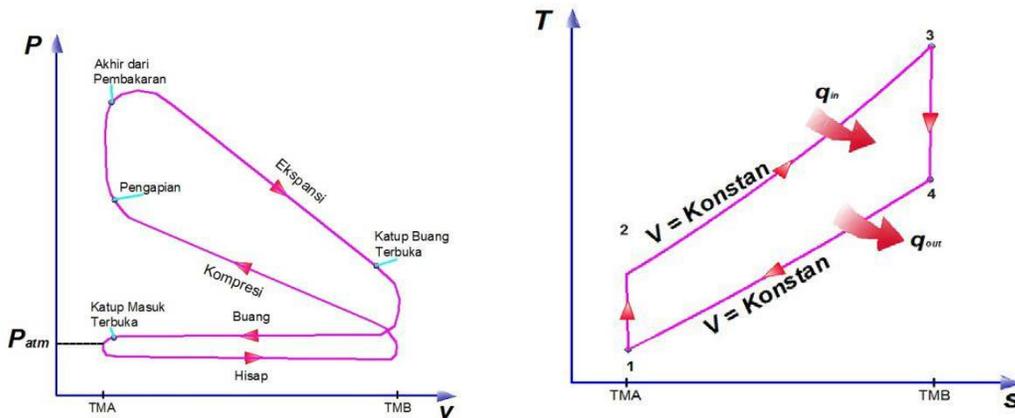


Gambar 2. 2. Diagram P-V dan T-S
(Cengel & Boles, 1994 : 451)

Proses siklusnya adalah sebagai berikut :

1. Proses 0-1 (Langkah Hisap) : Menghisap udara pada tekanan konstan, katup masuk terbuka dan katup buang tertutup, campuran bahan bakar dan udara mengalir ke dalam silinder melalui lubang katup masuk.
2. Proses 1-2 (Kompresi Isentropik) : Semua katup tertutup. Campuran bahan bakar dan udara yang berada di dalam silinder tadi ditekan dan dimampatkan oleh torak yang bergerak ke titik mati atas. Akibatnya, tekanan dan suhu dalam silinder naik menjadi P_2 dan T_2 .
3. Proses 2-3 : Proses penambahan kalor pada volume konstan.
4. Proses 3-4 : Ekspansi Isentropik. Kerja ekspansi dari titik 3 ke titik 4 dari siklus Otto juga merupakan proses isentropis.
5. Proses 4-1 : Proses pembuangan kalor pada volume konstan.

Diagram p-v sebenarnya motor bensin 4 tak



Gambar 2.3 Diagram Siklus p-v dan t-s Mesin otto

Aktual Keterangan Gambar :

P = Tekanan (atm).

V = Volume Spesifik (m^3/kg)

q_{in} = Kalor yang masuk (kJ)

Q_{out} = Kalor yang dibuang (kJ).

Dalam siklus aktual, fluida kerjanya adalah campuran bahan bakar-udara, jadi ada proses pembakaran untuk sumber panas. Pada langkah hisap, tekanannya lebih rendah

dibandingkan dengan langkah buang. Proses pembakaran dimulai dari penyalaan busi (*ignition*) sampai akhir pembakaran. Proses kompresi dan ekspansi tidak adiabatik, karena terdapat kerugian panas yang keluar ruang bakar.

Keterangan siklus :

- 1-2 Kompresi Isentropik
- 2-3 Pemasukan kalor pada volume konstan
- 3-4 Ekspansi isentropik
- 4-1 Pengeluaran kalor pada volume konstan

2.5 Performansi Motor Bakar

Bagian ini membahas tentang performansi mesin pembakaran dalam. Parameter mekanik yang termasuk dalam subbab ini adalah torsi, daya, perbandingan udara bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi dari pembakaran di dalam mesin. Torsi yang dihasilkan suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan dinamometer yang dikopel dengan poros output mesin. Oleh karena sifat dinamometer yang bertindak seolah-olah seperti sebuah rem dalam sebuah mesin, maka daya yang dihasilkan poros output ini sering juga disebut dengan *brake power*. Torsi didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada jarak momen dan memiliki satuan N-m atau lbf-ft.

Daya didefinisikan sebagai usaha dari mesin per satuan waktu.

$$W = \frac{2\pi N\tau}{60000} \dots\dots\dots(1)$$

W : Daya poros (kW)

N : Putaran mesin (rpm)

T : Torsi (Nm)

Air fuel ratio adalah parameter yang digunakan untuk mendeskripsikan rasio campuran udara dengan bahan bakar.

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \dots\dots\dots(2)$$

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{m}_f \cdot z \cdot n}{60 \cdot i} \dots\dots\dots(3)$$

$$m_a = \frac{V_i (V_l + V_s)}{R T_i} \dots\dots\dots(4)$$

$$r_c = \frac{v_d + v_c}{v_c} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

- m_a : massa udara (kg/siklus)
- \dot{m}_a : laju aliran udara (kg/sec)
- m_f : massa bahan bakar (kg/siklus)
- \dot{m}_f : laju aliran bahan bakar (kg/sec)
- Z : jumlah silinder
- n : putaran mesin (rpm)
- i : 2 (rev/sec) untuk 4 langkah
- P_i : tekanan udara masuk (kpa)
- v_i : volume langkah (m³)
- v_s : volume sisa (m)
- R : konstanta gas ideal (kj/kg.K)
- T_i : temperature udara masuk (K)
- R_c : kompresi rasio

Konsumsi bahan bakar spesifik didefinisikan dengan :

$$Sfc = \dot{m}_f / \dot{W} \dots\dots\dots(6)$$

Effisiensi termal adalah :

$$n_t = W / Q_{in} n_f / n \dots\dots\dots(7)$$

dimana :

$$Q_{in} = m_f Q_{hv} n_c \dots\dots\dots(8)$$

Untuk keadaan steady :

$$Q_{in} = \dot{m}_f Q_{hv} n_c \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

- Q_{hv} : nilai kalor dari bahan bakar (kj/kg)
- n_c : effisiensi pembakaran
- n_f : effisiensi konversi bahan bakar

2.6 Karburator (*carburation*)

Karburator memang sangat penting dalam kendaraan bermotor, karena karburator dapat mengatur akselerasi kecepatan kendaraan pada berbagai tingkat beban dan kecepatan, kemudian dapat memudahkan mesin untuk hidup, dan juga memberikan tenaga yang besar pada mesin kendaraan dan juga bekerja dengan ekonomis.

Karburator adalah sebuah alat yang mencampur udara dan bahan bakar untuk sebuah mesin pembakaran dalam. Karburator masih digunakan dalam mesin kecil dan dalam mobil tua atau khusus seperti yang dirancang untuk balap mobil stok. Kebanyakan mobil yang diproduksi pada awal 1980-an telah menggunakan injeksi bahan bakar elektronik terkomputerisasi. Mayoritas sepeda motor masih menggunakan karburator dikarenakan lebih ringan dan murah, namun pada 2005 sudah banyak model baru diperkenalkan dengan injeksi bahan bakar.

Fungsi kerja pada karburator ialah pada waktu zuiger bergerak dari TMA ke TMB didalam langkah hisap, maka pada ruangan silinder terjadi pembesaran ruangan sehingga menimbulkan kehampaan pada ruang bakar atau ruang silinder. Kehampaan ini mengakibatkan udara yang ada diluar karburasi terhisap masuk melalui filter kemudian masuk melewati bagian karburator. Bensin yang ada di dalam karburator ikut terhisap bersama udara melalui nozzle sehingga membentuk partikel-partikel kecil yang bercampur udara yang disebut dengan Gas. kemudian gas tersebut masuk kedalam ruang Silinder. Besar lubang pada nozzle dapat diatur oleh sebuah jarum yang kebanyakan orang menyebutnya jarum skep atau bahasa tehniknya throttle valve. jadi jarum ini fungsinya mengatur jumlah bensin yang keluar dari mulut nozzle. berikut contoh gambar cara kerja pada karburasi.

Adapun bagian-bagian yang wajib kita ketahui dari karburator yaitu antara lain :

1. Tutup jarum skep berfungsi untuk menghubungkan jarum sekep dengan olor gas yang menggerakkan jarum skep naik turun ketika gas di tarik.
2. kancing jarum skep berfungsi untuk mengancing jarum skep dengan skep (throttle valve) agar jarum tidak terlepas dari skep ketika skep digerakkan.
3. Jarum skep berfungsi untuk mengatur jumlah bensin yang keluar dari mulut nozzle.
4. Skep berfungsi untuk mengatur banyak sedikitnya udara yang masuk kedalam ruang karburasi.
5. Ruang jarum skep / pipa saluran udara.
6. Baut pengatur udara berfungsi untuk mengatur udara agar mesin stasioner.

7. Nozzle / main jet berfungsi untuk jalur keluarnya bensin dari tampungan bensin keruang bakar.
8. Jarum pengapung (needle valve) berfungsi untuk mengatur masuknya bensin dari tangki bensin keruang karburasi
9. Pengapung berfungsi untuk mengatur membuka dan menutupnya jarum pengapung dari pipa saluran bensin keruang karburasi.
10. Engsel atau kancing pengapung.
11. Chuke berfungsi untuk memperkecil tekanan udara yang masuk keruang bakar.
12. Tampungan bensin berfungsi menampung bensin yang mengalir dari tangki bensin.
13. Filter dan kran bensin.

Prinsip Kerja

Cara kerja pada karburator adalah ketika mesin dalam keadaan hidup (lambat), bensin dari float chamber (tampungan bensin) masuk ke dalam lubang kecil pada jet stationer (spoeyer lambat), masuknya bensin kedalam spoeyer ini diakibatkan karena perbedaan tekanan udara antara tekanan udara pada float chamber dengan tekanan udara pada venturi. Untuk menyempurnakan komposisi campuran bensin dan udara pada saat mesin berputar lambat, maka pada karburator dibuat sebuah lubang yang menembus dari bagian belakang karburator sampai ketempat spoeyer lambat. lubang yang menembus karburator sampai ke bagian spoeyer ini dinamakan airbleeder.

Air bleeder dapat disetel oleh sebuah baut yang biasa dikenal dengan baut pengatur angin. Setelah bensin yang masuk pada spoeyer lambat bercampur dengan udara yang masuk dari lubang air bleeder, kemudian keluar pada sebuah lubang yang disebut Idle port. Posisi idle port ini berada dimuka nozzle utama, alasan mengapa idle port di tempatkan lebih dekat pada mesin adalah disebabkan pada saat lambat putaran mesinnya lambat dan aliran udara tidak terlalu cepat yang disebabkan posisi throttle valve diam. Ketika mesinnya dalam putaran tinggi,

bensin keluar dari nozzle yang dilengkapi dengan jarum needle (jarum skeep). Jika pada saat mesin langsam yang mengatur komposisi campuran bensin dengan udara adalah baut pengatur udara, sedangkan pada saat putaran mesinnya tinggi yang mengatur campuran adalah jarum skeep bersama katup skeep. Seperti halnya air bleeder pada spoeyer langsam, spoeyer utama inipun dilengkapi dengan air bleeder yang lubangnya menembus dari bagian belakang karburator sampai ke bagian spoeyer utama, hanya air bleeder untuk spoeyer utama ini tidak dilengkapi dengan alat penyetel. Tinggi rendah perputaran pada mesin dapat diatur pada jarum skeep yang bisa kita kendalikan dengan cara menarik dan mengulur handle Gas pada stang motor.

Pada dasarnya karburator bekerja menggunakan Prinsip Bernoulli: semakin cepat udara bergerak maka semakin kecil tekanan statis-nya namun makin tinggi tekanan dinamis-nya. Pedal gas pada mobil sebenarnya tidak secara langsung mengendalikan besarnya aliran bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar. Pedal gas sebenarnya mengendalikan katup dalam karburator untuk menentukan besarnya aliran udara yang dapat masuk kedalam ruang bakar. Udara bergerak dalam karburator inilah yang memiliki tekanan untuk menarik serta bahan bakar masuk kedalam ruang bakar.

Kebanyakan mesin berkarburator hanya memiliki satu buah karburator, namun ada pula yang menggunakan satu karburator untuk tiap silinder yang dimiliki. Bahkan sempat menjadi *trend* modifikasi sepeda motor di Indonesia penggunaan *multi-carbu* (banyak karburator) namun biasanya hal ini hanya digunakan sebagai hiasan saja tanpa ada fungsi teknisnya. Mesin-mesin generasi awal menggunakan karburator aliran ke atas (updraft), dimana udara masuk melalui bagian bawah karburator lalu keluar melalui bagian atas. Keuntungan desain ini adalah dapat menghindari terjadinya mesin banjir, karena kelebihan bahan bakar cair akan langsung tumpah keluar karburator dan tidak sampai masuk kedalam intake manifold; keuntungan lainnya adalah bagian bawah karburator dapat disambungkan dengan saluran oli supaya ada sedikit oli yang ikut kedalam aliran udara dan digunakan untuk membasuh filter udara; namun dengan menggunakan filter udara berbahan kertas pembasuhan menggunakan oli ini sudah tidak diperlukan lagi sekarang ini.

2.7 Bahan Bakar

Adalah suatu sistem yang dipergunakan pada motor bakar bensin untuk menyalurkan bahan bakar dari tangki bensin, saringan bensin, pompa bensin dan hingga ke kaburator. Bahan bakar yang digunakan sepeda motor adalah bensin. Bensin yang banyak dipasarkan saat ini untuk kendaraan bermotor di Indonesia antara lain: premium, premix, dan super TT. Bensin yang mengandung aromatik lebih dominan, bilangan oktan-nya lebih tinggi. Bensin yang mengandung parafinik lebih dominan, bilangan oktan-nya lebih rendah, untuk mendapatkan bilangan oktan yang tinggi biasanya pabrik penyulingan minyak menambahkan bahan bakar aditif, yang disebut sebagai *octane booster*. Di antara bahan aditif tersebut adalah timbal (Pb) dalam bentuk senyawa organik (TEL-*tetra ethyl lead*), yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Selain berbahaya, bahan tersebut juga menghasilkan residu timbal yang melekat pada saluran gas buang.

2.7.1 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair merupakan hydrocarbon dimana komponen tersebut diperoleh dari sumber alam maupun secara buatan, bahan bakar yaitu material yang di konsumsi untuk menghasilkan energi di dalam proses pembakaran, dimana dari bakar tersebut akan diperoleh temperature antara titik dimana proses pembakaran terjadi maka terjadilah perpindahan energi yang berupa panas.

Kualitas dari bahan bakar biasanya dapat dilihat pada angka oktan yang dikandungnya. Dimana angka oktan merupakan angka perbandingan antara Iso *Octane* yaitu bahan bakar yang tidak mudah berdetonasi dengan *octane number* 100 dan N *Heptane* dengan octan number 0, beberapa keunggulan atau kelebihan bahan bakar cair bila dibandimngkan bahan bakar padat kebersihan hasil dari pembakaran, hendlingnya yang mudah dan menggunakan alat bakar yang kompak. Akan tetapi kekurangan bahan bakar cair harus menggunakan yang kompleks. (nayhndy. 2011. *Bahan bakar dan pembakaran*. Wordpress.com)

2.7.2 Karakteristik Bahan Bakar

Karakteristik Bahan Bakar secara umum sebagai berikut :

1. Berat jenis (*Spesific grafity*)

Adalah suatu angka yang menyatakan perbandingan berat dari suatu bahan bakar minyak terhadap berat air pada volume yang sama, dengan suhu bahan bakar minyak pada 15° dan air pada suhu 4°c.

