



SKRIPSI – ME141501

**PERANCANGAN MARINE DIESEL 4 LANGKAH 125 HP
DENGAN METODE REVERSE ENGINEERING**

Juniono Raharjo
NRP 4210 100 073

Dosen Pembimbing
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathalah, M.eng, Ph.d
Dr. I Made Ariana, ST, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT – ME141501

**DESIGNING OF 4 STROKE MARINE DIESEL ENGINE
125HP WITH REVERSE ENGINEERING METHOD**

Juniono Raharjo
NRP 4210 100 073

Consulting Lecturer
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.eng, Ph.d
Dr. I Made Ariana, ST, M.T.

Departement Of Marine Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute Technology
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN MARINE DIESEL 4 LANGKAH 125 HP
DENGAN METODE REVERSE ENGINEERING**

SKRIPSI

Digunakan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh :

JUNIONO RAHARJO
NRP. 4210 100 073

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas akhir :

1. Ir. Agung Zuhdi Muhammad Fathallah, M.eng, Ph.d
2. DR. I Made Ariana, ST, M.T

SURABAYA, JANUARI 2016

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN MARINE DIESEL 4 LANGKAH 125 HP
DENGAN METODE REVERSE ENGINEERING**

SKRIPSI

Digunakan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

JUNIONO RAHARJO

NRP. 4210 100 073

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, ST., MT.

NIP. 1977 0802 2008 01 007

SURABAYA, JANUARI 2016

Perancangan Marine Diesel 4 langkah 125 HP Dengan Metode Reverse Engineering

Nama Mahasiswa : Juniono Raharjo

NRP : 4210 100 073

Departemen : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS

Dosen Pembimbing : Ir. Aguk Zuhdi M.F, M.eng, Ph.d
Dr. I Made Ariana, ST, M.T.

ABSTRAK

Abstrak - Reverse engineering adalah metode yang dilakukan sebagai langkah awal untuk meniru dan mengadaptasi produk yang sudah ada. Metode Reverse engineering telah banyak digunakan karena mempercepat proses pengembangan pada sebuah produk yang sejenis.

Dalam tugas akhir ini dilakukan hal yang sama dalam metode Reverse Engineering. Yaitu Perancangan dan Perakitan model 3 dimensi pada marine diesel dengan objek referensi Cummins 4BTA3.9 serta modifikasi bentuk komponen mesin. Simulasi gerakan pada model marine diesel digunakan untuk mengevaluasi model marine diesel. Evaluasi bertujuan untuk identifikasi kesalahan dari model komponen marine diesel yang menyebabkan komponen marine diesel tidak dapat dirakit jika di produksi, serta verifikasi mekanisme mekanis pergerakan komponen marine diesel. Verifikasi Mekanisme pergerakan marine diesel dilakukan dengan Motion Analysis untuk memastikan tidak terdapat masalah pada model yang telah dibuat sekaligus untuk menganalisa pergerakan komponen utama diesel.

Hasil simulasi pada Motion Analysis yang telah dilakukan pada penelitian ini didapatkan kecepatan dan percepatan piston di tiap sudut crank. Simulasi tersebut menunjukkan bahwa model dari engine yang telah dibuat dapat bekerja.

Kata Kunci : Reverse engineering, Marine diesel, Motion Analysis, Kecepatan Piston, Percepatan Piston,

“halaman ini sengaja dikosongkan”

Designing Of 4 Stoke Marine Diesel Engine 125 HP With Reverse Engineering Method

Name : Juniono Raharjo
NRP : 4210 100 073
Departement : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Consulting Lecturer : Ir. Aguk Zuhdi M.F, M.eng, Ph.d
Dr. I Made Ariana, ST, M.T.

ABSTRAC

Abstrak - Reverse engineering is a initial method to imitate and adapth existing product. Reverse engineering method have been done for accelerating the development similar products.

This research works the same case in Reverse Engineering method. Designing, modification and assemble 3D Parts model based on existing Marine Diesel Cummins 4BTA3.9. Motion Simulation on the Marine Diesel Model used for evaluating the model. The evaluation is neccessary to identify failure of the 3D model Marine Diesel that cause the model cant assembled, along with verification of the engine mechanic mekanism. These engine mechanic verification are needed to ensure there are no failure in the model along with analysis the motion of engine mechanic mekanism.

The outcome from simulation of motion analysis in this research is velocity of the piston in each of the crankangle as well piston acceleration. These result indicate that the engine mechanic mekanism works

Keyword : Reverse engineering, Marine diesel, Motion Analysis, Piston Velocity, Piston Acceleration

“halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala rahmat dan pertolongan-Nya Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul : “Perancangan Marine Diesel 4 Langkah 125HP Dengan metode Reverse Engineering”

Dalam proses penyusunan dan pengerjaan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya
2. Bapak Indra Ranu Kusuma, ST., M.Sc. selaku Dosen wali dan juga Kaprodi S1 Teknik Sistem Perkapalan
3. Bapak Ir. Agung Zuhdi M.F, M.eng, Ph.d dan Bapak DR. I Made Ariana, ST, M.T. selaku dosen pembimbing I dan II yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis.
4. Almarhum Bapak tercinta yang telah menuntun penulis hingga penulis memasuki jenjang pendidikan di ITS
5. Ibu dan keluarga di rumah, yang selalu memberikan doa, cinta dan kasih sayang yang sangat di butuhkan sebagai semangat dalam menempuh kuliah.
6. Patricia Permana Jati Hapsari sebagai teman di KMK yang memberikan cerita penuh semangat
7. Karina Octaviani yang selalu memberikan semangat dan pelajaran bahwa hidup ini harus terus berjalan
8. Teman-teman PINISI'10 yang tidak bisa disebutkan satu persatu

9. Serta bagi pihak lain, teman-teman dan sahabat-sahabatku yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dan di butuhkan kritik saran yang membangun bagi penulis. Akhirnya penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2017

Daftar isi

BAB I	1
PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan	3
I.4 Batasan Masalah.....	3
I.5 Manfaat	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Umum	5
II.2 Silinder Head	6
II.3 Silinder Blok.....	7
II.4 Piston dan Connecting rod	8
II.5 Crankshaft.....	9
II.6 Crankcase.....	10
II.7 Roda gigi	11
BAB III	15
METODOLOGI PENELITIAN	15
III.1. PENETAPAN DESAIN AWAL.....	16
III.2. Penetapan Reverse Engineering.....	18
III.3. Identifikasi Komponen.....	18

III.4.	Perancangan Komponen 3 Dimensi	19
III.4.1	Perancangan komponen produk.....	20
III.4.2	Perancangan Kembali Model.....	21
III.5.	Perakitan komponen	22
III.6.	Interference Check	23
III.7.	Motion Study	25
BAB IV	.....	27
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	27
IV.1.	Perancangan Model.....	27
IV.2.	Re-drawing Model Produk.....	29
IV.3.	Perancangan Ulang Model Marine Diesel	30
IV.3.1	modifikasi Komponen Marine Diesel	30
IV.3.2	Perancangan geometri roda gigi	32
IV.4.	Perakitan Model Marine Diesel.....	35
IV.5.	Analisa Desain.....	37
IV.5.1	Intererence detection	37
IV.5.2	Simulasi Gerakan	39
BAB V	.....	51
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	51
V.1	Kesimpulan.....	51
V.1	Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	.....	53

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Hasil Simulasi Distribusi Tegangan Thermal Pada Silinder Head Dengan Material Cast Iron EN-GJL-250.....	6
Gambar 2. 2 Mechanical Properties EN-GJL-250.....	7
Gambar 2. 3 Distribusi Panas Pada Silinder Blok Dengan material GJL 250 (GG25)	8
Gambar 2. 4 Analisa Thermal Stress Pada Material Piston pada model standard dan dengan modifikasi penambahan lubang oli .	9
Gambar 2. 5 Analisa Factor Of Safety Pada Desain Crankshaft Mesin Diesel Reverse Engineering 93kW	10
Gambar 2. 6 Desain Plate Pan	10
Gambar 2. 7 Geometri Dasar Roda Gigi	11
Gambar 3 . 1 Flowchart Pengerjaan	16
Gambar 3. 2 Mesin Diesel Cummins 4BTA 1	17
Gambar 3. 3 Sketsa Engine Blok	18
Gambar 3. 4 Pengukuran Pada Camshaft.....	19
Gambar 3. 5 Robert Bosch RSV 475.....	20
Gambar 3. 6 Robert Bosch 89-93 injector	20
Gambar 3. 7 Cummins Z39004 Sea Water Pump	21
Gambar 3. 8 Proses desain komponen.....	21
Gambar 3. 9 Perakitan Komponen Piston Kit	22
Gambar 3. 10 Hasil Perakitan Komponen Piston Kit	23
Gambar 3. 11 Proses Interference Check.....	24
Gambar 3. 12 Missalignment pada assembly.....	25
Gambar 3. 13 Beranda Motion Study.....	26
Gambar 4. 1 Sketsa Cylinder Block	27
Gambar 4. 2 Durasi Camshaft.....	28

Gambar 4. 3 Engine Head Block	29
Gambar 4. 4 Komponen Injector	29
Gambar 4. 5 Komponen Seawater Pump	30
Gambar 4. 6 Komponen Aftercooler	31
Gambar 4. 7 Sketsa Modifikasi Aftercooler	31
Gambar 4. 8 Layout Konfigurasi Roda Gigi	35
Gambar 4. 9 Tampak Depan Desain Marine Diesel Reverse Engineering.....	36
Gambar 4. 10 Crankshaft Assembly	36
Gambar 4. 11 Hasil Interference Detection.....	37
Gambar 4. 12 Hasil Pengukuran sumbu poros	38
Gambar 4. 13 Interference Detection	39
Gambar 4. 14 Beranda Solidwork Motion.....	40
Gambar 4. 15 Spesifikasi Torsi Mesin Pada Tiap RPM.....	41
Gambar 4. 16 Input Pergerakan Pada Crankshaft	42
Gambar 4. 17 Input Kontak Benda Padat	42
Gambar 4. 18 Input Pegas Pada Valve.....	43
Gambar 4. 19 Piston Velocity	44
Gambar 4. 20 Piston Acceleration.....	44
Gambar 4. 21 Tampak Isometri Engine	46
Gambar 4. 22 Tampak Depan Engine	47
Gambar 4. 23 Tampak Samping Engine	48
Gambar 4. 24 Tampak Belakang Engine	49
Gambar 4. 25 Tampak Samping Engine	50

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Pengertian Bagian Roda Gigi.....	12
Tabel 2.2 Kalkulasi Profile Gear	12
Tabel 4.1 Perhitungan Geometry Pada Susunan Roda Gigi	34

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Penggunaan motor diesel sebagai penggerak alat transportasi pada kapal saat ini sudah banyak digunakan. Luasnya wilayah perairan di Indonesia memiliki banyak potensi hasil laut. Kapal nelayan penangkap ikan memiliki peluang yang begitu besar dengan wilayah kelautan Indonesia. Akan tetapi kapal nelayan berukuran 20-30 Gross Tonnage memiliki kendala akan ketersediaan mesin penggerak kapal. Ketersediaan mesin diesel untuk kapal berukuran 30GT sangat sedikit dengan kebutuhan akan jumlah kapal nelayan 30GT yang besar. Sampai saat ini penggunaan mesin diesel otomotif yang seharusnya digunakan di darat terpaksa dipakai sebagai motor penggerak

Melihat hal itu diperlukannya sebuah inovasi baru dalam pengembangan mesin diesel yang dirancang khusus untuk keperluan kapal nelayan 30GT. Namun untuk membuat sebuah mesin diesel dari awal diperlukan sebuah proses yang sangat panjang. Berbagai analisa dan pertimbangan akan perancangan mesin diesel sangat diperlukan untuk membuat mesin dari awal. Metode Reverse engineering (Rekayasa Balik) banyak digunakan dalam pengembangan mesin baru. Metode ini diadopsi sebagai metode yang digunakan dalam riset pengembangan mesin diesel 4 langkah 4 silinder di bidang Marine Power Plant (MPP), Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, ITS Surabaya

Reverse engineering (rekayasa balik) merupakan proses analisa produk yang sudah ada sebagai acuan untuk merancang produk yang sejenis dengan memperkecil dan meningkatkan keunggulan produk(Wibowo 2006). Dengan metode Reverse Engineering prinsip kinerja dari sebuah alat, objek, atau system yang dapat dilakukan dengan menganalisa struktur, fungsi, dan pengoperasiannya. pada berbagai komponen mesin diesel.

Dalam penelitian Reverse Engineering Diesel 125HP telah dilakukan analisa dan juga perancangan ulang dari berbagai

komponen utama mesin diesel. Komponen komponen mesin diesel yang dilakukan analisa dan perancangan antara lain :

1. Cylinder Block (Nurbekti 2014), Cylinder Liner(Nurbekti 2014), Cylinder Head(Pranggapati 2014)
2. Piston, piston rings, piston pin dan Connecting rod(Fauzi, 2014)
3. Crankshaft and crank pin,(Sutrisno 2014)
4. Crankcase (Kharbillah,2014)

Bedasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, tulisan ini akan mencoba untuk menganalisa desain mesin diesel 4 langkah untuk menghilangkan kesalahan pada permodelan komponen. Kesalahan dalam permodelan dapat menyebabkan kerusakan dan tidak bekerjanya sebuah mesin. Komponen-komponen mesin tersebut akan dirakit menjadi satu kesatuan yang saling bekerja sama yang nantinya disebut engine. Oleh karena itu penelitian ini terfokus pada perancangan ulang dan perancangan komponen baru untuk dilakukan penggabungan tiap permodelan komponen mesin diesel pada riset Reverse Engineering Diesel 125HP sehingga dihasilkan rancangan dari mesin diesel 4 langkah yang utuh dan dapat bekerja.

Pada penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan permodelan dari motor diesel 4 langkah dengan komponen komponen mesin yang saling bekerja satu sama lain dengan baik dengan simulasi pergerakan dari motor diesel saat bekerja.

I.2 Rumusan Masalah

Bagaimana desain komponen - komponen Marine diesel 4 langkah 4 silinder 125HP dengan metode Reverse Engineering

Bagaimana desain komponen-komponen yang dilakukan modifikasi

Bagaimanakah komponen hasil rakitan pada Marine diesel reverse engineering.

I.3 Tujuan

Merancang Marine diesel 4 langkah 4 silinder 125HP

Perakitan desain komponen Marine diesel 4 silinder 4 langkah 125HP

Memodifikasi Komponen pada Marine Diesel

I.4 Batasan Masalah

Marine Diesel yang digunakan sebagai acuan pada penelitian ini adalah Cummins 4BTA.

Penelitian ini tidak dilakukan perhitungan performa mesin diesel yang dirancang serta efisiensi

Komponen produk seperti injector, fuel pump ,dll pada mesin diesel hanya dilakukan redrawing untuk proses perakitan

I.5 Manfaat

Memberikan pengetahuan bagaimana cara kerja dari masing masing komponen mesin diesel dan juga Mendapatkan desain Marine Diesel yang dapat dirakit dan diaplikasikan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Umum

Mesin diesel merupakan motor pembakaran dalam yang telah ditemukan sejak tahun 1890 oleh *Rudolf Diesel*. hingga kini perkembangan dan modifikasi mesin diesel terus berlangsung untuk mengatasi kekurangan dan menambahkan performa serta keandalannya. Eckert, Stacey and Earl (2005) mengatakan penggunaan objek yang sudah ada sebagai referensi untuk diadaptasi dapat mengurangi berbagai permasalahan yang kompleks.

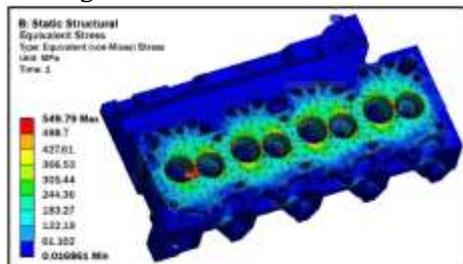
Pembuatan desain dengan objek referensi tidak sepenuhnya meniru produk yang sudah ada. Eckert, Clarkson and Zanker (2004) mengatakan perubahan dibuat demi memenuhi kebutuhan yang diinginkan ataupun menghilangkan kesalahan pada produk. Dalam mendesain ulang komponen atau perubahan desain komponen biasanya terdapat perubahan pada komponen lain untuk mengatasi permasalahan yang timbul akibat perubahan tersebut. Produk yang dijadikan referensi memainkan peran penting dalam perancangan desain awal untuk dilakukan adaptasi. Seperti yang dilakukan pabrik mesin diesel Perkins yang melakukan perubahan konfigurasi pada produk yang sudah ada untuk memenuhi kebutuhan industri (Jarrat 2004)

Pada saat ini telah dilakukan penelitian Reverse engineering Mesin diesel 4 langkah 4 silinder pada laboratorium Marine Power Plant (MPP) Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, ITS Surabaya. Perancangan dan analisa komponen komponen mesin diesel dilakukan untuk memahami bagaimana mesin diesel bekerja dan pengaruh pembakaran pada komponen mesin diesel. Beberapa analisa komponen mesin diesel Reverse Engineering diantaranya adalah *Cylinder Head* (Pranggapati 2014), *Cylinder blok & Cylinder Liner* (Nurbekti 2014), *Piston & Connecting Rod* (Fauzie 2014), *Crankshaft* (Sutrisno 2014), *Crankcase* (Kharbillah 2014), *Inlet Valve* (Silaban 2014). Selain perancangan

komponen mesin terdapat juga analisa terhadap sistem dan komponen pada mesin diesel Reverse Engineering diantaranya adalah Sistem Start (Nugraha 2014) Sistem Bahan Bakar (Rizqi 2014) Flywheel & Firing order (Putra 2014) Timing Gear(Suroso 2014) dan Packing Set (Firmansyah 2014). Dalam penelitian tersebut diperlukan kajian lebih lanjut untuk mengembangkan mesin diesel reverse engineering 125HP agar dapat digunakan sebagai motor penggerak. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan perancangan desain Marine Diesel Reverse Engineering untuk dapat dirakit secara utuh dengan menggunakan hasil penelitian yang telah dilakukan sebagai referensi pada penelitian ini

II.2 Silinder Head

Silinder head merupakan salah satu komponen yang berfungsi sebagai pembatas ruang pembakaran, tempat pemasangan mekanisme katub dan juga saluran masuk dan saluran buang. Pada penelitian Mesin Diesel Reverse Engineering 125HP Pranggapati(2014) telah melakukan perancangan pada komponen silinder head dan juga analisa distribusi tegangan mekanik dan tegangan termal dengan menggunakan beberapa material melalui simulasi Finite Element Analisis. Gambar 2.1 menunjukkan bagaimana tegangan termal terdistribusi pada komponen silinder liner sebagai akibat dari proses pembakaran pada mesin diesel Reverse Engineering 125HP.



Gambar 2. 1 Hasil Simulasi Distribusi Tegangan Thermal Pada Silinder Head Dengan Material Cast Iron EN-GJL-250

(Sumber : Pranggapati ,2014)

Mechanical properties dari material EN-GJL-250 yang digunakan pada Silinder Head adalah sebagai berikut :

Mechanical properties of separately cast samples (30 mm diameter)							
Material designation		EN-GJL-150	EN-GJL-200	EN-GJL-250	EN-GJL-300	EN-GJL-350	
Material No.		EN-JL 1020	EN-JL 1030	EN-JL 1040	EN-JL 1050	EN-JL 1060	
Out-dated designation DIN 1693		GG 15	GG 20	GG 25	GG 30	GG 35	
Microstructure		ferr./pearl.			pearlitic		
Tensile strength	R_m	[N/mm ²]	150³-250	200-300	250-350	300-400	350-450
0,1%-proof stress	$R_{p0,1}$	[N/mm ²]	98-165	130-195	165-228	195-260	228-285
Elongation at fracture	A	[%]	0,8-0,3	0,8-0,3	0,8-0,3	0,8-0,3	0,8-0,3
Compression strength	σ_{dB}	[N/mm ²]	600	720	840	960	1080
0,1% compression yield point	$\sigma_{d0,1}$	[N/mm ²]	195	260	325	390	455
Bending strength	σ_{bB}	[N/mm ²]	250	290	340	390	490
Shear strength	σ_{dB}	[N/mm ²]	170	230	290	345	400
Torsional strength	T_{dB}	[N/mm ²]	170	230	290	345	400
Modulus of Elasticity ³⁾	E	[kN/mm ²]	78-103	88-113	103-118	108-137	123-143
Poisson ratio	μ	-	0,260	0,260	0,260	0,260	0,260
Bending fatigue strength ⁴⁾	σ_{bW}	[N/mm ²]	70	90	120	140	145
Fatigue limit under reversed tension-compression stresses ³⁾	σ_{aW}	[N/mm ²]	40	50	60	75	85
Fracture toughness	K_{IC}	[N/mm ^{3/2}]	320	400	480	560	650

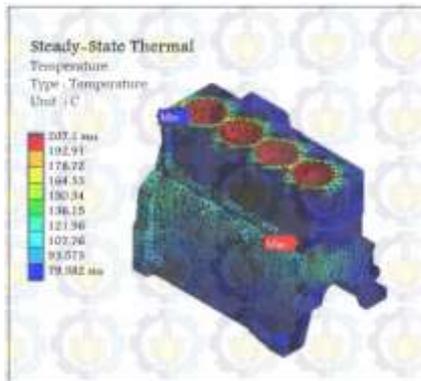
Gambar 2. 2 Mechanical Properties EN-GJL-250
(sumber : www.claasguss.de/html_e/pdf/THB11_engl.pdf)

Pada bagian silinder head ini terdapat head gasket yang berfungsi untuk mencegah kebocoran gas pembakaran, air pendingin dan oli. Firmansyah(2014) telah melakukan analisa teknis dalam pemilihan bahan material head gasket dan pengaruh ketebalan paking yang dirancang.

