



SKRIPSI – ME184834

**PEMODELAN ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR ENGINE DUAL
FUEL UNTUK Mencari BATASAN KEKUATAN OPERASIONAL**

Andre Tri Mulyo
NRP 04211745000003

Dosen Pembimbing
Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D
Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



SKRIPSI - ME 184834

**PEMODELAN ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR ENGINE DUAL
FUEL UNTUK Mencari Batasan Kekuatan Operasional**

Andre Tri Mulyo
NRP 04211745000003

Dosen Pembimbing
Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D
Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2019**



BACHELOR THESIS – ME184834

**MODELING STRENGTH ANALYSIS OF ENGINE STRUCTURE DUAL
FUEL TO LOOKING FOR LIMITATION OF STRENGTH**

Andre Tri Mulyo
NRP 04211745000003

Supervisor

Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D
Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil

**DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**Pemodelan Analisis Kekuatan Struktur *Engine Dual Fuel* Untuk Mencari
Batasan Kekuatan Operasional**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi *Marine Machinery and System* (MMS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
ANDRE TRI MULYO
NRP. 0421174500003

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D

Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil



SURABAYA
JULI, 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN**Pemodelan Analisis Kekuatan Struktur *Engine Dual Fuel* Untuk
Mencari Batasan Kekuatan Operasional****TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System (MMS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

ANDRE TRI MULYO
NRP. 0421174500003

Disetujui Oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

SURABAYA
JULI, 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Pemodelan Analisis Kekuatan Struktur *Engine Dual Fuel* Untuk Mencari Batasan Kekuatan Operasional

Nama Mahasiswa : Andre Tri Mulyo
NRP : 0421174500003
Jurusan / Fakultas : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D
2. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil

ABSTRAK

Pembuatan engine kapal modern saat ini mengarah kepada nilai efisiensi yang lebih tinggi serta menekan emisi gas buang lebih rendah. Dengan pemakaian system bahan bakar *dual fuel* nilai efisiensi dan emisi dapat diraih. Perbedaan karakteristik bahan bakar membuat sebuah ruang bakar dan semua komponen didalamnya harus dirancang untuk memenuhi kedua tipe bahan bakar. Ruang bakar harus efektif menerima proses pertukaran energi ketika gas dibakar didalamnya, dan pada saat yang lain harus efektif ketika minyak digunakan didalamnya. Karakteristik yang berbeda dari kedua tipe bahan bakar harus dapat bekerja pada sebuah ruang bakar (*combustion chamber*) yang sama. Maka dari itu struktur engine perlu dilakukan pemodelan dan Analisa kekuatan dengan bahan dan bentuk standard. Seberapa besar titik lemah dari komponen tersebut saat menerima tekanan saat proses pembakaran gas dan minyak terjadi. Pemodelan struktur engine dilakukan berdasarkan analisa struktur dan bentuk (*strength and forms analysis*).

Hasil dari analisa ialah Stress material piston tertinggi terdapat pada diesel 100% di sudut 360^0 dengan nilai stress material 106,88 Mpa dan deformasi sebesar 0,0421 mm. Dengan sudut poros engkol yang sama yaitu 360^0 Stress material terendah terdapat pada CNG 100% dengan nilai stress 96,614 Mpa dan deformasi 0,0381 mm. Semakin besar campuran CNG hingga seluruhnya CNG membuat nilai tegangan material piston semakin turun. Hal ini di karenakan nilai temperature dan tekanan dalam silinder yang ikut menurun. Hal ini di karenakan nilai flash point pada CNG sangat tinggi.

Kata kunci: Dual Fuel, CNG, Diesel, Struktur, Piston, Analisa Kekuatan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Modeling Strength Analysis Of Engine Structure Dual Fuel To Looking For Limitation Of Strength

Name : Andre Tri Mulyo
NRP : 04211745000003
Departement : Departement of Marine Engineering
Supervisors : 1. Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D
2. Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil

ABSTRACT

The making of modern ship engines now leads to higher efficiency values and low emissions of exhaust gases. With the use of a dual fuel fuel system the value of efficiency and emissions can be achieved. The difference in fuel characteristics makes a combustion chamber and all the components inside it must be designed to meet both types of fuel. The combustion chamber must be effective in accepting the energy exchange process when the gas is burned inside, and at other times it must be effective when oil is used in it. The different characteristics of the two types of fuel must work in the same combustion chamber. So from that the engine structure needs to be done modeling and analyzing strength with standard materials and shapes. How big is the weak point of the component when receiving pressure when the gas and oil combustion process occurs. Modeling the engine structure is carried out based on strength and forms analysis.

The result of the analysis is that the highest piston material stress is found in 100% diesel at an angle of 360° with a material stress value of 106.88 Mpa and a deformation of 0.0421 mm. With the same crankshaft angle, namely 360° , the lowest stress material is found on 100% CNG with a stress value of 96.614 MPa and a deformation of 0.0381 mm. The greater the CNG mixture until all CNG makes the piston material voltage value decreases. This is due to the temperature and pressure values in the cylinders that follow. This is because the flash point value on CNG is very high.

Keywords : Dual Fuel, CNG, Diesel, Structure, Piston, Strength Analysis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pemodelan Analisis Kekuatan Struktur Engine Dual Fuel Untuk Mencari Batasan Kekuatan Operasional”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan banyak rasa terimakasih kepada:

1. Allah SWT
2. Orangtua terkasih, Bapak Andi Soegito dan Ibu Imas Sofiati untuk dukungan beliau membuat penulis mampu melewati segala rintangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., MT selaku kepala departemen Teknik sistem perkapalan. Dan juga bapak-bapak dosen yang amat penulis hormati.
4. Bapak Benny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D dan Bapak Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil selaku dosen pembimbing penulis yang senantiasa memotivasi dan mengarahkan alur pengerjaan Tugas Akhir penulis.
5. Bapak Ir. Hari Prastowo, M.Sc. selaku dosen wali.
6. Seluruh mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan Lj 17 Gasal, Lj 17 Genap Salvage'15, Voyage'16 dan Badrikara'17 yang telah memberikan semangat dan support selama perkuliahan.
7. Pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi ilmu yang barokah bagi kita semua dan menjadi pedoman untuk penulisan selanjutnya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB II.....	3
2.1 Mesin Diesel	3
2.2 Compressed Natural Gas	4
2.3 Gas sebagai Bahan Bakar di Kapal.....	5
2.4 Teknologi Dual Fuel Engine.....	5
2.5 Strength Tensile.....	7
2.6 Safety Factor.....	9
2.7 Poisson's Ratio	9
2.8 Strength Analisis Pada Model Struktur Engine	9
2.9 Material	11
BAB III	13
3.1 Studi Literatur.....	14
3.2 Persiapan Alat dan Spesimen.....	14
3.2.1 <i>Persiapan Spesimen</i>	14
3.3 Pengukuran Spesimen.....	15
3.4 Pemodelan	17
3.5 Simulasi.....	19
3.5 Output Report	20
3.6 Validasi.....	21
3.7 Analisa Data	21
3.8 Kesimpulan dan Saran	21
BAB IV	23

4.1	Perhitungan Termodinamika	23
4.1.1	<i>Spesifikasi Mesin</i>	23
4.1.2	<i>State 1 (Intake Stroke)</i>	23
4.1.3	<i>State 2 (Compression)</i>	24
4.1.4	<i>State 3 (expansion)</i>	25
4.1.5	<i>State 4 (Exhaust)</i>	25
4.1.6	<i>Work</i>	25
4.1.7	<i>Mean Efectif Pressure</i>	25
4.2	Perhitungan Power.....	26
4.3	Validasi Perhitungan.....	27
4.4	Simulasi Pengujian	29
4.4.1	<i>Simulasi Pengujian</i>	30
BAB V	.....	43
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	.....	45
Lampiran	.....	47
BIODATA PENULIS	.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Mesin Diesel	3
Gambar 2.2	Siklus Diesel 4 Langkah.....	3
Gambar 2.3	Perbandingan Karakteristik beberapa tipe Bahan Bakar di Kapal	5
Gambar 2.4	Prinsip operasional CNG dan Diesel Fuel.....	6
Gambar 2.5	Model High Pressure direct injection system (kiri), Model Hot Surface assisted Compression Ignition (kanan)	6
Gambar 2.6	Kurva ($F-\Delta\lambda$) hasil uji tarik	7
Gambar 2.7	Komponen Piston dan Pendukungnya.....	10
Gambar 2.8	Struktur Piston	10
Gambar 3.1	Flow Chart	14
Gambar 3.2	Mesin Untuk Spesimen.....	15
Gambar 3.3	Proses pengambilan data Lapangan.....	15
Gambar 3.4	Proses pengambilan data Piston	16
Gambar 3.5	Vernier caliper	16
Gambar 3.6	Spring caliper.....	16
Gambar 3.7	Pengambilan Ukuran Piston	17
Gambar 3.8	Isometris Piston Pada Simulasi.....	18
Gambar 3.9	Potongan Piston Pada Simulasi	18
Gambar 3.10	Gambar atas piston pada simulasi	18
Gambar 3.11	FEM Stress von mises Piston	19
Gambar 3.12	FEM Displacement Piston	20
Gambar 3.13	FEM Safety Factor Piston.....	20
Gambar 4.1	Nilai regangan yang sejajar (Axial) dengan gaya.....	28
Gambar 4.2	Niai regangan yang melintang (Lateral) dengan gaya	29
Gambar 4.3	Simulasi Poisson ratio	29
Gambar 4.4	Simulasi Crank Angle 270 Diesel 100%	30
Gambar 4.5	Simulasi Crank Angle 360 Diesel 100%	30
Gambar 4.6	Simulasi Crank Angle 450 Diesel 100%	30
Gambar 4.7	Simulasi Crank Angle 270 CNG 100%	31
Gambar 4.8	Simulasi Crank Angle 360 CNG 100% data	31
Gambar 4.9	Simulasi Crank Angle 450 DCNG 100%	31
Gambar 4.10	Simulasi Crank Angle 270 CNG 25% Diesel 75%	32
Gambar 4.11	Simulasi Crank Angle 360 CNG 25% Diesel 75%	32
Gambar 4.12	Simulasi Crank Angle 450 CNG 25% Diesel 75%	32
Gambar 4.13	Simulasi Crank Angle 270 CNG 50% Diesel 50%	33
Gambar 4.14	Simulasi Crank Angle 360 CNG 50% Diesel 50%	33
Gambar 4.15	Simulasi Crank Angle 450 CNG 50% Diesel 50%	33
Gambar 4.16	Simulasi Crank Angle 270 CNG 75% Diesel 25%	34
Gambar 4.17	Simulasi Crank Angle 360 CNG 75% Diesel 25%	34
Gambar 4.18	Simulasi Crank Angle 450 CNG 75% Diesel 25%	34
Gambar 4.19	Titik Stress Material piston 1.....	35
Gambar 4.20	Titik Stress Material piston 1.....	35
Gambar 4.21	Grafik Tekanan Pembakaran CNG 25%	36
Gambar 4.22	Grafik Tekanan Pembakaran CNG 50%	36

Gambar 4.23 Grafik Tekanan Pembakaran CNG 75%	37
Gambar 4.24 Grafik Tekanan Pembakaran CNG 100%	37
Gambar 4.25 Grafik Tekanan Pembakaran Diesel 100%	37
Gambar 4.26 Deformasi Material Piston.....	41
Gambar 4.27 Stress Material Piston.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Karakter Bahan Bakar.....	4
Tabel 1.2	Elemen Pada AlSi Alloys	11
Tabel 1.3	Material Properti.....	12
Tabel 4.1	<i>Thermodynamic Properties of Air</i>	24
Tabel 4.2	Hasil interpolasi dari table A-1	24
Tabel 4.3	Hasil Perhitungan Validasi Power Mesin	27
Tabel 4.4	Tabel Temperatur Dalam Satu Siklus Setiap Tipe Bahan Bakar	38
Tabel 4.5	Tabel Tekanan Silinder Sebagai Input Tekanan	39
Tabel 4.6	Tabel Stres dan Deformasi Diesel 100%	40
Tabel 4.7	Tabel Stres dan Deformasi CNG 100%	40
Tabel 4.8	Tabel Stres dan Deformasi CNG 75% dan 25%	40
Tabel 4.9	Tabel Stres dan Deformasi CNG 50% dan 50%	41
Tabel 4.10	Tabel Stres dan Deformasi CNG 25% dan 75%	41

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isu tentang pencemaran laut khususnya yang diakibatkan oleh beroperasinya mesin-mesin di dalam kapal telah menjadi perhatian utama dunia mengingat produksi-nya telah mencapai tingkatan yang membahayakan manusia (Wei,2016). Secara umum memang polusi dari sumber-sumber transportasi laut bukan yang dominan secara global, namun untuk mengimbangi peningkatan dari semua sektor industri baik di darat maupun di laut, maka berbagai Regulasi mengatur dengan sangat ketat terhadap batas ambang emisi yang diijinkan untuk kapal.

Perkembangan teknologi modern untuk motor bakar terutama sebagai sistem penggerak kapal berkembang ke dua arah prioritas, yaitu pertama, menghasilkan power sebesar mungkin pada konsumsi bahan bakar seminimal mungkin, yang kemudian disebut dengan efisiensi, dan yang kedua adalah menurunkan tingkat emisi gas buang. Namun keduanya tidak mudah untuk dilaksanakan, karena secara alami jika efisiensi ditingkatkan maka emisi akan ikut meningkat, dan sebaliknya jika emisi gas buang diturunkan maka efisiensi mesin akan ikut turun. Inovasi dan penelitian modern pada akhirnya menetapkan strategi dengan menyusun konsep teknologi dimana emisi gas buang diturunkan semaksimal mungkin dengan kompensasi agar penurunan efisiensi motor yang sekecil mungkin. Teknologi disiasati dengan dua teknik umum, yaitu berdasarkan metode primer yang terkait dengan proses pembakaran, dan yang kedua adalah metode sekunder dengan memasang peralatan penurun emisi gas buang. Metode Primer berdampak langsung terhadap efisiensi overall dari motor bakar. Metode sekunder meskipun tidak berdampak langsung terhadap proses pembakaran namun perlu perencanaan yang cermat agar terjadinya pressure drop di manifold buang sampai ke *tail pipe* tidak menyebabkan kerugian pada sistem pembakaran.

Ruang bakar (*Combustion Chamber*) pada motor diesel didesain sedemikian rupa untuk menghadapi ledakan pembakaran dari campuran bahan bakar dengan udara pembakaran sesuai dengan rasio AF (Air-Fuel) tertentu. Semakin tinggi hasil energi pembakaran yang dicapai maka semakin kuat material yang harus dipakai. Proses dari energi *balance* yang memungkinkan komponen-komponen terkait dengan ruang bakar dapat dirancang sesuai pada proses *heat transfer* dan *heat release* yang terjadi. Dapat dipastikan jika ledakan pembakaran di Combustion chamber meningkat, maka semua komponen yang bersentuhan akan menerima beban panas yang semakin besar. Piston Crown, valve, ring piston, liner cylinder ialah komponen yang mendapat konsentrasi temperatur dan tekanan tinggi. Proses analisis kekuatan sangat penting untuk mengevaluasi kondisi kerja setiap komponen yang nanti menjadi penentu dalam perawatan dan modifikasi.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana Pengaruh variasi pembakaran terhadap tekanan pembakaran?
2. Seberapakah batas kekuatan material piston terhadap operasi mesin *dual fuel*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih fokus, yaitu :

1. Tidak membuat model matematika untuk *In-Cylinder Combustion Process*.
2. Input data untuk *combustion pressure & temperature* dihasilkan dari perhitungan manual Data-data tersebut akan digunakan sebagai input secara statis yang bekerja pada struktur engine.
3. Model matematika dari kompoen engine dibuat secara graphical dengan bantuan software Solidworks.
4. Model memiliki dimensi tertentu yang sesuai kondisi fisik engine yang diteliti. Dengan demikian hasil penelitian ini secara spesifik berlaku untuk model yang terbatas sesuai dengan prototype yang digunakan sebagai bahan utama penelitian.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui variasi pembakaran terhadap tekanan pembakaran
2. Mengetahui batas kekuatan material piston terhadap operasi mesin dual fuel.

1.5 Manfaat

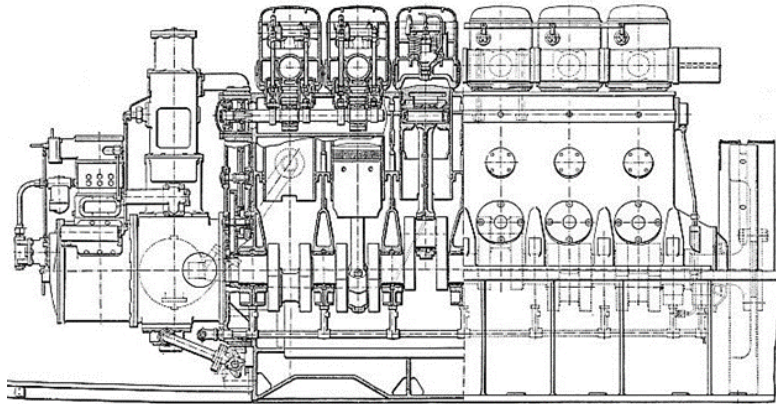
Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan hasil analisa dari kekuatan material dan fenomena dari dampak perubahan variasi bahan bakar terhadap tingkat stress material piston.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

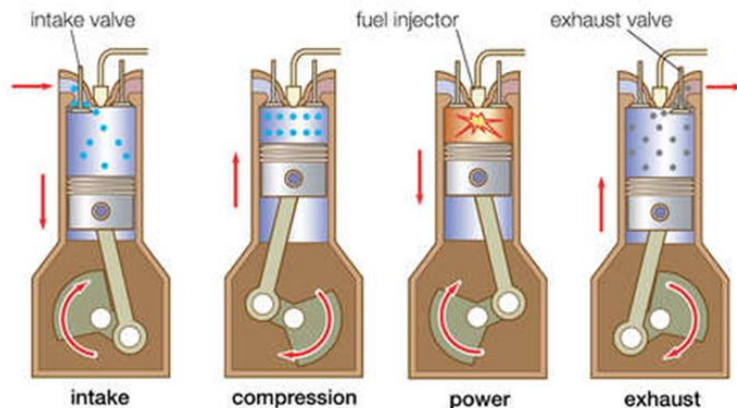
2.1 Mesin Diesel

Motor bakar diesel atau biasa disebut juga dengan Compression Ignition Engine adalah motor bakar pembakaran dalam yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan penyalakan dan membakar bahan bakar yang telah diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Lebih spesifik lagi, sebuah mesin pemacu kompresi, dimana bahan bakar dinyalakan oleh suhu tinggi gas yang dikompresi dan bukan oleh alat berenergi lain (seperti busi). Mesin diesel pada kendaraan darat sering digunakan pada kendaraan yang mempunyai kapasitas beban muat dan juga tenaga yang besar (contoh ; Truk, tronton, bus, kereta api dan kendaraan besar lainnya) hal ini dikarenakan mesin diesel cocok untuk penggunaan jarak jauh, pemakaian lama (Efisien dengan temperatur mesin tinggi) dan tenaga serta torsi tinggi untuk beban muat besar.



