

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Gas alam saat ini telah dianggap sebagai bagian dari sebuah kemajuan teknologi di bidang otomotif karena dengan semakin menipisnya bahan bakar fosil, energi-energi terbarukan tidak dapat terelakkan lagi. Dan dalam prosesnya, gas alam cenderung semakin banyak digunakan dalam sedekade terakhir karena selain mudah di dapatkan juga lebih dari 70% gas yang terkandung di bumi ini merupakan gas alam. Selain itu faktor lingkungan juga menjadi pertimbangan akan pentingnya penggunaan bahan bakar baru yang dapat mengurangi polusi udara yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia dan juga memperburuk lingkungan. Jumlah dari seluruh dunia tentang kendaraan gas alam, dalam hal ini CNG (*Compressed Natural Gas*) meningkat karena tidak adanya sumber lain yang konsisten selain dari gas alam yang lebih menjanjikan. Pemimpin dunia dalam NGVs (*Natural Gas Vehicle*) untuk saat ini adalah Iran dengan 4.070.000 kendaraan berbahan bakar gas alam, lalu di belakang Iran ada Cina dengan 3.990.000 kendaraan dan dalam 10 tahun terakhir, dan dari seluruh dunia populasi NGVs telah meningkat cepat pada tingkat tahunan mencapai 24% dengan kontribusi terbesar berasal dari Asia-Pasifik dan Amerika Latin. Tren ini diproyeksikan dapat melanjutkan rata-rata pertumbuhan tahunan sebesar 3,7% sampai tahun 2030. Saat ini ada lebih dari 18 juta kendaraan gas alam didistribusikan melalui lebih dari 86 negara di dunia dengan konsentrasi utama di Iran, Cina, Pakistan, Argentina, India, Brazil, Italia dan Kolombia. Mayoritas (93%) dari kendaraan CNG ini adalah kendaraan komersial. Selain itu telah ada lebih dari 26.677 stasiun pengisian bahan bakar CNG di seluruh dunia (Muhammad Imran, 2015). Sementara itu, dengan kondisi cadangan migas di Indonesia yang sudah memasuki masa kritis dan diperkirakan ketersediaan minyak bumi hanya untuk 12 tahun ke depan, maka negara Indonesia juga berpotensi besar mengikuti negara yang telah mengaplikasikan CNG sebagai sumber energi kendaraan mereka.

Tetapi dengan energi yang masih terus digunakan hingga saat ini adalah bahan bakar dari fosil, maka akan berdampak pada lingkungan dimana akibat dari gas hasil pembakaran tersebut dapat menurunkan kualitas dari udara yang ada di bumi yang menjadikan salah satu efek yang dapat menimbulkan gas CO₂ hasil dari pembakarannya.

Gas CO₂ yang dapat menumpuk di atmosfer bumi akan menyebabkan efek rumah kaca yang dapat memberikan dampak yang buruk bagi manusia dan juga lingkungan. Sinar matahari yang dipancarkan ke bumi seharusnya dipantulkan kembali ke ruang angkasa namun akhirnya tidak dapat terjadi karena penumpukan CO₂ di atmosfer bumi menghalangi pantulan tersebut. Akibatnya radiasi dari sinar matahari tersebut diserap kembali oleh bumi yang secara tidak langsung meningkatkan temperatur udara di dalam bumi. Oleh karena itu penggunaan bahan bakar terbarukan yang ramah lingkungan saat ini menjadi sesuatu yang harus dilakukan. Maka dari itu penggunaan gas alam CNG (*Compressed Natural Gas*) dalam pengembangan bahan bakar terbarukan akan menjadi salah satu solusi untuk mengurangi ketergantungan akan bahan bakar cair seperti bensin yang dapat memberikan efek buruk pada lingkungan.

CNG sendiri merupakan jenis bahan bakar yang terbentuk dari gas alam metana (CH₄) terkompresi di dalam tabung penyimpanan sekitar 200 bar. Bahan bakar ini meskipun masih mengeluarkan CO₂ hasil dari pembakarannya, tetapi masih mengeluarkan CO₂ lebih sedikit dibandingkan dengan bensin dan juga solar.

Seperti yang telah diketahui, CNG terbentuk dari fraksi gas alam dan tersusun dengan komposisi utama berupa gas metana (CH₄), selain gas metana juga terdapat beberapa jenis komponen lain didalam gas CNG dengan jumlah yang berbeda, seperti etana (C₂H₆), nitrogen (N₂), karbon dioksida (CO₂) dan juga propana (C₃H₈).

Lattimore (2015) salah satu cara untuk mengurangi gas buang CO₂ adalah dengan meningkatkan rasio kompresi pada kendaraan yang mana akan dapat meningkatkan efisiensi termal dan akan membuat konsumsi bahan bakar menjadi lebih baik dan mengurangi emisi gas CO₂ hasil pembakaran. Namun dengan menggunakan bahan bakar CNG perlu di teliti lebih lanjut mengenai bagaimana kinerja kendaraan yang akan dihasilkan jika bahan bakar gas tersebut tercampur dengan udara didalam ruang bakar. Maka dari itu penulis akan melakukan penelitian tentang bagaimana pengaruh rasio kompresi mesin *otto* berbahan bakar CNG dengan sistem injeksi terhadap kinerja yang dihasilkan. Dalam penelitian ini nanti akan dibahas lebih tentang pengaruh variasi dari rasio kompresi terhadap variasi putaran untuk mengetahui kinerja dari mesin yang akan dihasilkan.

1.2 RUMUSAN MASALAHK

Dari penjabaran penjelasan di dalam latar belakang sebelumnya, dirumuskan sebuah permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini yaitu seberapa besar pengaruh rasio kompresi mesin *otto* berbahan bakar CNG dengan sistem injeksi terhadap kinerja yang dihasilkan.

1.3 BATASAN MASALAHR

Batasan-batasan masalah diperlukan agar peneliti dapat melakukan penelitian lebih terarah, seperti :

1. Mesin yang digunakan dalam pengujian dengan kondisi tidak berjalan.
2. Mesin yang digunakan adalah mesin *otto* sistem injeksi berkapasitas 125cc.
3. Kandungan dalam CNG memiliki 98,9% metana.
4. Kinerja yang diteliti antara lain torsi, daya efektif, *specific fuel consumption effective*, dan efisiensi thermal efektif.

1.4 TUJUAN PENELITIANNY

Dalam tujuan penelitian ini, pembahasan yang ingin diketahui adalah seberapa besar pengaruh dari rasio kompresi mesin *otto* berbahan bakar CNG dengan sistem injeksi terhadap kinerja yang dihasilkan pada besarnya torsi, daya efektif, SFCE, dan efisiensi termal efektif.

1.5 MANFAAT PENELITIANANN

Manfaat di dalam penelitian ini adalah :

1. Dapat mengurangi konsumsi yang terus menerus pada bahan bahan bakar minyak yang sifatnya tidak dapat diperbarukan.
2. Mengurangi polusi udara yang dihasilkan dari pembakaran berbahan bakar fosil yang menyebabkan terjadinya efek rumah kaca.
3. Memberikan solusi bagi dunia transportasi mengenai bahan bakar yang ekonomis dan lebih ramah lingkungan
4. Dapat mencari rasio kompresi terbaik motor yang dapat digunakan pada bahan bakar gas CNG.
5. Untuk menjadi referensi dalam penelitian selanjutnya agar perkembangan teknologi dibidang otomotif akan dapat semakin maju dengan menggunakan bahan bakar CNG sebagai energi alternative.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Musthafah (2014) melakukan penelitian tentang analisa performa dengan menggunakan CNG pada mesin *otto* 4 langkah sebagai bahan bakarnya. Dari hasil penelitiannya didapat bahwa dengan penggunaan bahan bakar CNG didapatkan efek bahwa kompresi gas alam (CNG) juga dianggap sebagai bahan bakar alternatif untuk menghasilkan emisi yang lebih baik di dalam kendaraan. Dari penelitian ini, pengapian pada silinder tunggal (SI) mesin dipilih untuk mempelajari pengaruh CNG ke pengapian percikan mesin. Hasilnya, menunjukkan bahwa tekanan di dalam silinder untuk CNG adalah 20% kurang dari *gasoline*, pada bahan bakar CNG juga menghasilkan 23% kurang dari laju perpindahan panas dibandingkan *gasoline*. Hasil ini menjelaskan mengapa CNG menghasilkan tenaga 18,5% lebih rendah dibandingkan dengan cairan dari bahan bakar (*gasoline*).

Ozcan (2008) Simulasi menggunakan komputer untuk bahan bakar LPG pada mesin *otto* dengan silinder tunggal. Kapasitas mesin bervariasi dengan memvariasikan panjang stroke mesin, yang juga akan mengubah rasio kompresi. Model simulasi dikembangkan dan diverifikasi dengan hasil eksperimen dari literatur untuk kedua variabel stroke engine konstan. Kinerja mesin disimulasikan pada setiap kombinasi rasio stroke panjang atau kompresi. Hasil dari simulasi tersebut menunjukkan keuntungan dan utilitas dari variabel stroke mesin yang ekonomis dalam bahan bakar. Dengan menggunakan teknik variabel yang memiliki angka signifikan dapat meningkatkan kinerja dan karakteristik emisi mesin dalam jangkauan yang diteliti. Rem torsi dan tenaga yang telah dimasukkan meningkat sekitar 7-54% pada kecepatan rendah dan 7-57% pada kecepatan relatif tinggi terhadap mesin. Konsumsi bahan bakar spesifik telah divariasikan dari pengurangan sekitar 6% untuk kenaikan sekitar 3% pada kecepatan rendah dan dari pengurangan sekitar 6% untuk kenaikan sekitar 8% dengan kecepatan tinggi.

Krishna (2009) Mesin *otto* 4 langkah merupakan suatu mekanisme dalam menjadikan energi kimia ke energi panas kemudian dirubah menjadi energi mekanik dengan melalui empat proses, yaitu langkah isap, langkah kompresi, langkah ekspansi, dan langkah buang.

2.2 Mesin Otto 4 Langkah

Mesin *otto* 4 langkah adalah sebuah mesin dengan tipe pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*) yang dalam satu kali siklus pembakarannya akan mengalami empat proses langkah piston, yaitu langkah isap, langkah kompresi, langkah ekspansi dan langkah buang. Mesin ini mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas dengan menggunakan nyala busi sebagai pemercik terjadinya pembakaran didalam ruang bakar (*Combustion Chamber*) yang telah diisi oleh campuran antara udara dan juga bahan bakar untuk menjadi energi mekanik berupa daya poros pada putaran poros engkol.

2.2.1 Siklus Termodinamika Mesin Otto 4 Langkah

Siklus termodinamika merupakan serangkaian proses termodinamika yang menggambarkan transfer panas dan kerja dalam berbagai keadaan (tekanan, temperatur, dan keadaan lainnya). Yang mana pada siklus termodinamika ini terjadi pada saat ketika sistem mengalami rangkaian yang berbeda dan pada akhirnya kembali ke proses keadaan semula (*reversible*) dan di dalam sistem ini, suatu sistem dapat melakukan usaha terhadap lingkungan di sekitarnya, sehingga disebut juga dengan mesin kalor. Mesin kalor bekerja dengan memindahkan energi dari daerah lebih panas ke tempat yang lebih dingin, dan juga dalam prosesnya mengubah sebagian energi menjadi energi mekanis.

2.2.2 Prinsip Kerja Mesin Otto 4 Langkah

Didalam proses mesin *otto* 4 langkah, dalam 1 siklus kerja melakukan 4 kali langkah pada piston atau 2 kali putaran pada poros engkol, yang dijelaskan dibawah ini:

a. Langkah Isap (*Suction Stroke*)

Awalnya piston bergerak dari posisi TMA (Titik Mati Atas) ke TMB (Titik Mati Bawah) dengan katup KI (Katup Isap) terbuka dan katup KB (Katup Buang) tertutup. Karena adanya gerakan dari piston tersebut, maka campuran bahan bakar dan udara dapat masuk ke dalam ruang bakar.

b. Langkah Kompresi (*Compression Stroke*)

