

ANALISA PEMBAKARAN PADA *DUAL-FUEL DIESEL ENGINE* BERBAHAN BAKAR UTAMA *COMPRESSED NATURAL GAS (CNG)* DENGAN METODE PEMODELAN

Rendra Yogi J H *)

1. I Made Ariana, ST. MT. Dr.MarSc **)

*) Mahasisiwa Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS

**) Dosen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS

Abstrak

Pada mesin diesel, penyalaan bahan bakar terjadi karena bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder yang berisi udara dengan kondisi temperature dan tekanan tinggi. Oleh sebab itu, mesin diesel disebut juga dengan mesin dengan penyalaan kompresi. Pada saat ini tengah dikembangkan mesin diesel dengan menggunakan 2 bahan bakar, dan salah satunya adalah mesin diesel dengan bahan bakar utama *Compressed Natural Gas (CNG)*. Komposisi pencampuran antara CNG dan *fuel oil* ($C_{19}H_{30}$) perlu diperhatikan. Mesin yang digunakan untuk dianalisa merupakan *dual fuel diesel engine* dengan CNG sebagai bahan bakar utama. Pada tugas akhir ini, akan dilakukan simulasi dengan memanfaatkan *software* untuk menggambarkan hasil dari proses pembakaran pada mesin diesel khususnya pada tekanan dan temperatur hasil dari pembakaran berdasarkan variasi dari komposisi antara *Compressed Natural Gas (CNG)* dengan *Fuel Oil* pada putaran motor diesel 2000 rpm. Tekanan terbesar di dalam ruang bakar didapat pada komposisi CNG sebesar 85% dan *fuel oil* sebesar 15 %.

Kata kunci: dual-fuel diesel, pemodelan, CNG

I. PENDAHULUAN

I. 1. Latar Belakang

Mesin diesel merupakan salah satu jenis dari motor bakar dalam. Pada mesin diesel, penyalaan bahan bakar terjadi karena bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder yang berisi udara dengan kondisi temperature dan tekanan tinggi. Oleh sebab itu, mesin diesel disebut juga dengan mesin dengan penyalaan kompresi.

Mesin dengan penyalaan kompresi ini menghasilkan emisi gas buang yang cukup tinggi dan berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan sekitar. Kadar yang tinggi dari Nitrogen oksid (NO_x), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2) dan partikel emisi lain yang berhubungan dengan bahan bakar diesel merupakan isu yang telah lama muncul. Akan tetapi, samapai saat ini penggunaan mesin diesel tetap menjadi idola dalam dunia transportasi maupun dunia industri. Hal ini dikarenakan karakteristik dari mesin diesel yang memiliki rasio kompresi tinggi sehingga mampu menghasilkan daya yang besar.

Natural gas merupakan bahan bakar yang potensial untuk menggantikan bahan bakar konvensional transportasi dengan tujuan menghasilkan mesin diesel dengan emisi yang rendah dan lebih ramah lingkungan. Berdasarkan informasi yang diperoleh, muncul istilah *Natural Gas Vehicle (NGV)* yaitu *natural gas* untuk bahan bakar kendaraan (sarana transportasi). Jenis dari *natural gas* yang dimanfaatkan untuk bahan bakar adalah *Compressed Natural Gas (CNG)*. CNG merupakan gas alam yang dimampatkan dan memiliki tekanan 200 bar. CNG pada saat disimpan berada dalam fase gas. Selain itu, komposisi penyusun dari CNG adalah bervariasi sesuai dengan sumber ladang gasnya. Akan tetapi, yang dominan dari komponen penyusun *natural gas* adalah metana (CH_4).

Penggunaan CNG sebagai bahan bakar pada mesin diesel, maka diperlukan adanya perhatian khusus pada system pembakaran mesin diesel. Hal ini dilakukan karena adanya perbedaan karakteristik dari CNG dengan

karakteristik bahan bakar yang biasa digunakan untuk diesel misalnya solar. Selain itu, untuk mengoptimalkan pembakaran dan power yang dihasilkan, komposisi pencampuran antara CNG dan bahan bakar disel perlu diperhatikan. Mesin yang digunakan untuk dianalisa merupakan *dual fuel diesel engine* dengan CNG sebagai bahan bakar utama. Pada tugas akhir ini, akan dilakukan simulasi dengan memanfaatkan *software* untuk menggambarkan hasil *combustion process* dan pengaruhnya pada *engine performance* khususnya pada *brake power*, *brake torque*.