Gambar 2.1 Struktur Mesin Diesel

Pada umumnya mesin diesel memiliki struktur yang lebih kokoh dari mesin bensin, dikarenakan tekanan kompresi yang dihasilkan mesin diesel lebih tinggi dari mesin bensin. Maka dengan kapasitas yang sama maka mesin diesel lebih berat dari mesin bensin.



Gambar 2.2 Siklus Diesel 4 Langkah

Tahap 1

Pada tahap satu, piston bergerak dari TMA ke TMB. Posisi katup masuk terbuka, sedangkan katup keluar tertutup. Akibatnya udara atau gas terhisap masuk menuju ke dalam silinder. Proses dimana udara atau gas sebelum masuk menuju ke ruang bakar dapat dilihat dan diamati pada sistem pemasukkan.

Tahap 2

Pada tahap dua, piston bergerak dari TMB ke TMA. Di tahap ini, posisi katup masuk dan keluar sama-sama tertutup. Akibatnya udara atau gas dalam ruang bakar menjadi terkompresi. Sebelum piston sampai pada posisi TMA, waktu penyalaan terjadi (penyuntikan atau penyemprotan bahan bakar pada mesin diesel).

Tahap 3

Pada tahap yang ke-3 ini, bahan bakar meledak dalam ruang bakar akan memberikan tekanan yang tinggi dalam ruang bakar, sehingga mengakibatkan piston terdorong dari TMA menuju ke TMB. Dalam tahap atau proses yang ketiga inilah mesin akan menghasilkan tenaga yang diperlukan untuk proses selanjutnya.

Tahap 4

Pada tahap yang terakhir atau tahap keempat, piston bergerak dari TMB menuju ke TMA. Pada tahap ini, posisi katup masuk tertutup, sedangkan katup keluar terbuka. Akibatnya sisa gas pembakaran terdorong menuju ke katup keluar yang sedang terbuka untuk diteruskan menuju ke lubang pembuangan.

2.2 Compressed Natural Gas

Compressed Natural Gas (CNG) adalah bahan bakar gas yang berasal dari gas alam (*natural gas*) yang dimampatkan atau dibuat dengan melakukan kompresi metana (CH_4) yang diekstrak dari gas alam. CNG merupakan bahan bakar alternatif selain bensin dan solar (BBM) yang dianggap bersih dan diharapkan menghasilkan emisi yang rendah.

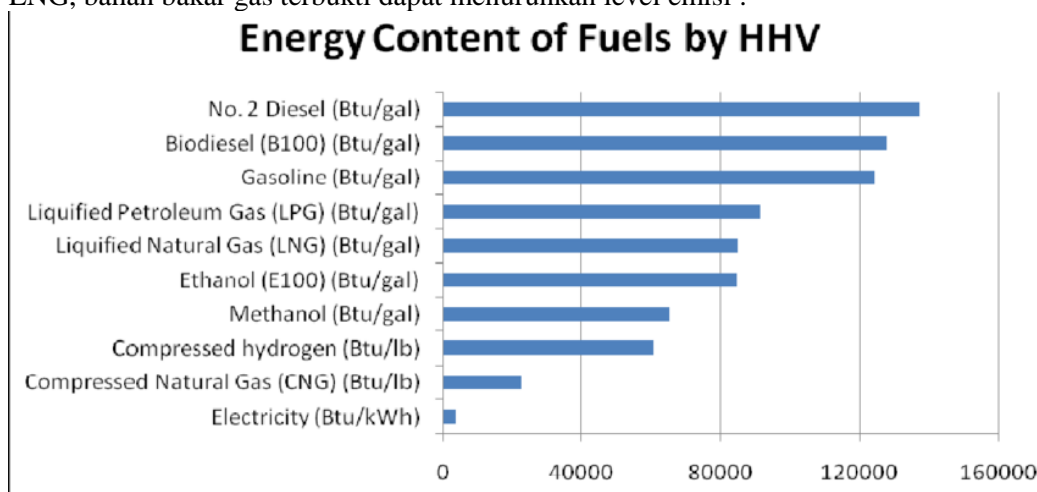
CNG dibandingkan dengan LNG dan LPG CNG kadang-kadang dianggap sama dengan LNG. Walaupun keduanya sama-sama gas alam, perbedaan utamanya adalah CNG adalah gas terkompresi sedangkan LNG adalah gas dalam bentuk cair. CNG secara ekonomis lebih murah dalam produksi dan penyimpanan dibandingkan LNG yang membutuhkan pendinginan dan tangki kriogenik yang mahal. Akan tetapi CNG membutuhkan tempat penyimpanan yang lebih besar untuk sejumlah massa gas alam yang sama serta perlu tekanan yang sangat tinggi. Oleh karena itu pemasaran CNG lebih ekonomis untuk lokasi-lokasi yang dekat dengan sumber gas alam.

Tabel 1.1 Karakter Bahan Bakar

	KARAKTERISTIK	BBM		BBG		
		(HSD)	(MDO)	LNG	CNG	
1	Chemical Formula	$\text{C}_8 \sim \text{C}_{25}$	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}$	CH_4	CH_4	
2	Liquid Density	kg/m ³	840	880	426	554
3	Gas Density at 25°C	kg/m ³	-	-	0.656	-
4	Specific Gravity (Air=1)		0.86 ~ 0.89		0.554	0.610
5	Flash Point	°C	74	64	-187	-184
6	Auto Ignition Temperature	°C	316	220	540	540
7	Limits of Flammability	%	0.6 ~ 6	0.5 ~ 5	5.3 ~ 14	4.3 ~ 15
8	Nilai Kalor (LHV)	Kcal/kg	10.277	9800	11.950	11.267
9	Nilai Kalor (HHV)	Kcal/kg	11.233	10.075	13.272	12.482

2.3 Gas sebagai Bahan Bakar di Kapal

CNG harus disimpan dalam silinder tekanan tinggi (untuk 3600psi tekanan operasi) dan LNG harus disimpan dalam silinder cryogenic (ke -260 F -200F) Silinder ini memakan lebih banyak tempat dari pada bensin atau yang menyimpan lebih banyak bahan bakar dan menggunakan ruang pada kendaraan tangki CNG biasanya terletak di kendaraan atau pickup mengurangi ruang yang tersedia untuk kargo lainnya Masalah ini dapat diatasi dengan menginstal tangki pada bawah badan kendaraan. Bahan bakar Gas untuk aplikasi di kapal dapat berupa CNG (Compressed Natural Gas) ataupun LNG (Liquid Natural Gas). Gas dalam bentuk CNG dapat digunakan sebagai bahan bakar motor pembakaran dalam baik dari tipe Spark Ignition (SI) engine maupun Compression Ignition (CI) engine. CNG memiliki karakteristik *high-autoignition* temperatur, sehingga jika digunakan secara langsung pada CI-engine konvensional maka bahan bakar gas tersebut tidak akan meledak. Peneliti lainnya fokus pada kemampuan motor yang menggunakan CNG pada mode lean-burn (Li,2015) yang menjadi standard kerja pada CI-engine. Dalam bentuk CNG maupun LNG, bahan bakar gas terbukti dapat menurunkan level emisi .



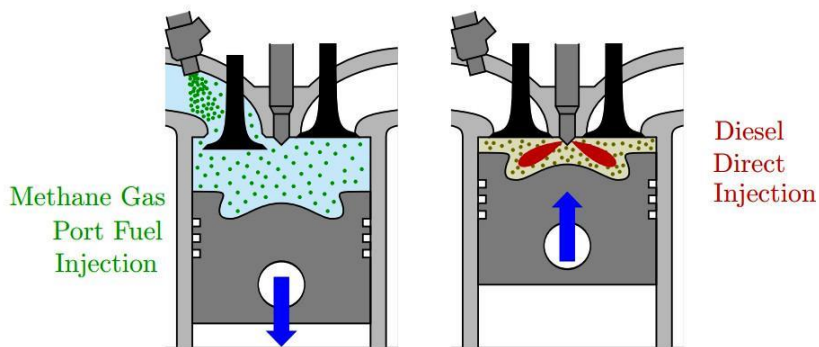
Gambar 2.3 Perbandingan Karakteristik beberapa tipe Bahan Bakar di Kapal

2.4 Teknologi Dual Fuel Engine

Dual Fuel berkembang lebih cepat dibandingkan dengan teknologi lain untuk pemanfaatan gas sebagai bahan bakar di kapal. Teknologi lain yang terbukti handal dan bekerja sempurna di sektor industri dan transportasi di darat belum tentu memadai ketika dipakai di kapal (Marques,2017). Penggunaan di kapal (*marine use*) menuntut spesifikasi khusus dari teknologi pembakaran gas yang mana hal ini terkait dengan pola operasi kapal serta durability didalam menghadapi load yang dinamis, standard safety yang lebih ketat, dan availability yang lebih tinggi mengingat kapal beroperasi di zona yang relative jauh dari fasilitas perbaikan di darat.

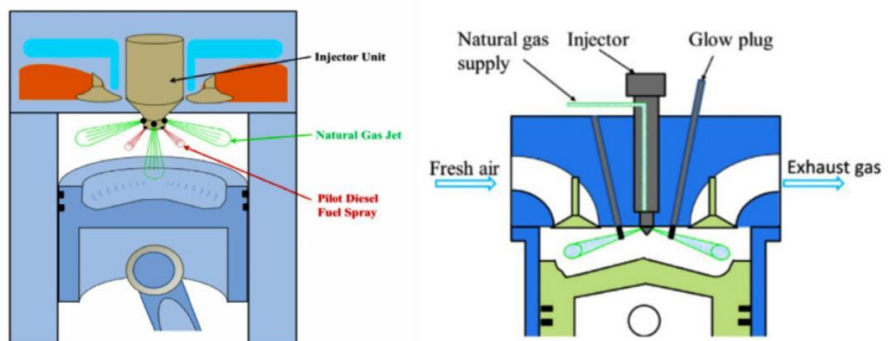
Engine dengan DF mode dapat beroperasi dengan Air-Fuel (AF) equivalence ratio yang hampir konstan pada nilai dari 2,1 hingga 2,3 (*Theotokatos,2016*). Yang merupakan nilai yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan AF equivalence ratio pada Diesel mode terkait untuk upaya mendapatkan rate aliran udara yang lebih tinggi. Percobaan Theotokatos pada DF mode menunjukkan penurunan emisi CO₂ hingga 25% dan emisi NO_x hingga 85% sehingga motor dapat comply dengan TIER III (*Theotokatos,2016*).

Tipikal prinsip kerja dari Dual Fuel Diesel Engine ditunjukkan pada Gambar 2.1. dibawah ini. Gas methane yang ada pada bahan bakar CNG ataupun LNG tidak dapat dinyalakan langsung oleh tekanan didalam silinder. Sejumlah kecil bahan bakar minyak diinjeksikan secara langsung (*Direct Injection*) ke ruang pembakaran sebagai pilot burner (*Hutter,2017*).



Gambar 2.4 Prinsip operasional CNG dan Diesel Fuel

Dari model konvensional diatas, DF diesel engine dikembangkan menjadi berbagai alternatif yang dapat dirangkul sebagai berikut.

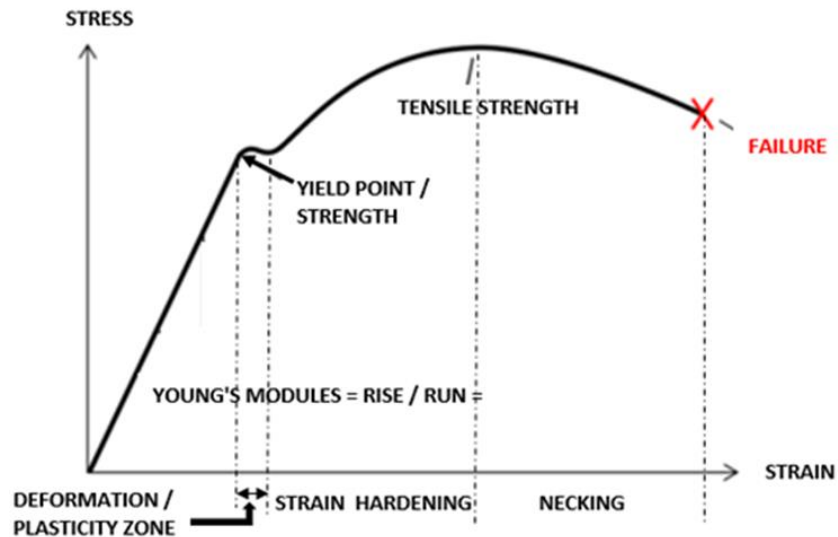


Gambar 2.5 Model High Pressure direct injection system (kiri), Model Hot Surface assisted Compression Ignition (kanan)

Capaian teknologi mode DF pada Brake Thermal Efficiency (BTE) menunjukkan nilai yang lebih rendah pada beban rendah dan menengah, sementara pada kondisi beban engine yang tinggi hasilnya adalah sama atau sedikit lebih tinggi hingga 3% (Wei,2016) jika dibandingkan pada mode diesel. BTE merupakan prosentase antara brake power dengan energy bahan bakar yang digunakan oleh engine, atau dengan kata lain seberapa efisien energy input dikonversikan menjadi energy output berguna.

2.5 Strength Tensile

Kekuatan tarik merupakan sifat mekanik yang penting, terutama untuk perencanaan konstruksi maupun perencanaan logam. Kekuatan suatu bahan dapat diketahui dengan melakukan uji tarik pada bahan yang bersangkutan. Dari pengujian tarik tersebut dapat pula diketahui sifat-sifat antara lain: kekuatan mulur (yield strength), panjang (elongation), reduksi penampang (reduction area), modulus elastisitas (modulus young) dan ketangguhan (tougness).



Gambar 2.6 Kurva ($F-\Delta l$) hasil uji tarik

Dari gambar 2.6 A terlihat bahwa untuk baja karbon rendah pada saat penarikan sampai beban F_p , penambahan panjang yang terjadi sebanding dengan beban yang dikenakan. jika benda uji ditarik oleh kekuatan yang tidak melebihi batas ini maka benda uji tersebut akan mengalami deformasi elastis, yang berarti benda tersebut akan kembali ke panjang semula setelah tegangan dihilangkan. Jika tegangan yang diberikan lebih besar maka benda tersebut akan mengalami deformasi plastis.

Tegangan yang diberikan pada saat spesimen menerima beban F_p tersebut berdasarkan luas penampang semula adalah:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A_0} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

Dimana: σ : tegangan (N/m^2)

F : gayayang bekerja (N)

A : luas bidang (m^2)

Pertambahan panjang tanpa adanya pertambahan beban yang berarti, posisi ini dinamakan saat luluh atau yield point. Beban maksimum dimana spesimen bertahan tanpa patah disebut beban pada tegangan maksimum. sampai dengan tegangan maksimum, deformasi terjadi secara homogen sepanjang spesimen. Setelah mencapai tegangan maksimum, pada logam yang ulet akan terjadi pengecilan penampang setempat (*necking*), dimana pertambahan panjang lokal terjadi dibarengi dengan penurunan beban/tegangan. Selanjutnya spesimen akan patah dibawah posisi maksimum. pada logam getas, titik F akan patah pada saat beban maksimum.

Tegangan normal terbagi menjadi dua macam, yaitu tegangan tarik dan tegangan tekan. Tegangan tarik adalah tegangan normal yang menghasilkan suatu tarikan (*tension*) pada permukaan suatu benda, sehingga menimbulkan tegangan pada benda. Sedangkan tegangan tekan adalah tegangan normal yang menghasilkan suatu dorongan (*compression*) pada permukaan benda yang mendapat tegangan.

Regangan dinyatakan sebagai pertambahan panjang per satuan panjang. Tegangan pada suatu titik dihitung setelah regangan diukur. Hukum Hooke menyatakan bahwa dalam batas-batas tertentu, tegangan pada suatu bahan adalah berbanding lurus dengan regangan. Dimana semakin besar tegangan yang didapat maka besar regangannya.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Dimana : ε : regangan

δ : pertambahan panjang total (m)

L : panjang mula – mula (m)

Hubungan tegangan dan regangan dapat ditulis sebagai:

$$\sigma = E.\varepsilon$$

Dimana : σ : tegangan normal (N/m^2)

E : modulus elastisitas (N/m^2)

ε : regangan

2.6 Safety Factor

Faktor keamanan atau *Safety Factor (SF)* adalah suatu hal yang sangat penting dalam analisis dan perencanaan struktur secara keseluruhan. Permasalahan ini sudah menjadi subyek penelitian dan telah banyak dibicarakan di kalangan insinyur sipil, khususnya di bidang rekayasa struktur. Faktor keamanan elemen dan sistem struktur sangat tergantung pada ketahanan struktur.

Metode tegangan kerja atau sering disebut juga dengan metode tegangan ijin, hal ini dikarenakan penggunaan tegangan ijin yang merupakan tegangan leleh (runtuh) bahan dibagi dengan angka tertentu yang disebut dengan faktor keamanan (*SF*).

$$n = \frac{S}{\sigma}$$

Keterangan :

n = keamanan

S = *strength* (kekuatan) (N/m^2)

σ = tegangan (N/m^2)

2.7 Poisson's Ratio

Kekakuan juga dapat dinyatakan dengan Poissons ratio. Bila batang uji ditarik secara uniaxial ke arah memanjang maka disamping akan terjadi regangan ke arah memanjang sebesar x , juga akan mengalami regangan ke arah melintang yaitu sebesar y . Poisson's ratio didefinisikan sebagai perbandingan antara regangan kearah melintang dengan regangan ke arah memanjang, pada tegangan yang masih dalam batas elastik. Harga negatif diberikan karena regangan ke arah melintang mempunyai harga negatif, sedangkan kearah memanjang mempunyai harga positif. Harga ν untuk logam biasanya berkisar antara 0,25 dan 0,35. Makin besar harga ν suatu logam maka logam itu makin kurang kaku.

$$\text{Poisson's ratio} = \frac{\text{Lateral strain}}{\text{Longitudinal strain}}$$

$$\mu = \frac{\text{Lateral strain}}{\text{Longitudinal strain}}$$

2.8 Strength Analisis Pada Model Struktur Engine

Sebuah engine ialah tesusun dari beberapa komponen dan menjadi satu sistem. Bekerja merubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas dan di transfer menjadi energi mekanis. Satu per satu komponen pada engine di perhitungkan sesuai lokasi dan gerak. Dalam engine dibagi menjadi moving part, structural part, sistem part.

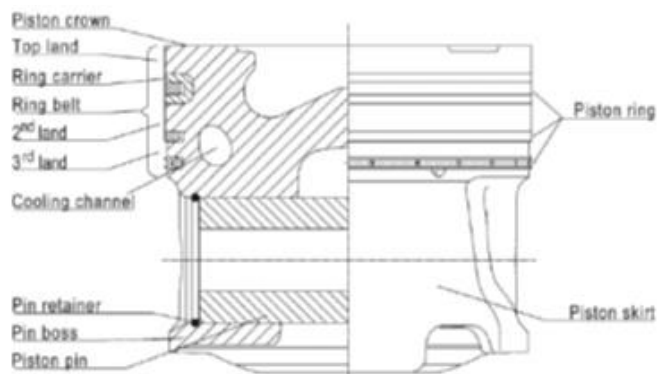
Moving part ialah komponen yang bergerak seperti piston, connecting rod, crankshaft, camshaft, valve. Structural part ialah komponen yang menopang moving part seperti head cylinder, block cylinder, liner cylinder, bearing jurnal. Lalu untuk sistem part ialah pendukung sistem bahan bakar, input dan output.