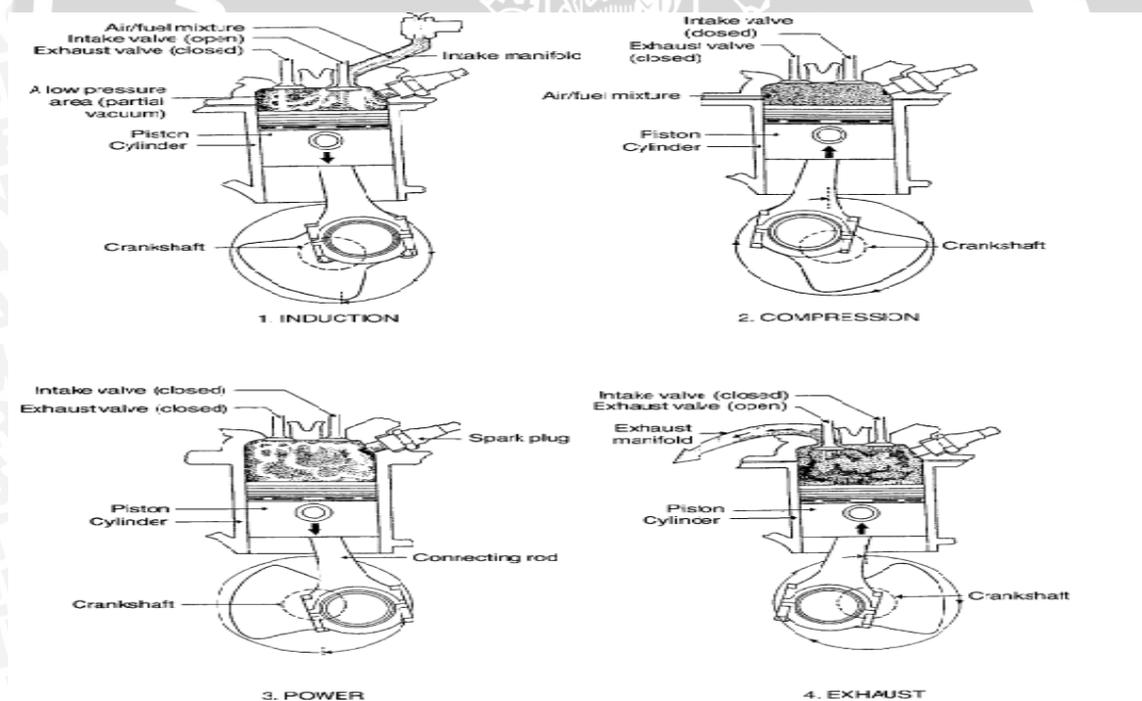
Piston akan bergerak dari posisi TMB ke TMA dengan KI dan KB sama-sama tertutup. Karena gerakan piston ini, maka terjadi proses kompresi dari campuran udara dan bahan bakar yang mengakibatkan naiknya tekanan dan temperatur di dalam silinder.

c. Langkah Ekspansi (*Expansion Stroke*)

Sebelum posisi piston mencapai TMA pada langkah kompresi, pada mesin *otto* 4 langkah busi akan menyala, sehingga terjadi proses pembakaran yang mengakibatkan tekanan dan temperatur di ruang bakar akan semakin tinggi. Jadi piston mampu melakukan langkah ekspansi atau langkah kerja dimana langkah ini dimulai dari posisi piston pada saat TMA dan berakhir pada posisi TMB saat KB mulai terbuka pada langkah buang.

d. Langkah Buang (*Exhaust Stroke*)

Piston akan bergerak ke posisi TMA dari gerakan awal TMB saat KI tertutup dan KB terbuka. Karena gerakan piston tersebut, gas hasil pembakaran akan terbuang ke atmosfer. Skema dari langkah gerakan piston dapat ditunjukkan seperti gambar berikut :

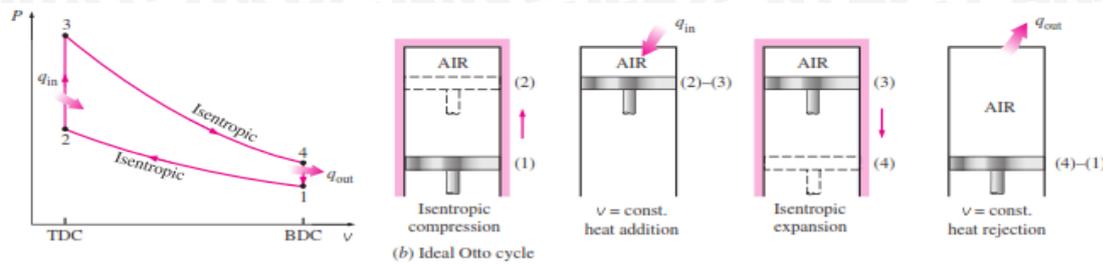


Gambar 2.1 Proses Langkah Kerja di dalam Mesin *Otto* 4 Langkah
Sumber: Allan Bonnick (2005,p.18)

2.2.3 Siklus Mesin *Otto* 4 Langkah

Pada siklus mesin *otto* 4 langkah atau disebut juga siklus volume konstan karena pada proses pembakaran terjadi dalam volume yang konstan. Siklus ini juga menerima tambahan panas yang terjadi secara konstan ketika piston pada posisi (TMA) di dalam

proses kompresi. Siklus udara volume konstan dapat digambarkan dalam diagram P – V pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.2 Siklus Ideal Mesin Otto
Sumber: Cengel (2006,p.496)

Langkah dari Siklus *Otto* terdiri dari :

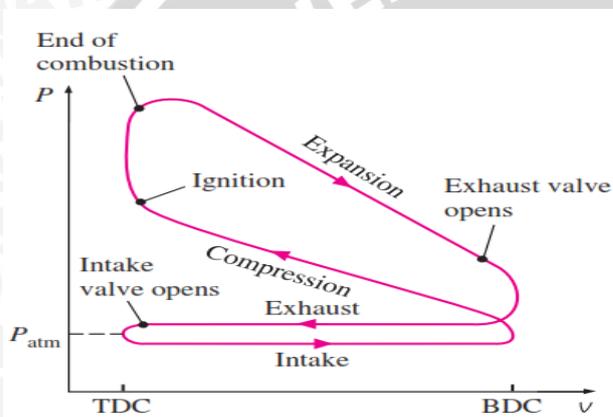
1. Proses 1-2 merupakan langkah kompresi pada keadaan entropi konstan (*Isentropic*). Pada proses ini juga terjadi percikan busi untuk melakukan pembakaran pada campuran udara dan bahan bakar.
2. Proses 2-3 merupakan proses pemasukan kalor pada volume konstan (*Isokhorik*).
3. Proses 3-4 merupakan langkah ekspansi pada keadaan entropi konstan. Pada proses ini piston melakukan gerakan tolakan setelah melakukan proses pembakaran untuk menggerakkan poros engkol (*Isentropic*).
4. Proses 4-1 adalah proses pembuangan panas pada volume konstan (*Isokhorik*).

Namun dalam kenyataannya siklus volume konstan tidak memungkinkan dilakukan seperti pada siklus ideal karena ada beberapa faktor, seperti :

- a. Kebocoran fluida kerja karena penyekatan oleh cincin piston dan katup yang tidak dapat sempurna.
- b. Terdapat kerugian energi akibat gesekan antara fluida kerja dengan dinding silinder.
- c. Katup tidak dapat terbuka dan tertutup tepat pada saat TMA dan TMB karena pertimbangan dinamika mekanisme katup.
- d. Fluida kerja bukanlah udara yang dapat dianggap sebagai gas ideal karena saat di dalam ruang bakar, udara telah bercampur dengan bahan bakar yang membuat tidak dapat dikatakan sebagai gas ideal.

- e. Pada mesin *otto*, idealnya pada waktu piston berada di TMA tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara karena pemasukan kalor disebabkan oleh proses pembakaran.
- f. Karena proses pembakaran memerlukan waktu untuk memulai pembakaran, maka pembakaran yang berlangsung pada volume ruang bakar akan berubah-ubah karena gerakan piston yang menyebabkan pembakaran tidak dapat berlangsung pada volume konstan.
- g. Terdapat kerugian energi kalor yang dibawa oleh gas buang dari silinder ke atmosfer karena energi tersebut tidak dapat dimanfaatkan untuk melakukan kerja mekanik.

Siklus *Otto* aktual seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.3 Siklus Aktual Mesin *Otto*
Sumber: Cengel (2006,p.494)

2.2.4 Pembakaran Mesin *Otto* 4 Langkah

Wardana (2008) pembakaran merupakan proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah pada bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom-atom yang bermuatan aktif sehingga mampu bereaksi dengan oksigen, lalu membentuk ikatan molekul-molekul yang kuat dan mampu menghasilkan cahaya dan panas dalam jumlah yang besar. Syarat terjadinya pembakaran ada 3, yaitu :

1. Bahan bakar
2. Energi aktivasi
3. Pengoksidasi (oksigen atau udara)

Persamaan reaksi pembakaran dapat dituliskan sebagai berikut :



Pada gambar 2.4 dibawah, jika salah satu dari ke 3 unsur tersebut dihilangkan atau ke 3 unsur bergabung namun dalam komposisi yang tidak tepat maka pembakaran tidak akan terjadi atau api tidak akan muncul.



Gambar 2.4 Ilustrasi Proses Pembakaran
Sumber: Wardana (2008,p.1)

Pembakaran pada mesin *otto* 4 langkah dimulai dari adanya energi aktivasi yang berupa percikan listrik dari busi yang terjadi pada saat beberapa derajat poros engkol (*crankshaft*) sebelum piston mencapai (TMA) yang akan membakar campuran bahan bakar dan udara yang telah dikompresikan oleh gerakan piston pada saat titik mati bawah menuju ke titik mati atas. Dalam proses pembakaran, energi kimia dari bahan bakar akan diubah menjadi energi panas di dalam ruang bakar dimana pada setiap pembakaran selalu dihasilkan gas sisa hasil dari proses pembakaran yang dinamakan emisi gas buang.

Proses pembakaran secara teoritis bahan bakar *gasoline* (isooktan) dapat dilihat pada reaksi seperti dibawah ini :



Sedangkan proses pembakaran secara teoritis dari bahan bakar metana (CH_4) dapat dilihat pada reaksi dibawah ini :



Sedangkan untuk membuat kinerja mesin dapat optimal, pembakaran sangatlah berpengaruh dimana semakin sempurna proses pembakaran maka semakin optimal juga kinerja mesin dan polutan hasil pembakaran juga semakin sedikit. Sempurna atau tidaknya

pembakaran dapat dilihat pada salah kandungan gas yang ada pada gas buang yaitu kandungan Hidrokarbon (HC), Hidrokarbon adalah unsur ikatan dari hidrogen dan karbon (bahan bakar) yang tidak terbakar pada saat proses pembakaran tidak sempurna yang terjadi di dalam combustor. Jadi apabila semakin sedikit kandungan Hidrokarbon (HC) pada gas buang kendaraan maka pembakaran yang terjadi diruang bakar semakin mendekati sempurna dan kinerja mesin akan lebih optimal.

Ada syarat yang harus dipenuhi agar terjadi pembakaran yang sempurna di dalam ruang bakar, yaitu :

1. Bahan bakar menguap secara cepat dan sempurna.
2. Udara dan bahan bakar yang tercampur secara homogen.
3. Penggunaan udara pembakaran yang cukup.
4. Campuran udara pembakaran yang cukup.
5. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi.

Arismunandar (2005) di dalam ruang bakar pembakaran terjadi sangat cepat, tetapi terdapat jeda waktu sesaat awal penyalaan api oleh busi sampai campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar habis. Setelah busi menyala, nyala api akan merambat kesegala arah dengan kecepatan yang tinggi (20-50 m/s).

Jika pembakaran terjadi lebih awal, maka sisa gas buang dan bahan bakar yang baru akan terbakar menjadi lebih cepat terbakar dan akan mengakibatkan meningkatnya temperatur pada ruang bakar, hal ini menyebabkan pada saat proses kompresi terjadi kurang maksimal karena prosesnya berlangsung ketika piston bergerak menuju TMA. Akibatnya gerakan piston akan terhambat oleh gas sehingga akan mengurangi tenaga mesin. Jika penyalaan busi pembakaran terlambat akan menyebabkan tekanan menjadi turun karena saat terjadi proses pembakaran posisi piston sedang bergerak menuju TMB. Peningkatan tekanan dan temperatur gas hasil pembakaran akan menurun. Gas hasil pembakaran yang masih bertekanan tinggi akan keluar melalui katup buang, sehingga energi yang bisa dimanfaatkan juga berkurang atau tidak optimal.

2.3 Bahan Bakar Pada Mesin Otto 4 Langkah

Pada mesin mesin *otto* 4 langkah terdapat dua jenis bahan bakar yang dapat digunakan yaitu bahan bakar cair dan gas. Kandungan utama dalam bahan bakar yaitu karbon (C) dan hidrogen (H). Sedangkan kandungan minoritas bahan bakar adalah nitrogen (N), Sulphur (S), oksigen (O₂), karbondioksida (CO₂), dan air (H₂O) (Wardana, 2008).

Bahan bakar sendiri merupakan suatu bahan yang jika dibakar akan dapat melanjutkan proses pembakaran dengan sendirinya disertai pengeluaran kalor.

2.3.1 Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair merupakan bahan bakar yang struktur kimianya tidak serapat bahan bakar padat dan molekulnya dapat bergerak bebas. *Gasoline* dan solar merupakan bahan bakar yang dapat digunakan pada mesin *otto*. Karena sifatnya yang berasal dari bahan bakar fosil dan tidak terbarukan maka pada prosesnya terjadi pengendapan dan pemadatan ikatan hidrat arang dalam perut bumi. Ikatan tersebut memiliki rumus umum kimia $C_x(H_2O)_y$ yang dihasilkan oleh tumbuh-tumbuhan energi matahari menjadi energi kimia (Wardana,2008).

2.3.2 Bahan Bakar Gas

Gas alam merupakan sumber energi hidrokarbon yang paling bersih dan paling kaya hidrogen dan memiliki tingkat efisiensi konversi energi yang baik. Seperti bahan bakar fosil non-terbarukan lainnya, gas alam pada dasarnya terbentuk dari dekomposisi makhluk hidup seperti tanaman, hewan dan mikro-organisme yang hidup selama jutaan tahun yang lalu dan menjadi gas. Bahan bakar gas memiliki sedikit kelebihan dibanding jenis bahan bakar yang lain, yaitu bahan bakar ini dapat terbakar tanpa adanya asap dan jelaga. Selain itu proses pembakarannya bisa mendekati sempurna dengan persen kelebihan udara sangat kecil. Kelemahannya adalah penyimpanannya yang sangat sulit dan memerlukan ruang yang besar bila dibandingkan dengan bahan bakar cair atau padat (Wardana.2008).