Penggunaan *spesifik gravity* adalah untuk mengukur berat/massa mempunyai *spesific gravity* antara 0,74 dan 0,96 dengan kata lain bahan bakar minyak lebih ringan dari pada air.

2. Viskositas (*viscosity*)

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besar perlawanan / hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukurannya tahanan geser dari bahan cair. Makin tinggi viskositas minyak akan makin kental dan lebih sulit mengalir. Demikian sebaliknya makin rendah viskositas minyak makin encer dan lebih mudah minyak untuk mengalir, cara mengukur besar viskositas adalah tergantung pada viscometer yang digunakan , dan hasil (besarnya viskositas) yang dapat harus dibubuhkan nama viscometer yang digunakan serta temperatur minyak pada saat pengukuran.

Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar minyak. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk handling, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan. Jika minyak terlalu kental, maka akan menyulitkan dalam pemompaan, sulit untuk menyalakan burner, dan sulit dialirkan. Atomisasi yang jelek akan mengakibatkan terjadinya pembentukan endapan karbon pada ujung burner atau pada dinding-dinding. Oleh karena itu pemanasan awal penting untuk atomisasi yang tepat.

3. Titik Nyala (*flash point*)

Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak didekatkan pada nyala api. Titik nyala ini diperlukan sehubungan dengan adanya pertimbangan-pertimbangan mengenai keamanan dari penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap bahaya kebakaran. Titik nyala tidak mempunyai pengaruh yang besar dalam persyaratan pemakaian bahan bakar minyak untuk mesin diesel atau ketel uap.

4. Titik Tuang (*pour point*)

Titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga bahan bakar tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Titik tuang ini diperlukan sehubungan dengan adanya persyaratan praktis dari prosuder penimbunan dan pemakaian dari bahan bakar minyak, hal ini dikarenakan bahan bakar minyak sering sulit untuk di pompa, apabila suhunya telah dibawah titik tuang.

5. Nilai kalor (*calorific value*)

Nilai kalor adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas / kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara/ oksigen. Nilai kalor dari bahan bakar minyak umumnya berkisar antara 18,300 – 19,800 Btu/lb atau 10,160 -11,000 kkal/kg. Nilai kalor berbanding terbalik dengan berat jenis (*density*). Pada volume yang sama, semakin besar berat jenis suatu minyak, semakin kecil nilai kalornya, demikian juga sebaliknya semakin rendah berat jenis semakin tinggi nilai kalornya. Nilai kalor atas untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pembakaran dengan oksigen bertekanan pada bomb calorimeter. Peralatan ini terdiri dari container stainless steel yang dikelilingi bak air yang besar. Bak air tersebut bertujuan meyakinkan bahwa temperatur akhir produk akan berada sedikit diatas temperatur awal reaktan, yaitu 25 °C.

Nilai kalori dari bensin yang memiliki angka oktan 90-96 adalah sebesar $\pm 10,500$ kkal/kg. Nilai kalori diperlukan karena dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu mesin dalam suatu periode. Nilai kalori umumnya dinyatakan dalam satuan Kcal/kg atau Btu/lb (satuan *british*).

6. Angka oktan (*octane number*)

Angka oktan adalah suatu angka yang menyatakan kemampuan bahan bakar minyak (khususnya mogas) dalam menahan tekanan kompresi untuk mencegah gasoline terbakar sebelum busi menyala mencegah terjadinya denotasi (suara mengelitik) didalam mesin bensin. Angka oktan mewakili suatu perbandingan antar heptana yang memiliki angka oktan nol dan iso- oktana yang memiliki angka oktan

seratus. Angka oktan diperlukan karena berhubungan dengan kemajuan teknologi permesinan, yang mempunyai kecenderungan menaikkan perbandingan kompresi untuk meningkatkan power output, yang mana membutuhkan gasoline dengan angka oktan yang tinggi.

$$ON = \frac{R+M}{2} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :

R : Research octane number

M : Motor octane number

7. Kadar abu (*ash content*)

Kadar abu adalah jumlah sisa-sisa dari minyak yang tertinggal , apabila suatu minyak dibakar sampai habis. Kadar abu ini dapat berasal dari minyak bumi sendiri akibat kontak didalam perpipaan dn penimbunan (adanya partikel metal yang tidak terbakar yang terkandung dalam bahan bakar minyak itu sendiri dan berasal dari sistem penyaluran dan penimbunan.

8. Kandungan belerang (*sulfur content*)

Semua bahan bakar minyak mengandung belerang/ sulfur dalam jumlah yang sangat kecil. Walaupun demikian, berhubungan keberadaan belerang ini tidak diharapkan karena sifatnya merusak, maka pembatasan dari jumlah kandungan belerang dalam bahan bakar minyak adalah sangat penting dalam bahan bakar minyak . Hal ini disebabkan karena dalam proses pembakaran , belerang ini teroksidasi oleh oksigen menjadi belerang oksida (SO₂) dan belerang teroksidasi (SO₃). Oksida belerang ini apabila kontak dengan air merupakan bahan-bahan yang merusak dan korosif terhadap logam-logam didalam ruang bakar dan sistem gas buang.

9. Angka cetana (*cetana number*)

Angka cetana merupakan angka yang menyatakan kualitas pembakaran dari bahan bakar diesel, yang diperlukan untuk mencegah terjadinya “diesel knock” atau suatu pukulan di ruang bakar mesin diesel. Untuk mesin diesel yang bekerja dengan putaran tinggi bahan bakar

minyak dengan angka cetana yang tinggi pula, sebaliknya untuk mesin diesel yang bekerja dengan putaran rendah diperlukan bahan bakar minyak dengan angka cetana yang rendah pula.

2.8 Karakteristik Kualitas Pembakaran

Kualitas dari pembakaran dapat dilihat dari kualitas campuran bahan bakar dan udara yang terbakar, kualitas bahan bahayang digunakan dan gas buang yang di hasilkan. Bahan bakar merupakan salah satu faktor penting dalam proses pembakaran pada motor bensin hal ini dikarenakan dalam proses pembakaran yang terbakar adalah campuran antara molekul bahan bakar dan molekul udara.

Untuk mendapatkan pembakaran sempurna maka kualitas dari campuran tersebut harus sempurna agar kerja yang dihasilkan bisa menjadi maksimal dan gas yang keluar dari sisa pembakaran juga sempurna.

Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi jika ada pasokan oksigen yang cukup. Dalam setiap bahan bakar, unsur yang mudah terbakar adalah karbon, hidrogen, dan sulfur.

Tujuan dari pembakaran yang sempurna adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan yaitu :

a. T-Temperatur

Temperatur yang digunakan dalam pembakaran yang baik harus cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia

b. T-Time (Waktu)

Waktu yang cukup agar *input* panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia

Dalam proses pembakaran tidak terlepas dari tahap awal yaitu penyalaan dimana keadaan transisi dari tidak reaktif menjadi reaktif karena dorongan eksternal yang memicu reaksi termokimia diikuti dengan transisi yang cepat sehingga pembakaran dapat berlangsung. Penyalaan terjadi bila panas yang dihasilkan oleh pembakaran lebih besar dari panas yang hilang ke lingkungan. Dalam proses penyalaan ini dapat dipicu oleh energi *thermal* yang merupakan transfer energi *termal* ke reaktan oleh konduksi, konveksi, radiasi atau kombinasi dari ketiga macam proses tersebut.

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan tingkat konsumsi bahan bakar ekonomis dan berkurangnya besar kepekatan asap hitam gas buang karena pada pembakaran sempurna campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar seluruhnya dalam waktu dan kondisi yang tepat. Kualitas bahan bakar perlu diperhatikan sesuai dengan karakteristiknya sehingga homogenitas campuran bahan bakar dengan udara dapat terjadi secara sempurna agar terjadi pembakaran yang sempurna.

2.8.1 Kualitas Bahan Bakar

Kualitas bahan bakar untuk motor bensin diukur dengan octane number (ON) atau angka oktan yang merupakan angka perbandingan dalam volume antara Iso Oktana yaitu bahan bakar yang memiliki ketahanan terhadap detonasi dengan normal heptana (n heptana).

Jadi angka perbandingan disini hanya menunjukkan sifat ketahanan terhadap timbulnya suara mengelitik detonasi). Sehingga semakin tinggi nilai oktannya berarti semakin bagus ketahanannya terhadap detonasi.

2.8.2 Kualitas Campuran Bahan Bakar dan Udara (*Mixture Streght*)

Bahan bakar dan udara dimana prosentase campuran bahan bakar dan udara tersebut dalam berat yang berkisar antara 8:1 sampai 22:1 agar proses pembakaran campuran bahan bakar dan udara bisa tercapai dengan baik dapat dilakukan dengan cara mengatur kualitas campuran bahan bakar dan udara yang terjadi di dalam karburator. Terdapat bermacam-macam perbandingan campuran bahan bakar dan udara, yaitu sebagai berikut :

❖ Campuran yang sebanding

Sebuah motor bensin dapat bekerja dengan baik dan hemat, apabila perbandingan antara campuran bahan bakar dan udara yang terjadi sebanding, artinya apabila fluida kerja tersebut mengandung udara (zat asam) yang cukup untuk membakar yang dibawahnya.

❖ Campuran kurus

Campuran kurus yang sering juga disebut dengan istilah campuran miskinialah suatu campuran antara bahan bakar dan udara yang komposisi atau kandungan bahan bakarnya terlalu sedikit. Sehingga dengan campuran kurus ini fluida kerja akan bisa terbakar secepat seperti pada campuran sebanding.

❖ Campuran gemuk

Campuran gemuk atau campuran kaya merupakan campuran antara bahan bakar dan udara yang kandungan atau prosentase bahan bakarnya lebih banyak. Sehingga sebagian dari bahan bakar yang dihisap itu tidak cukup untuk membakar semua bahan bakar yang dibawahnya. Maka fluida kerja tersebut tidak dapat terbakar dengan sempurna, dan gas buang hasil pembakaran akan mengandung karbon monoksida (co) yang beracun.

Mengingat adanya bermacam-macam perbandingan campurab bahan bakar dan udara di atas, maka ada suatu standart yang dipakai sebagai pedoman untuk perbandingan campuran bahan bakar dan udara dalam istilah asing disebut dengan *air fuel ratio* (AFR). Besarnya perbandingan campuran bahan bakar dan udara *air fuel ratio* adalah 15:12 yang artinya bagian tersebut terdiri dari udara dan satu bagian lagi adalah bahan bakar. Jadi kalau perbandingan tersebut lebih besar dari 15:12, maka campuran tersebut termasuk campuran kurus. Dan apabila lebih kecildari 15:12, maka campuran tersebut adalah campuran gemuk

2.9 Tinjauan Terhadap Prestasi

Karakteristik prestasi pada umumnya dinyatakan dalam bentuk grafik yang menggambarkan antara 2 parameter misalnya antara daya dengan putaran. Denngan demikian karakteristik prestasi disebut juga grafik prestasi.

Karakteristik prestasi pada umumnya dibedakan menjadi :

- ❖ Karakteristik putaran (*speed characteristic*)
- ❖ Karakteristik beban (*load characteristic*)

Karakteristik putaran dipakai untuk mengetahui prestasi suatu motir bakar yang beroperasi dengan putaran yang bervariasi. Sedangkan karakteristik beban menyatakan hubungan antara parameter-parameter prestasi suatu motor bakar dengan beban yang berubah-ubah.

2.9.1 Daya

Daya motor adalah usaha atau besarnya kerja motor selama waktu tertentu. Untuk menghitung besarnya daya, kita harus mengetahui tekanan rata-rata dalam silinder selama

langkah kerja. Besarnya tekanan rata-rata motor bensin 4 langkah adalah 6-9 Mpa. Untuk motor diesel adalah 5-8 Mpa. Usaha atau tenaga yang dihasilkan oleh motor bakar pada poros outputnya yang di gunakan untuk menggerakkan beban disebut daya poros. Daya poros atau daya efektif itu sendiri dibangkitkan oleh daya indicator yang merupakan daya hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara yang menggerakkan torak dalam silinder.

1. Daya Efektif (N_e) :

$$N_e = \frac{2\pi n T}{60} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana :

- N_e : Daya efektif (kW)
- n : kecepatan putaran mesin (rpm)
- T : torsi (N_m)

2. Daya indikasi (N_i) :

$$N_i = N_e + N_m \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :

- N_i : daya indikasi ((kW)
- N_m : daya mekanis (kW)

3. Effisiensi mekanis (η_m) :

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

- η_m : efisiensi mekanis
- N_e : daya efektif (kW)
- N_i : daya indikasi (kW)

Ada beberapa usaha untuk mempengaruhi mesin yaitu :

1. Volume langkah torak

Volume langkag torak dari seluruh silinder pada suatu mesin dihitung dari titik mati atas sampai ke titik mati bawah. Volume ini selanjutnya akan mempengaruhi volume

gas yang masuk ke seluruh silinder sedangkan gas tersebut dibakar. Apabila gas yang masuk jumlahnya besar, maka hasil energi hasil pembakarannya juga besar. Apabila volume langkahnya kecil, maka gas yang masuk juga sedikit dan energi dan energi hasil pembakarannya juga kecil.

2. Perbandingan kompresi

Kompresi pada mesin merupakan perbandingan tekanan udara berbanding bahan bakar. Dalam pengertian yang lebih luas, rasio kompresi adalah perbandingan volume ruang bakar saat piston di titik mati bawah (TMB) dengan volume ruang bakar saat titik mati atas (TMA). Semakin besar perbandingan rasio kompresi maka pada saat piston berada di titik mati atas (TMA) akan memiliki tekanan dan suhu yang semakin besar pula.

Rasio kompresi adalah suatu angka yang menyatakan perbandingan volume antara volume total silinder dengan volume ruang bakarnya. Volume total adalah penjumlahan dari volume silinder dan volume ruang bakar.

3. Efisiensi *volumetric* dan pengisian

Efisiensi volumetric adalah suatu angka perbandingan berat campuran gas yang masuk dengan langkah torak dari titik mati atas ke titik mati bawah.

Efisiensi pengisian adalah perbandingan berat campuran gas yang masuk ke dalam silinder dengan komposisi tertentu pula. Apabila harga dari efisiensi volumetric dan pengisian besar, hal ini berarti akan semakin besar daya yang dihasilkan mesin.

4. Efisiensi kalor

Efisiensi panas adalah perbandingan energi panas yang diberikan pada saat terjadi pembakaran dikurangi dengan energi panas yang dikeluarkan.

5. Keseimbangan panas

Dalam keseimbangan panas jika faktor kehilangan panasnya sangat besar, misalnya akibat perbandingan panas masuk dan panas keluar yang tidak pernah mencapai temperaturnya idealnya sekitar 80° sampai 90° c, maka daya efektif yang dihasilkan akan mengecil.

