

TUGAS AKHIR

ANALISA NUMERIK PADA STRUKTUR BLOK SILINDER MESIN DENGAN VARIASI DIAMETER TABUNG SILINDER

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

FEBRI RAMADHAN
1307230115



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

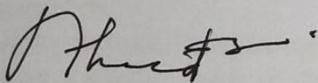
Nama : Febri Ramadhan
NPM : 1307230115
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa Numerik Pada Struktur Blok Silinder Mesin dengan Variasi Diameter Tabung Silinder
Bidang ilmu : Konstruksi dan Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 02 Maret 2019

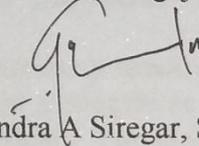
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



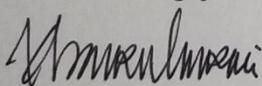
Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji II



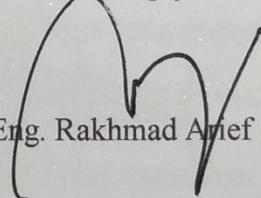
Chandra A Siregar, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Peguji IV



DR.Eng. Rakhmad Arief Siregar

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



Affandi, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Febri Ramadhan
Tempat /Tanggal Lahir : Medan/05 Februari 1996
NPM : 1307230115
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisa Numerik Pada Struktur Blok Silinder Mesin Dengan Variasi Diameter Tabung Silinder”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 02 Maret 2019



Saya yang menyatakan,

Febri Ramadhan

ABSTRAK

Aktivitas perekonomian yang bergerak dalam bidang industri yang berkembang sekarang ini sangatlah memerlukan sebuah transportasi ataupun alat yang dapat mengangkut dan mengirimkan produk-produk hasil industri tersebut, dalam hal ini yang dimaksud adalah sebuah mobil truk yang biasa digunakan untuk memuat barang dengan jumlah muatan yang terbilang sangat besar, mobil yang biasa digunakan untuk mengangkut beban umumnya menggunakan mesin diesel sebagai sumber tenaga penggerak pada mobil truk tersebut, oleh karena itu sangatlah penting peran dan daya tahan dari mesin diesel yang digunakan pada mobil truk tersebut demi kelancaran dalam proses pendistribusian produk-produk hasil perindustrian tersebut, yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah blok silinder yang merupakan salah satu komponen yang berperan pada mesin diesel tersebut. Dan adapun rumusan masalahnya adalah bagaimana menganalisa struktur blok silinder dengan menggunakan program simulasi Ansys dengan variasi diameter tabung silinder dari ketiga model blok yang di desain. Serta penelitian ini bertujuan untuk mencari total deformasi dan tegangan maksimal dari ketiga model blok yang di desain. Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga ataupun simulasi pengujian dengan menggunakan perangkat lunak komputer. Adapun sumber data yang digunakan berasal dari jurnal-jurnal dan buku-buku serta situs internet yang membahas tentang analisa numerik dan blok silinder. Berdasarkan analisa dan simulasi yang dilakukan, diperoleh data bahwa dari ketigadesain model blok silinder dengan tekanan yang diberikan sebesar 27 bar, model blok yang memiliki diameter tabung silinder kecil dalam artian memiliki ketebalan dinding yang lebih besar mempunyai nilai total deformasi dan tegangan ekivalen yang kecil, begitu juga sebaliknya.

Kata Kunci : Blok Silinder, Metode Elemen Hingga, Tegangan Ekivalen.

ABSTRACT

Economic activity that is engaged in developing industries today requires a transportation or equipment that can transport and deliver products produced by the industry, in this case what is meant is a truck car that is usually used to load goods with a very large amount of cargo large, cars that are commonly used to carry loads generally use diesel engines as a driving force for the truck cars, therefore it is very important the role and durability of the diesel engine used in the truck cars for the smooth distribution process of the resulting products the industry, which is the focus of this research is the cylinder block which is one component that plays a role in the diesel engine. And as for the formulation of the problem is how to analyze the cylinder block structure by using the Ansys simulation program with variations in cylinder tube diameters of the three block models designed. And this study aims to find the total deformation and maximal stress of the three block models that are designed. This study uses finite element methods or simulation testing using computer software. The source of the data used comes from journals and books and internet sites that discuss numerical analysis and cylinder blocks. Based on the analysis and simulation, data obtained from the three cylindrical block model designs with a given pressure of 27 bar, the block model that has a small cylindrical tube diameter in the sense of having a larger wall thickness has a small total deformation value and equivalent stress, vice versa.

Keywords: *Cylinder Block, Finite Element Method, Equivalent Stress.*

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Numerik Pada Struktur Blok Silinder Mesin dengan Variasi Diameter Tabung Silinder” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T, selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr.Eng. Rakhmad Arief Siregar, selaku Dosen Pimbimbing II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T, selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini,
4. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T, selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T, sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Munawar Alfansury Siregar ST., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikan kepada penulis terutama di bidang permesinan.
8. Orang tua penulis: Johan dan Upik, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Rekan-rekan analisa numerik: Handoko, Haris Fradilla, Fajar Dani Lesmana, Bayu Mandala Putra, Yassir Arafat, Husfizar Ramadhani, Reza Andithiya dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik Mesin.

Medan,02Maret 2019

Febri Ramadhan

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Blok Silinder	3
2.1.1. Fungsi Utama Blok Silinder	4
2.1.2. Jenis Konstruksi Berdasarkan susunan Blok Silinder	4
2.1.3. Material Yang Digunakan Dalam Pembuatan Blok Mesin	6
2.1.4. Proses Pembuatan Blok Silinder	7
2.2. Perangkat Lunak Desain	9
2.3. Metode Elemen Hingga	11
2.4. Metode Numerik	15
2.4.1. Persamaan Linear	15
2.4.2. Solusi Persamaan dan Sistem Persamaan Non-Linear	17
2.4.3. Persamaan Differensial Biasa	25
2.5. Perangkat Lunak Simulasi dan Pengujian	28
2.6. Pengujian Mekanik	29
2.6.1. Uji Tarik	29
2.6.2. Uji Tekan	33
BAB 3. METODOLOGI	
3.1. Tempat dan Waktu	35
3.1.1. Tempat	35
3.1.2. Waktu	35
3.2. Alat Penelitian	36
3.2.1. Komputer	36
3.2.2. Software Catia	36
3.2.3. Software Ansys	36

3.3. Diagram Alir Penelitian	37
3.4. Langkah Menggambar Blok Silinder	38
3.5. Prosedur Penggunaan Software Ansys	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Pemodelan Menggunakan Software Catia v5R19	43
4.2. Hasil Pengujian Model Blok Silinder	44
4.2.1. Hasil Pengujian Model Blok Silinder 100 mm	45
4.2.2. Hasil Pengujian Model Blok Silinder 102 mm	46
4.2.3. Hasil Pengujian Model Blok Silinder 104 mm	47
4.3. Grafik Perbandingan Geometri dengan Total Deformasi	48
4.3.1. Grafik Total Deformasi	48
4.3.2. Grafik Tegangan Ekuivalen	49
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	50
5.2. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis-jenis Persamaan Differensial	25
Tabel 3.1	Waktu Kegiatan	35
Tabel 4.1	Data Nilai Total Deformasi	48
Tabel 4.2	Data Nilai Tegangan Ekvivalen	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagian-Bagian Blok Silinder	4
Gambar 2.2	Konfigurasi Blok Silinder Tipe Sebaris	5
Gambar 2.3	Konfigurasi Blok Silinder Tipe V	5
Gambar 2.4	Konfigurasi Blok Silinder Tipe Horizontal	6
Gambar 2.5	Core dan Wooden Pattern	8
Gambar 2.6	Core yang Yang Telah Disatukan dan Siap Digunakan	8
Gambar 2.7	Blok Silinder Hasil Sand Casting	9
Gambar 2.8	Contoh Pemodelan Menggunakan CATIA	10
Gambar 2.9	Teknik Umum dan Terminologi Analisis Elemen Hingga	12
Gambar 2.10	Grafik Fungsi	17
Gambar 2.11	Sifat – Sifat Fungsi	18
Gambar 2.12	Grafik dari Algoritma Metode Bagi Dua	20
Gambar 2.13	Grafik dari Metode Regula Falsi	21
Gambar 2.14	Algoritma dari Metode Iterasi Titik Tetap	22
Gambar 2.15	Iterasi Newton-Raphson Secara Grafis	23
Gambar 2.16	Iterasi Metode Secant Secara Grafis	24
Gambar 2.17	Titik n Sebagai Titik Dasar	26
Gambar 2.18	Titik $r+1$ Sebagai Titik Dasar	27
Gambar 2.19	Contoh Hasil Pengujian Menggunakan Ansys	29
Gambar 2.20	Kurva Tegangan – Perpanjangan	31
Gambar 2.21	Konstruksi Considere	33
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3.2	Ikon Ansys	39
Gambar 3.3	Tampilan Awal Ansys	39
Gambar 3.4	Cara Memasukkan <i>Engineering Data</i>	40
Gambar 3.5	Proses Pemindahan Model ke Ansys Workbench	40
Gambar 3.6	Tampilan Awal Ansys Workbench	41
Gambar 3.7	Proses Meshing	41
Gambar 3.8	Menentukan Titik Pembebanan dan Fixed Support	42
Gambar 4.1	Model Blok Silinder Diameter Tabung 100 mm	43
Gambar 4.2	Model Blok Silinder Diameter Tabung 102 mm	43
Gambar 4.3	Model Blok Silinder Diameter Tabung 104 mm	44
Gambar 4.4	Posisi Top 1 Mesin 6 Silinder	44
Gambar 4.5	Total Deformation Model Blok 100 mm	45
Gambar 4.6	Equivalent Stress Model Blok 100 mm	45
Gambar 4.7	Total Deformation Model Blok 102 mm	46
Gambar 4.8	Equivalent Stress Model Blok 102 mm	46
Gambar 4.9	Total Deformation Model Blok 104 mm	47
Gambar 4.10	Equivalent Stress Model Blok 104 mm	47
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Geometri dengan Total Deformasi	48
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan Geometri dengan Tegangan Maksimal	49

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Halaman
E	Modulus Young	30
μ	Kekakuan atau Modulus Geser	30
K	Modulus Curah	30
P	Beban Uji	32
A	Luas Benda Uji	32
l_0	Panjang Awal Spesimen	32
l_1	Panjang Akhir Spesimen	32
σ	Tegangan	32
ε	Regangan	32
n	Koefisien Pengerasan Kerja	32
k	Koefisien Kekuatan	32
σ_c	Kekuatan Tekan	34
F	Gaya Tekan	34
A	Luas Penampang Melintang	34

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi dan kegiatan industri, terutama yang berhubungan transportasi dan ekspedisi pengiriman barang, sangat dibutuhkan fasilitas yang mampu bekerja keras untuk mengangkut muatan yang cukup banyak. Dalam hal ini yang dimaksud adalah mobil truk yang biasa dipakai untuk memuat barang-barang yang biasa digunakan untuk kelangsungan hidup manusia. Mobil truk yang digunakan untuk mengangkut beban umumnya menggunakan mesin diesel sebagai sumber tenaga penggerak pada mobil truk tersebut.

Mesin diesel yang digunakan haruslah memiliki daya tahan kerja yang kuat agar proses pengangkutan ataupun pengiriman barang tidak terganggu atau bahkan menghambat proses pengiriman apabila terjadi masalah pada mesin mobil truk tersebut di tengah perjalanan. Dalam hal ini yang menjadi pokok pembahasan adalah blok silinder dari mesin diesel tersebut, dan yang menjadi titik acuan dari pengujiannya adalah struktur dari blok silinder itu sendiri. Pada pengujian ini akan dibuat 3 pemodelan blok silinder, dan ketiganya akan diuji untuk mengetahui perbandingan dari struktur ketiga blok silinder tersebut.

Untuk mencari kekuatan struktur daripada model blok silinder yang akan diteliti, maka diperlukan sebuah program komputer yang dapat melakukan simulasi secara visual. Dalam hal ini yang dimaksud adalah sebuah program dari perangkat komputer yang menggunakan metode elemen hingga yang dapat melakukan analisa numerik dari sebuah desain produk, yang dimaksud disini adalah program ANSYS v15.

Dengan latar belakang ini maka penulis tertarik untuk mengadakan penelitian sebagai tugas sarjana dengan judul : “Analisa numerik pada struktur blok silinder mesin dengan variasi diameter tabung silinder”.

1.2. Rumusan Masalah

Perumusan masalah ini adalah bagaimana menganalisa struktur blok silinder dengan menggunakan metode elemen hingga, dengan variasi diameter tabung silinder dari blok silinder tersebut. Dalam hal ini yang dimaksud adalah simulasi dengan menggunakan program Ansys.

1.3. Ruang Lingkup

Untuk menghindari meluasnya masalah yang akan diuji, maka penulis akan membahas masalah yang berkaitan dengan analisa numerik ini, antara lain sebagai berikut :

- Pemodelan blok silinder yang akan dianalisa menggunakan Software CATIA v5R19
- Perangkat lunak yang digunakan untuk pengujian desain blok silinder ini berbasis *finite element methode*, yaitu software ANSYS v15
- Analisa yang dilakukan hanya untuk mengetahui kekuatan struktur dari desain 3 model blok silinder tersebut. Dalam hal ini yang dimaksud adalah nilai total deformasi dan tegangan ekivalen
- Metode simulasi yang digunakan adalah metode statis dengan pembebanan tekan dan beban yang bekerja ditetapkan sebesar 27 bar.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa secara simulasi pengujian kekuatan struktur pada blok silinder dengan variasi geometri yang pemodelannya sendiri dibuat menggunakan software CATIA v5R19 dan simulasi pengujiannya menggunakan software ANSYS v15.

1.5. Manfaat

Adapun manfaat dari penyusunan tugas sarjana ini adalah :

1. Mendapatkan informasi tentang pengujian blok silinder dengan menggunakan metode analisa numerik.
2. Dapat bermanfaat untuk penulis selanjutnya sebagai bahan referensi untuk pengujian blok silinder.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Blok Silinder

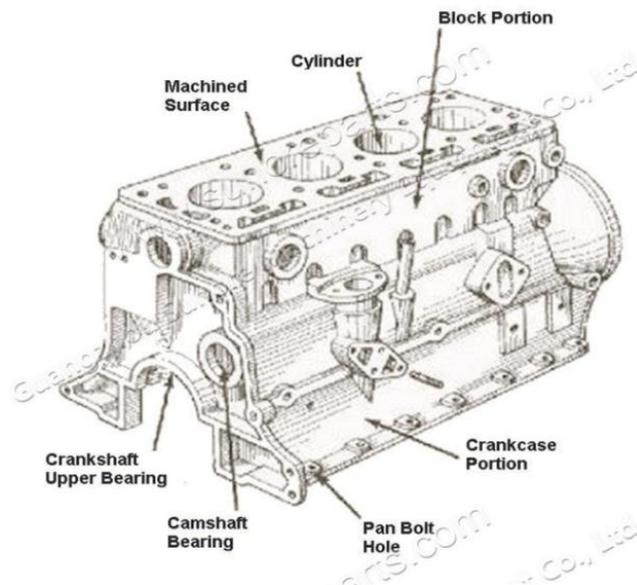
Blok silinder adalah struktur terpadu yang terdiri dari silinder mesin bolak-balik yang terdiri dari beberapa struktur pendukung didalamnya, seperti (saluran pendingin, saluran masuk dan pembuangan serta port, dan bak mesin). Istilah blok mesin sering digunakan secara sinonim dengan "blok silinder". Dalam hal dasar elemen-elemen mesin, berbagai bagian utama dari sebuah mesin (seperti silinder, kepala silinder, saluran pendingin, dan bak mesin) secara konseptual berbeda, dan konsep-konsep ini semua dapat dipakai sebagai potongan diskrit yang dibuat bersama-sama. konstruksi seperti itu sangat luas pada dekade awal komersialisasi mesin pembakaran internal (1880-an hingga 1920-an) dan kadang-kadang masih digunakan dalam aplikasi tertentu di mana ia tetap menguntungkan (terutama mesin yang sangat besar, tetapi juga beberapa mesin kecil).

(Mukesh Annamneedi dan Jithendra : 2016)

Blok mesin adalah salah satu komponen mesin pembakaran internal yang paling banyak dimuat. Mereka harus memenuhi persyaratan mengenai daya tahan dan fungsionalitas. Blok mesin biasanya terbuat dari besi cor dan atau di mesin modern, aluminium dan magnesium digunakan sebagai bahan dasarnya. Beban yang bekerja pada blok mesin adalah beban termal, beban mekanis dll.

(Suresh R : 2015)

Bagian-bagian lain dari sebuah mesin dipasangkan di dalam atau pada blok silinder, sehingga terbentuk susunan mesin yang lengkap. Pada blok silinder ini terdapat lubang silinder yang berdinding halus, dimana torak bergerak bolak-balik dan pada bagian sisi-sisi blok silinder dibuatkan sirip-sirip maupun lubang-lubang mantel air pendingin yang digunakan untuk sistem pendinginan dari mesin itu sendiri.



Gambar 2.1. Bagian-Bagian Blok Silinder

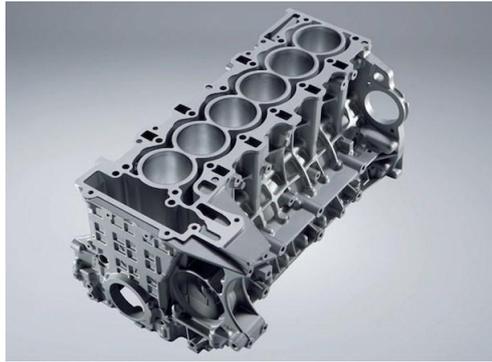
2.1.1. Fungsi Utama Blok Silinder

- Sebagai dudukan silinder liner dan kepala silinder
- Sebagai rumah mekanisme engkol (poros engkol, batang penghubung, piston, dll)
- Terdapat ruang dan lubang-lubang untuk aliran air pendingin dan sirkulasi oli yang masing-masing memiliki fungsi tersendiri

2.1.2. Jenis Konstruksi Berdasarkan Susunan Silinder

a) Tipe sebaris (*In Line*)

Dalam konfigurasi sebuah mesin, mesin segaris adalah sebuah mesin pembakaran dalam yang semua silindernya terletak segaris. Mesin seperti ini sudah banyak digunakan di dunia otomotif, penerbangan, dan lokomotif. Mesin segaris lebih mudah dibuat dari mesin jenis lainnya, seperti mesin flat atau mesin V karena hanya membutuhkan satu cabang silinder dan crankshaft. Mesin ini juga membutuhkan cylinder head dan camshaft yang lebih sedikit. Mesin jenis ini memiliki keuntungan dari segi kemudahan dalam hal segi konstruksi dan pembuatan. Selain itu tipe mesin dapat dibuat kompak sehingga menguntungkan pada penempatan di dalam kabin mesin. Tentunya kalau ada keuntungan pasti ada kerugiannya, ya kerugian mesin jenis ini bila semakin banyak silindernya maka makin sulit dicapai keseimbangan (balance dari mesin itu sendiri).



Gambar 2.2. Konfigurasi blok silinder tipe sebaris

b) Tipe V

Sesuai namanya maka mesin ini berbentuk seperti huruf V dimana memiliki sudut tertentu, Cara termudah melihatnya coba anda amati motor Harley davidson. Ya itu adalah mesin tipe V. Mesin V pertama kali dipatenkan oleh Karl Benz pada tahun 1896), Dalam perkembangnya penamaan mesin V sesuai jumlah silindernya, V2 untuk 2 silinder, V4, V6, V8, V10, V12,V16, V18,V20, bahkan sampai ke V24 (24 silinder). Mesin V memiliki Nilai gravitasi yang lebih rendah dan penggunaan pada mesin dengan silinder yang lebih banyak akan menghasilkan torsi maksimum yang lebih besar daripada mesin inline pada kapasitas mesin dan tehnologi yang sama.



Gambar 2.3. Konfigurasi blok silinder tipe V

c) Tipe Horizontal (*Boxer*)

Jenis susunan silinder ini, yang pistonnya bergerak secara horizontal, dan dibagi menjadi 2 sisi berlawanan. Contohnya: mesin terdiri dari 4 silinder maka 2 silinder terdapat pada sisi kiri dan 2 nya lagi terdapat pada sisi kanan.

Silinder untuk jenis susunan ini ditemukan oleh ilmuwan asal Jerman pada tahun 1986. Karakteristik dari jenis susunan ini adalah konstruksinya yang pendek, keseimbangan getaran lebih baik dari kedua jenis diatas, perlu 2 kolektor gas buang, dan saluran isap panjang jika hanya satu karburator.



Gambar 2.4. Konfigurasi Blok Silinder Tipe Horizontal

2.1.3. Material Yang Digunakan Dalam Pembuatan Blok Mesin

Material yang banyak digunakan adalah *cast iron* dan *aluminium alloy*. *Cast iron* dipilih karena memiliki *mechanical properties* yang baik, murah, dan ketersediaannya cukup banyak. *Aluminium alloys* memiliki sebagian besar sifat-sifat *cast iron* dengan berat yang lebih rendah. Selain itu, *aluminium alloy* juga memberikan *surface finish* yang baik dan juga *machineability* yang lebih tinggi daripada *cast iron*. Seiring dengan perkembangan teknologi, material baru pun ditemukan yaitu *graphite cast iron* yang lebih ringan dan kuat dibandingkan dengan *grey cast iron*.