II.3 Silinder Blok

Silinder Blok merupakan bagian utama yang mendukung semua komponen engine. Pada silinder blok terdapat silinder liner dimana silinder ini menjadi tempat untuk piston melakukan gerak translasi . bersama dengan kepala silinder kompresi udara dan pencampuran bahan bakar terjadi didalam silinder liner membentuk ruang bakar. Perancangan dan analisa silinder blok Marine diesel Reverse Engineering telah dilakukan oleh Nurbekti (2014). Pada penelitiannya, Nurbekti(2014) telah membuat

rancangan silinder liner Mesin Diesel Reverse Engineering beserta analisa akibat dampak temperature dan tekanan pembakaran dengan menggunakan beberapa material dan memilih material GJL 250(GG25) sebagai material yang dipakai untuk Silinder Blok. Material tersebut sama dengan material yang dipakai untuk Silinder head. Pada gambar 2.3 diperlihatkan hasil dari perancangan dan simulasi analisa tegangan thermal pada silinder liner.



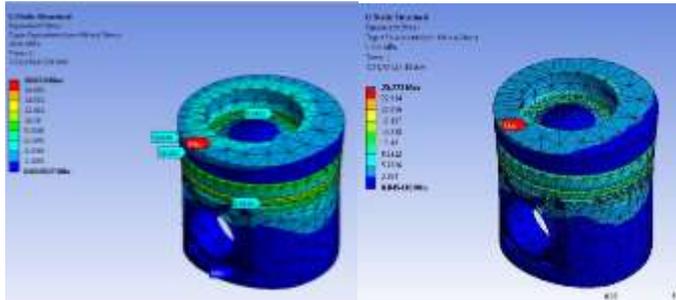
Gambar 2. 3 Distribusi Panas Pada Silinder Blok Dengan material GJL 250 (GG25)

(Sumber : Nurbekti ,2014)

II.4 Piston dan Connecting rod

piston merupakan komponen yang berfungsi menerima tekanan hasil pembakaran untuk diteruskan crankshaft melalui connecting rod. Dengan demikian Piston menerima tekanan gas, gaya gesek, dan temperature tinggi selama pembakaran (Fauzie 2014). Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan dan analisa tegangan pada piston dan connecting rod oleh Fauzie,2014. Analisa tegangan piston pada penelitiannya dilakukan dengan dua tipe model piston, Yaitu piston standard dan juga model yang telah dimodifikasi dengan penambahan lubang pada area ring oli. Pada penelitiannya, Fauzie,2014 menyimpulkan bahwa model piston tanpa menggunakan lubang

oli pada area ring oli lebih kuat menerima tegangan akibat pembakaran.

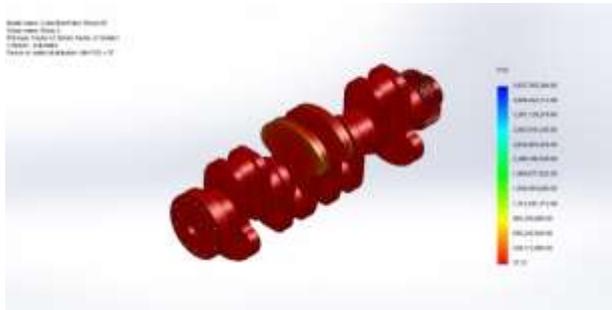


Gambar 2. 4 Analisa Thermal Stress Pada Material Piston pada model standard dan dengan modifikasi penambahan lubang oli
(Sumber : Fauzie,2014)

Gambar 2.4 merupakan hasil dari simulasi distribusi tegangan pada piston dengan menggunakan material A1Si 12 CuNiMg Forged dengan 2 permodelan piston.

II.5 Crankshaft

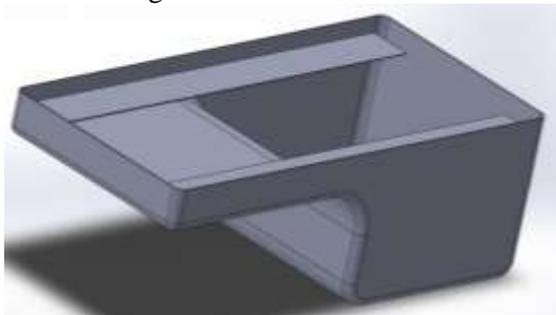
Crankshaft atau disebut poros engkol berfungsi untuk merubah gerak translasi piston menjadi gerak rotasi. Dimana gerak rotasi tersebut digunakan untuk melakukan kerja seperti pada alat transportasi. Pada main journal dan crankpin journal dipasang bearing untuk membuat gesekan menjadi berkurang. Selain itu juga terdapat saluran pelumas pada bearing sebagai penampung pelumas pada saat engine mati. Sutrisno,2014 telah melakukan perancangan crankshaft untuk mesin diesel Reverse Engineering beserta analisa tegangan. Penelitian tersebut dilakukan untuk memahami tegangan yang diterima pada crankpin journal dan juga untuk mengetahui safety factor pada material yang digunakan. Pada gambar 2.5 menunjukkan hasil dari analisa factor of safety pada rancangan crankshaft mesin diesel reverse engineering.



Gambar 2. 5 Analisa Factor Of Safety Pada Desain Crankshaft Mesin Diesel Reverse Engineering 93kW
(Sumber : Sutrisno,2014)

II.6 Crankcase

Crankcase merupakan bagian dari sebuah engine yang berfungsi sebagai wadah yang menutup isi sebuah engine. Pada beberapa engine , crankcase juga berfungsi sebagai bantalan shaft. Namun umumnya crankcase adalah untuk menampung cairan pelumas(oil pan). Kharbillah(2014) melakukan perancangan ulang pada oil pan agar dapat menjaga ketinggian oli pelumas serta volumenya agar pipa suction dapat menyalurkan pelumas keseluruhan bagian mesin.

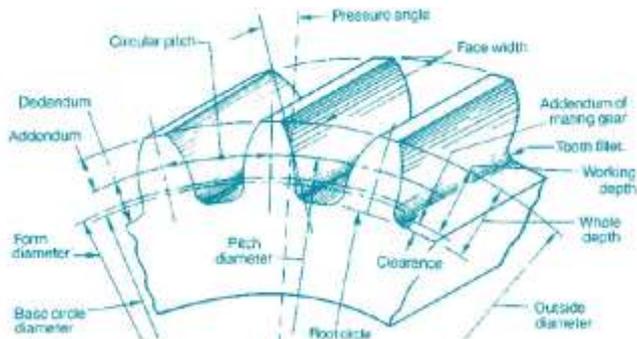


Gambar 2. 6 Desain Plate Pan
(Sumber : Kharbillah,2014)

Gambar 2.6 merupakan desain dari oil pan yang telah dilakukan perancangan ulang oleh Kharbillah(2014). Modifikasi yang dilakukannya ialah menambahkan sedikit plat pada bagian sampingnya yang berguna untuk menahan oli yang mengalir ke sisi kanan dan kiri ketika kapal mengalami rolling.

II.7 Roda gigi

Roda gigi merupakan bagian dari mesin yang berputar untuk mentransmisikan daya dari satu poros menuju poros lainnya. Roda gigi penggerak(*driver gear*) mendorong roda gigi yang digerakkan(*driven gear*) dengan gaya tegak lurus jari jari roda gigi. Roda Gigi lurus digunakan untuk memindahkan gerakan putar antara poros – poros yang sejajar. yang biasanya berbentuk silindris, dan gigi-giginya adalah lurus dan sejajar dengan sumbu putaran.(Larry D. Mitchel, 1991). Suroso(2014) melakukan analisa teknis pada transmisi helix gear Marine Diesel Reverse Engineering terkait gaya yang bekerja pada roda gigi bila dibandingkan dengan transmisi sabuk atau rantai.



Gambar 2. 7 Geometri Dasar Roda Gigi
(sumber : machinedesign.com,2014)

Gambar 2.7 diatas adalah parameter geometri dasar dari sebuah roda gigi dengan penjelasan tiap bagian terdapat pada table 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Pengertian Bagian Roda Gigi

Pitch diameter	Adalah diameter dari lingkaran khayal <i>pitch circle</i> dimana roda gigi dirancang. <i>Pitch circle</i> dari 2 buah roda gigi yang berpasangan haruslah saling bersinggungan
Addendum	Adalah jarak radial dari <i>pitch circle</i> menuju diameter luar(puncak gerigi)
Dedendum	Adalah jarak radial dari <i>pitch circle</i> menuju dasar gerigi
Outside diameter	Diameter gear keseluruhan, setara dengan <i>pitch diameter</i> ditambah 2 addendum
Base diameter	Diameter lingkaran dimana bentuk involute dari gerigi dihasilkan
Pressure angle	Sudut tekanan antara 2 gerigi yang bersinggungan
module	Adalah system metric untuk menentukan ukuran gerigi
Working depth	Jarak antara gerigi yang menempati jarak berpasangan

(David A. Madsen 2004)

Dengan kalkulasi untuk profile sebuah gear terdapat pada table 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2.2 Kalkulasi Profile Gear

Item	Symbol	Formula
Normal Module	m	
Pressure Angel	n	
Helix Angel		
Number of Teeth	$z1, z1, \dots dst$	
Radial Presure Angel	t	$\tan^{-1} * \left(\frac{\tan}{\quad} \right)$

Coefficient of Profile Shift	Xn1, Xn2,... dst	
Involute Function	inv wt	$2 \tan t * \left(\frac{1 + 2}{1 + 2} \right) + \text{inv } t$
Radial Working Pressure Angel	wt	From Involute Function Table
Centre Distance Increment Factor	y	$\left(\frac{1 + 2}{2 \cos t} \right) * \left(\frac{\cos t}{\cos} \right) - 1$
Centre Distance	ax	$\left(\frac{1 + 2}{2 \cos t} + \right) * m$
Standard Pitch Diameter	d	$\frac{d}{\cos t}$
Base Diameter	db	d cos t
Working Pitch Diameter	ha1	$\frac{d}{\cos t}$
Addendum	ha2	$(1 + y - Xn2) m$
Whole Depth	h	$(2.25 + y - (Xn1 + Xn2))m$
Outside Diameter	da	d + 2 ha2
Root Diameter	df	da - 2h

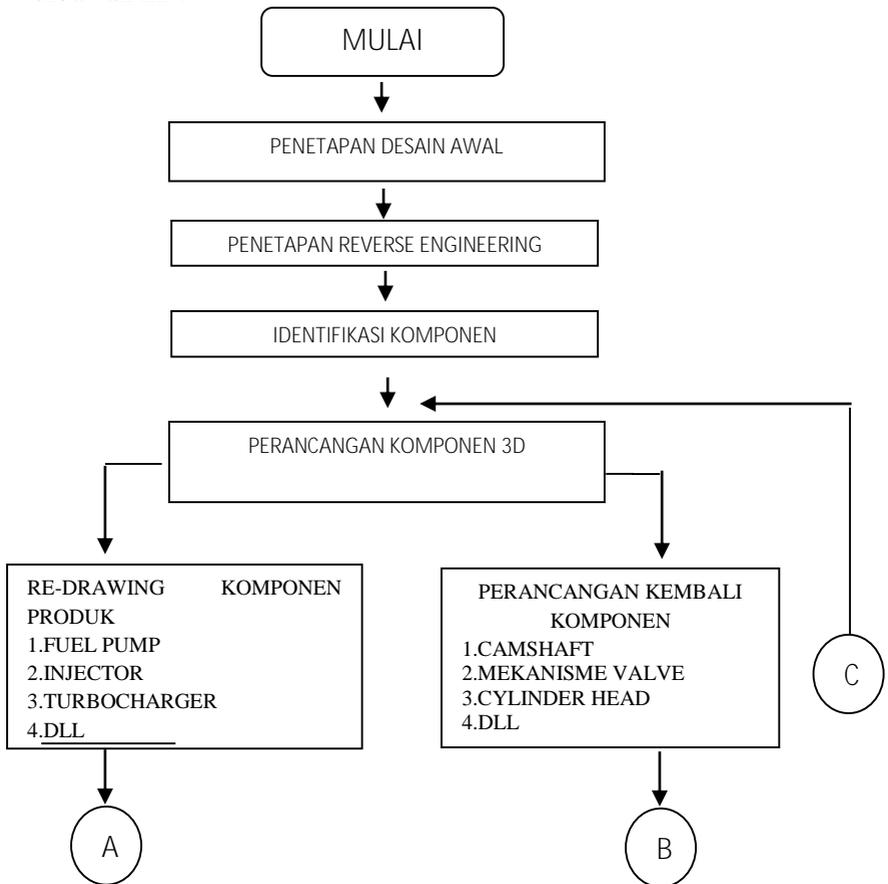
(Elements of Metric Gear Technology)

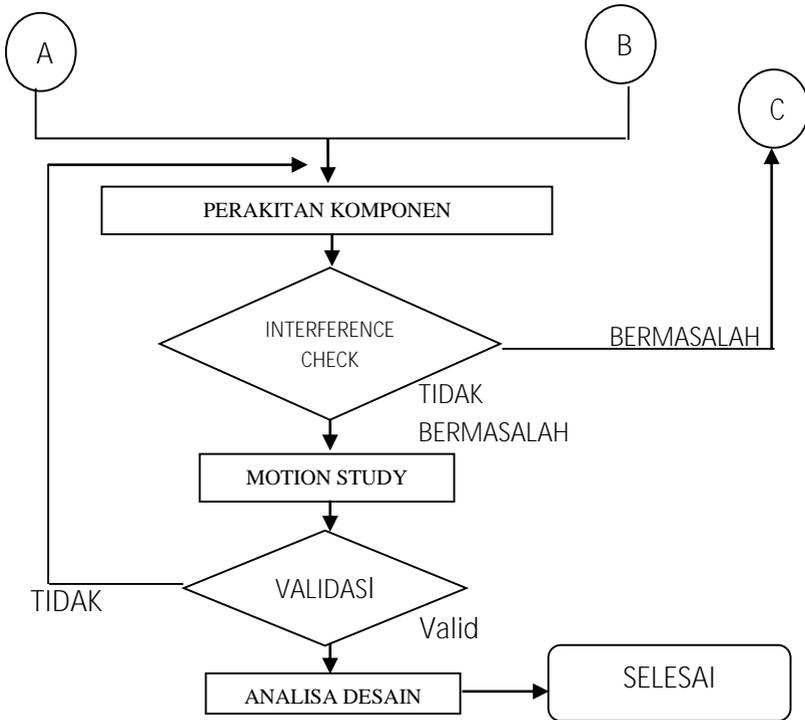
“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini metode reverse engineering digunakan untuk perancangan mesin diesel dengan acuan mesin diesel yang sudah ada dengan daya 125HP. Proses perancangan dilakukan pada bentuk fisik dan dimensi dari komponen mesin diesel yang selanjutnya akan dirakit menjadi mesin diesel yang utuh. Prosedur pengerjaan dapat dilihat pada flowchart pengerjaan gambar 3.1 dibawah ini :





Gambar 3. 1 Flowchart Pengerjaan

III.1. PENETAPAN DESAIN AWAL

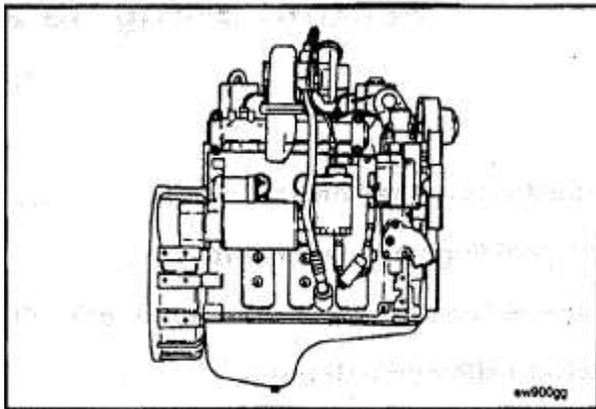
Dalam menetapkan desain awal pada perencanaan mesin diesel reverse engineering ini mesin yang menjadi acuan desain adalah Cummins 4BTA 93kW. Dengan spesifikasi teknis terdapat pada table 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin Diesel Yang Akan Dirancang

Daya	125 HP (93kW)
Putaran	2200
Bore	102 mm

Stroke	120 mm
Rasio Kompresi	1:16,5
Jumlah Silinder	4 silinder
Jumlah katub	8 katub
Firing order	1-3-4-2
Sistem pendinginan	Pendingin air

Pada penetapan desain awal ini diperlukan acuan berupa bentuk secara umum dan ukuran dari mesin diesel yang dilakukan rekayasa ulang. Selain itu spesifikasi teknis dari acuan mesin diesel juga mempengaruhi rancangan pada tiap tiap komponen supaya menghasilkan mesin diesel yang diinginkan. Desain acuan Diesel Cummins akan menjadi petunjuk dalam pembuatan permodelan tiga dimensi



Gambar 3. 2 Mesin Diesel Cummins 4BTA 1

Sumber : Cummins manual

Gambar 3.2 menunjukkan gambar mesin diesel Cummins 4BTA yang dijadikan acuan untuk Rekayasa Balik(Reverse Engineering). Selain manual book, komponen mesin diesel yang terdapat pada lab MPP juga digunakan sebagai referensi bagian bagian(komponen) mesin diesel.

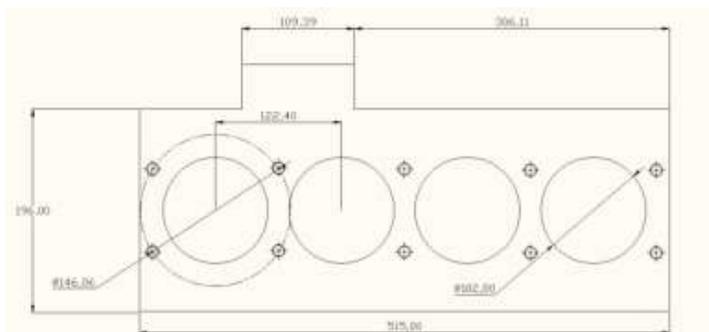
III.2. Penetapan Reverse Engineering

Pada tahap ini adalah penetapan rancangan komponen yang dilakukan rekayasa balik(reverse engineering) berdasarkan penelitian sebelumnya seperti yang telah dijelaskan pada Bab II terkait Reverse Engineering Mesin diesel 125HP. Rancangan komponen tiga dimensi tersebut telah dilakukan perancangan ulang dan juga analisa pada tiap tiap komponen mesin diesel.

Dari desain komponen komponen mesin diesel tersebut nantinya akan digunakan untuk dilakukan perakitan pada desain tiga dimensi pada penelitian ini sehingga bisa dihasilkan mesin diesel yang kompleks.

III.3. Identifikasi Komponen

Mesin diesel yang menjadi acuan reverse engineering telah dibongkar pada penelitian sebelumnya dilakukan identifikasi. Identifikasi pengukuran dilakukan pada tiap tiap komponen yang akan dilakukan penggambaran ulang (re-drawing). Identifikasi tersebut dilakukan untuk mengetahui apa saja komponen yang harus dilakukan perancangan ulang untuk dilakukan perakitan pada desain mesin diesel. Selain itu identifikasi juga dilakukan untuk memahami bagaimana mesin diesel bekerja dan apa saja kelengkapan pada mesin diesel tersebut, melalui manual book didapat ukuran utama motor diesel seperti bore, stroke serta data lainnya.



Gambar 3. 3 Sketsa Engine Blok

Pada gambar 3.3 adalah dimensi dari engine blok tampak atas yang telah dilakukan identifikasi, sketsa dari model 3D dari tiap tiap komponen dibuat terlebih dahulu untuk memudahkan perakitan tiap tiap komponen nantinya



Gambar 3. 4 Pengukuran Pada Camshaft

Pada gambar 3.4 merupakan proses pengukuran yang dilakukan pada camshaft dari Mesin Diesel reverse engineering untuk mengetahui durasi dari cam lobe. Dengan menggunakan lingkaran derajat, durasi cam lobe diketahui sehingga dapat dilakukan perancangan model pada camshaft.

III.4. Perancangan Komponen 3 Dimensi

Pada tahap ini yang dilakukan adalah membuat desain komponen 3 dimensi menggunakan software *solidworks*. pembuatan desain 3 dimensi dilakukan pada komponen komponen yang belum terdapat rancangannya pada penelitian sebelumnya untuk melengkapi bentuk fisik dari mesin diesel. Dalam perancangan komponen 3 dimensi ini dibagi menjadi 2 jenis kelompok, yakni :

III.4.1 Perancangan komponen produk

Pada bagian ini pembuatan desain 3 dimensi komponen produk karena ketersediaan di pasaran yang menjual komponen tersebut. Sehingga komponen komponen tidak perlu dilakukan desain ulang, tetapi hanya pembuatan model 3D sesuai bentuk aslinya tanpa memperhatikan kinerja serta efisiensi tiap tiap komponen. Desain komponen tersebut akan digunakan pada saat perancangan mesin diesel reverse engineering. Berikut ini beberapa komponen komponen yang dipakai :



Gambar 3. 5 Robert Bosch RSV 475
(Sumber : ebay,2014)



Gambar 3. 6 Robert Bosch 89-93 injector
(Sumber : dieselpowerproducts,2014)



Gambar 3. 7 Cummins Z39004 Sea Water Pump
(Sumber : dscummins,2014)

III.4.2 Perancangan Kembali Model

Pada tahap ini dilakukan perancangan kembali pada komponen komponen yang ada. hal yang dilakukan adalah proses meniru komponen yang sudah ada dan membuat desain 3 dimensi komponen tersebut. Melalui proses identifikasi komponen dapat diketahui mana saja komponen mesin diesel yang perlu dilakukan perancangan kembali serta dimensi dari komponen komponen tersebut. Pada saat pembuatan desain komponen hal yang diperhatikan adalah jarak antar komponen, clearance dan juga penempatan posisi dari komponen. Karena dalam penelitian ini dibutuhkan desain Mesin diesel yang dapat dirakit.