2.9.2 Torsi

Torsi yang dihasilkan suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan torquemeter yang dikopel dengan poros output mesin. Oleh karena sifat torquemeter yang bertindak seolah-olah seperti sebuah rem dalam sebuah mesin, maka daya yang dihasilkan poros output ini sering juga disebut dengan *brake power*. Torsi didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada jarak momen dan memiliki satuan N-m atau lbf-ft.

Persamaan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_e = \frac{2 \cdot \lambda \cdot n}{60} T \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

- P_e : daya keluaran (W)
- n : putaran mesin (rpm)
- T : torsi (N.m)

2.9.3 Pemakaian Bahan Bakar Spesifik

Parameter ini bisa dipakai sebagai ukuran ekonomi pemakaian bahan menyatakan banyaknya bahan bakar yang terpakai per-jam untuk setiap daya yang dihasilkan. Harga pemakaian bahan bakar spesifik yang rendah menyatakan efisien yang tinggi, dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

1. Pemakaian bahan bakar (F_h) :

$$F_h = \rho_f \cdot \frac{3.6}{t} \dots\dots\dots(15)$$

Dimana :

- F_h : konsumsi bahan bakar (kg/jam)
- V : volume bahan bakar (ml)
- ρ_f : berat jenis bahan bakar (kg/lit)
- ON 89.3 : $\rho_f = 0,741$ kg/lit
- t : waktu pemakaian bahan bakar (detik)

2. Perbandingan Campuran Bahan Bakar dan Udara (AFR) :

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} \dots\dots\dots(16)$$

Dimana :

- AFR : perbandingan campuran bahan bakar dan udara
- m_a : massa aliran udara (kg/jam)

3. Pemakaian Bahan Bakar Spesifik Efektif (F_e) :

$$Fe = \frac{Fh}{Ne} \dots\dots\dots(17)$$

Dimana :

Ne : daya efektif (kW)

Fe : Pemakaian Bahan Bakar Spesifik Efektif (kg/kwh)

4. Pemakaian bahan bakar spesifik indikasi (Fi) :

$$Fi = \frac{Fh}{Ni} \dots\dots\dots(18)$$

Dimana :

Ni : daya indikasi (kw)

Fi : Pemakaian bahan bakar spesifik indikasi (kg/kwh)

2.10 Teori Pembakaran

Pengertian pembakaran secara umum yaitu terjadinya oksidasi cepat dari bahan bakar disertai dengan produksi panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi jika ada pasokan oksigen yang cukup. Dalam setiap bahan bakar, unsur yang mudah terbakar adalah karbon, hidrogen, dan sulfur.

Dalam proses pembakaran tidak terlepas dari tahap awal yaitu penyalaan dimana keadaan transisi dari tidak reaktif menjadi reaktif karena dorongan eksternal yang memicu reaksi termokimia diikuti dengan transisi yang cepat sehingga pembakaran dapat berlangsung. Penyalaan terjadi bila panas yang dihasilkan oleh pembakaran lebih besar dari panas yang hilang ke lingkungan. Dalam proses penyalaan ini dapat dipicu oleh energi *thermal* yang merupakan transfer energi *termal* ke reaktan oleh konduksi, konveksi, radiasi atau kombinasi dari ketiga macam proses tersebut.

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan tingkat konsumsi bahan bakar ekonomis dan berkurangnya besar kepekatan asap hitam gas buang karena pada pembakaran sempurna campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar seluruhnya dalam waktu dan kondisi yang tepat. Kualitas bahan bakar perlu diperhatikan sesuai dengan karakteristiknya sehingga homogenitas campuran bahan bakar dengan udara dapat terjadi secara sempurna agar terjadi pembakaran yang sempurna. Viskositas bahan bakar adalah salah satu karakteristik bahan bakar yang sangat menentukan

kesempurnaan proses pembakaran. Viskositas yang tinggi menyebabkan aliran solar terlalu lambat. Tingginya viskositas menyebabkan beban pada pompa injeksi menjadi lebih besar dan pengkabutan saat injeksi kurang sempurna sehingga bahan bakar sulit terbakar.

Energi panas yang dihasilkan dari suatu proses pembakaran senyawa hidrokarbon merupakan kebutuhan energi yang paling dominan dalam refinery. Pengelolaan energi yang tepat dan efisien merupakan langkah penting dalam upaya penghematan biaya produksi secara menyeluruh. Pembakaran merupakan reaksi kimia yang bersifat eksotermis dari unsur-unsur yang ada di dalam bahan bakar dengan oksigen serta menghasilkan panas. Proses pembakaran memerlukan udara, namun jumlah udara yang dibutuhkan tidak diberikan dalam jumlah yang tepat secara stoikiometri, namun berlebihan. Hal ini bertujuan supaya pembakaran berlangsung sempurna. Kelebihan udara ini disebut Excess air (udara yang berlebih).

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan jumlah panas yang maksimum. Pembakaran dinyatakan secara kualitatif atau kuantitatif dengan reaksi kimia. Jumlah panas yang dihasilkan bahan bakar dinyatakan sebagai nilai kalori pembakaran (Calorific Value). Reaksi kimia terjadi melalui suatu proses oksidasi senyawa-senyawa karbon, hidrogen dan sulfur yang ada dalam bahan bakar. Reaksi ini umumnya menghasilkan nyala api.

Terdapat dua istilah pembakaran yang berhubungan dengan udara excess, yaitu :

❖ Neutral combustion

Merupakan pembakaran tanpa excess atau defisit udara dan tanpa bahan bakar yang tidak terbakar.

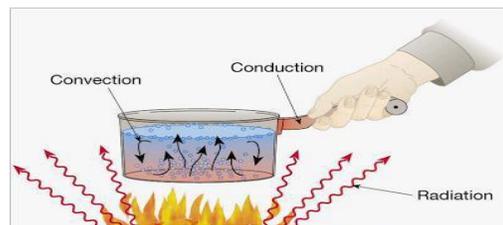
❖ Oxidizing combustion

Merupakan pembakaran dengan excess udara. Udara yang berlebih bukan merupakan jaminan pembakaran yang sempurna.

2.11 Prinsip- Prinsip Perpindahan Kalor

Perpindahan panas (*heat transfer*) merupakan energi yang bergerak atau berjalan dari suatu sistem ke sistem lainnya, karena adanya perbedaan temperature antara kedua sistem tersebut. Mekanisme perpindahan panas tersebut dapat berupa konduksi, konveksi, dan radiasi.

Karena panas merupakan energi, maka satuan yang digunakan untuk menyatakan jumlah panas yang terkandung dalam suatu bahan adalah kalori, joule, atau Btu.



Gambar 2.4 prinsip kerja perpindahan panas.

Sumber www.academiaedu.com suhu dan kalor/heat transfer

2.11.1 Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas dimana molekul-molekul dari zat perantara tidak ikut berpindah tempat tetapi molekul-molekul tersebut hanya menghantarkan panas atau proses perpindahan panas dari suhu yang tinggi ke bagian lain yang suhunya lebih rendah.

Persamaan aliran panas konduksi dikenal dengan hukum Fourier. Laju perpindahan panas konduksi dinyatakan dengan hukum Fourier, menurut *p. incropera, Fundamentals of heat and mass transfer* (1990, hal 4), yaitu :

$$q_k = k \frac{dt}{dx} \dots \dots \dots (19)$$

dimana :

q_k : laju perpindahan panas (W/m.K)

k : konduksi termal (W/m.K)

$\frac{dt}{dx}$: gradien temperature

Tanda minus menunjukkan konsekuensi dari kenyataan bahwa panas dalam arah penurunan temperature, persamaan (1) dapat ditulis menjadi :

$$q_k = k \frac{(t_1 - t_2)}{L} \dots\dots\dots(20)$$

dimana :

T_1 : temperatur pada $x = 0$

T_2 : temperatur pada $x = L$

2.11.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi dari satu tempat ke tempat lain dengan gerakan partikel secara fisis. Perpindahan panas secara konveksi ini juga diakibatkan oleh molekul-molekul zat perantara ikut bergerak mengalir dalam perambatan panas atau proses perpindahan panas dari satu titik ke titik lain dalam fluida antara campuran fluida dengan bagian lain. Ada dua macam perpindahan panas secara konveksi, yaitu :

a. Konveksi Bebas (*Natural Convection*)

Merupakan proses perpindahan panas yang berlangsung secara alamiah, dimana perpindahan panas dalam molekul-molekul dalam zat yang dipanaskan terjadi dengan sendirinya tanpa adanya tenaga dari luar.

b. Konveksi Paksa (*Forced Convection*)

Merupakan proses perpindahan panas yang terjadi karena adanya bantuan dari luar, misalnya pengadukan. Jika dalam suatu alat tersebut dikehendaki pertukaran panas, maka perpindahan panas terjadi secara konveksi dipaksa karena laju panas yang dipindahkan naik dengan adanya pengadukan.

Persamaan laju perpindahan panas konveksi menurut *Frank P. Incropera, David P. Dewitt, fundamental of heat and mass transfer* (1990 hal 4), dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$q = h (T_s - T_\infty) \dots\dots\dots(21)$$

dimana :

q : laju perpindahan panas konveksi (W)

h : koefisien perpindahan panas konveksi (W/m.k)

- T_s : temperature permukaan (k)
- T_∞ : temperature fluida (k)

2.11.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena perpindahan energi melalui gelombang elektromagnetik secara pancaran. Antara sumber energi dengan penerima panas tidak terjadi kontak, bagian dapur yang terkena radiasi adalah ruang pembakaran.

Jumlah energi yang meninggalkan suatu permukaan sebagai energi panas radiasi tergantung pada suhu mutlak dan sifat permukaan tersebut. Radiator yang sempurna (black bodies) memancarkan energi radiasi dari permukaannya, dirumuskan oleh *Stefan Boltzman*, menurut *Frank p. Incropera. Davit. P. Dewitt, Fundamental of heat and mass transfer* (1990, hal 1), dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$q_x = \sigma \cdot T_s^4 \dots\dots\dots(22)$$

dimana :

- q_x : laju perpindahan panas radiasi (W/m²)
- σ : konstanta stefan-boltzman (5,6 . 10⁻⁸C⁴)
- T_s : temperature absolut dari permukaan (k)

2.11.4 Temperature Acuan (*Film Temperature*)

Dalam perpindahan panas fluida atau fluida dari yang mengalir dalam pipa, temperatur fluida tidak seragam tetapi berubah-ubah sesuai dengan aliran. Pada penampang tertentu didalam suatu aliran, temperatur di tengah-tengah dapat dipakai sebagai temperatur acuan. Tetapi pada kenyataannya temperatur di tengah-tengah tersebut sulit diukur. Oleh karena itu temperatur rata-rata sebagai temperatur acuan yaitu :

- a. Temperatur rata-rata udara pemanas

$$Tr \text{ air panas} = \frac{T_1 + T_2}{2} \dots\dots\dots(23)$$

Dimana :

- T₁ : temperatur udara masuk heater (k)
- T₂ : temperatur udara keluar heater (k)

Tr : temperatur rata-rata udara pemanas masuk heater (k)

b. Temperatur rata-rata udara

$$Tr \text{ udara panas} = \frac{t1+t2}{2} \dots\dots\dots(24)$$

Dimana :

t1 : temperatur udara masuk sebelum heater (k)

t2 : tempertur udara keluar sesudah heater (k)

tr : temperatur rata-rata udara pipa heater (k)

c. Temperatur udara permukaan dinding pipa heater

$$Ts = \frac{Tr \text{ udara masuk heater} + tr \text{ udara melewati heater}}{2} \dots\dots\dots(25)$$

Dimana :

Ts : temperatur udara dinding pipa heater (k)

Tr udara masuk heater : temperatur rata-rata pemanas (k)

tr udara melewati heater : temperatur rata-rata panas (k)

jadi dari acuan diatas maka didapat temperature film (Tf) sebagai berikut :

❖ Temperatur film untuk konveksi dalam pipa heater (Tf_{hi}).

$$Tf_{hi} = \frac{Tr \text{ udara pemanas} + Ts}{2} \dots\dots\dots(26)$$

Dimana :

Tf_{hi} : temperatur film konveksi pipa heater (W/m.k)

Ts : temperatur permukaan dinding pipa heater (k)

Tr udara masuk heater: temperatur rata-rata udara pemanas

❖ Temperatur film untuk konveksi diluar pipa heater (Tf_{ho})

$$Tf_{ho} = \frac{tr \text{ udara pemanas} + Ts}{2} \dots\dots\dots(27)$$

Dimana :

Tf_{ho} : temperatur film konveksi diluar pipa heater (k)

Ts : temperatur dinding permukaan heater (k)

tr udara melewati heater : temperatur rata-rata udara panas (k)

2.11.5 Kelompok Tanpa Dimensi

Proses perpindahan panas konveksi melibatkan kelompok tanpa dimensi bagi fluida yang mengalir didalam pipamaupun yang mengalir tegak lurus terhadap pipa (diluar pipa).

a. Bilangan reynold (red)

Dipakai untuk menemukan pola aliran fluida, sehigga bisa di dikatakan laminer, turbulen, atau peralihan yang dinyatakan oleh *Frank p. incropera. Davit. p . Dewitt, fundamental of heat and mass transfer* (1990 hal 367) :

$$\text{Red} = \frac{\rho \cdot V D}{\mu} = \frac{V \cdot D}{U} \dots\dots\dots(28)$$

Dimana :

- V : kecepatan fluida rata-rata (m/dt)
- D : diameter dalam pipa (m)
- ρ : massa jenis fluida (kg/m³)
- μ : viskositas absolut fluida (kg/m dt)
- U : viskositas kinematik (m²/s)

Pola aliran fluida dikatakan laminer jikabilangan reynold < 2300, sedangkan dikatakan turbulen jika reynold > 2300, dan terjadi transisi laminer ke turbulen jika red = 2000 s/d 4000.

b. Bilangan Nusselt (Nu)

Merupakan bilangan tidak berdimensi, berbanding lurus dengan diameter pipa dan koefisien perpindahan panas konveksi, tetapi berbanding terbalik dengan konduktivitas termal fluida. Dapat dinyatakan oleh *Frank p. incropera. Davit. p . Dewitt, fundamental of heat and mass transfer* (1990 hal 367) dengan rumus :

$$\text{Nu} = \frac{hc \cdot D}{Kf} \dots\dots\dots(29)$$

Dimana :

- hc : koefisien perpindahan panas konveksi (W/m.k)
- D : diameter pipa (m)
- Kf : konduktivitas termal pipa (W/m²)

Dalam praktek bilangan nusselt merupakan ukuran perpindahan panas konveksi yang memudahkan, karena jika harganya diketahui maka setelah

mendapatkan harga reynold. Maka bilangan nusselt dapat dihitung sesuai dengan tipe aliran sebagai berikut :