1. *Grey Cast Iron Alloys*

Grey Cast Iron Alloys adalah material pertama dan paling banyak digunakan dalam pembuatan blok silinder. Meskipun *aluminium alloy* juga memiliki banyak persamaan dan lebih ringan daripada *grey cast iron*, material ini tetap digunakan dalam pembuatan blok silinder pada mesin diesel karena ketahanan stress internalnya lebih tinggi. *Grey cast iron* mengandung 2,5% – 4% karbon, 1 – 3% silicon, 0,2 – 1% mangan, 0,02 – 0,25% sulfur, dan 0,02 – 1% fosfor. Material ini memiliki penyerapan getar yang sangat baik, begitu pula dengan ketahanan pakai dan ketahanan thermalnya, serta mudah dalam

pemrosesan dan harganya yang cukup murah karena ketersediaan yang melimpah.

2. *Alluminium Alloys*

Alluminium Alloys sangat populer digunakan karena massanya yang ringan, hal ini membuat massa mesin juga berkurang secara signifikan. Tetapi, kelemahan utamanya adalah harganya yang lebih mahal dibanding *grey cast iron*. *Alluminium Alloys* memiliki *machineability* yang lebih baik daripada *grey cast iron*. Terdapat dua jenis *alluminium alloys* yang biasa digunakan dalam produksi blok silinder, yaitu 319 dan A356.

Alluminium Alloys 319 mengandung 85,8 – 91,5% *alluminium*, 5,5 – 6,5% *silicon*, 3 – 4% *copper*, 0,35% *nikel*, 0,25% *titanium*, 0,5% *mangan* 1% *iron*, 0,2% *magnesium*, dan 1% *zinc*. Campuran logam ini baik untuk proses *casting*, tahan korosi, dan memiliki konduktivitas thermal yang baik. Dibawah proses *heat treatment* T5, diperoleh kekuatan dan kekakuan yang yang tinggi untuk blok silinder.

Alluminium Alloys A356 mengandung 91,1 – 93% *alluminium*, 6,5 – 7,5% *silicon*, 0,25 – 0,45% *magnesium*, 0,2% *copper*, 0,2% *titanium*, 0,2% *iron*, dan 1% *zinc*. Meskipun memiliki sifat mekanis yang sama dengan 319. Jika A356 berada dalam *heat treatment* T6 akan diperoleh kekuatan yang lebih tinggi daripada 319. Tetapi modulus elastisitasnya (72,4 GPa) lebih rendah dibandingkan dengan 319 (74 GPa).

3. *Compacted Graphite Cast Iron*

Compacted Graphite Cast Iron memiliki *tensile of strength* dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada *grey cast iron*. Hal ini karena compact graphite yang ditemukan dalam mikrostruktur dari CGI. Material ini memiliki tingkat penyerapan getaran yang sebaik *gray cast iron* namun *machineability*-nya rendah.

2.1.4. Proses Pembuatan Blok Silinder

Proses pembuatan blok silinder sama seperti proses pembuatan barang-barang lain yang dibuat melalui *sand casting*. Pertama dibuat *mold* dari campuran pasir, *silica clay*, dan air. *Mold* tersebut adalah beberapa *core* yang disatukan melalui pemanasan dan kompresi. Untuk bentuk bagian dalam *mold cavity* yang

rumit, digunakan pattern yang biasanya terbuat dari kayu. Setelah *mold* siap digunakan, barulah logam bahan baku dilelehkan pada tungku khusus. Untuk melelehkan *aluminium alloy* dibutuhkan suhu hingga 948 derajat celcius. Temperatur yang digunakan berbeda beda untuk material berbeda.



Gambar 2.5. Core dan Wooden Pattern

Lelehan material tersebut kemudian dialirkan ke dalam *mold* untuk dibiarkan mengalami proses solidifikasi. *Riser* mengambil peranan yang sangat penting dalam proses ini sehingga peletakan dan ukurannya harus sangat diperhatikan. *Riser* yang baik harus memadat paling akhir setelah seluruh bagian *molten material* memadat.



Gambar 2.6. Core yang telah disatukan dan siap digunakan

Setelah memadat sempurna, mold dimasukkan kedalam mesin pemanas yang melelehkan rekatan *silica clay* sehingga pasir yang menjadi bahan dasar

mold terlepas. Pemansan ini juga meningkatkan kekuatan blok silinder. Namun, hasil yang diperoleh masih harus diproses kembali untuk menghilangkan sisa *riser* dan juga menghaluskan permukaan. Proses *finishing* ini akan menghasilkan blok silinder yang siap digunakan untuk proses perakitan mesin selanjutnya.



Gambar 2.7. Blok Silinder Hasil *Sand Casting*

(Irvan Zulkarnain, Academia.edu)

2.2. Perangkat Lunak Desain

CATIA (*Computer Aided Three-dimensional Interactive Application*) merupakan sebuah perangkat lunak untuk membantu proses desain, rekayasa, dan manufaktur. Perangkat lunak yang diusung IBM ini umumnya dikategorikan sebagai *Computer Aided Design (CAD)*, *Computer Aided Engineering (CAE)*, dan *Computer Aided Manufacturing (CAM)*. Dengan CATIA, proses-proses pemodelan seluruhnya dilakukan secara digital sehingga tidak diperlukan lagi gambar manual ataupun model fisik. Misalnya assembly mobil atau pesawat terbang sepenuhnya dapat dilakukan di layar komputer, bahkan sebelum produknya jadi.

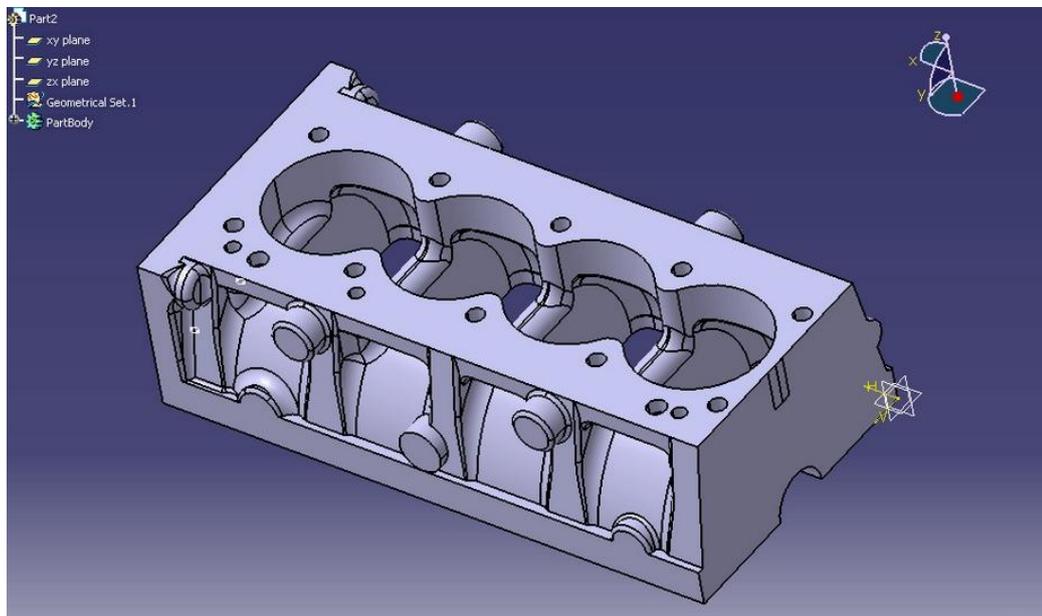
Sebagai perbandingan, di waktu yang lalu, desain sketsa produk dibuat menggunakan komputer Macintosh dan dimensinya dibuat dengan Adobe Illustrator, sehingga proses desainnya memakan waktu yang cukup lama, bahkan berbulan-bulan. Selanjutnya, proses analisis terhadap kekuatan dan kelayakan

produk yang dibuat juga dilakukan secara digital sehingga dapat mengurangi proses trial dan error.

Proses manufaktur juga diprogram dalam CATIA sehingga verifikasi dan validasi proses manufaktur dapat dilakukan secara offline sehingga tidak mengganggu proses produksi dan mengurangi reject. Pada mulanya CATIA dikembangkan oleh Dassault Systemes untuk keperluan Dassault Aviation. Dan baru sejak tahun 1981, CATIA digunakan secara komersial.

Kemudian pada 1982, CADAM digabungkan dengan CATIA dan dipasarkan oleh IBM. CATIA V5 yang baru saja merilis fitur terbarunya dan mendukung prosesor 64 bit, memang menjadi andalan industri di dunia. Setidaknya 80 ribu perusahaan di 80 negara menggunakannya.

Penggunaan di industri otomotif mencapai 33 persen, aerospace (16 persen), alat elektronik dan konsumen (13 persen), pabrikasi dan assembly (34 persen), juga pabrik dan kapal (4 persen).



Gambar 2.8. Contoh Pemodelan Menggunakan CATIA

Secara teknis, CATIA sangat mudah digunakan dan memiliki aplikasi yang lengkap dan lebih dari 140 modul untuk berbagai kebutuhan industri. Untuk mengoperasikan perangkat lunak ini tidak perlu ahli khusus. Yang dibutuhkan

tetap saja para ahli industri masing-masing dalam produk mereka. (Mhd. Daud Pinem, S.T, 2009 : 1-2)

2.3. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga berasal dari bidang analisis struktural dan secara luas dikembangkan dan dieksploitasi di industri dirgantara selama tahun 50-an dan 60-an. metode-metode semacam itu dengan kuat ditetapkan dalam teknik sipil dan aeronautika, seperti yang disaksikan oleh penulis beberapa buku tentang masalah ini, seperti Zienkiewicz (1971), Desai dan Abel (1972) dan Nath (1974). Metode elemen hingga juga banyak digunakan oleh insinyur mekanik, terutama untuk analisis tegangan pada komponen padat. keberhasilan mereka telah sedemikian rupa sehingga metode eksperimental yang melibatkan pelapisan getas, pengukur regangan atau efek fotoelastik sampai batas tertentu sudah usang. Masalah dalam mekanika fluida dan perpindahan panas, bagaimanapun, jauh lebih jarang dipecahkan dengan metode elemen hingga. Salah satu alasan yang mungkin untuk ini adalah bahwa masalah-masalah seperti itu dipersulit tidak begitu banyak oleh kompleksitas geometris seperti oleh sifat fisik diproses yang terlibat. misalnya, sejauh ini perhatian yang relatif kecil telah diberikan pada solusi elemen hingga masalah di mana konveksi termal penting.

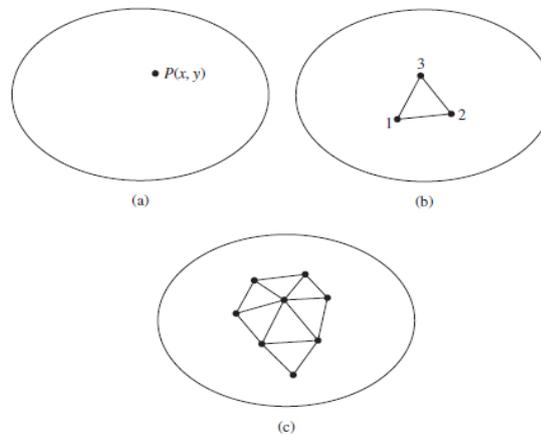
(Roger T. Fenner : 1996)

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk memecahkan permasalahan dalam bidang rekayasa ataupun bidang fisik lainnya. Permasalahan-permasalahan dalam bidang rekayasa yang dapat dipecahkan dengan metode ini adalah meliputi analisa struktur, analisa tegangan, perpindahan panas dan masa, serta medan elektromagnetik.

Permasalahan-permasalahan yang melibatkan bentuk geometri, kondisi pembebanan dan sifat mekanik material yang kompleks tidak mungkin untuk dipecahkan dengan menggunakan persamaan atau rumus matematis yang biasanya disebut dengan penyelesaian analitis. Penyelesaian analitis ini umumnya memerlukan penyelesaian persamaan diferensial parsial. Oleh karena itu, metode numerik seperti metode elemen hingga adalah metode yang banyak digunakan untuk memecahkan permasalahan-permasalahan yang kompleks tersebut. Hasil

yang diperoleh dengan menggunakan metode elemen hingga ini adalah berupa harga pendekatan dari sejumlah titik atau *node* pada kontinum bodi. Maka dalam pemodelan di dalam metode elemen hingga, suatu bodi dibagi menjadi beberapa nodi atau unit yang lebih kecil yang disebut dengan elemen, yang mana elemen-elemen tersebut saling berhubungan dengan elemen lain pada titik-titik simpul elemen atau dikenal dengan *node*. Proses pembagian ini disebut dengan diskritisasi. (Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, dkk : 2014)

Teknik umum dan terminologi analisis elemen hingga akan diperkenalkan dengan mengacu pada Gambar 2.9. Angka tersebut menggambarkan volume beberapa materi atau bahan yang diketahui memiliki sifat fisik. Volume mewakili domain masalah nilai batas yang harus dipecahkan. Untuk kesederhanaan, pada titik ini, kami menganggap kasus dua dimensi dengan variabel bidang tunggal (x, y) menjadi ditentukan pada setiap titik $P(x, y)$ sedemikian sehingga diketahui persamaan yang mengatur (atau persamaan) puas tepat pada setiap titik seperti itu.



Gambar 2.9. (a) Domain umum dua dimensi variabel lapangan (x, y).
 (b) Elemen hingga tiga simpul didefinisikan dalam domain. (c) Tambahan elemen yang menunjukkan mesh elemen hingga parsial domain.

Perhatikan bahwa ini menyiratkan secara tepat solusi matematis diperoleh; yaitu, solusinya adalah aljabar bentuk tertutup ekspresi dari variabel independen. Dalam masalah praktis, domain mungkin menjadi kompleks secara geometris seperti, sering, persamaan yang mengatur dan kemungkinan untuk mendapatkan

solusi bentuk tertutup yang tepat sangat rendah. Karenanya, perkiraan solusi berdasarkan teknik numerik dan komputasi digital adalah yang paling sering diperoleh dalam analisis teknik dari masalah kompleks.

Metode elemen hingga adalah teknik yang ampuh untuk mendapatkan solusi perkiraan dengan akurasi yang baik. Elemen kecil segitiga yang membungkus subdomain berukuran terbatas dari area tersebut, bunga ditunjukkan pada Gambar 2.9b. Bahwa elemen ini bukan elemen diferensial ukuran $dx \times dy$ yang membuat elemen ini terbatas. Seperti kita memperlakukan contoh ini sebagai masalah dua dimensi, diasumsikan bahwa ketebalan dalam arah z adalah konstan dan z ketergantungan tidak ditunjukkan dalam persamaan diferensial. Simpul dari elemen segitiga diberi nomor untuk menunjukkan bahwa titik-titik ini adalah node. Sebuah simpul adalah titik spesifik dalam elemen hingga di mana nilai variabel lapangan harus dihitung secara eksplisit. Node eksterior terletak di batas dari elemen hingga dan dapat digunakan untuk menghubungkan elemen ke finite yang berdekatan elemen. Node yang tidak terletak pada batas elemen adalah node interior dan tidak dapat dihubungkan ke elemen lain. Elemen segitiga pada Gambar 2.9b hanya memiliki node eksterior. Jika nilai-nilai variabel bidang dihitung hanya pada node, bagaimana juga nilainya diperoleh pada titik lain dalam elemen hingga? Jawabannya berisi inti dari metode elemen hingga: Nilai-nilai variabel lapangan dihitung pada node digunakan untuk memperkirakan nilai pada titik non node (yaitu, dalam elemen interior) dengan interpolasi nilai node. Untuk contoh segitiga tiga simpul, semua node eksterior dan, pada titik lain di dalam elemen, bidang variabel dijelaskan oleh perkiraan hubungan

$$\phi(x, y) = N_1(x, y)\phi_1 + N_2(x, y)\phi_2 + N_3(x, y)\phi_3 \quad (2.1)$$

di mana ϕ_1 , ϕ_2 , dan ϕ_3 adalah nilai-nilai variabel lapangan di node dan N_1 , N_2 , dan N_3 adalah fungsi interpolasi, juga dikenal sebagai fungsi bentuk atau blending fungsi. Dalam pendekatan elemen hingga, nilai nodal dari variabel field diperlakukan sebagai konstanta yang tidak diketahui yang harus ditentukan. Interpolasi fungsi paling sering berupa polinomial dari variabel independen, diturunkan untuk memenuhi kondisi tertentu yang diperlukan di node. Poin utama yang harus dibuat di sini adalah bahwa fungsi interpolasi sudah

ditentukan sebelumnya, diketahui fungsi independen variabel dan fungsi-fungsi ini menggambarkan variasi variabel bidang dalam elemen hingga.

Elemen segitiga yang dijelaskan oleh Persamaan 2.1 dikatakan memiliki 3 derajat kebebasan, karena tiga nilai nodal dari variabel lapangan diminta untuk dijelaskan variabel bidang di elemen mana saja. Ini akan menjadi kasus jika bidang variabel mewakili bidang skalar, seperti suhu dalam masalah perpindahan panas. Jika domain pada Gambar 2.9 mewakili tubuh yang tipis dan padat yang dikenakan plane stress, variabel lapangan menjadi vektor perpindahan dan nilai dari dua komponen harus dihitung pada setiap node. Dalam kasus terakhir, elemen segitiga tiga simpul memiliki 6 derajat kebebasan. Secara umum, jumlah derajat kebebasan yang terkait dengan elemen hingga sama dengan produk dari jumlah node dan jumlah nilai dari variabel field (dan mungkin turunannya) yang harus dihitung pada setiap node. Bagaimana pendekatan berbasis elemen ini bekerja di seluruh domain yang diminati? Seperti yang digambarkan pada Gambar 2.9c, setiap elemen terhubung pada bagian luarnya node ke elemen lain. Persamaan elemen hingga dirumuskan sedemikian rupa sehingga, pada koneksi nodal, nilai variabel bidang pada koneksi apa pun adalah sama untuk setiap elemen yang terhubung ke node. Dengan demikian, kontinuitas variabel lapangan di node dipastikan. Bahkan, formulasi elemen hingga adalah sedemikian rupa kontinuitas variabel lapangan melintasi batas antar elemen juga dipastikan. Fitur ini menghindari kemungkinan kesenjangan atau kekosongan fisik yang tidak dapat diterima dalam domain. Dalam masalah struktural, kesenjangan seperti itu akan mewakili fisik pemisahan material. Dalam transfer panas, "celah" akan terwujud bentuk suhu yang berbeda pada titik fisik yang sama. Meskipun kontinuitas variabel lapangan dari elemen ke elemen melekat untuk formulasi elemen hingga, kontinuitas antar gradien (mis., turunan) dari variabel lapangan umumnya tidak ada. Ini adalah pengamatan kritis. Dalam kebanyakan kasus, turunan seperti itu lebih menarik daripada variabel lapangan nilai-nilai. Sebagai contoh, dalam masalah struktural, variabel lapangan adalah perpindahan tetapi minat yang sebenarnya lebih sering pada ketegangan dan stres. Sebagai regangan didefinisikan dalam hal turunan pertama dari komponen perpindahan, regangan tidak kontinu melintasi elemen batas-batas. Namun, besarnya diskontinuitas

$$\text{Misal } \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & K & a_{11} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & K & a_{11} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & K & a_{11} \\ M & M & M & M & M \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & K & a_{nn} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ M \\ x_n \end{bmatrix} = x \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ M \\ b_n \end{bmatrix} = b$$

$$\text{Sehingga } Ax = b \tag{2.4}$$

Hal yang perlu diperhatikan adalah seluruh elemen $A \neq 0$. Jika ada elemen $A = 0$, maka lakukan pertukaran baris. Matriks A dapat diuraikan menjadi

$$\begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & K & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & K & 0 \\ 0 & 0 & a_{11} & K & 0 \\ M & M & M & M & M \\ 0 & 0 & 0 & K & a_{nn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & K & 0 \\ a_{21} & 0 & 0 & K & 0 \\ a_{31} & a_{32} & 0 & K & 0 \\ M & M & M & M & M \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{11} & K & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & a_{12} & a_{13} & K & a_{1n} \\ 0 & 0 & a_{23} & K & a_{2n} \\ 0 & 0 & 0 & K & a_{3n} \\ M & M & M & M & M \\ 0 & 0 & 0 & K & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{Jika } \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 & K & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & K & 0 \\ 0 & 0 & a_{11} & K & 0 \\ M & M & M & M & M \\ 0 & 0 & 0 & K & a_{nn} \end{bmatrix} = D;$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & K & 0 \\ a_{21} & 0 & 0 & K & 0 \\ a_{31} & a_{32} & 0 & K & 0 \\ M & M & M & M & M \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{11} & K & 0 \end{bmatrix} = L;$$

$$\begin{bmatrix} 0 & a_{12} & a_{13} & K & a_{1n} \\ 0 & 0 & a_{23} & K & a_{2n} \\ 0 & 0 & 0 & K & a_{3n} \\ M & M & M & M & M \\ 0 & 0 & 0 & K & 0 \end{bmatrix} = U$$

$$\text{Maka matriks } A \text{ dapat ditulis dalam bentuk } A = D + L + U \tag{2.5}$$

$$\text{Substitusi persamaan (2.5) ke (2.4) didapat, } (D + L + U)x = b \tag{2.6}$$

2.4.2. Solusi Persamaan dan Sistem Persamaan Non-Linear

2.4.2.1. Metode Penyelesaian Persamaan Non-Linier

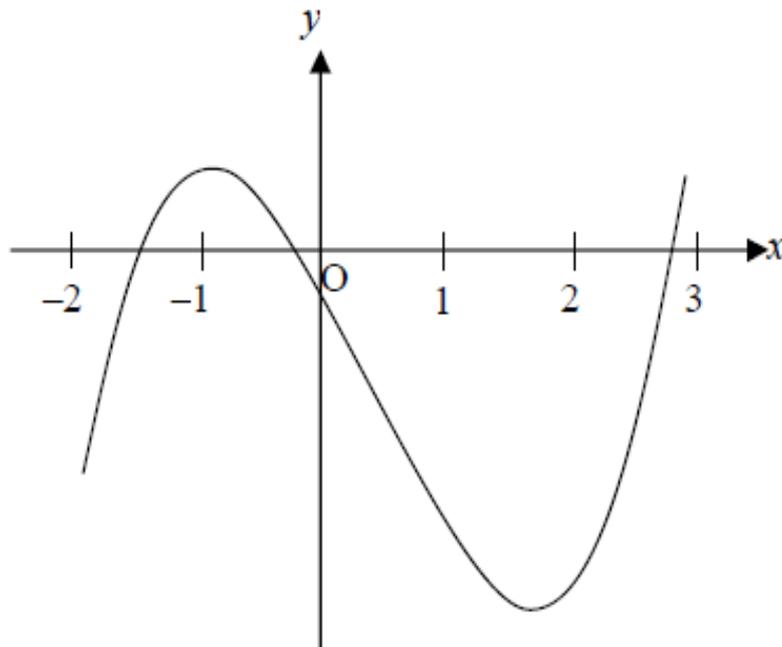
Secara garis besar, metode yang digunakan untuk menentukan akar-akar atau penyelesaian persamaan non-linier dikelompokkan menjadi metode, yaitu metode tertutup dan terbuka

A. Metode Tertutup atau Metode Pengurung (*Bracketing Method*)

Metode Tertutup disebut juga Metode Pengurung (*bracketingmethod*) adalah metode yang mencari akar atau akar-akar di dalam selang $[a, b]$. Metode tertutup terdiri dari beberapa jenis, yaitu metode grafis, metode bagi dua (*bisection*), dan metode posisi salah (*regula falsi*).