2.4 CNG

CNG berasal dari fraksi gas alam yang tersusun oleh gas metana (CH_4) sebagai komponen utama yang merupakan salah satu hidrokarbon (HC) dengan rantai terpendek, berikut ini adalah karakteristik dari metana yaitu:

- Massa molar : 16,043 kg/kmol
- Densitas / massa jenis pada suhu 25 °C (ρ) : 0,7168 kg/m³
- Kalor spesifik pada tekanan konstan (C_p) : 1,7354 kJ/(kg.K)
- Kalor spesifik pada *volume* konstan (C_v) : 2,2537 kJ/(kg.K)
- Konstanta gas (R) : 0,5182 kJ/(kg.K)

- *Low Heating Value* (LHV) : 11955 kcal/kg
- *High Heating Value* (HHV) : 13267 kcal/kg
- *Air Fuel Ratio* pembakaran stokiometri
 - ✓ Volume : 1 : 9,52
 - ✓ Massa : 1 : 17,16
- Kecepatan rambat api pada campuran Stoikhiometri pada 25°C : 43,4 cm/det

Sumber : Wardana (2008,p.16)

Berikut ini adalah karakteristik lain dari metana yang dibandingkan dengan bahan bakar mesin pembakaran dalam lainnya disajikan sebagai berikut :

Tabel 2.1
Karakteristik Bahan Bakar

KARAKTERISTIK	GASOLINE	METHANE (CNG)
H/C Ratio	1.9	4.0
Energy Content (LHV) (Mj/kg)	44.0	50.0
Liquid Density (kg/l)	0.72-0.78	0.422
Liquid Energy Density (Mj/l)	33.0	21.13
Boiling Point (°C)	37-205	-161.6
Research Octane Number (RON)	92-98	120
Motor Octane Motor	80-90	120
Cetane Number	0-5	0
Stoichiometric Air Fuel Ratio	14.7	17.2
Reid Vapor Pressure (psi)	8-15	2400

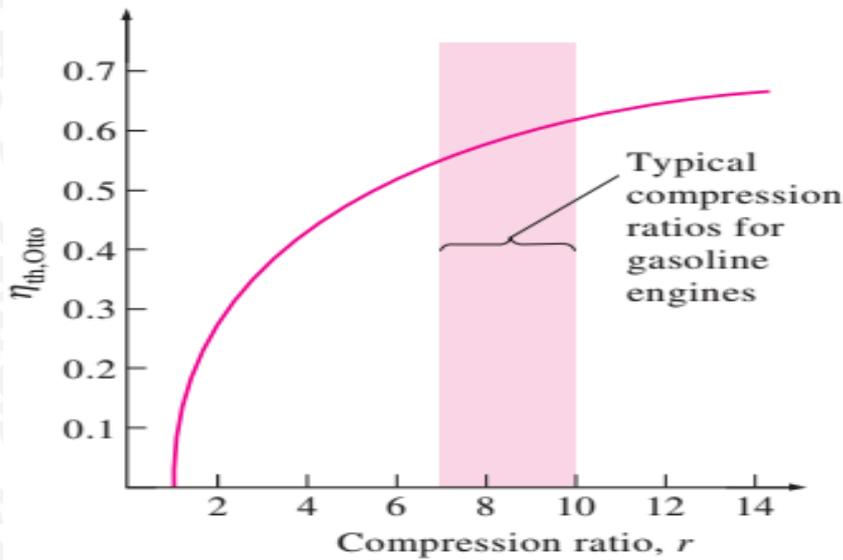
Sumber: Faiz (1996,p.195)

CNG juga memiliki keuntungan dalam penggunaannya, seperti :

- a. Proses pencampuran udara dan CNG relatif lebih cepat terjadi karena kedua bahan tersebut berbentuk gas.
- b. Polusi yang dihasilkan lebih rendah bila dibandingkan *gasoline*.
- c. Dapat memperpanjang umur pelumas kendaraan (oli) karena CNG tidak akan mengkontaminasi oli mesin.
- d. Penggunaan metana dapat mengurangi efek rumah kaca pada atmosfer.

2.4.1 Nilai Oktan CNG

Nilai oktan merupakan nilai yang merujuk pada besarnya tekanan dari piston yang bisa diberikan sebelum bahan bakar tersebut akhirnya terbakar secara cepat. Dalam combustor, udara dan bahan bakar yang tercampur akan ditekan piston sampai volume yang kecil (TMA) dan sesaat sebelum piston berada pada TMA kemudian percikan api yang dihasilkan busi akan membakar campuran bahan bakar tersebut. Karena besarnya tekanan ini, udara dan bahan bakar yang telah tercampur didalam combustor juga bisa terbakar dengan sendirinya sebelum TMA dan percikan api dari busi keluar. Jika gas dari bahan bakar dan udara ini terbakar karena adanya tekanan yang tinggi (bukan karena akibat percikan api dari busi), maka *knocking* atau ketukan akan terjadi didalam ruang bakar mesin dan dapat juga mengurangi kinerja dari mesin itu sendiri. Maka dari itu dengan diketahuinya besar nilai oktan dari bahan bakar CNG (120-130) dan *gasoline* (88-90) dapat disimpulkan bahwa nilai oktan dari CNG jauh lebih besar dari *gasoline*, jadi jelas kalau untuk menggunakan bahan bakar CNG sebagai pembakaran dalam kendaraan dibutuhkan rasio kompresi yang tinggi menyebabkan tekanan di dalam ruang bakar juga akan meningkat jika dibandingkan dengan *gasoline*. Selain itu dengan semakin tingginya nilai rasio kompresi juga akan berbanding lurus pada meningkatnya efisiensi termal, seperti grafik ini :



Gambar 2.5 Perbandingan Rasio Kompresi Terhadap Efisiensi Termal
 Sumber: Cengel (2006,p.497)

$$\eta_{th} = 1 - \left(\frac{1}{c}\right)^{\gamma-1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana dari hubungan rumus dan gambar diatas nampak bahwa efisiensi thermal teoritis tergantung pada beberapa faktor sebagai berikut: Perbandingan kenaikan tekanan kompresi dan perbandingan volume awal dan akhir. Hal inilah menyebabkan ada kecenderungan untuk mempertinggi angka kompresi sehingga unjuk kerja mesin semakin tinggi.

2.5 Pengertian Rasio Kompresi

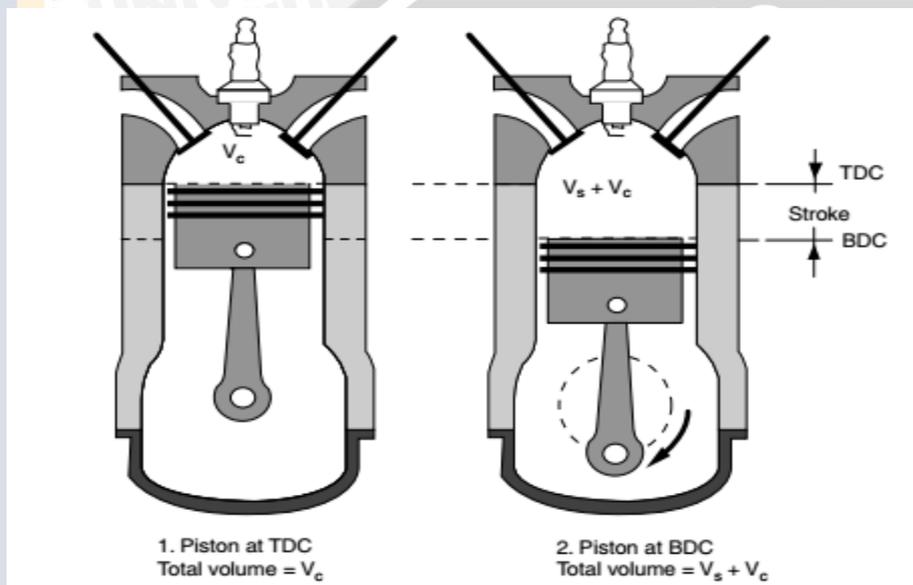
Rasio kompresi mengacu pada volume atau jumlah udara dan bahan bakar yang masuk dan dapat ditampung oleh silinder mesin pada saat kosong (pada ukuran ruang terbesar saat piston pada posisi TMB) dibandingkan dengan volume saat silinder ditekan oleh piston dan memiliki ukuran ruang terkecil (pada saat piston pada posisi TMA). Didalam ruang bakar tentu harus diperhitungkan dahulu seberapa besar volume ruang bakar karena dalam rumus rasio kompresi yaitu :

$$\text{Rasio kompresi} = \frac{(\text{Volume Silinder} + \text{Volume Ruang Bakar})}{\text{Volume Ruang bakar}} \dots(2-2)$$

$$\text{Volume Silinder} = \frac{3.14 \times \text{Bore} \times \text{Stroke}}{4} \dots\dots\dots(2-3)$$

$$\text{Volume Ruang Bakar} = \frac{\text{Volume Ruang Bakar}}{(\text{Rasio kompresi} - 1)} \dots\dots\dots(2-4)$$

Berikut merupakan gambaran perhitungan nilai suatu rasio kompresi :

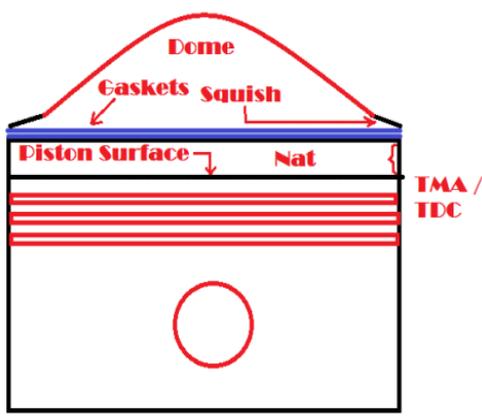


Gambar 2.6 Ilustrasi Perhitungan Rasio Kompresi
Sumber: Allan Bonnick (2011,p.12)

2.5.1 Meningkatkan Rasio kompresi

Ada beberapa cara untuk meningkatkan rasio kompresi yang tujuannya selain untuk menaikkan power dari mesin tersebut juga untuk membuat agar pembakaran terjadi secara lebih sempurna dengan meningkatnya efisiensi termal yang akan membuat pembakaran menjadi lebih efektif untuk menggerakkan daya efektif poros. Berikut beberapa cara untuk meningkatkan rasio kompresi seperti :

1. Mengurangi ketebalan dari gasket, dengan cara mengurangi tebal diameternya
2. Menggunakan piston dengan permukaan yang lebih jenong ke atas.
3. Membubut silinder untuk mengurangi ketinggian nat.
4. Membubut head untuk mengurangi ketinggian squish.



Gambar 2.7 Ilustrasi Volume Ruang Bakar
 Sumber: Dokumen Pribadi

Karena nat memiliki bentuk volume silinder, maka untuk mencari besar nat dapat menggunakan rumus silinder, yaitu :

$$V : \pi \times r^2 \times t \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana : V : Volume silinder

r : jari-jari kepala piston

t : jarak nat

Dengan mengurangi jarak nat di volume ruang bakar akan dapat meningkatkan rasio kompresinya karena volume silinder menjadi lebih besar saat piston menekan dari posisi TMB ke posisi TMA. Dan mengacu pada rumus rasio kompresi, jika volume silinder tetap dan volume ruang bakar dikurangi akan membuat rasio kompresinya dapat meningkat. Namun dengan menggunakan piston yang memiliki kepala lebih jenong/ dome piston tidak perlu dilakukan pengurangan jarak nat karena dome piston yang digunakan sudah dapat meningkatkan rasio kompresi karena ruang bakar semakin sempit oleh kepala pistonnya.

2.5.2 Detonasi

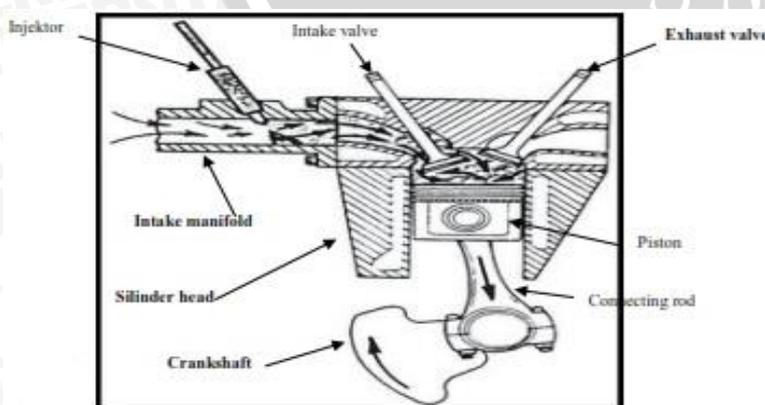
Pada motor bensin kecenderungan terjadi detonasi lebih besar. Hal ini dikarenakan pada proses pembakaran yang tidak serentak yaitu terjadi proses pembakaran sendiri pada saat langkah kompresi belum berakhir. Campuran yang telah terbakar akan menekan campuran bahan bakar yang belum terbakar. Akibatnya, campuran bahan bakar yang belum terbakar tersebut temperaturnya meningkat sehingga melewati temperature untuk menyala sendiri. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya detonasi karena terjadi nyala

susulan. Selain itu, detonasi juga dapat diakibatkan oleh suhu yang terjadi di dalam ruang bakar terlalu tinggi, angka oktan bahan bakar yang rendah, tekanan kompresi tinggi, dan waktu pembakaran tidak tepat.