1. Untuk pipa aliran laminer ($Re < 2300$) menurut J.P. Holman, perpindahan kalor, (1997 hal 255), adalah :

$$Nu = 1,86 (Re \times Pr)^{0,33} \left(\frac{d}{L}\right)^{0,33} \left(\frac{\mu_b}{\mu_s}\right)^{0,14} \dots\dots\dots(30)$$

Dimana :

- Nu : harga bilangan nusselt
- Re : harga bilangan reynold
- D : diameter pipa (m)
- L : panjang pipa (m)
- μ_b : viskositas absolut
- μ_s : viskositas absolut pada permukaan dinding

2. Untuk aliran turbulen ($Re > 2300$) menurut J.P. Holman, perpindahan kalor, (1997 hal 252), adalah :

$$Nu = 0,0023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n \dots\dots\dots(31)$$

Dimana :

- Nu : harga bilangan nusselt
- Re : harga bilangan reynold
- Pr : harga bilangan prandtl
- n : 0,3 → untuk pendingin
- : 0,4 → untuk pemanasan

2.12.3 Konveksi Paksa Dalam Pipa Heater

Pada perpindahan panas konveksi paksa dalam pipa heater banyak dijumpai dalam aplikasi penukar panas kalor, dapat dihitung dengan rumus :

$$hi = \frac{Nu \cdot k}{di}$$

maka :

$$Nu = \frac{hi \cdot di}{k} \dots\dots\dots(32)$$

Dimana :

- hi : konveksi didalam pipa heater (W/m.k)
- Nu : harga bilangan nusselt

- K : konduktivitas termal fluida (W/m.k)
- di : diameter dalam pipa heater (m)

2.11.6 konveksi paksa diluar pipa heater

Pada perpindahan panas konveksi paksa diluar pipa heater banyak dijumpai dalam aplikasi pada penukar kalor. Dapat dihitung dengan rumus persamaan :

$$hf = 38 \cdot V^{0,5} \dots\dots\dots(33)$$

Dimana :

- hf : perkiraan koefisien kalor diluar pipa heater (W/m.k)
- V : kecepatan udara (m/d)

2.11.7 Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Bagian penting dari setiap analisa heat exchanger menentukan koefisien perpindahan panas yang menyeluruh. Jika ada dua fluida pada alat penukar kalor dipisahkan oleh dinding datar, maka koefisien perpindahan panas menyeluruh dinyatakan dalam bentuk rumus :

$$\frac{1}{U_o \cdot A_o} = \frac{1}{U_i \cdot A_i} = \frac{1}{hf(A_p + \eta A_e)} + \frac{x}{k \cdot A_m} = \frac{1}{h_i \cdot A_i}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{hf(A_p + A_e \eta)} + \frac{x}{k \cdot A_m} + \frac{1}{h_i \cdot A_i}} \dots\dots\dots(34)$$

Dimana :

- Ui : koefisien perpindahan kalor total berdasarkan luas permukaan dalam (W/m.k)
- Uo : koefisien perpindahan kalor berdasarkan luas permukaan
- Ao : jalur luar permukaan pipa heater (m²)
- Ap : luas permukaan pipa heater diantara sirip-sirip (m²)
- Ae : luas permukaan dalam pipa heater (m²)
- Ai : luas permukaan luar pipa heater (m²)
- Am : luas rata-rata sekeliling pipa heater (m²)

- K : daya hantar logam pipa heater (W/m.k)
- x : ketebalan pipa heater (m)
- hi : koefisien perpindahan panas dalam pipa heater (W/m.k)
- hf : perkiraan koefisien panas diluar pipa heater (W/m²)
- η : keefektifan sirip

2.11.8 Benda Temperatur Efektif Rata-Rata (LMTD)

Temperatur fluida mengalir pada permukaan perpindahan panas pada umumnya tidak konstan, tetapi berada pada suatu titik ke titik yang lainnya pada waktu panas mengalir dari fluida yang lebih panas ke fluida yang lebih dingin. Oleh karena itu akan memudahkan jika digunakan benda temperatur rata-rata (ΔT), yang didefinisikan dari sumber referensi yang diketahui dari internet <http://java-borneo.blogspot.com/2011/05/metode-lmt-dan-ntu-pada-heat-exchanger.html>.

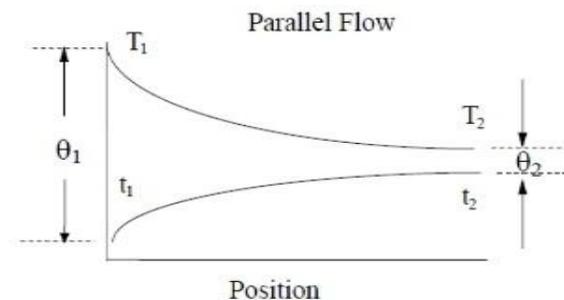
Menyatakan :

$$\Delta LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \dots\dots\dots(34)$$

Dimana :

- LMTD : beda rata-rata temperatur logaritmik
- ΔT_{max} : nilai suhu maksimum
- ΔT_{min} : nilai suhu minimum

a. LMTD untuk paralel flow



Gambar 2.5 LMTD untuk paralel flow

sumber : <https://www.slideshare.net/rupeshdatir/log-mean-temperature-difference>

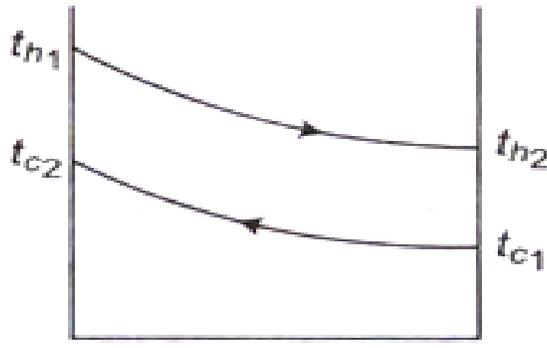
Untuk aliran yang paralel menurut sumber <http://java-borneo.blogspot.com/2011/05/metode-lmt-dan-ntu-pada-heat-exchanger.html>. dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2}\right)} \dots\dots\dots(35)$$

Dimana :

- T1 : temperatur fluida pemanas yang masuk heater (k)
- T2 : temperatur fluida pemanas yang keluar heater (k)
- t1 : temperatur fluida panas masuk heater (k)
- t2 : temperatur fluida panas melewati heater (k)

b. LMTD untuk counter flow



Gambar 2.6 LMTD untuk counter flow sumber :

<https://www.slideshare.net/rupeshdatir/log-mean-temperature-difference>

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2} \right)} \dots \dots \dots (36)$$

LMTD untuk counter flow harus dikaitkan dengan faktor koreksi (f), sehingga

LMTD menjadi :

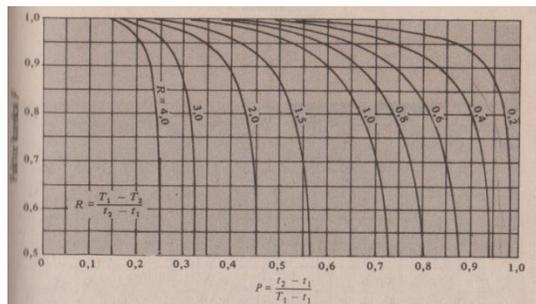
$$T_{lm_r} = f \times LMTD$$

Dimana :

f : faktor koreksi yang didapat dari harga (P,R)

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_2 - T_1} \qquad R = \frac{T_2 - T_1}{t_2 - t_1}$$

Faktor koreksi diperoleh dari grafik pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.7 grafik faktor koreksi untuk penukar kalor counter flow

Sumber : *J. P. Holman, perindahan kalor, 1997 hal 492*

2.11.9 Keefektifan Heat Exchanger

Keefektifan heat exchanger merupakan perbandingan perpindahan kalor nyata dalam penukar kalor yang sebenarnya (aktual) dapat dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang di terima oleh fluida pendingin.

- ❖ Untuk penukar kalor aliran sejajar yaitu :

$$Q = m_h \cdot c_h (T_2 - T_1) = m_c \cdot c_c (t_2 - t_1) \dots \dots \dots (37)$$

- ❖ Untuk penukar kalor aliran berlawanan yaitu :

$$q = m_h \cdot c_h (T_1 - T_2) = m_c \cdot c_c (t_1 - t_2) \dots \dots \dots (38)$$

untuk menentukan perpindahan kalor maximum untuk penukar kalor, pertama-tama kita harus mengetahui nilai maximum akan didapat apabila salah satu fluida mengalami perubahan suhu pada suhu maximum yang terdapat pada penukar kalor, yaitu selisih suhu masuk fluida panas dan fluida dingin.

Fluida yang mungkin mengalami beda suhu maximum adalah yang nilai $m \cdot c_p$ -nya minimum, karena neraca energi mensyaratkan bahwa energi yang diterima oleh fluida yang satu maka harus sama dengan energi panas yang diperoleh fluida satu lagi. Jika fluida mempunyai nilai $m \cdot c_p$ -nya yang lebih besar yang kita buat mengalami beda suhu maksimum, maka tentu saja fluida yang satu lagi mengalami perubahan suhu yang lebih besar dari maksimum, dan ini tentu saja tidak mungkin. Fluida minimum boleh yang panas dan boleh juga yang dingin, tergantung dari laju aliran massa dan kalor spesifik yang lebih kecil harganya dianggap sebagai fluida minimum.

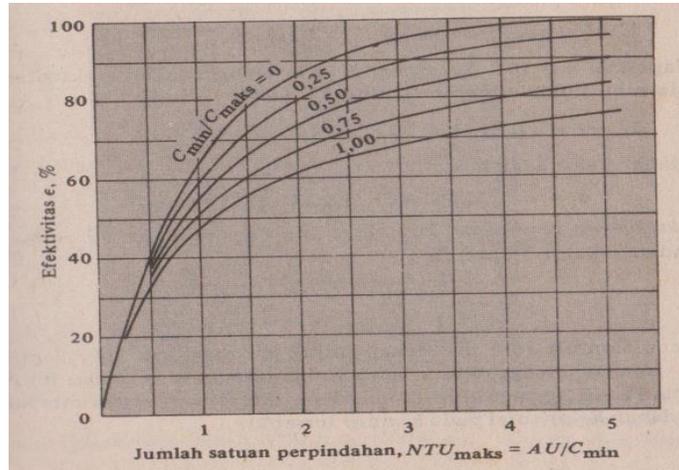
2.11.10 NTU (Number of Transfer Unit)

Merupakan jumlah satuan perpindahan panas yang merupakan tolak ukur perpindahan panas pada alat ukur penukar kalor, semakin besar harga NTU alat penukar kalor tersebut mendekati batas termodinamikanya. Harga keefektifan dipengaruhi oleh susunan aliran pendingin, didalam praktek dapat ditentukan dengan analisa rumus sebagai berikut :

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}} \dots \dots \dots (39)$$

Dimana :

- U : koefisien perpindahan kalor menyeluruh (W/m.k)
- A : luas permukaan heat exchanger yang memancarkan panas (m²)
- C_{min} : laju perpindahan minimum (Kj/Kg.K)



GAMBAR 2.8 Grafik Efektivitas sumber : J.P.Holman, *perpindahan kalor*, (1997 hal 503)

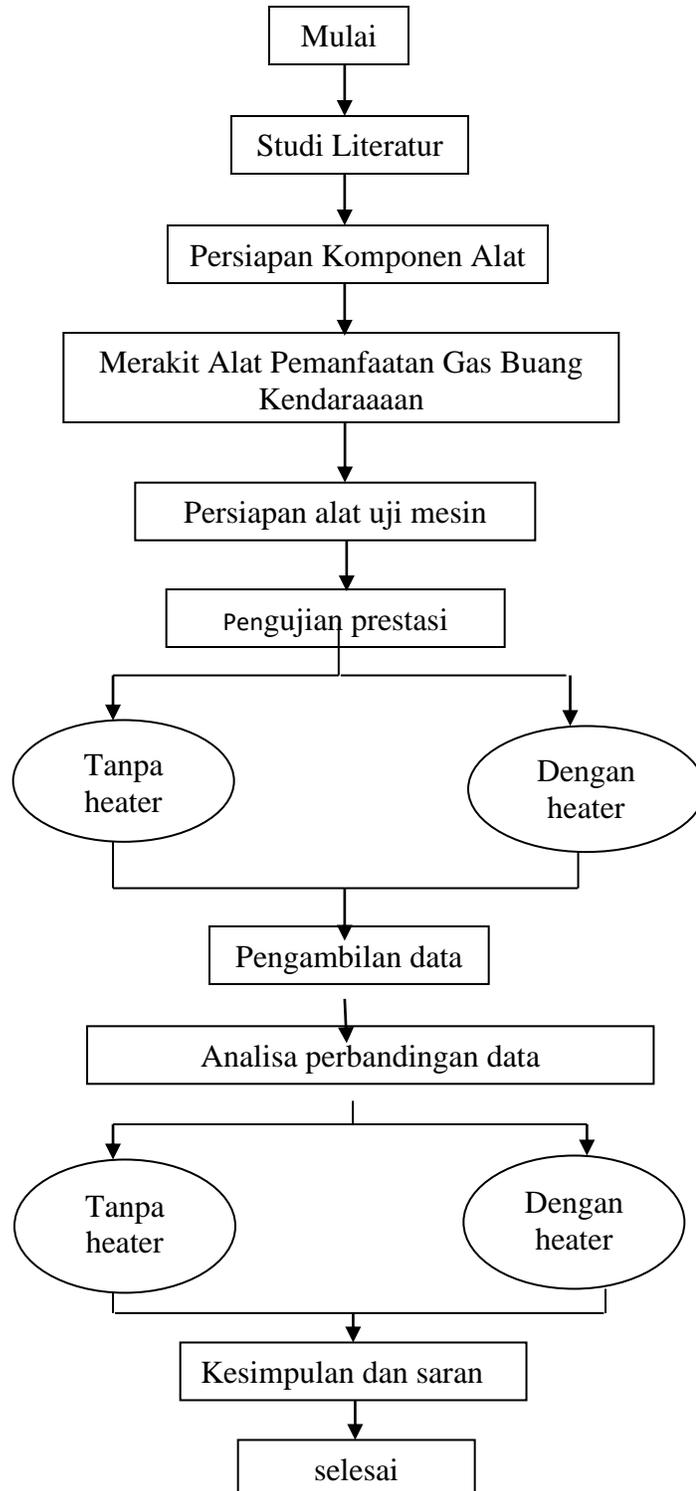
Untuk harga C_{min} dan C_{max} dapat dihitung dengan menggunakan rumus laju kapasitas menurut J.P.Holman, *perpindahan kalor*, (1997 hal 507)

$$C = m \cdot c_p \text{ (J/s)} \dots \dots \dots (39)$$

Fluida minimum boleh yang panas dan boleh yang dingin tergantung dari laju aliran massa dan kalor spesifik

BAB III
METODE PENELITIAN

1.1 Diagram Alir Penelitian



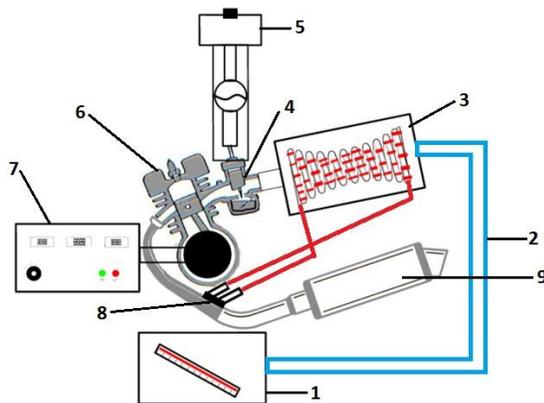
3.2 Alat Uji

Motor uji yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Model : petrol engine (MERLIN I)
2. Tahun : 2000
3. Produksi : England
4. Mesin : 4-stroke
5. Kapasitas mesin : 77,6 cc
6. Bore : 51 mm
7. Stroke : 38 mm
8. Rasio kompresi : 6,5 : 1
9. Max power : 3600 rpm

3.3 Desain Alat Uji

Desain alat pemanfaatan gas buang pada kendaraan roda dua sebagai berikut :



Gambar 3.1 desain alat uji

Keterangan :

1. Box Filter
2. Selang Udara
3. Box Heater
4. Karburator
5. Tangki Bahan Bakar

6. Engine
7. Dynamometer
8. Saluran Udara Panas Masuk/Keluar Heater
9. Knalpot

3.4 Komponen-Komponen Yang Digunakan :

- Motor bakar yang digunakan adalah mesin petrol engine (Merlin I) dengan kapasitas silinder 77,6 cc.