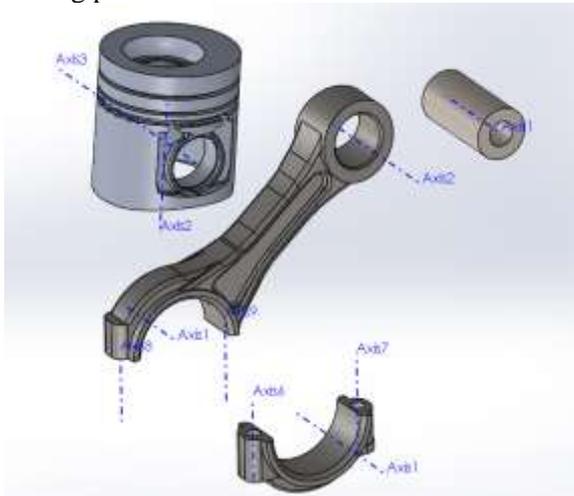


Gambar 3. 8 Proses desain komponen

Proses desain komponen diawali dari pembuatan sketsa dua dimensi dengan dimensi yang berasal dari proses identifikasi dan pengukuran pada komponen acuan kemudian dibuat model 3D seperti tampak pada gambar 3.8 adalah pembuatan model dari camshaft

III.5. Perakitan komponen

Setelah pembuatan desain selesai, pada tahap ini setiap desain komponen-komponen mesin diesel tersebut digabungkan/dirakit menjadi satu agar menjadi suatu sistem yang utuh dan kompleks sehingga dapat dihasilkan sebuah desain engine. Pada gambar 3.9 Dibawah ini merupakan komponen piston kit yang akan dirakit pada menggunakan software *solidworks assembly*. Acuan dalam perakitan ini terdapat beberapa macam antara lain adalah sumbu poros, titik, garis maupun bidang pada model 3 dimensi.



Gambar 3. 9 Perakitan Komponen Piston Kit

Gambar 3.9 merupakan desain piston kit yang siap untuk dilakukan perakitan. Perakitan komponen dilakukan pada sumbu poros dari masing masing komponen agar didapat hubungan yang

tepat. Hasil dari perakitan model pada gambar 3.9 Dapat terlihat seperti gambar 3.10. Dibawah ini :



Gambar 3. 10 Hasil Perakitan Komponen Piston Kit

Gambar 3.10 merupakan perakitan dari piston dengan connecting rod yang dihubungkan melalui masing masing poros dari komponen. Setelah proses perakitan selesai, desain hasil perakitan perlu dilakukan peninjauan kembali. Karena desain dari komponen Marine Diesel belum tentu sesuai dengan komponen lainnya. Ketidak sesuaian tersebut dapat menyebabkan desain Mesin Diesel tidak dapat dirakit. Hal tersebut dapat disebabkan oleh ukuran komponen yang tidak sesuai dan pengaturan atau posisi yang salah.

III.6. Interference Check

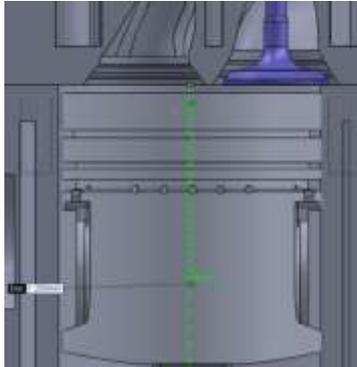
Pada tahap ini adalah peninjauan kembali permodelan komponen mesin diesel yang telah digabungkan menggunakan software *solidworks*. dilakukan pemeriksaan gangguan(*interference Check*) untuk mendeteksi adanya gangguan pada desain komponen. *interference Check* digunakan untuk membantu memverifikasi apakah desain akan cocok, dapat dirakit dan beroperasi dengan benar sebelum dilakukan produksi. Contoh gangguan tersebut

adalah komponen yang saling menghalangi atau tidak sejajar, pasak yang tidak dapat masuk pada lubang pasangannya. Jika terjadi kesalahan desain pada proses perakitan maka dapat terdeteksi pada tahap ini sehingga bisa diketahui bagian mana dari komponen yang perlu dilakukan perbaikan.



Gambar 3. 11 Proses Interference Check

Pada gambar 3.11 diatas ini merupakan perakitan dari katub,cylinder head, piston dan juga crankshaft yang dilakukan *interference check*. Pada gambar 3.11 terlihat bagian yang mengalami gangguan ditunjukkan dengan warna merah pada desain. Setelah diketahui bagian mana yang mengalami kesalahan pada desain marine diesel dilakukan pemeriksaan pada bagian tersebut Sehingga dapat diketahui pada bagian mana komponen Marine Diesel harus diperbaiki agar tidak terjadi kesalahan.

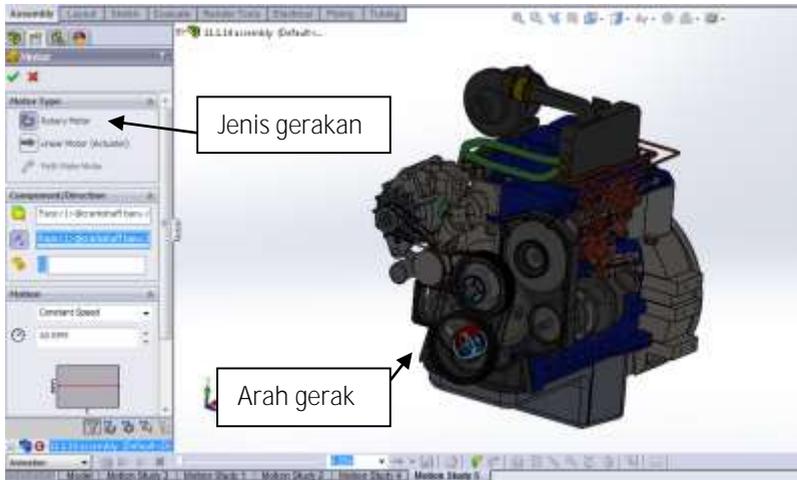


Gambar 3. 12 missalignment pada assembly

Pada gambar 3.12 adalah posisi piston yang salah pada perakitan antara silinder liner , silinder head, dan piston telah terhubung dengan connecting rod dan juga crankshaft. Pada gambar terlihat bahwa sumbu poros dari piston dengan silinder liner tidak sejajar(tidak berada pada 1 garis lurus), dilakukan pengukuran (measurement) pada sumbu poros piston dengan silinder liner menggunakan software *solidworks* dan terdapat jarak sebesar 1,2mm sehingga harus dilakukan perbaikan pada desain komponen tersebut.

III.7. Motion Study

Motion study atau simulasi pergerakan dilakukan pada desain Marine diesel Reverse Engineering yang telah selesai dirakit. Diharapkan pergerakan komponen mesin diesel dapat bekerja satu sama lain terutama pada bagian utama diesel seperti pada piston, connecting rod, crankshaft, dan juga mekanisme katub yang bekerja saling mempengaruhi satu sama lain.



Gambar 3. 13 Beranda Motion Study

pada gambar 3.13 merupakan beranda solidworks motion, gerakan rotasi diberikan pada crankshaft untuk mensimulasikan pergerakan mesin saat bekerja. Dengan simulasi tersebut dapat diketahui jika rancangan komponen pada mesin diesel yang sudah dibuat dapat bekerja satu sama lain seperti contohnya adalah konfigurasi gear yang saling menggerakkan satu sama lain. Dengan dilakukan simulasi motion inilah diketahui pergerakan komponen untuk dianalisa lebih lanjut.

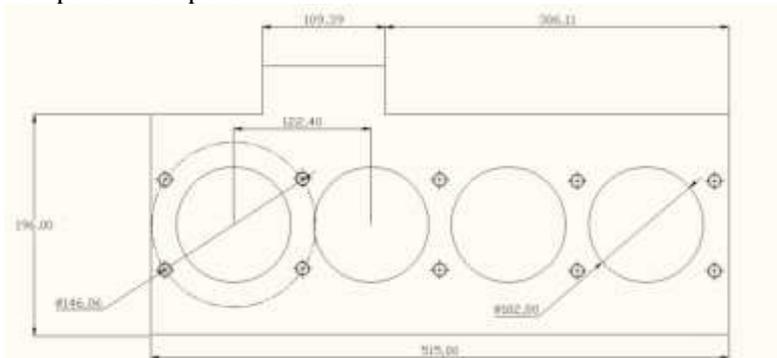
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan hasil dari analisa dan pembahasan mengenai bagaimana perancangan komponen komponen, penggunaan hasil perancangan peneliti sebelumnya hingga menjadi mesin diesel reverse engineering. Dari model yang telah dibuat akan disimulasikan kerja dari model tersebut untuk nantinya dilakukan analisa gerak dari model mesin diesel reverse engineering.

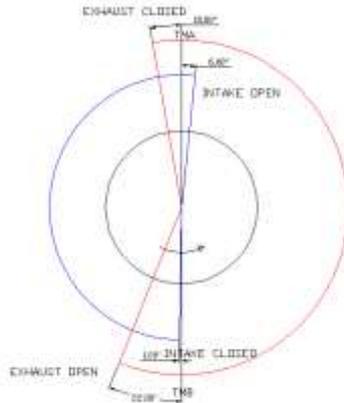
IV.1. Perancangan Model

Perancangan model mesin diesel Reverse Engineering ini menggunakan software *solidworks* . Dalam perancangan model ini diawali dengan identifikasi komponen mana saja yang harus dilakukan perancangan ulang dan penggambaran ulang. proses perancangan model ini dibagi menjadi 2 kelompok yakni mendesain komponen berdasarkan produk yang akan dipakai dan Perancangan ulang komponen sesuai dengan bentuk aslinya. Dalam perancangan model ini telah dilakukan pengukuran untuk membuat sketsa dari desain sebelum dibuat model 3D dari komponen komponen mesin.



Gambar 4. 1 Sketsa Cylinder Block

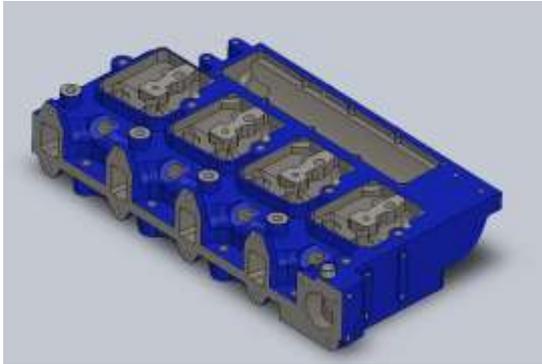
Pada gambar 4.1 diatas adalah sketsa dari cylinder block untuk dibuat model 3D dari komponen tersebut. Dalam sketsa Cylinder block ini yang harus diperhatikan adalah jarak antar cylinder dan posisi lubang baut terhadap cylinder liner. Agar pada saat perakitan model 3D tidak terjadi misalignment pada masing masing komponen.



Gambar 4. 2 Durasi Camshaft

Pada gambar 4.2 diatas ini adalah durasi dari camshaft yang telah diukur. Pada bagian intake, camshaft menekan valve intake dimulai dari 6° sebelum TMA dan berakhir pada 1° sebelum TMB, sedangkan exhaust dimulai dari 22° sebelum TMB dan berakhir pada 10° setelah TMA.

Setelah sketsa dari masing masing komponen telah dibuat, selanjutnya adalah pembuatan model 3D dari komponen tersebut menggunakan software solidworks.



Gambar 4. 3 Engine Head Block

Pada gambar 4.3 diatas adalah model 3D dari Engine Head Block yang mana telah dibuat berdasarkan sketsa awal yang ada. Seluruh hasil dari model 3D komponen tersebut dapat dilihat pada lampiran

IV.2. Re-drawing Model Produk

Pembuatan model produk dilakukan sesuai dengan bentuk aslinya untuk tanpa mengubah geometry dari produk. Redrawing ini dilakukan untuk menentukan bagaimana perakitan produk yang digunakan dengan desain marine diesel yang dilakukan perancangan ulang. Beberapa Hasil dari desain model produk ini dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4. 4 Komponen Injector



Gambar 4. 5 Komponen Seawater Pump

Gambar 4.4 dan 4.5 diatas adalah beberapa komponen produk injector dan water pump yang telah dibuat permodelan 3 dimensi untuk dilakukan perakitan Mesin Diesel Reverse Engineering.

IV.3. Perancangan Ulang Model Marine Diesel

Pada tahap ini perancangan ulang yang dimaksud adalah proses meniru bentuk dari komponen mesin diesel yang dijadikan sebagai acuan. Proses meniru ini dimulai dengan cara mengukur geometri dari benda kerja atau komponen(bagian) mesin diesel yang nantinya akan dibuat model 3D. Pembuatan desain dari komponen mesin diesel ini tidak memperhitungkan efisiensi dari tiap komponen, karena pada penelitian ini perancangan ulang model dilakukan untuk membuat desain dari mesin diesel dengan komponen-komponen yang dapat dirakit. Pada saat penelitian ini dimulai, sudah dihasilkan desain dari beberapa komponen marine diesel yang telah mengalami modifikasi seperti yang telah dijelaskan paa Bab II. Desain dari modifikasi yang telah dilakukan tersebut akan digunakan pada penelitian ini untuk perakitan.

IV.3.1 Modifikasi Komponen Marine Diesel

pada penelitian ini dilakukan modifikasi pada komponen Marine Diesel, komponen yang dilakukan modifikasi adalah komponen

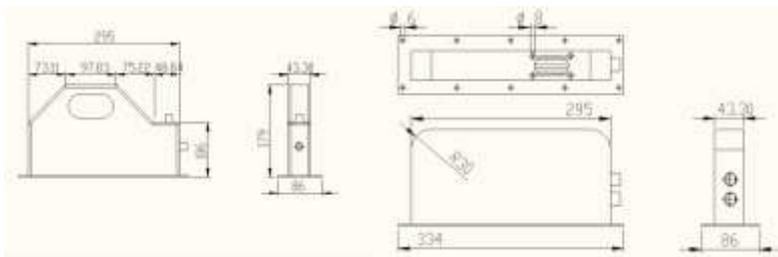
aftercooler dengan perubahan geometry atau perubahan bentuk tanpa memperhatikan pengaruh dari modifikasi.



Gambar 4. 6 Komponen Aftercooler

Gambar 4.6 adalah komponen aftercooler dari Marine Diesel, perubahan geometry dari aftercooler ini dilakukan tanpa menghitung pengaruh serta kinerja dari aftercooler. Karena penelitian ini perancangan dan perakitan desain Marine Diesel.

Perubahan geometry dari komponen aftercooler dapat terlihat pada gambar 4.7 berikut :



Gambar 4.7 Sketsa Modifikasi Aftercooler

Modifikasi pada komponen aftercooler dilakukan perubahan dari bentuk komponen ini. Pada penelitian ini tidak dilakukan analisa mengenai efek modifikasi tersebut

IV.3.2 Perancangan geometri roda gigi

Pada penelitian ini, konfigurasi gear yang ada pada mesin acuan tidak diketahui geometry keseluruhan dari masing masing gear yang ada dikarenakan tidak adanya informasi pasangan atau susunan gear dan dibutuhkan alat ukur khusus yang mana tidak tersedia. maka dilakukan perhitungan ulang untuk geometry dari masing-masing gear agar didapatkan geometry untuk mendesain susunan gear. Dengan hanya diketahui diameter luar, jumlah gigi, dan helix angle dilakukan perhitungan geometry dasar gear untuk mendapatkan module dari susunan gear.

Pada perancangan roda gigi ini di asumsikan roda gigi standar sehingga koefisien pergeseran profile(*profile shift coefficient*) = 0. Perhitungan untuk mencari module gear adalah sebagai berikut :

Pada roda gigi crankshaft diketahui :

- Diameter luar (d_a) = 98 mm
- Jumlah gigi (z) = 36
- Helix angle (β) = 15°
- Pressure angle (α) = 20° (asumsi, karena pressure angle standar yang umum digunakan sebesar 20°)

Radial pressure angle (t)

$$\begin{aligned}
 t &= \tan^{-1} * \left(\frac{1}{\cos \beta} \right) \\
 &= \tan^{-1} * \left(\frac{\tan 20^\circ}{\cos 15^\circ} \right) \\
 t &= 20,646
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \operatorname{inv} wt &= 2 \tan^{-1} \left(\frac{1 + \frac{2}{1 + 2}}{1 + 2} \right) + \operatorname{inv} t \\
 \operatorname{inv} wt &= 0 + \operatorname{inv} 20,646^\circ \\
 &= \tan^{-1} 20,646 - 20,646 \left(\frac{\pi}{180} \right) \\
 &= 0,3767 - 0,3603 \\
 \operatorname{Inv} wt &= 0,0164
 \end{aligned}$$

wt merupakan fungsi inverse dari $\operatorname{inv} wt$

$$\begin{aligned}
 wt &= \operatorname{inverse} \operatorname{inv} wt \\
 &= \operatorname{inverse} 0,0164 \\
 wt &= 20,646
 \end{aligned}$$

dengan diketahui nilai wt dan t maka dapat dihitung nilai *centre distance increment factor* (y)

$$\begin{aligned}
 y &= \left(\frac{1 + \frac{2}{2}}{2} \right) * \left(\frac{20,646}{20,646} \right) - 1 \\
 &= \left(\frac{36 + 72}{2 \cdot 15^\circ} \right) * \left(\frac{20,646}{20,646} \right) - 1 \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

Nilai dari diameter luar (da) yang sudah diketahui dan dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut untuk mendapatkan nilai module .

$$\begin{aligned}
 da &= d + 2ha \\
 &= \left(\frac{36}{\cos 15^\circ} \right) + 2(1 + y - Xn2)mn
 \end{aligned}$$

$$98 = \left(\frac{36}{\cos 15^\circ} \right) + 2(1 + 0 - 0)mn$$

$$98 = \frac{36 + 1,9278}{0,9636}$$

$$Mn = 2,49$$

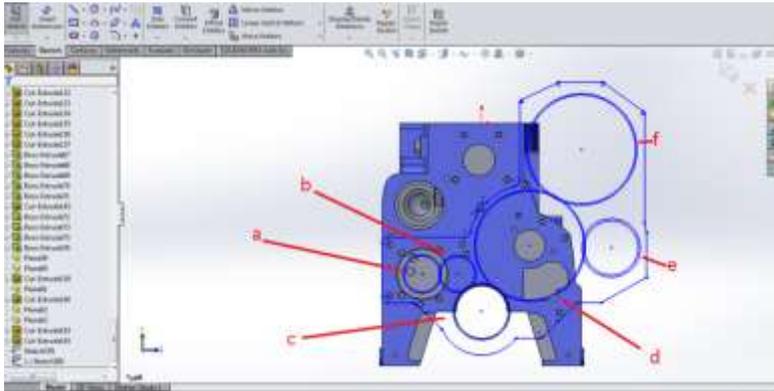
Didapatkannya nilai Mn sebesar 2.49, dibulatkan menjadi 2,5 karena nilai standar module terdekat adalah 2,5. Selanjutnya dengan menggunakan module 2,5 dilakukan perhitungan kembali pada susunan roda gigi untuk mendesain layout transmisi roda gigi. Perhitungan geometry dari susunan gear pada mesin diesel adalah seperti pada table dibawah ini :

Tabel 4.1 Perhitungan Geometry Pada Susunan Roda Gigi

Symbol	Gear					
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
<i>m</i>	2.5					
	20					
	15					
<i>z1, z1, ...dst</i>	23	24	36	72	36	72
<i>t</i>	20.646					
inv wt	0.01645					
<i>wt</i>	20.646					
<i>y</i>	0					
<i>d</i>	59.528	62.11	93.17	186.34	93.17	186.34
<i>db</i>	55.705	58.12	87.19	174.38	87.19	174.38
<i>ha1</i>	0					
<i>ha2</i>	0					
<i>h</i>	5.625					
<i>da</i>	64.528	67.11	98.17	191.34	98.17	191.34

Dengan tabel 4.1 diatas, didapatkan geometry roda gigi yang dibutuhkan untuk mendesain susunan roda gigi, yaitu pitch diameter(*d*) dan outside diameter(*da*)

Setelah didapatkan geometri gear, maka dapat dibuat layout mekanisme gear yang terdapat pada gambar 4.8 dibawah ini



Gambar IV. 8 Layout Konfigurasi Roda Gigi

Gambar 4.8 diatas adalah sketsa dari desain transmisi roda gigi dan juga gear cover. Sketsa roda gigi dibuat dengan ukuran pitch diameter dari roda gigi yang telah dilakukan perhitungan, dimana lingkaran pitch dari tiap roda gigi yang berpasangan saling bersinggungan. Sketsa dibuat dengan acuan dari desain yang sudah ada untuk mengurangi kesalahan juga untuk mempercepat proses desain

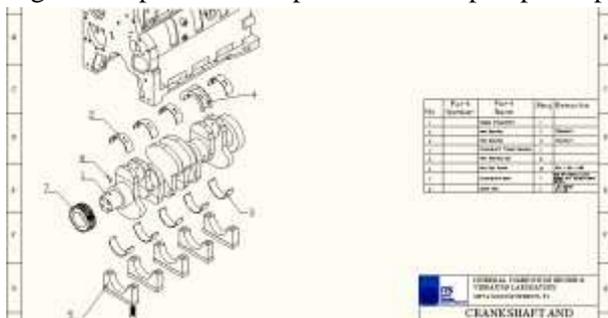
IV.4. Perakitan Model Marine Diesel

Pada bagian ini dilakukan perakitan pada model Marine Diesel yang telah selesai didesain hingga menjadi model Marine Diesel yang diinginkan. Gambar dibawah ini merupakan *assembly* (perakitan) dari semua komponen yang telah dirancang.