2.6 Sistem Injeksi Bahan Bakar

Injeksi untuk bahan bakar merupakan suatu teknologi terbaru yang digunakan pada mesin pembakaran dalam untuk menyuplai bahan bakar dalam proses pencampuran bahan bakar dengan udara sebelum dibakar didalam ruang bakar. Dengan menentukan banyaknya campuran udara dan juga bahan bakar se-ideal mungkin untuk masuk ke dalam combustor menggunakan saluran masuk yang jumlahnya diukur oleh sensor aliran udara (*air flow sensor*) yang kemudian diproses oleh ECM (*Electronic Control Module*) sehingga dapat ditentukan jumlah bahan bakar yang dapat disemprotkan oleh injektor. Idealnya untuk setiap 14,7 gram udara masuk diinjeksikan 1 gram *gasoline* dan disesuaikan dengan kondisi panas mesin dan udara sekitar serta beban kendaraan dan untuk gas membutuhkan 17,2 gram. Bahan bakar bertekanan (2-4 kali tekanan dalam sistem karburator) telah dinaikan tekanannya oleh pompa bahan bakar elektrik dalam sistem dan siap diinjeksikan melalui *injector* elektronik. (Kustoro, 2012)

Ada 2 jenis injeksi bahan bakar yang digunakan dalam kendaraan bermotor, yaitu (*Direct Injection*) injeksi langsung ke ruang bakar dan (*Indirect Injection*) injeksi tidak langsung ke ruang bakar. Penggunaan jenis injeksi bahan bakar dapat dilihat berdasarkan bahan bakarnya, pada bahan bakar *gasoline* yang digunakan adalah tipe injeksi tidak langsung karena pada jenis ini bahan bakar yang sudah tercampur akan masuk dengan kecepatan tinggi diberbagai putaran mesin.



Gambar 2.8 Sistem Injeksi Tidak Langsung

Sumber: Kustoro (2012,p.8)

2.7 Karakteristik Mesin Otto

Setiap jenis kendaraan pasti memiliki berbagai karakteristik yang dapat mencerminkan kinerja dari mesin tersebut. Dengan variasi variable-variabel yang dapat dicari akan memudahkan mengetahui seberapa besar kinerja yang dapat dihasilkan oleh kendaraan. Data variabel digunakan untuk menggambarkan bentuk hubungan antara variabel tertentu yang dapat berasal dari pengukuran langsung selama pengujian, atau juga dapat dihitung dari data yang diukur. Seperti data putaran mesin dan juga debit bahan bakar dapat dilihat langsung selama pengujian menggunakan alat ukur, tetapi torsi, daya efektif dan efisiensi termal harus dihitung dari pengukuran terhadap parameter yang telah ditentukan.

Pada proses pengujian yang variable bebasnya berupa putaran mesin, karakteristik kinerja yang sering digunakan adalah :

- 1) Putaran terhadap daya indikatif (N_i), daya efektif (N_e) dan daya mekanik (N_f).
- 2) Putaran terhadap torsi (T).
- 3) Putaran terhadap *Mean Effective Pressure* (MEP).
- 4) Putaran terhadap *Specific Fuel Consumption* (SFC).
- 5) Putaran terhadap efisiensi (η_i , η_e , η_m , η_v).
- 6) Putaran terhadap komposisi gas buang seperti CO , CO_2 , O_2 , H_2O , dan N_2 .
- 7) Putaran terhadap keseimbangan panas.

2.7.1 Torsi

Didalam silinder pada proses pembakaran menghasilkan tekanan yang dapat menekan piston melalui langkah ekspansi atau kerja. Tekanan tersebut akan diolah menjadi gaya oleh piston yang selanjutnya diteruskan oleh batang piston (*Crank Shaft*), kemudian akan menyebabkan berputarnya poros engkol. Berputarnya poros engkol ini menimbulkan momen putar yang disebut torsi. Besarnya nilai torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan dinamometer, dan akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros.

Jadi harga torsi bisa didapatkan dari hasil perkalian antara besarnya beban pengereman dari panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros. Persamaan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T = F \cdot L \text{ [kg.m]} \dots\dots\dots (2-6)$$

Dimana :

$T =$ Torsi ($\text{kg}\times\text{m}$)

$F =$ Gaya putar yang terbaca pada timbangan dinamometer (kg)

$L =$ Panjang lengan dinamometer = $0,3$ (m)

2.7.2 Daya Efektif

Daya efektif motor merupakan daya yang keluar dari poros mesin atau sering disebut sebagai daya poros yang digunakan untuk menggerakkan beban. Karena putaran kerja poros sering berubah terutama pada mesin kendaraan bermotor, besar torsi pada poros yang dapat dijadikan sebagai indikator kinerja mesin *otto*. Daya ini dihasilkan oleh poros engkol yang merupakan perubahan kalor di ruang bakar menjadi kerja. Daya efektif dirumuskan sebagai berikut :

$$N_e = \frac{T \cdot n}{716,2 \text{ (PS)}} \dots\dots\dots (2-7)$$

dimana : N_e : Daya Efektif (Ps)

T : Torsi ($\text{kg}\times\text{m}$)

n : Putaran (rpm)

2.7.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (*SFCe*)

Specific Fuel Consumption Effective adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk dapat menghasilkan daya efektif 1 PS selama 1 jam. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (*SFCe*) didapatkan dari nilai konsumsi bahan bakar dan daya efektif yang telah diperoleh. Nilai ini didapatkan dengan rumusan sebagai berikut:

$$FC = \dot{V} \cdot \rho \cdot \frac{3600}{1000} \dots\dots\dots (2-8)$$

$$SFCe = \frac{FC}{N_e} \dots\dots\dots (2-9)$$

Dimana :

$SFCe$: Konsumsi bahan bakar spesifik efektif ($\text{kg}\times\text{PS}^{-1}\times\text{jam}$)

FC : Penggunaan bahan bakar tiap jam ($\text{kg}\times\text{jam}^{-1}$)

N_e : Daya efektif (PS)

\dot{V} : Volume Alir ($\text{m}^3\times\text{s}^{-1}$)

ρ : Massa jenis ($\text{gr}\times\text{m}^3$)

2.7.4 Efisiensi Termal Efektif (η_e)

Efisiensi termal efektif adalah perbandingan kalor yang dirubah menjadi daya efektif dengan kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Efisiensi termal efektif merupakan suatu ukuran untuk mengetahui ekonomis atau tidaknya dalam pemakaian bahan bakar. Seberapa efisien bahan bakar yang dapat dikonversi menjadi daya efektif poros, nilai dari efisiensi termal efektif juga berbanding terbalik dengan SFCe. Rumus efisiensi termal efektif dihitung dengan :

$$\eta_e = \frac{632.N_e}{FC.Q1} = \frac{632}{\frac{FC}{N_e}.Q1} = \frac{632}{SFC_e.Q1} \dots\dots\dots(2-10)$$

Dimana : η_e : efisiensi termal efektif (%)

Q1 : nilai kalor bawah bahan bakar (LHV) (kkal \times kg⁻¹)

2.8 Performa Mesin *Otto* Bahan Bakar Gas

Yousufuddin dkk (2012), torsi yang dihasilkan oleh mesin *otto* sangat dipengaruhi oleh efisiensi volumetrik, dalam penelitiannya mereka membandingkan performa antara bahan bakar *gasoline* dan *natural gas*. Dari penelitiannya didapatkan bahwa nilai torsi yang dihasilkan oleh *natural gas* lebih rendah dari pada torsi yang dihasilkan dengan bahan bakar *gasoline*. Hal ini dikarenakan perbedaan karakteristik pembakaran antara *gasoline* dan *natural gas*, jadi untuk mesin *otto* yang dirancang untuk menggunakan bahan bakar *gasoline* apabila diganti dengan *natural gas* maka pembakaran yang terjadi didalam silinder terjadi tidak tepat waktu sehingga tenaga atau energi hasil pembakaran tidak tersalurkan dengan sempurna.

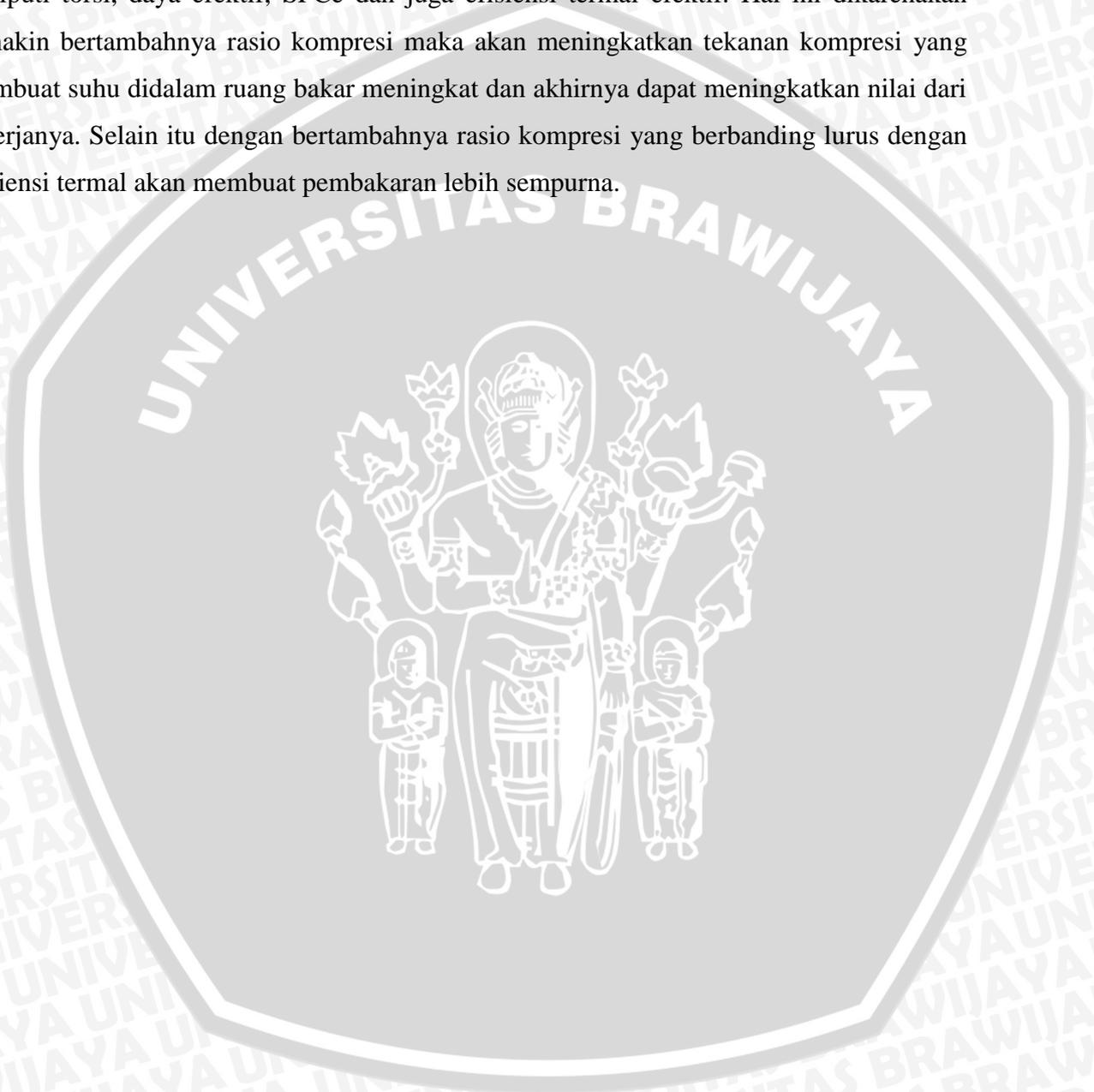
Sebab dari penurunan performa dari mesin *otto* yang menggunakan bahan bakar gas adalah karena waktu penyalaan busi yang awalnya di rancang untuk bahan bakar *gasoline* tidak sesuai dengan bahan bakar gas. Sehingga pembakaran tidak terjadi tepat pada waktu piston berada pada titik mati atas, hal ini dapat mengakibatkan penyaluran tenaga hasil pembakaran melalui engkol menjadi lebih kecil dari semestinya. (Yunianto,2013)

Bahan bakar gas dapat digunakan langsung untuk mesin *otto* karena BBG memiliki bilangan oktan sekitar 120, meskipun begitu, bagi mesin *otto* yang dirancang untuk menggunakan bahan bakar *gasoline* apabila bahan bakarnya langsung diganti oleh bahan bakar gas akan menyebabkan penurunan performa yang meliputi torsi dan daya pada mesin *otto* tersebut. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan karakteristik pembakaran antara

bahan bakar *gasoline* dan gas yang menyebabkan terjadi penurunan efisiensi volumetrik pada mesin *otto* tersebut. (Arismunandar).

2.9 Hipotesa

Bertambahnya rasio kompresi akan dapat mempengaruhi kinerja mesin yang meliputi torsi, daya efektif, SFCE dan juga efisiensi termal efektif. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya rasio kompresi maka akan meningkatkan tekanan kompresi yang membuat suhu didalam ruang bakar meningkat dan akhirnya dapat meningkatkan nilai dari kinerjanya. Selain itu dengan bertambahnya rasio kompresi yang berbanding lurus dengan efisiensi termal akan membuat pembakaran lebih sempurna.



BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan dengan menggunakan metode penelitian eksperimental dimana pada prosesnya dilakukan pengujian langsung tentang bagaimana pengaruh variasi rasio kompresi terhadap kinerja mesin *otto* 4 langkah sistem injeksi dengan bahan bakar CNG. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya pada bulan September 2016 sampai dengan November 2016.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang akan digunakan pada penelitian yaitu :

3.2.1 Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi nilai faktor yang diukur, diubah atau dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara suatu fenomena yang akan diobservasi atau diamati. Penelitian ini memiliki variabel bebas :

- Rasio Kompresi

Rasio kompresi pada penelitian ini dengan mengurangi nat pada volume ruang bakar variasi rasio kompresi sebagai berikut : 9.3 : 1, 10.6 : 1 dan 12.5 : 1

- Besarnya putaran diatur dengan memberikan gaya pengereman pada roda belakang dengan variasi putaran sebesar : 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6500, 7000 putaran/menit.

3.2.2 Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya telah diketahui setelah dilakukan penelitian dan tergantung besarnya dari variable bebas yang dimasukkan. Pada penelitian ini variabel terikatnya adalah torsi, daya efektif, SFCe, dan efisiensi termal efektif.

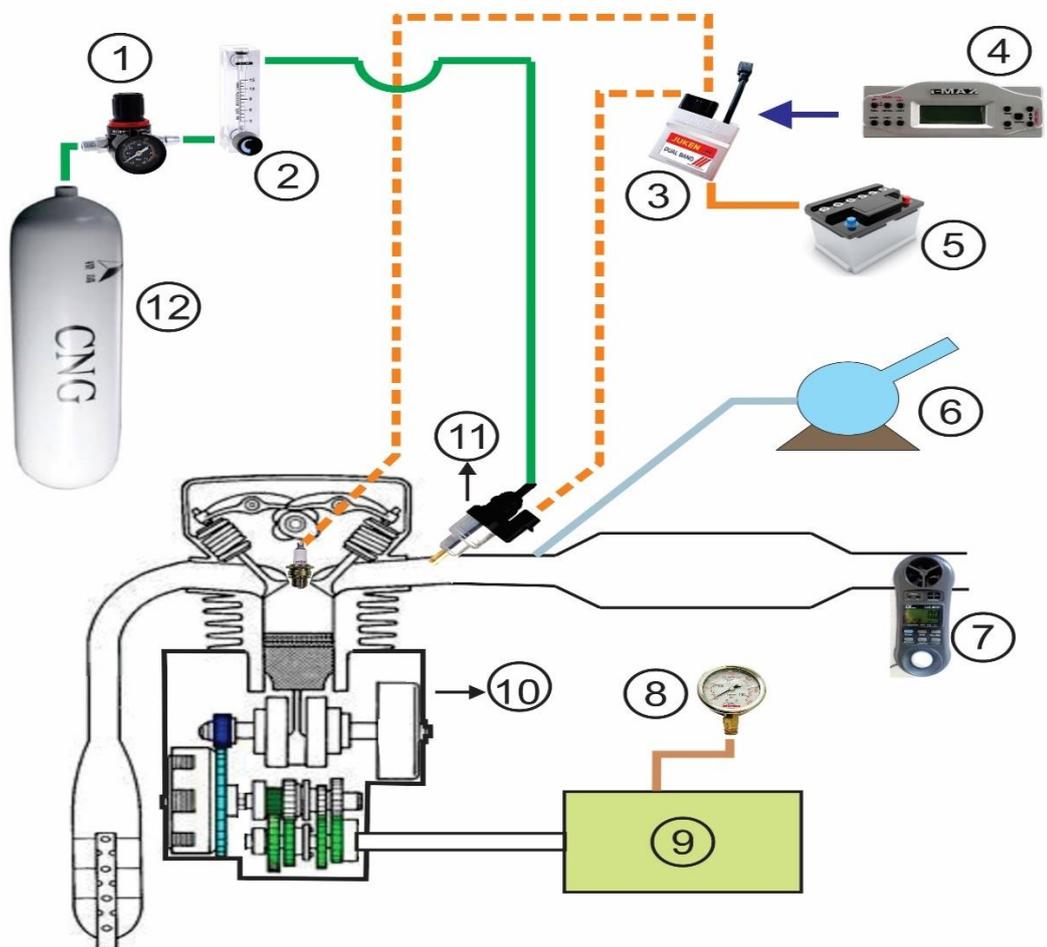
3.2.3 Variabel Terkontrol (*Controlled Variable*)

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan peneliti dan dikondisikan pada kondisi konstan. Pada penelitian ini variabel terkontrolnya adalah sebagai berikut:

- Tekanan masuk bahan bakar di jaga konstan 0.8 bar menggunakan *regulator valve*.
- Tekanan pada pengereman di jaga konstan 1.5 bar.
- Bahan bakar yang digunakan adalah *Compressed Natural Gas* 98,8 % metana (CH_4).
- Transmisi mesin dikondisikan pada *gear 2* (rasio 1 : 5.1925).
- *Ignition timing* dan AFR yang digunakan pada kondisi standar.

3.3 Skema Instalasi Penelitian

Instalasi alat penelitian yang dilakukan seperti gambar 3.1 berikut ini:



Keterangan :

- 1 = Pressure gauge regulator
 2 = Flowmeter CNG
 3 = ECU
 4 = Remote ECU
 5 = Accu
 6 = Tuas throttle

- 7 = Anemometer
 8 = Pressure gauge
 9 = Dinamometer
 10 = Otto engine
 11 = Injector
 12 = Tabung CNG

- = Aliran CNG
 - - - = Sinyal ECU
 — = Arus accu
 — = Kawat seling
 — = Tekanan fluida rem

Gambar 3.1 Skema Instalasi Penelitian

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Penelitian ini menggunakan mesin *otto* 4 langkah satu silinder dengan sistem injeksi berbahan bakar CNG dengan volume 124.8 cc. Pertama, bahan bakar CNG dari tabung akan dialirkan menggunakan *Pressure Gauge Regulator* dengan tekanan yang dijaga konstan pada 0.8 bar lalu dengan menggunakan selang penumatik akan dialirkan melewati flowmeter dimana didalam flowmeter ini akan diketahui laju aliran bahan bakar CNG yang akan masuk ke dalam ruang bakar. Sedangkan massa alir udara yang akan masuk melalui intake manifold akan diketahui kecepatan aliran udaranya menggunakan anemometer yang telah dipasang. Untuk mengatur besarnya campuran bahan bakar dan gas yang masuk ke dalam ruang bakar maka akan diatur melalui pengatur throttle. Lalu untuk pembacaan nilai putaran mesin digunakan *remote* ECU yang tersambung pada ECU *programmable* dimana didalam *remote* ECU sudah dapat terlihat besarnya nilai putaran, *ignition timing* dan juga AFR. Perubahan rasio kompresi sendiri dilakukan sebelum pengujian dilakukan, pertama blok silinder akan di kurangi 1mm lalu ditambahkan paking 1mm untuk variasi rasio kompresi standar setelah itu untuk variasi kedua piston akan diganti dengan piston yang lebih jenong, tingginya 2.5mm yang akan membuat volume ruang bakar akan lebih kecil. Dan yang terakhir dengan variasi rasio kompresi ketiga pada blok silinder yang telah dipasang paking 1mm tadi akan dilepas yang akan membuat volume ruang abakr akan semakin kecil dari variasi rasio kompresi yang kedua.Sedangkan untuk pembacaan gaya pembebanan digunakan neraca pegas pada dinamometer.

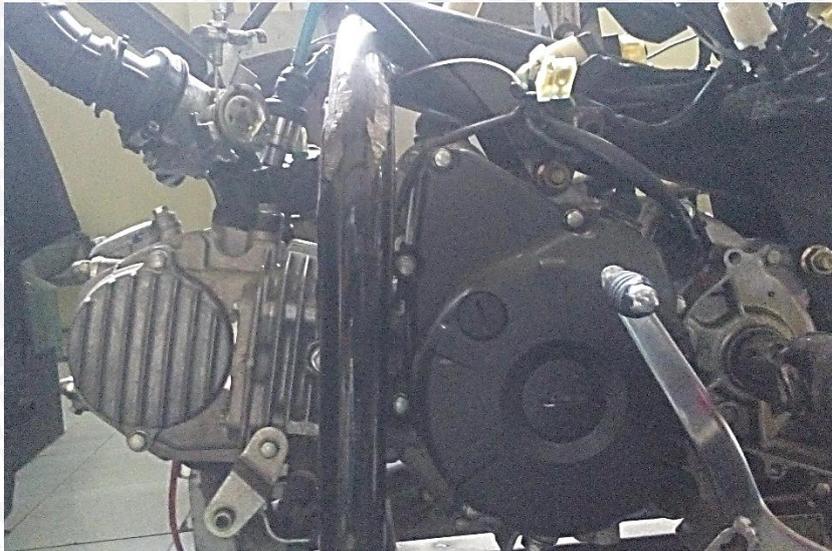
3.4 Alat-alat Pengujian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian yaitu :

- a. Mesin *Otto* 4 Langkah 125 cc

Pada pengujian ini menggunakan mesin *otto* 4 langkah dengan sistem injeksi berkapasitas 125 cc yang akan menggunakan bahan bakar CNG sebagai pengganti bahan bakar bensin. Berikut ini spesifikasi dari mesin tersebut:

- Tipe Mesin : 4-Langkah, SOHC, Silinder Tunggal
- Kapasitas Mesin : 124.8 cc
- Bore X Stroke : 52.4 X 57.9 mm
- Rasio Kompresi : 9.3 : 1
- Jumlah Silinder : Silinder Tunggal
- Sistem Bahan Bakar : *Fuel Injection*
- Tipe Transmisi : 4 Kecepatan, Rotari (N – 1 – 2 – 3 – 4 – N)



Gambar 3.2 Mesin Otto 4 Langkah

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

b. Dinamometer

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya torsi dari tenaga yang dihasilkan oleh mesin dengan lengan torsi sebesar 30 cm.



Gambar 3.3 Dinamometer

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

c. Anemometer digital

Alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan udara yang masuk melalui *intake manifold* yang kemudian dikonversi menjadi massa alir udara.



Gambar 3.4 Anemometer Digital

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

d. Flowmeter

Alat ini digunakan untuk melihat banyaknya bahan bakar CNG yang dikonsumsi di dalam mesin motor bakar 4 langkah pada saat pengujian. Penelitian ini menggunakan *flowmeter* udara dengan debit maksimal 20 NL/min.



Gambar 3.5 Flowmeter

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

e. ECU Programmable

ECU programmable berfungsi menggantikan ECU standart yang terdapat pada motor yang dapat memprogram sesuai dengan kondisi mesin yang di inginkan *tuner*-nya. Beberapa hal yang dapat diprogram oleh sebuah *ECU programmable*

diantaranya adalah *injector timing* (waktu injeksi bahan bakar), *injector duration* (lamanya *injector* menginjeksikan bahan bakar) dan *ignition timing*. Berikut spesifikasi ECU :

- *Smart dual i-core* (dengan fungsi *dualband* dapat memilih 2 *setting*-an yang berbeda saat motor sedang berjalan)

Berikut beberapa fitur yang terdapat pada ECU ini:

- 10 memori *fuel correction*
- 5 memori *base map*
- 3 memori *injector timing*
- 5 memori *ignition timing*
- *Adjustable limiter rpm*
- *Default setting performance*



Gambar 3.6 ECU Programmable Juken 3 BRT

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

f. *Remote Programmer*

Berfungsi untuk memprogram ECU sesuai kebutuhan yang diinginkan.



Gambar 3.7 Remote Programmer I-Max 3

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

g. Piston

Berfungsi untuk komponen mesin yang membentuk ruang bakar bersama dengan silinder blok dan silinder head. Piston jugalah yang melakukan gerakan naik turun untuk melakukan siklus kerja mesin, serta piston harus mampu meneruskan tenaga hasil pembakaran ke crankshaft. Besar dome/ jenong yang digunakan 2.5mm.