- 1 unit dynamometer dan controller digunakan untuk mengontrol engine.



- Pipa tembaga dengan sirip digunakan sebagai media menghantarkan panas gas buang.



- Stopwatch merupakan alat yang digunakan untuk mengukur lamanya waktu yang diperlukan dalam kegiatan penelitian.



- Termokopel alat yang digunakan untuk mengetahui suhu



- Tabung bahan bakar digunakan untuk mengetahui berapa pemakaian bahan bakarnya.



3.5 Tempat Penelitian

1. Pengujian dilakukan di laboratorium Motor Bakar Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Perakitan bahan uji dilakukan di laboratorium Motor Bakar Institut Teknologi Nasional Malang.

3.6 Waktu Penelitian

Waktu pengujian dilakukan pada rabu 15 mei sd jumat 17 mei 2019

Tabel 3.1 waktu penelitian

No.	Kegiatan	Bulan						
		MEI 2019			JUNI 2019			
		M 2	M 3	M 4	M 1	M 2	M 3	M 4
1	Desain perencanaan							
2	Proses perakitan alat							
3	Perhitungan dan analisa							
4	Pembuatan laporan							

3.7 Rumus- Rumus Motor Bakar

1. Brake Power : (N_e)

$$N_e = \frac{2 \cdot n_e \cdot T_e}{60} \dots \dots \dots (40)$$

2. Fuel mass flow rate : (M_f)

$$M_f = v \cdot \rho_f \cdot \frac{3.6}{t} \dots \dots \dots (41)$$

3. Air mass flow rate : (M_a)

$$M_a = \sqrt[k]{\frac{p \cdot \alpha \cdot \Delta h w}{T_a}} \dots \dots \dots (42)$$

4. Air fuel ratio : (AFR)

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} \dots \dots \dots (43)$$

5. Volumetric efficiency (η_v)

$$\eta_v = 100 \frac{m_a}{p_a \cdot v_s \cdot n_e \cdot 60 / 2} \dots \dots \dots (44)$$

$$\rho_a = \frac{p_a}{R \cdot T_a} \dots \dots \dots (45)$$

Dimana :

p_a = tekanan udara luar (1101 Mbar)

T_a = temperatur udara luar

v_s = volume langkah

R = konstanta gas udara = 287 joule/kg °k

6. Break spesifik fuel consumption (SFC)

$$SFC = \frac{m_f}{N_e} \dots \dots \dots (46)$$

Dimana :

N_e = daya motor/power

7. Break thermal efficiency (ρ_{bth})

$$\rho_{bth} = \frac{N}{m_f \cdot c_v} \dots \dots \dots (47)$$

Dimana :

$C_v = 43 \text{ MJ/kg}$

HASIL PENELITIAN DAN ANALISA DATA

4.1 Hasil pengamatan eksperimen

Data dari hasil penelitian di dapatkan hasil yang berbeda-beda dari setiap pengujian yang dilakukan. Perubahan nilai temperatur dapat mempengaruhi hasil nilai daya, torsi, dan pemakaian bahan bakar. Sehingga menghasilkan data tabel tanpa heater dan memakai heater yang telah di sajikan sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data hasil pengamatan eksperimen Standar atau tidak memakai heater

Tekanan Udara Luar (Pa)	Temperatur Ruang (Ta)	Bahan Bakar	Kompresi Rasio	Volume Bahan Bakar
1101	21 °C	Premium	6,5 : 1	8 ml

No	putaran (rpm)	Torsi (Nm)	Temperatur ruang (°c)	Konsumsi bahan bakar (cc/detik)	Δ hw air box pressure (mm)
1	1000	2,5	21	80,78	3
2	1500	2,8	21	56,13	4,5
3	2000	2,7	21	48,38	6
4	2500	2,8	21	40,72	10

Tabel 4.2 Data hasil pengamatan eksperimen memakai heater

No	Putaran (rpm)	torsi (Nm)	T ₁ Exhaust (pipa masuk heater)	t ₂ Ambient (box heater)	t ₁ oC (ruang)	T ₂ oC (keluar pipa heater)	t konsumsi bahan bakar (lt/detik)	Laju aliran gas m/s
1	1000	1,7	50	41	21	27	94,11	0,00303
		1,8	51	41				
		1,6	47	48				
		1,9	43	45				
		1,3	41	45				
		2,0	38	49				
		1,3	37	48				
2	1500	2,4	64	43	21	27,5	74,69	0,00444
		2,4	60	39				
		2,3	60	38				
		2,3	62	38				
		2,3	59	38				
		2,3	56	38				
3	2000	2,2	66	39	21	27	61,55	0,00450
		2,0	66	40				
		2,3	67	40				
		2,2	67	40				
		2,4	70	40				
4	2500	2,2	56	36	21	27	48,57	0,00453
		2,4	56	36				
		2,1	56	37				
		2,5	57	38				
		58	58	58				

Tabel 4.3 Data hasil eksperimen memakai heater setelah di rata-rata

No	putaran (rpm)	Torsi (Nm)	ΔT_1 Exhaust (Masuk heater) ($^{\circ}\text{C}$)	Δt_2 Ambient (box heater) ($^{\circ}\text{C}$)	t_1 In (ruang) ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_2 Out (Keluar heater) ($^{\circ}\text{C}$)	Konsumsi bahan bakar (cc/detik)	Laju aliran gas (m/s)
1	1000	2,2	53	45	21	27	94,11	0,00303
2	1500	2,2	60	42	21	27	74,69	0,00444
3	2000	1,8	67	38	21	27,5	61,55	0,00450
4	2500	1,9	56	35	21	28,6	48,57	0,00453

4.2 Data empiris atau perhitungan

1. Perhitungan kalor

➤ Massa gas ($M_g = A \cdot V \cdot \rho$)

$$1000 \text{ (rpm)} = 0,8 \times 0,00303 \times 986,2 = 2,3 \text{ Kj/Kg/m}^3$$

$$1500 \text{ (rpm)} = 0,8 \times 0,00444 \times 983,2 = 3,4 \text{ Kj/Kg/m}^3$$

$$2000 \text{ (rpm)} = 0,8 \times 0,00450 \times 978,9 = 3,5 \text{ Kj/Kg/m}^3$$

$$2500 \text{ (rpm)} = 0,8 \times 0,00453 \times 985,2 = 3,6 \text{ Kj/Kg/m}^3$$

❖ Kalor yang di lepas ($Q_g = m_g \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2)$)

$$1000 \text{ (rpm)} = 2,3 \times 4,181 (57^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}) = 25,02 \text{ kkal/Btu}$$

$$1500 \text{ (rpm)} = 3,4 \times 4,184 (60^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}) = 46,91 \text{ kkal/Btu}$$

$$2000 \text{ (rpm)} = 3,5 \times 4,184 (67^{\circ}\text{C} - 27,5^{\circ}\text{C}) = 57,84 \text{ kkal/Btu}$$

$$2500 \text{ (rpm)} = 3,6 \times 4,182 (56^{\circ}\text{C} - 28,6^{\circ}\text{C}) = 41,25 \text{ kkal/Btu}$$

- Massa udara $(Mu = A \cdot V \cdot \rho)$
- 1000 (rpm) $= 15 \times 0,00303 \times 997,8 = 45 \text{ Kj/Kg/m}^3$
- 1500 (rpm) $= 15 \times 0,00444 \times 997,8 = 66 \text{ Kj/Kg/m}^3$
- 2000 (rpm) $= 15 \times 0,00450 \times 997,8 = 67 \text{ Kj/Kg/m}^3$
- 2500 (rpm) $= 15 \times 0,00453 \times 997,8 = 68 \text{ Kj/Kg/m}^3$
-
- ❖ Kalor yang diserap $(Qu = mu \cdot cp \cdot (t_2 - t_1))$
- 1000 (rpm) $= 45 \times 4,181 (45^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C}) = 4,51 \text{ kkal/Btu}$
- 1500 (rpm) $= 66 \times 4,181 (38^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C}) = 4,69 \text{ kkal/Btu}$
- 2000 (rpm) $= 67 \times 4,181 (42^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C}) = 5,88 \text{ kkal/Btu}$
- 2500 (rpm) $= 68 \times 4,181 (35^{\circ}\text{C} - 21^{\circ}\text{C}) = 3,98 \text{ kkal/Btu}$
-
- ❖ Efektivitas $(\epsilon = \frac{Qu_2 - Qu_1}{Qg_1 - Qg_2})$
- 1000 (rpm) $= \frac{45 - 21}{53 - 27} = 0,92\%$
- 1500 (rpm) $= \frac{38 - 21}{60 - 27} = 0,51\%$
- 2000 (rpm) $= \frac{42 - 21}{67 - 27,5} = 0,53\%$
- 2500 (rpm) $= \frac{35 - 21}{56 - 28,6} = 0,51\%$

2. Perhitungan prestasi (ketentuan MERLIN I)

A. Standar atau tidak memakai pemanas

- ❖ Kecepatan dynamometer (nd) $(6/5 \times \text{putaran mesin})$

- $6/5 \times 1000 = 1200 \text{ rpm}$
- $6/5 \times 1500 = 1800 \text{ rpm}$
- $6/5 \times 2000 = 2400 \text{ rpm}$
- $6/5 \times 2500 = 3000 \text{ rpm}$

$$\text{❖ Daya (ne) } \left(\frac{2\pi \cdot ne \cdot Te}{60.000} \right)$$

$$\text{➤ Ne}_1 = \frac{2.3,14.1200.2,5}{60.000} = 0,31 \frac{kg}{s}/Kw$$

$$\text{➤ Ne}_2 = \frac{2.3,14.1800.2,8}{60.000} = 0,52 \frac{kg}{s}/Kw$$

$$\text{➤ Ne}_3 = \frac{2.3,14.2400.2,7}{60.000} = 0,67 \frac{kg}{s}/Kw$$

$$\text{➤ Ne}_4 = \frac{2.3,14.3000.2,8}{60.000} = 0,87 \frac{kg}{s}/Kw$$

$$\text{❖ Torsi (Te) } \left(5/6 \times \text{torsi dynamometer} \right)$$

$$\text{➤ Te}_1 = 5/6 \times 2,5 = 2,08 \text{ lbf/ft}$$

$$\text{➤ Te}_1 = 5/6 \times 2,8 = 2,33 \text{ lbf/ft}$$

$$\text{➤ Te}_1 = 5/6 \times 2,7 = 2,25 \text{ lbf/ft}$$

$$\text{➤ Te}_1 = 5/6 \times 2,8 = 2,33 \text{ lbf/ft}$$

$$\text{❖ Pemakaian bahan bakar (Sfc) } \left(Sfc = \frac{mf}{ne} \right)$$

$$\text{➤ Sfc}_1 = \frac{0,26}{0,31} = 0,83 \text{ ml/s}$$

$$\text{➤ Sfc}_2 = \frac{0,38}{0,52} = 0,73 \text{ ml/s}$$

$$\text{➤ Sfc}_3 = \frac{0,44}{0,67} = 0,65 \text{ ml/s}$$

$$\text{➤ Sfc}_4 = \frac{0,52}{0,87} = 0,59 \text{ ml/s}$$

B. Setelah memakai pemanas

$$\text{❖ Kecepatan dynamometer (nd) } 6/5 \times \text{putaran mesin}$$

$$\text{➤ } 6/5 \times 1000 = 1200 \text{ rpm}$$

$$\text{➤ } 6/5 \times 1500 = 1800 \text{ rpm}$$

$$\text{➤ } 6/5 \times 2000 = 2400 \text{ rpm}$$

$$\text{➤ } 6/5 \times 2500 = 3000 \text{ rpm}$$

❖ Daya (Ne) $\left(\frac{2\pi \cdot ne \cdot Te}{60.000} \right)$

➤ Ne₁ = $\frac{2.3,14.1200.2,2}{60.000} = 0,27 \frac{kg}{s}/Kw$

➤ Ne₂ = $\frac{2.3,14.1800.2,2}{60.000} = 0,41 \frac{kg}{s}/Kw$

➤ Ne₃ = $\frac{2.3,14.2400.1,8}{60.000} = 0,45 \frac{kg}{s}/Kw$

➤ Ne₄ = $\frac{2.3,14.3000.1,9}{60.000} = 0,59 \frac{kg}{s}/Kw$

❖ Torsi (Te) $\left(5/6 \times \text{torsi dynamometer} \right)$

➤ Te₁ = $5/6 \times 2,2 = 1,8 \text{ lbf/ft}$

➤ Te₂ = $5/6 \times 2,2 = 1,8 \text{ lbf/ft}$

➤ Te₃ = $5/6 \times 1,8 = 1,5 \text{ lbf/ft}$

➤ Te₄ = $5/6 \times 1,9 = 1,6 \text{ lbf/ft}$

❖ Pemakaian bahan bakar (sfc) $\left(Sfc = \frac{mf}{ne} \right)$

➤ Sfc₁ = $\frac{0,22}{0,27} = 0,81 \text{ ml/s}$

➤ Sfc₂ = $\frac{0,28}{0,41} = 0,68 \text{ ml/s}$

➤ Sfc₃ = $\frac{0,34}{0,45} = 0,75 \text{ ml/s}$

➤ Sfc₄ = $\frac{0,43}{0,59} = 0,72 \text{ ml/s}$

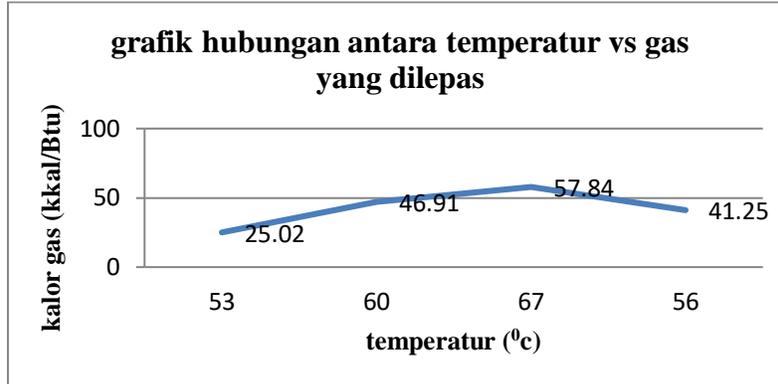
Tabel 4.4 Data hasil empiris kalor

No	Putaran Rpm	Kalor yang dilepas kkal/Btu	Kalor yang di serap kkal/Btu	Efektivitas %
1	1000	25,02	4,511	0,92
2	1500	46,91	4,698	0,51
3	2000	57,84	5,891	0,53
4	2500	41,25	3,987	0,51