Perubahan terhadap proses kimia dari campuran bahan bakar dan gas mengakibatkan pengaruh besar terhadap kondisi engine itu sendiri, mulai dari kondisi fisik dan kimia. Dengan data yang sudah diperoleh didapat HHV dan LHV serta flash point bahan bakar gas yang lebih kecil mengakibatkan tekanan dan taring pembakaran dalam engine berubah. Kondisi inilah yang menjadi permasalahan bagi mesin gas yang ada saat ini. Kekuatan komponen yang kurang mampu mengimbangi kondisi pembakaran yang baru.



Gambar 2.7 Komponen Piston dan Pendukungnya

Fokus pada materi ini ialah struktur pada bagian struktur komponen piston dengan ukuran standart. Akan dilakukan analisis terhadap kekuatan material berdasarkan tekanan dan temperatur kerja saat mesin disuplai dual fuel.



Gambar 2.8 Struktur Piston

Saat proses pembakaran terjadi adalah proses yang cepat dan kompleks. Tetapi dalam analisis ini dilakukan dalam kondisi steady state (tetap). Diambil temperatur dan tekanan yang paling optimal dari proses kerja engine dan digunakan sebagai masukan utama dalam analisis ini. Setelah itu digunakan sebagai turunan yang bertujuan mendapat nilai kekuatan material pada struktur engine.

2.9 Material

Penggunaan almunium sebagai sebagai logam murni, karena sifat almunium memiliki sifat ringan dan sifat-sifat mekanisnya dan dapat mampu ditambah dengan unsur-unsur lain. Material Piston Paduan Al-Si. Paduan ini ditemukan oleh A.Pacz tahun 1921. Dimana paduan ini telah diperlakukan panas dinamakan silumin.sifat-sifat silumin sangat diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit diperbaiki oleh paduan.pada umumnya dipakai dengan 0.15%-0.4% Mn dan 0.5% Mg. Paduan yang diberikan perlakuan pelarutan (solution heat treatment), queching dan aging dinamakan silumin b. Paduan AL-Si yang memerlukan perlakuan panas ditambah dengan Mg juga Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat panas.Bahan padua ini dipakai untuk torak motor.

Tabel 1.2 Elemen Pada AlSi Alloys

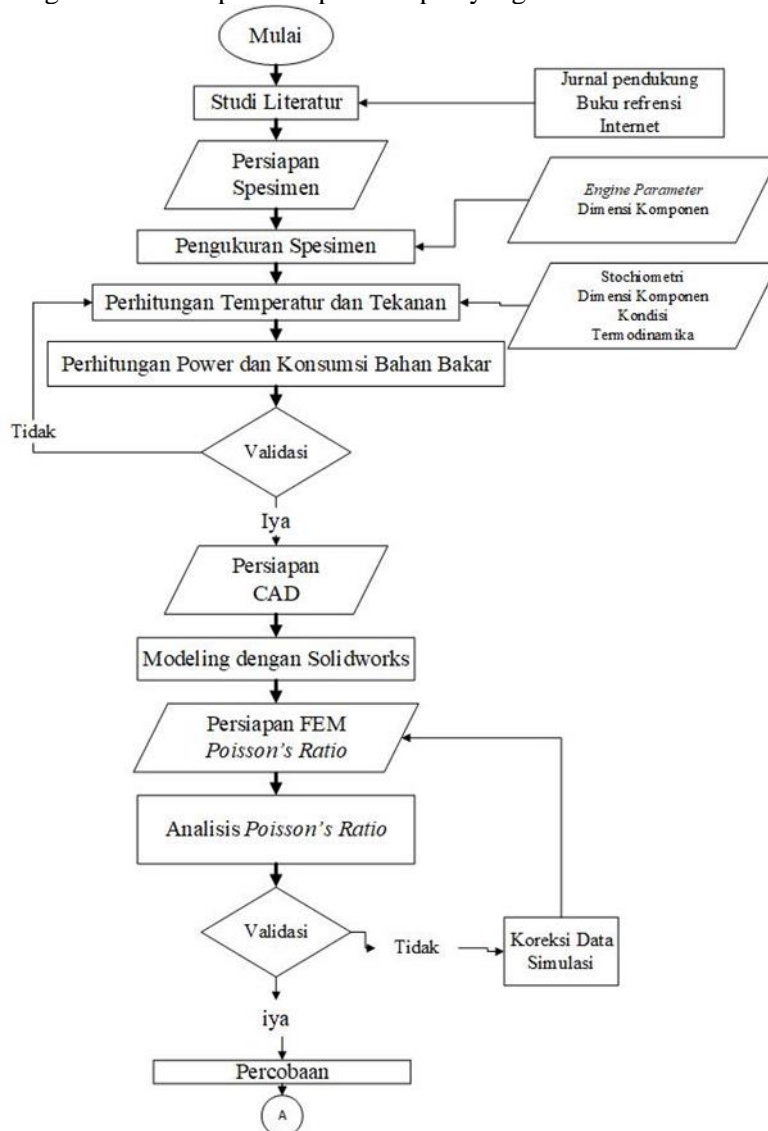
Alloying elements %	AlSi alloys			
	Eutectic		Hypereutectic	
	AlSi 12 CuMgNi	AlSi 12 Cu4Ni2Mg	AlSi 18 CuMgNi	AlSi 25 CuMgNi
Si	11...13	11...13	17...19	23...26
Cu	0.8...1.5	3...5	0.8...1.5	0.8...1.5
Mg	0.8...1.3	0.5...1.2	0.8...1.3	0.8...1.3
Ni	0.8...1.3	1...3	0.8...1.3	0.8...1.3
Fe	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7	≤ 0.7
Mn	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.2	≤ 0.2
Ti	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.2	≤ 0.2
Zn	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.3	≤ 0.3

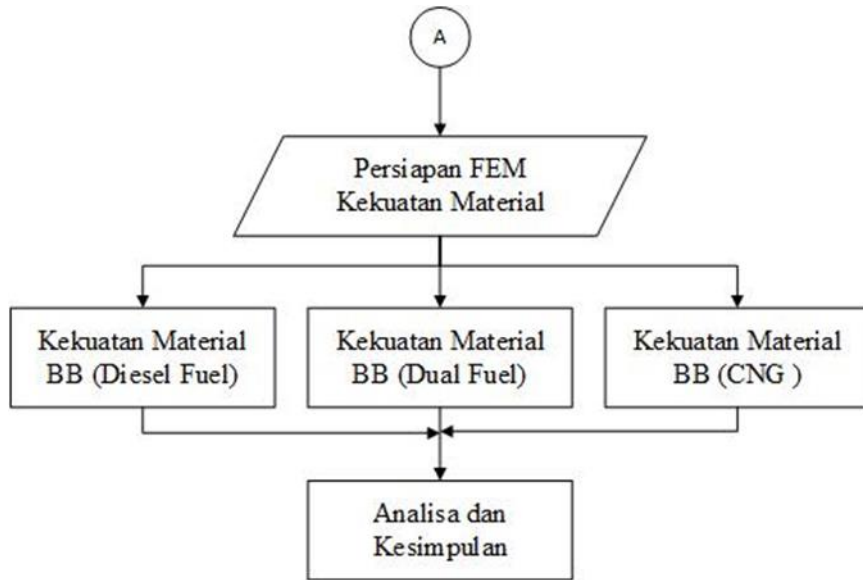
Tabel 1.3 Material Properti

Parameter		Eutectic		Hypereutectic	
		"AlSi 12 CuNiMg forged"	AlSi 12 Cu4Ni2Mg permanent moldcasting	AlSi 18 CuNiMg prmanent mold casting	AlSi 25 CuNiMg forged
Tensile strength Rm N/mm2	20 °C	300..	200... 280	180..	230..
	50 °C	.370	180... 240	.220	.300
	250 °C	250..	100... 120	170..	210...260
	350 °C	.300	45... 65	.210	100..
		80.. .140 50.. .100		100.. .140 60...80	.160 60...80
Yield limit Rp 0.2 N/mm2	20 °C	280..	190...260	170..	220..
	150 °C	.340	170... 220	.210	.260
	250 °C	220..	80... 110	150..	200..
	350 °C	.280	35... 60	.190	.250
		60.. .120 30...70		100.. .140 20...40	80...120 30...40
Elongati on at fracture A %	20 °C	1...3	<1	0.2...1.0	0.5...1.5
	150 °C	2.5..	<1	0.3...1.2	1...2
	250 °C	.4.5	1.5...2	1.0...2.2	3...5
	350 °C	10...20	7...9	5...7	10...15
		30...35			
Fatigue strength (rotating bending fatigue) sbw N/mm2	20 °C	110..	100...110	80...110	90...120
	150 °C	.140	80...90	60...90	70...110
	250 °C	90..	50...55	40...60	50...70
	350 °C	.120	35...40	15...30	20...30
		45...55 30...40			
Young's modulus E N/mm2	20 °C	80,000	84,000	83,000	84,000
	150 °C	77,000	79,000	79,000	79,000
	250 °C	72,000	75,000	75,000	76,000
	350 °C	69,000	70,000	70,500	70,000
Thermal conducti vity λ W/(mK)	20 °C	158	125	143	157
	150 °C	162	130	147	160
	250 °C	166	135	150	163
	350 °C	168	140	156	-
Mean linear thermal expansio n 20... 200 °C (1/K)x10 -6		20.6	20.0	19.9	20.3
Density ρ (g/cm3)		2.68	2.77	2.68	2.68
Relative wear		1	0.8	0.8	0.9
Brinell hardness HB 2.5/62.5			90...125		

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Selama melaksanakan kegiatan penelitian, dapat dibagi menjadi beberapa tahapan yang merupakan strategi untuk mengatur waktu dan kebutuhan sarana dan prasarana kegiatan ini. Adapun tahapan-tahapan yang direncanakan adalah meliputi



Gambar 3.1 *Flow Chart*

3.1 *Studi Literatur*

Studi literatur meliputi pengumpulan sumber-sumber referensi dan data yang dijadikan sebagai acuan untuk pembuatan spesimen, pelaksanaan proses pengelasan, pengujian, dan penyelesaian laporan tugas akhir dan spesimen. laporan penelitian, beberapa referensi yang berhubungan dengan obyek yang akan dibahas serta sumber-sumber lainnya

3.2 *Persiapan Alat dan Spesimen*

Dalam melakukan penelitian ini dibutuhkan material dan peralatan- peralatan yang mendukung untuk terlaksananya proses penelitian, mulai dari persiapan mesin, data tertulis (spesifikasi) mesin, alat ukur dan aplikasi menggambar. Material dan peralatan yang perlu dipersiapkan antara lain:

3.2.1 *Persiapan Spesimen*

Dasar mesin yang digunakan ialah mesin Yanmar TF 85. Sebuah mesin diesell 1 silinder dengan tipe pendinginan Hopper. Komponen yang digunakan untuk penelitian ialah piston, ring piston dan pen. Dalam pengerjaan juga di bantu katalog BPR (Buku pedoman reparasi) sehingga dalam pengambilan data mesin dapat lebih detail. Sebagai contoh didalam BPR terdapat ketentuan penting seperti celah ring piston, sehingga dalam proses penggambaran dan simulasi dapat dikerjakan mendekati kondisi nyatanya.



Gambar 3.2. Mesin Untuk Spesimen

3.3 Pengukuran Spesimen

Dalam proses pengambilan ukuran spesimen piston dan beberapa part untuk data pendukung untuk pemodelan maka dibutuhkan alat ukur yang memadai. Digunakanlah Vernier caliper dan spring caliper. Vernier caliper untuk mengukur bagian diameter, kedalaman dan diameter dalam. Lalu untuk spring caliper ialah bertugas untuk mengukur diameter dalam yang kondisinya tidak dapat terjangkau oleh Vernier caliper. Selain itu untuk pengambilan data sebagai judul pendukung tugas ahir ini menggunakan beberapa alat ukur dial dan fuller gauge.



Gambar 3.3. Proses pengambilan data Lapangan



Gambar 3.4. Proses pengambilan data Piston



Gambar 3.5. Vernier caliper



Gambar 3.6. Spring caliper



Gambar 3.7. Pengambilan Ukuran Piston

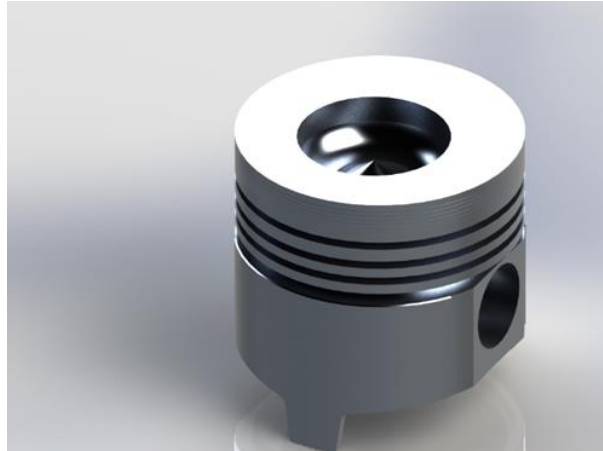
3.4 Pemodelan

Struktur dan bentuk standard-nya yang diberikan oleh Maker akan menjadi baseline profil engine yang akan diuji. Pemodelan engine struktur sesuai ukuran asli tanpa modifikasi dan dilakukan pengujian sebagai kajian kekuatan material.

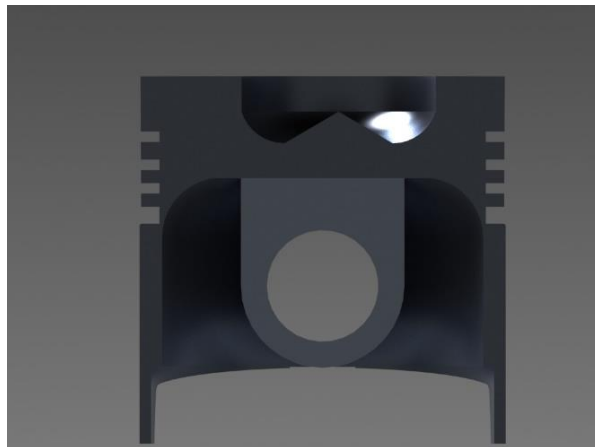
Finite Element Method (FEM) atau biasanya disebut *Finite Element Analysis* (FEA), adalah prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa (*engineering*), seperti analisa tegangan pada struktur, frekuensi pribadi dan *mode shape*-nya, perpindahan *panas*, *elektromagnetis*, dan *aliran fluida*.

Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*.

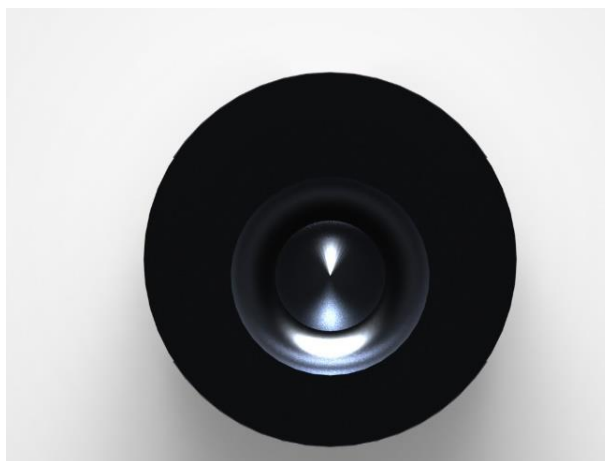
Komponen yang akan dilakukan pemodelan dalam penelitian ini ialah piston. Pemodelan menggunakan *software* solidworks dan ukuran spesimen sesuai ukuran asli dari mesin diesel Yanmar TF 85.



Gambar 3.8 Isometris Piston Pada Simulasi



Gambar 3.9. Potongan Piston Pada Simulasi



Gambar 3.10. Gambar atas piston pada simulasi

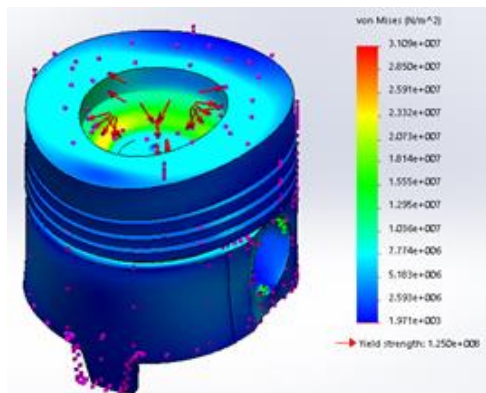
Pengujian utama dari penelitian ini adalah terhadap kekuatan material dan struktur ketika terjadi potensi beban gaya dan beban thermal yang melebihi standard yang ada. Pemodelan secara numerik dilakukan dengan tujuan sebagai berikut.

- Mendapatkan data numerik yang lebih luas dan lengkap terhadap struktur material dan bentuk
- Mendapatkan visualisasi yang mendetail dari truktur engine.
- Mendapatkan data-data input untuk pelaksanaan pengujian virtual maupun fisik.
- Mendapatkan model yang memiliki struktur aman terhadap pembebanan yang akan dilaksanakan pada berbagai modifikasi virtual sehingga mencegah terjadinya kecelakaan kerja ataupun kerusakan prototype pada saat pelaksanaan pengujian fisik.

3.5 Simulasi

Pada model numerik struktur engine yang telah valid sebagaimana tahapan diatas, maka selanjutnya akan disimulasikan untuk menguji beberapa kondisi beban kerja (*load*), displacement, *safety factor* dan beban panas (*thermal stress*) hingga maksimum yang mampu diterima oleh struktur. Variasi parameter yang akan di simulasikan secara eksplisit berupa data-data input dari *temperature* dan *pressure* yang mungkin terjadi didalam ruang bakar (*combustion chamber*) berdasarkan tekanan pembakaran dalam silinder.

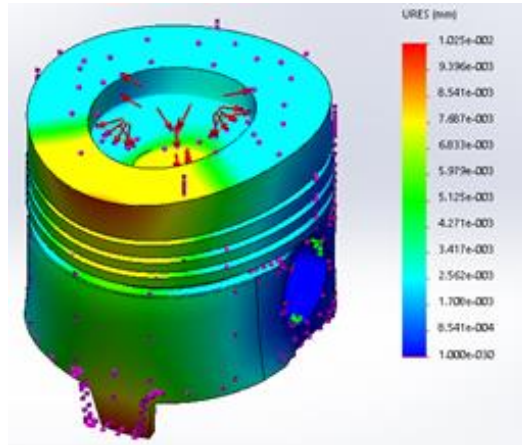
Pada proses simulasi, pemetaan kondisi sangatlah krusial. Penempatan gaya dan temperatur yang mempengaruhi kondisi bahan yang diuji serta besar nilai yang diberikan.