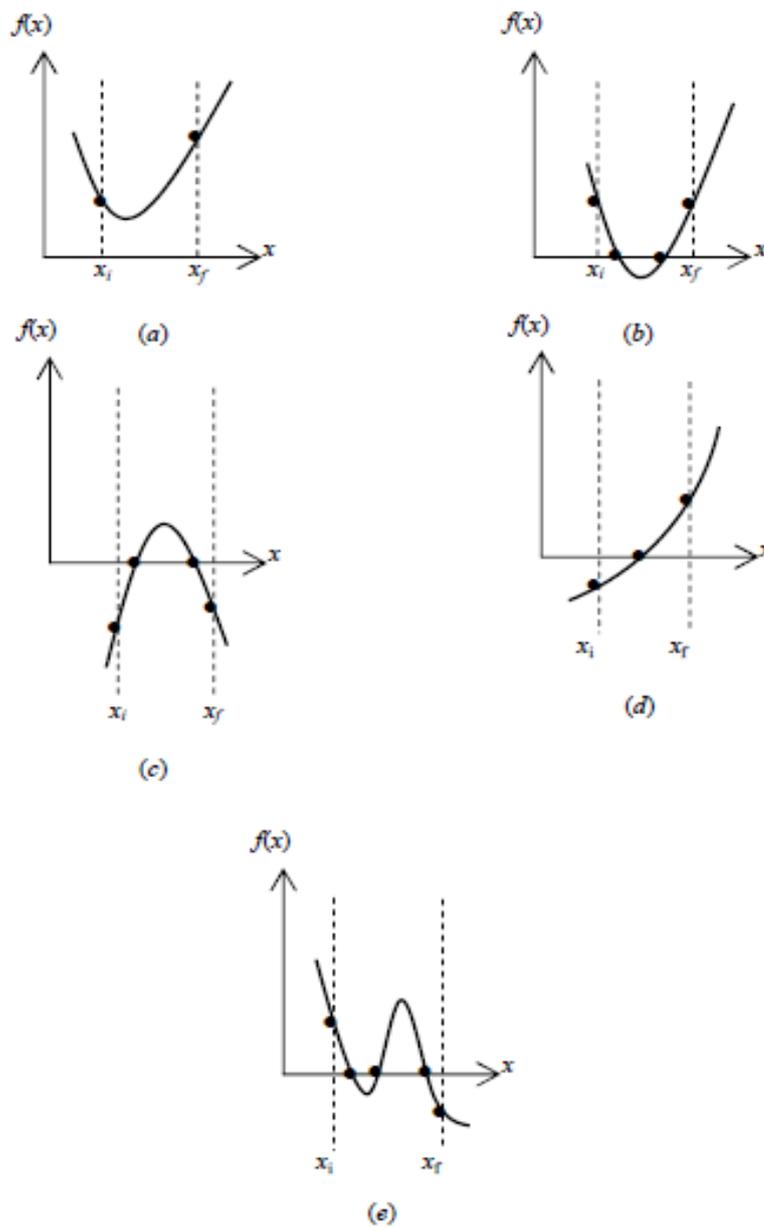
- Metode Grafis

Metode grafis adalah metode yang sederhana untuk memperoleh hampiran nilai x untuk fungsi $f(x) = 0$ atau titik di mana grafik fungsi memotong sb. x . Misal terdapat fungsi $f(x) = x^3 - x^2 - 4x - 1$. Lalu kita gambarkan grafik fungsi tersebut pada koordinat Kartesius (lihat gambar berikut).



Gambar. 2.10. Grafik fungsi $f(x) = x^3 - x^2 - 4x - 1$

Dari gambar tersebut kita dapat memperkirakan nilai dari akar-akar persamaan, yaitu $x_1 = (-1,4)$, $x_2 = (-0,3)$, dan $x_3 = (2,7)$. Kekurangan metode grafik adalah hasil yang didapat merupakan hampiran kasar. Dengan kata lain galat (*error*) yang dihasilkan lebih besar jika dibandingkan dengan metode lainnya. Sedangkan kelebihan adalah dapat memperlihatkan sifat-sifat fungsi.



Gambar 2.11. Sifat-sifat fungsi

Perhatikan Gambar 2.11. (a), (b), (c), dan (d). Misal $f(x)$ adalah fungsi yang kontinu dan tidak menyinggung sumbu x pada $[x_i, x_f]$. Jika $f(x_i)$ dan $f(x_f)$ mempunyai tanda yang sama; + dan + atau - dan -, maka jumlah titik potong $f(x)$ dengan sumbu x berjumlah genap (0, 2, 4, ...). Lihat gambar 2.11. (a), (b), dan (c).

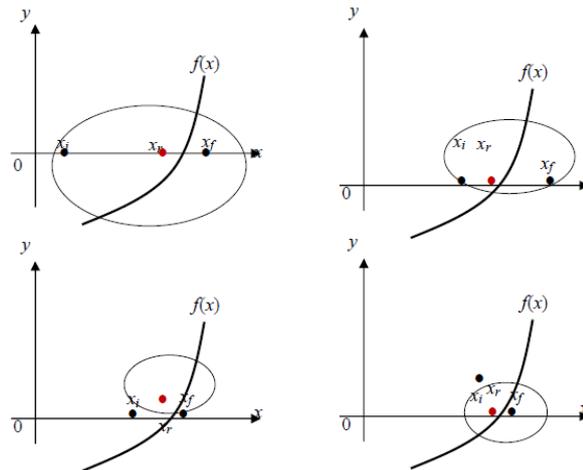
Jika $f(x_i)$ dan $f(x_f)$ mempunyai tanda yang berbeda; + dan - atau - dan +, maka jumlah titik potong $f(x)$ dengan sumbu x berjumlah ganjil (1, 3, 5, ...). Lihat gambar 2.11. (d) dan (e).

- Metode Bagi Dua (*Bisection*)

Metode bagi dua disebut juga pemotongan biner (*binary chopping*), metode pembagian dua (*interval halving*), atau metode Bolzano adalah metode suatu jenis pencarian nilai hampiran secara inkremental dengan cara membagi interval menjadi dua bagian. Prinsip metode bagi dua adalah mengurung akar fungsi pada interval $[x_i, x_f]$. Selanjutnya interval tersebut terus menerus dibagi dua hingga sekecil mungkin, sehingga nilai hampiran yang dicari dapat ditentukan dengan tingkat akurasi tertentu.

Algoritmanya adalah sebagai berikut:

1. Taksir batas bawah (x_i) dan batas atas (x_f) dengan syarat $f(x_i) \cdot f(x_f) < 0$
2. Hitung nilai hampiran akar dengan rumus, $x_r = \frac{x_i + x_f}{2}$
3. Jika $f(x_i) \cdot f(x_r) < 0$, maka $x_f = x_r$. Lanjutkan ke langkah 4
Jika $f(x_i) \cdot f(x_r) > 0$, maka $x_i = x_r$. Lanjutkan ke langkah 4
Jika $f(x_i) \cdot f(x_r) = 0$, maka akar = x_r . Stop.
4. Hitung nilai hampiran akar yang baru dengan rumus pada langkah 2. Ingat, nilai x_i dan/atau x_f adalah nilai baru yang didapat dari langkah 3.
5. Jika nilai akar telah mencapai tingkat akurasi yang telah ditentukan, stop komputasi. Jika tidak kembali ke langkah 3.



Gambar. 2.12. Grafik dari Algoritma Metode Bagi Dua

Nilai x_r dicari dengan rumus

$$x_r = \frac{x_f + x_i}{2} \quad (2.7)$$

Jumlah leleran atau iterasi *Runtuk* menjamin nilai solusi hampiran memiliki galat kurang dari batas toleransi kesalahan ϵ_{rh} adalah

$$R > \frac{\ln|x_f - x_i| - \ln\epsilon}{\ln 2} \quad (2.8)$$

- Metode Regula Falsi (*False Position Methode*)

Istilah *Regula Falsi* - berasal dari bahasa latin - atau Metode Posisi Palsu (*False Position Method*) termasuk metode tertutup atau metode pengurung.

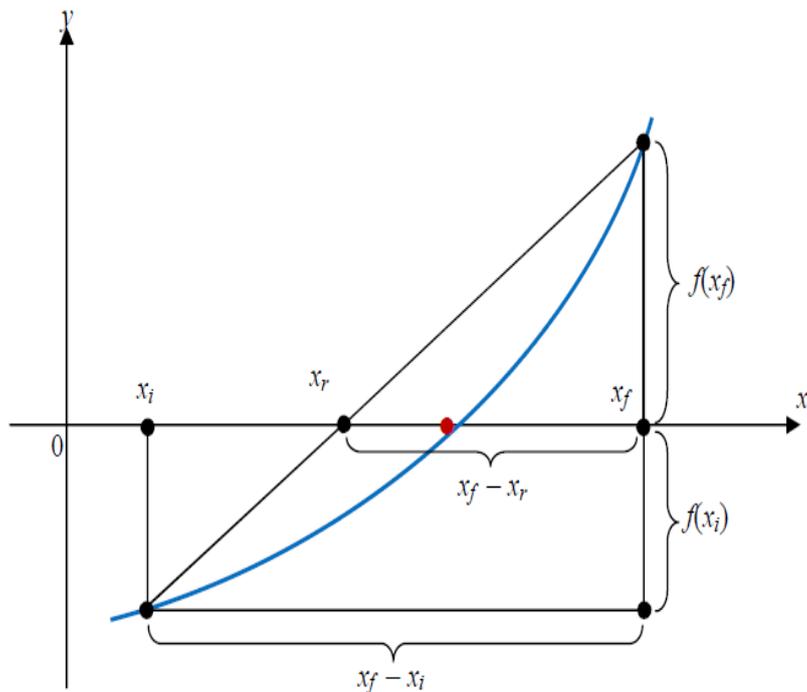
Perbedaannya dengan metode bagi dua adalah pada cara menentukan nilai akar. Persamaannya adalah nilai akar yang dicari dikurung oleh interval tertutup $[x_i, x_f]$.

Pada metode posisi palsu digunakan garis lurus yang menghubungkan titik koordinat $(x_i, f(x_i))$ dan $(x_f, f(x_f))$. Perpotongan garis yang dibuat dengan sumbu x menghasilkan taksiran nilai akar yang dicari.

Algoritmanya adalah sebagai berikut:

1. Taksir batas bawah (x_i) dan batas atas (x_f) dengan syarat $f(x_i) \cdot f(x_f) < 0$
2. Hitung nilai hampiran akar dengan rumus, $x_r = (x_i + x_f)/2$

3. Jika $f(x_i) \cdot f(x_r) < 0$, maka $x_f = x_r$. Lanjutkan ke langkah 4
 Jika $f(x_i) \cdot f(x_r) > 0$, maka $x_i = x_r$. Lanjutkan ke langkah 4
 Jika $f(x_i) \cdot f(x_r) = 0$, maka akar $= x_r$. Stop.
4. Hitung nilai hampiran akar yang baru dengan rumus pada langkah 2. Ingat, nilai x_i dan/atau x_f adalah nilai baru yang didapat dari langkah 3.
5. Jika nilai akar telah mencapai tingkat akurasi yang telah ditentukan, stopkomputasi. Jika tidak kembali ke langkah 3.



Gambar. 2.13. Grafik dari Metode Regula Falsi

Dari Gambar. 2.13 didapat $\frac{f(x_f) - f(x_i)}{x_f - x_i} = \frac{f(x_f)}{x_f - x_r}$

$$\text{Sehingga } x_r = x_f - \frac{f(x_f)(x_f - x_i)}{f(x_f) - f(x_i)} \quad (2.9)$$

B. Metode Terbuka

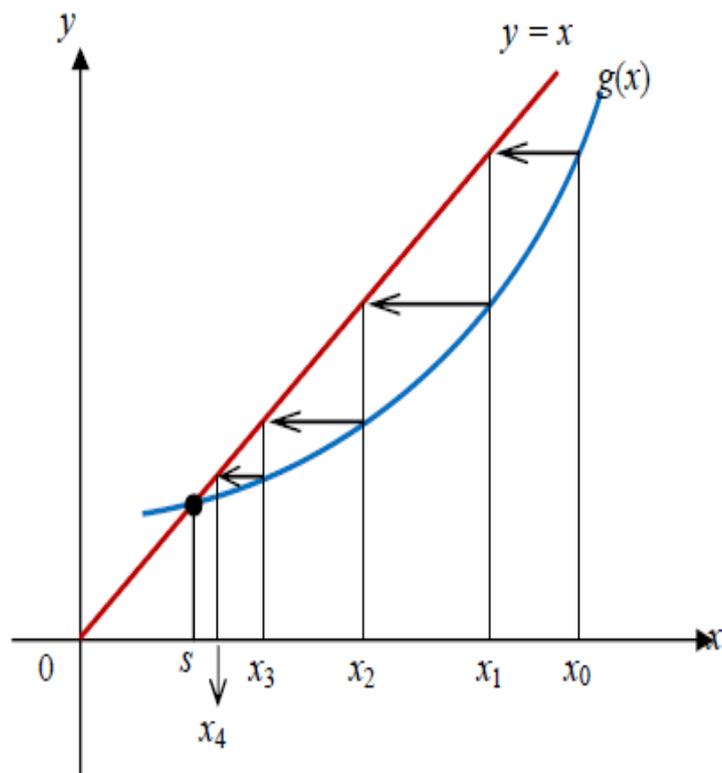
Metode terbuka adalah metode yang menggunakan satu, atau dua tebakan awal yang tidak perlu mengurung akar. Metode terbuka terdiri dari beberapa jenis, yaitu metode Iterasi Titik Tetap, metode Newton-Raphson, dan metode Secant.

- Metode Iterasi Titik Tetap

Metode ini juga disebut metode sederhana, langsung, atau metode sulihberuntun. Jika terdapat suatu fungsi $f(x)$ dan kita akan mencari akar atau akar-akar dari fungsi tersebut, berarti kita harus menetapkan $f(x) = 0$ sedemikian sehingga $x = g(x)$.

Algoritma dari metode iterasi titik tetap adalah:

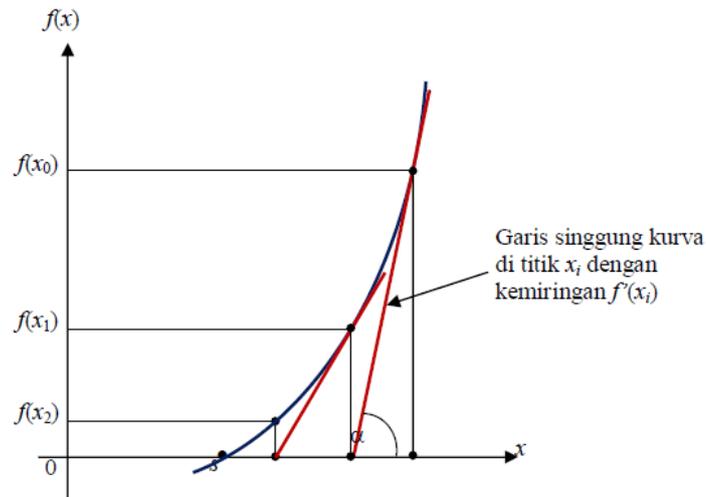
1. Bentuk fungsi $f(x)$ menjadi $f(x) = 0$
2. Dari no. 1 susun menjadi bentuk $x = g(x)$
3. Lakukan tebakan awal x_r
4. Hitung x_{r+1} dengan menggunakan rumus $x_{r+1} = g(x_r)$



Gambar. 2.14. Algoritma dari Metode Iterasi Titik Tetap

- Metode Newton-Raphson

Metode ini juga termasuk metode terbuka seperti halnya metode iterasi titik tetap. Rumus yang digunakan pada metode Newton-Raphson dapat diturunkan secara grafis maupun perluasan deret Taylor.



Gambar. 2.15. Iterasi Newton-Raphson Secara Grafis

$$f'(x_i) = \tan \alpha = \frac{f(x_i)}{x_i - x_{i+1}} \quad (2.10)$$

Sehingga Iterasi Newton-Raphson didapat

$$x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)} \quad (2.11)$$

- Penurunan rumus iterasi Newton-Raphson dengan perluasan deret Taylor.

Perluasan deret Taylor dapat dinyatakan sebagai,

$$f(x_{i+1}) = f(x_i) + f'(x_i)(x_{i+1} - x_i) + \frac{f''(\xi)}{2}(x_{i+1} - x_i)^2 \quad (2.12)$$

Sebagai langkah untuk menghitung solusi hampiran, kita dapat mengabaikan suku-suku setelah turunan pertama. Sehingga deret Taylor dapat dituliskan menjadi,

$$f(x_{i+1}) = f(x_i) + f'(x_i)(x_{i+1} - x_i) \quad (2.13)$$

Pada saat kurva memotong sumbu x , maka $f(x_{i+1}) = 0$

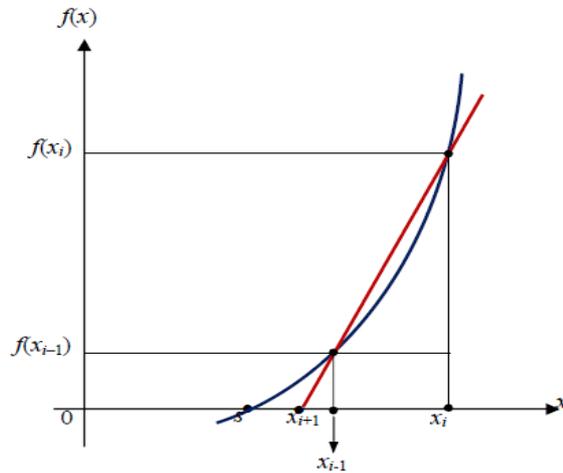
Jadi $0 = f(x_i) + f'(x_i)(x_{i+1} - x_i)$

$$\text{Atau } x_{i+1} = x_i - \frac{f(x_i)}{f'(x_i)} \quad (= \text{Persamaan 2.11})$$

- Metode Secant

Metode iterasi Secant merupakan metode yang dihasilkan dari modifikasi dari metode Newton-Raphson dengan cara mengganti $f'(x)$ pada persamaan (4.12) dengan bentuk yang mendekati seperti pada gambar berikut. Dari grafik dapat dilihat bahwa metode secant membutuhkan dua buah tebakan awal, seperti halnya pada metode bagi dua (*bisection*) atau

regula falsi. Bedanyadua tebakan awal pada metode secant tidak perlu mengurung solusi.