Gambar 4. 9 Tampak Depan Desain Marine Diesel Reverse Engineering

Gambar 4.9 Merupakan tampak depan dari desain Marine Diesel yang telah dirancang dan dilakukan perakitan keseluruhan. Untuk melihat detail dari keseluruhan perakitan ini dibuat gambar kerja yang menampilkan detail perakitan di tiap tiap komponen



Gambar 4. 10 Crankshaft Assembly

Gambar 4.10 diatas adalah perakitan dari crankshaft pada cylinder blok beserta kelengkapannya. Detail perakitan pada komponen lainnya terdapat pada lampiran

IV.5. Analisa Desain

Pada bagian ini dilakukan Analisa pada Model Marine Diesel yang telah dibuat bertujuan untuk mengetahui ada atau tidaknya kesalahan pada desain yang dapat membuat mesin tidak bisa dirakit. selain itu juga dilakukan Simulasi gerakan dilakukan untuk mengetahui komponen komponen utama mesin diesel yang bergerak seperti crankshaft, camshaft, transmisi roda gigi dapat bekerja satu sama lain atau tidak.

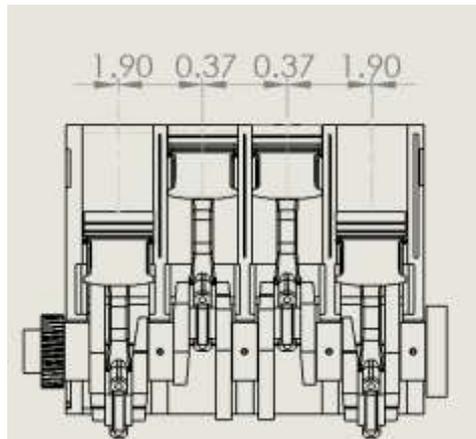
IV.5.1 Intererence detection

Analisa pertama yang dilakukan adalah pendeteksian kesalahan desain. Kesalahan tersebut berupa komponen yang saling bertabrakan pada saat dirakit atau bahkan komponen tidak dapat dirakit. Fasilitas interference detection pada software solidworks dilakukan pada sebagian kecil dari assembly desain marine diesel hingga assembly keseluruhan.



Gambar 4. 11 Hasil Interference Detection

Gambar 4.11 diatas adalah hasil interference detection pada desain komponen crankshaft, connecting rod, piston yang dipasangkan pada cylinder blok. Pada gambar terlihat komponen yang mengalami gangguan terdapat bayangan berwarna merah. Setelah diketahui pada komponen bagian mana yang mengalami gangguan, dilakukan *measurement*(pengukuran) pada komponen tersebut. Kasus pada gambar IV.10 gangguan terdapat pada piston yang menabrak silinder liner, dan juga connecting rod yang menabrak crankpin, pada *assembly* (perakitan) ini dilakukan pengukuran pada sumbu poros silinder liner dengan sumbu poros piston untuk mengetahui seberapa besar jarak pergeseran sumbu poros piston terhadap silinder liner. Hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada gambar 4.12 dibawah ini

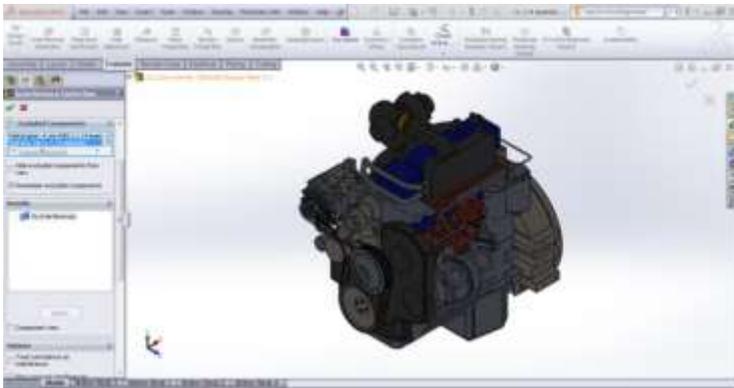


Gambar 4. 12 Hasil Pengukuran sumbu poros

Pada gambar 4.12 terlihat bahwa adanya *misalignment* pada sumbu poros piston 1 dan 4 dengan silinder liner sehingga terdapat jarak sebesar 1.9mm, pada sumbu poros piston 2 dan 3 terdapat jarak sebesar 0.39mm dengan sumbu poros dari silinder

liner. Hal ini terjadi karena *assembly* (*perakitan*) model komponen menggunakan model dari hasil penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini dilakukan perubahan desain komponen tersebut yang bertujuan agar model 3D sesuai dengan sketsa awal yang telah dibuat.

Setelah semua komponen mesin diperbaiki dan sesuai dengan sketsa awal, maka dilakukan *assembly total* yang selanjutnya dilakukan *Interference detection* pada *assembly* seluruh komponen.



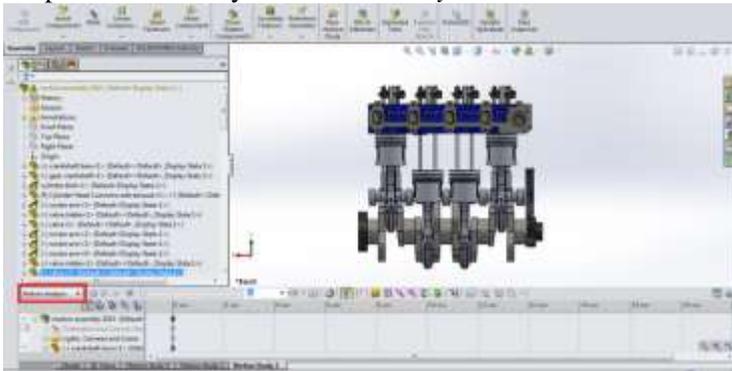
Gambar 4. 13 Interference Detection

Pada gambar 4.13 diatas merupakan hasil dari interference detection yang dilakukan setelah dilakukan perubahan pada desain komponen Marine Diesel. Gangguan pada desain tidak ditemukan pada desain Assembly keseluruhan. Oleh karena itu desain dari marine diesel ini dapat dirakit dengan baik.

IV.5.2 Simulasi Gerakan

Pada tahap ini dilakukan simulasi pergerakan dari komponen komponen mesin diesel. Simulasi pergerakan dimulai pada crankshaft yang diberi pergerakan rotasi untuk mensimulasikan

kerja dari mesin diesel. Simulasi gerakan ini dilakukan dengan tools pada *solidwork* yaitu *motion analysis*.

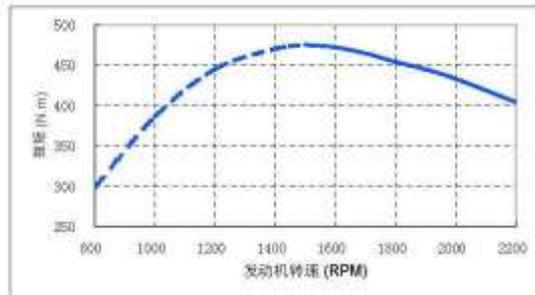


Gambar 4. 14 Beranda Solidwork Motion

Pada gambar 4.14 diatas adalah beranda motion analysis pada software solidworks. Pada analisa pergerakan ini komponen mesin diesel yang tidak ikut mengalami pergerakan disembunyikan agar memudahkan pengaturan dari input data untuk motion dan juga memudahkan untuk diperlihatkan bagaimana pergerakan dari komponen mesin diesel.

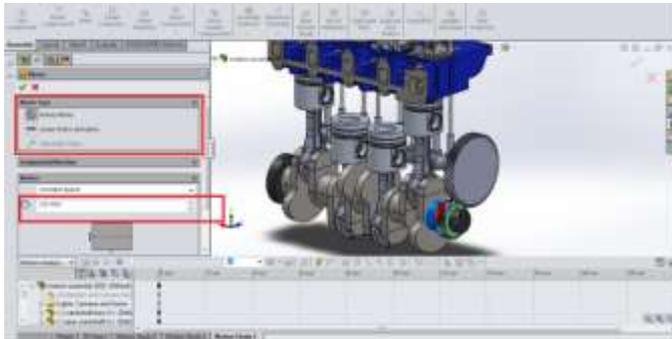
Dengan melihat project guide dari mesin diesel acuan yaitu Cummins 4bta, dilakukan analisa pada RPM mesin pada saat idle, torsi maksimum dan RPM maksimum,

扭矩	
RPM	N.m
800	298
1000	386
1200	445
1400	470
1500	475
1600	472
1700	465
1800	454
1900	445
2000	433
2200	404



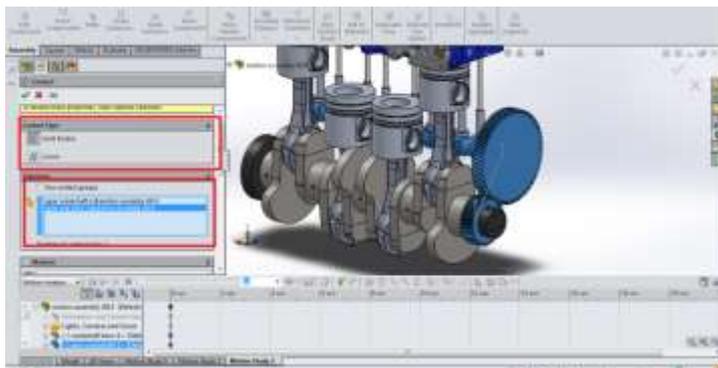
Gambar 4. 15 Spesifikasi Torsi Mesin Pada Tiap RPM

Grafik dan tabel pada gambar 4.15 diatas adalah spesifikasi dari torsi di tiap putaran mesin dari mesin Cummins 4bta.



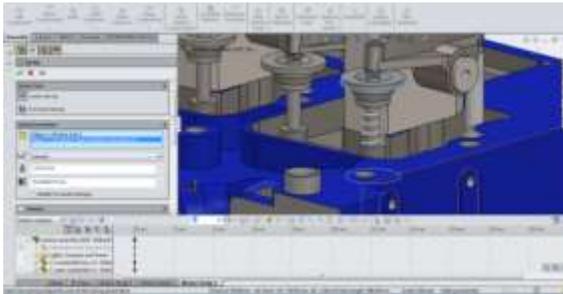
Gambar 4. 16 Input Pergerakan Pada Crankshaft

Diberikan input pergerakan rotasi pada crankshaft sebesar 900, 1500 dan 2200 RPM. Pada gambar 4.16 adalah beranda *motion analysis* untuk memasukan data rotasi dan juga komponen mana yang mengalami gerak rotasi. Dalam analisa ini yang menjadi motor penggerak adalah crankshaft. Namun pada analisa ini hasil yang ingin dicari mekanisme pergerakan mesin yang dapat saling bekerja satu sama lain.



Gambar 4. 17 Input Kontak Benda Padat

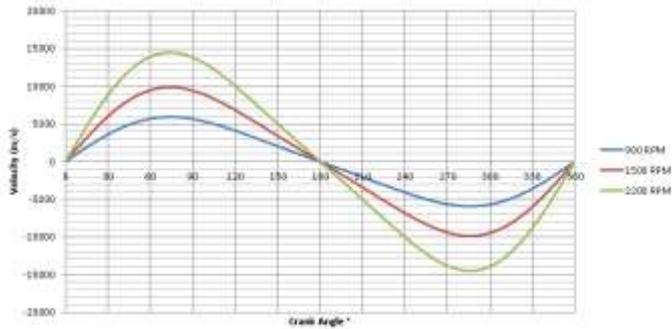
Pada gambar 4.17 diatas adalah inputan kontak benda padat yang diberikan pada gear crankshaft dengan gear camshaft untuk mensimulasikan transmisi gaya oleh susunan gear. Pada penelitian ini tidak hanya gear crankshaft dengan gear camshaft saja yang diinput kontak benda padat, tetapi semua komponen komponen yang bergerak seperti konfigurasi rocker arm dan valve dan juga Engine block.



Gambar 4. 18 Input Pegas Pada Valve

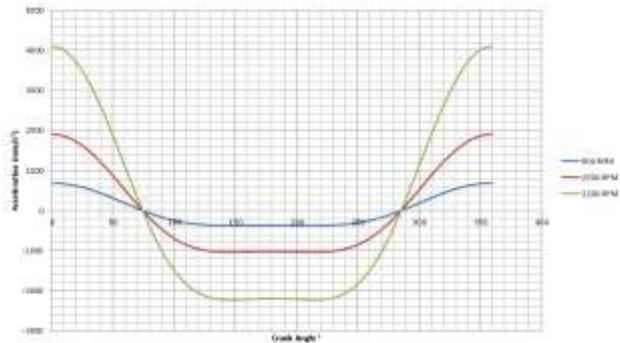
Gambar 4.18 menunjukkan input pegas pada valve . namun nilai konstanta pegas pada penelitian ini dihiraukan.

Setelah dilakukan kalkulasi oleh *software solidworks* didapatkan perolehan data kecepatan dan percepatan dari piston sebagai indikator bahwa model dari marine diesel reverse engineering dapat bekerja mekanisme pergerakannya, dengan data kalkulasi kecepatan dan percepatan piston yang dihasilkan dari Motion Study Solidworks adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 19 Piston Velocity

Pada Gambar 4.19 adalah grafik data hasil kalkulasi yang menunjukkan kecepatan piston tertinggi pada saat 900 RPM berada pada $73,8^\circ$ setelah TDC dengan kecepatan sebesar 5927.5mm/s , pada saat 1500 RPM berada pada 72° setelah TDC dengan kecepatan sebesar 9871.6mm/s , pada saat 2200 RPM berada pada 73.9° setelah TDC dengan kecepatan sebesar 14502.2mm/s .



Gambar 4. 20 Piston Acceleration

Pada Gambar 4.20 adalah grafik data hasil kalkulasi percepatan tertinggi piston pada 900 RPM terdapat pada 0° Crankangle sebesar 688 mm/s^2 lalu mengalami perlambatan terbesar pada 210° Crankangle sebesar 372 mm/s^2 . Percepatan tertinggi piston pada 1500 RPM terdapat pada 0° Crankangle sebesar 1911 mm/s^2 lalu mengalami perlambatan terbesar pada 210° Crankangle sebesar 1036 mm/s^2 . Percepatan tertinggi piston pada 2200 RPM terdapat pada 0° Crankangle sebesar 4112 mm/s^2 lalu mengalami perlambatan terbesar pada 210° Crankangle sebesar 2228 mm/s^2

dengan diketahui kecepatan dan percepatan piston di tiap sudut ini menunjukkan simulasi pergerakan dari Marine Diesel Reverse Engineering dapat bekerja. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Prototype Marine Diesel Reverse Engineering dengan komponen komponen yang dibuat dapat dilakukan motion study yang menunjukkan bahwa desain dapat bekerja

4.6 Model Marine Diesel Reverse Engineering

Pada bagian ini ditampilkan hasil dari perancangan Marine Diesel Reverse Engineering secara keseluruhan yang telah melalui proses rendering menggunakan solidworks photoview 360 untuk menunjukkan tampilan realistic. Sedangkan desain masing masing komponen terdapat dalam lampiran .



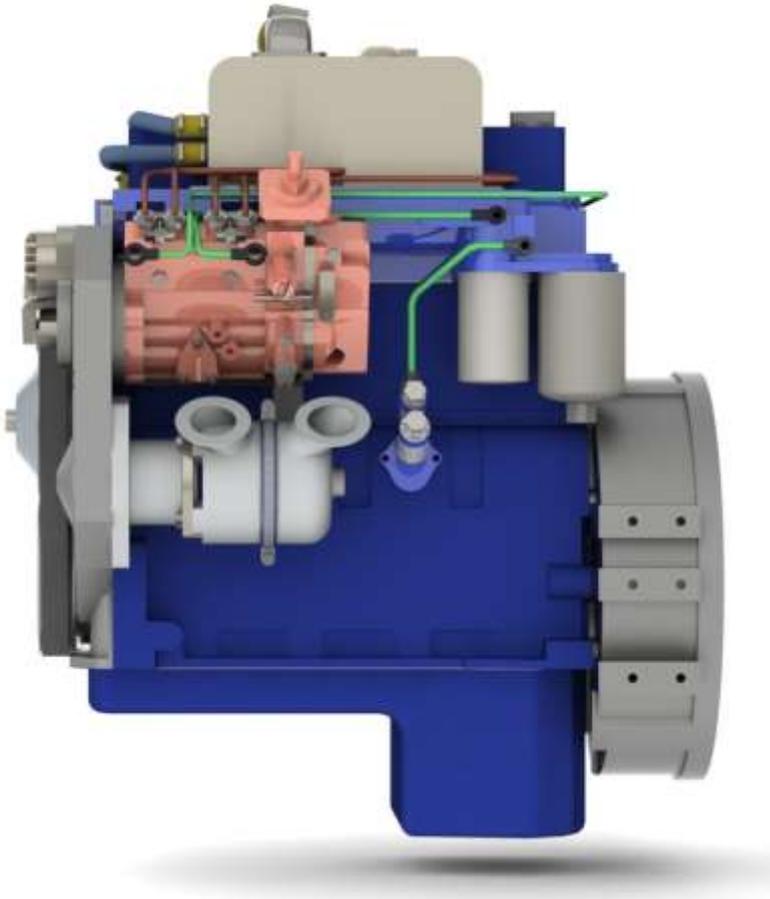
Gambar 4. 21 Tampak Isometric Engine

Pada gambar 4.21 diatas adalah tampilan isometric dari Marine Diesel Reverse Engineering yang sudah dirakit seluruhnya.



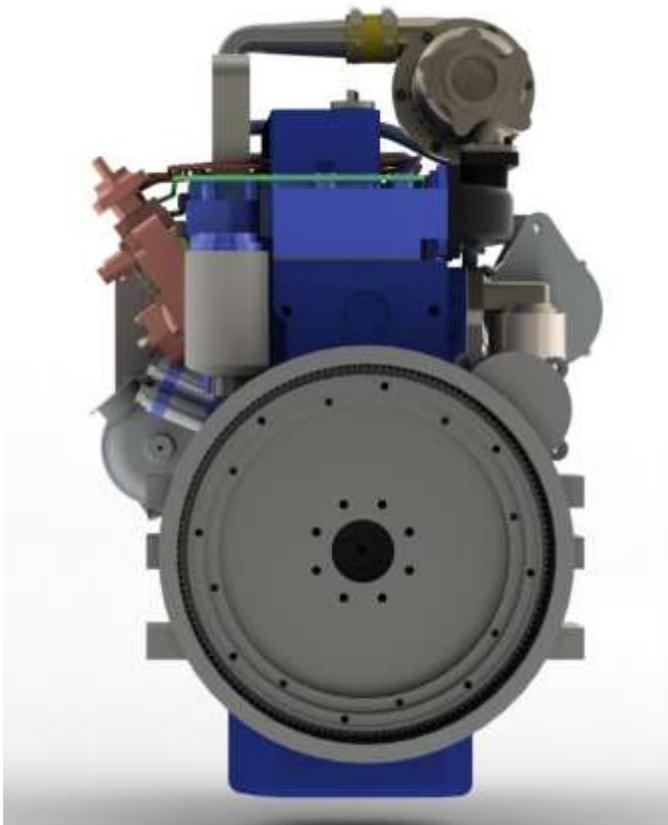
Gambar 4. 22 Tampak Depan

Pada gambar 4.22 diatas merupakan tampak depan dari Marine Diesel Reverse Engineering



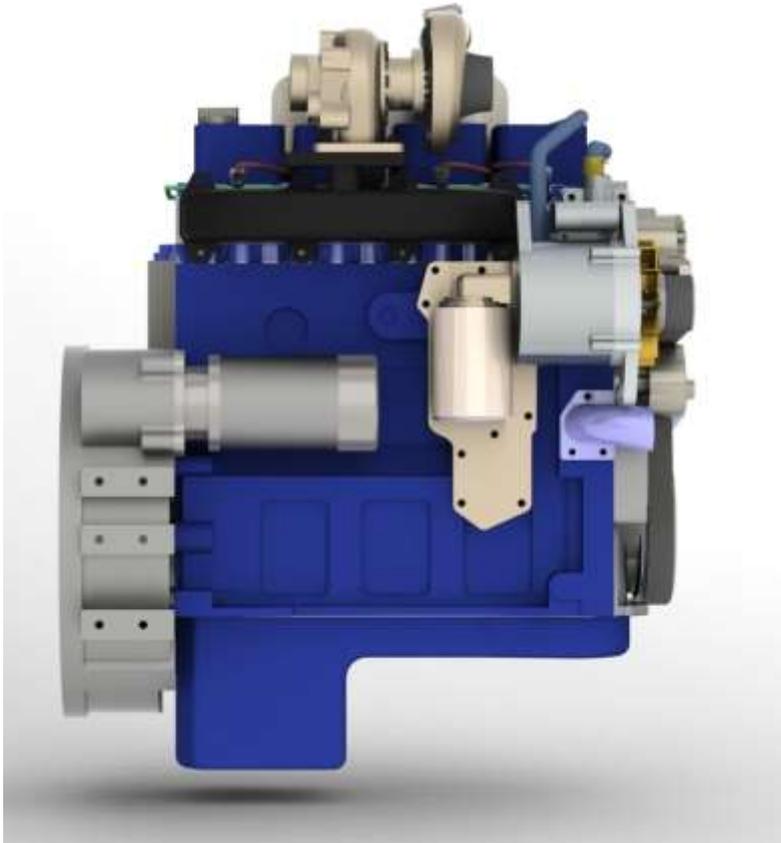
Gambar 4. 23 Tampak Samping

Pada gambar 4.23 diatas merupakan tampak depan dari Marine Diesel Reverse Engineering



Gambar 4. 24 Tampak Isometric

Pada gambar 4.24 diatas merupakan tampak belakang dari Marine Diesel Reverse Engineering



Gambar 4. 25 Tampak Isometric

Pada gambar 4.25 diatas merupakan tampak samping dari Marine Diesel Reverse Engineering

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan :

- a. Desain dari Marine Diesel dengan metode Reverse Engineering telah dibuat dengan detail dari tiap tiap komponen terdapat pada lampiran
- b. Modifikasi pada marine diesel dilakukan pada komponen aftercooler dengan perubahan geometry tanpa meninjau kinerja dari aftercooler tersebut.
- c. Rancangan model Marine Diesel 125HP tidak terdapat permasalahan seperti pergeseran sumbu poros pada piston. Komponen komponen pada marine diesel yang di rancang pada penelitian ini dapat dirakit dan bekerja.
- d. Desain marine diesel dilakukan simulasi pergerakan dengan komponen komponen utama mesin diesel yang melakukan gerak(kerja) dapat bekerja satu sama lain.
- e. Kecepatan maksimal piston dengan RPM idle yaitu 900 RPM berada pada 73.8° crankangle sebelum dan sesudah TDC sebesar 5927 mm/s
- f. Kecepatan maksimal piston dengan RPM pada saat torsi maksimal yaitu 1500 RPM berada pada 72° crankangle sebelum dan sesudah TDC sebesar 9871.6 mm/s
- g. Kecepatan maksimal piston pada RPM maksimal diperoleh pada 72° crankangle sebelum dan sesudah TDC sebesar 14502.2 mm/s

V.1 Saran

- a. Diperlukan kajian lebih lanjut mengenai performa dari rancangan Marine Diesel yang telah dibuat
- b. Diperlukan analisa performa heat transfer yang dihasilkan aftercooler pada komponen hasil modifikasi

- c. Diperlukan kajian lebih lanjut mengenai analisa gesekan dari komponen - komponen yang bergerak seperti pada transmisi roda gigi, gesekan pada bearing, cam lobe dan lain lain
- d. Diperlukan optimalisasi dari ratio rocker arm untuk memaksimalkan udara masuk dari intake valve dan hubungannya dengan timing cam

DAFTAR PUSTAKA

- Eilam, Eldad., 2005. Reversing: Secrets of Reverse Engineering. Indianapolis: Wiley Publishing
- Eckert, C, Stacey ,M And Earcl, C. 2004 References To Past Design. 2004.
- Bell, A.Graham. 1981. Performance Tuning in Theory And Practice
- Chandra, A W. 2014. Analisa Aliran Udara Fluida Masuk Terhadap Kebutuhan Udara Pembakaran Diesel Engine.
- Fauzie, F . 2014 Analisa Tegangan Piston Dan Connecting Rod Pada Motor Diesel 4 Langkah 125HP.
- Firmansyah, R. 2014. Analisa Teknis Pemilihan Packing Set Reverse Engineering Diesel Engine
- Jarrat, T. C,M. Eckert and P.J Clarkson. 2004. Development Of A Product Model To Support Engineering Change Management
- Kharbillah, M . 2014. Analisa Distribusi Tegangan Pada CrankCase Motor Diesel Reverse Engineering Sebagai Acuan Mendesain Ulang Crankcase
- Nurbekti, J. 2014. Analisa Pengaruh Tekanan Dan Temperatur Ruang Bakar Terhadap Tegangan Pada Silinder Liner Motor Diesel 4 Tak 125HP.
- Nugraha, D G. 2014 Perencanaan Sistem Starting Pada Diesel Engine
- Pranggapati, A. 2014. Analisa Pengaruh Tekanan Dan Temperatur Ruang Bakar Terhadap Tegangan Pada Silinder Head Motor Diesel 4 Langkah 125HP.
- Pradana, D R. 2014. Analisa Karakteristik Bahan Bakar Pada Mesin Reverse Engineering
- Putra, A. 2014. Analisa Pengaruh Flywheel Dan Firing Order Terhadap Proses Kerja Mesin Diesel
- Silaban, R T. 2014. Temperature On Thermal Stress On Inlet And Exhaust Valve Of 4 Stroke 125HP Of Diesel Engine
- Shigley, Joseph Edward. Mechanical Engineering Design/ Joseph Edward shigley, Charles R. Mischke. -6th ed. P. cm

- Suroso, N. 2014. Analisa Teknis Perbandingan Timing Gear Dan Timing Chain Pada Mesin Reverse Engineering
- Sutrisno, O K. 2014. Analisa Tegangan yang Terjadi pada Crankshaft untuk Proses Reverse Engineering pada Marine Diesel 4 Silinder 125 HP.
- Wibowo, D B . 2006. Memahami Reverse Engineering Melalui Pembongkaran produk di program S-1 Teknik Mesin

Lampiran

BIODATA PENULIS

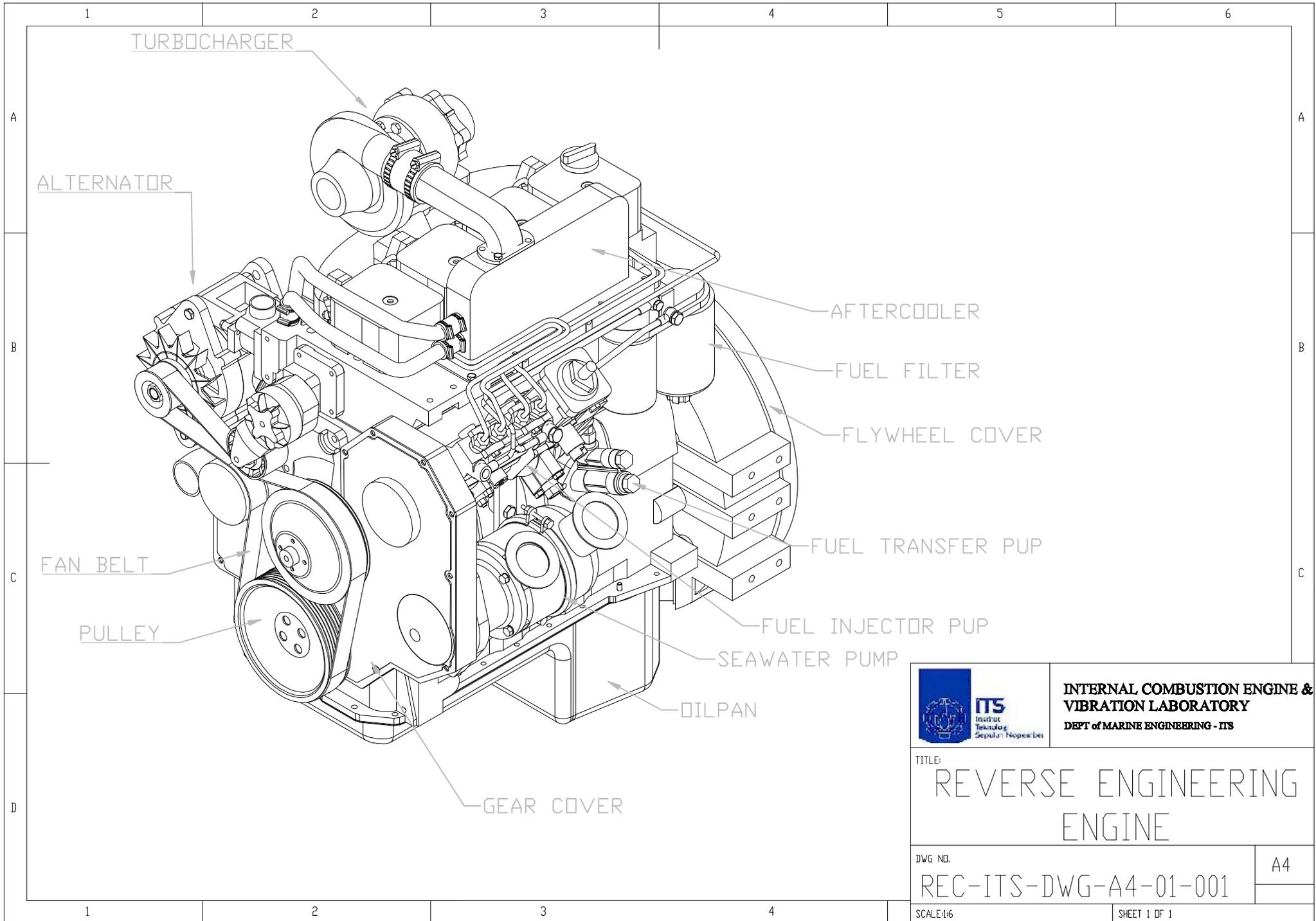


Penulis dilahirkan di Jakarta , 2 Juni 1992. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara memulai pendidikan di SDN Negeri 12 Meruya utara pada tahun 1998 hingga tahun 2004. Kemudian melanjutkan pendidikan ke SMPN 75 lulus pada tahun 2007. Dan berlanjut pada SMAN 112 Jakarta. Setelah lulus pada tahun 2010, penulis melanjutkan ke jenjang Strata-

1 dan diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan - Fakultas Teknologi Kelautan - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri Tertulis. Selama masa studi Di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ini, penulis juga mengambil pekerjaan di luar kampus sebagai surveyor PT.ISM, selain itu penulis juga turut aktif dalam kegiatan kemahasiswaan seperti Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Teknologi Kelautan 2012 dan Marine Icon 2013.

Penulis mengambil bidang Marine Power Plant untuk pengerjaan tugas akhir. Dengan ketekunan, motivasi tinggi serta pantang menyerah, penulis berhasil menyelesaikan pengerjaan tugas akhir ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan. mengambil bidang studi *Marine Power Plant* (MPP) untuk menyelesaikan tugas akhirnya.

(halaman ini sengaja di kosongkan)



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
 VIBRATION LABORATORY**
 DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

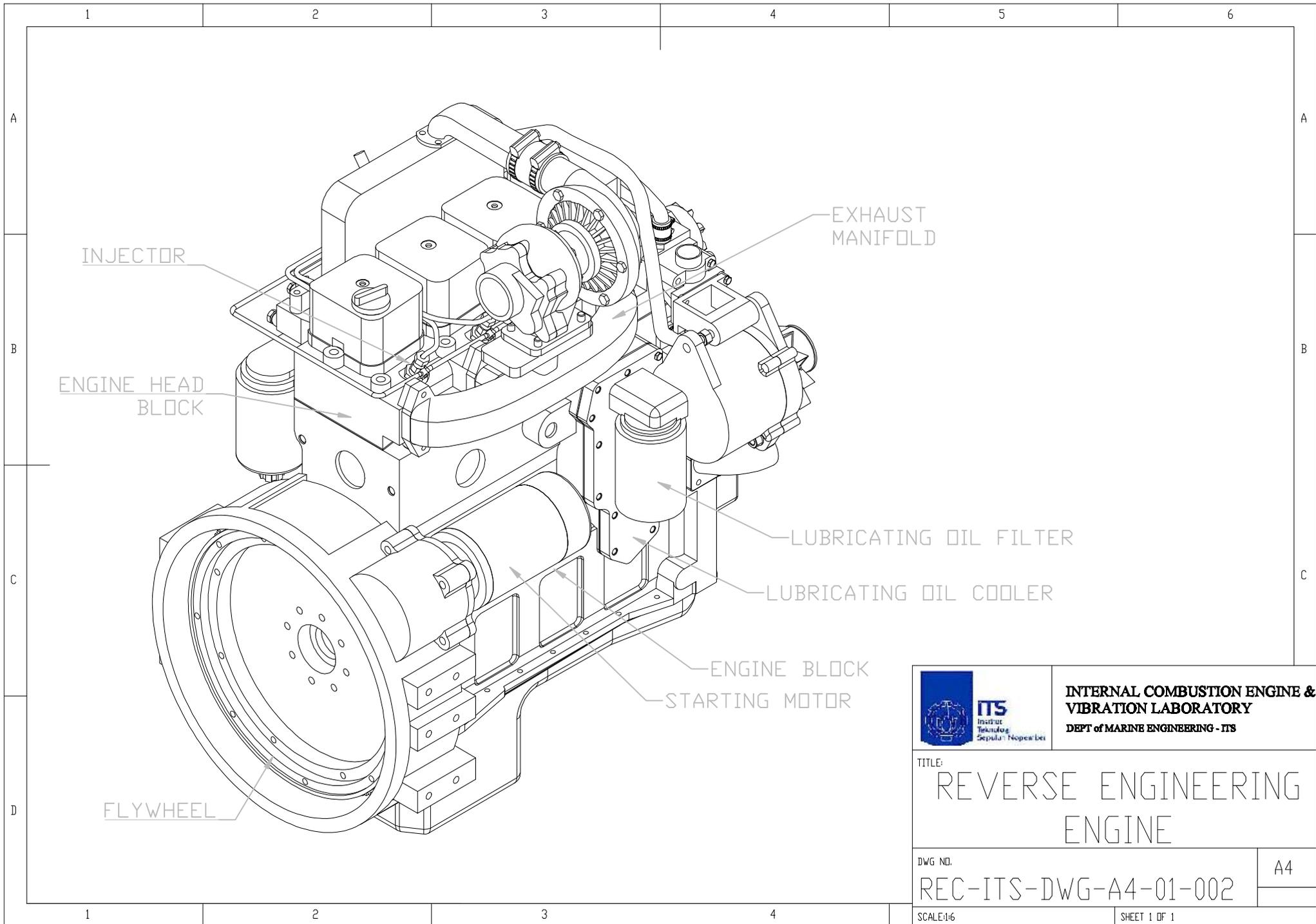
TITLE:
 REVERSE ENGINEERING
 ENGINE

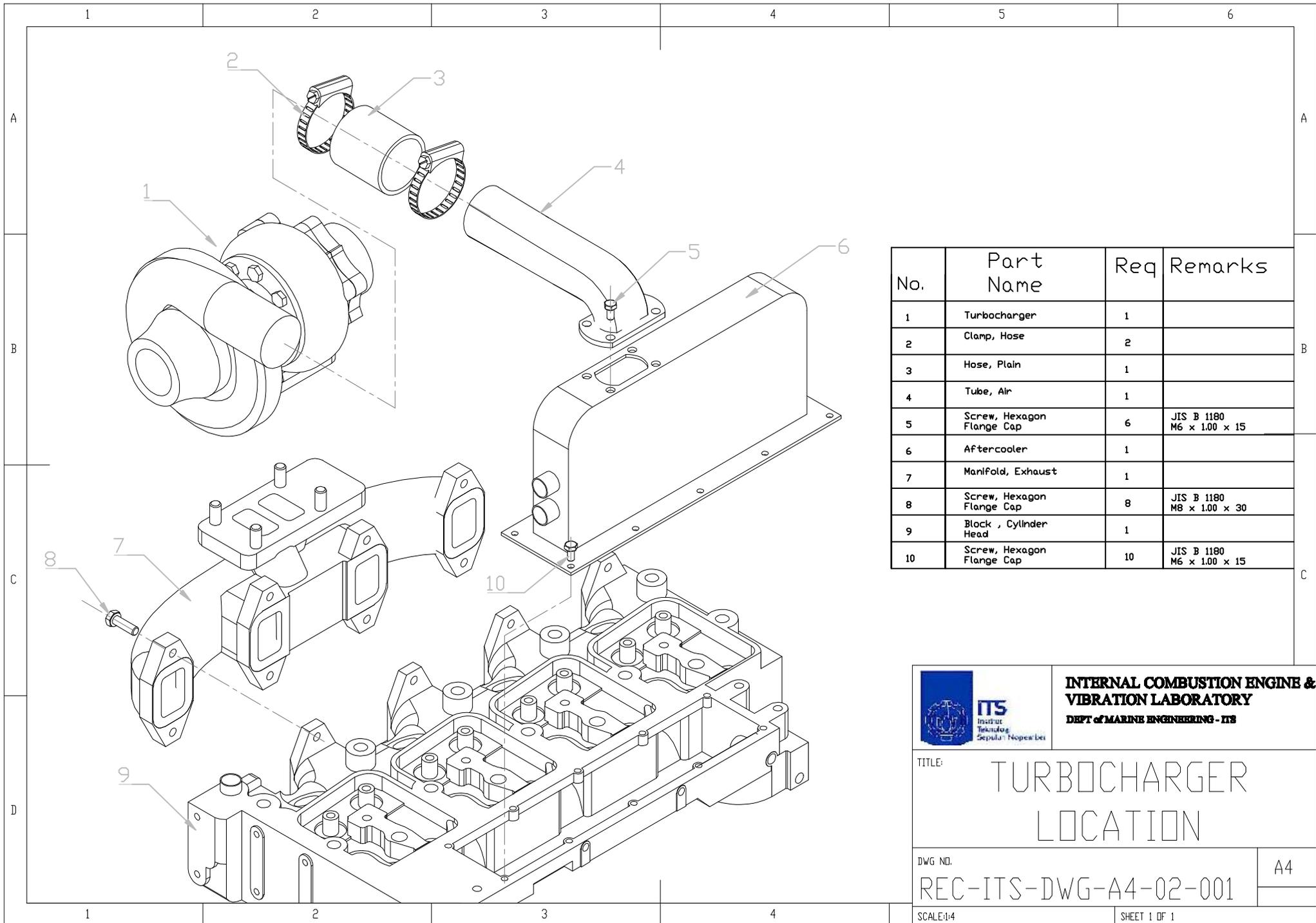
DWG NO.
 REC-ITS-DWG-A4-01-001

A4

SCALE:1:6

SHEET 1 OF 1





No.	Part Name	Req	Remarks
1	Turbocharger	1	
2	Clamp, Hose	2	
3	Hose, Plain	1	
4	Tube, Air	1	
5	Screw, Hexagon Flange Cap	6	JIS B 1180 M6 x 1.00 x 15
6	Aftercooler	1	
7	Manifold, Exhaust	1	
8	Screw, Hexagon Flange Cap	8	JIS B 1180 M8 x 1.00 x 30
9	Block, Cylinder Head	1	
10	Screw, Hexagon Flange Cap	10	JIS B 1180 M6 x 1.00 x 15



INTERNAL COMBUSTION ENGINE & VIBRATION LABORATORY
 DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

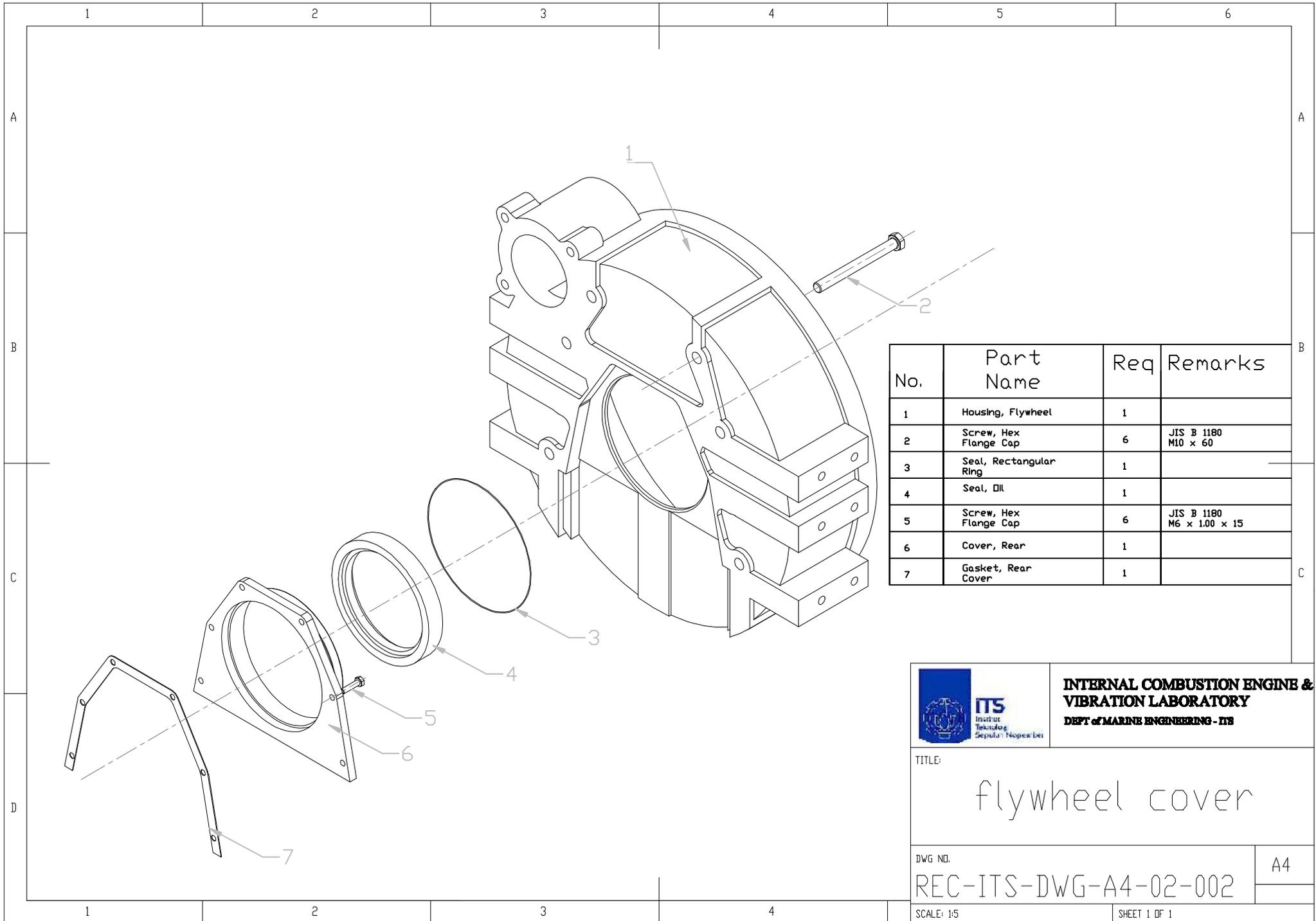
TITLE: **TURBOCHARGER LOCATION**

DWG NO. **REC-ITS-DWG-A4-02-001**

A4

SCALE:1:4

SHEET 1 OF 1



No.	Part Name	Req	Remarks
1	Housing, Flywheel	1	
2	Screw, Hex Flange Cap	6	JIS B 1180 M10 x 60
3	Seal, Rectangular Ring	1	
4	Seal, OIL	1	
5	Screw, Hex Flange Cap	6	JIS B 1180 M6 x 1.00 x 15
6	Cover, Rear	1	
7	Gasket, Rear Cover	1	