Tabel 4.5 Data hasil empiris prestasi mesin

No	Putaran rpm	Daya ($\frac{kg}{s}/Kw$)		Torsi (lbf/ft)		Pemakaian bahan bakar (ml/s)	
		standar	heater	standar	heater	standar	heater
1	1000	0,27	0,31	2,08	1,8	0,83	0,81
2	1500	0,41	0,52	2,33	1,8	0,73	0,68
3	2000	0,45	0,67	2,25	1,5	0,65	0,75
4	2500	0,59	0,87	2,33	1,6	0,59	0,72

4.3 Grafik dan Analisa



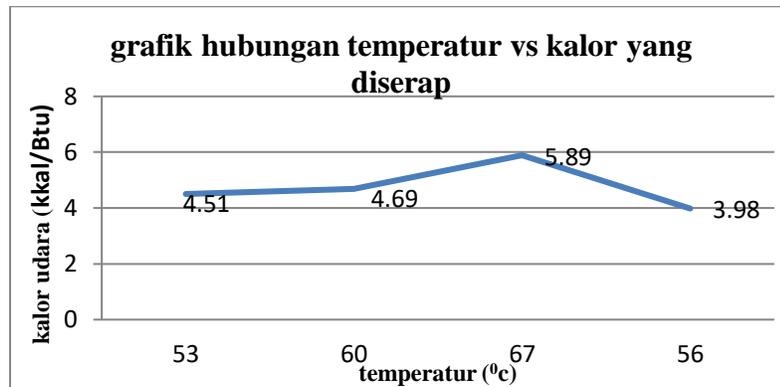
Gambar 4.1 hubungan temperatur dan kalor yang dilepas

Kalor yang di lepas adalah kalor yang sudah diserap dan akan dilepaskan kembali ke atmosfer (ruang) setelah terjadi proses penukar kalor di dalam box heater dan terjadi kenaikan temperatur oleh udara atmosfer, proses terjadi kenaikan temperatur udara atmosfer karena perpindahan kalor atau panas dari tinggi ke rendah yang sesuai dengan hukum termodinamika kedua yaitu temperatur tinggi selalu bergerak ke rendah dan dalam sistem perpindahan panas termasuk dalam perpindahan panas konveksi dimana dalam penelitian ini dengan menggunakan model penukar kalor tipe hourglass sebagai pemanasan awal terhadap gas buang kendaraan, dan tingginya temperatur udara gas buang kendaraan tentunya bisa mempengaruhi tekanan udara yang akan masuk ke karburator untuk dilakukan proses pembakaran lebih lanjut.

Setelah melakukan perhitungan empiris yang sudah tertera pada grafik 4.1 didapatkan bahwa pada putaran 1000 (rpm) nilai kalor yang di lepas adalah 25,02 kkal/Btu, dan nilai kalor yang dilepas juga naik di putaran 1500 (rpm) yaitu dengan nilai 46,91 kkal/Btu, kemudian nilai kalor yang di serap terus naik di putaran 2000 (rpm) yaitu 57,84 kkal/Btu, untuk putaran tinggi 2500 (rpm) nilai kalor yang di lepas turun menjadi 41,25 kkal/Btu. untuk selisih perbedaan nilai kalor yang di lepas adalah 21,89 kkal/Btu pada putaran 1000 (rpm) dan 1500 (rpm) dan untuk putaran selanjutnya selisih perbedaan nilai kalor adalah relatif lebih kecil yaitu 10,93 kkal/Btu.

penurunan nilai kalor di putaran 2500 rpm yaitu 41,25 kkal/Btu karena pengaruh temperatur yang turun di putaran tinggi, penurunan nilai kalor yang di lepas tersebut karena penukar kalor tidak produktif di putaran tinggi dan udara yang menyerap kalor membutuhkan waktu yang sangat cepat karena di putaran tinggi waktu untuk pertukaran kalor dan proses

kenaikan temperatur relatif cepat untuk proses penukar kalor yang terjadi di dalam box heater, dan waktu adalah faktor utama untuk proses pertukaran kalor di dalam box heater,



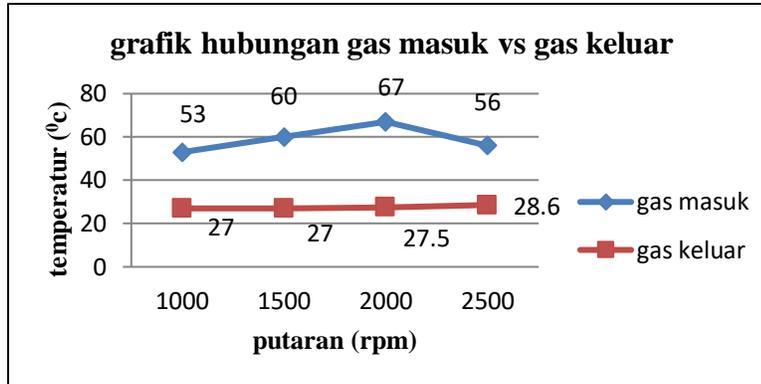
Gambar 4.2 hubungan antara temperatur dan kalor yang diserap

Kalor yang di serap adalah kalor yang sudah diserap oleh udara atmosfer dan setelah itu akan di kembalikan ke atmosfer (ruang) setelah terjadi proses penukar kalor di dalam box heater dan terjadi kenaikan temperatur oleh udara atmosfer, proses terjadi kenaikan temperatur udara atmosfer karena perpindahan kalor atau panas dari tinggi ke rendah yang sesuai dengan hukum termodinamika kedua yaitu temperatur tinggi selalu bergerak ke rendah dan dalam sistem perpindahan panas termasuk dalam perpindahan panas konveksi dimana dalam penelitian ini dengan menggunakan model penukar kalor tipe hourglass sebagai pemanasan awal terhadap gas buang kendaraan, dan tingginya temperatur udara gas buang kendaraan tentunya bisa mempengaruhi tekanan udara yang akan masuk ke karburator untuk dilakukan proses pemabakaran lebih lanjut.

Setelah melakukan perhitungan empiris yang sudah tertera pada grafik 4.1 didapatkan bahwa pada putaran 1000 (rpm) nilai kalor yang di lepas adalah 4,51 kkal/Btu, dan nilai kalor yang serap juga naik di putaran 1500 (rpm) yaitu dengan nilai 4,69 kkal/Btu, kemudian nilai kalor yang di serap terus naik di putaran 2000 (rpm) yaitu 5,89 kkal/Btu, untuk putaran tinggi 2500 (rpm) nilai kalor yang di serap turun menjadi 3,98 kkal/Btu. untuk selisih perbedaan nilai kalor adalah 0,18 kkal/Btu pada putaran 1000 (rpm) dan 1500 (rpm) dan untuk putaran selanjutnya selisih perbedaan nilai kalor adalah relatif lebih kecil yaitu 1,2 kkal/Btu.

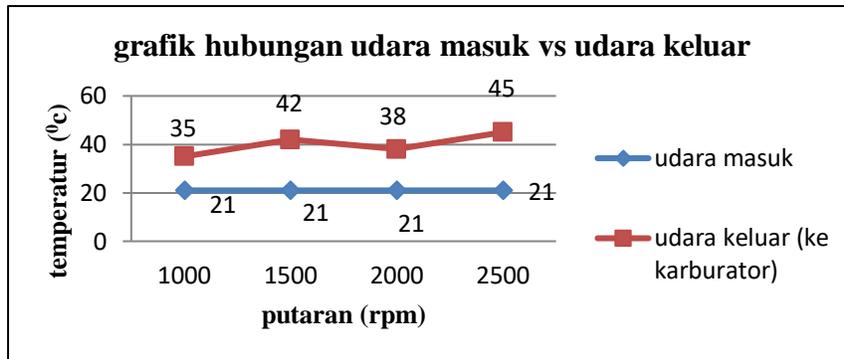
penurunan nilai kalor di putaran 2500 rpm yaitu 3,98 kkal/Btu karena pengaruh temperatur yang turun di putaran tinggi, penurunan nilai kalor yang di serap tersebut karena penukar kalor tidak produktif di putaran tinggi dan udara yang menyerap kalor membutuhkan

waktu yang sangat cepat karena di putaran tinggi waktu untuk pertukaran kalor dan proses kenaikan temperatur relatif cepat untuk proses penukar kalor yang terjadi di dalam box heater, dan waktu adalah faktor utama untuk proses pertukaran kalor dalam box heater.



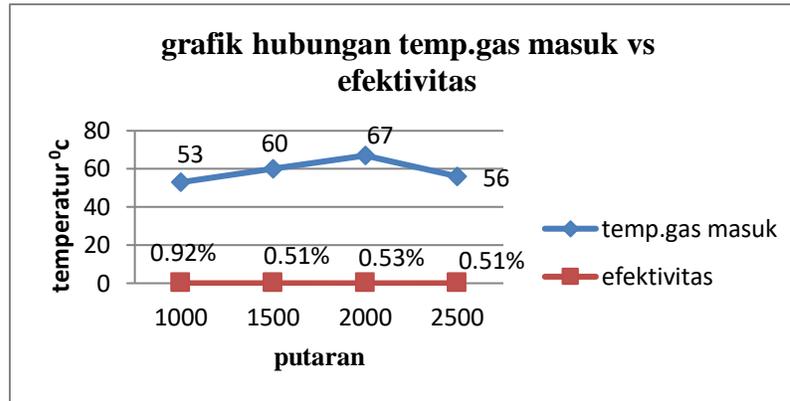
Gambar 4.3 grafik hubungan gas masuk vs gas keluar

Gas masuk adalah gas dengan temperatur tinggi yang dari sisa panas gas buang kendaraan untuk dimanfaatkan sebagai pemanasan awal oleh heater tersebut, dan gas keluar adalah gas yang sudah dilakukan atau sudah di proses oleh penukar kalor yang terjadi di dalam box heater untuk dilepaskan kembali ke atmosfer dalam keadaan suhu yang rendah akibat dari pertukaran temperatur tersebut. Proses penukar kalor tersebut adalah sebuah proses dari hukum termodinamika kedua yaitu dimana suhu yang temperatur tinggi bergerak ke temperatur yang lebih rendah. Setelah dilakukan proses pertukaran temperatur (kalor) tersebut maka temperatur awal yaitu temperatur tinggi yang dari sisa gas buang kendaraan akan terjadi perubahan dengan penurunan temperatur tersebut yaitu menjadi rendah. Perubahan atau terjadi penurunan temperatur dari yang tinggi ke yang rendah yang terjadi di dalam box heater didapatkan bahwa pada putaran 1000 rpm yang dari temperatur 53⁰c turun menjadi 27⁰c, pada putaran 1500 rpm temperatur awal adalah 60⁰c turun menjadi 27⁰c, dan pada putaran 2000 rpm temperatur awal adalah 67⁰c turun menjadi 27,5⁰c, kemudian pada putaran 2500 rpm temperaturnya adalah 56⁰c dan turun menjadi 28,6⁰c.



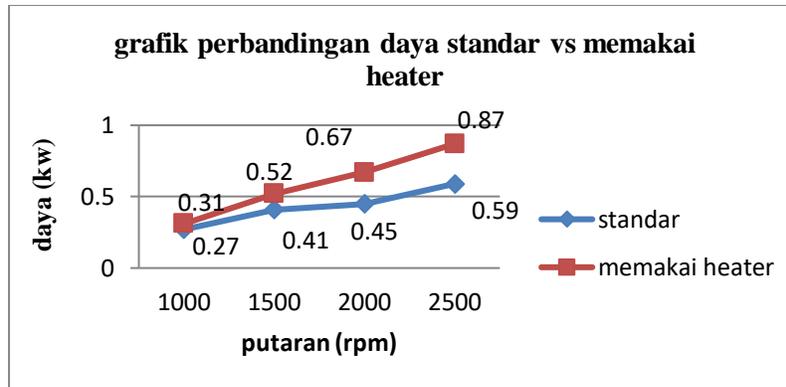
Gambar 4.4 grafik hubungan udara masuk vs udara keluar

Udara masuk adalah udara atmosfer dengan temperatur rendah yang akan masuk ke dalam box heater untuk dinaikan temperaturnya sebelum keluar atau menuju ke karburator tersebut, dan udara keluar (ke karburator) adalah udara dengan temperatur tinggi yang sudah dilakukan atau sudah di proses oleh penukar kalor yang terjadi di dalam box heater yang sudah dinaikan temperaturnya untuk menuju ke karburator tersebut. Proses penukar kalor yang terjadi di dalam box heater yang dari temperatur rendah ke tinggi adalah sebuah proses yang berkebalikan dari hukum termodinamika kedua yaitu dimana suhu yang temperatur tinggi bergerak ke temperatur yang lebih rendah, proses kenaikan temperatur tersebut tidak akan terjadi bila tidak ada sebuah usaha yang dilakukan dalam box heater tersebut. Setelah dilakukan proses pertukaran temperatur (kalor) tersebut maka temperatur awal yaitu temperatur rendah yang dari sisa gas buang kendaraan akan terjadi perubahan dengan kenaikan temperatur tersebut yaitu menjadi tinggi. Perubahan atau terjadi kenaikan temperatur dari yang rendah ke yang tinggi yang terjadi di dalam box heater di dapatkan bahwa pada putaran 1000 rpm yang dari temperatur 21⁰c naik menjadi 45⁰c, pada putaran 1500 rpm temperatur awal adalah 21⁰c naik menjadi 38⁰c, dan pada putaran 2000 rpm temperatur awal adalah 21⁰c naik menjadi 42⁰c, kemudian pada putaran 2500 rpm temperaturnya adalah 21⁰c dan naik menjadi 35⁰c.