Gambar. 2.16. Iterasi Metode Secant Secara Grafis

2.4.2.2. Sistem Persamaan Non-Linear

Metode penyelesaian sistem persamaan non-linier terdiri dari metode iterasi titik tetap dan metode Newton-Raphson. Bentuk umum sistem persamaan non-linier adalah sebagai berikut.

$$\left. \begin{array}{l} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{array} \right\} \quad (2.14)$$

Solusi sistem persamaan menghasilkan nilai x_1, x_2, \dots, x_n yang memenuhi seluruh persamaan.

- Metode Iterasi Titik Tetap

Prosedur iterasi titik tetap untuk sistem persamaan linier yang terdiri dari misalnya, 3 persamaan adalah

$$\left. \begin{array}{l} x_{r+1} = g_1(x_r, y_r, z_r) \\ y_{r+1} = g_2(x_r, y_r, z_r) \\ z_{r+1} = g_3(x_r, y_r, z_r) \\ r = 0, 1, 2, \dots \end{array} \right\} \quad (2.15)$$

Metode iterasi titik tetap seperti pada persamaan (2.34) disebut metode Jacobi. Untuk meningkatkan kecepatan konvergensi, maka nilai hampiran variabel yang didapat langsung digunakan untuk menentukan nilai hampiran variabel selanjutnya.

Sehingga persamaan (2.34) menjadi

$$\left. \begin{aligned} x_r + 1 &= g_1(x_r, y_r, z_r) \\ y_r + 1 &= g_2(x_r + 1, y_r, z_r) \\ z_r + 1 &= g_3(x_r + 1, y_r + 1, z_r) \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Metode iterasi titik tetap seperti pada persamaan (2.34) disebut metode seidel.

2.4.3. Persamaan Differensial Biasa

2.4.3.1. Jenis-jenis persamaan differensial

Persamaan differensial dibedakan menurut orde, derajat, linieritas, dan jumlah variable bebas seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Jenis-jenis Persamaan Differensial

No	Persamaan Differensial	Orde	Derajat	Linier / Non-Linier	Biasa / Parsial
1	$\frac{dy}{dx} = 1$	1	1	Linier	Biasa
2	$\left(\frac{d^3y}{dx^3}\right)^2 = 3x$	3	2	Non-Linier	Biasa
3	$\left(\frac{d^3y}{dx^3}\right)^2 + 3\left(\frac{dy}{dx}\right)^3 + 2y = 0$	3	2	Non-Linier	Biasa
4	$yy'' + xy' = ex$	2	1	Non-Linier	Biasa
5	$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = f(x, y, z)$	2	1	Linier	Parsial
6	$\frac{\partial u}{\partial t} = c \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$	3	2	Linier	Parsial
7	$2y''' + yy'' = 0$	3	2	Non-Linier	Biasa

Solusi numerik yang akan dibahas hanya mencakup Persamaan Differensial Biasa (PDB) Orde Pertama.

2.4.3.2. Metode Penyelesaian Persamaan Differensial Biasa.

Metode-metode yang biasa digunakan untuk menentukan solusi PDB orde pertama adalah:

- Metode *Euler*
- Metode *Heun*
- Metode Deret *Taylor*
- Metode *Runge-Kutta*
- Metode *Predictor-Corrector*

A. Metode Euler

Metode Euler dibedakan menjadi 3 bentuk, yaitu:

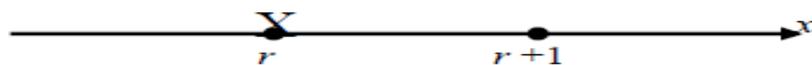
- Metode *Euler* Maju (*Forward*)
- Metode *Euler* Mundur (*Backward*)
- Metode *Euler* yang Dimodifikasi (*Modified*)
- Metode *Euler* Langkah Maju (*Forward*)

Tinjau Persamaan Differensial Biasa Orde Pertama berikut.

$$y' = f(x, y); y(x_0) = y_0 \quad (2.17)$$

Tentukan titik n sebagai titik dasar (Gambar 2.23) dan susun aproksimasi beda

hingga (finite difference) dari persamaan (2.17).



Gambar. 2.17. Titik n Sebagai Titik Dasar

Misal $y_r = y(x_r)$ adalah nilai hampiran y di titik x_r , dan $h = x_{r+1} - x_r$

Jika $y(x_{r+1})$ diuraikan disekitar x_n pada deret *Taylor*, maka didapat

$$y(x_{r+1}) = y(x_r) + \frac{x_{r+1} - x_r}{1!} y'(x_r) + \frac{(x_{r+1} - x_r)^2}{2!} y''(x_r) + K \quad (2.18)$$

Dua suku pertama pada persamaan (2.53) adalah

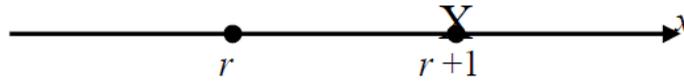
$$y(x_{r+1}) = y(x_r) + \frac{x_{r+1} - x_r}{1!} y'(x_r) \quad (2.19)$$

Substitusi persamaan (2.20) dan (2.21) ke (2.23) didapat

$$y(x_{r+1}) = y(x_r) + h(x_r, y_r) = y_r + hf_r \quad (2.20)$$

- Metode Euler Mundur (*Forward*)

Tentukan titik $r + 1$ sebagai titik dasar (Gambar 2.18) dan susun aproksimasibeda hingga (*finite difference*) dari persamaan (2.17).



Gambar. 2.18. Titik $r+1$ sebagai Titik Dasar

Jika $y(x_{r+1})$ diuraikan di sekitar x_n pada deret Taylor, maka didapat

$$y(x_{r+1}) = y(x_r) + \frac{x_{r+1} - x_r}{1!} y'(x_{r+1}) + \frac{(x_{r+1} - x_r)^2}{2!} y''(x_{r+1}) + K \quad (2.21)$$

Dua suku pertama pada persamaan (2.21)

$$y(x_{r+1}) = y(x_r) + \frac{x_{r+1} - x_r}{1!} y'(x_{r+1}) \quad (2.22)$$

Substitusi persamaan (2.17) dan (2.18) ke (2.19) didapat

$$y(x_{r+1}) = y(x_r) + hf(x_{r+1}, y_{r+1}) = y_r + hf_{r+1} \quad (2.23)$$

- Metode Heun

Metode Heun (disebut juga metode Prediktor-Korektor Euler yang dimodifikasi). Solusi dari metode ini terdiri dari dua langkah, yaitu Prediktor dan Korektor.

$$y_{r+1}^p = y_r + hf_r = y_r + h(x_r, y_r) \quad (2.24)$$

$$y_{r+1}^c = y_r + hf_r = y_r + \frac{1}{2} hf(x_r, y_r) + f(x_{r+1}, y_{r+1}^p) \quad (2.25)$$

- Metode Deret Taylor

Deret Taylor dapat digunakan untuk mengevaluasi suatu fungsi jika turunan dan nilai turunan pada suatu titik tertentu diketahui.

Misal terdapat PDB tak-linier,

$$y' = f(x, y) \quad ; \quad y(x_0) = y_0 \quad (2.26)$$

Misal $y_{r+1} = y(x_{r+1})$, $r = 1, 2, 3, \dots, n$ adalah hampiran nilai y di x_{r+1} disekitar x_r sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
y(x_{r+1}) &= y(x_r) + y'(x_r)(x_{r+1} - x_r) + \frac{1}{2!} y''(x_r)(x_{r+1} - x_r)^2 \\
&+ \frac{1}{3!} y'''(x_r)(x_{r+1} - x_r)^3 + K \\
&+ \frac{1}{n!} y^{(n)}(x_r)(x_{r+1} - x_r) + K
\end{aligned} \tag{2.27}$$

Atau

$$\begin{aligned}
y(x_{r+1}) &= y(x_r) + hy'(x_r) + \frac{1}{2!} h^2 y''(x_r) + \\
&+ \frac{1}{3!} h^3 y'''(x_r) + K + \frac{1}{n!} h^n y^{(n)}(x_r)
\end{aligned} \tag{2.28}$$

(Ir. Sudiadi, M.M.A.E. dan Ir.Rizani Teguh, MT, 2015)

2.5. Perangkat Lunak Simulasi dan Pengujian

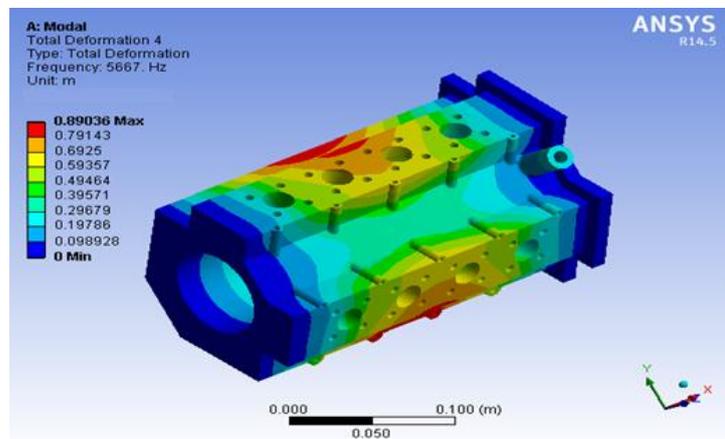
ANSYS Workbench adalah salah satu perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (*engineering*). **ANSYS Workbench** menyediakan fasilitas untuk berinteraksi antar *solvers* famili **ANSYS**. **ANSYS Workbench** juga dapat berintegrasi dengan perangkat lunak CAD sehingga memudahkan pengguna dalam membangun model geometri dengan berbagai perangkat lunak CAD. Beberapa perangkat tersebut adalah **CATIA** dan **SOLIDWORK**. **ANSYS** dapat berjalan di platform **Windows** dan **Linux**. (Mechanical Brother, WordPress).

ANSYS adalah program komputer elemen hingga tujuan umum komprehensif yang berisi lebih dari 100.000 baris kode. Ansys mampu melakukan analisis statis, dinamis, perpindahan panas, aliran fluida, dan elektromagnetisme. Ansys telah menjadi program analisis elemen hingga terkemuka selama lebih dari 20 tahun. versi Ansys saat ini memiliki tampilan yang sama sekali baru, dengan beberapa jendela yang menggabungkan *Graphical User Interface* (GUI), menu pull-down, kotak dialog, dan bilah alat. Hari ini, anda akan menemukan Ansys digunakan di banyak bidang teknik, termasuk aerospace, elektronik otomotif, dan nuklir. untuk menggunakan Ansys atau program komputer FEA (*Finite Element Analysis*) "kalengan" lainnya secara cerdas, sangat penting bagi seseorang untuk

sepenuhnya memahami konsep dasar yang mendasari dan keterbatasan metode elemen hingga.

Ansys adalah alat teknik yang sangat kuat dan mengesankan yang dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah. Namun, pengguna tanpa pemahaman dasar tentang metode elemen hingga akan mendapati dirinya dalam kesulitan yang sama dengan teknisi komputer dengan akses ke banyak instrumen dan alat yang mengesankan, tetapi siapa yang tidak dapat memperbaiki komputer karena ia tidak memahami bagian dalam cara kerja komputer.

(Saeed Moaveni : 1999)



Gambar 2.19. Contoh Hasil Pengujian Menggunakan ANSYS

2.6. Pegujian Mekanik

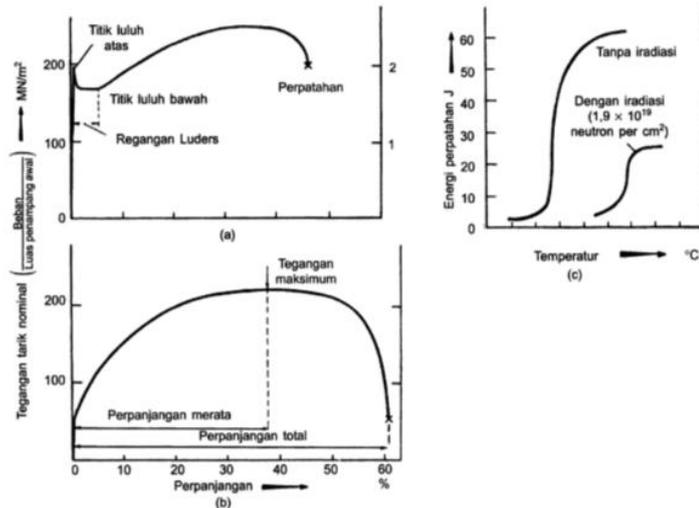
2.6.1. Uji Tarik

Pada uji tarik, kedua ujung benda uji dijepit, salah satu ujung dihubungkan dengan perangkat pengukur beban dari mesin uji dan ujung lainnya dihubungkan ke perangkat peregang. Regangan diterapkan melalui kepala-silang yang digerakkan motor dan elongasi benda uji ditunjukkan dengan pergerakan relatif dari benda uji. Beban yang diperlukan untuk menghasilkan regangan tersebut ditentukan dari defleksi elastis suatu balok atau *proving ring*, yang diukur dengan menggunakan metode hidrolik, optik, atau elektromekanik. Cara terakhir ini (dimana kemungkinan terjadi perubahan tahanan pada pengukur regangan yang ditempelkan pada balok) dengan sendirinya, mudah disesuaikan dengan sistem untuk mencatat otografik dari kurva beban-elongasi.

Kurva beban-elongasi untuk baja karbon sedang polikristalin dan tembaga ditampilkan pada gambar 2.8a dan 2.8b. Tegangan (beban per satuan luas, P/A) terhadap regangan (perubahan panjang per satuan panjang, d/l) dapat diperoleh setelah mengetahui dimensi benda uji. Pada tegangan rendah deformasi bersifat elastis, mampu balik (*reversible*), dan mengikuti hukum Hooke, yaitu tegangan berbanding lurus dengan regangan. Konstanta proporsional yang mengaitkan tegangan dengan regangan disebut modulus elastisitas dan dapat berupa (a) modulus elastisitas atau modulus Young, E , (b) kekakuan atau modulus geser, μ , atau (c) modulus curah, K , bergantung apakah regangan bersifat tarik, geser, atau kompresi hidrostatis. Modulus Young, modulus curah, modulus geser, dan rasio Poisson ν , yaitu rasio kontraksi lateral terhadap regangan longitudinal untuk tegangan tarik uniaksial, mempunyai hubungan sebagai berikut :

$$K = \frac{E}{2(1 - 2\nu)}, \mu = \frac{E}{2(1 + 2\nu)}, E = \frac{9K\mu}{3K + \mu} \quad (2.29)$$

Umumnya, limit elastis bukan merupakan definisi tegangan yang jelas, tetapi pada besi tidak murni dan baja karbon rendah, titik awal terjadinya deformasi plastis ditandai dengan penurunan beban secara tiba-tiba yang menunjukkan adanya titik luluh atas dan titik luluh bawah. Perilaku luluh ini merupakan karakteristik berbagai jenis logam, khususnya yang memiliki struktur bcc dan mengandung sejumlah kecil elemen larut. Untuk material yang tidak memiliki titik luluh yang jelas, berlaku definisi konvensional mengenai titik awal deformasi plastis, yaitu tegangan uji 0,1%. Disini ditarik garis sejajar dengan bagian elastis kurva tegangan-regangan dari titik dengan regangan 0,1%.



Gambar 2.20. Kurva tegangan-perpanjangan untuk (a) besi tidak murni, (b) tembaga, (c) transisi ulet-getas pada baja sedang

Untuk tujuan pengendalian, uji tarik memberikan informasi yang berharga mengenai kekuatan tarik ($TS = \text{beban maksimum/luas penampang awal}$) dan keuletan (persen reduksi penampang atau persen perpanjangan) material. Apabila dimanfaatkan sebagai teknik penelitian, diperlukan bentuk dan rincian kurva yang teliti. Namun demikian, perubahan tegangan luluh dan tegangan putus akibat variasi temperatur, penambahan paduan, dan ukuran butir jauh lebih penting.

Bertambahnya tegangan mulai dari luluh awal hingga TS (kuat tarik maksimum) menunjukkan bahwa benda uji mengalami pengerasan akibat deformasi (terjadi pengerasan-kerja). Pada peregangan malampaui TS , pengerasan kerja masih berlanjut, tetapi lajunya terlampaui kecil untuk mengimbangi reduksi luas penampang benda uji. Deformasi berubah menjadi tidak stabil, sehingga daerah tertentu pada panjang ukur benda uji mengalami regangan melebihi daerah lain. Tetapi pengerasan yang terjadi tidak memadai untuk meningkatkan tegangan sedemikian sehingga deformasi dapat berlanjut didaerah ini dan melebihi tegangan untuk menimbulkan regangan di tempat lain. Penciutan terjadi didaerah panjang ukur, dan deformasi terpusat didaerah ini hingga terjadi patahan. Dengan kondisi ini, penyusutan luas penampang $(A_0 - A_1)/A_0$ dimana A_0 dan A_1 adalah luas penampang awal dan luas penampang akhir didaerah penciutan, merupakan petunjuk mengenai regangan yang terlokalisir, dan menjadi indikator yang lebih baik dibandingkan regangan saat putus terhadap panjang ukur.

Kurva tegangan-regangan sesungguhnya seringkali digambarkan untuk memperlihatkan perilaku pengerasan-kerja dan pergenangan pada regangan yang besar. Tegangan sesungguhnya, σ sama dengan beban P dibagi luas benda uji A pada tahap regangan tertentu. Regangan total sesungguhnya ketika terjadi deformasi dari panjang awal l_0 hingga l_1 adalah $\varepsilon = \int_{l_0}^{l_1} (dl/l) = \ln(l_1/l_0)$. Kurva tegangan-regangan sesungguhnya cocok dengan hubungan ludwig $\sigma = k\varepsilon^n$ dimana n adalah koefisien pengerasan kerja dengan nilai $\approx 0,1 - 0,5$ dan k adalah koefisien kekuatan. Ketidakstabilan plastis, atau penciutan, terjadi apabila peningkatan regangan tidak menghasilkan penambahan beban pada spesimen, yaitu $dP = 0$, dan karena $P = \sigma A$, maka $dP = A d\sigma + \sigma dA = 0$ mendefinisikan kondisi ketidakstabilan. Selama deformasi, volume spesimen dianggap konstan ($dV = 0$) dan dari persamaan :

$$dV = d(lA) = Adl + l dA = 0 \quad (2.30)$$

Diperoleh

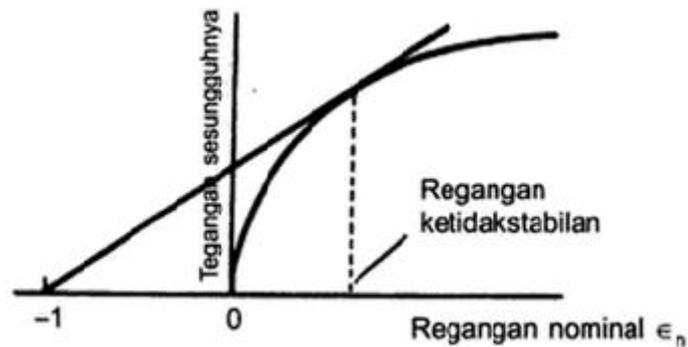
$$\frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{dA}{A} = \frac{dl}{l} = d\varepsilon \quad (2.31)$$

Jadi, penciutan terjadi pada regangan ketika kemiringan kurva tegangan-regangan sesungguhnya sama dengan tegangan sesungguhnya pada regangan tersebut, jadi $d\sigma/d\varepsilon = \sigma$. Sebaliknya karena $k\varepsilon^n = \sigma = d\sigma/d\varepsilon = nk\varepsilon^{n-1}$ maka $\varepsilon = n$ dan penciutan terjadi apabila regangan sesungguhnya sama dengan eksponen pengerasan regangan. Kondisi ketidakstabilan dapat pula dinyatakan dengan besaran konvensional (regangan nominal) sebagai

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{d\sigma}{d\varepsilon_n} \frac{d\varepsilon_n}{d\varepsilon} = \frac{d\sigma}{d\varepsilon_n} \left(\frac{dl/l_0}{dl/l} \right) = \frac{d\sigma}{d\varepsilon_n} \frac{l}{l_0} = \frac{d\sigma}{d\varepsilon_n} (1 + \varepsilon_n) = \sigma \quad (2.32)$$

yang memungkinkan letak titik ketidakstabilan ditentukan dengan menggunakan konstruksi Considère (lihat Gambar 2.9), dengan memplot kurva tegangan sesungguhnya terhadap regangan nominal dan menggambar garis singgung kurva dari $\varepsilon_n = -1$ pada sumbu regangan. Titik potong adalah tegangan ketidakstabilan dan kekuatan tariknya adalah $\sigma/(1 + \varepsilon_n)$.