Gambar 3.11 FEM Stress von mises Piston

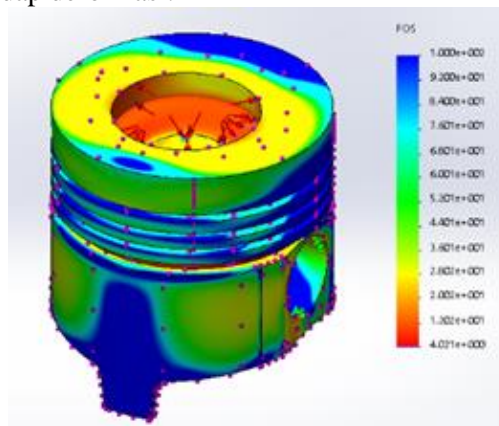
Von mises menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana invariant kedua deviator dengan tegangan J_2 melampaui harga kritis tertentu. Dengan kata lain luluh akan terjadi pada saat energi regangan dari materian mencapai nilai kritis tertentu. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa energi regangan total per unit volume yang terlibat di dalam perubahan bentuk.

$$J_2 = K^2$$



Gambar 3.12 FEM Displacement Piston

Nilai displacement menerangkan bahwa deformasi dari komponen yang diberi pengaruh beban tertentu. Semakin besar beban maka deformasi komponen tersebut akan semakin besar. Dengan FEM akan diketahui besaran titik mana deformasi tersebut terjadi, besar kecil perubahan dapat diketahui. Selain dari bahan titik tumpuan juga berpengaruh terhadap deformasi.



Gambar 3.13 FEM Safety Factor Piston

Faktor keamanan ialah factor utama yang digunakan dalam menentukan kualitas suatu komponen. Nilai factor keamanan minimal kurang dari 1. Maka komponen tersebut memiliki kualitas yang jelek. Jika aman digunakan komponen tersebut memiliki nilai lebih dari 1.

3.5 Output Report

Output report merupakan hasil dari analisa berbagai variasi Diesel fuel-CNG yang telah disimulasikan yang berupa *stress Material* piston.

3.6 Validasi

Validasi merupakan langkah untuk memastikan bahwa data yang diambil sudah sesuai parameter yang diujikan.

3.7 Analisa Data

Analisa data bertujuan untuk menganalisa data yang telah diolah sehingga layak untuk disajikan.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran diambil berdasarkan proses pengujian yang telah dilakukan dan dijelaskan inti dari penelitian ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 *Perhitungan Termodinamika*

Perhitungan termodinamika bertujuan sebagai acuan untuk menentukan berapa *pressure* dan *temperature* maksimal dari campuran bahan bakar dan udara sehingga dapat terjadi pembakaran yang optimal. *Pressure* dan *temperature* yang optimal tersebut digunakan sebagai acuan dalam simulasi untuk menentukan kombinasi bahan bakar yang sesuai. Dalam materi ini perhitungan yang digunakan ialah bahan bakar diesel, CNG dan kombinasinya.

4.1.1 Spesifikasi Mesin

Mesin yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Yanmar TF 85 MH dengan pendingin tipe Hopper. Berikut adalah data utama mesin untuk perhitungan termodinamika :

Bore	= 85 mm
Stroke	= 87 mm
CR	= 18 :1
VL	$= \frac{Bore^2 \times Stroke \times 0,785}{1000} = 493,431374 \text{ cc}$
VC	$= \frac{VL}{CR-1} = 29,05375 \text{ cc}$
Timing Injection	= 18 BTDC
T in	= 60 °C
P in	= 0,98 atm
Eksponen polytropis	= 1,35
Residual Air Process	= 2,78%
AFR	= 18 : 1
Fuel Energy (Solar)	= 42500 kJ/Kg

4.1.2 State 1 (Intake Stroke)

Kondisi ketika mesin melakukan langkah intake :

$$T_1 = 60^\circ C + 273,15 = 333,15 \text{ K}$$

$$P_1 = 0,98 \text{ atm} \times 101,325 = 99,2985 \text{ kPa}$$

$$V_1 = \frac{(493,431375 + 29,025375)}{100000} = 0,00522457 \text{ m}^3$$

Massa dari campuran udara dan bahan bakar :

$$Mm = \frac{P_1 V_1}{RT_1} = 0,00542589 \text{ kg}$$

Massa Fuel yang diinjeksikan

$$mf = mm \times (100\% - 2,78\%) \times \left(\frac{1}{AFR + 1} \right) \\ = 0,00028 \text{ kg}$$

4.1.3 State 2 (Compression)

Kondisi ketika mesin melakukan langkah kompresi :

$$P_2 = P_1 (CR)^k = 4915,4193 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 (CR)^{k-1} = 916,1892 \text{ K} = 643,0309 \text{ }^\circ\text{C}$$

$V_2 = mRT_2/P_2 = 0,00029025 \text{ m}^3$ (sama dengan VC, karena pada saat kondisi top kompresi.

$$Q_{in} = mf \cdot Q_{hv} = 0,000308 \times 42500 = 11,799 \text{ kJ}$$

Tabel 4.1. *Thermodynamic Properties of Air*

TABLE A-1 THERMODYNAMIC PROPERTIES OF AIR

Temperature		c_p	c_v	$k = c_p/c_v$	Gas Constant
K	$^\circ\text{C}$	(kJ/kg-K)	(kJ/kg-K)		$R = c_p - c_v$ (kJ/kg-K)
273	0	1.004	0.717	1.40	0.287
298	25	1.005	0.718	1.40	0.287
300	27	1.005	0.718	1.40	0.287
500	227	1.029	0.742	1.39	0.287
850	577	1.108	0.821	1.35	0.287
1000	727	1.140	0.853	1.34	0.287
1500	1227	1.210	0.923	1.31	0.287
2000	1727	1.249	0.962	1.30	0.287
2500	2227	1.274	0.987	1.29	0.287
3000	2727	1.291	1.004	1.29	0.287

Tabel 4.2 Hasil interpolasi dari table A-1

$C_v T_2$ 916,19

Temp	C_v
850	0,821
1000	0,852
915.15	0,835

Mm.cv (T3-T2)

$$\begin{aligned} \text{Step 1} &= mm \times cv \\ &= 0,00542589 \times 0,835 = 000453 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Step 2} &= Q_{in}/T_2 \\ &= \left(\frac{11,799}{916,189} \right) \times 1000 \\ &= 12,8788 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Step 3} &= \frac{\text{Step 2}}{\text{Step 1}} \\ &= 2842,21 \text{ K} \end{aligned}$$

$$T_3 = 2569,06 \text{ }^\circ\text{C}$$

4.1.4 State 3 (*expansion*)

Konsisi ketika mesin melakukan langkah usaha atau power :

$$P_3 = P_2 = 4915,5193 \text{ kPa}$$

$$V_3 = \frac{MRT_3}{P_3} = \frac{0,00542589 \times 0,287 \times 2842,21}{4915,5193}$$

$$V_3 = 0,00080043 \text{ m}^3$$

4.1.5 State 4 (*Exhaust*)

Konsisi ketika mesin melakukan langkah pembuangan sisa pembakaran :

$$V_4 = V_1 = 0,00522457 \text{ m}^3$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}$$

$$T_4 = 1536,01803 \text{ K}$$

$$T_4 = 1262,86803^\circ \text{C}$$

$$P_4 = P_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^k = 457,824662 \text{ kPa}$$

Dari 4 langkah perhitungan, didapatkan *Pressure max.* dan *Temperature max.*, yaitu :

$$P_{\max} = P_3 \times 0,00986923$$

$$= 4195,5193 \text{ kPa} \times 0,00986923$$

$$= 48,5114 \text{ Atm}$$

$$T_{\max} = T_3$$

$$= 2569,0633^\circ \text{C}$$

4.1.6 Work

$$W_{2-3} = P(V_3 - V_2)$$

$$= 2,994 \text{ kJ}$$

$$W_{3-4} = \frac{mR(T_4 - T_3)}{1-k}$$

$$= 5,811 \text{ kJ}$$

$$W_{1-2} = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-k}$$

$$= -2,594 \text{ kJ}$$

$$W_{\text{net}} = 6,216 \text{ kJ}$$

4.1.7 Mean Effectif Pressure

$$\eta_t \text{ indicate} = W_{\text{net}}/Q_{\text{in}}$$

$$= 6,226 / 11,799$$

$$= 53\%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cut Off Ratio} &= \left(\frac{V_3}{V_2}\right) \\
 &= \left(\frac{0,00090043}{0,000290254}\right) \\
 &= 3,1022 \\
 \eta_t &= \eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \frac{(\beta^{\gamma}-1)}{y(\beta-1)} \\
 &= 94 \% \\
 \text{T exhaust} &= T_{ex} = T_4 \left(\frac{P_{ex}}{P_4}\right)^{(k-1)/k} \\
 &= 666,419 \text{ K} \\
 &= 393,26 \text{ C} \\
 \text{Exhaust Residual} &= X_r = \left(\frac{1}{R_c}\right) \left(\frac{T_4}{T_{ex}}\right) \left(\frac{P_{ex}}{P_4}\right) \\
 &= 2,78\% \\
 \text{Suhu udara masuk} &= X_m 1 = (X_r T_{ex}) + (1 - X_r) T_a \\
 &= 313,7 \text{ Kelvin} \\
 &= 40,52 \text{ Celcius} \\
 \text{Efisiensi Volumetris} &= \eta_v = \frac{m_a}{\rho_a V_d} \\
 &= 88\% \\
 \text{Mean Efectif Pressure} &= P_m = \frac{P_1 r^{\gamma-1} (\beta^{\gamma}-1)}{(\gamma-1)(r-1)} \eta \gamma (\beta-1) \\
 &= 21,697 \text{ atm}
 \end{aligned}$$

4.2 Perhitungan Power

Dengan dasar nilai termodinamika mesin yang sudah didapat seperti nilai tekanan MEP, tekanan tertinggi dan temperatur kerja dapat dimasukkan sebagai variabel menghitung power dan beberapa turunannya sebagai dasar validasi perhitngan kinerja *engine*.

$$N = a \left(\frac{\pi}{4} \frac{D^2 \times P_m \times L \times n \times Z}{100 \times 60 \times 75} \right)$$

N = Tenaga

D = Diameter Silinder

Pm = MEP (*Mean Efectif Pressure*)

L = Langkah Piston

n = Putaran motor per menit

Z = Jumlah Silinder

a = Indikasi Putaran *crankshaft* (4 langkah = 2)

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Validasi Power Mesin

Bore (mm)	Stoke (m)	Tekanan Ekspansi (Kg/cm ²)	RPM	Jumlah Silinder	Indikasi Putaran CRSFT	Volume Langkah	IHP(IMEP)	EHP(FMEP)	BHP(BMEP)	Torsi Nm	BSFC(gm/kW-hr)
85	87	21,7	100	1	2	493,4314	1,1883997	0,800981416	0,387418311	46,00283991	3873,65967
85	87	21,7	200	1	2	493,4314	2,3767995	1,601962833	0,774836622	92,00567981	1936,829835
85	87	21,7	300	1	2	493,4314	3,5651992	2,402944249	1,162254933	138,0085197	1291,21989
85	87	21,7	400	1	2	493,4314	4,7535989	3,203925665	1,549673245	184,0113596	968,4149176
85	87	21,7	500	1	2	493,4314	5,9419986	4,004907081	1,937091556	230,0141995	774,7319341
85	87	21,7	600	1	2	493,4314	7,1303984	4,805888498	2,324509867	276,0170394	645,6099451
85	87	21,7	700	1	2	493,4314	8,3187981	5,606869914	2,711928178	322,0198793	553,3799529
85	87	21,7	800	1	2	493,4314	9,5071978	6,40785133	3,099346489	368,0227193	484,2074588
85	87	21,7	900	1	2	493,4314	10,695598	7,208832746	3,4867648	414,0255592	430,40663
85	87	21,7	1000	1	2	493,4314	11,883997	8,009814163	3,874183111	460,0283991	387,365967
85	87	21,7	1100	1	2	493,4314	13,072397	8,810795579	4,261601422	506,031239	352,1508791
85	87	21,7	1200	1	2	493,4314	14,260797	9,611776995	4,649019734	552,0340789	322,8049725
85	87	21,7	1300	1	2	493,4314	15,449196	10,41275841	5,036438045	598,0369188	297,9738208
85	87	21,7	1400	1	2	493,4314	16,637596	11,21373983	5,423856356	644,0397587	276,6899765
85	87	21,7	1500	1	2	493,4314	17,825996	12,01472124	5,811274667	690,0425986	258,243978
85	87	21,7	1600	1	2	493,4314	19,014396	12,81570266	6,198692978	736,0454385	242,1037294
85	87	21,7	1700	1	2	493,4314	20,202795	13,61668408	6,586111289	782,0482784	227,8623336
85	87	21,7	1800	1	2	493,4314	21,391195	14,41766549	6,9735296	828,0511183	215,203315
85	87	21,7	1900	1	2	493,4314	22,579595	15,21864691	7,360947912	874,0539582	203,8768248
85	87	21,7	2000	1	2	493,4314	23,767995	16,01962833	7,748366223	920,0567981	193,6829835
85	87	21,7	2100	1	2	493,4314	24,956394	16,82060974	8,135784534	966,059638	184,4599843
85	87	21,7	2200	1	2	493,4314	26,144794	17,62159116	8,523202845	1012,062478	176,0754396
85	87	21,7	2300	1	2	493,4314	27,333194	18,42257257	8,910621156	1058,065318	168,4199857
85	87	21,7	2400	1	2	493,4314	28,521593	19,22355399	9,298039467	1104,068158	161,4024863
85	87	21,7	2500	1	2	493,4314	29,709993	20,02453541	9,685457778	1150,070998	154,9463868
85	87	21,7	2600	1	2	493,4314	30,898393	20,82551682	10,07287609	1196,073838	148,9869104
85	87	21,7	2700	1	2	493,4314	32,086793	21,62649824	10,4602944	1242,076677	143,4688767
85	87	21,7	2800	1	2	493,4314	33,275192	22,42747966	10,84771271	1288,079517	138,3449882
85	87	21,7	2900	1	2	493,4314	34,463592	23,22846107	11,23513102	1334,082357	133,5744714
85	87	21,7	3000	1	2	493,4314	35,651992	24,02944249	11,62254933	1380,085197	129,121989

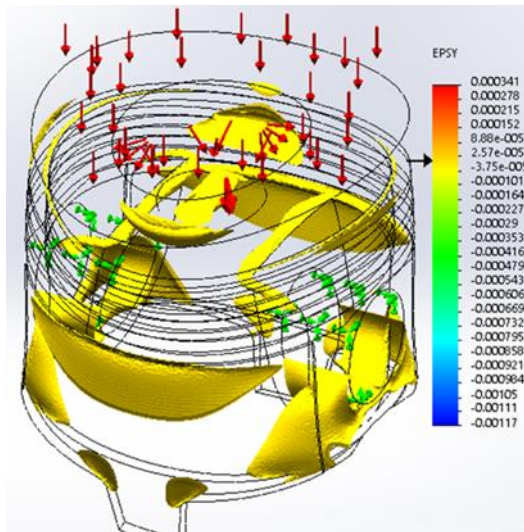
4.3 Validasi Perhitungan

Hasil perhitungan di lakukan validasi dengan cara memeriksa hasil perhitungan dengan hasil simulasi. Kondisi spesimen dengan bahan tertentu yang diberi beban tertentu akan memiliki kekuatan tegangan tersendiri. Nilai tegangan atau kekuatan menahan beban itu yang akan di koreksi dengan karakter logam yang digunakan sebagai bahan material.

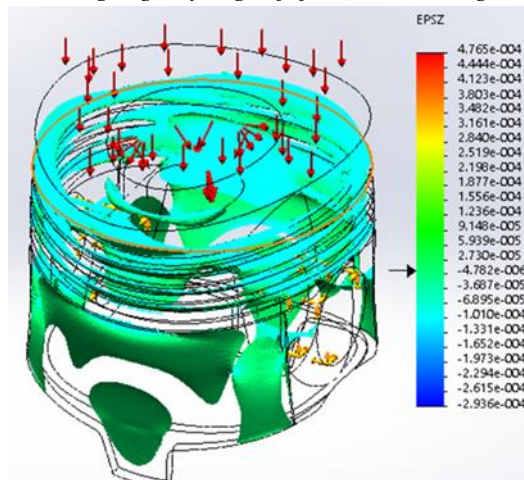
Material Piston	: Aluminium Alloy 5052-H38
Modulus elastis	: 70000000000 N/m ²
Poisson's Ratio	: 0.33
Shear Modulus	: 25900000000 N/m ²
Densitas	: 2680 kg/m ³
Tensile Strength	: 290000000 N/m ²
Yield Strenght	: 255000000 N/m ²
Thermal Conductivity	: 137 W(m.k)
Masukan simulasi:	
Tekanan tertinggi	: 48,51140358 Atm
Temperatur Tertinggi	: 2566,27 C ⁰

Konsidi yang diambil ialah saat kondisi top kompresi dan kalor bahan bakar dimasukkan kedalam mesin untuk proses ekspansi. Pemakaian bahan bakar untuk validasi ini ialah *diesel fuel*. Untuk nilai validasi yang diperhatikan dalam materi ini ialah *Poisson's Ratio*.

Pada gambar dibawah menjelaskan posisi dan kondisi nilai strain (regangan) pada sumbu sejajar dengan gaya dan melintang dengan gaya. Pengambilan data ialah dengan mencari permukaan dengan nilai yang memiliki luasan yang paling besar. Tekanan tertinggi ialah hasil dari perhitungan termodinamika kerja mesin dengan bahan bakar standar digunakan diesel fuel untuk keperluan validasi.