Gambar 4.5 grafik hubungan temp.gas masuk vs efektivitas

Efektivitas adalah nilai perbandingan antara nilai kalor yang di lepas dan kalor yang di serap, nilai efektivitas di dapatkan setelah lakukan perhitungan empiris yang sudah tertera pada tabel 4.5. pada putaran 1000 (rpm) nilai efektivitas memiliki nilai tertinggi yaitu 0,92% dan pada putaran 1500 (rpm) nilai efektivitas turun menjadi 0,51% dan naik lagi pada putaran 2000 yaitu 0,53% dan pada putaran tinggi nilai efektivitas turun lagi menjadi 0,51%, perbedaan nilai efektivitas yaitu dari putaran 1000 (rpm) dan 1500 (rpm) yaitu 0,41% dan putaran selanjutnya memiliki perbedaan nilai 0,2% sangat kecil dibandingkan putaran selanjutnya. Dari hubungan grafik antara temperatur dan efektivitas dari putaran rendah ke tinggi di dapatkan bahwa pada putaran terjadi penurunan dan kenaikan seiring perubahan temperatur, untuk temperatur yang efisien adalah terjadi di putaran 1000 (rpm) dan 2000 (rpm) dan untuk untuk putaran 1500 (rpm) dan 2500 (rpm) tidak efisien karena pada putaran tersebut terjadi penurunan pada grafik. Jadi kita simpulkan bahwa putaran 1000 (rpm) dan 2000 (rpm) adalah temperatur udara panas yang baik. Penurunan nilai suatu efektivitas yang terjadi temperatur tinggi yaitu temperatur 53⁰c dan 60⁰c adalah karena putaran tinggi tidak produktif untuk proses terjadi pertukan kalor baik itu proses penyerapan kalor dan pelepasan kalor, waktu adalah faktor utama agar proses penukar kalor bekerja maksimal untuk produktif sebagai proses pertukaran kalor yang terjadi di dalam box, dan nilai selisih untuk efektivitas dari putaran rendah ke tinggi yaitu 0,39-0,40%.

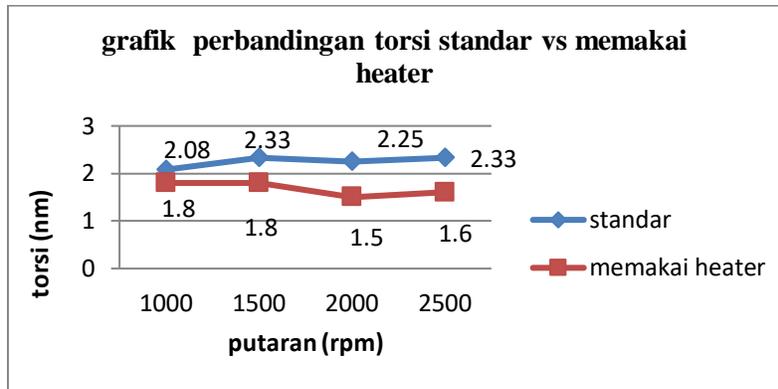


Gambar 4.6 grafik perbandingan daya

Setelah dilakukan perhitungan empiris yang sudah tertera di tabel 4.5 maka nilai daya yang didapatkan akan memiliki perbedaan baik itu yang standar dan yang memakai heater. Kenaikan nilai daya yang memakai heater sebagai pemanasan awal yang memanfaatkan panas sisa gas buang kendaraan memang memiliki temperatur yang berbeda-beda oleh karena itu udara atmosfer yang di naikan temperaturnya di dalam box heater setelah terjadi proses pertukaran kalor atau temperatur akan menuju ke karburator untuk melakukan proses pembakaran, kenaikan nilai daya tersebut karena udara atmosfer yang di naikan temperaturnya memiliki tekanan yang berbeda.

Pada gambar 4.1 didapatkan bahwa nilai daya untuk putaran 1000 (rpm) adalah $0,31 \frac{kg}{s}/Kw$, nilai daya pada putaran selanjutnya yaitu 1500 (rpm) adalah naik $0,52 \frac{kg}{s}/Kw$, untuk putaran 2000 (rpm) nilai daya naik $0,67 \frac{kg}{s}/Kw$, nilai daya kembali naik di putaran tinggi yaitu 2500 (rpm) dengan nilai $0,87 \frac{kg}{s}/Kw$. Perbedaan nilai daya yang standar dan yang memakai heater dari putaran 1000 (rpm) adalah $0,04 \frac{kg}{s}/Kw$ dan 1500 (rpm) adalah naik menjadi $0,11 \frac{kg}{s}/Kw$ dan untuk putaran 2000 (rpm) nilai daya naik menjadi $0,22 \frac{kg}{s}/Kw$ dan 2500 (rpm) memiliki perbedaan nilai daya adalah $0,28 \frac{kg}{s}/Kw$, perbedaan nilai daya standar dan yang memakai heater terus naik seiring pergantian putaran. Jadi perbandingan daya standar dan dengan memakai heater dapat ditarik kesimpulan bahwa, nilai daya pada memakai heater untuk yang paling rendah adalah terjadi di putaran 1000 (rpm) dengan nilai $0,31 \frac{kg}{s}/Kw$ dan nilai daya yang paling tinggi terjadi pada putaran tinggi yaitu 2500 (rpm) dengan nilai $0,87 \frac{kg}{s}/Kw$. Proses

kenaikan nilai daya di setiap putaran yaitu tersebut karena udara yang terjadi di dalam box untuk proses pertukaran kalor/ adalah maksimal untuk tipe hourglass yang sebagai model penelitian ini.

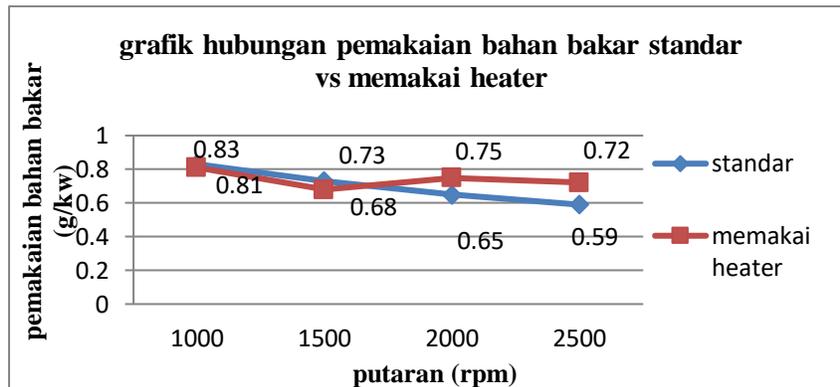


Gambar 4.7 grafik perbandingan torsi

Setelah dilakukan perhitungan empiris yang sudah tertera di tabel 4.5 maka nilai torsi yang didapatkan akan memiliki perbedaan baik itu yang standar dan yang memakai heater. Penurunan nilai torsi yang memakai heater sebagai pemanasan awal yang memanfaatkan panas sisa gas buang kendaraan memang memiliki temperatur yang berbeda-beda, udara atmosfer yang di naikan temperaturnya di dalam box heater setelah terjadi proses pertukaran kalor atau temperatur akan menuju ke karburator untuk melakukan proses pembakaran, akibat penurunan nilai torsi tersebut karena udara atmosfer yang di naikan temperaturnya memiliki tekanan yang berbeda dan tidak sesuai yang diminta oleh proses terjadinya pembakaran di dalam ruang bakar.

Pada gambar 4.1 didapatkan bahwa nilai torsi untuk putaran 1000 (rpm) adalah 1,8 lbf/ft, nilai torsi pada putaran selanjutnya yaitu 1500 (rpm) adalah tetap 1,8 lbf/ft, untuk putaran 2000 (rpm) nilai torsi adalah turun 1,5 lbf/ft, nilai torsi kembali naik di putaran tinggi yaitu 2500 (rpm) dengan nilai 1,6 lbf/ft. Perbedaan nilai daya yang standar dan yang memakai heater dari putaran 1000 (rpm) adalah 0,28 lbf/ft dan putaran 1500 (rpm) adalah 0,53 dan untuk putaran 2000 (rpm) adalah 0,75 lbf/ft dan 2500 (rpm) memiliki perbedaan nilai torsi adalah 0,73 lbf/ft. Jadi perbandingan torsi standar dan dengan memakai heater dapat ditarik kesimpulan bahwa, nilai torsi pada memakai heater untuk yang paling rendah adalah terjadi di putaran 2000 (rpm) dengan nilai 1,5 lbf/ft dan nilai torsi yang paling tinggi terjadi pada putaran tinggi yaitu 1000 (rpm) dan 1500 (rpm) dengan nilai 1,8 lbf/ft.

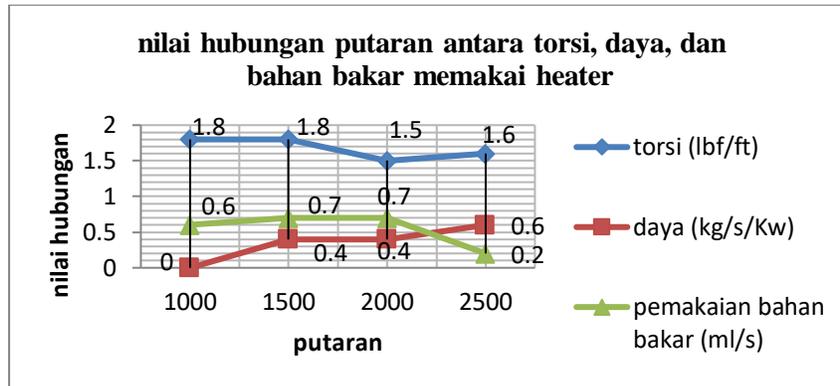
Penurunan nilai torsi di putaran 2000 (rpm) tersebut karena udara yang terjadi di dalam box untuk proses pertukaran kalor/ temperatur tidak maksimal di putaran rendah dan untuk tipe hourglass yang sebagai model penelitian ini cukup panjang sehingga menyebabkan waktu untuk udara atmosfer menuju karburator sehingga menyebabkan nilai torsi turun tersebut.



Gambar 4.8 perbandingan pemakaian bahan bakar

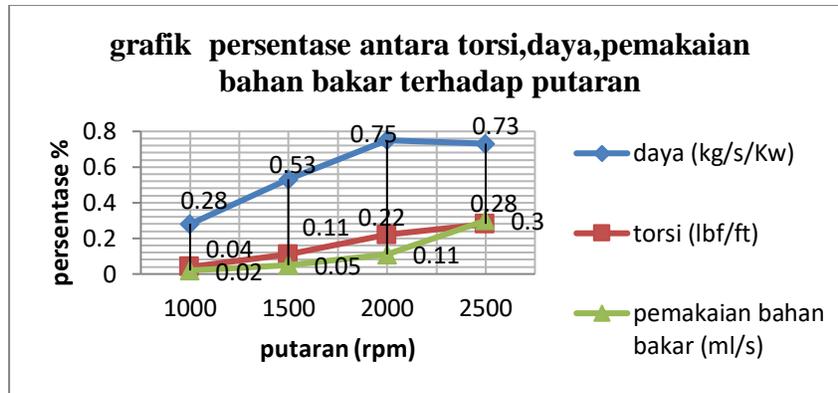
Setelah dilakukan perhitungan empiris yang sudah tertera di tabel 4.5 maka nilai pemakaian bahan bakar yang didapatkan akan memiliki perbedaan baik itu yang standar dan yang memakai heater. Untuk pemakaian bahan bakar yang memakai heater lebih hemat dibandingkan dengan yang standar. Pada gambar 4.1 didapatkan bahwa nilai pemakaian bahan bakar yang memakai heater adalah untuk putaran 1000 (rpm) adalah dari 0,83 ml/s turun menjadi 0,81 ml/s , nilai pemakaian bahan bakar pada putaran selanjutnya yaitu 1500 (rpm) adalah 0,73 ml/s turun menjadi 0,68 ml/s, untuk putaran 2000 (rpm) nilai pemakaian bahan bakar adalah naik yaitu 0,65 ml/s menjadi 0,75 ml/s, nilai pemakaian bahan bakar di putaran tinggi yaitu 2500 (rpm) dengan nilai dari 0,59 ml/s naik menjadi 0,72 ml/s.

Perbedaan nilai pemakaian bahan bakar yang standar dan yang memakai heater dari putaran 1000 (rpm) adalah 0,02 ml/s dan putaran 1500 (rpm) adalah 0,05 ml/s dan untuk putaran 2000 (rpm) adalah naik yaitu 0,1 ml/s dan 2500 (rpm) memiliki perbedaan nilai pemakaian bahan bakar adalah 0,13 ml/s. Jadi perbandingan pemakaian bahan bakar standar dan dengan memakai heater dapat ditarik kesimpulan bahwa, nilai pemakaian bahan bakar pada memakai heater untuk yang paling hemat adalah terjadi di putaran 1500 (rpm) dengan nilai 0,68 ml/s dan nilai pemakaian bahan bakar yang boros terjadi di putaran 1000 (rpm) dengan nilai yaitu 0,81 ml/s



Gambar 4.9 grafik hubungan torsi, daya, pemakaian bahan bakar pada putaran

- ❖ Pada grafik torsi kita lihat bahwa untuk putaran 1000-1500 adalah tetap, kemudian turun di putaran selanjutnya yaitu 2000 dan terjadi kenaikan lagi di putaran akhir yaitu 2500, berarti untuk yang memakai heater tipe hourglass untuk nilai torsi yang paling produktif terjadi di putaran rendah yaitu 1000 (rpm) dan 1500 (rpm) yang memiliki nilai torsi yang sama yaitu 1,8 nm.
- ❖ Pada grafik daya kita lihat bahwa dari putaran 1000-2000 adalah naik, kemudian turun di putaran tinggi yaitu 2500, jika kita melihat grafik tersebut bahwa untuk putaran 1500 dan 2000 memiliki nilai yang sama yaitu 0,7 kw. berarti untuk yang memakai heater tipe hourglass untuk nilai torsi yang paling produktif terjadi di putaran rendah yaitu 1500 (rpm) dan 2000 (rpm) yang memiliki nilai torsi yang sama yaitu 0,7 kw.
- ❖ Pada grafik pemakaian bahan bakar kita lihat bahwa untuk putaran 1500-2000 adalah sama, kemudian naik di putaran tinggi yaitu 2500, berarti untuk yang memakai heater tipe hourglass untuk nilai pemakaian bahan bakar yang paling hemat terjadi pada putaran rendah yaitu 1000 rpm yang memiliki nilai 0,3 g/kw, dan pemakaian bahan bakar yang paling boros terjadi di putaran tinggi yaitu 2500 rpm yang memiliki nilai 0,6 g/kw.



Grafik 4.10 persentase torsi, daya, pemakaian bahan bakar pada heater

Setelah melakukan analisa terhadap daya, torsi, dan pemakaian bahan bakar maka persentase dari yang tidak memakai heater atau standar dan yang memakai heater akan didapatkan dari hasil selisih tersebut, pada grafik 4.7 didapatkan bahwa nilai daya dan torsi serta pemakaian bahan bakar seiring pergantian putaran akan terus naik dan meningkat. Untuk nilai persentase daya pada putaran tinggi yaitu 2500 rpm turun 0,2%, tapi ini tidak menutup kemungkinan bahwa nilai daya terus naik dan meningkat.