Spesimen tarik juga memberikan informasi mengenai jenis perpatahan yang terjadi. Biasanya logam polikristalin mengalami perpatahan transgranular (yaitu permukaan perpatahannya menembus butir) dan tipe perpatahan “*cup and cone*” sering dijumpai pada logam ulet, seperti tembaga. Pada tipe perpatahan ini, perpatahan benda uji dimulai di pusat daerah yang mengalami penciutan dan mula-mula tumbuh tegak lurus pada sumbu tarik. Dengan demikian terbentuk “*cup*”, akan tetapi mendekati permukaan luar, perpatahan berubah menjadi bentuk “*cone*” dan permukaan patahan membentuk sudut 45° dengan sumbu tarik. Bila diperhatikan secara rinci,



Gambar 2.21. Konstruksi Considère

ternyata “*cup*” itu sendiri terdiri dari sejumlah permukaan tak beraturan yang membentuk sudut 45° dengan sumbu tarik, sehingga patahan tampak berserabut (*fibrous*). Rengkah (*cleavage*) juga merupakan tipe perpatahan transgranular yang sering kali terjadi, khususnya pada material dengan struktur bcc apabila diuji pada temperatur rendah. Permukaan patahan mengikuti bidang kristal tertentu (yaitu bidang {1 0 0}), dan butir menampilkan faset besar yang mengkilap, tetapi permukaan juga terlihat granular dengan “garis sungai” yang memotong faset dimana terdapat bidang rengkah. Kadang-kadang terjadi perpatahan interkristalin, dan seringkali tidak diiringi deformasi yang berarti. Tipe perpatahan ini biasanya ditimbulkan oleh fasa presipitasi kedua yang getas disekitar batas butir, seperti yang mengandung bismut atau antimon. (Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Material, 2000 : 214-216)

2.6.2 Uji Tekan

Uji tekan diperlukan untuk mengetahui kekuatan tekan suatu bahan. Peristiwa pembebanan tekan terjadi pada suatu bahan yang ada pada gilirannya perlu diketahui seberapa kekuatan tekan yang harus dipersiapkan atau mengetahui kekuatan tekan suatu bahan guna mengetahui batas wajar pembebanannya.

Umumnya kekuatan tekan lebih tinggi daripada kekuatan tarik, sehingga desain cukup dengan menggunakan data kekuatan tarik, tetapi jika pembebanannya hanya tekan, lalu dipakai data kekuatan tarik bahan, maka dapat menghasilkan desain berdimensi yang berlebihan.

Mesin Tarno Grocki juga dapat digunakan untuk uji tekan. Uji tekan mempunyai kemiripan dengan uji tarik. Spesimen uji tekan dapat berupa silinder atau segi empat. Perbandingan antara panjang dan diameter spesimen (L/d) menjadi pertimbangan penting. Pertimbangan L/d yang kecil untuk menghindari *buckling*, dan L/d yang kecil untuk menghindari pengaruh ujung spesimen (*end effect*). Untuk bahan ulat disukai $L/d= 3$, dan untuk bahan getas dapat dipilih $L/d = 1,5$ atau 2 . Pemotongan spesimen uji tekan haruslah tegak lurus terhadap sumbu, ketidak lurusan mengakibatkan spesimen dapat mengguling saat ditekan. Teknik sederhana memeriksa spesimen adalah meletakkan bidang potong pada bidang datar, kemudian memutar sambil disejajarkan dengan penggaris tegak lurus yang dihipitkan ke dinding silindernya, jarak yang tetap saat diputar menandakan spesimen sudah dipotong secara tegak lurus.

Uji tekan untuk spesimen plastik PVC (*Poly Vinyl Chloride*) dan PE (Polietilen) menunjukkan sifat ulet dan sifat getas. Penekanan batang silindris PVC berdiameter 20 mm dan panjang 40 mm hingga lebih 30% panjang spesimen menunjukkan perubahan bentuk menggebung seperti barrel memerlukan gaya lebih dari 2 ton tanpa pecah menandakan PVC kuat dan ulet, sementara PE dengan ukuran yang sama dengan pemendekan sekitar 30% panjang spesimen telah menunjukkan kerapuhannya yang jelas menandakan bahan tersebut tidak kuat dan getas.

Kekuatan tekan diperoleh dari:

$$\sigma_c = F / A \quad (2.33)$$

(Teknologi Bahan, 2016 : 68-69).

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

3.1.1. Tempat

Adapun tempat dilakukannya studi analisis numerik pada struktur blok silinder dengan menggunakan software catia V5R19 serta menganalisa menggunakan software ansys 15.0 dilakukan dilaboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.1.2. Waktu

Pengerjaan dan penyusunan tugas sarjana ini dilaksanakan 16 mei 2018 dan dinyatakan selesai oleh dosen pembimbing pada tanggal 12 Januari 2019

Tabel 3.1: Waktu Kegiatan

No	Kegiatan	Mei	Jun	Jul	Sep	Okt	Nov	Des	Jan
1	Studi Literatur								
2	Menentukan 3 Desain Blok Silinder								
3	Menggambar Spesimen								
4	Mensimulasi Desain Blok Silinder								
5	Menampilkan Gambar								
6	Menentukan Metode Pengujian								
7	Simulasi Pengujian								
8	Penyelesaian Skripsi								

3.2. Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam studi numeric ini adalah :

3.2.1. Komputer

Spesifikasi Komputer yang digunakan dalam studi numeric ini adalah sebagai berikut :

1. Processor : Xeon CPU-E3-1246-V3@3.5GHz
2. Ram : 8 GB
3. Operation System : Product ID (Windows 7 Profesional 64 bit)
4. Display : NVIDIA Quardo K620
5. Harddisk : 1 TB
6. DVD Rom : Lenovo
7. Monitor : Lenovo L1 2054, 19.5 Inch Resolusi 1440 x 900
8. Keyboard : Lenovo
9. Mouse : Lenovo

3.2.2. Software Catia

Software catia yang sudah terinstal pada komputer adalah catia V5R19 64 bit yang didalamnya terdapat sketch gambar 3D. Dengan persyaratan system pada computer adalah sebagai berikut :

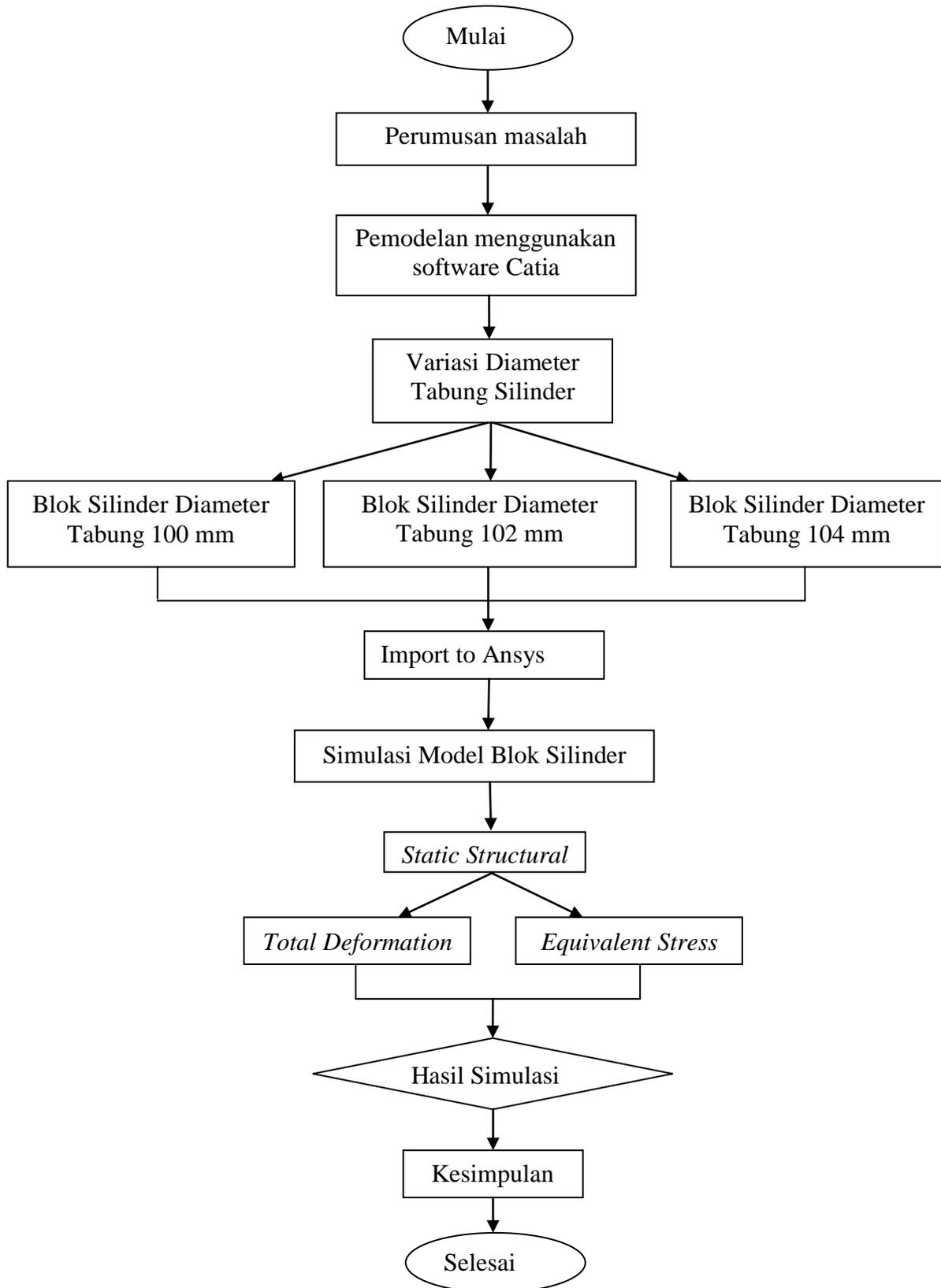
1. Processor : Xeon CPU-E3-1246-V3@3.5GHz
2. RAM : 8 GB
3. Disk Space : 5 GB or more

3.2.3. Software Ansys

Software ansys yang sudah terinstal pada komputer adalah ansysss 2015 yang didalamnya terdapat mechanical APDL 2015 dan workbench 2015. Dengan persyaratan system pada computer adalah sebagai berikut :

1. Processor : Xeon [CPU-E3-1246-V3@3.5GHz](#)
2. RAM : 8 GB
3. Disk Space : 15 GB or more

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4. Langkah Menggambar Blok Silinder

Berikut ini akan dijelaskan gambaran singkat bagaimana proses penggambaran model blok silinder.

1. Klik 2 kali ikon CATIA v5R19 pada tampilan awal desktop komputer.
2. Setelah itu, muncul tampilan awal workbench. Untuk masuk ke menu part design, langkah yang harus dilakukan adalah dengan meng-klik menu “File” > klik “New” > pilih opsi “Part” pada kotak dialog New tersebut. Atau bisa juga dengan cara menekan tombol “Ctrl+N” pada keyboard dan setelah itu pilih opsi “Part” pada kotak dialog yang muncul.
3. Setelah masuk ke tampilan part design, kita harus memilih sumbu yang akan kita gunakan sebagai acuan gambar kita nantinya. Hal ini dapat kita lakukan dengan memilih menu-menu sumbu yang ada disudut kiri atas tampilan part design. Disini terdapat 3 pilihan sumbu yang bisa kita gunakan sebagai acuan menggambar, yaitu sumbu x-y, sumbu y-z, dan sumbu z-x.
4. Pada penelitian ini, saya selaku penulis menggunakan sumbu z-x sebagai acuan gambar saya, ini berarti saya memulai gambar dari pandangan depan.
5. Setelah masuk ke lembar kerja (*sketcher*), disinilah kita membuat sketch pandangan depan dari blok silinder tersebut. Pada tahap ini sketch masih berupa bidang datar.
6. Setelah sketch dibuat, klik perintah “exit workbench” untuk membuat sketch blok silinder tadi menjadi suatu bangun ruang, dengan menggunakan perintah “pad” pada toolbar yang ada di tampilan workbench tersebut.
7. Selanjutnya, untuk membuat lubang-lubang seperti lubang tabung silinder, lubang oli, dan lubang-lubang saluran air, kita hanya harus memilih dari permukaan yang akan digambar dari bangun ruang yang sudah kita “pad” sebelumnya.
8. Untuk proses ataupun tahapan menggambar berupa tampilan gambar dapat dilihat pada lampiran belakang tugas akhir ini.

3.5. Prosedur Penggunaan Software Ansys

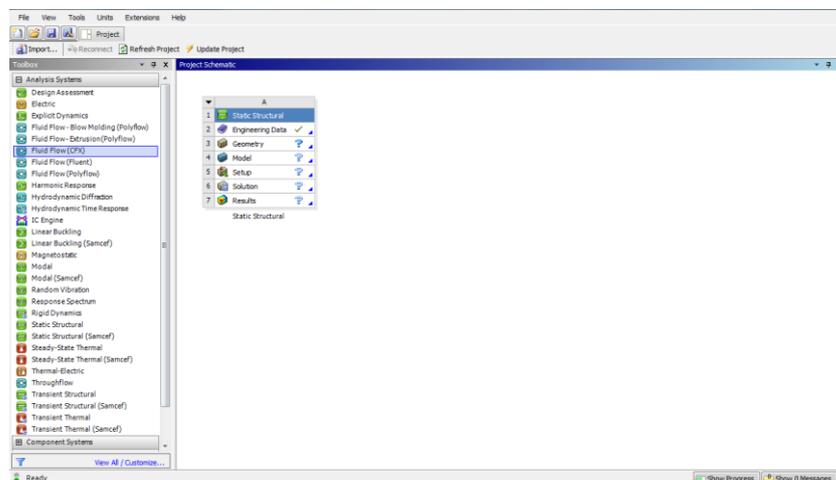
Berikut akan dijabarkan secara singkat bagaimana tahapan ataupun prosedur untuk menggunakan software ansys.

1. Klik 2 kali ikon ANSYS pada tampilan awal desktop komputer.



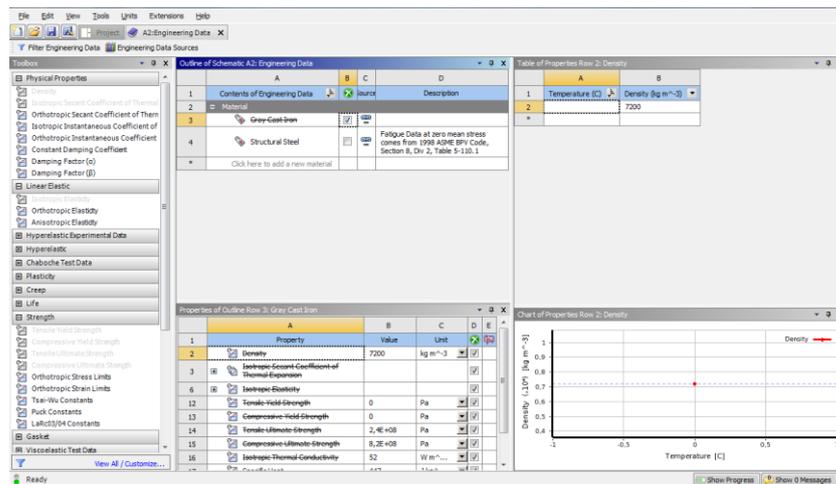
Gambar 3.2. Ikon Ansys

2. Setelah itu, muncul tampilan awal workbench. Di tampilan inilah kita akan memilih jenis pengujian apa yang akan digunakan, sehubungan dengan pengujian yang akan digunakan adalah pengujian statis, maka kita klik toolbar “*Static Structural*”.



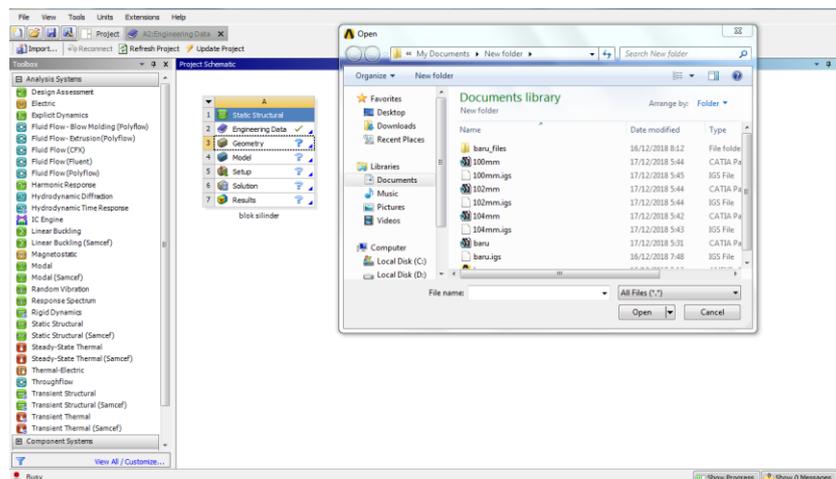
Gambar 3.3. Tampilan Awal Ansys

- Selanjutnya akan muncul kotak dialog baru yang berisi beberapa menu. Kita pilih engineering data untuk memasukkan data berupa material pada model yang akan diuji. Caranya dengan meng-klik kanan pada menu *Engineering Data >Engineering Data Sources > General Material > Gray Cast Iron > + >Engineering Data Sources > Gray Cast Iron >Return to project.*



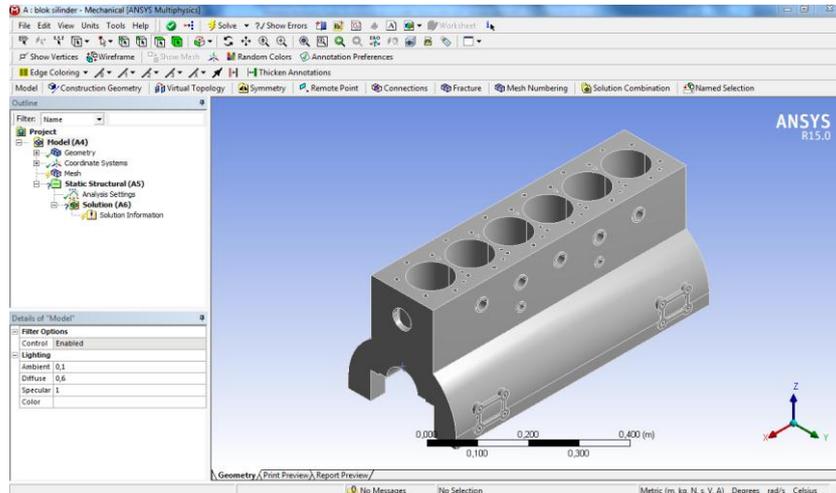
Gambar 3.4. Cara Memasukkan *Engineering Data*

- Untuk memasukkan desain pemodelan yang akan di uji, maka pada kotak dialog tersebut kita pilih geometri. Caranya dengan meng-klik kanan pada menu *Geometry>Import Geometry> file “iges”.*



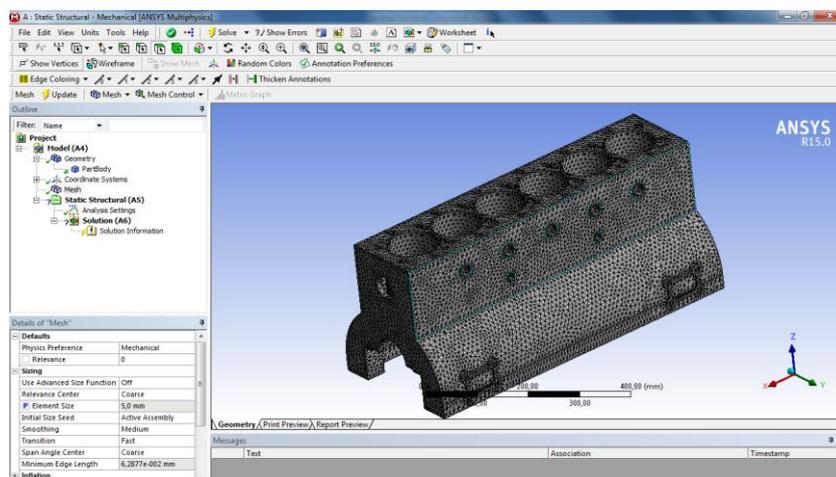
Gambar 3.5. Proses Pemindahan Model ke Ansys Workbench

- Setelah itu klik kanan pada menu *Model>Edit*. Maka kita akan dialihkan ke tampilan *workbench* ansys, disinilah proses simulasi pengujiannya akan berlangsung.



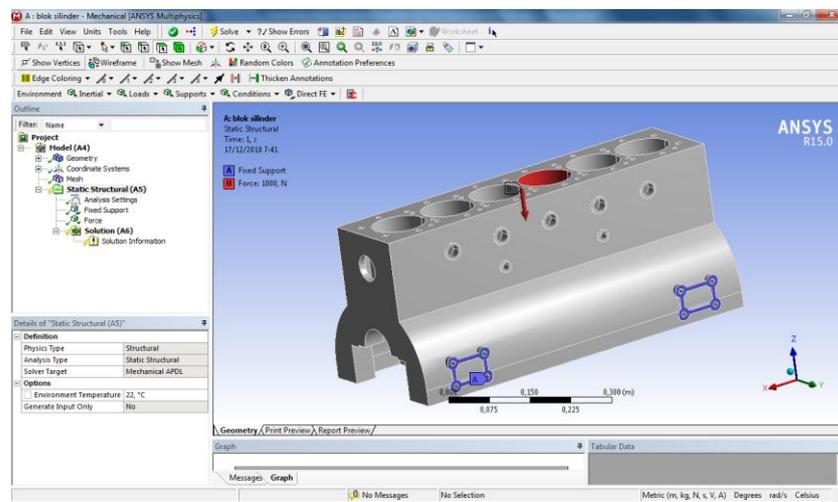
Gambar 3.6. Tampilan Awal Ansys Workbench

- Setelah model masuk ke workbench ansys, lakukan pemeriksaan gambar dengan cara klik kanan pada menu *Mesh>Generate Mesh*. Dan tunggu sampai proses *meshing* ini selesai. Disini akan diketahui apakah model yang sudah di desain sebelumnya dapat di uji atautkah rusak dikarenakan terjadi kesalahan pada saat proses desain model tersebut.