INTERNAL COMBUSTION ENGINE & VIBRATION LABORATORY
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

flywheel cover

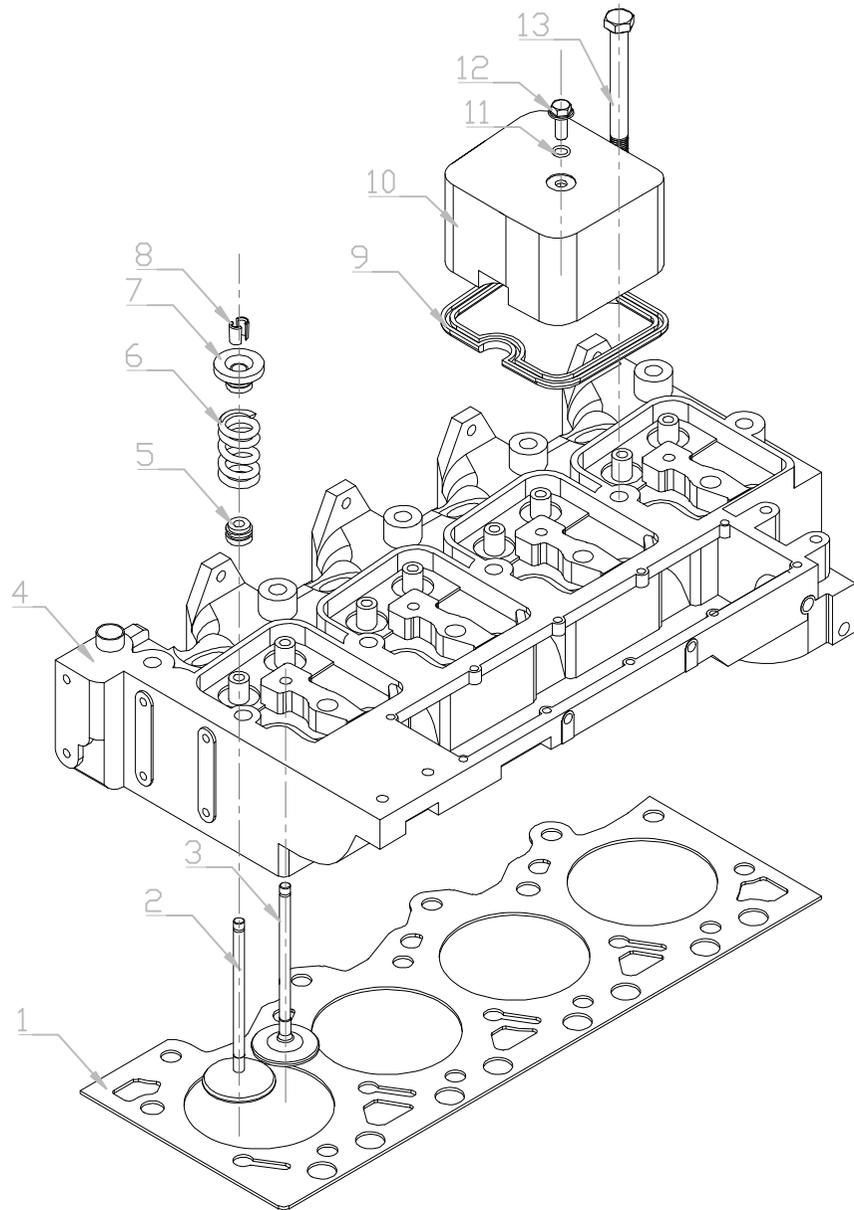
DWG NO.

REC-ITS-DWG-A4-02-002

A4

SCALE: 1:5

SHEET 1 OF 1



No.	Part Name	Req	Remarks
1	Gasket, Cylinder Head	1	
2	Valve, Intake	4	Intake
3	Valve, Exhaust	4	Exhaust
4	Head, Cylinder	1	
5	Seal, Valve Stem	8	
6	Spring, Valve	8	
7	Retainer, Valve Spring	8	
8	Collet, Valve	8	
9	Gasket, Valve Cover	4	
10	Cover, Valve	4	
11	Seal, O-ring	4	
12	Screw, Hex Flange Head Cap	4	JIs 1189 M8 x 1.25 x 25
13	Screw, Hex Cap	5	JIs 1180 M12 x 1.75 x 20



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

CONNECTING ROD

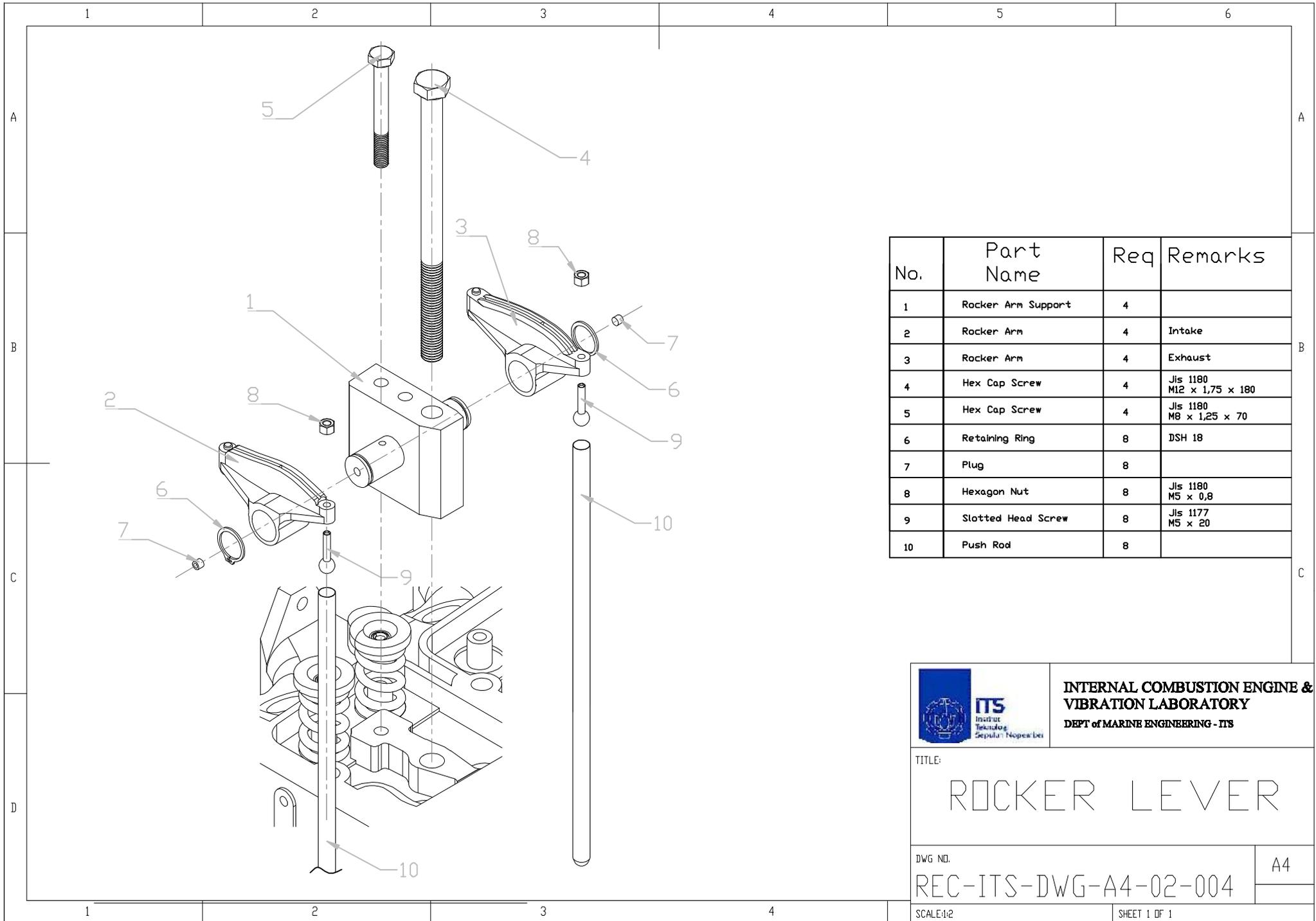
DWG NO.

REC-ITS-DWG-A4-02-003

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



No.	Part Name	Req	Remarks
1	Rocker Arm Support	4	
2	Rocker Arm	4	Intake
3	Rocker Arm	4	Exhaust
4	Hex Cap Screw	4	Jis 1180 M12 x 1,75 x 180
5	Hex Cap Screw	4	Jis 1180 M8 x 1,25 x 70
6	Retaining Ring	8	DSH 18
7	Plug	8	
8	Hexagon Nut	8	Jis 1180 M5 x 0,8
9	Slotted Head Screw	8	Jis 1177 M5 x 20
10	Push Rod	8	



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

ROCKER LEVER

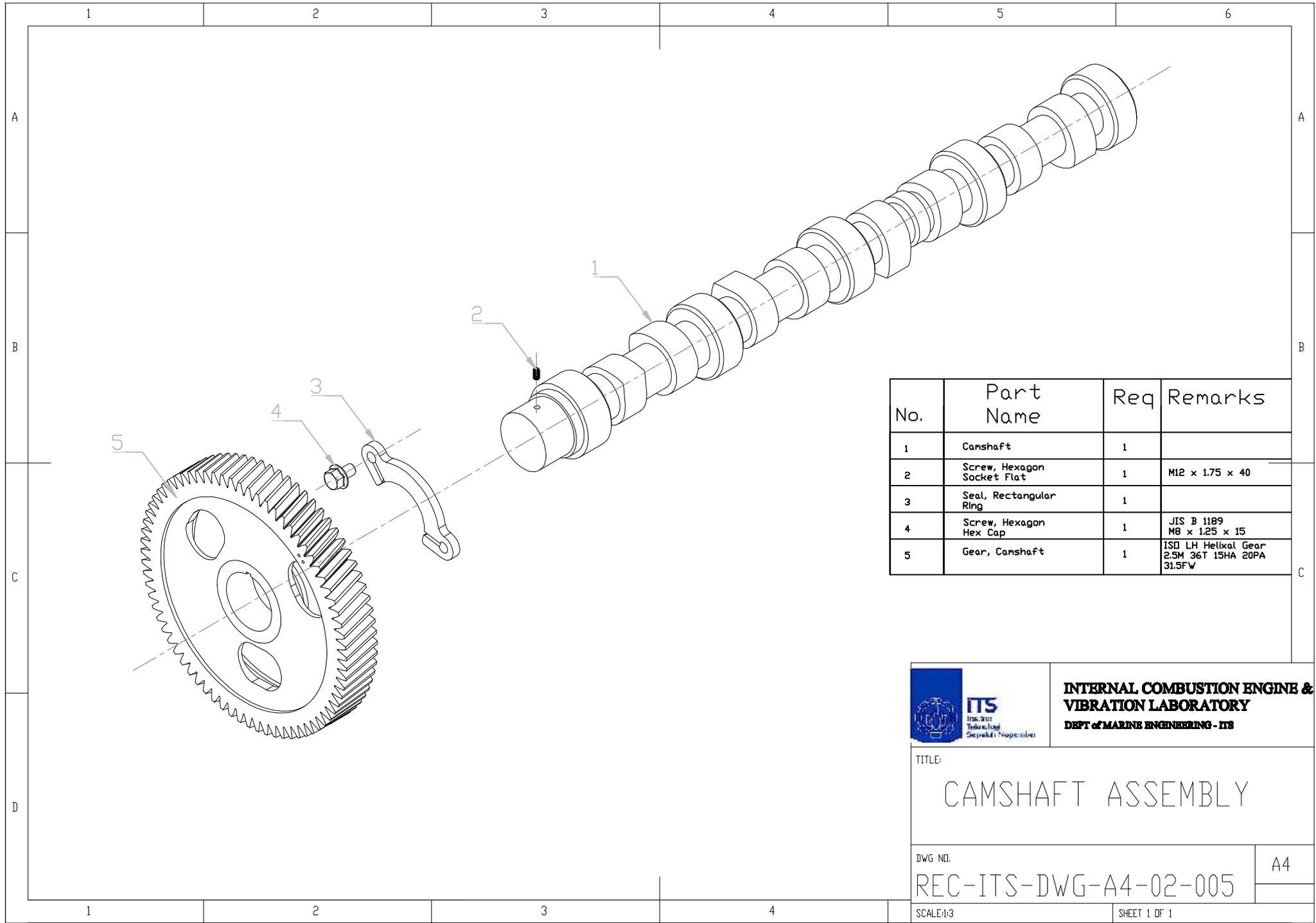
DWG NO.

REC-ITS-DWG-A4-02-004

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



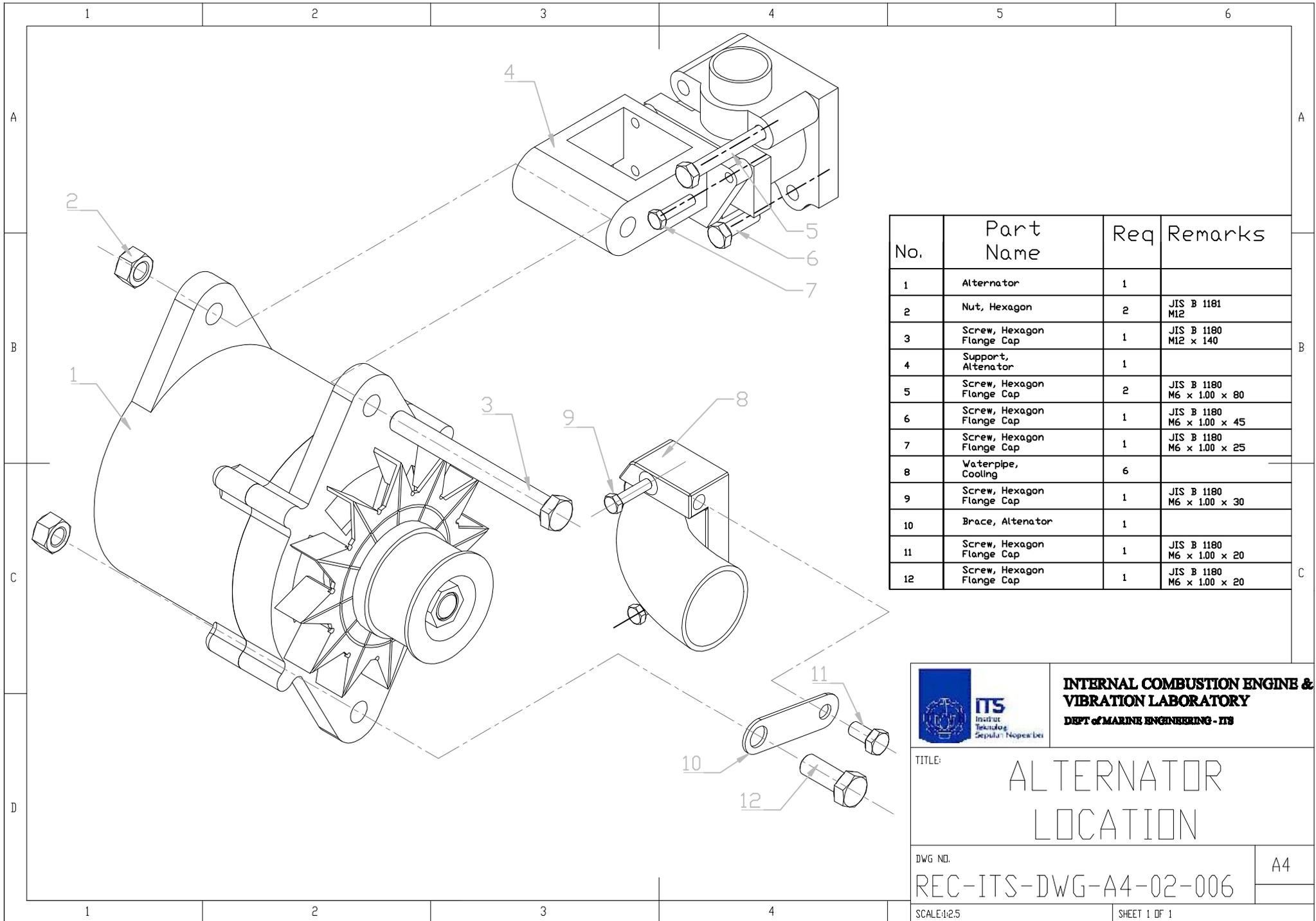
No.	Part Name	Req	Remarks
1	Camshaft	1	
2	Screw, Hexagon Socket Flat	1	M12 x 1.75 x 40
3	Seal, Rectangular Ring	1	
4	Screw, Hexagon Hex Cap	1	JIS B 1189 M8 x 1.25 x 15
5	Gear, Camshaft	1	ISO LH Helical Gear 2.5M 36T 15HA 20PA 31.5FW



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
CAMSHAFT ASSEMBLY

DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-02-005 A4



No.	Part Name	Req	Remarks
1	Alternator	1	
2	Nut, Hexagon	2	JIS B 1181 M12
3	Screw, Hexagon Flange Cap	1	JIS B 1180 M12 x 140
4	Support, Alternator	1	
5	Screw, Hexagon Flange Cap	2	JIS B 1180 M6 x 1.00 x 80
6	Screw, Hexagon Flange Cap	1	JIS B 1180 M6 x 1.00 x 45
7	Screw, Hexagon Flange Cap	1	JIS B 1180 M6 x 1.00 x 25
8	Waterpipe, Cooling	6	
9	Screw, Hexagon Flange Cap	1	JIS B 1180 M6 x 1.00 x 30
10	Brace, Alternator	1	
11	Screw, Hexagon Flange Cap	1	JIS B 1180 M6 x 1.00 x 20
12	Screw, Hexagon Flange Cap	1	JIS B 1180 M6 x 1.00 x 20



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

ALTERNATOR
LOCATION

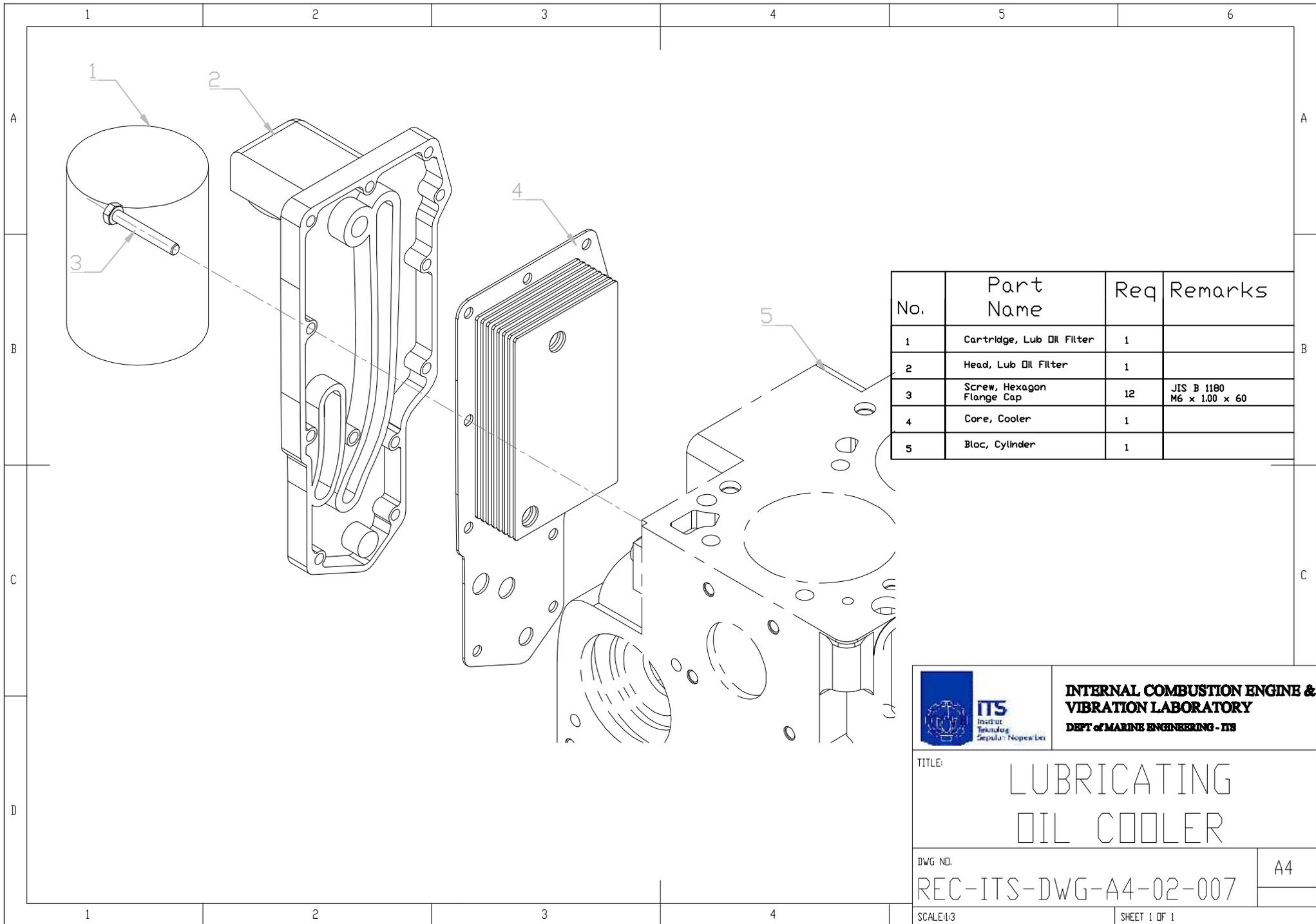
DWG NO.