I. 2. Perumusan Masalah

Penggunaan *Compressed Natural Gas (CNG)* khususnya pada mesin diesel semakin meningkat. Mesin diesel yang menggunakan CNG sebagai bahan bakar pun ada 2 jenis, yaitu gas diesel dan *dual-fuel diesel engine*. Gas diesel menggunakan CNG sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar diesel, sehingga tidak ada bahan bakar selain CNG yang digunakan dalam pengoperasian mesin ini. *Dual-fuel diesel engine* merupakan jenis mesin diesel yang memanfaatkan 2 bahan bakar dalam proses pembakarannya, yaitu CNG sebagai bahan bakar utama dan bahan bakar diesel konvensional digunakan sebagai penyala. Hal ini dikarenakan karakteristik CNG yang membutuhkan temperatur lebih tinggi untuk bisa terbakar secara sendiri (*self ignition*).

Dalam tugas akhir ini akan membahas mengenai mesin diesel dengan dua bahan bakar (*dual-fuel diesel engine*). Penggunaan dua bahan bakar dengan karakteristik yang berbeda, komposisi dari kedua bahan bakar dan udara yang diperlukan untuk pembakaran, akan sangat berpengaruh pada kinerja mesin diesel itu sendiri. Dalam hal ini, muncul beberapa permasalahan – permasalahan yang harus dijawab. Dalam hal ini media yang digunakan adalah dengan memanfaatkan *software* untuk mensimulasikan pengaruh pembakaran terhadap mesin diesel. Beberapa permasalahan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh dari variasi komposisi CNG dengan *fuel oil* terhadap reaksi pembakaran di dalam ruang bakar..
2. Berapa kadar CNG dan *diesel fuel* dalam proses pembakaran untuk memperoleh *pressure (kPa)*, and *thermal (K)* yang optimal.
3. Parameter apa saja yang dijadikan masukan ke dalam *software* dan selanjutnya dilakukan simulasi

I. 3. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan Tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh penggunaan CNG (sebagai bahan bakar utama) terhadap kinerja mesin diesel
2. Mendapatkan komposisi *diesel fuel* dan CNG dalam proses pembakaran pada mesin diesel agar dihasilkan *pressure (kPa)*, and *temperature(K)* yang optimum.

II. TINJAUAN PUSTAKA

II. 1. Komposisi *Natural Gas (Gas Alam)*

Secara umum, gas alam (*natural gas*) termasuk dalam ikatan hidrokarbon yang terdiri dari atom karbon dan atom hidrogen. *Natural gas* terdiri dari campuran ikatan hidrokarbon yaitu metana (CH_4) sebagai penyusun utama. Selain itu, komponen lain penyusun *natural gas* adalah etana, propana, butana, nitrogen, dan gas karbon dioksida. Memang tidak ada standar acuan dalam perancangan mesin diesel berbahan bakar CNG, ini terjadi karena komposisi gas alam adalah bervariasi sesuai dengan sumber ladang gasnya. Pada umumnya komposisi maksimum dan minimum dari *natural gas* dapat dilihat pada tabel di bawah ini dalam persentase.

Compound	Typical	Maximum	Minimum
Methane	87.3%	92.8%	79.0%
Ethane	7.1%	10.3%	3.8%
Propane	1.8%	3.3%	0.4%
Butane	0.7%	1.2%	0.1%
Nitrogen	2.2%	8.7%	0.5%
Carbon Dioxide	0.9%	2.5%	0.2%

Tabel. 1. Komposisi gas penyusun *natural gas*

Salah satu persentase komposisi penyusun *natural gas* berdasarkan salah satu sumber yang ditemukan di Malaysia adalah seperti tampak pada tabel di bawah ini

Components	Mole%
Methane	83.44
Ethane	10.55
Propane	1.13
Iso butane	0.13
Normal butane	0.07
Iso pentane	0.01
Normal pentane	-
Hexane	0.01
Carbon dioxide	4.17
Nitrogen	0.31