Untuk nilai persentase suatu daya yang paling rendah atau yang paling kecil terjadi pada putaran 1000 rpm dengan nilai persentase 0,04% dan yang besar terjadi pada putaran 2500 rpm dengan nilai persentase 0,28%, dan untuk nilai persentase suatu torsi yang paling kecil terjadi pada putaran 1000 rpm dengan nilai persentase 0,28% dan nilai persentase yang paling besar terjadi pada putaran 2000 rpm dengan nilai 0,75%, kemudian untuk nilai persentase suatu pemakaian bahan bakar yang paling rendah terjadi pada putaran 1000 rpm dengan nilai persentase 0,02% dan yang paling besar terjadi pada putaran 2500 rpm yaitu dengan nilai 0,3%.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah hasil menganalisa grafik di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa yaitu :

1. Untuk nilai daya yang paling tinggi pada memakai heater adalah terjadi pada putaran 2500 rpm dengan nilai daya yaitu $0,87 \frac{kg}{s/Kw}$ dan nilai daya yang paling rendah terjadi pada putaran 1000 rpm dengan nilai daya yaitu $0,31 \frac{kg}{s/Kw}$. Untuk persentase yang rendah terjadi di putaran 1000 rpm dengan nilai $0,28 \frac{kg}{s/Kw}$ dan untuk persentase yang besar terjadi di putaran 2000 rpm dengan nilai $0,75 \frac{kg}{s/Kw}$
2. Untuk nilai torsi yang paling tinggi pada memakai heater adalah terjadi pada putaran 1500 rpm dengan nilai torsi yaitu 1,8 lbf/ft dan nilai torsi yang paling rendah terjadi pada putaran 2000 rpm dengan nilai torsi yaitu 1,5 lbf/ft. Untuk persentase yang rendah terjadi di putaran 1000 rpm dengan nilai 0,04 lbf/ft dan untuk persentase yang besar terjadi di putaran 2500 rpm dengan nilai 0,28 lbf/ft
3. Untuk nilai pemakaian bahan bakar yang paling tinggi pada memakai heater adalah terjadi pada putaran 1000 rpm dengan nilai pemakaian bahan bakar yaitu 0,81 ml/s dan nilai pemakaian bahan bakar yang paling rendah terjadi pada putaran 1500 rpm dengan nilai yaitu 0,68 ml/s. Untuk persentase yang rendah terjadi di putaran 1000 rpm dengan nilai 0,02 ml/s dan untuk persentase yang besar terjadi di putaran 2000 rpm dengan nilai 0,3 ml/s

5.2 Saran

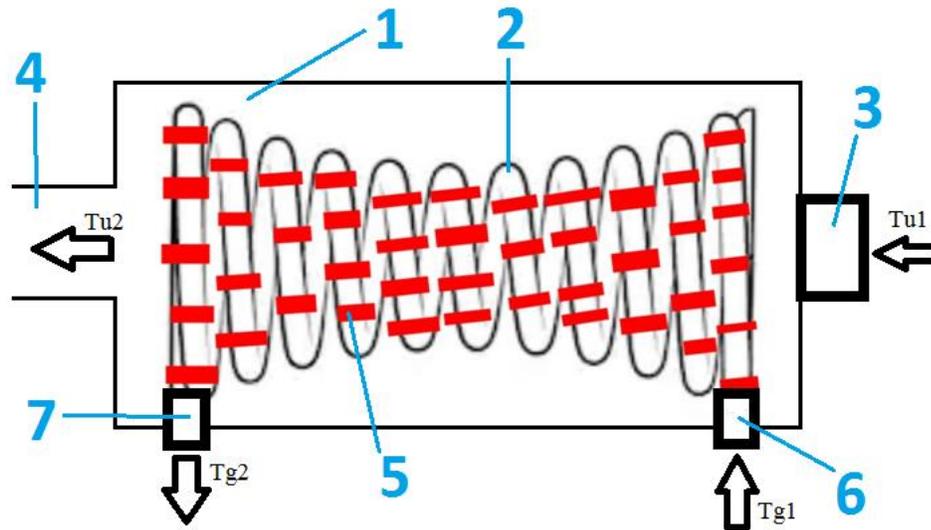
1. Untuk laboratorium motor bakar lebih dilengkapi alat-alat ujiannya serta dirawat dengan baik agar pada saat ada pengujian bisa berjalan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arismundandar, Wiranto.1973.*Penggerak Mula Motor Bakar Torak*.ITB:Bandung
2. Frank. P. Incropera. Davit. P. Dewitt, *Fundamental Of Heat And Mass Transfer*
3. J.P Holman. 1997, *Perpindahan Kalor*, Erlangga:Jakarta
4. Petrovsky, H.1968.*Marine Internal Combustion Engines*.MIR Publisher:Moscow
5. Bab 2 hal 4 bahan bakar oleh n kholidah 2014 (eprints.polsri.ac.id)
6. Bahan_Bakar_DAN_KARAKTERISTIKNYA (erna pratiwi www.academiaedu.com)
7. *Analisa Pengaruh Pemanasan Udara Sebelum Pencampuran Bahan Bakar atau Preheater Menggunakan Pemanas Tipe "Conical Spiral Tube" (Memfaatkan Udara Gas Buang Knalpot) Terhadap Prestasi Mesin* (Shandy Handoko 11.11.021 Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang)
8. Siklus udara volume konstan (Dosen Pengampu Bapak Apit Fathurohman, S. Pd., M. Si www.academiaedu.com)
9. *Heat-transfer.png* <http://domsavmania.files.wordpress.com/2012/07/>
10. *Metode-lmt-d-ntu-pada-heat-exchanger*-<http://java-borneo.blogspot.com/2011/05/.html>
11. *Bahan-bakar* <https://nayhndy.wordpress.com/2011/01/18/>
12. *Komponen-dan-pengertian-karburator* <http://www.teknovanza.com/2014/05.html>

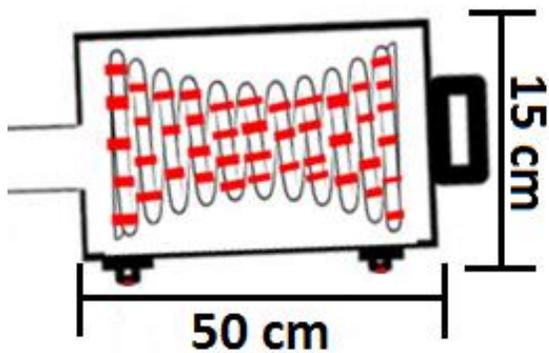
LAMPIRAN 1

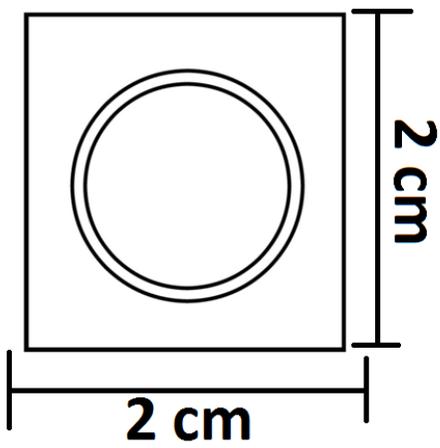
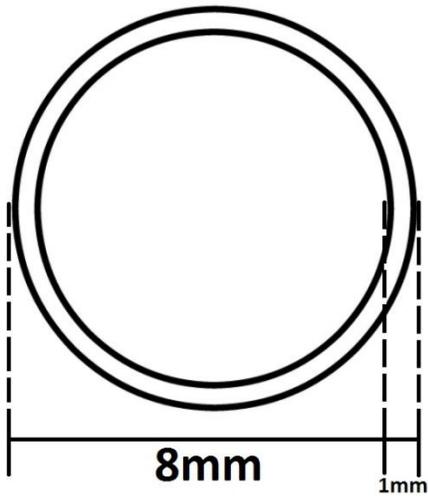
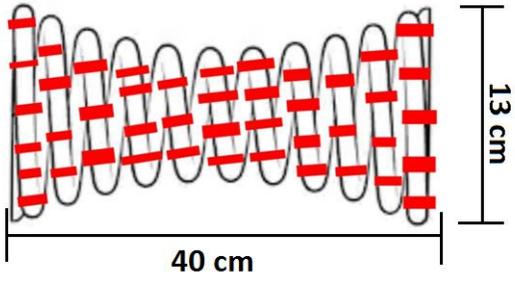
Alat dan Model Penukar Kalor

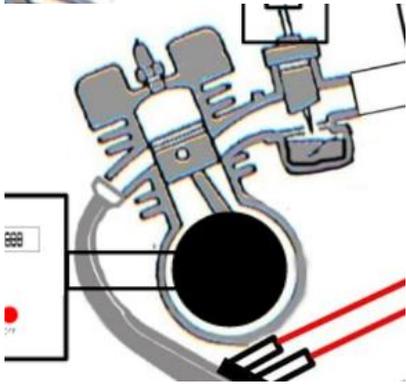
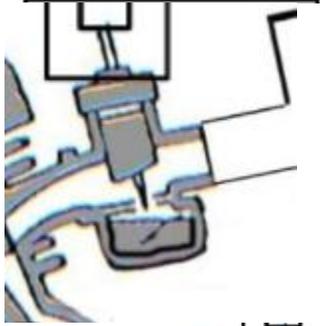
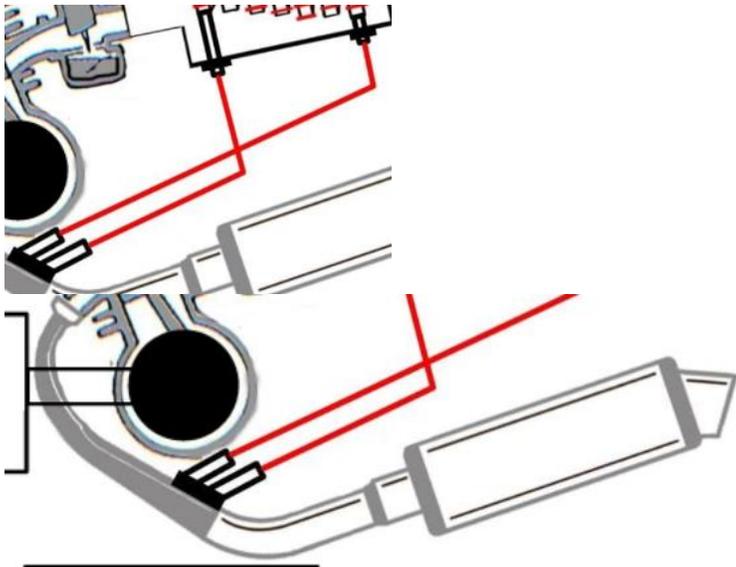


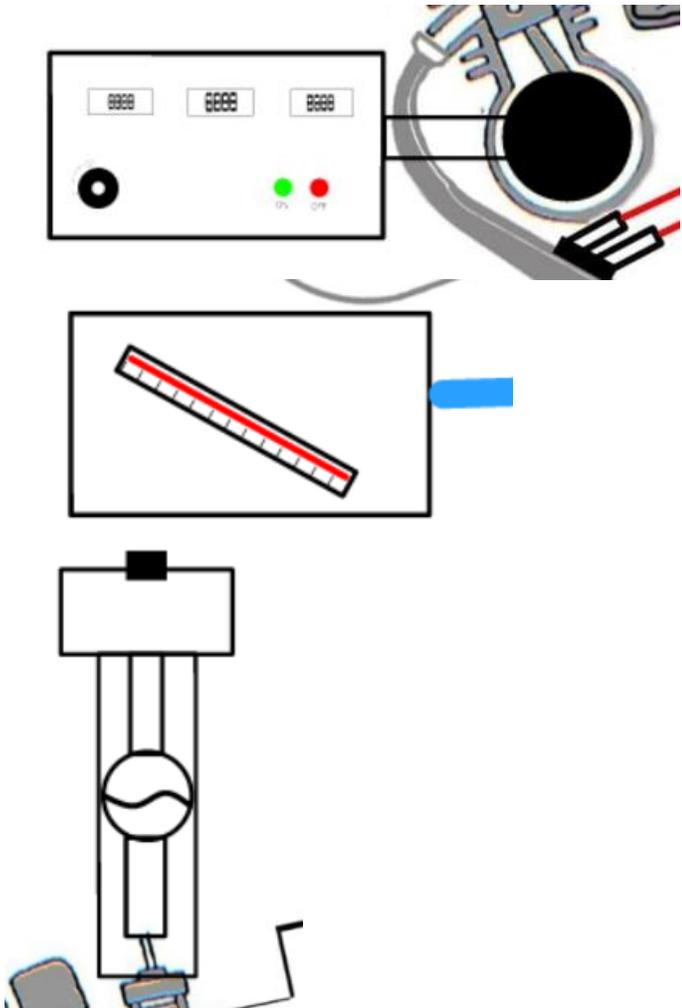
Model Penukar Kalor

1. Box heater
2. Pipa tembaga
3. Udara masuk dari airbox
4. Udara masuk kaburator
5. Sirip heater
6. Udara panas masuk heater
7. Udara panas keluar heater









LAMPIRAN 2

TABEL

TABEL 1. Spesific Heat Capacity of air (C_p kJ/kg $^{\circ}$ k)

$^{\circ}$ C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4,1274	4,2138	4,2104	4,2074	4,2045	4,2019	4,1996	4,1974	4,1954	4,1936
10	4,1919	4,1904	4,1890	4,1877	4,1866	4,1855	4,1846	4,1837	4,1829	4,1822
20	4,1816	4,1810	4,1805	4,1801	4,1797	4,1793	4,1790	4,1787	4,1785	4,1783
30	4,1782	4,1781	4,1780	4,1780	4,1779	4,1779	4,1780	4,1780	4,1781	4,1782
40	4,1783	4,1784	4,1786	4,1788	4,1789	4,1792	4,1794	4,1796	4,1799	4,1801
50	4,1804	4,1807	4,1811	4,1814	4,1817	4,1821	4,1825	4,1829	4,1833	4,1837
60	4,1841	4,1846	4,1850	4,1855	4,1860	4,1865	4,1871	4,1876	4,1882	4,1887
70	4,1893	4,1899	4,1905	4,1912	4,1918	4,1925	4,1932	4,1939	4,1946	4,1954

TABEL 2 Density of air (ρ kg/m 3)

$^{\circ}$ C	0	2	4	6	8
0	999,8	999,9	999,9	999,9	999,9
10	999,7	999,5	999,2	999,9	998,6
20	998,2	997,8	997,3	997,3	996,2
30	995,7	995,0	994,4	994,4	993,0
40	992,2	991,4	990,6	990,6	988,9
50	988,0	987,1	986,2	986,2	984,2
60	983,2	982,2	981,1	981,1	978,9
70	977,8	976,6	975,4	975,4	973,0

(Sumber : Laboratorium Motor Bakar Kampus 2 ITN MALANG)

LAMPIRAN 3

Daftar Riwayat Hidup

DATA PRIBADI

Nama : Junaidin
Tempat tanggal lahir : Ambon 04 april 1996
Alamat : Belakang konika jln seroja pasar lama Timika Papua
Jenis kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Status : Belum menikah
No hp : 0812-3241-8126
Email : junaidinsaputra96@yahoo.com

PENDIDIKAN FORMAL

2006 – 2011 : SD YAPIS MIMIKA PAPUA
2011 – 2013 : SMP YAPIS MIMIKA PAPUA
2013 – 2015 : SMKN 1 KUALA KENCANA MIMIKA PAPUA

Hormat saya

Junaidin