Gambar 3.8 Blok Silinder

Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

a. Injektor CNG

Berfungsi untuk menginjeksi/menyemprotkan bahan bakar CNG ke dalam ruang bakar. Berikut spesifikasi dari injektor ini:

- Debit maksimal : 115 NL/min pada tekanan 1.2 bar
- Hambatan koil : 1.9 Ω
- Durasi injektor buka : 1.9 ms
- Durasi injektor tutup : 1.2 ms
- Tekanan masuk maksimal : 4.5 bar
- Temperatur : -20 $^{\circ}\text{C}$ – 120 $^{\circ}\text{C}$



Gambar 3.9 Barracuda BA1500 1CYL Single Mount Injector
 Sumber: Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

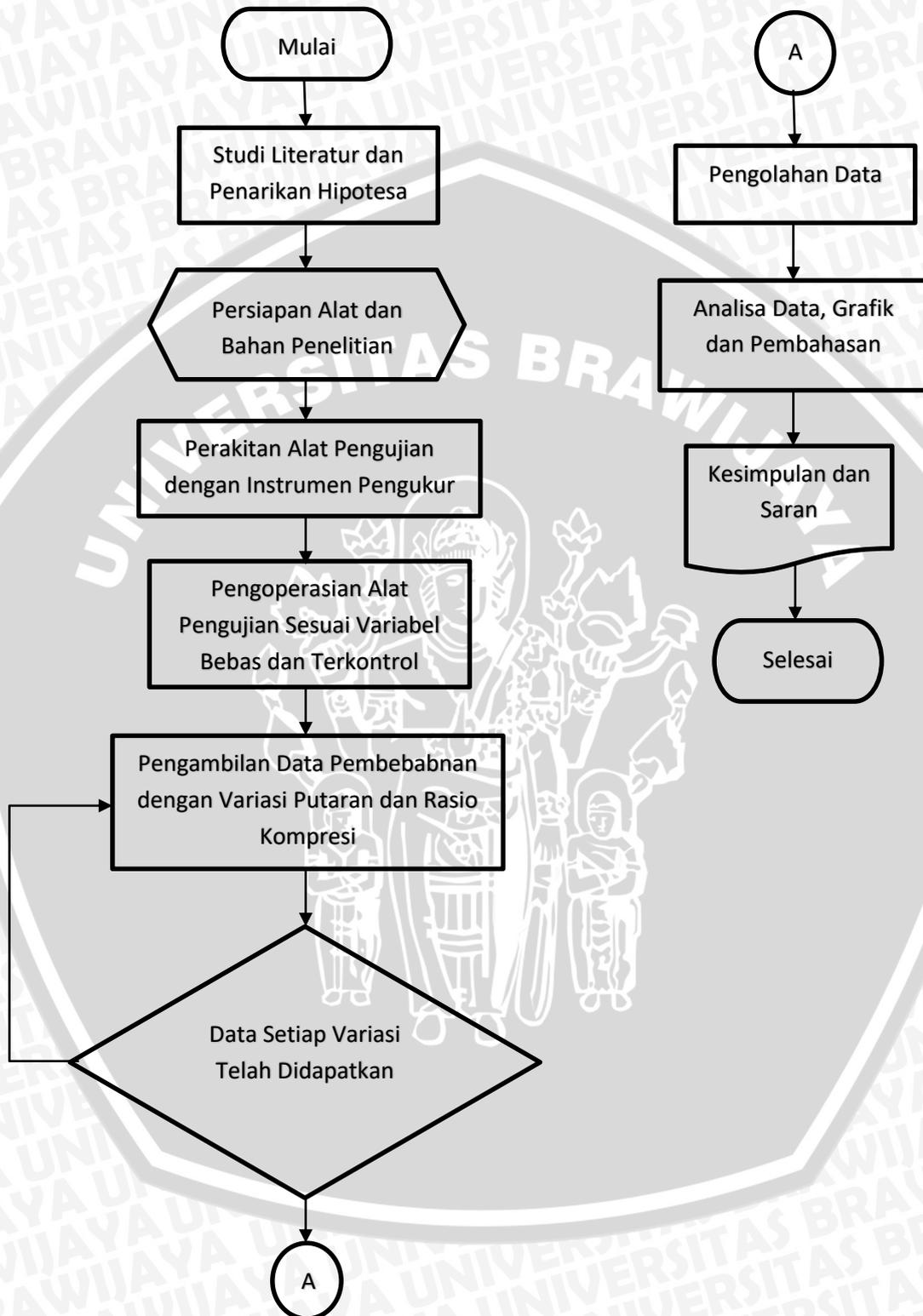
3.5 Metode Pengambilan Data

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengambilan data dalam penelitian ini yaitu:

1. Menyiapkan alat-alat dan bahan penelitian sesuai dengan skema instalasi.
2. Menambahkan paking 1mm tiap variasi rasio kompresinya di bawah blok silinder blok silinder sesuai variable bebas yang telah diketahui.
3. Mengatur tekanan masuk CNG sebesar 0.8 bar
4. Menyalakan alat uji dan blower sebagai pendingin pada saat pengujian.
5. Memasukkan transmisi *gear 2*.
6. Mengatur tekanan pengereman sebesar 1.5 bar.
7. Mengatur putaran mesin dengan mengubah *throttle* sesuai variasi variable bebas.
8. Mengukur besarnya gaya pengereman, kecepatan udara masuk ruang bakar, dan debit bahan bakar CNG pada putaran 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6500, 7000 putaran/menit.
9. Melakukan pengambilan data dengan rasio kompresi sesuai variabel bebas.
10. Mematikan mesin lalu mengubah rasio kompresi sesuai variabel bebas yang telah ditentukan dan mengulangi langkah 3 dan 8.
11. Setelah pengambilan data selesai, mengembalikan transmisi motor pada *gear* netral.
12. Menutup regulator tabung bahan bakar CNG dan mematikan alat uji.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu :



Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian
Sumber: Dokumentasi pribadi



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Pengambilan data dari kinerja mesin otto berbahan bakar CNG dilakukan dengan memvariasikan *Compression Ratio* (CR) dengan memapas silinder blok lalu memvariasikan rasio kompresi dengan penambahan paking 1mm tiap variasinya. Pada saat dilakukan pengujian, tekanan yang keluar dari tabung CNG dijaga konstan pada tekanan 0,8 bar dan tekanan beban pengereman dijaga konstan 1,4 bar. Pengambilan data diambil pada setiap putaran *crankshaft* dari 2500 rpm hingga 7000 rpm dengan interval 500 rpm. Data hasil pengujian adalah sebagai berikut:

Jenis Pengujian	: Pengujian Kinerja Mesin Otto
Temperatur Ruang	: 27 °C
Tekanan Udara Atmosfer	: 1 atm
ρ CNG	: 0.7168 kg/m ³
ρ Udara	: 1.2 kg/m ³

Tabel 4.1
Data Gaya Pengereman Setiap Variasi Rasio kompresi dan Putaran (rpm)

N <i>crankshaft</i> (rpm)	N dinamometer (rpm)	F dinamometer (kg)							
		Gasoline		CR 9.3 : 1		CR 10.6 : 1		CR 12.5 : 1	
2500	481.46	5.4	5.578	5.2	5.3	5.4	5.4	5.6	5.6
		5.8		5.4		5.4		5.6	
3000	577.76	5.8	5.865	5.6	5.7	5.8	5.875	5.9	6
		6.0		5.8		5.95		6.1	
3500	674.05	6.4	6.383	6.1	6.15	6.3	6.3	6.4	6.45
		6.3		6.2		6.3		6.5	
4000	770.34	6.7	6.785	6.2	6.4	6.5	6.6	6.6	6.7
		6.9		6.6		6.7		6.8	
4500	866.63	7.4	7.360	6.5	6.35	6.6	6.5	6.8	6.85
		7.4		6.2		6.4		6.9	
5000	962.93	7.1	7.130	6.1	6.15	6.4	6.4	6.8	6.75
		7.1		6.2		6.4		6.7	
5500	1059.22	6.9	6.725	5.8	5.9	6.2	6.15	6.3	6.2
		6.6		6		6.1		6.1	
6000	1155.51	6.3	6.153	5.6	5.7	5.9	5.85	5.9	5.85
		6.0		5.8		5.8		5.8	
6500	1251.81	5.9	5.923	5.4	5.4	5.7	5.6	5.7	5.7
		6.0		5.4		5.5		5.7	

7000	1348.10	6.0	5.865	5.2	5.1	5.6	5.45	5.6	5.55
		5.8		5		5.3		5.5	

4.1.2 Pengolahan Data

Dari data hasil pengujian pada tabel 4.1 sampai 4.3 maka dapat dilakukan pengolahan data pengujian untuk mendapatkan nilai kinerja mesin otto berupa torsi pada *crankshaft* (T_{crank}), daya efektif (N_e), *fuel consumption* (FC), *specific fuel consumption effective* (SFC_e) dan efisiensi termal efektif (η_e). Untuk pengolahan data torsi *crankshaft* dilakukan dengan menghitung torsi pada dinamometer menggunakan persamaan 2-5, kemudian nilai torsi dinamometer yang didapat dikonversikan menjadi nilai torsi pada *crankshaft* menggunakan *rasio* putaran *gearbox*. Berikut adalah contoh perhitungan kinerja pada putaran *crankshaft* 4500 rpm dengan rasio kompresi 12.5 : 1 :

Compression Ratio (CR)	: 12.5 : 1
Putaran <i>crankshaft</i> (n_{crank})	: 4500 rpm
Putaran dinamometer (n_d)	: 866,63 rpm
Rasio <i>gearbox</i>	: 5,1925
Gaya pengereman dinamometer (F_d)	: 6,85 kg
Panjang lengan dinamometer (L)	: 0,3 m
Nilai Kalor Bawah CNG (LHV) (Q_1)	: 11955 kkal/kg
Densitas CNG (ρ_{CNG})	: 0,7168 kg/m ³

a. Torsi *crankshaft* ($T_{crankshaft}$)

$$\begin{aligned}
 T_{dinamometer} &= F_d \cdot L \\
 &= 6,85 \text{ kg} \times 0,3 \text{ m} \\
 &= 2,055 \text{ kg} \cdot \text{m} \\
 T_{crankshaft} \cdot n_{crank} &= T_{dinamometer} \cdot n_d \\
 T_{crankshaft} &= \frac{T_{dinamometer} \cdot n_d}{n_{crank}} \\
 &= \frac{2.055 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot 866,63 \text{ rpm}}{4500 \text{ rpm}} \\
 &= 0,396 \text{ kg} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.2
Data Torsi pada Setiap Variasi Rasio kompresi dan Putaran

$n_{crankshaft}$ (rpm)	$n_{dinamometer}$ (rpm)	$T_{crankshaft}$ (kgm)			$T_{dinamometer}$ (kgm)		
		CR 9.3 : 1	CR 10.6 : 1	CR 12.5 : 1	CR 9.3 : 1	CR 10.6 : 1	CR 12.5 : 1
2500	481.46	0.306	0.312	0.324	1.590	1.620	1.680
3000	577.76	0.329	0.339	0.347	1.710	1.763	1.800
3500	674.05	0.355	0.364	0.373	1.845	1.890	1.935
4000	770.34	0.370	0.381	0.387	1.920	1.980	2.010
4500	866.63	0.367	0.376	0.396	1.905	1.950	2.055
5000	962.93	0.355	0.370	0.390	1.845	1.920	2.025
5500	1059.22	0.341	0.355	0.358	1.770	1.845	1.860
6000	1155.51	0.329	0.338	0.338	1.710	1.755	1.755
6500	1251.81	0.312	0.324	0.329	1.620	1.680	1.710
7000	1348.10	0.295	0.315	0.321	1.530	1.635	1.665

b. Daya Termal Efektif (N_e)

$$N_e = \frac{T \cdot n}{716,2}$$

$$N_e = \frac{0,396 \cdot 4500}{716,2}$$

$$N_e = 2,487 \text{ PS}$$

c. Fuel Consumption (FC)

$$FC = \frac{Q_{CNG} \cdot \rho_{CNG} \cdot 60}{1000}$$

$$FC = \frac{15,13 \cdot 0,7168 \cdot 60}{1000}$$

$$FC = 0,651 \text{ kg/jam}$$

d. Specific Fuel Consumption Effective (SFCe)

$$SFCe = \frac{FC}{N_e}$$

$$SFCe = \frac{0,651}{2,487}$$

$$SFCe = 0,262 \text{ kg/PS jam}$$

e. Efisiensi Termal Efektif (η_e)

$$\eta_e = \frac{632 \cdot Ne}{FC \cdot Q_1} \cdot 100\% = \frac{632}{\frac{FC}{Ne} \cdot Q_1} \cdot 100\% = \frac{632}{SFC_e \cdot Q_1} \cdot 100\%$$

$$\eta_e = \frac{632}{0,262 \cdot 11955} \cdot 100\%$$

$$\eta_e = 20,201 \%$$

4.1.3 Hasil Pengolahan Data

Tabel 4.3
Hasil Pengolahan Data Daya Efektif

$N_{rankshaft}$ (rpm)	$n_{dinamometer}$ (rpm)	Ne (PS)			
		<i>Gasoline</i>	CR 9.3 : 1	CR 10.6 : 1	CR 12.5 : 1
2500	481.46	1.125	1.069	1.089	1.129
3000	577.76	1.419	1.379	1.422	1.452
3500	674.05	1.802	1.736	1.779	1.821
4000	770.34	2.189	2.065	2.130	2.162
4500	866.63	2.672	2.305	2.360	2.487
5000	962.93	2.876	2.481	2.581	2.723
5500	1059.22	2.984	2.618	2.729	2.751
6000	1155.51	2.978	2.759	2.832	2.832
6500	1251.81	3.105	2.832	2.936	2.989
7000	1348.10	3.312	2.880	3.078	3.134

Tabel 4.4
Hasil Pengolahan Data Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif

$N_{rankshaft}$ (rpm)	$n_{dinamometer}$ (rpm)	SFC_e (kg/PS jam)			
		<i>Gasoline</i>	CR 9.3 : 1	CR 10.6 : 1	CR 12.5 : 1
2500	481.46	0.454	0.387	0.388	0.378
3000	577.76	0.427	0.352	0.348	0.343
3500	674.05	0.380	0.321	0.304	0.304
4000	770.34	0.339	0.293	0.280	0.272
4500	866.63	0.302	0.280	0.272	0.262
5000	962.93	0.307	0.286	0.272	0.267
5500	1059.22	0.344	0.312	0.296	0.309
6000	1155.51	0.356	0.311	0.302	0.309
6500	1251.81	0.358	0.316	0.302	0.301
7000	1348.10	0.372	0.342	0.324	0.326