Gambar 4.1 Nilai regangan yang sejajar (Axial) dengan gaya



Gambar 4.2 Nilai regangan yang melintang (Lateral) dengan gaya

$$\begin{aligned}\text{Axial Strain} &= 0,0000145 \\ \text{Lateral Strain} &= -0,00000478\end{aligned}$$

$$V = - \frac{\text{Strain in direction of load}}{\text{Strain at right angle to load}}$$

$$V = - \frac{\mathcal{E}_{lateral}}{\mathcal{E}_{axial}}$$

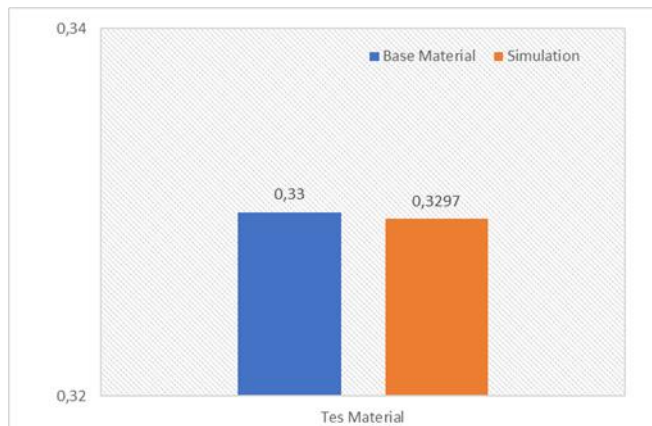
$$V = - \frac{-0,00000478}{0,0000145}$$

Hasil perhitungan *poisons ratio*

Base material = **0,33 (Karakter Bahan Piston)**

Tes Simulasi = **0,3297**

Error Margin = **0,1 %**

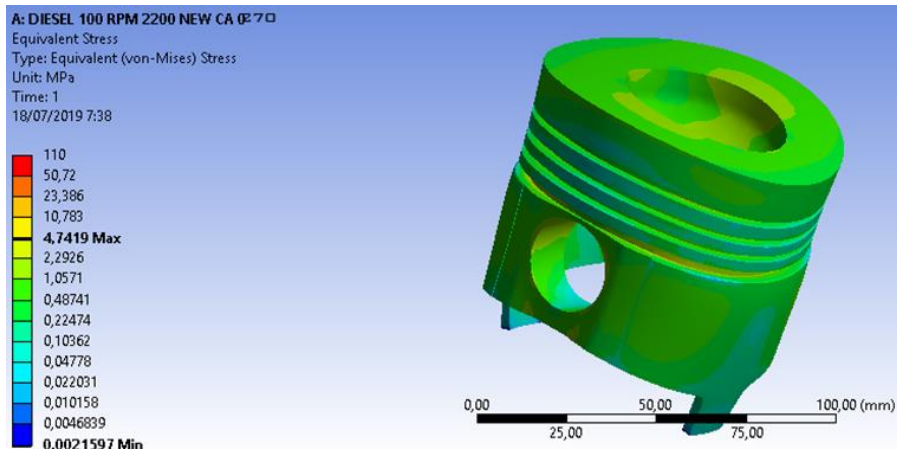


Gambar 4.3 Simulasi Poisson ratio

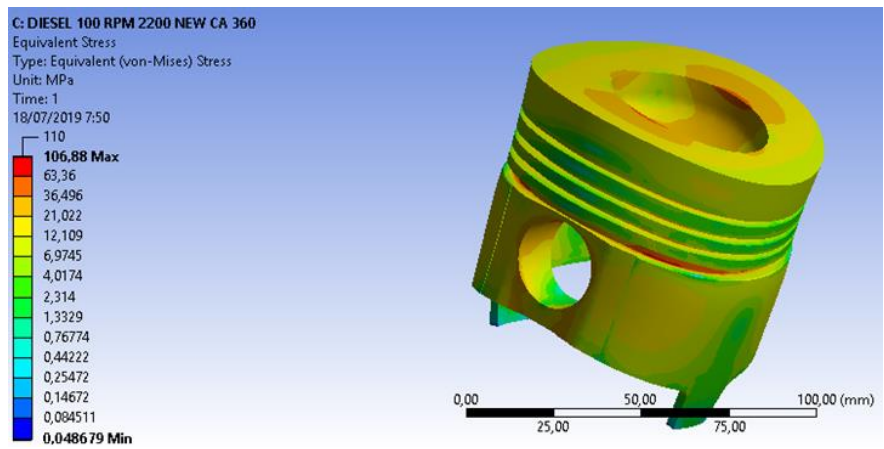
4.4 Simulasi Pengujian

Pengujian yang dilakukan menggunakan aplikasi ANSYS. Dalam materi ini dilakukan analisa temperatur pada 1 siklus pembakaran yang di bagi menjadi beberapa titik tertentu dan pada RPM 2200 sesuai perhitungan termodinamika yang telah tervalidasi. Sehingga dapat diketahui perubahan stress dan deformasi. Dilakukan analisa dalam 1 siklus kerja mesin sehingga dapat diambil data untuk keperluan analisa kekuatan piston.

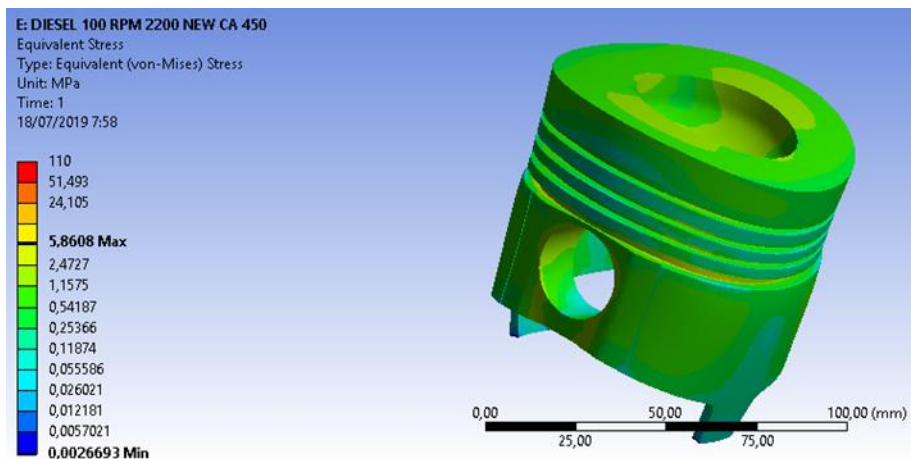
4.4.1 Simulasi Pengujian



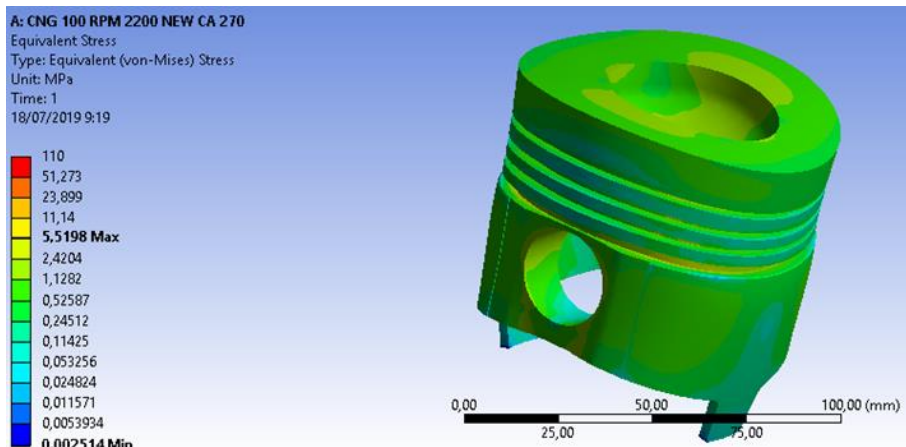
Gambar 4.4 Simulasi Crank Angle 270 Diesel 100%



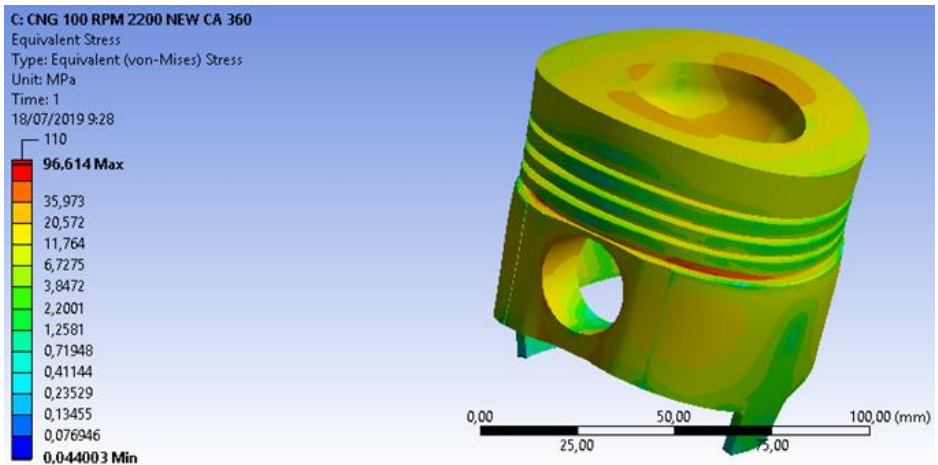
Gambar 4.5 Simulasi Crank Angle 360 Diesel 100%



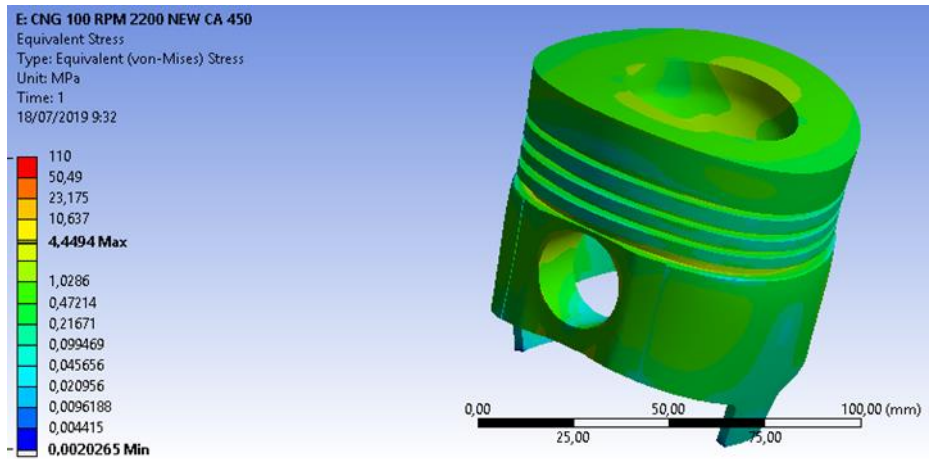
Gambar 4.6 Simulasi Crank Angle 450 Diesel 100%



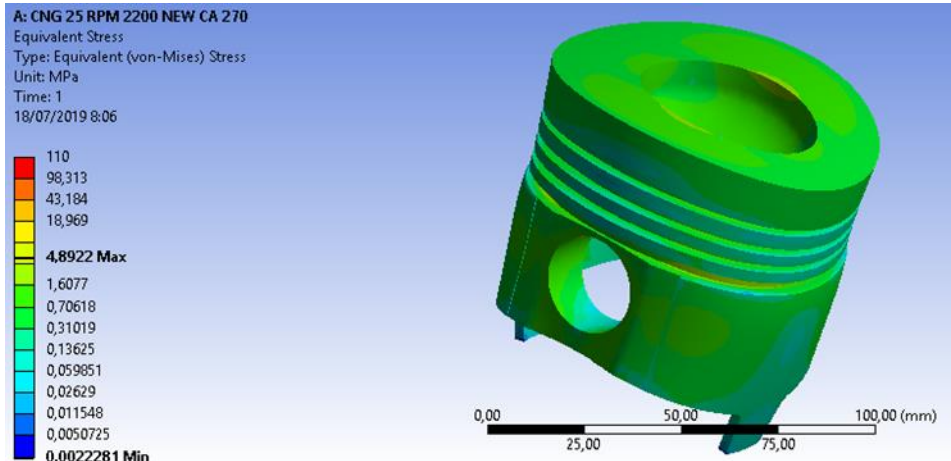
Gambar 4.7 Simulasi Crank Angle 270 CNG 100%



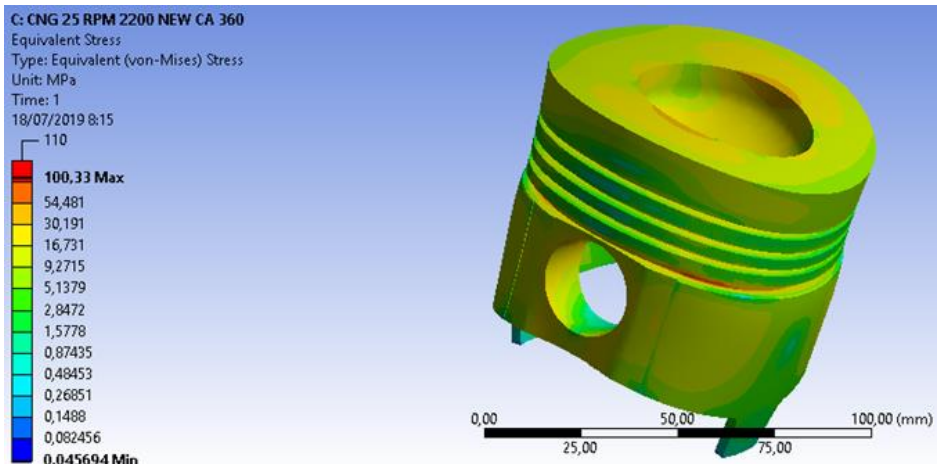
Gambar 4.8 Simulasi Crank Angle 360 CNG 100%



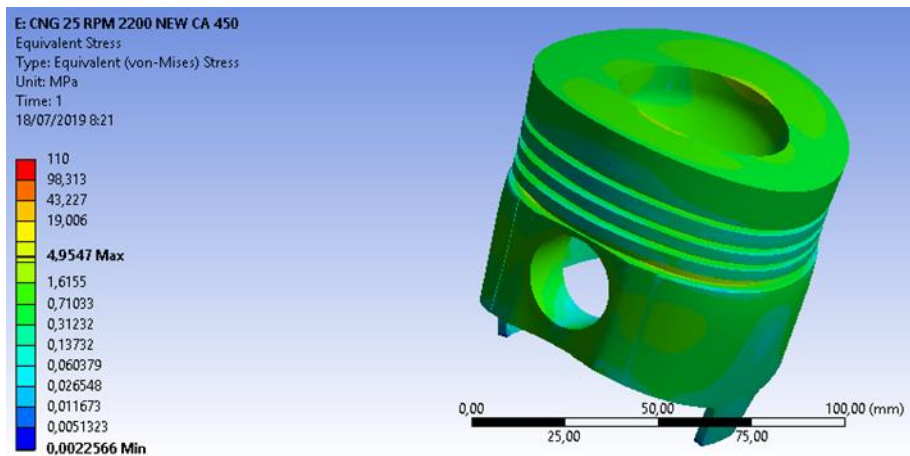
Gambar 4.9 Simulasi Crank Angle 450 CNG 100%



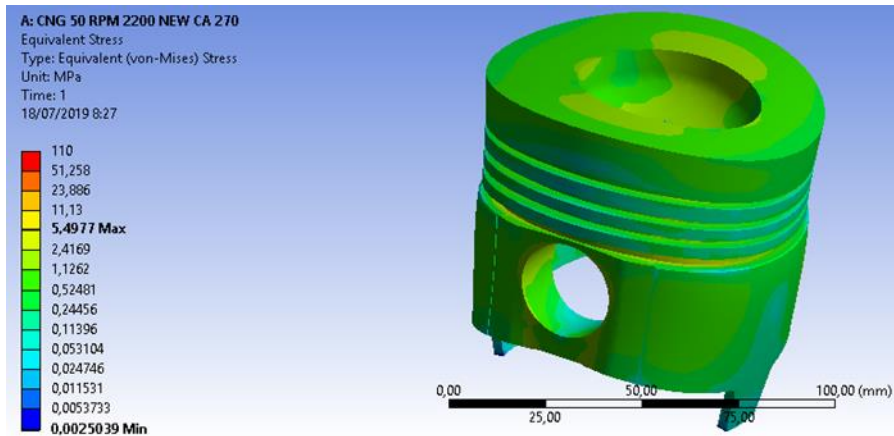
Gambar 4.10 Simulasi Crank Angle 270 CNG 25% Diesel 75%



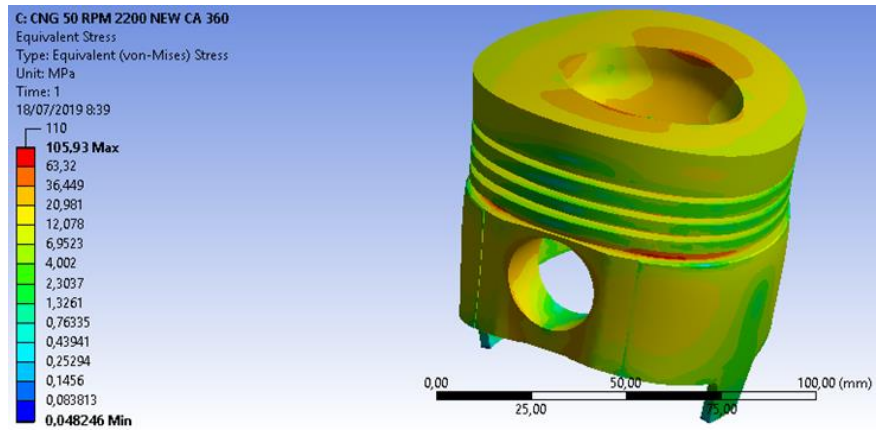
Gambar 4.11. Simulasi Crank Angle 360 CNG 25% Diesel 75%



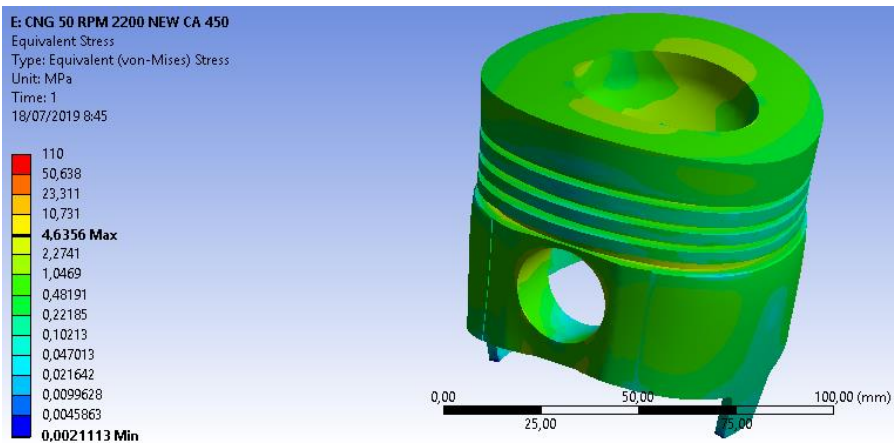
Gambar 4.12 Simulasi Crank Angle 450 CNG 25% Diesel 75%



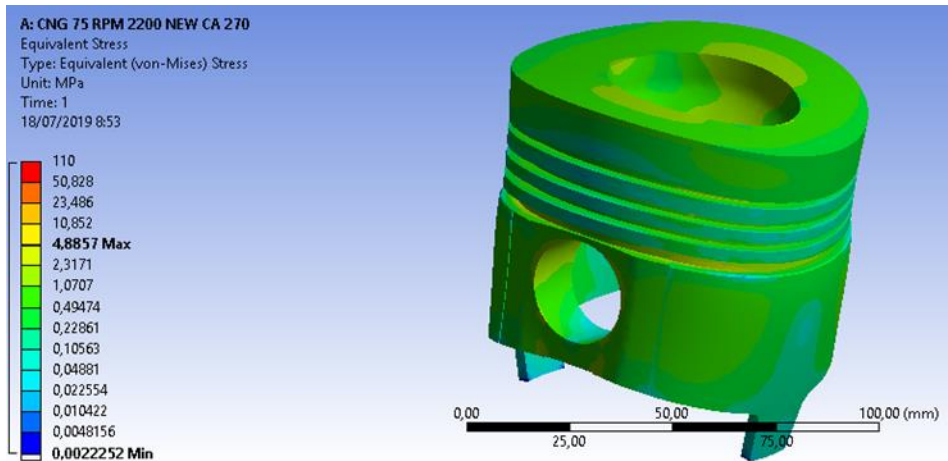
Gambar 4.13 Simulasi Crank Angle 270 CNG 50% Diesel 50%