Tabel 2. Komposisi gas penyusun natural gas di Malaysia

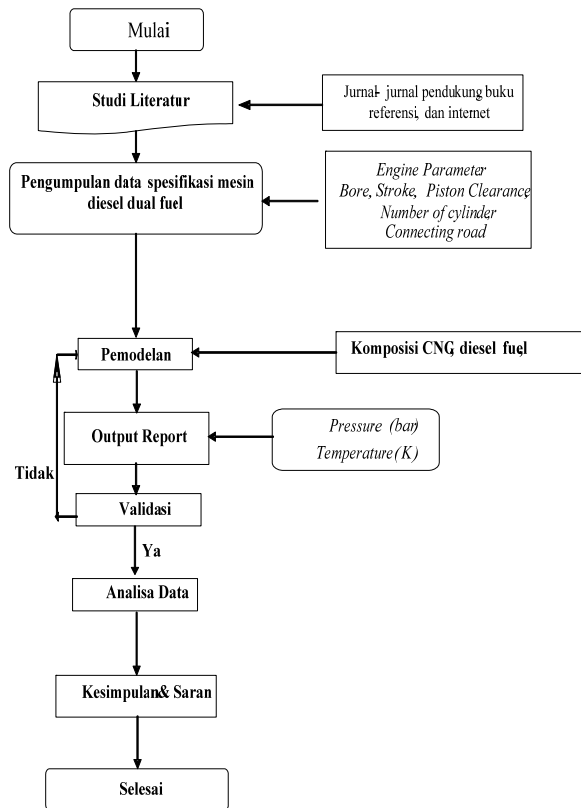
Property	Compressed Natural Gas (CNG)	Conventional Diesel
Chemical Formula	CH ₄	C ₃ to C ₂₅
Molecular Weight	16.04	≈ 200
Composition by weight, %		
Carbon	75	84-87
Hydrogen	25	13-16
Specific Gravity	0.424	0.81-0.89
Density, kg/m ³	128	802-886
Boiling temperature, °C	-31.7	188-343
Freezing point, °C	-182	-40-34.4
Flash point, °C	-184	73
Autoignition temperature, °C	540	316
Flammability limits, % volume		
Lower	5.3	1
Higher	15	6
Specific Heat, J/kg K	-	1800

Tabel B. Perbedaan karakteristik CNG dan diesel fuel

Sangat penting mengetahui komposisi dari gas alam yang akan digunakan dalam percobaan dan analisa, hal ini dikarenakan perbedaan komposisi penyusun akan berbeda juga pada hasil proses pembakaran dalam mesin diesel. Hal ini merupakan masalah bagi *engineer* dalam mendesain sistem bahan bakar untuk *CNG-diesel engine*. Selain itu, variasi dalam komposisi *natural gas* akan menimbulkan kesulitan dalam peningkatan unjuk kerja dan minimalisasi emisi gas buang dari mesin. Semenjak ditemukan bahwa kandungan metana dalam *natural gas* adalah yang terbesar dibanding gas yang lain semisal propana maupun etana, maka karakteristik dari *natural gas* adalah identik dengan metana.

Salah satu karakteristik dari gas alam adalah non-korosif. Karakteristik ini baik untuk mencegah terjadinya oksidasi pada tangki penyimpanan dan menyebabkan pengurangan kontaminasi terhadap gas tersebut. Gas alam memiliki karakteristik yang berbeda dengan bahan bakar konvensional disel. Perbedaan karakteristik tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

III. METODOLOGI



Gbr. 1. Flowchart pengerjaan tugas akhir

IV. ANALISA DAN INTERPRETASI HASIL

Data Mesin

Model : Ricardo Hydra
 Tipe Mesin : *Direct Injection diesel*
 Jumlah Silinder : 1
 Jumlah Katup : 2
Swept Volume : 0.45 liter
Bore : 80.26 mm
Stroke : 88.9 mm
 Rasio kompresi : 20.36 : 1
 Tekanan kerja injektor: 250 bar
 Putaran : 2000 rpm
 Panjang *connecting rod* : 158 mm
Valve Timing : IVO 8 BTDC, IVC 42 ATDC, EVO 60 BBDC, EVC 12 ATDC

IV. 1. Data Bahan Bakar

Selain data tersebut, diperlukan juga data tentang karakteristik bahan bakar yang akan digunakan. Data bahan bakar dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Property	Compressed Natural Gas (CNG)	Conventional Diesel
Chemical Formula	CH ₄	C ₁₂ to C ₂₀
Molecular Weight	16.04	~ 200
Composition by weight, %		
Carbon	75	84-87
Hydrogen	25	13-16
Specific Gravity	0.424	0.81-0.89
Density, kg/m ³	128	802-886
Boiling temperature, °C	-31.7	188-343
Freezing point, °C	-182	-40-34.4
Flash point, °C	-184	73
Autoignition temperature, °C	540	316
Flammability limits, % volume		
Lower	5.3	1
Higher	15	6
Specific Heat, J/kg K	-	1800

Tabel. 4. Tabel data bahan bakar

IV. 2. Perhitungan dan Pemodelan

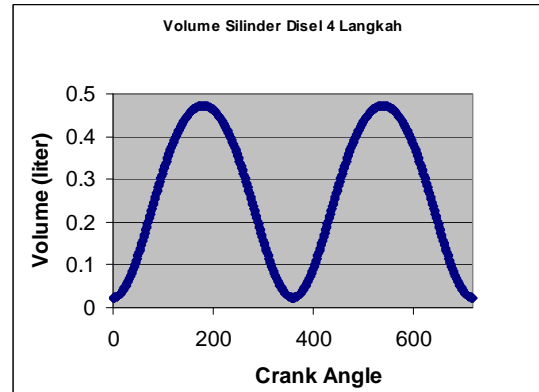
$$V(\varphi) = V_{\min} + \frac{V_{\text{piston}}}{2r} \left[r(1 - \cos \varphi) + l \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2 \sin^2 \varphi} \right) \right]$$