Tabel 4.5

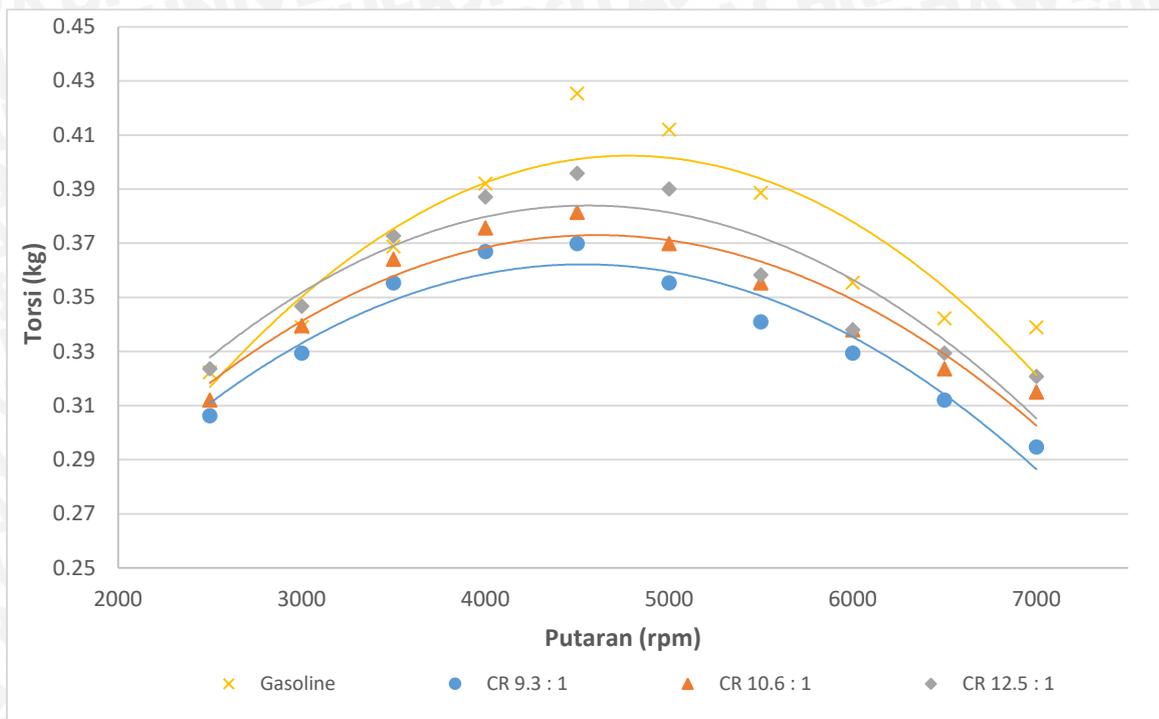
Hasil Pengolahan Data Efisiensi Termal Efektif

n _{crankshaft} (rpm)	n _{dinamometer} (rpm)	η_e (%)			
		Gasoline	CR 9.3 : 1	CR 10.6 : 1	CR 12.5 : 1
2500	481.46	13.016	13.654	13.633	13.998
3000	577.76	13.847	15.013	15.209	15.401
3500	674.05	15.548	16.461	17.390	17.396
4000	770.34	17.417	18.069	18.898	19.461
4500	866.63	19.581	18.849	19.422	20.201
5000	962.93	19.262	18.471	19.454	19.801
5500	1059.22	17.152	16.965	17.869	17.118
6000	1155.51	16.606	16.998	17.532	17.108
6500	1251.81	16.495	16.705	17.488	17.550
7000	1348.10	15.863	15.458	16.308	16.196

4.2 Pembahasan Grafik

Dari hasil perhitungan data pengujian pada putaran 2500-7000 rpm dengan interval 500 rpm, pada setiap pengambilan data didapatkan nilai yang berhubungan dengan variasi putaran tersebut. Selanjutnya data hasil perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga mempermudah dalam proses analisa data hasil perhitungan. Analisis grafik hubungan antara putaran dengan kinerja mesin *otto* 4 langkah sistem injeksi berbahan bakar CNG pada penelitian kali ini yaitu torsi, daya efektif, *specific fuel consumption effective* dan efisiensi termal efektif.

4.2.1 Grafik Hubungan Putaran Terhadap Torsi



Gambar 4.1 Grafik hubungan putaran terhadap torsi dengan variasi rasio kompresi

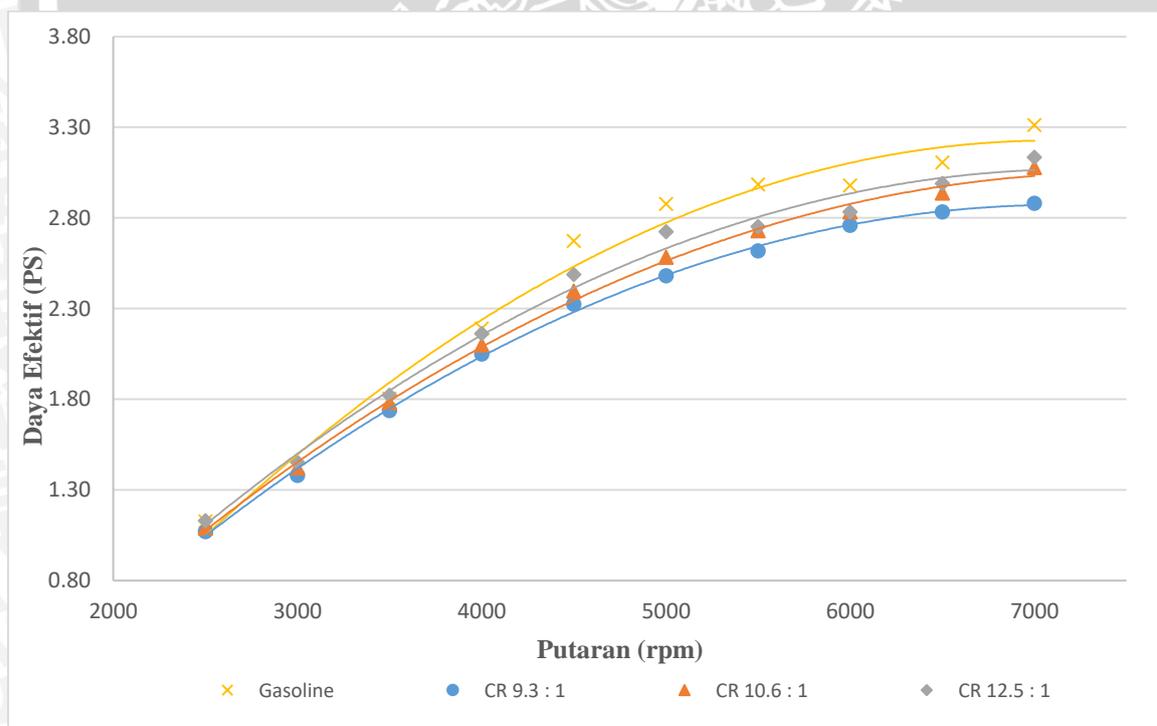
Pada gambar diatas ditunjukkan hubungan torsi terhadap putaran, dimana dari grafik dapat dilihat bahwa nilai putaran sangat mempengaruhi besarnya nilai torsi. Pada putaran rendah, torsi cenderung naik kemudian seiring bertambahnya putaran lalu torsi kemudian akan turun. Penurunan ini disebabkan karena, dengan semakin tingginya nilai suatu putaran mengakibatkan gerakan pada bukaan tutup katup isap pada langkah isap juga akan semakin cepat sehingga interval waktu yang dibutuhkan oleh bahan bakar masuk ke ruang bakar akan semakin sedikit, hal ini menyebabkan energi yang digunakan untuk menggerakkan piston semakin kecil yang akhirnya menyebabkan torsi yang dihasilkan juga kecil.

Torsi tertinggi pada setiap variasi rasio kompresi memiliki nilai yang berbeda-beda meskipun dimulai pada putaran 2500. Untuk *gasoline* dengan rasio kompresi standar 9.3 : 1 memiliki nilai torsi tertinggi 0.425 Kg.m pada putaran 4500 lalu pada bahan bakar CNG dengan rasio kompresi 9.3 : 1 nilai torsi tertinggi adalah 0.370 Kg.m pada putaran 4500. Pada rasio kompresi 10.6 : 1 nilai torsi tertinggi adalah 0.381 Kg.m pada putaran 4500 dan pada rasio kompresi 12.5 : 1 memiliki nilai torsi tertinggi adalah 0.396 Kg.m pada putaran 4500. Dari seluruh variasi rasio kompresi yang dilakukan, nilai tertinggi didapatkan pada rasio kompresi 9.3 : 1 dengan besar torsi sebesar 0.425 Kg.m pada bahan bakar *gasoline*.

Hal ini dikarenakan dengan penggantian bahan bakar dari bahan bakar cair menjadi gas pada mesin yang dirancang untuk menggunakan bahan bakar cair dapat menurunkan efisiensi volumetrik, yang mana efisiensi volumetrik sendiri merupakan perbandingan antara udara yang masuk kedalam ruang bakar dengan volume dari ruang bakar itu sendiri. Massa jenis dari bahan bakar gas (CNG) yang lebih rendah dari pada udara akan lebih memudahkan gas CNG akan tersedot masuk menuju ruang bakar sehingga udara yang seharusnya masuk ke ruang bakar tergantikan oleh gas. Hal tersebut yang menyebabkan jumlah udara yang masuk ruang bakar berkurang yang mengakibatkan efisiensi volumetrik turun.

Namun dengan adanya variasi rasio kompresi yang dilakukan dengan cara mengurangi volume ruang bakar akan membuat volume silinder menjadi semakin besar yang akhirnya akan meningkatkan tekanan kompresi di dalam ruang bakar yang membuat nilai torsi akan semakin meningkat pada nilai rasio kompresi yang semakin besar.

4.2.2 Grafik Hubungan Putaran Terhadap Daya Efektif



Gambar 4.2 Grafik hubungan putaran terhadap daya efektif dengan variasi rasio kompresi

Pada gambar diatas ditunjukkan hubungan antara nilai daya efektif terhadap putaran. Dan dari grafik dapat dilihat nilai putaran akan memberikan pengaruh yang

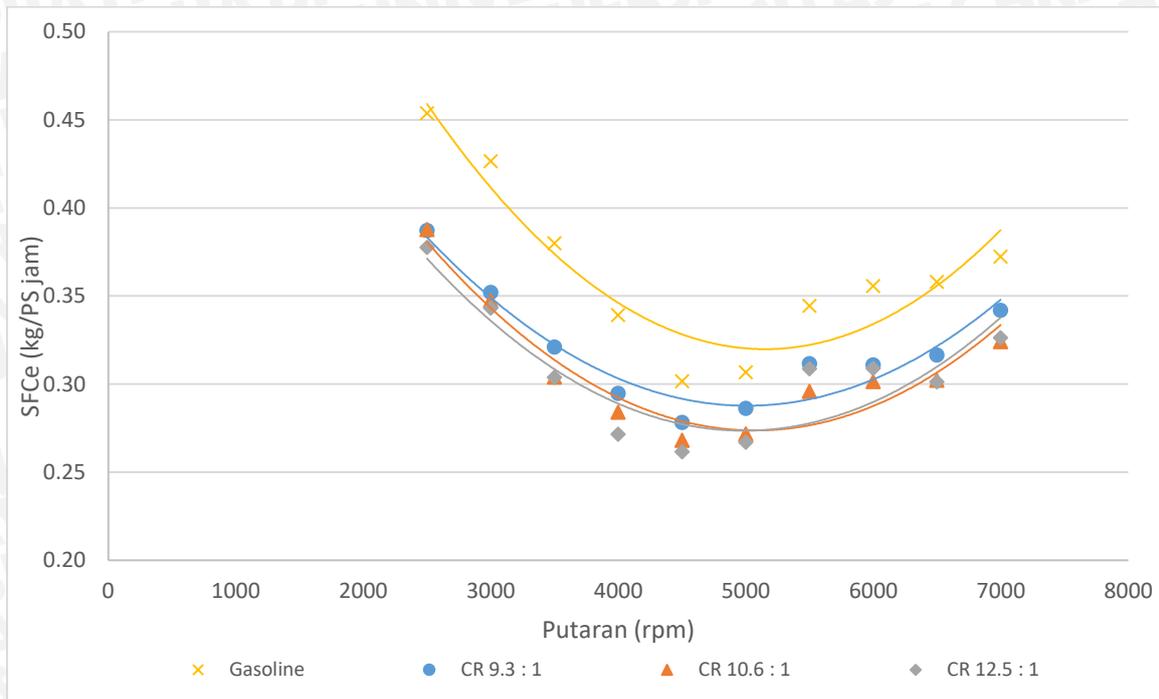
signifikan terhadap nilai daya efektifnya. Pada grafik dapat dilihat putaran yang semakin tinggi akan membuat daya efektif yang dihasilkan juga akan semakin bertambah. Hal ini disebabkan dikarenakan besarnya nilai daya efektif di pengaruhi oleh nilai torsi dan juga putaran.