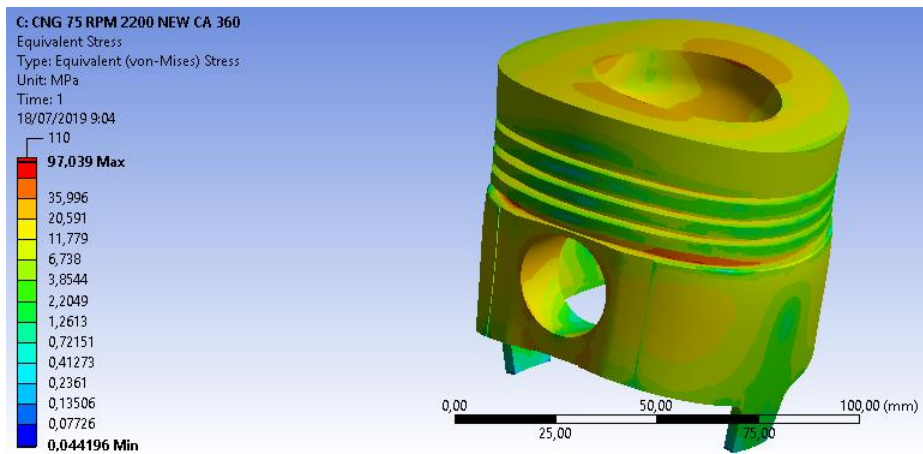
Gambar 4.14 Simulasi Crank Angle 360 CNG 50% Diesel 50%



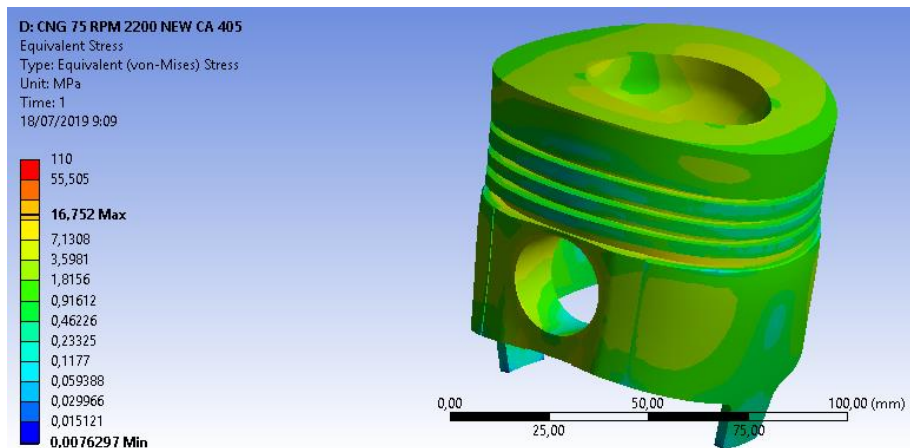
Gambar 4.15 Simulasi Crank Angle 450 CNG 50% Diesel 50%



Gambar 4.16 Simulasi Crank Angle 270 CNG 75% Diesel 25%

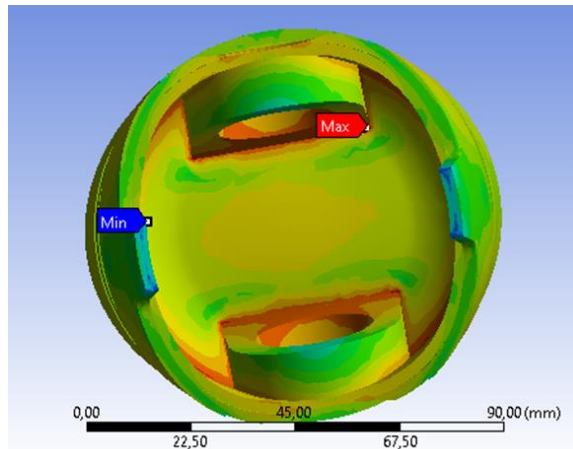


Gambar 4.17 Simulasi Crank Angle 360 CNG 75% Diesel 25%

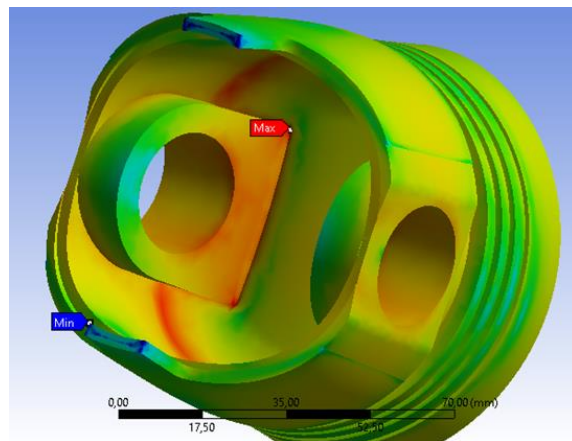


Gambar 4.18 Simulasi Crank Angle 450 CNG 75% Diesel 25%

Dari data analisa kekuatan piston disajikan pada titik 270, 360, 450. Dari tiga titik tersebut menjelaskan kondisi krusial dari suhu dan tekanan tertinggi dimana sangat mempengaruhi tegangan pada material piston. Dari tiga sudut tersebut menjelaskan kondisi tegangan piston saat langkah kompresi, pemasukan bahan bakar hingga ekspansi.



Gambar 4.19 Titik Stress Diesel 100% Crank Angle 360⁰ 1

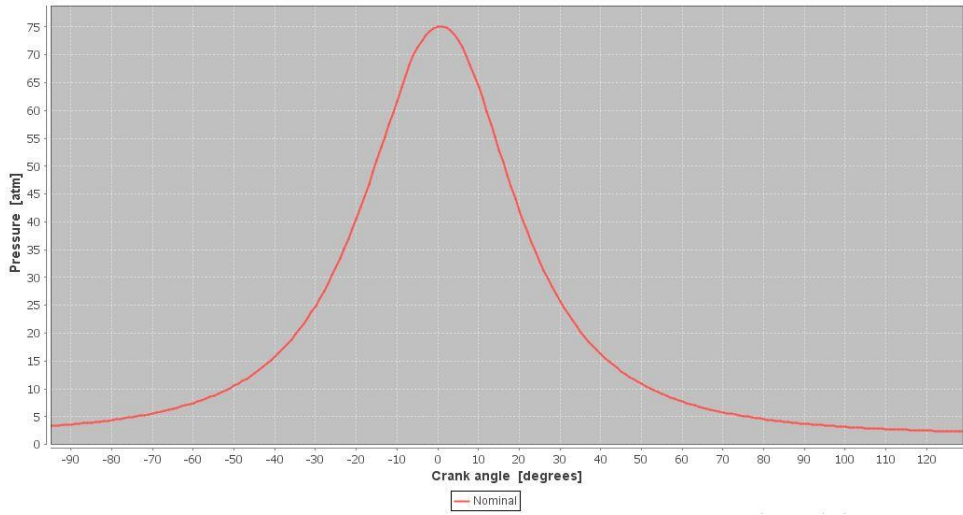


Gambar 4.20 Titik Stress Diesel 100% Crank Angle 360⁰ 2

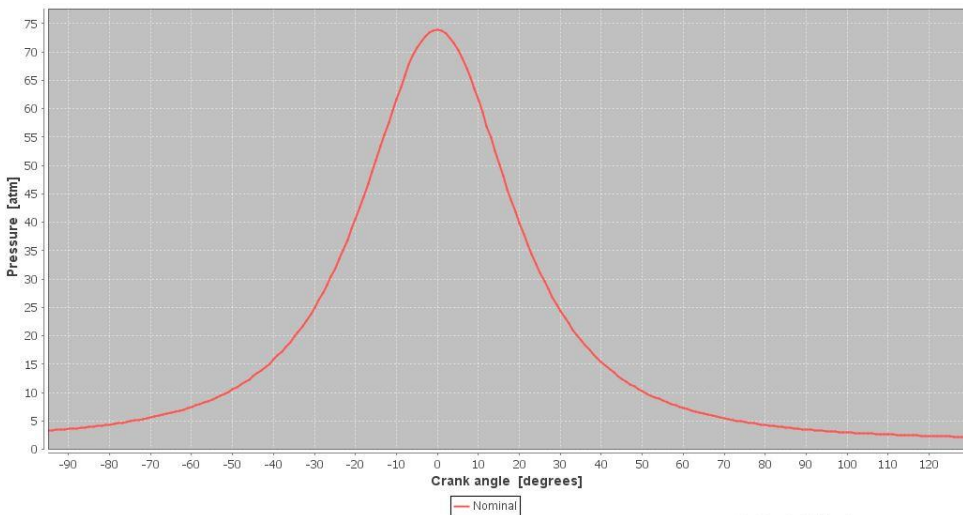
Pada gambar diatas memperjelas kondisi secara detail titik terlemah dan tertinggi dari stress material piston yang diuji. Kondisi ini dikarenakan dimana material diberi beban tekanan yang sama namun efek dari tegangan tersebut berbeda di beberapa titik-titik piston. Seperti contoh di titik terlemah terdapat di bagian dinding piston paling bawah, hal ini dikarenakan posisi tersebut jauh dari sumber tegangan yaitu di *bowl* dan permukaan *crown* piston. Serta tegangan material sudah di redam oleh badan piston itu sendiri dari *crown* hingga *bottom* piston.

Sedangkan titik maksimal dari stress material piston terdapat pada penampang pen piston yang dekat dengan bagian lekungan bawah *crown* piston.

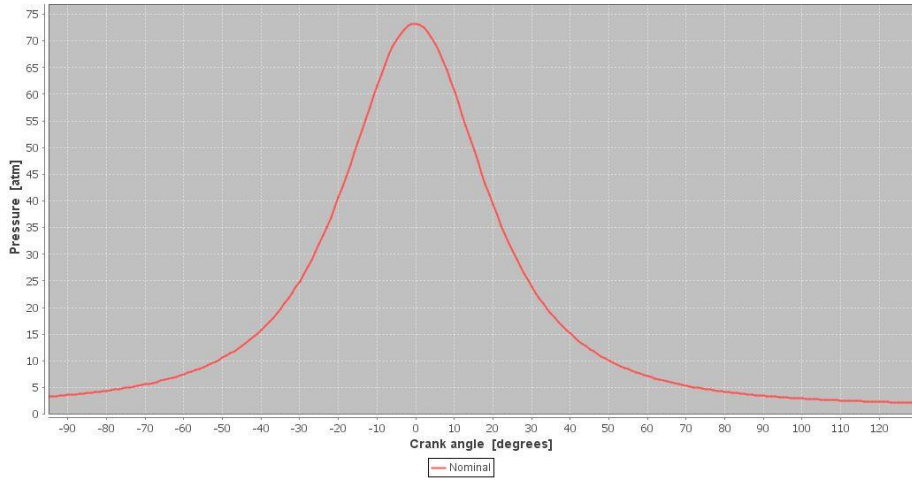
Karena *crown* tersebut yang terkena tekanan sehingga titik stress tertinggi terdapat pada posisi tersebut. Lalu titik yang mengalami stress material besar juga ada di *ring groove* (ruang ring oli). Kenapa kondisi-kondisi ini dapat terjadi karena sisi badan pada bagian badan pen yang dekat dengan crown piston bagian bawah dan oil groove. Karena area yang kecil meskipun dengan gaya yang sama. $F = \frac{P}{A}$. Maka terjadi beberapa variasi kondisi perbedaan stress karena bentuk atau area yang berbeda-beda.



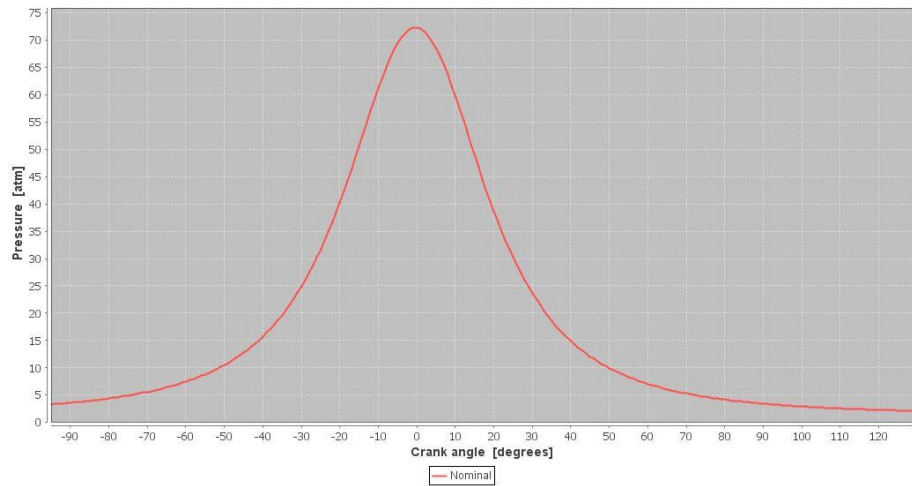
Gambar 4.21 Grafik Tekanan Pembakaran CNG 25%



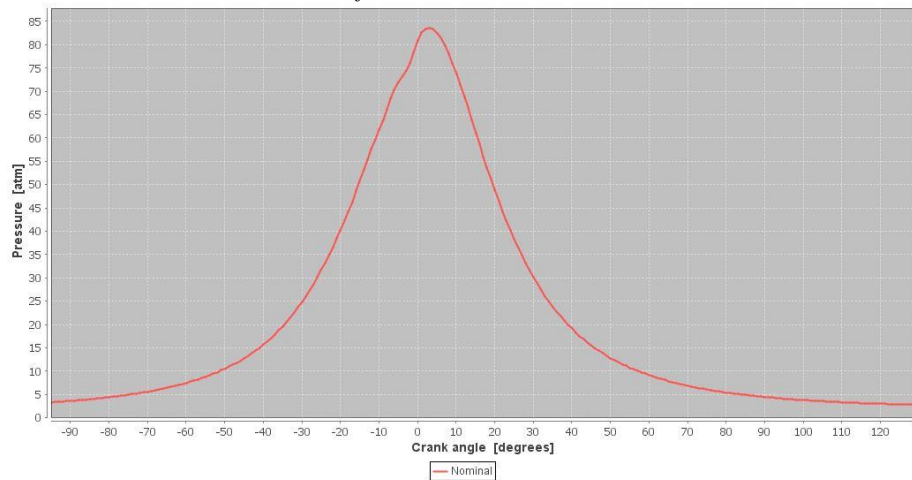
Gambar 4.22 Grafik Tekanan Pembakaran CNG 50%



Gambar 4.23 Grafik Tekanan Pembakaran CNG 75%



Gambar 4.24 Grafik Tekanan Pembakaran CNG 100%



Gambar 4.25 Grafik Tekanan Pembakaran Diesel 100%

Grafik tekanan diatas menunjukkan kinerja dari derajat krusial pada siklus kerja mesin yang mana sebagai acuan untuk mengambil data tekanan pembakaran di beberapa titik putaran crankshaft. Pengambilan melalui simulasi yang mana sebelumnya dilakukan melalui perhitungan kerja siklus mesin sehingga dapat menjadi grafik kerja seperti diatas.

Tabel 4.4 Tabel Temperatur Dalam Satu Siklus Setiap Tipe Bahan Bakar

Max. T (K)	%CNG				
	0	25	50	75	100
CA					
270	419,776	410,02	413,2	412,04	415,86
280	454,142	473,46	436,88	437,65	436,44
290	466,673	467,42	467,28	467,31	466,68
300	500,431	501,98	501,5	501,51	538,26
310	557,55	544,46	554,81	546,97	543,27
315	586,97	570,41	580,73	591,94	568,84
320	598,046	619,04	601,34	601,49	604,24
330	671,369	675,71	681,23	675,08	674,01
340	758,052	763,6	763,77	765,3	762,08
350	933,878	955,69	932,63	866,09	849,13
351	947,712	962,32	945,38	883,68	894,33
352	956,246	968,7	948,4	897,34	864,99
353	968,266	977,93	952,49	901,77	868,42
354	977,513	988,38	956,97	905,35	866,93
355	990,984	1000,31	962,81	906,79	871,04
356	1013,962	1013,62	970,85	910,57	884,31
357	1062,946	1026,35	977,92	908,63	888,05
358	1512,26	1052,78	987,2	914,36	878,43
359	2031,6	1085,34	995,29	914,37	878,95
360	2135,373	1224,51	1004,49	924,28	881,62
361	2157,52	1328,93	1011,51	918,09	880,47
362	2168,83	1345,64	1020,19	922,99	876,3
363	2171,94	1352,59	1027,95	916,75	886,77
364	2174,77	1350,37	1032,39	916,61	874,48
365	2170,6	1348,31	1042,83	911,11	867,09
370	2102,68	1273,51	1060,18	875,01	847,34
375	1952,23	1173,12	995,31	844,27	794,4
380	1774,7	1075,94	921,2	787,96	749,15
390	1471,85	914,25	786,73	691,13	659,22
400	1259,4	786,96	690,53	608,9	587,07
405	1181,21	738,71	650,85	575,57	552,41
410	1116,83	695,49	616,73	547,17	524,55
420	1016,14	621,75	560,88	498,92	477,9
430	943,42	571,46	518,22	461,05	442,24
440	885,25	529,47	485,45	431,73	414,24
450	839,04	498,51	458,97	408,86	394,5

Tabel 4.5 Tabel Tekanan Silinder Sebagai Input Tekanan

Pressure (bar)	%CNG				
	0	25	50	75	100
270	3,641621	3,757	4,222	3,752	4,239
280	4,452221	4,59	4,545	4,524	4,515
290	5,672174	5,729	5,69	5,772	5,686
300	7,548713	7,611	7,578	7,617	7,671
310	10,6523	10,753	11,206	11,074	10,748
315	13,029	13,037	13,57	13,808	12,977
320	15,89789	16,997	16,248	16,28	15,94
330	25,12657	25,66	25,658	15,697	25,287
340	40,79041	41,538	41,52	41,887	41,152
350	72,66421	62,695	63,022	62,86	64,148
351	64,74364	65,613	65,803	64,719	68,238
352	67,05689	67,523	67,412	67,942	69,312
353	69,40459	69,603	69,713	68,885	69,234
354	71,18993	71,029	71,126	70,678	69,305
355	72,89321	72,849	72,339	72,258	70,563
356	74,31277	73,94	73,761	73,538	73,435
357	75,38681	74,734	75,054	73,928	74,445
358	76,94722	77,114	76,953	75,187	73,183
359	79,34051	75,924	75,265	75,226	74,185
360	82,08034	81,351	77,048	74,522	74,196
361	83,69242	78,096	78,864	74,606	74,515
362	84,58712	78,085	75,602	74,337	73,561
363	84,76444	77,506	75,361	74,437	74,393
364	84,43311	75,384	73,276	72,916	71,551
365	83,58299	74,905	73,193	71,954	69,384
370	74,65727	65,011	63,45	61,22	62,411
375	61,85993	53,959	51,689	51,304	50,312
380	49,55502	43,153	40,805	39,861	39,551
390	30,40459	26,345	25,022	24,601	24,019
400	19,3318	17,964	15,753	15,745	15,521
405	17,026	14,227	12,963	12,865	12,359
410	12,96352	11,285	10,43	10,281	10,211
420	9,227668	8,186	7,423	7,346	7,134
430	6,959001	5,879	5,543	5,488	5,422
440	5,481683	4,614	4,365	4,293	4,235
450	4,500857	3,805	3,56	3,5	3,417