Penjelasan,

- *r* merupakan setengah dari besaran nilai stroke (0.5*H*),
- *l* merupakan panjang dari *connecting rod* mesin
- *V_{min}* merupakan volume *clearence* dari silinder, yaitu volume terkecil dalam silinder, dan terjadi pada saat piston berada pada posisi *Top Dead Centre* (TDC)

- φ merupakan besarnya sudut engkol pada masing-masing posisi piston
- Volume displacement dari piston (*V_{piston}*) merupakan volume berdasarkan nilai bore (*d*) silinder dan *stroke* (*H*), nilai ini didapat dari persamaan berikut

Dari data tersebut dan setelah dilakukan perhitungan, maka diperoleh grafik sebagai berikut



Grafik. 1. Volume silinder berdasarkan besarnya *crank angle*

IV. 2. 1. Perhitungan Tekanan

Untuk mengetahui besarnya tekanan yang terjadi dalam silinder berdasarkan masing-masing posisi piston ketika belum terjadinya pembakaran, didapatkan dari persamaan berikut

$$p = p_0 \times C_r^\gamma$$

Dimana *p* merupakan tekanan dalam silinder sebelum terjadinya pembakaran dalam silinder, *p₀* merupakan tekanan dalam silinder pada saat piston berada pada BDC (*bottom dead centre*) yang pada umumnya bernilai 1 atm, sedangkan *C_r* merupakan nilai dari besarnya rasio kompresi, dan yang terakhir adalah γ merupakan nilai dari *ratio specific heat* fluida yang berada dalam ruang pembakaran yang besarnya 1.3 untuk campuran antara metana dengan udara.

Besarnya rasio kompresi dalam silinder dipengaruhi oleh posisi piston sehingga besarnya rasio kompresi pada setiap posisi piston adalah berbeda. Besarnya nilai rasio kompresi didapat dari persamaan

$$CR = \frac{V_p + V_c}{V_c}$$

Dimana :

V_p = Volume piston, atau *swept volume*

V_c = *Clearance Volume* (volume minimum silinder)

Besarnya CR pada saat piston berada pada *TDC* adalah

$$CR = \frac{450000 + 23220}{23220}$$

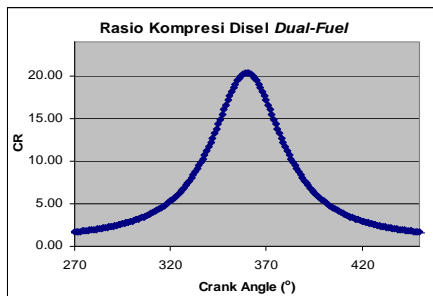
$$= 20.36$$

Sedangkan untuk nilai rasio kompresi pada saat piston berada di posisi *BDC* adalah

$$CR = \frac{450000 + 23220}{473220}$$

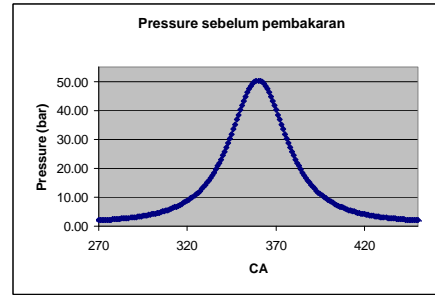
$$= 1$$

Setelah dikalkulasikan berdasarkan persamaan yang ada, maka didapat grafik rasio kompresi seperti berikut :



Grafik. 2. Hubungan *crank angle* dengan *compression ratio*

Perhitungan tekanan di dalam silinder mesin diesel sebelum terjadinya pembakaran sangat diperlukan, hal ini berkaitan dengan pemodelan yang akan dilakukan nantinya. *Pressure* sebelum terjadinya pembakaran merupakan salah satu parameter yang harus dimasukkan dalam proses simulasi dalam FLUENT. Grafik hubungan antara sudut *crank angle* dengan tekanan yang terjadi adalah tampak pada grafik di bawah ini



Grafik. 3. Hubungan *crank angle* dengan tekanan tanpa pembakaran pada ruang bakar diesel