Gambar 3.7. Proses *Meshing*

- Setelah proses *meshing* selesai dan desain model dipastikan aman, maka selanjutnya kita masuk ke pengaturan analisa dengan cara meng-klik kanan pada menu *Static Structural*>*Insert*> pengujian yang akan digunakan. Setelah itu atur arah dan besarnya beban yang akan diberikan ke model. Setelah itu tentukan titik dimana letak “*Fixed Support*” pada model, caranya dengan mengklik kanan pada menu *Static Structural*>*Insert* >*Fixed Support*. Setelah itu tentukan titik untuk fixed supportnya.

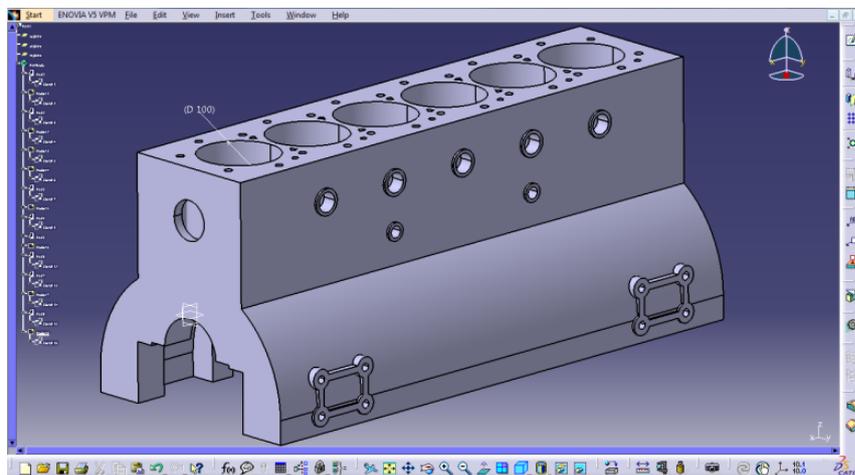


Gambar 3.8. Menentukan Titik Pembebanan dan *Fixed Support*

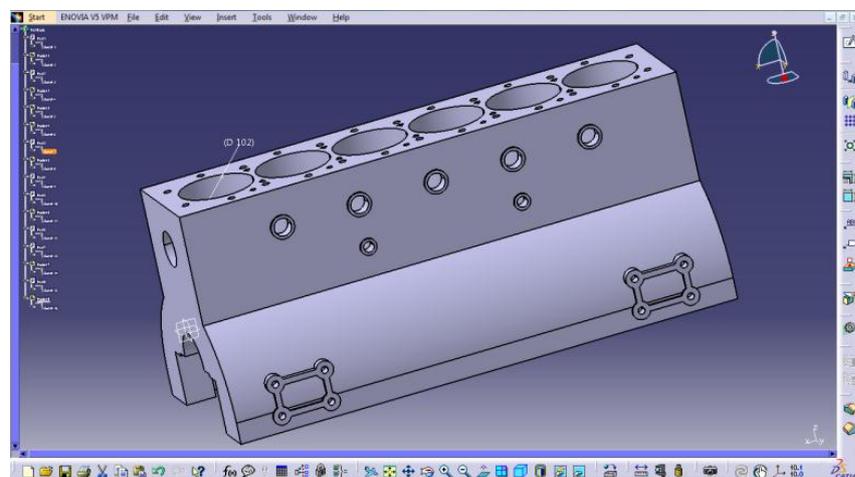
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemodelan Menggunakan Software Catia v5R19

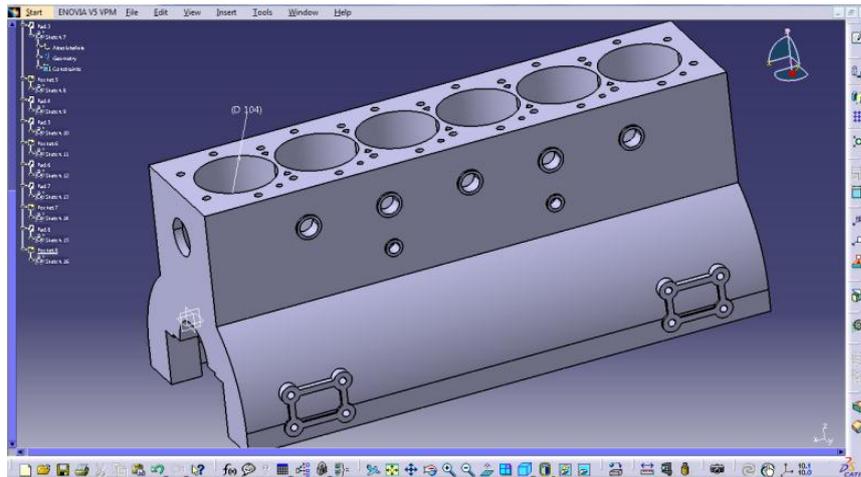
Variasi dari ketiga model desain blok silinder ini diambil dari ukuran diameter tabung silindernya. Pada model blok pertama, diameter silinder berukuran 100 mm. Sedangkan pada model blok kedua, ukuran diameter silinder adalah 102 mm. Dan pada model blok ketiga, diameter silinder memiliki ukuran sebesar 104 mm.



Gambar. 4.1. Model Blok Silinder Diameter Tabung 100 mm



Gambar. 4.2. Model Blok Silinder Diameter Tabung 102 mm

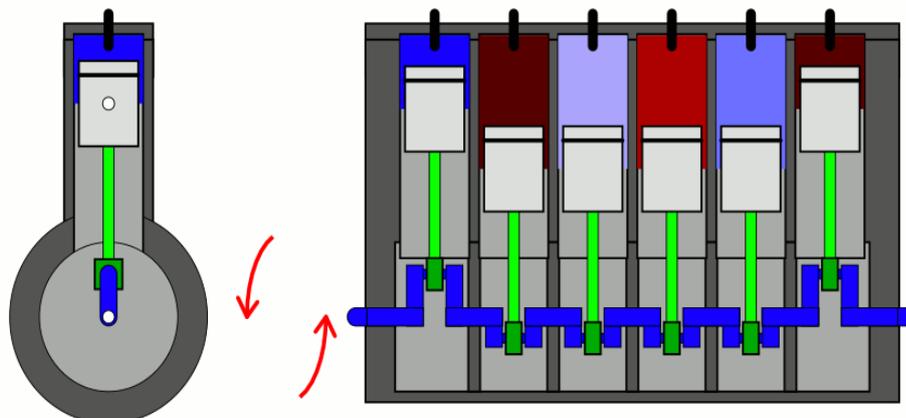


Gambar. 4.3. Model Blok Diameter Tabung 104 mm

4.2. Hasil Pengujian Model Blok Silinder

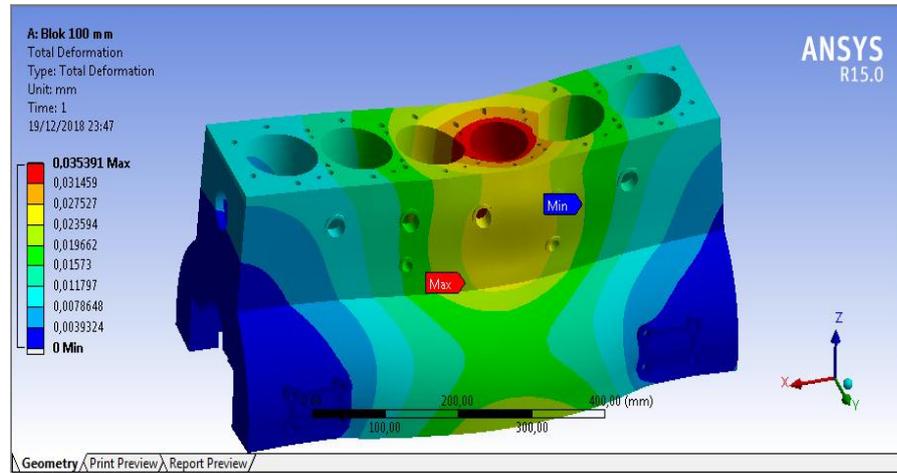
Simulasi yang diterapkan pada ketiga model silinder ini adalah metode *Static Structural* dengan sub metode *Pressure*. Dan posisi pembebanan berada pada silinder ke-4, dimana untuk mesin pembakaran dalam 6 silinder dengan urutan pengapian 1-5-3-6-2-4, pada saat ini dinamakan posisi top 1 ataupun silinder nomor 1 sedang terjadi proses langkah kompresi, dan silinder ke-4 sedang terjadi proses langkah usaha, dimana terjadinya sebuah ledakan dari ruang bakar sehingga menyebabkan piston terdorong turun akibat tekanan dari ledakan pada ruang bakar tersebut, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4.

Beban pengujian ini diasumsikan sebesar 27 bar, asumsi ini diambil berdasarkan tekanan kompresi normal dari sebuah mesin diesel yang berada di kisaran 275 PSI (19 bar) sampai dengan 495 PSI (34 bar).



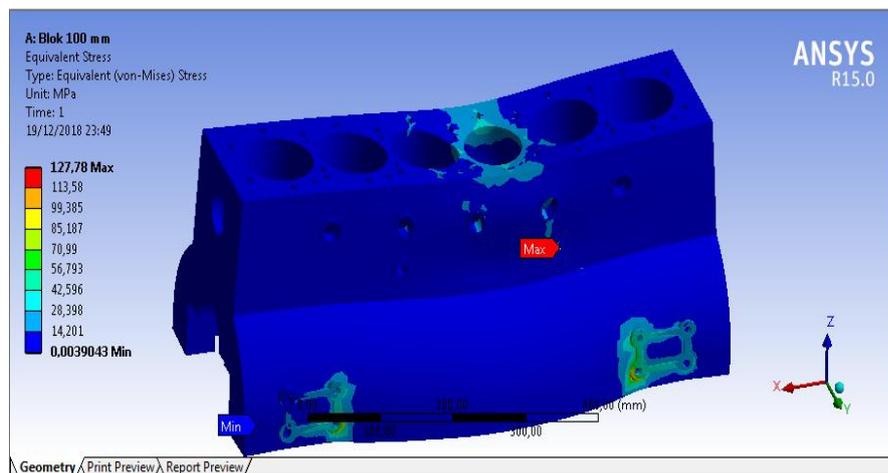
Gambar 4.4. Posisi Top 1 Mesin 6 Silinder

4.2.1 Hasil Pengujian Model Blok dengan Diameter Silinder 100 mm



Gambar 4.5. *Total Deformation* Model Blok 100 mm

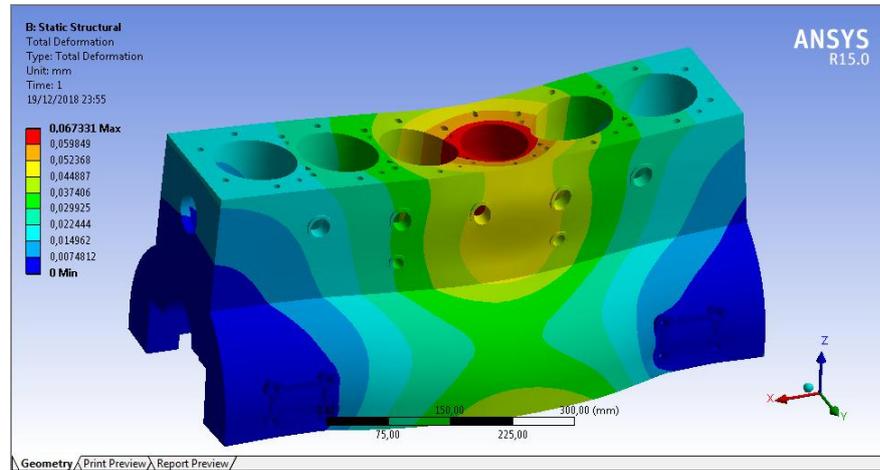
Berdasarkan hasil pengujian pada model blok dengan diameter silinder 100 mm, dengan pembebanan tekanan sebesar 27 bar (2,7 MPa) diperoleh nilai maksimal dari total deformasinya adalah sebesar 0,035391 mm.



Gambar 4.6. *Equivalent Stress* Model Blok 100 mm

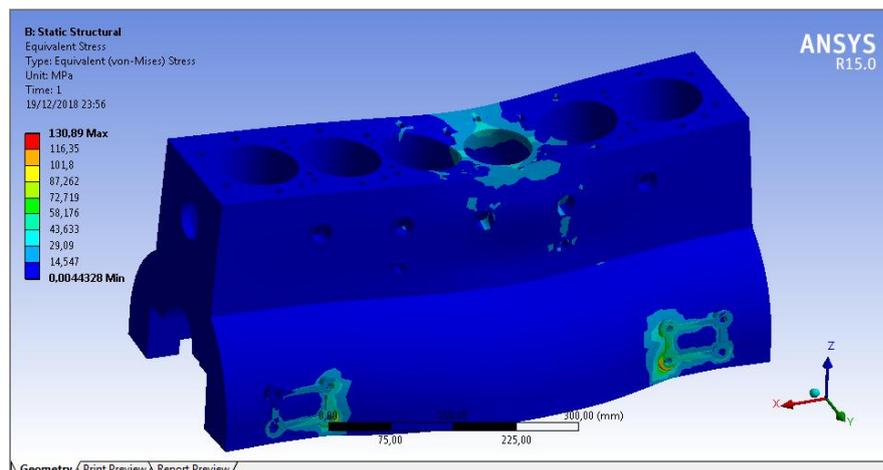
Nilai minimal dari *equivalent stress* pada model pertama adalah sebesar $3,9043 \times 10^{-3}$ MPa, sedangkan nilai maksimal dari *equivalent stress* adalah 127,78 MPa.

4.2.2 Hasil Pengujian Model Blok dengan Diameter Silinder 102 mm



Gambar 4.7. *Total Deformation* Model Blok 102 mm

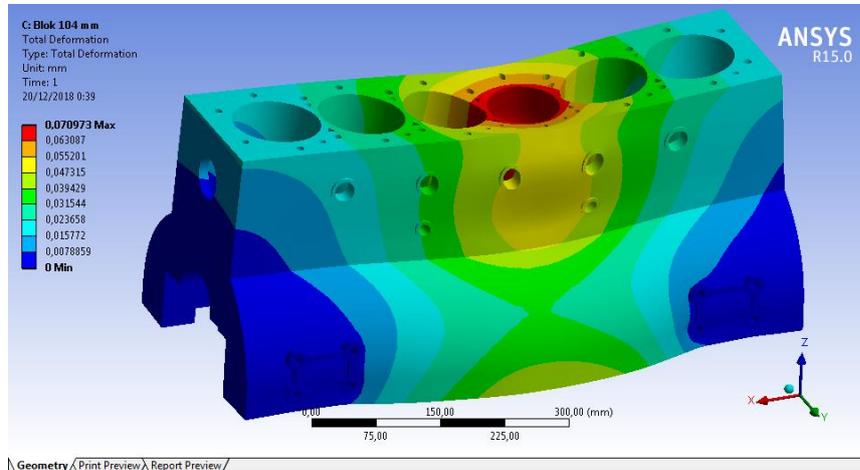
Berdasarkan hasil pengujian pada model blok dengan diameter silinder 102 mm, dengan pembebanan tekanan sebesar 27 bar (2,7 MPa) diperoleh nilai maksimal dari total deformasinya adalah sebesar 0,067331 mm.



Gambar 4.8. *Equivalent Stress* Model Blok 102 mm

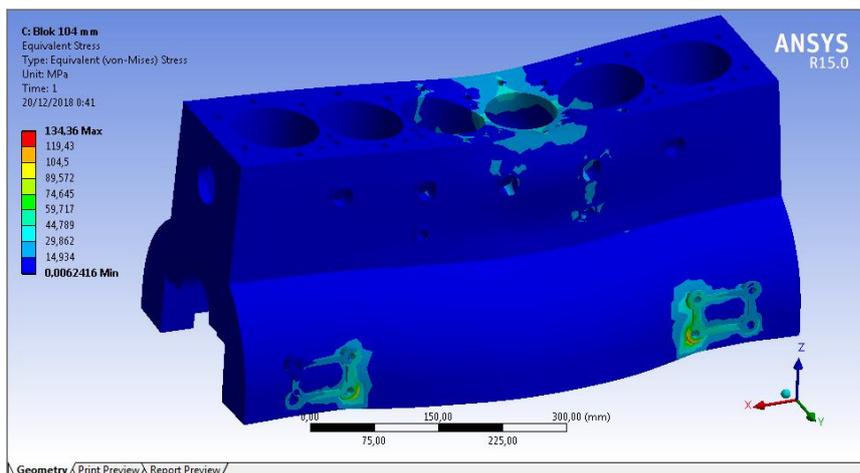
Nilai minimal dari equivalent stress pada model kedua adalah sebesar $4,4328 \times 10^{-3}$ MPa, sedangkan nilai maksimal dari equivalent stress adalah 130,89 MPa.

4.2.3 Hasil Pengujian Model Blok dengan Diameter Silinder 104 mm



Gambar 4.9. *Total Deformation* Model Blok 104 mm

Berdasarkan hasil pengujian pada model blok dengan diameter silinder 104 mm, dengan pembebanan tekanan sebesar 27 bar (2,7 MPa) diperoleh nilai maksimal dari total deformasinya adalah sebesar 0,070973 mm.

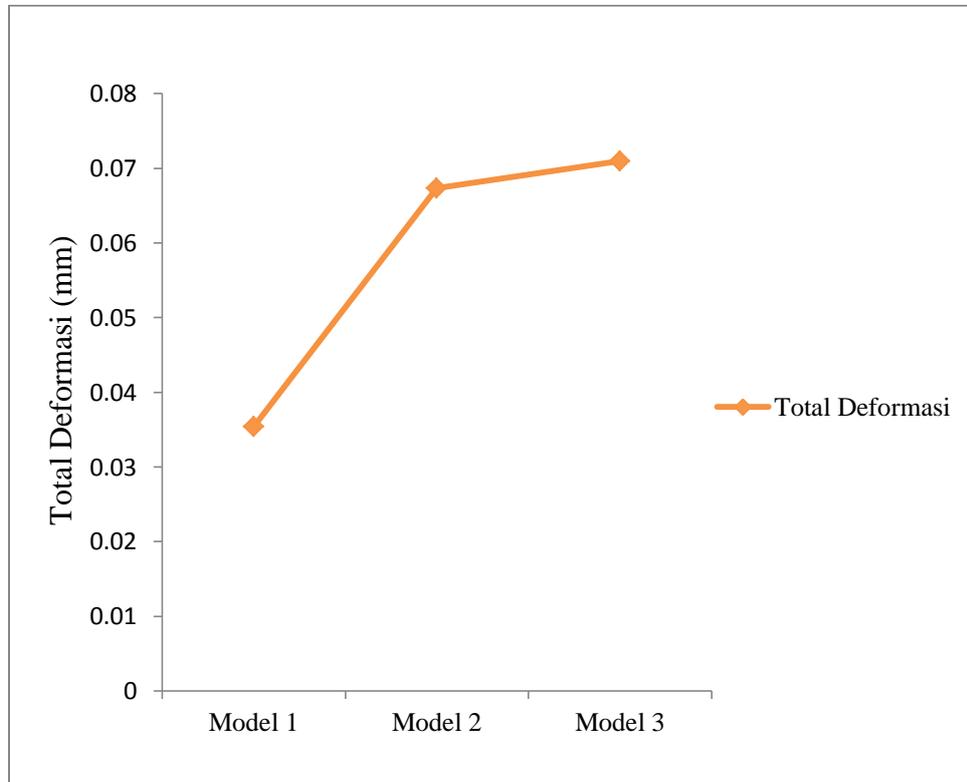


Gambar 4.10. *Equivalent Stress* Model Blok 104 mm

Nilai minimal dari equivalent stress pada model ketiga adalah sebesar $6,2416 \times 10^{-3}$ MPa, sedangkan nilai maksimal dari equivalent stress adalah 134,36 MPa.