Tabel 4.6 Tabel Stres dan Deformasi Diesel 100%

RPM 2200	DIESEL 100%	
Crank Angle	Deformation	Von Misses
270	1,8704E-03	4,7419
315	6,6921E-03	16,966
360	4,2158E-02	106,88
405	8,7450E-03	22,17
450	2,31183-3	5,86

Tabel 4.7 Tabel Stres dan Deformasi CNG 100%

RPM 2200	CNG 100%	
Crank Angle	Deformation	Von Misses
270	2,1773E-03	5,5198
315	6,6654E-03	16,898
360	3,8109E-02	96,614
405	6,3489E-03	16,093
450	1,7551E-03	4,4494

Tabel 4.8 Tabel Stres dan Deformasi CNG 75% dan 25%

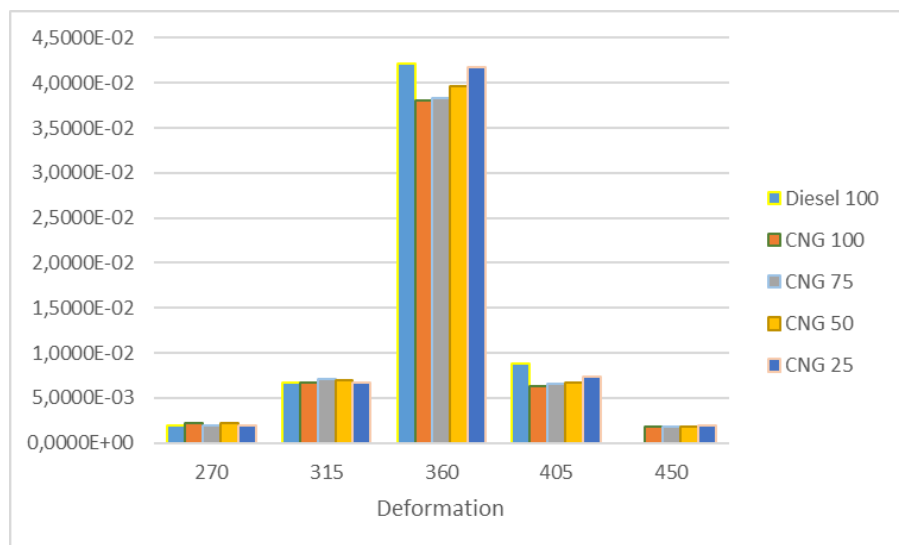
RPM 2200	CNG 75%	
Crank Angle	Deformation	Von Misses
270	1,9271E-03	4,8857
315	7,0922E-03	17,98
360	3,8277E-02	97,039
405	6,6078E-03	16,752
450	1,7977E-03	4,5575

Tabel 4.9 Tabel Stres dan Deformasi CNG 50% dan 50%

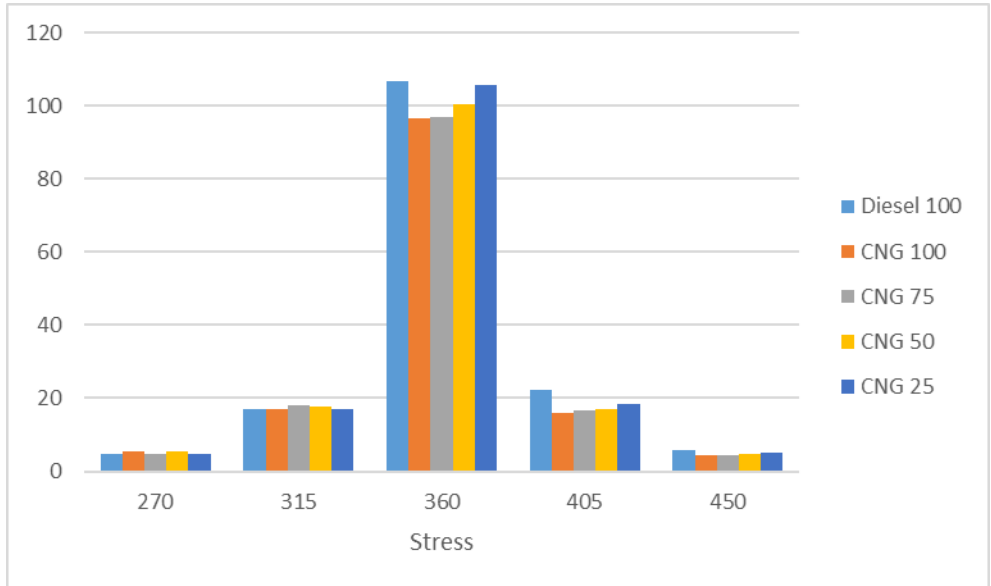
RPM 2200	CNG 50%	
Crank Angle	Deformation	Von Misses
270	2,1685E-03	5,4977
315	6,9699E-03	17,67
360	3,9574E-02	100,33
405	6,6582E-03	16,88
450	1,8285E-03	4,6356

Tabel 4.10 Tabel Stres dan Deformasi CNG 25% dan 75%

RPM 2200	CNG 25%	
Crank Angle	Deformation	Von Misses
270	1,9297E-03	4,8922
315	6,6962E-03	16,974
360	4,1784E-02	105,93
405	7,3074E-03	18,526
450	1,9544E-03	4,9547



Gambar 4.26 Deformasi Material Piston



Gambar 4.27 Stress Material Piston

Grafik diatas menunjukkan tingkat deformasi dan stress material akibat dari tekanan yang diperoleh di 1 siklus kerja mesin yang diambil di beberapa titik putar tertentu. Dari grafik dan tabel tekanan menunjukkan bahwa campuran 100% Diesel memiliki tingkat tekanan tertinggi selain itu efisiensi thermal paling tinggi dari beberapa contoh analisa dengan bahan bakar yang lain.

Pada penggunaan CNG mulai dari 25% hingga 100%. Semakin besar campuran CNG hingga seluruhnya CNG membuat nilai tegangan material piston semakin turun. Kondisi ini di karenakan nilai temperatur dan tekanan dalam silinder yang ikut menurun dan dapat dilihat di tabel tekanan dan temperatur. Penurunan ini terjadi karena flash point yang berunjuk pada detonasi dalam kerja engine yang semakin menurun dan kerusakan komponen.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data mengenai pengaruh jenis campuran dan non campuran *Diesel Fuel* dan CNG dapat disimpulkan bahwa:

1. Stress material tertinggi terdapat pada diesel 100% di sudut 360o dengan nilai stress maerial 106,88 Mpa dan deformasi sebesar 0,0421 mm. Kondisi piston sedang dalam tahap pemasukan bahan bakar dan kondisi Top Dead Center (TDC) dan kedua katup menutup. Sehingga udara termampatkan dan bahan bakar di masukan sehingga temperatur naik secara drastis.
2. Dengan sudut poros engkol yang sama yaitu 360 0 Stress material terendah terdapat pada CNG 100% dengan nilai stress 96,614 Mpa dan deformasi 0,0381 mm.
3. Dengan tekanan tertinggi yaitu 106,88 Mpa kondisi tersebut masih jauh dengan kekuatan material piston yaitu 250 Mpa
4. Semakin besar campuran CNG hingga seluruhnya CNG membuat nilai tegangan material piston semakin turun. Kondisi ini di karenakan nilai temperatur dan tekanan dalam silinder yang ikut menurun.

5.2 Saran

Dengan selesainya tugas akhir ini, bukan berarti tujuan dari peneitian ini selesai. Dapat dilakukan penyempurnaan pada tugas akhir ini untuk penelitian lebih lanjut. Maka, saran untuk pengembangan tugas akhir ini yaitu :

1. Dilakukan pengujian secara ekspesimen atau menggunakan aplikasi yang mana dapat mendeteksi kondisi knocking pada mesin. Sehingga selain kondisi normal pembakaran juga dapat dideteksi kondisi gangguan lainnya.
2. Pengambilan data seperti tekanan lebih detail dilakukan dengan eksperimental dengan sensor atau media yang dapat mendeteksi nilai tekanan kerja dalam silider

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

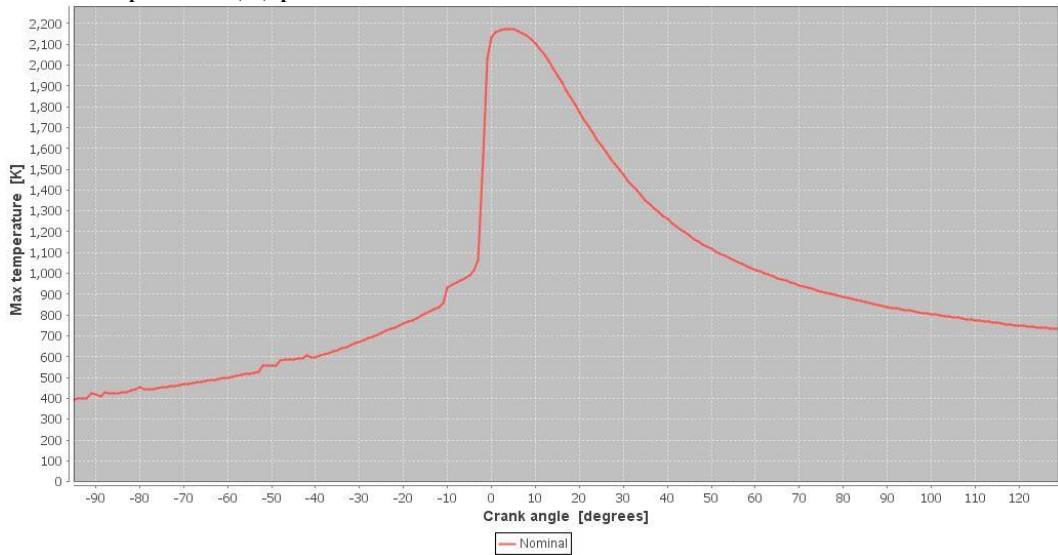
DAFTAR PUSTAKA

- Ashby, Michael. Shercliff, Hugh. Cebon, David. *Materials Engineering, Science, Processing and Design*, Elsevier, UK
- Beddoes, Bibby., *Principles of metal manufacturing Processes*, Elsevier Butterworth, UK, 2006
- Eddy, Suharyanto, Subyanto., *Teori dan praktikum ilmu bahan*, D3 Teknik Mesin ITS, 2011
- Firdha Fauzie. 2016. *Analisa Tegangan Piston dan Connecting Rod Pada Motor Diesel 4 Langkah*. Skripsi. Surabaya: ITS
- Gupta H.N., *Fundamentals Of Internal Combustion Engine*, Asoke K. Ghosh., New Delhi, 2006
- Hendra Septiawan. 2011. *Analisa Tegangan Piston Akibat Pengurangan Tebal Piston Head Pada Konversi Mesin Diesel Menjadi Mesin Bahan Bakar Gas*. Skripsi. Surabaya: ITS
- Helmisyah A. J., Affiq F.R., Niki R.A., Hanith I., 2015, *Investigation On Temperature Profiles Of Piston Using Low Cost Burner Rig* Vol. 10, No. 1 Januari 2015
- Heywood, John B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw Hill, Inc., New York, 1988
- Hongyuan Zhang. 2013. *Thermal analysis of diesel engine piston*. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research.(388-393). China
- Leszek Gardyński. 2015. *Investigations Of Temperature Fluctuations Of Diesel Engine Piston*. Bachelor Thesis. Poland: Lublin
- Ji Wu. 2013. *Strength Analysis in Piston Crown of The Marine Engine*. Journal of Engg. Vol 1 part 251-269

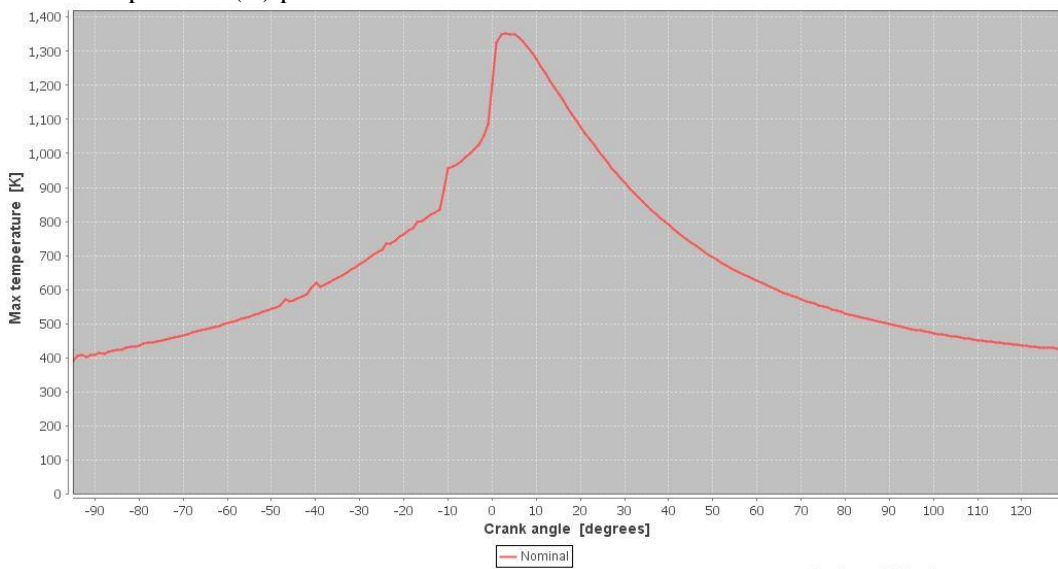
- Marques C.H., Belchior C.R.P., Caprace J.D., 2017, *An Approach to Optimise the Selection of LNG Carrier' Propulsion System*, *Journal of Thermal Engineering* Vol. 16, No. 1, June 2017, pp. 37-45.
- Mollenhauer, Klaus., Tschoeke, Helmut., *Handbook of Diesel Engines*, Springer, Germany
- Usman, Robingu., Sardjijo., *Motor Bakar Bab 3*, Departemen P dan K, 1979
- W. Pulkrabek, Willard., *Enginerring Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*, Upper saddle river, New Jersey

LAMPIRAN

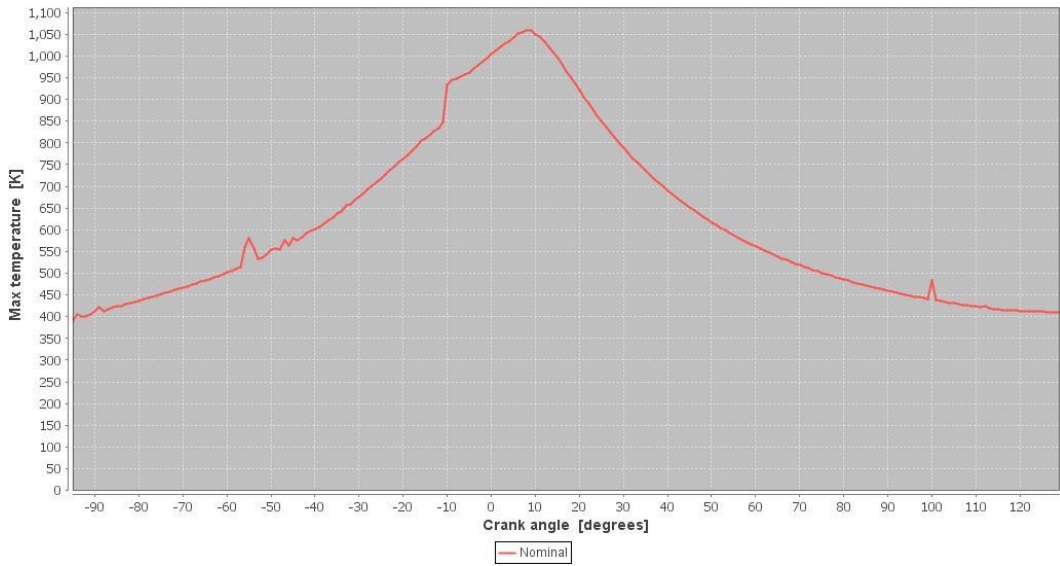
Max. Temperature (K) pada variasi Diesel 100%



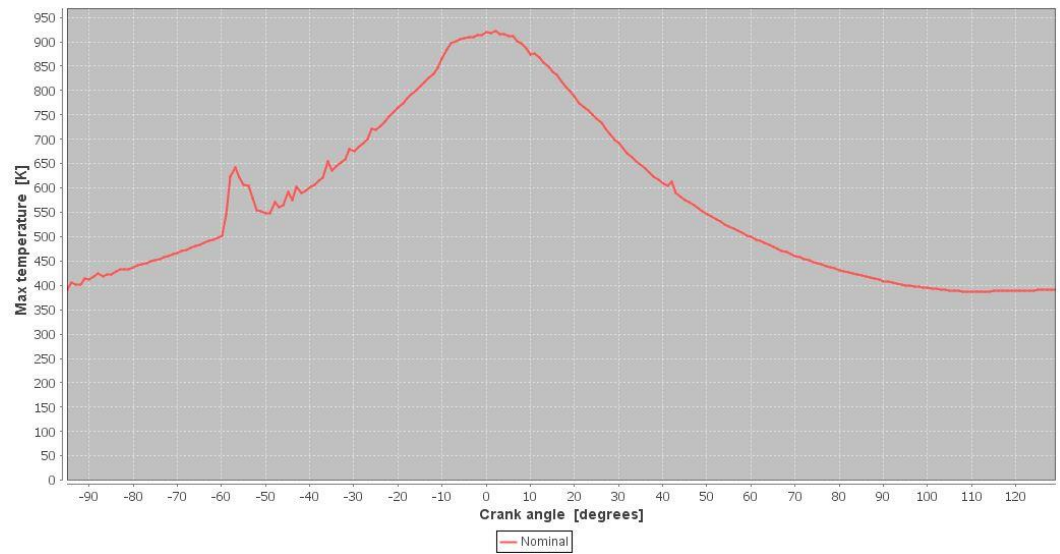
Max. Temperature (K) pada variasi CNG 25%



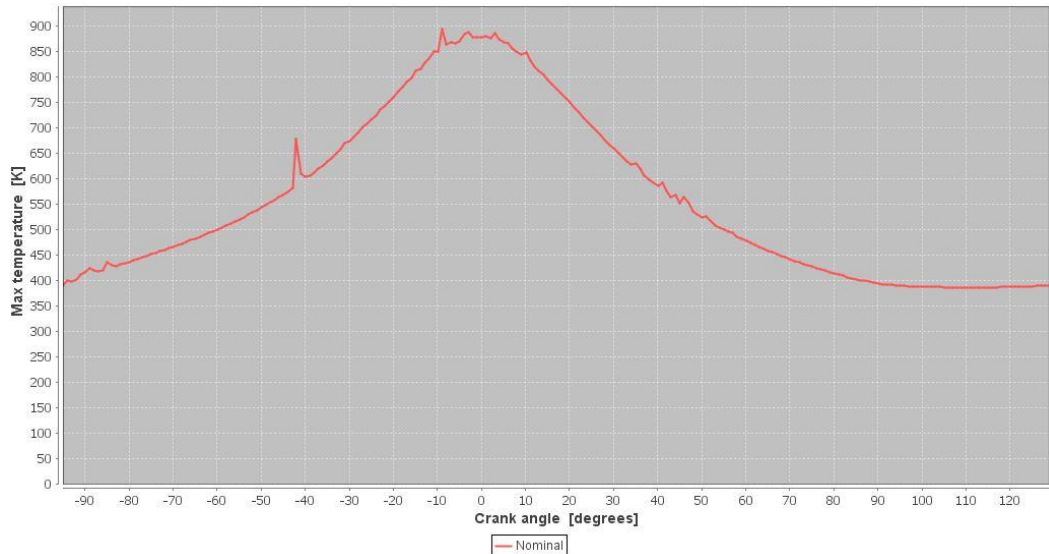
Max. Temperature (K) pada variasi CNG 50%