Pada pembahasan hubungan antara nilai putaran dengan torsi di jelaskan bahwa pada putaran yang tinggi mengakibatkan nilai torsi turun disebabkan oleh dengan semakin besarnya nilai putaran maka gerakan buka tutup pada katup isap didalam langkah isap juga semakin cepat sehingga bahan bakar yang akan masuk ke dalam ruang bakar menjadi semakin sedikit yang menyebabkan energi yang dihasilkan juga akan berkurang. Penurunan torsi ini yang menyebabkan nilai daya efektif juga akhirnya menurun meskipun turunnya nilai torsi dan daya efektif berada pada nilai putaran yang berbeda. Nilai torsi akan mulai turun pada nilai putaran yang lebih rendah dibandingkan nilai putaran ketika daya mulai turun. Hal ini dikarenakan nilai daya efektif dipengaruhi oleh hasil perkalian nilai putaran dengan nilai torsi. Meskipun torsi cenderung turun, daya efektif akan terus meningkat karena putaran yang terus meningkat. Daya terus meningkat selama presentase kenaikan putaran masih melebihi presentase kehilangan torsi. Ketika keuntungan dan kerugian berada pada titik yang sama, maka akan tercapai puncak daya. Selanjutnya setiap penambahan putaran hanya akan menghasilkan penurunan daya.

Daya efektif tertinggi pada setiap variasi rasio kompresi memiliki nilai yang berbeda tiap variasinya. Pada bahan bakar *gasoline* yang memiliki rasio kompresi standar 9.3 : 1 memiliki nilai daya efektif tertinggi sebesar 3.312 PS namun pada bahan bakar CNG dengan rasio kompresi 9.3 : 1 memiliki nilai daya efektif tertinggi adalah 2.880 PS. Pada rasio kompresi 10.6 : 1 memiliki nilai daya efektif tertinggi adalah 3.078 PS. Pada rasio kompresi 12.5 : 1 memiliki nilai daya efektif tertinggi adalah 3.134 PS.

Dan dari semua variasi rasio kompresi yang telah di uji coba, nilai daya efektif tertinggi didapatkan pada rasio kompresi 9.3 : 1 dengan menggunakan bahan bakar *gasoline*. Hal ini disebabkan karena penggantian bahan bakar dari bahan bakar cair menjadi gas pada mesin yang dirancang untuk menggunakan bahan bakar cair dapat menurunkan efisiensi volumetrik, efisiensi volumetrik sendiri adalah berbandingan antara udara yang masuk kedalam ruang bakar dengan volume dari ruang bakar itu sendiri. Massa jenis dari bahan bakar gas yang lebih rendah dari pada udara akan lebih mudah terhisap menuju ruang bakar.

4.2.3 Grafik Hubungan Putaran Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCE)



Gambar 4.3 Grafik hubungan putaran terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif dengan variasi rasio kompresi

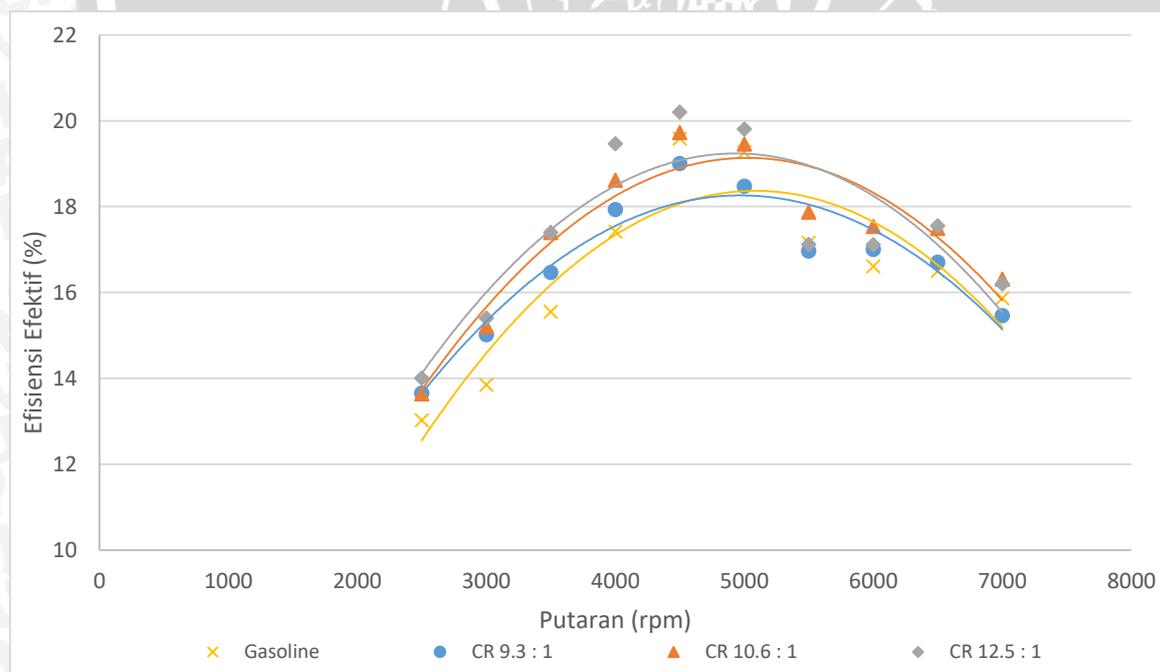
Pada gambar diatas bisa dilihat bahwa seiring bertambahnya putaran maka nilai SFCE akan semakin turun tetapi pada rpm tertentu nilai SFCE cenderung naik. Nilai SFCE yang tinggi pada saat awal putaran disebabkan karena adanya kerugian panas yang hilang menuju ke dinding silinder dan efisiensi pembakaran buruk yang menghasilkan besarnya konsumsi bahan bakar terhadap daya efektif yang dihasilkan. Sedangkan nilai SFCE yang tinggi pada saat putaran tinggi disebabkan oleh semakin banyaknya kerugian mekanis yang terjadi akibat dari semakin cepatnya putaran yang mengakibatkan semakin kecilnya daya yang dihasilkan meskipun dengan konsumsi bahan bakar yang sama yang mengakibatkan meningkatnya nilai SFCE.

Pada grafik dapat dilihat pada variasi rasio kompresi 9.3 : 1 , 10.6 : 1 , dan 12.5 : 1 nilai SFCE minimumnya adalah 0.278 , 0.268 , dan 0.262 kg/PS·Jam dengan menggunakan bahan bakar CNG dan pada bahan bakar *gasoline* dengan rasio kompresi 9.3 : 1 sebesar 0.302 kg/PS·Jam. Nilai SFCE paling rendah didapat ketika variasi rasio kompresi 12.5 : 1 sebesar 0.262 kg/PS·Jam, hal ini dikarenakan pada saat rasio kompresi ini nilai daya efektif

yang dihasilkan dibanding rasio kompresi lain dengan bahan bakar CNG adalah yang paling besar. Sesuai persamaan 2-8 dengan nilai N_e yang juga berbeda antar tiap variasi rasio kompresi maka faktor yang berpengaruh adalah nilai FC yang dihasilkan pada berbagai variasi rasio kompresi, maka ketika nilai FC yang dihasilkan oleh rasio kompresi semakin kecil maka akan didapatkan nilai SFCE yang semakin kecil juga.

Apabila dibandingkan antara nilai SFCE dengan menggunakan bahan bakar *gasoline* dan menggunakan bahan bakar CNG pada rasio kompresi yang sama yaitu 9.3 : 1, nilai SFCE pada CNG masih lebih rendah. Hal ini dikarenakan perbedaan nilai FC saat menggunakan bahan bakar *gasoline* sebesar 1.233 kg/jam sedangkan nilai FC untuk penggunaan bahan bakar CNG adalah sebesar 0.985 kg/jam. Untuk nilai FC sendiri dipengaruhi oleh nilai massa jenis, dimana massa jenis dari *gasoline* yang memiliki nilai lebih besar dibandingkan CNG menyebabkan ketika 1 ml *gasoline* dengan 1 ml CNG memiliki nilai FC yang berbeda. Nilai kalor dari CNG juga berpengaruh dimana nilainya lebih besar dari nilai kalor *gasoline*, dengan demikian sejumlah kalor spesifik dapat dilepaskan dengan jumlah bahan bakar yang lebih sedikit.

4.2.4 Grafik Hubungan Putaran Terhadap Efisiensi Termal Efektif



Gambar 4.4 Grafik hubungan putaran terhadap efisiensi termal efektif dengan variasi rasio kompresi

Pada grafik diatas dapat dilihat hubungan antara efisiensi termal efektif terhadap putaran pada tiap variasi rasio kompresi adalah ketika pada putaran yang rendah efisiensi termal efektif cenderung naik tetapi seiring dengan bertambahnya putaran, nilai efisiensi termal efektifnya cenderung turun. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif sendiri dipengaruhi oleh nilai *fuel consumption*, daya efektif dan juga nilai kalor bahan bakar. Sesuai pembahasan pada grafik perbandingan putaran dengan daya efektif bahwa ketika rpm rendah nilai daya efektif awalnya naik sampai pada nilai tertentu kemudian nilai daya efektif kemudian turun.

Ketika nilai konsumsi bahan bakar dan nilai kalor bahan bakar tetap maka nilai daya efektif sangat berpengaruh pada nilai efisiensi termal efektif. Ketika semakin besar daya efektif maka nilai efisiensi termal efektif juga meningkat. Oleh karena itu pada nilai rpm rendah yang memiliki daya efektif cenderung naik, nilai efisiensi termal efektif juga akan naik dan pada nilai rpm tinggi yang daya efektifnya cenderung turun nilai efisiensi termal efektifnya juga cenderung akan menurun. Persamaan di atas juga memperlihatkan bahwa nilai SFCE akan berbanding terbalik terhadap efisiensi termal efektif dan besar atau kecilnya efisiensi termal tergantung pada nilai SFCE.

Pada variasi rasio kompresi 9.3 : 1 , 10.6 : 1 dan 12.5 : 1, nilai efisiensi termal efektif tertinggi adalah 18.99 % , 19.72 % dan 20.20 % dan pada bahan bakar *gasoline* sebesar 19.58 %. Efisiensi termal tertinggi didapatkan ketika variasi rasio kompresi 12.5 : 1 yaitu sebesar 20.20 %. Hal ini dikarenakan karena semakin tinggi nilai rasio kompresi akan berbanding lurus dengan efisiensi termal efektifnya seperti pada gambar 2.5 yang mana semakin tinggi efisiensi termal efektifnya akan meningkatkan daya efektif dari motor tersebut.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai efisiensi termal efektif dengan menggunakan bahan bakar CNG dengan rasio kompresi tertinggi masih lebih besar dibandingkan dengan efisiensi termal efektif menggunakan bahan bakar *gasoline*. Hal ini dikarenakan meskipun nilai daya efektif yang dihasilkan oleh bahan bakar *gasoline* lebih besar tetapi nilai konsumsi bahan bakar *gasoline* dengan rasio kompresi 9.3 : 1 masih lebih besar yaitu sebesar 1.233 Kg/jam dibandingkan konsumsi bahan bakar CNG pada rasio kompresi 9.3 : 1 dan 10.6 : 1 yaitu sebesar 0.985 dan 0.998 Kg/jam, karena selisih konsumsi bahan bakar lebih besar dari pada selisih daya efektif dan nilai kalor menyebabkan nilai efisiensi termal efektif bahan bakar CNG masih lebih besar dari pada bahan bakar *gasoline*.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan data akan didapatkan suatu kesimpulan, yaitu :

- Dengan memvariasikan rasio kompresi pada mesin *otto* 4 langkah sistem injeksi berbahan bakar CNG dapat meningkatkan kinerja dari mesin seperti nilai torsi, daya efektif, SFCE dan efisiensi termal efektif.
- Pada variasi rasio kompresi tertinggi sebesar 12.5 : 1 dengan menggunakan bahan bakar CNG mendapatkan torsi tertinggi sebesar 0.396 kg·m pada putaran 4500 dan lebih besar 2.9-5.5% dari variasi rasio kompresi lainnya dengan menggunakan bahan bakar CNG.
- Nilai daya efektif maksimal pada rasio kompresi 12.5 : 1 dengan menggunakan bahan bakar CNG sebesar 3.134 PS pada putaran 7000 rpm, lebih besar 1.7-4.3% jika dibandingkan dengan daya efektif pada variasi rasio kompresi lainnya dengan bahan bakar CNG.
- SFCE minimal pada rasio kompresi 12.5 : 1 dengan 0.262 kg/PS·jam pada putaran 4500 rpm, lebih kecil 0.6-4% jika dibandingkan dengan SFCE maksimal lain pada variasi rasio kompresi berbeda.
- Efisiensi termal maksimal pada rasio kompresi 12.5 : 1 sebesar 20.20 % pada putaran 4500 rpm, lebih besar 0.48-1.21% jika dibandingkan dengan efisiensi termal maksimal pada variasi rasio kompresi lainnya.

5.2 Saran

1. Penelitian yang berlanjut dibutuhkan pula untuk mengetahui pengaruh variasi rasio kompresi yang lebih tinggi agar dapat menghasilkan nilai torsi dan daya efektif yang lebih besar dengan menggunakan bahan bakar CNG
2. Untuk mendapatkan kinerja yang lebih bagus lagi dalam penggunaan CNG sebagai bahan bakar perlu adanya perubahan settingan pada motor selain rasio kompresi, yaitu seperti perubahan settingan yang lebih sesuai pada *ignition timing* dan *Air Fuel Ratio* (AFR) dengan menggunakan bahan bakar CNG.