4.3. Grafik Perbandingan Geometri dengan Total Deformasi

4.3.1. Grafik Total Deformasi



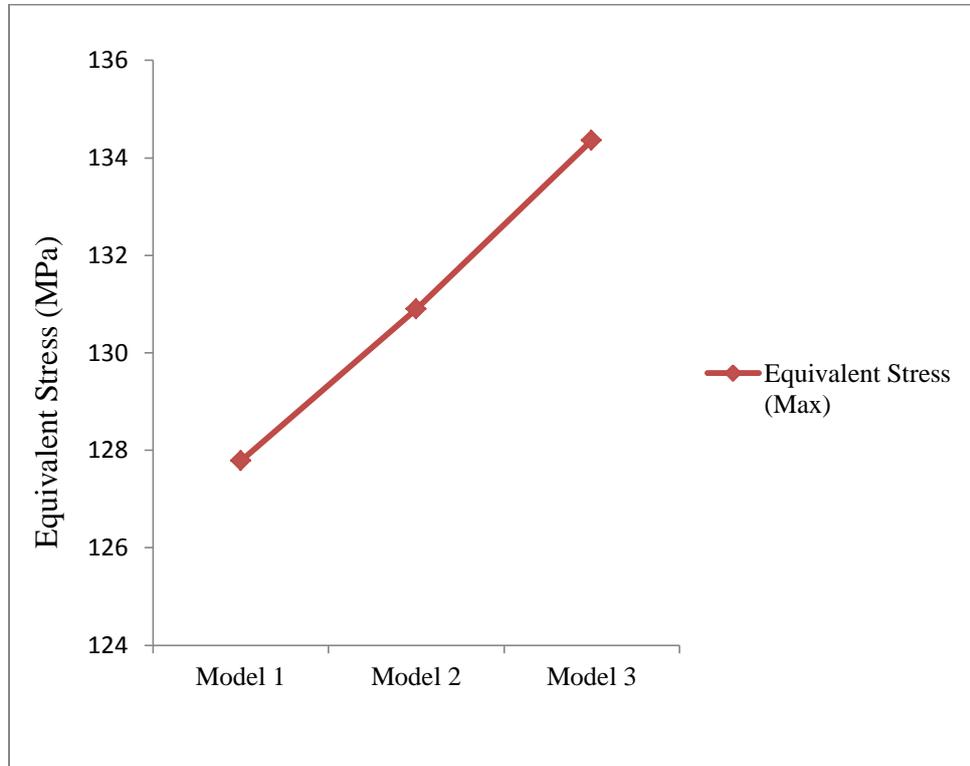
Gambar 4.11. Grafik Perbandingan Geometri dengan Total Deformasi

Dari grafik perbandingan diatas dapat diperoleh data nilai total deformasi untuk ketiga model blok silinder sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Nilai Total Deformasi

No	Model	Total Deformasi
1	Diameter Tabung 100 mm	0,035391 mm
2	Diameter Tabung 102 mm	0,067331 mm
3	Diameter Tabung 104 mm	0,070973 mm

4.3.3. Grafik Tegangan Ekivalen



Gambar 4.12. Grafik Perbandingan Geometri dengan Tegangan Maksimal

Dari grafik perbandingan diatas dapat diperoleh data nilai tegangan ekivalen untuk ketiga model blok silinder sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data Nilai Tegangan Ekivalen

No	Model	Tegangan Ekivalen
1	Diameter Tabung 100 mm	127,78 MPa
2	Diameter Tabung 102 mm	130,89 MPa
3	Diameter Tabung 104 mm	134,36 MPa

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian analisa numerik pada model blok silinder dengan menggunakan software *Ansys* diatas, dapat ditarik kesimpulan :

1. Model blok silinder dengan diameter tabung silinder yang paling besar memiliki ketebalan dinding silinder yang paling kecil, sedangkan model blok silinder dengan diameter tabung silinder yang paling kecil memiliki ketebalan dinding silinder yang paling besar.
2. Model blok silinder yang mempunyai ketebalan dinding tabung silinder lebih besar mendapatkan nilai total deformasi ataupun perubahan bentuk yang paling sedikit atau relatif kecil. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil nilai ketebalan dari dinding tabung silinder sebuah blok silinder, maka semakin besar pula nilai deformasi ataupun perubahan bentuk dari struktur blok tersebut.
3. Dan untuk nilai maksimal tegangan ekuivalen yang didapat dari simulasi, model blok silinder yang mempunyai ketebalan dinding tabung silinder paling besar mendapatkan nilai tegangan ekuivalen yang paling kecil, begitu juga sebaliknya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian analisa numerik pada struktur blok silinder dengan variasi geometri, saya menyarankan kepada penulis yang ingin melanjutkan ataupun melakukan penelitian dengan menggunakan metode analisa numerik, ada baiknya agar mempelajari dengan sebaik-baiknya bagaimana cara mendesain menggunakan software desain. Serta belajar bagaimana cara mengoperasikan software simulasi analisis yang digunakan untuk menganalisa secara simulasi digital dari sebuah komponen yang sudah di desain sebelumnya dengan menggunakan software desain. Dan pastikan perangkat penunjang seperti komputer yang digunakan untuk penelitian mempunyai spesifikasi yang mumpuni untuk menjalankan software ataupun program desain dan analisa.

DAFTAR PUSTAKA

- Fenner, Roger T. (1996). *“Finite Element Methods For Engineers”*. London: Imperial College Press.
- Moaveni, Saeed. (1999). *“Finite Element Analysis, Theory and Application with ANSYS”*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Smallman, R.E. (2000). *“Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material”*. Terjemahan Oleh Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.
- Hutton, David V. (2004). *“Finite Element Analysis”*. New York: McGraw Hill.
- Pinem, Mhd Daud, dkk. (2009). *“Catia, Si Jago Desain Tiga Dimensi”*. Surabaya: Lingua Kata.
- Zulkarnain. Irvan. (2011). *“Blok Silinder”*. Academia.edu.
- Choiron, Moch Adus, dkk (2014). *“Modul Ajar Metode Elemen Hingga”*. Malang: Departemen Pendidikan Universitas Brawijaya.
- R, Suresh, dkk. (2015). *“Analisis Termomekanis Blok Mesin dari Mesin Pembakaran Dalam”*: International Journal For Technological Research In Engineering. Volume 2: Hal 2698.
- Teguh, Rizani dan Sudiadi. (2015). *“Metode Numerik”*. Palembang.
- Annamneedi, Mukesh and Jithendra. (2016). *“Desain dan Analisis Blok Mesin Empat Silinder Dengan Menggunakan Analisis Elemen Hingga”*: International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research. Volume 3: Hal 443.
- Wikimedia Commons. (2016). Inline 6 Cylinder di https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inline_6_Cylinder_with_firing_order_1-5-3-6-2-4.gif (diakses 18 November)
- Hadi, Syamsul. (2016). *“Teknologi Bahan”*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.

LAMPIRAN

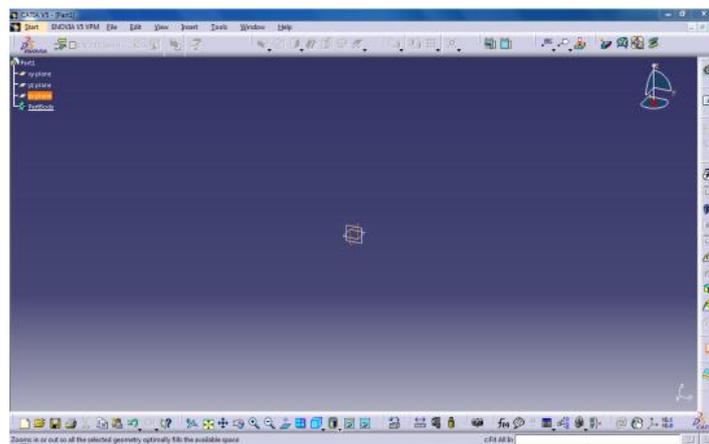
LAMPIRAN

➤ PROSEDUR MENGGAMBAR BLOK SILINDER MESIN MENGGUNAKAN SOFTWARE CATIA

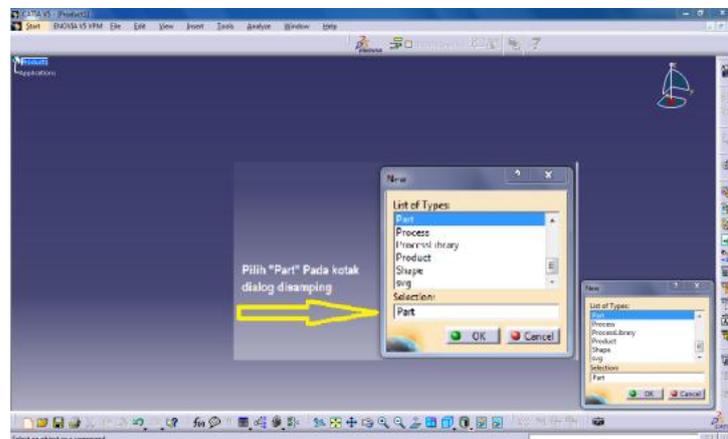
1. Menjalankan Software Catia



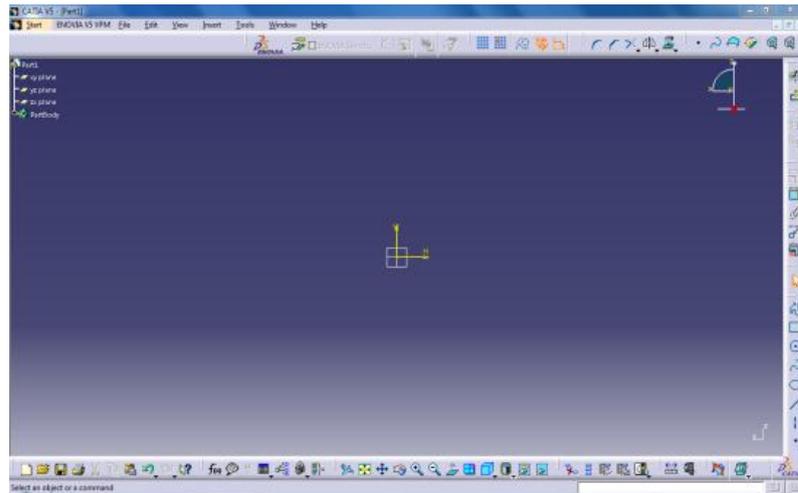
2. Menentukan Sumbu Awal Desain



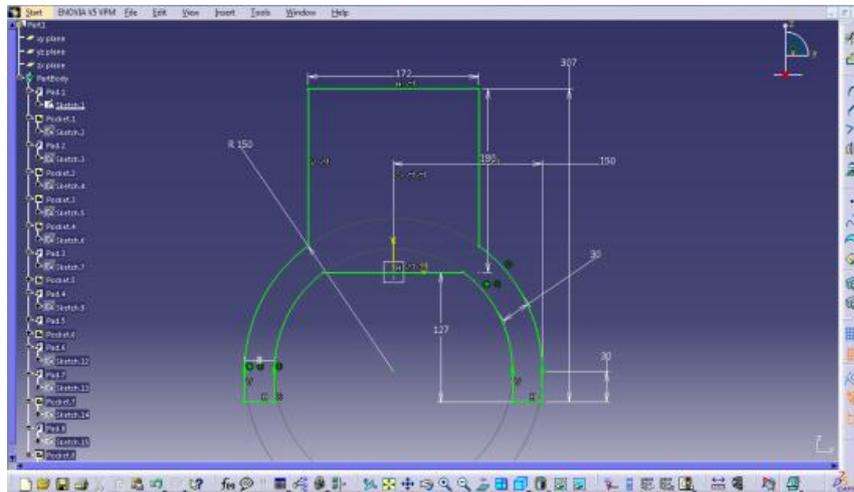
3. Memilih Menu Desain



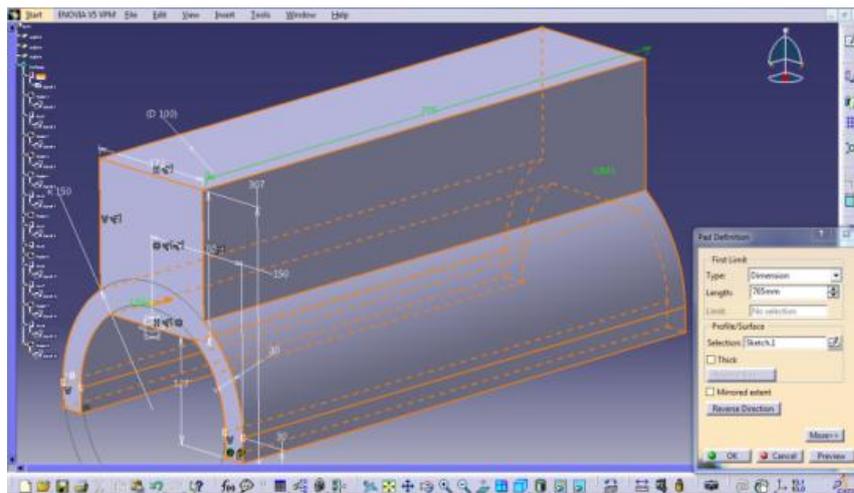
4. Tampilan Awal *Part Design*



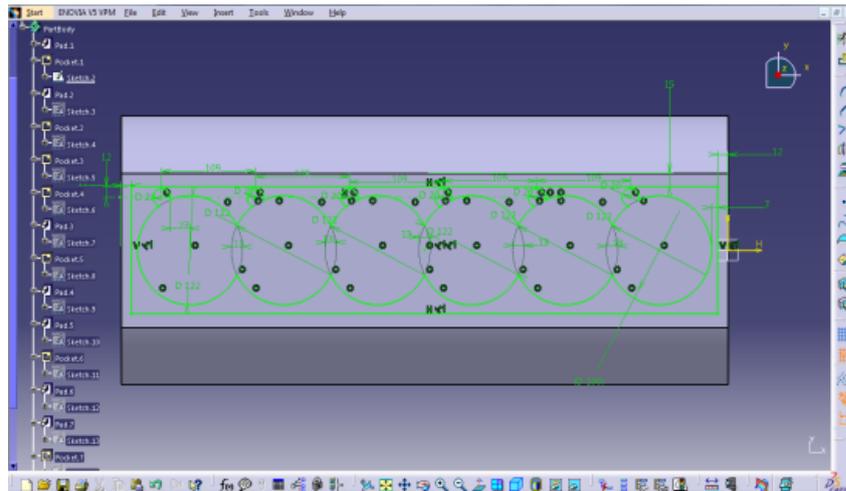
5. Membuat *Sketch Body* Blok Silinder



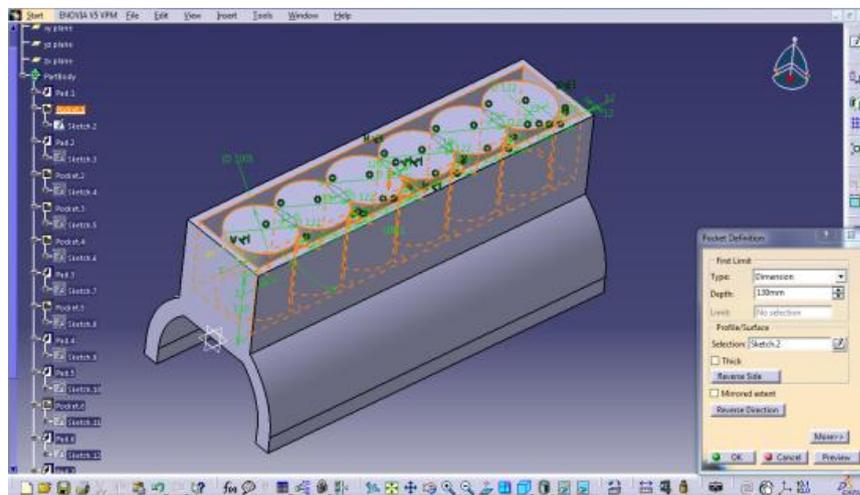
6. Membuat Solid *Sketch Body* menggunakan Perintah *Pad*



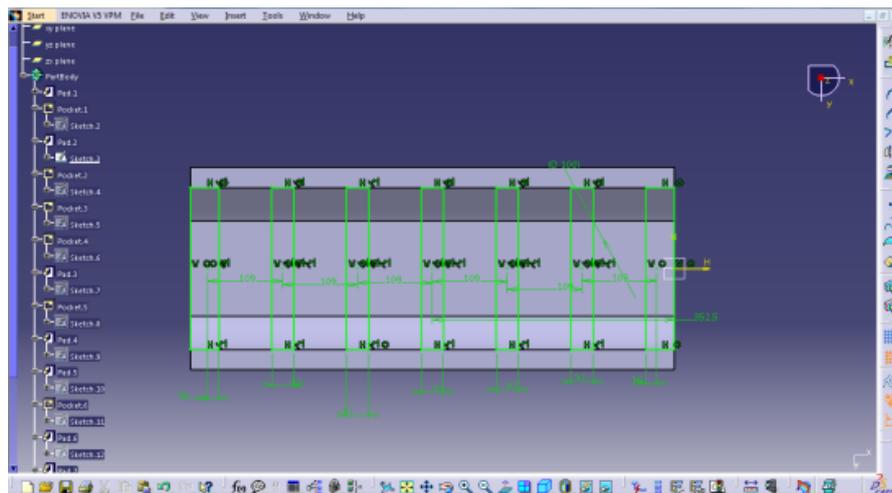
7. Membuat *SketchWater Jacket*



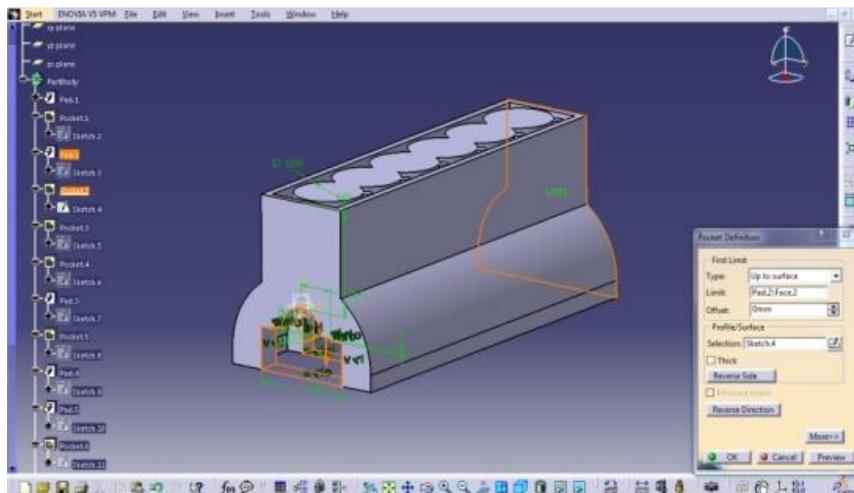
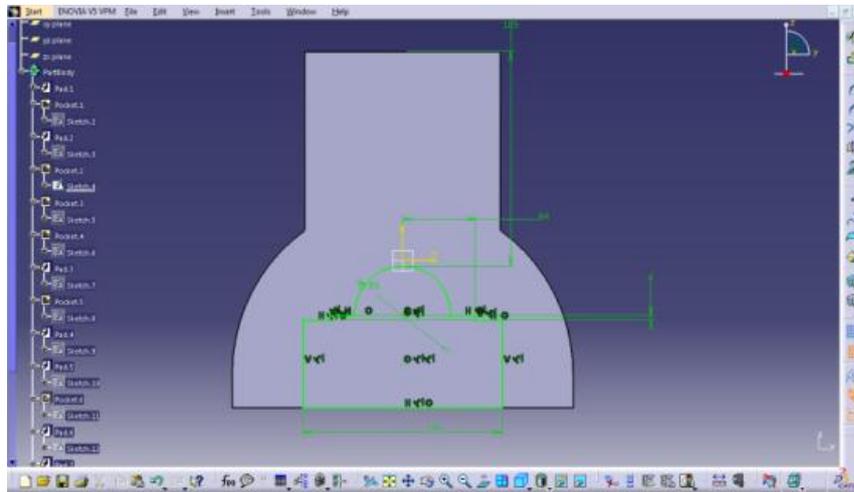
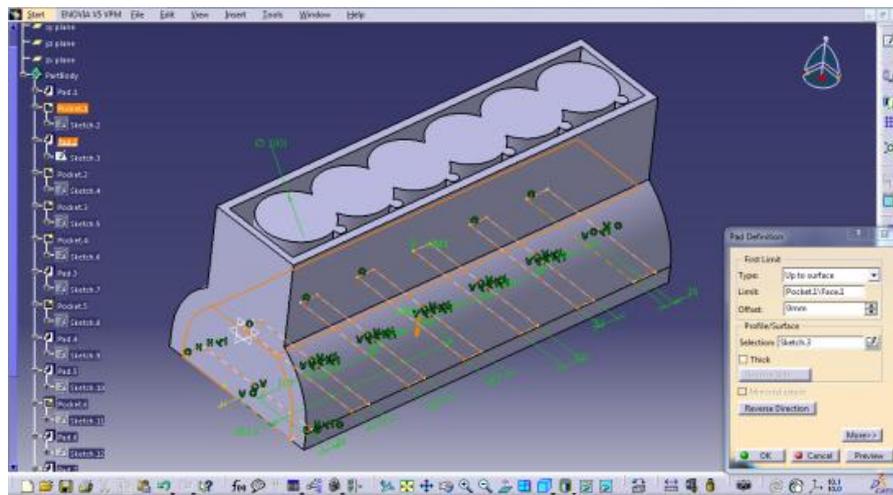
8. Membuat Lubang *Water Jacket* menggunakan Perintah *Pocket*