Max. Temperature (K) pada variasi CNG 75%



Max. Temperature (K) pada variasi CNG 100%



Material yang digunakan dalam properties Solidworks

Name:

Default failure criterion:

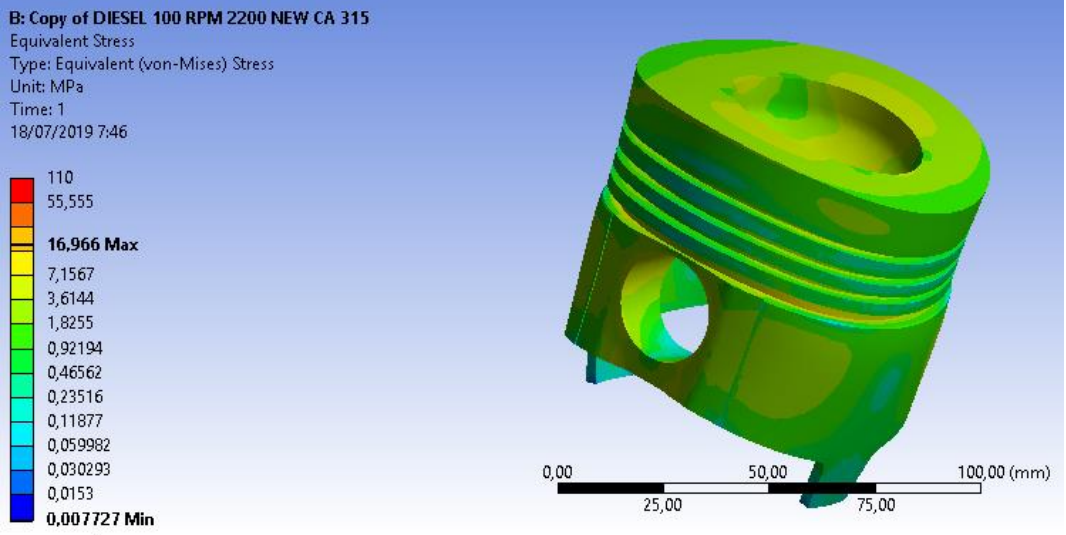
Description:

Source:

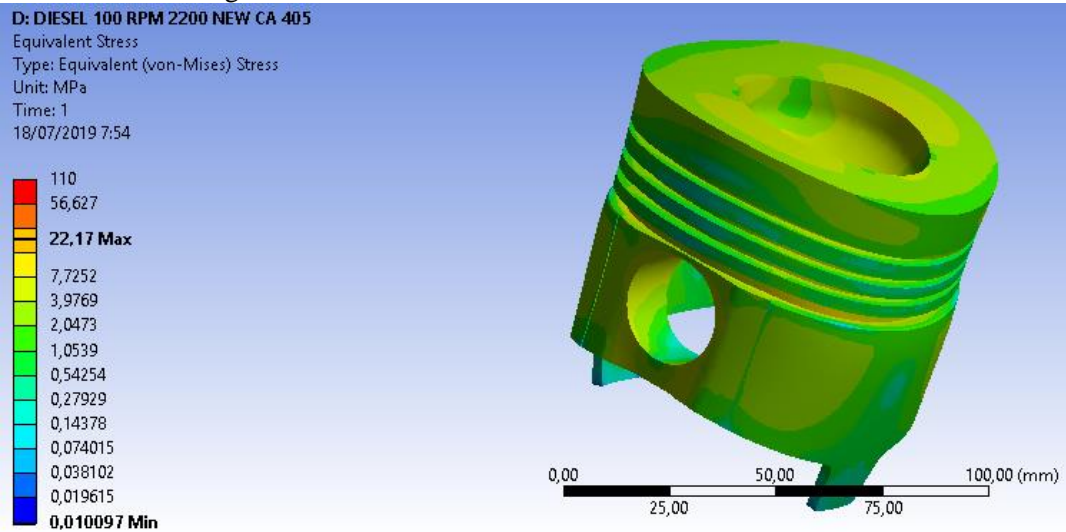
Sustainability:

Property	Value	Units
Elastic Modulus	7e+010	N/m ²
Poisson's Ratio	0.33	N/A
Shear Modulus	2.59e+010	N/m ²
Mass Density	2680	kg/m ³
Tensile Strength	290000000	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	255000000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	2.38e-005	/K
Thermal Conductivity	137	W/(m·K)

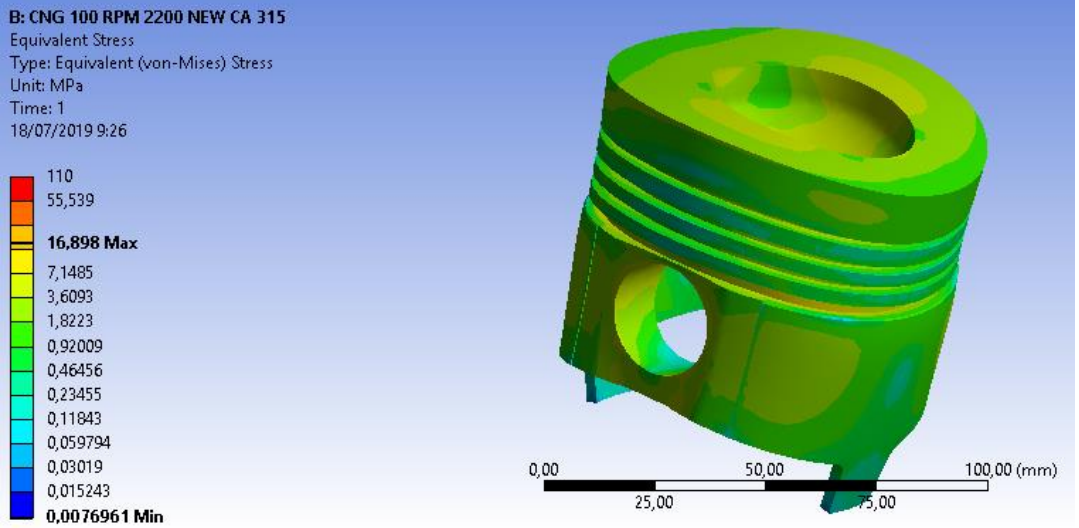
Simulasi Crank Angle 315 Diesel 100%



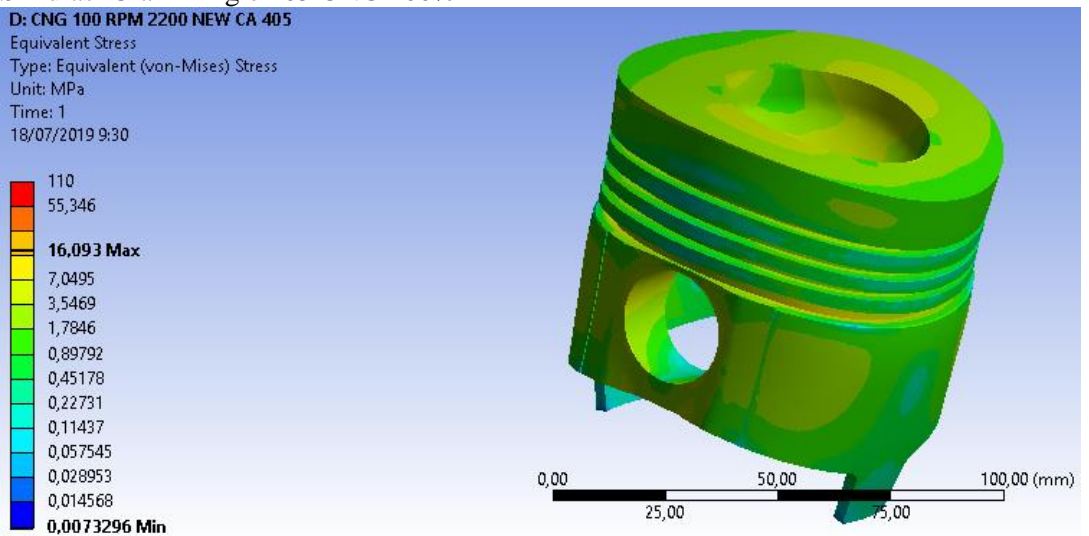
Simulasi Crank Angle 405 Diesel 100%



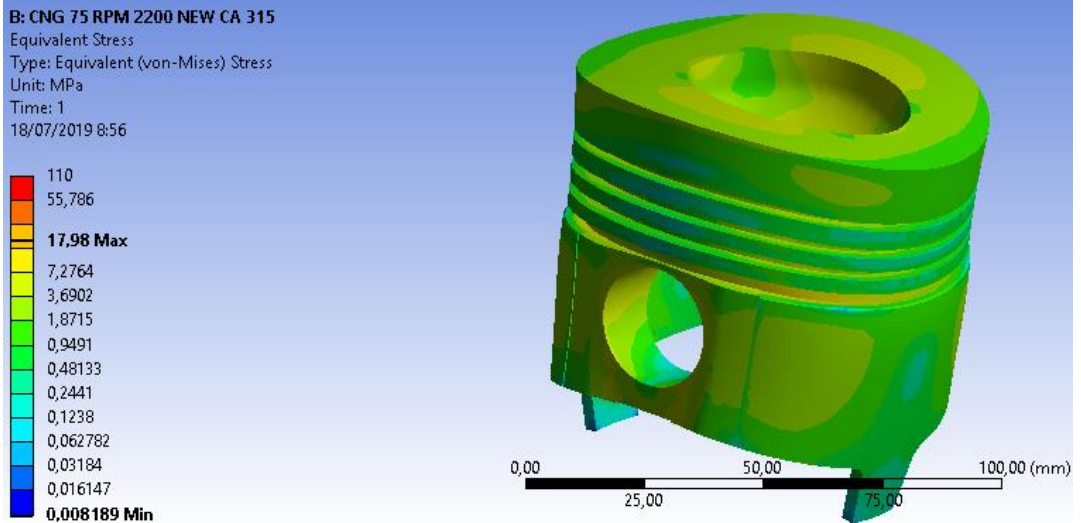
Simulasi Crank Angle 315 CNG 100%



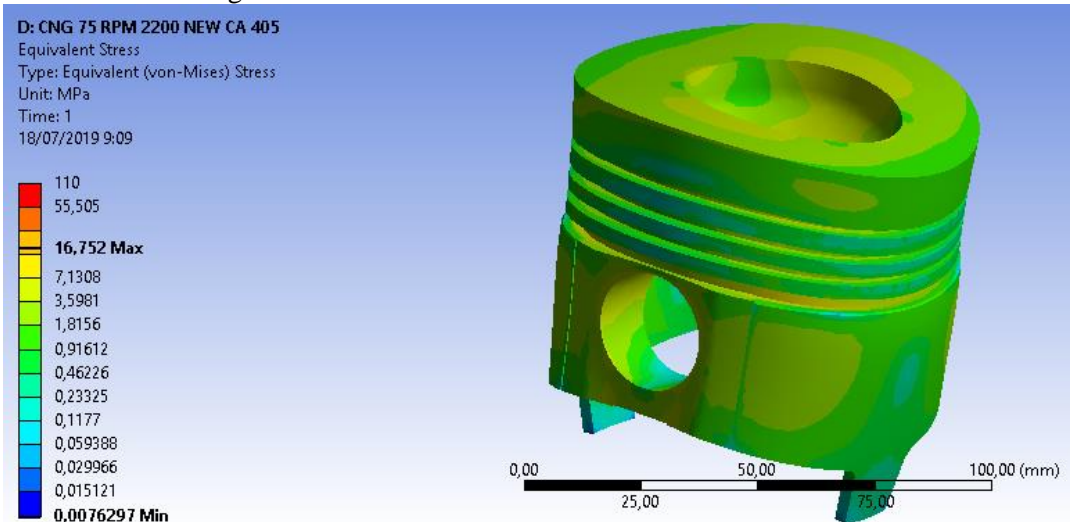
Simulasi Crank Angle 405 CNG 100%



Simulasi Crank Angle 315 CNG 75%



Simulasi Crank Angle 405 CNG 75%



Simulasi Crank Angle 315 CNG 50%

B: CNG 50 RPM 2200 NEW CA 315

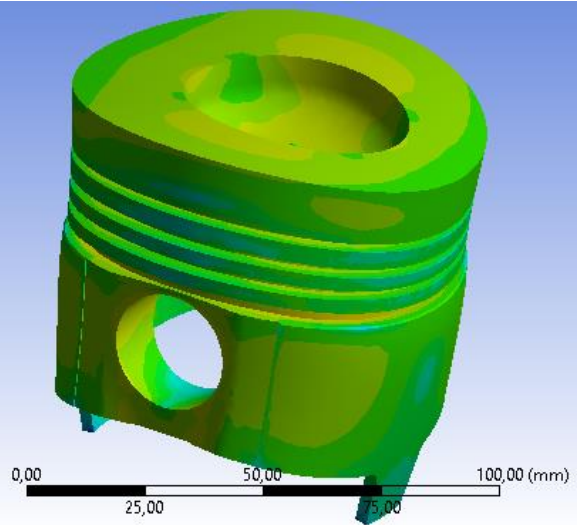
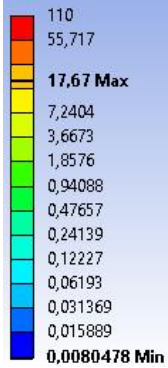
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

18/07/2019 8:34



Simulasi Crank Angle 405 CNG 50%

D: CNG 50 RPM 2200 NEW CA 405

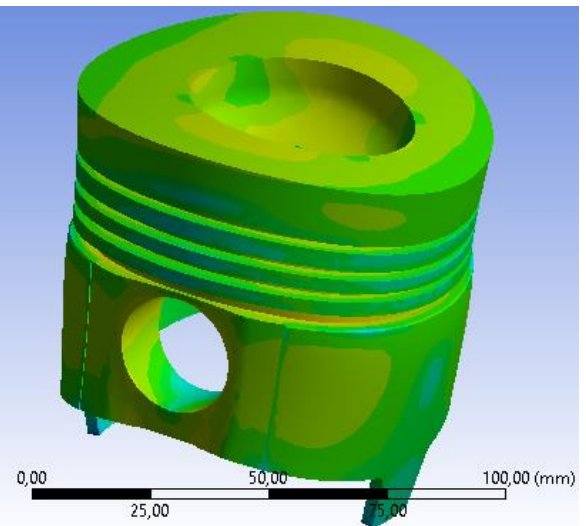
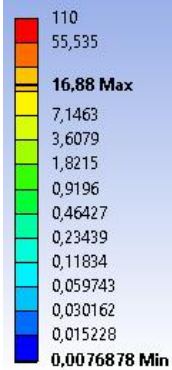
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

18/07/2019 8:42



Simulasi Crank Angle 315 CNG 25%

B: CNG 25 RPM 2200 NEW CA 315

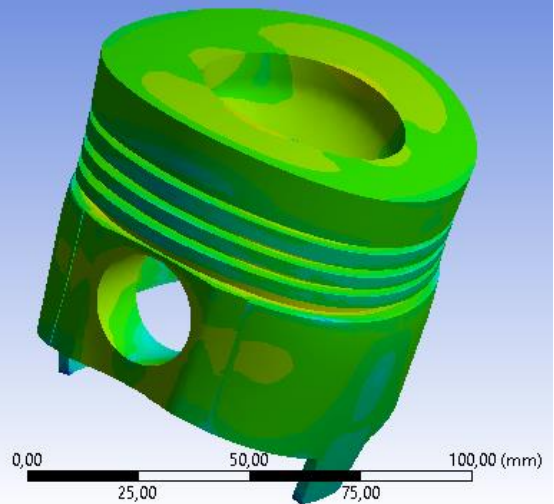
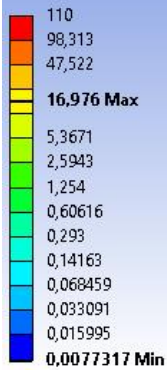
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

18/07/2019 8:11



Simulasi Crank Angle 405 CNG 25%

D: CNG 25 RPM 2200 NEW CA 405

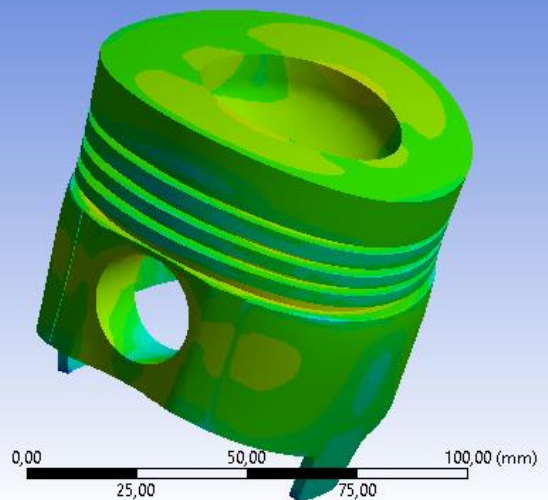
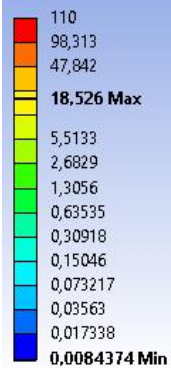
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

18/07/2019 8:18



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sidoarjo, 10 desember 1995 yang merupakan anak terahir dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal mulai dari TK Hang Tuah 10 Juanda, SD Hang Tuah 10 Juanda, SMPN 2 Sedati dan SMKN 3 Buduran jurusan otomotif. Setelah lulus penulis melanjutkan pendidikan di D3 Teknik Mesin FTI ITS yang sekarang berganti menjadi Departemen Teknik Mesin Industri dengan fokus bidang manufaktur. Dalam menjalani masa perkuliahan penulis telah melaksanakan kerja praktek di PT.Petro Kimia Gresik selama satu bulan. Lalu melanjutkan ke program studi S1 Sistem Perkapalan ITS.

Penulis juga sempat aktif di beberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan D3 Teknik Mesin ITS, mulai dari pelatihan sebagai peserta maupun panitia. Serta mengikuti organisasi di himpunan sebagai staf BSO BENGKEL dan di percaya sebagai ketua Drag Bike D3MITS. Kemudian di divisi mobil irit untuk lomba Kontes Mobil Hemat Energi menjadi koordinator divisi Engine tim Basudewo. Serta tetap aktif pada kegiatan sebagai asisten lab mekatronika mengikuti beberapa riset dan pengembangan. Setelah melanjutkan S1 Sistem Perkapalan kegiatan yang dilakukan penulis ialah menjadi freelancer (pekerja lepas) desain 3D dan menjadi tenaga pengajar untuk pengetahuan dasar dan pengenalan aplikasi desain 3D.

Pada akhir masa program studi S-1, penulis dapat menyelesaikan penelitian pengembangan analisa kekuatan struktur mesin untuk pengembangan dual fuel. Yang mana diharapkan dapat bermanfaat untuk masyarakat.