REC-ITS-DWG-A4-02-006

A4

SCALE:1:2.5

SHEET 1 OF 1



No.	Part Name	Req	Remarks
1	Cartridge, Lub Oil Filter	1	
2	Head, Lub Oil Filter	1	
3	Screw, Hexagon Flange Cap	12	JIS B 1180 M6 × 1.00 × 60
4	Core, Cooler	1	
5	Bloc, Cylinder	1	



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

LUBRICATING
OIL COOLER

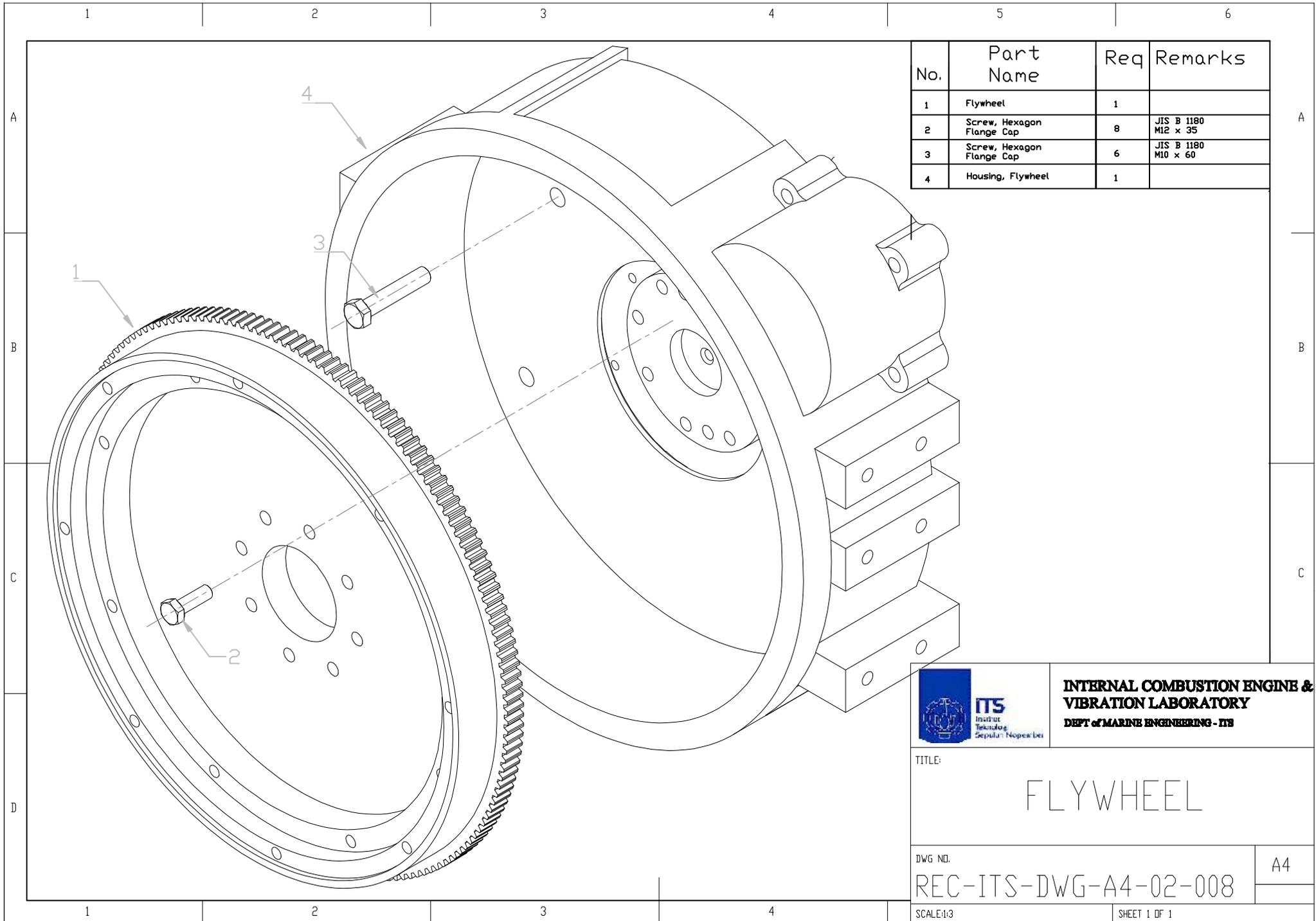
DWG NO.

REC-ITS-DWG-A4-02-007

A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1



No.	Part Name	Req	Remarks
1	Flywheel	1	
2	Screw, Hexagon Flange Cap	8	JIS B 1180 M12 x 35
3	Screw, Hexagon Flange Cap	6	JIS B 1180 M10 x 60
4	Housing, Flywheel	1	



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

FLYWHEEL

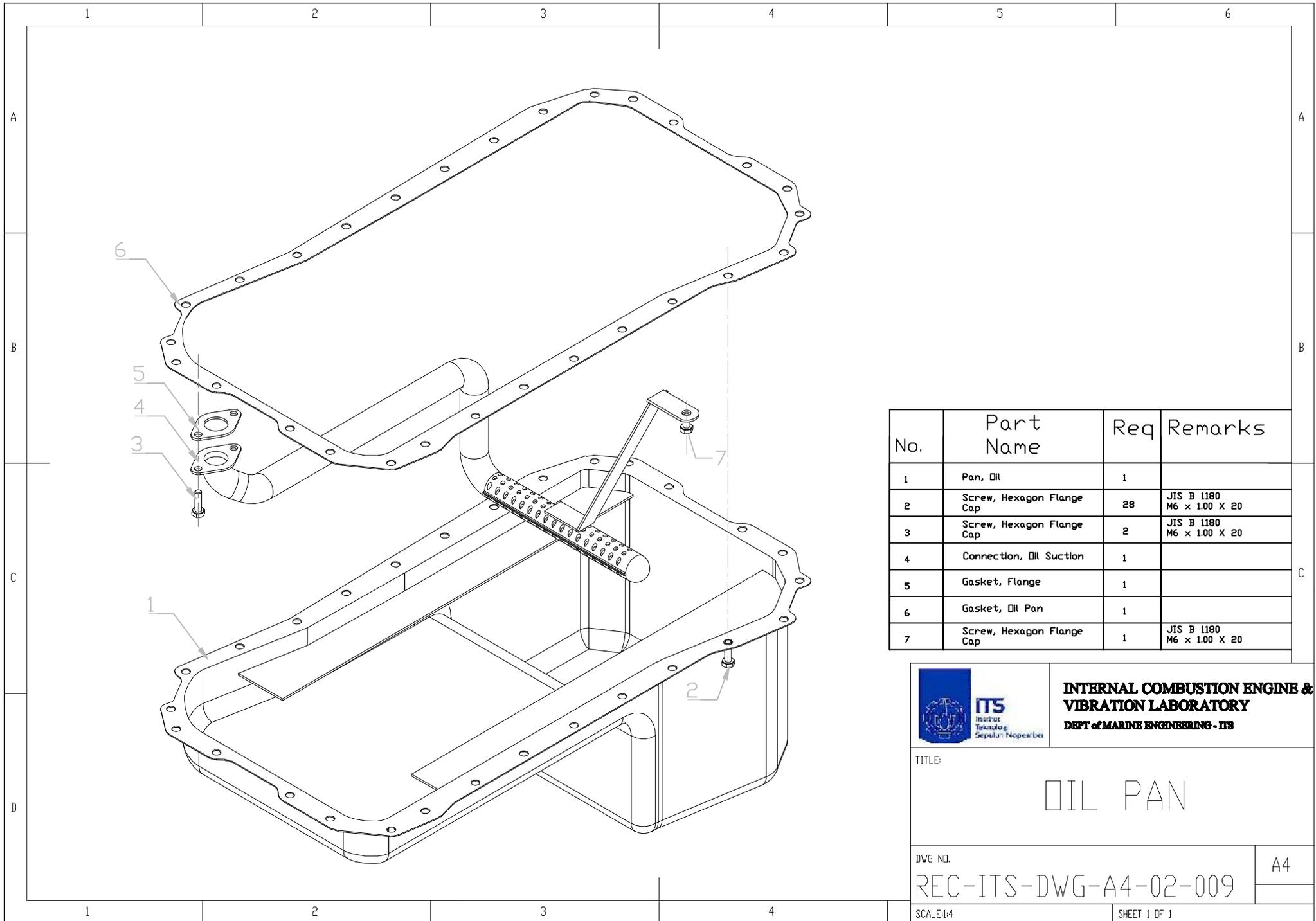
DWG NO.

REC-ITS-DWG-A4-02-008

A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1



No.	Part Name	Req	Remarks
1	Pan, Oil	1	
2	Screw, Hexagon Flange Cap	28	JIS B 1180 M6 x 1.00 X 20
3	Screw, Hexagon Flange Cap	2	JIS B 1180 M6 x 1.00 X 20
4	Connection, Oil Suction	1	
5	Gasket, Flange	1	
6	Gasket, Oil Pan	1	
7	Screw, Hexagon Flange Cap	1	JIS B 1180 M6 x 1.00 X 20



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

OIL PAN

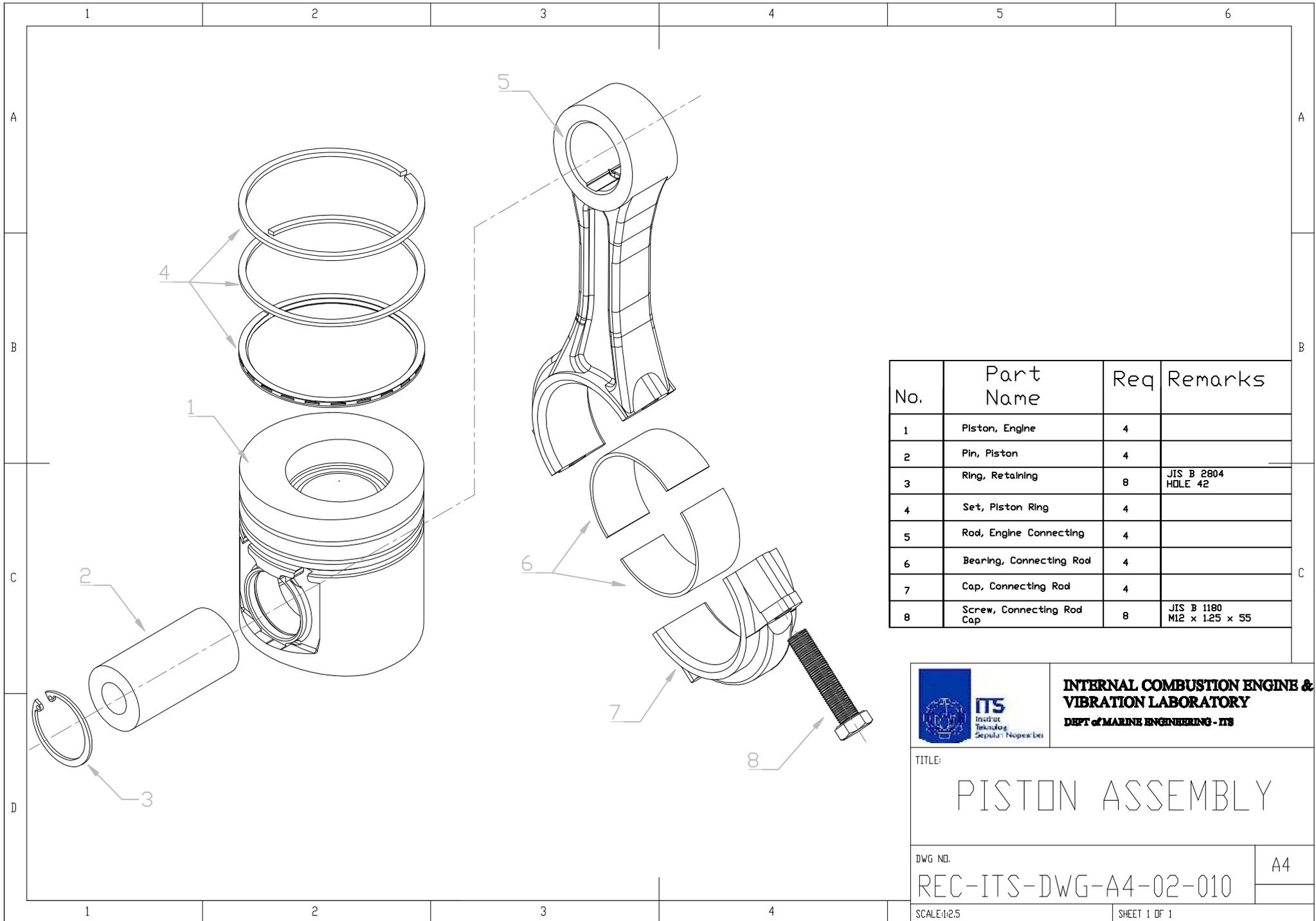
DWG NO.

REC-ITS-DWG-A4-02-009

A4

SCALE:1:4

SHEET 1 OF 1



No.	Part Name	Req	Remarks
1	Piston, Engine	4	
2	Pin, Piston	4	
3	Ring, Retaining	8	JIS B 2804 HOLE 42
4	Set, Piston Ring	4	
5	Rod, Engine Connecting	4	
6	Bearing, Connecting Rod	4	
7	Cap, Connecting Rod	4	
8	Screw, Connecting Rod Cap	8	JIS B 1180 M12 x 125 x 55



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

PISTON ASSEMBLY

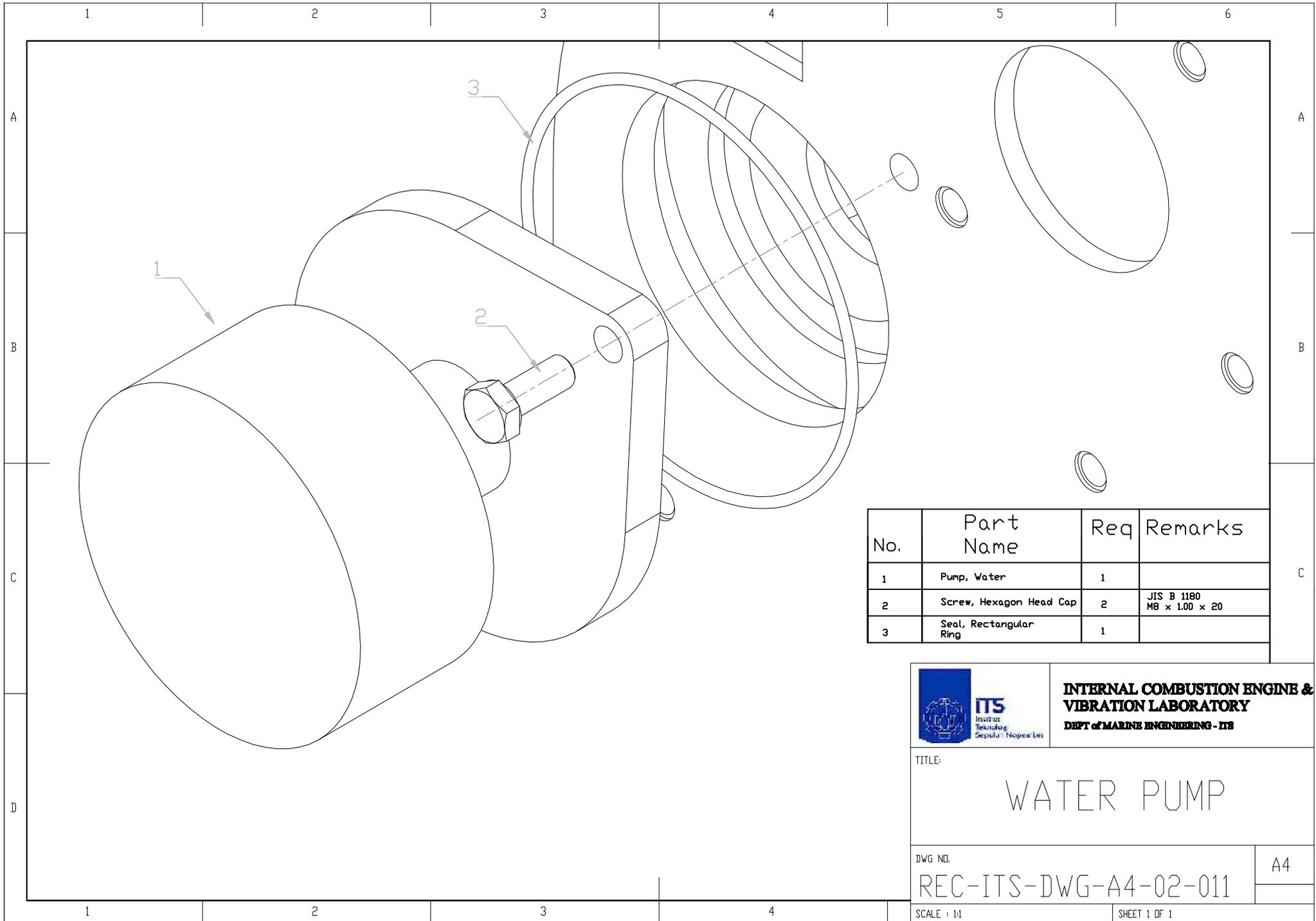
DWG NO.

REC-ITS-DWG-A4-02-010

A4

SCALE:1:25

SHEET 1 OF 1



No.	Part Name	Req	Remarks
1	Pump, Water	1	
2	Screw, Hexagon Head Cap	2	JIS B 1180 M8 x 1.00 x 20
3	Seal, Rectangular Ring	1	

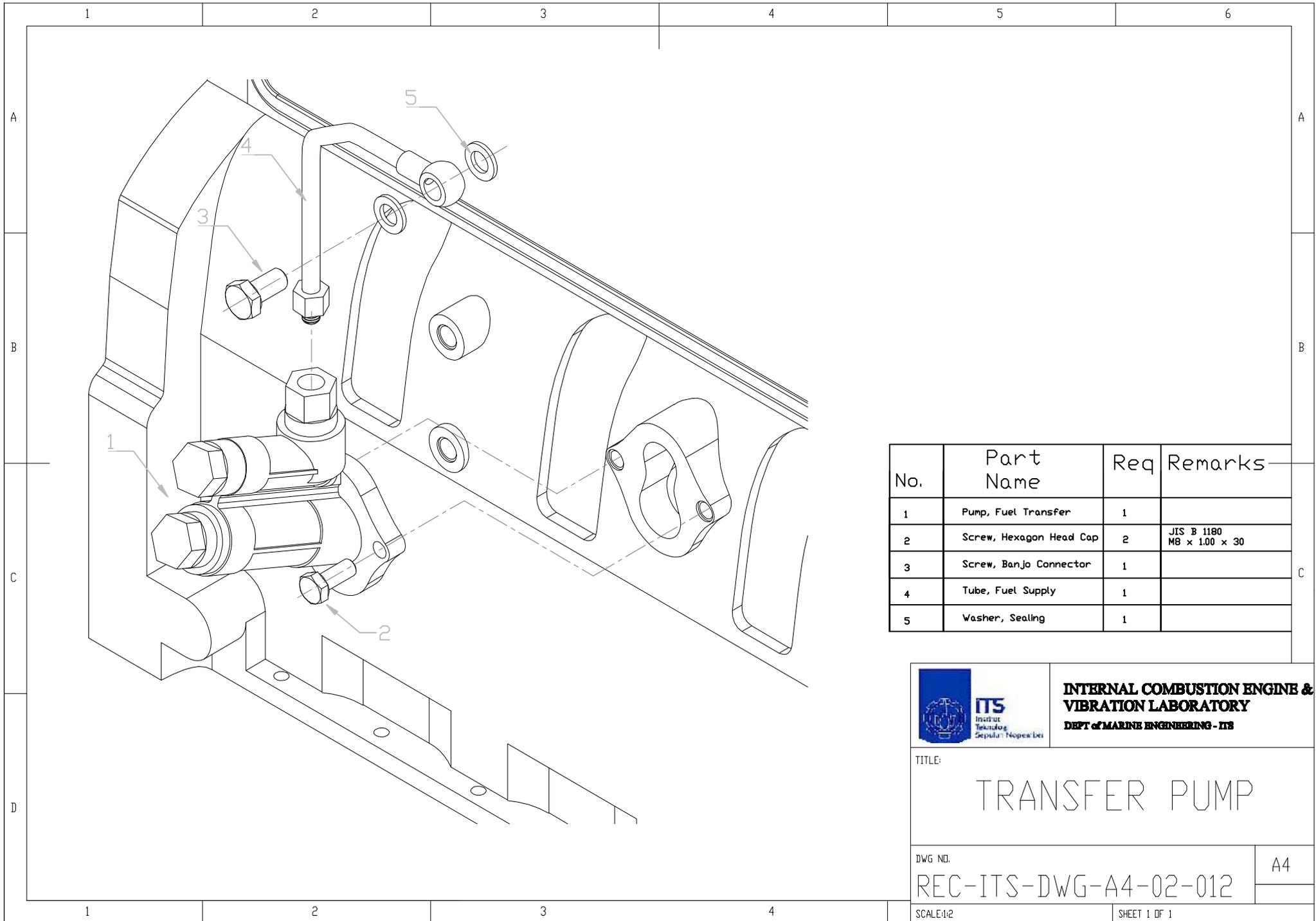


**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
WATER PUMP

DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-02-011

A4



No.	Part Name	Req	Remarks
1	Pump, Fuel Transfer	1	
2	Screw, Hexagon Head Cap	2	JIS B 1180 MB x 1.00 x 30
3	Screw, Banjo Connector	1	
4	Tube, Fuel Supply	1	
5	Washer, Sealing	1	



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

TRANSFER PUMP

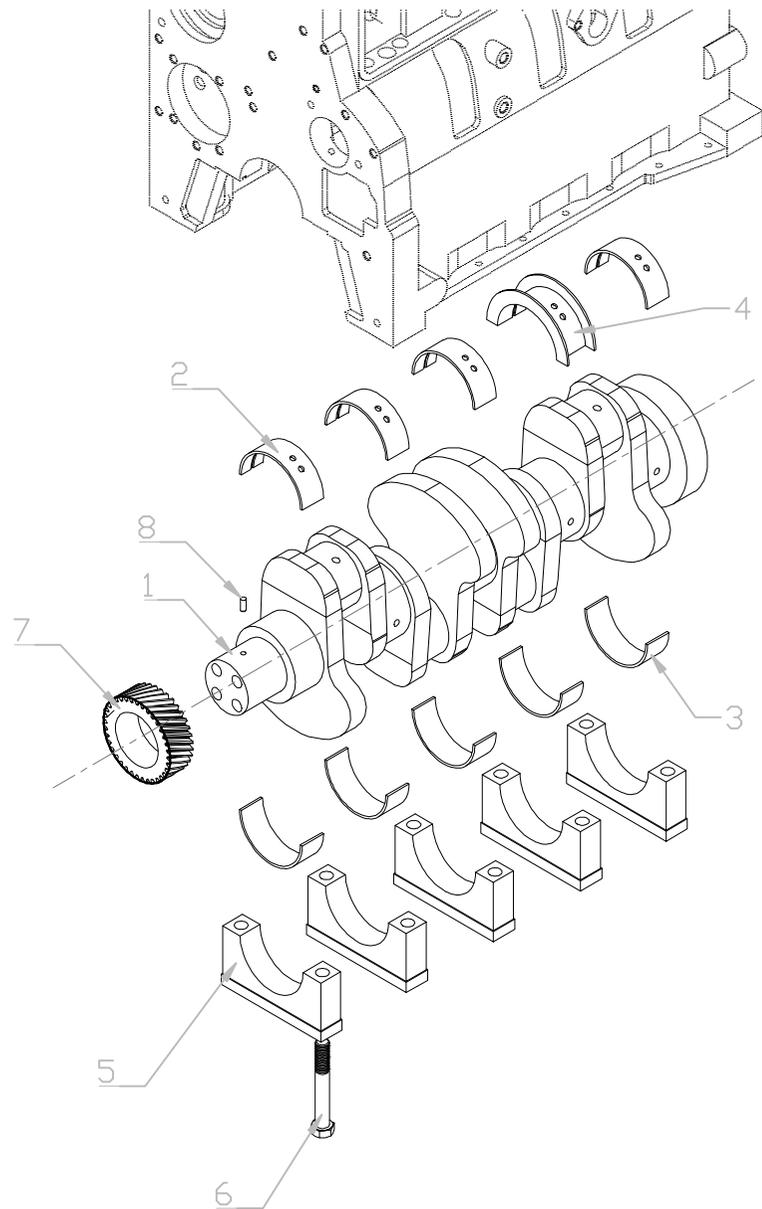
DWG NO.