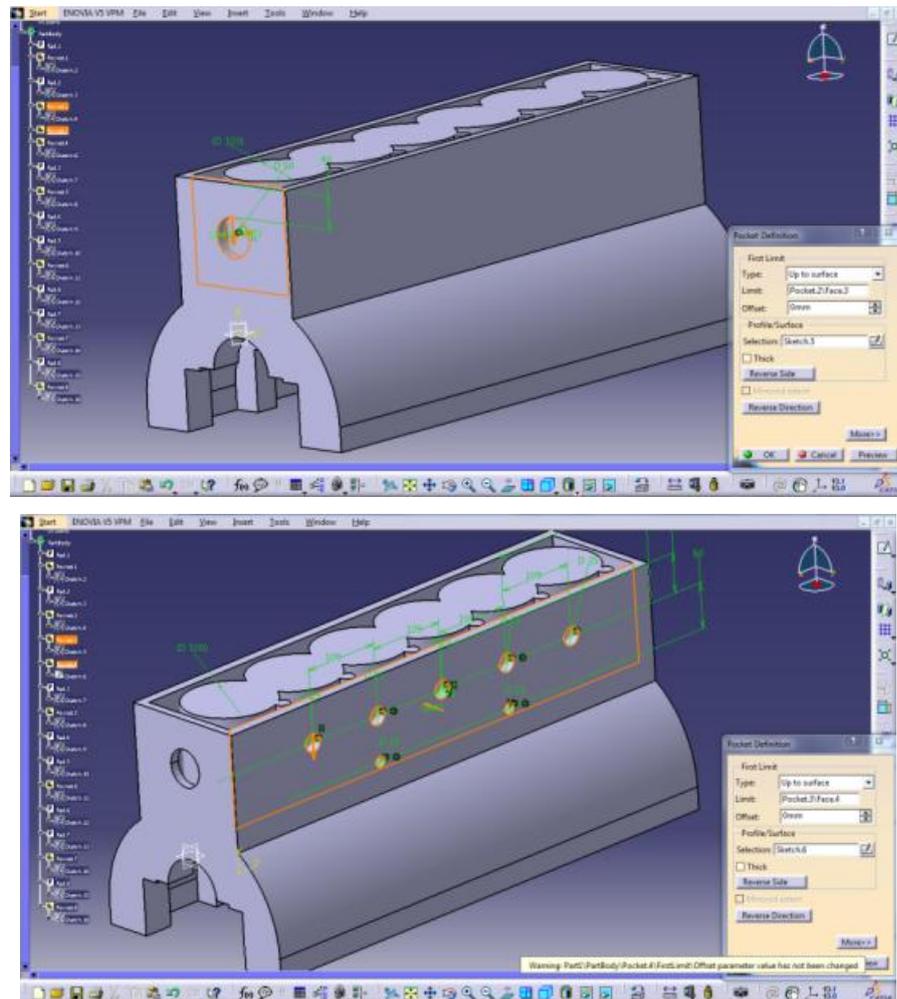
9. Membuat *Sketch* Dudukan Poros Engkol



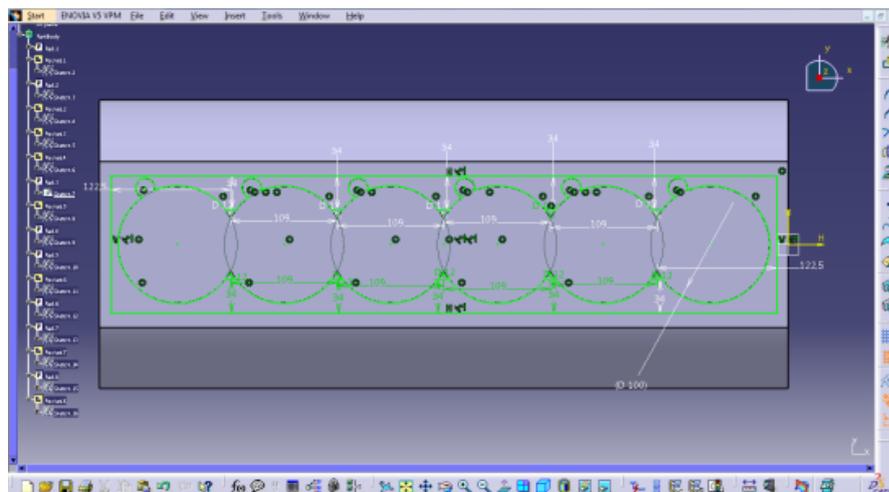
10. Membuat Solid Sketch Dudukan Poros Engkol dan Melubanginya Sesuai dengan Bentuk Poros Engkol



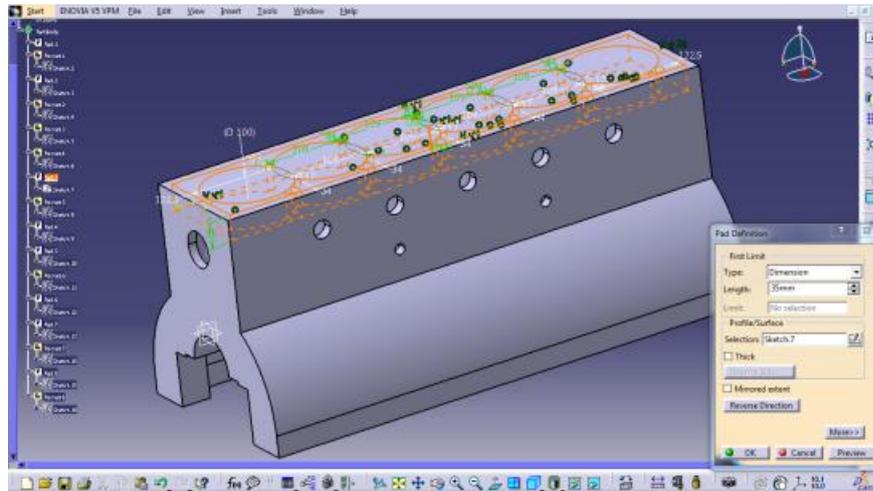
11. Membuat Lubang-Lubang Plug Air Pendingin



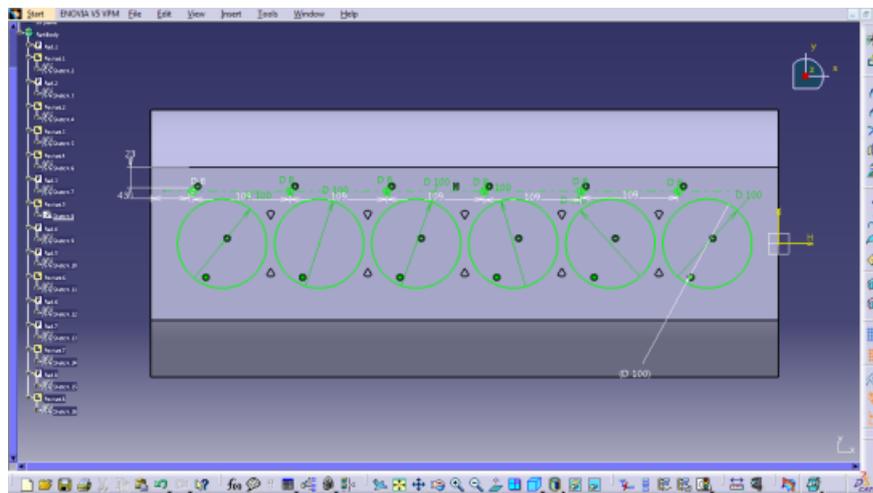
12. Membuat *Sketch* Lapisan Atas Blok Silinder (Dudukan Baut Kepala Silinder)



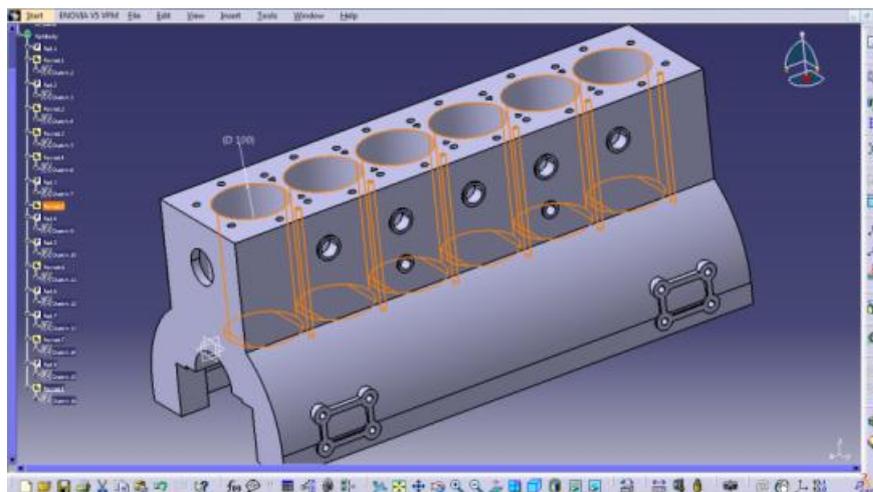
13. Membuat Solid *Sketch* Lapisan Atas Blok Silinder



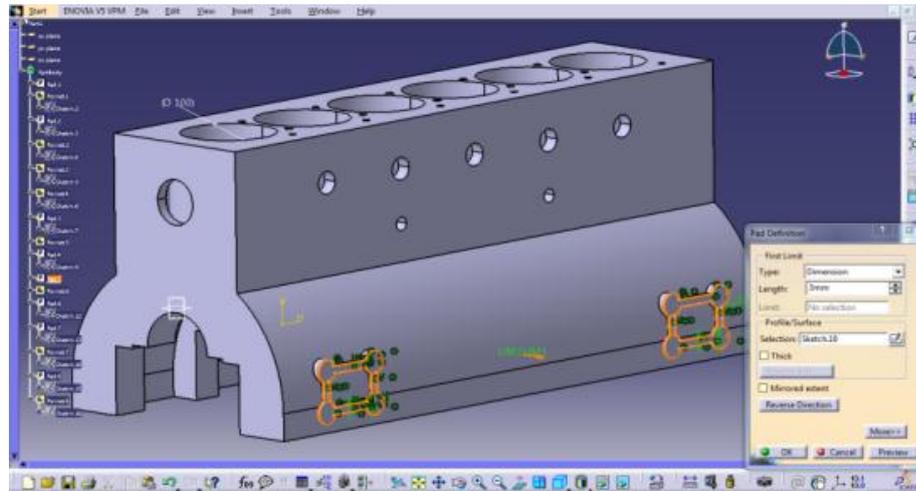
14. Membuat *Sketch* Tabung Blok dan Lubang Oli



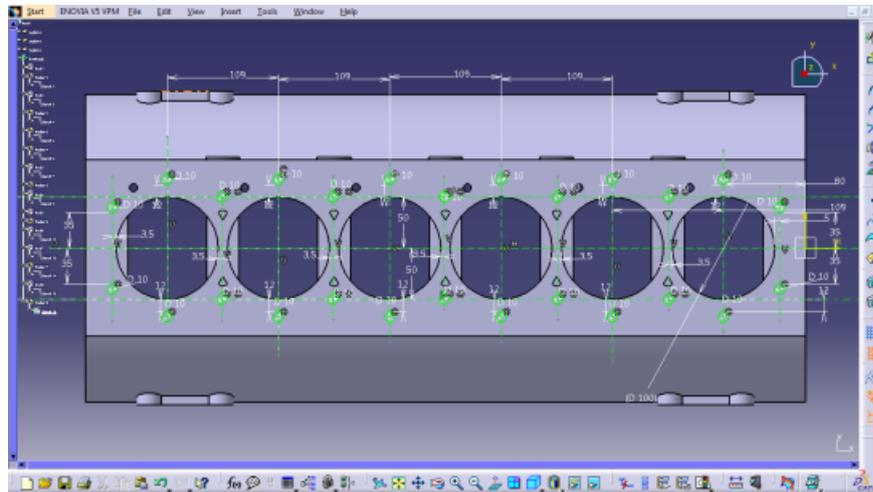
15. Membuat Lubang *Sketch* Tabung Blok



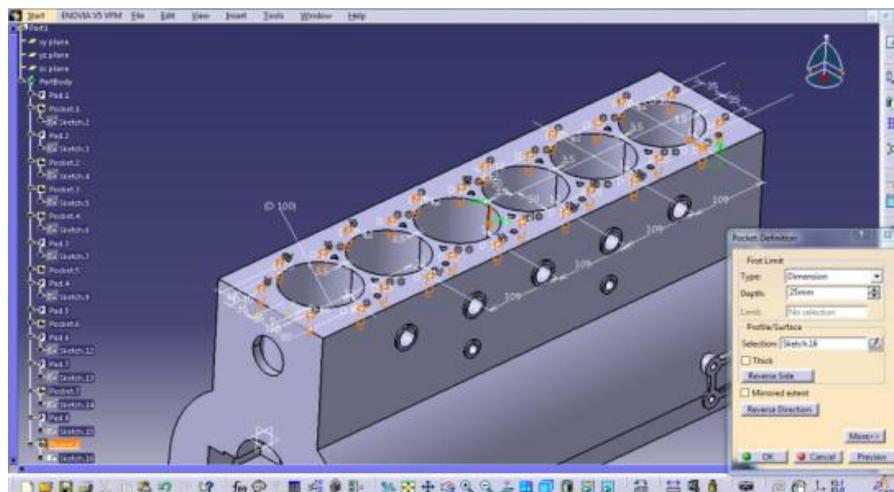
16. Membuat Dudukan Mesin



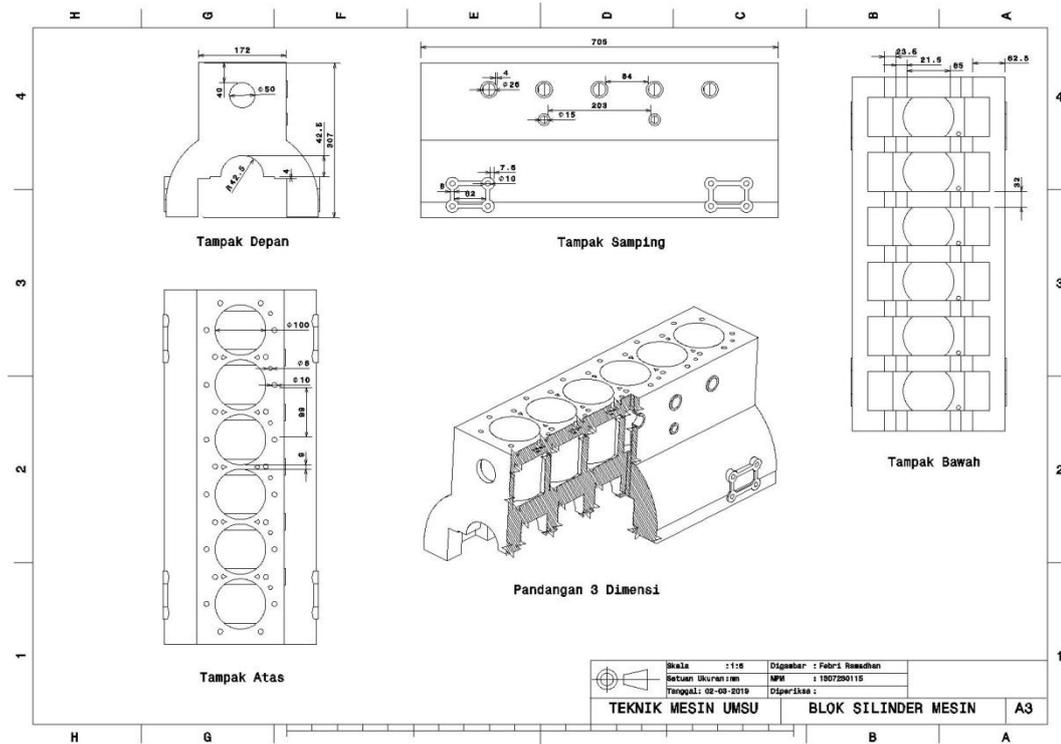
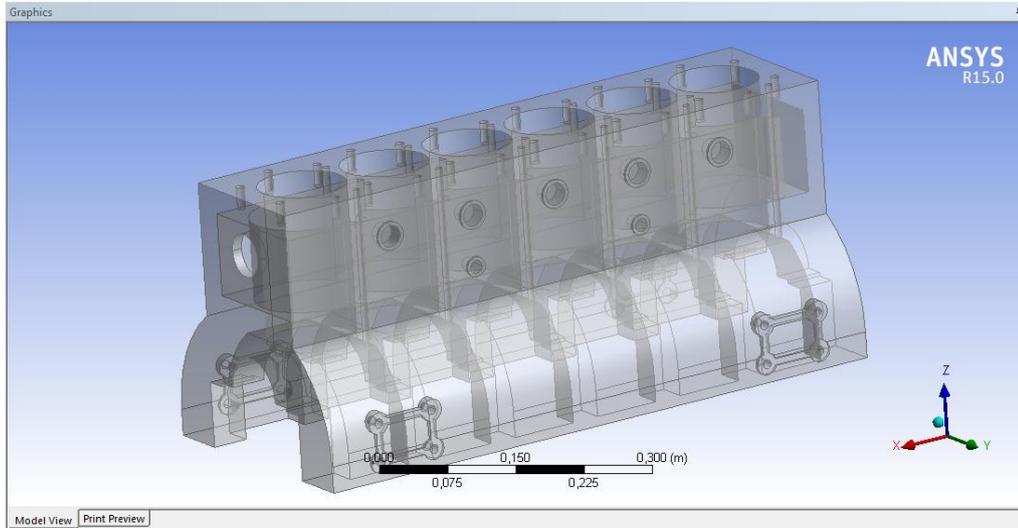
17. Membuat *Sketch* Lubang Baut Kepala Silinder



18. Membuat Lubang *Sketch* Lubang Baut Kepala Silinder

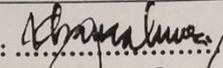
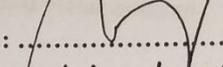
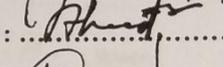
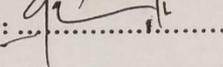


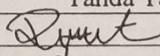
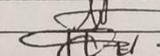
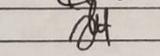
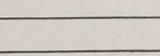
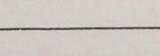
➤ Tampilan Layout Hasil Desain Pada Software Ansys



**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2018 – 2019**

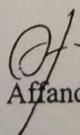
Peserta Seminar
 Nama : Febri Ramadhan
 NPM : 1307230115
 Judul Tugas Akhir : Analisa Numerik Pada Struktur Blok Silinder Mesin
 Dengan Variasi Diameter Tabung Silinder.

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T	: 
Pembimbing – II : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng	: 
Pemanding – I : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T	: 
Pemanding – II : Chandra A Siregar.S.T.M.T	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1307230086	Riki ANDREAN	
2	1407230001	Muhammad Ramadhan	
3	1407230242	Sugandi Fadillah	
4	1307230279	Bambang Sutieno	
5	1307230016	HUSRIATA Marabdi	
6	1207230009	AIDI DRADAD HERHAMBANO	
7			
8			
9			
10			

Medan, 28 Jum.Akhir 1440 H
05 Maret 2019 M

Ketua Prodi T. Mesin


Affandi.S.T.M.T



DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Febri Ramadhan
NPM : 1307230115
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Pada Struktur Blok Silinder Mesin Dengan Variasi Diameter Tabung Silinder.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng
Dosen Pemanding - I : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T
Dosen Pemanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 - perbaikan format tulisan
 - lihat catatan pada Laporan T.A. yang telah di periksa
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 28 Jum.Akhir 1440H
05 Maret 2019 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin

Affandi.S.T.M.T



Dosen Pemanding- I

Ahmad Marabdi.Siregar.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Febri Ramadhan
NPM : 1307230115
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Pada Struktur Blok Silinder Mesin Dengan Variasi Diameter Tabung Silinder.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng
Dosen Pembanding - I : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : Chandra A Siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

lihat buku Ngas Akhir

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 28 Jum.Akhir 1440H
05 Maret 2019 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin

Affandi.S.T.M.T



Dosen Pembanding- II

Chandra A Siregar.S.T.M.T

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Analisa Numerik Pada Struktur Blok Silinder Mesin Dengan Variasi Diameter Tabung Silinder

Nama : Febri Ramadhan
 NPM : 1307230115

Dosen Pembimbing 1 : Khairul Umurani, S.T., M.T
 Dosen Pembimbing 2 : Dr.Eng. Rakhmad Arief Siregar

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	19 - 05 - 2018	- Pemberian penjelasan tugas	le
2.	6 - 06 - 2018	- Perbaiki pendahuluan	le
3.	24 - 07 - 2018	- Perbaiki tinjauan pustaka	le
4.	05 - 09 - 2018	- Perbaiki Metode	le
5.	18 - 10 - 2018	- Rangkai la (sumber)	le
6.	00 - 11 - 2018	- perbaiki Abstrak	le
7.	15 - 11 - 2018	- perbaiki Format	
8.	18 - 12 - 2018	- perbaiki Kesimpulan	le
9.	05 - 01 - 2019	- Kembali ke Pemb. 1	le
10.	12 - 01 - 2019	- See , selesai	le

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : FEBRI RAMADHAN

Npm : 1307230115

Tempat/Tanggal Lahir : Medan/05 Februari 1996

Agama: Islam

Alamat: Jl. Rahmadsyah Gg. Makmur No. 22 Kel. Kota Matsum
Kec. Medan Area, Kota Medan

Jenis Kelamin : Laki - Laki

Anak Ke : 3 Dari 3 Bersaudara

No. Hp: 0815-3428-3186

Telp : -

Status Perkawinan : Belum Menikah

Email : febrir410@gmail.com

Nama Orang Tua

Ayah : JOHAN

Ibu : UPIK SAYANG

PENDIDIKAN FORMAL

2001 – 2007 : SD MUHAMMADIYAH 01 MEDAN

2007 – 2010 : SMP MUHAMMADIYAH 01 MEDAN

2010 – 2013 : SMK-TR YAPIM MEDAN

2013 – 2019 : UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA
UTARA