IV. 2. 2. Pemodelan menggunakan FLUENT

Software FLUENT dipilih untuk digunakan dalam penyelesaian pemodelan dengan beberapa pertimbangan berdasarkan kemampuan yang dimilikinya, antara lain :

- Dapat memodelkan aliran 3 dimensi.
- Mesh yang ada yaitu quadrilateral, triangular, heksahedral, tetrahedral, wedge, piramid, dan campuran dari semua jenis mesh.
- Perpindahan kalor, meliputi perpindahan kalor konveksi paksa, konveksi bebas, campuran, konjugasi, dan perpindahan kalor radiasi.
- Pencampuran zat dan reaksi kimia, termasuk model pembakaran homogen dan heterogen, serta model surface deposition.
- Memiliki database dari sifat-sifat material (khususnya bahan bakar).

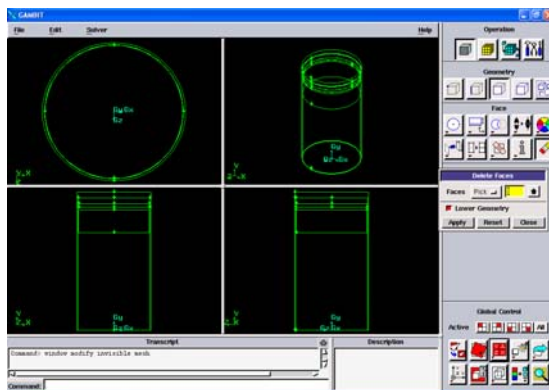
Untuk melakukan pemodelan pada software FLUENT yang nantinya akan dianalisa, maka ada beberapa tahapan dalam langkah-langkah yang harus dilakukan, diantaranya adalah sebagai berikut :

- i. Membuat geometri dan mesh pada model
- ii. Memilih solver yang tepat untuk model tersebut (2D atau 3D)
- iii. Mengimpor mesh model (grid)
- iv. Melakukan pemeriksaan pada mesh model
- v. Memilih formulasi solver
- vi. Memilih persamaan dasar yang akan dipakai dalam analisis, misalnya : laminar, turbulen, reaksi kimia, perpindahan kalor, dan lain-lain

- vii. Menentukan sifat material yang akan dipakai
- viii. Menentukan kondisi batas
- ix. Mengatur parameter kontrol solusi
- x. *Initialize the flow field*
- xi. Melakukan perhitungan/iterasi
- xii. Memeriksa hasil iterasi
- xiii. Menyimpan hasil iterasi
- xiv. Jika diperlukan, memperhalus grid, kemudian dilakukan iterasi ulang untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

IV. 2. 3. Penggambaran menggunakan GAMBIT

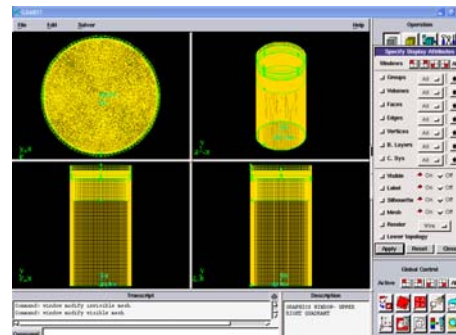
Sebelum melakukan pemodelan, maka harus dilakukan penggambaran terlebih dahulu dari komponen yang akan di modelkan. Terdapat beberapa macam perangkat lunak (software) untuk menggambarkan komponen yang sesuai dan hasilnya dapat disimulasikan menggunakan software FLUENT. Pada tugas akhir kali ini, software yang digunakan untuk menggambar adalah menggunakan GAMBIT (*Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*). Software ini merupakan software yang telah berada satu paket dalam fluent. Dalam hal ini, komponen yang akan di analisa adalah berkaitan dengan ruang pembakaran mesin diesel dengan dimensi sesuai dengan kenyataan. Oleh karena itu, penggambaran dalam bentuk tiga dimensi akan tampak pada proses penggunaan GAMBIT nantinya.



Gbr. 2. Silinder dan ruang bakar diesel pada software gambit

IV. 2. 4. Proses Meshing

Proses meshing merupakan langkah lanjutan yang dilakukan setelah proses penggambaran selesai. Meshing memiliki pengertian bahwa obyek dibagi menjadi bagian-bagian kecil. Ukuran mesh yang terdapat pada suatu obyek akan mempengaruhi ketelitian analisis CFD yang akan dilakukan. Semakin kecil ukuran mesh pada sebuah obyek, maka akan semakin teliti hasil yang didapat, akan tetapi membutuhkan daya komputasi yang lebih besar dan waktu yang lebih lama pada proses berikutnya dibanding ukuran mesh yang lebih besar. Tampak hasil mesh dari benda yang digambar adalah sebagai berikut.



Gbr. 3. Gambar meshing silinder dan ruang bakar diesel

Dari gambar diatas pemberian batasan-batasan (initial value) sebagai berikut:

- Saat terjadinya proses pembakaran, silinder head berfungsi sebagai penahan karena itu parameter yang bekerja adalah wall (sebagai dinding).
- Begitu juga pada silinder liner (dinding silinder), ini berfungsi sebagai penahan tekanan dan temperatur serta yang lainnya. Jadi parameternya sebagai wall (dinding).
- Untuk piston bekerja memberikan tekanan. Pergerakan piston yang naik keatas pada saat kompresi akan menimbulkan tekanan yang besar yang digunakan dalam proses pembakaran. Karena itu, piston sebagai parameter pressure inlet (tekanan masuk).

Langkah selanjutnya, semua yang telah kita tentukan tadi dimasukkan ke dalam software dan disesuaikan dan dicocokkan dengan kondisi software sebelum direaksikan/dijalankan programnya.

Pertama kita klik solve → control → solution.

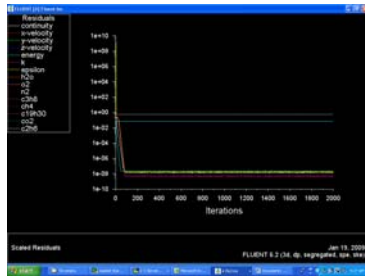
Disini kita menentukan semua berdasarkan keinginan software.

Kedua, klik solve → initialize

Disini semua data-data dimasukkan.

Ketiga, klik solve → monitor → residuals

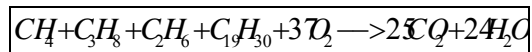
Disini plot kita aktifkan agar hasil literasi tersebut terlihat pada grafik. Sehingga kita mengetahui hasilnya konvergen atau divergen. Jika hasilnya divergen, berarti terdapat kesalahan dalam memasukkan data atau dalam pembatasan pada boundary condition.



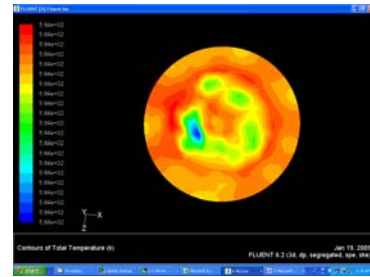
Gbr. 4. Proses Iterasi

IV. 2. 5. Analisa data dari hasil iterasi FLUENT

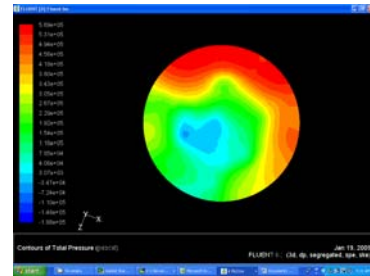
Setelah melakukan Iterasi, yang merupakan cakupan dari keseluruhan proses reaksi yang terjadi, maka didapatkan tampilan kontur dari bidang yang dianalisa. Pemodelan dilakukan dengan memfariasi komposisi bahan bakar yaitu antara massa *compressed natural gas* dengan massa bahan bakar diesel. Adapun reaksi stoikiometrinya adalah sebagai berikut :



Berikut dapat dilihat kontur dari piston setelah dilakukan iterasi pada kondisi crank angle sebesar 360 derajat, atau *Top Dead Centre* dan dengan fariasi komposisi jumlah bahan bakar antara CNG dengan Fuel oil sebesar 95% CNG – 5% Fuel oil.



Gbr. 5. Kontur temperatur hasil reaksi pembakaran dalam ruang bakar dengan komposisi CNG 5% - Fuel oil 95% pada 360° CA



Gbr. 6. Kontur tekanan hasil reaksi pembakaran dalam ruang bakar dengan komposisi CNG 5% - Fuel oil 95% pada 360° CA

Pada tugas akhir kali ini, karakteristik dari natural gas yang digunakan adalah dengan kadar metana (CH₄) sebesar 85%, etana (C₂H₆) 13%, dan propana (C₃H₈) 2%. Sedangkan kadar O₂ adalah 78% dan N₂ sebesar 21%. Fariasi bahan bakar CNG dengan fuel-oil adalah sebagai berikut :

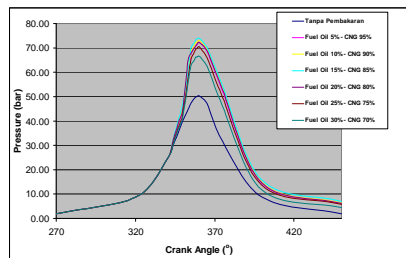
CNG	Fuel-oil
95%	5%
90%	10%
85%	15%
80%	20%
75%	25%
70%	30%

Tabel. 5. Variasi komposisi CNG dengan *fuel oil*

Fariasi ditentukan seperti tercantum pada tabel diatas, hal ini dipilih karena yang akan disimulasikan dan dianalisa merupakan mesin diesel *dual fuel* dengan bahan bakar utama *compressed natural gas* (CNG). Sehingga komposisi bahan bakar yang digunakan adalah lebih banyak pada kadar CNG.

Pada proses iterasi, akan nampak laju dari nilai beberapa faktor hasil dari reaksi

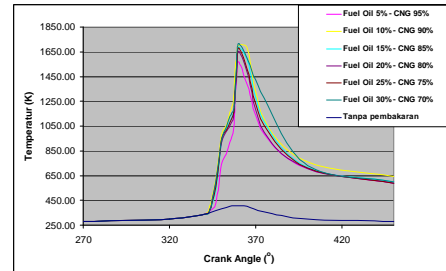
pembakaran. Selain itu, dari proses iterasi ini akan dapat data-data yang diinginkan dan untuk digunakan pada pembahasan selanjutnya. Hal ini diperoleh karena pada proses iterasi berisi informasi mengenai keseluruhan proses yang terjadi pada reaksi di dalam volume yang disimulasikan yaitu di dalam volume ruang bakar. Data dari hasil proses iterasi adalah berupa tampilan kontur dari ruang bakar dan juga data-data berupa tekanan dan temperatur, serta fraksi massa. Berikut tampak hasil dari iterasi dari variasi-fariasi yang digunakan.



Grafik 4. Hubungan tekanan hasil reaksi pembakaran dengan besarnya CA berdasarkan variasi CNG dan *fuel oil*.

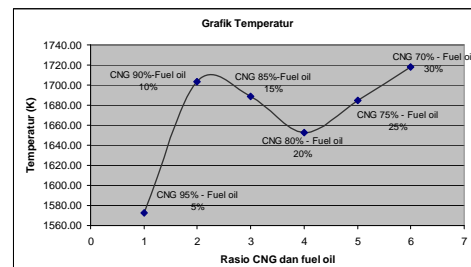
Berdasarkan data pada grafik diatas, menggambarkan bahwa komposisi antara CNG dan *fuel oil* akan mempengaruhi tekanan yang dihasilkan dari pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar. Dari tabel dan grafik itu juga, dapat dilihat bahwa nilai tekanan di dalam ruang bakar yang tertinggi adalah terjadi pada komposisi CNG 85% dan *fuel oil* 15 %. Berikut juga ditunjukkan grafik hubungan antara variasi rasio bahan bakar dengan temperatur tertinggi dari masing-masing variasi.

Selain itu, variasi dari komposisi antara *Compressed Natural Gas (CNG)* akan berpengaruh terhadap temperatur yang ada di dalam ruang pembakaran. Berikut merupakan temperatur yang dihasilkan dari reaksi pembakaran di dalam ruang bakar berdasarkan hasil simulasi dari beberapa posisi crank angle dan variasi-fariasi dari komposisi CNG dan *fuel oil* berdasarkan variasi yang telah ditentukan sebelumnya.



Grafik 5. Hubungan temperatur hasil reaksi pembakaran dengan besarnya CA berdasarkan variasi CNG dan *fuel oil*.

Berdasarkan data-data hasil simulasi yang digambarkan pada tabel dan grafik temperatur, dapat dilihat bahwa nilai dari temperatur yang terjadi di dalam ruang bakar, sangat dipengaruhi oleh komposisi dari bahan bakar yang digunakan. Dari data tersebut pula, dapat dilihat bahwa temperatur di dalam ruang bakar yang tertinggi adalah terjadi pada komposisi CNG sebesar 90% dan *fuel oil* sebesar 10%.



Grafik 6. Temperature tertinggi pada variasi yang ditentukan

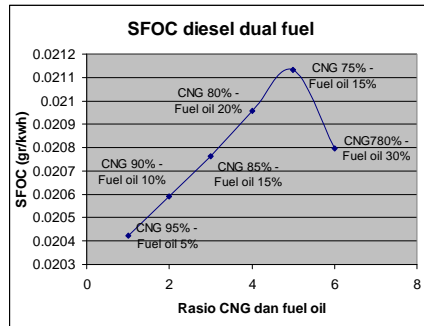
Dari data fraksi massa didapatkan data kebutuhan bahan bakar untuk kebutuhan operasi mesin. Ada dua jenis bahan bakar yang dibutuhkan yaitu CNG dan *fuel oil*. Pada penentuan SFOC (*Specific Fuel Oil Consumption*), diambil data untuk kebutuhan CH_4 pada CNG, hal ini dikarenakan komposisi utama penyusun CNG adalah CH_4 yang mencapai 85%. Data SFOC diambil pada putaran mesin 2000 rpm, dan mesin diasumsikan beroperasi selama 5 jam. Daya mesin adalah 4.22 Kw. Sehingga didapat grafik SFOC sebagai berikut

Komposisi Bahan bakar		massa BB (gram)	SFOC (gram/kw.h)
%CNG	%C19H30		
95	5	0.4309	0.020421801
90	10	0.4345	0.020592417

85	15	0.43811	0.020763507
80	20	0.4422	0.020957346
75	25	0.4459	0.021132701
70	30	0.4388	0.020796209

Tabel 6. Tabel SFOC mesin pada beberapa variasi CNG dengan *fuel oil*

Berdasarkan tabel diatas, dapat dibuat grafik SFOC dari bahan bakar yang digunakan.



Grafik 7. Hubungan SFOC dengan variasi komposisi CNG dengan *fuel oil*

Berdasarkan grafik SFOC diatas, dapat diketahui bahwa dari variasi komposisi bahan bakar yang telah ditentukan, nilai kebutuhan bahan bakar paling minimum adalah pada komposisi CNG sebesar 5% dan fuel oil sebesar 95%. Sedangkan nilai SFOC terbesar adalah pada variasi CNG 75% dan fuel oil 25%. Dari regresi yang diperoleh berdasarkan grafik SFOC, adalah SFOC cenderung mengalami kenaikan pada penambahan kadar *fuel oil*.

V. Kesimpulan dan Saran

V. 1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari semua rangkaian pemodelan dan simulasi yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Didapatkan nilai temperatur, tekanan, dan juga *mass fraction* di dalam ruang pembakaran dengan variasi komposisi bahan bakar antara *diesel-fuel* dan CNG dengan perbandingan massa CNG dan *diesel-fuel* sebesar 95%-5%; 90%-10%; 85%-15%; 80%-20%; 75%-25%; 70%-30%. Adanya penambahan *Fuel oil* ke dalam ruang bakar, mengakibatkan kenaikan nilai

temperatur yang terjadi di dalam ruang bakar.

2. Dari beberapa variasi yang ada, diperoleh nilai tekanan yang terbesar hasil dari pembakaran, dengan komposisi massa CNG sebesar 85% dan *diesel-fuel* 15% dan tekanan yang dihasilkan didalam ruang bakar mencapai 73.93 bar dan temperatur mencapai titik 1058.57 K.
3. Berdasarkan grafik SFOC (*Specific Fuel Oil Consumption*), dapat diketahui bahwa penambahan kadar *fuel oil* ($C_{19}H_{30}$) untuk proses pembakaran akan berakibat terjadinya peningkatan SFOC dari mesin.

V. 2. Saran

- Perlu diadakan kajian lebih dalam lagi mengenai detail input variabel variabel pada simulasi yang sesuai dengan kondisi sebenarnya pada model sehingga didapatkan hasil yang lebih valid dan sesuai dengan data hasil praktikum yang dijadikan acuan penulis
- Terbatasnya fasilitas yang digunakan dalam pelaksanaan simulasi dalam hal ini spesifikasi perangkat komputer yang ada, menyebabkan simulasi tidakbisa maksimal untuk dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Li, LIM Pei, 2004, *The Effect of Compression Ratio on the CNG-Diesel Engine*, University of Southern Queensland, Queensland.
2. Bosch G, Robert, 2004, *Diesel-Engine Management*, 3rd Edition, United Kingdom.
3. Wannatong Krisada, Chancaona, Somchai, *The piston dynamics under knock sitation of diesel dual fuel engine : numerical study*, Department of mechanical engineering, king mongkut's University of technology Thonburi, Bangkok
4. Wannatong Krisada, Chancaona, Somchai, *Combustion and knock*

- Characteristics of natural gas diesel dual fuel engine*, Department of mechanical engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok
5. Boij, Johan 2008, *Engines Types*, Frankfurt
 6. Konig, Johan, *Cylinder-Pressure Based Injector Calibration for Diesel Engine*, Stockholm, Sweden April 2008.
 7. <http://mybroadband.co.za/vb/archive/index.php/t-74438.html>, browse at November 2008.
 8. <http://www.window.state.tx.us/specialrpt/energy/nonrenewable>, browse at November 2008.
 9. http://en.wikipedia.org/wiki/Air-fuel_ratio, browse at November 2008.
 10. www.dpchip.com.au, browse at November 2008.