REC-ITS-DWG-A4-02-012

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



No.	Part Name	Req	Remarks
1	Engine Crankshaft	1	
2	Main Bearing	4	Standart
3	Main Bearing	5	Standart
4	Crankshaft Thrust Bearing	1	
5	Main Bearing Cap	5	
6	Hex Cap Screw	10	M14 x 2.0 x 100
7	Crankshaft Gear	1	ISO RH Helixal Gear 2,25M 36T 26,5HA 20PA 31.5FW
8	Dowel Pins	1	Jls B1355 6 x 14



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

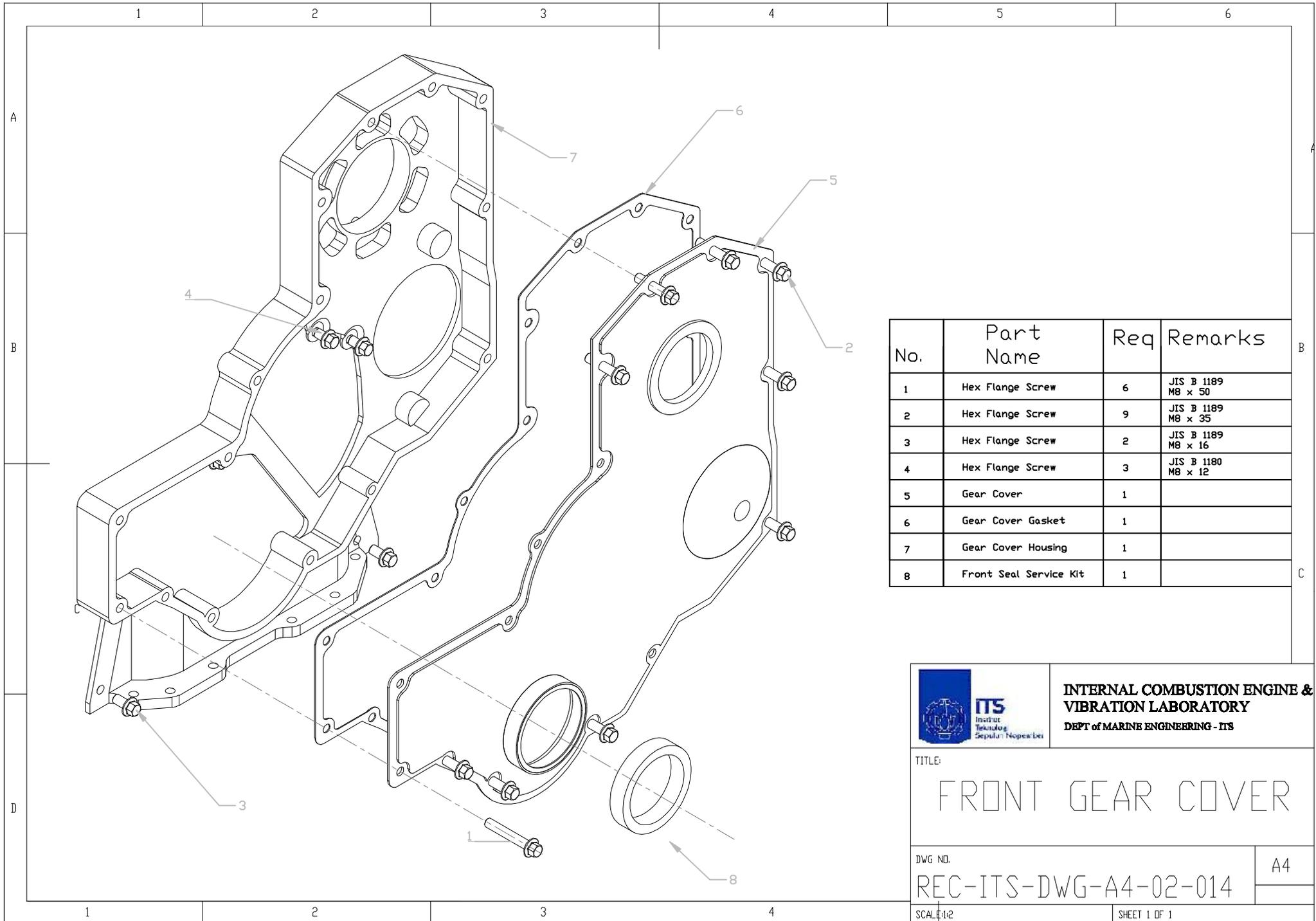
TITLE: **CRANKSHAFT AND
MAIN BEARING**

DWG NO.
REC-ITS-DWG-A4-02-013

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



No.	Part Name	Req	Remarks
1	Hex Flange Screw	6	JIS B 1189 MB x 50
2	Hex Flange Screw	9	JIS B 1189 MB x 35
3	Hex Flange Screw	2	JIS B 1189 MB x 16
4	Hex Flange Screw	3	JIS B 1180 MB x 12
5	Gear Cover	1	
6	Gear Cover Gasket	1	
7	Gear Cover Housing	1	
8	Front Seal Service Kit	1	



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

FRONT GEAR COVER

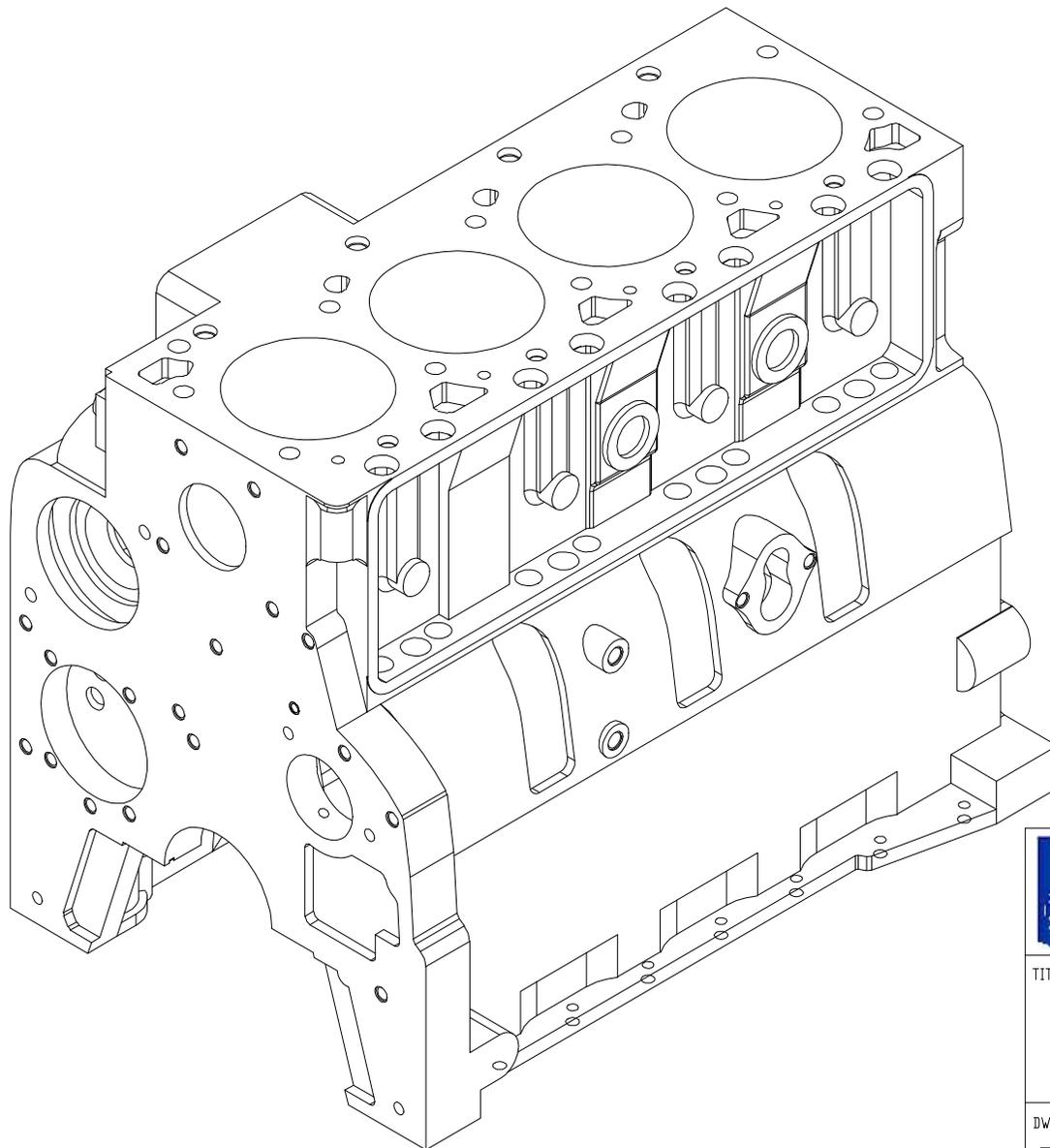
DWG NO.

REC-ITS-DWG-A4-02-014

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

ENGINE BLOCK
(ISOMETRIC)

DWG NO.

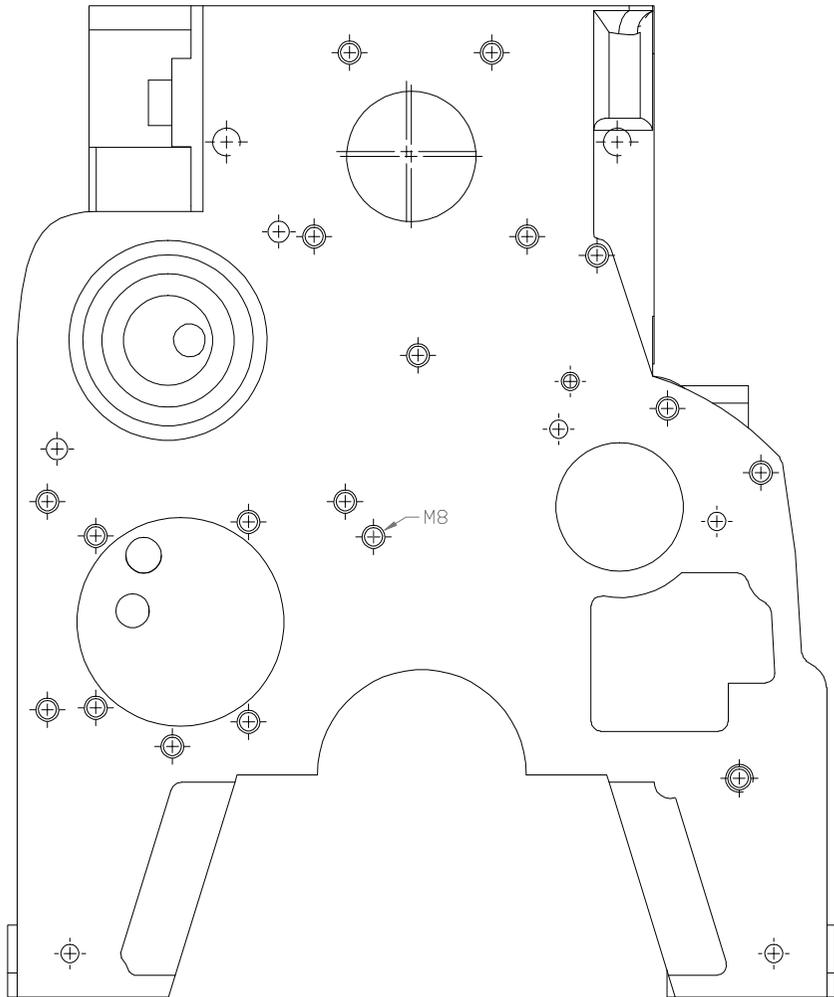
REC-ITS-DWG-A4-03-101

A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1

SIZE IN CM



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

ENGINE BLOCK
(FRONT)

DWG NO.

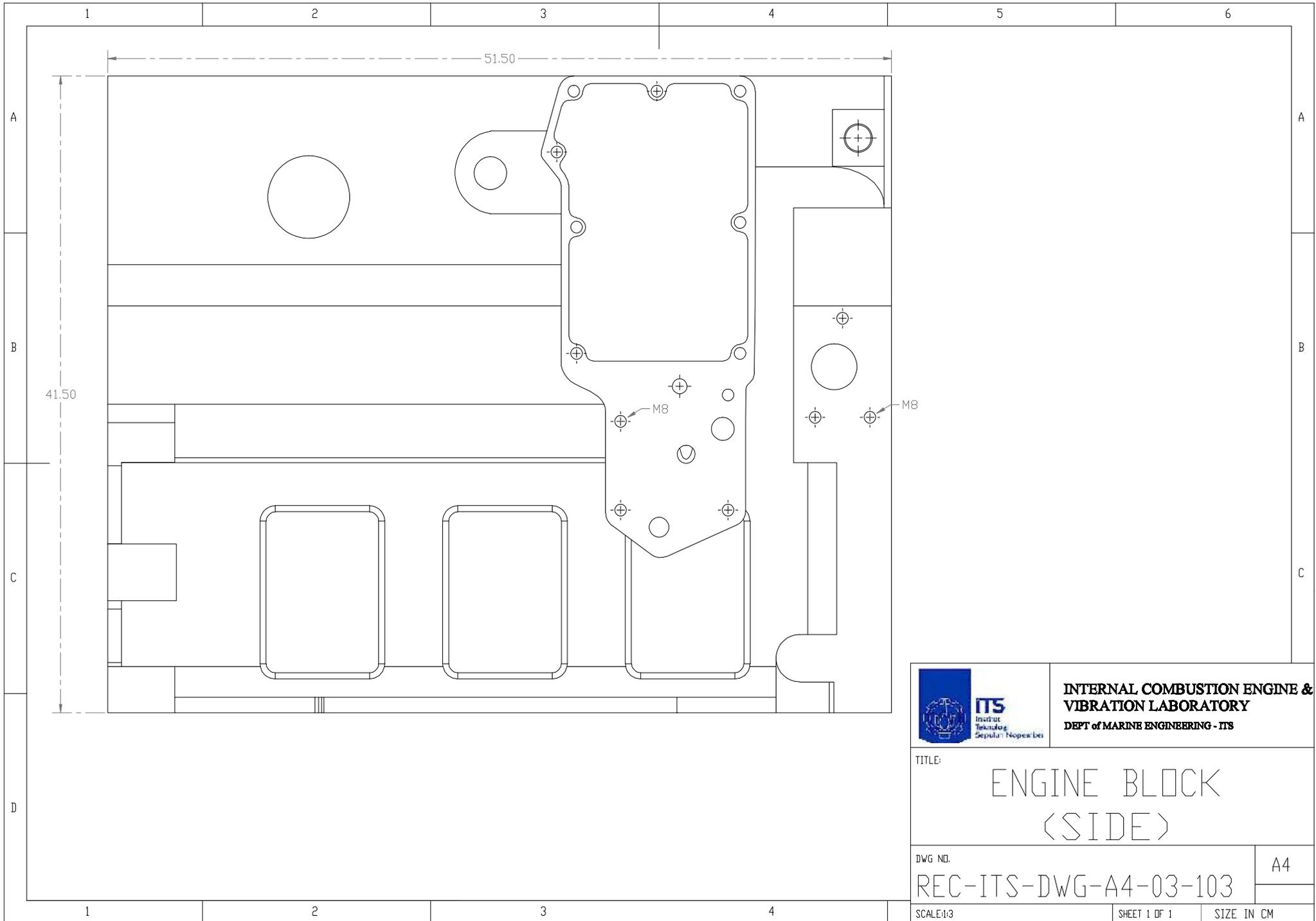
REC-ITS-DWG-A4-03-102

A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1

SIZE IN CM



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

ENGINE BLOCK
(SIDE)

DWG NO.

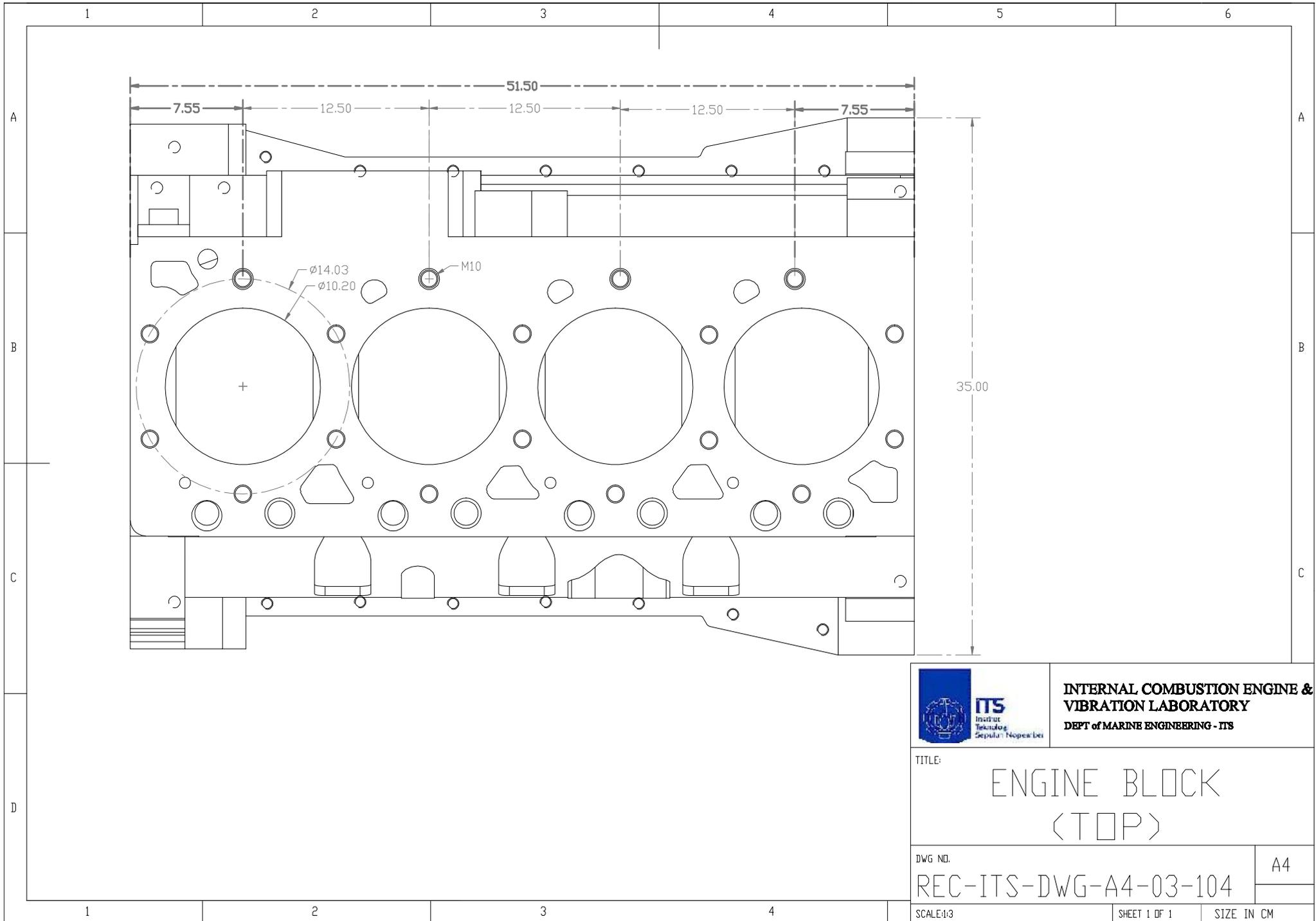
REC-ITS-DWG-A4-03-103

A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1

SIZE IN CM



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

ENGINE BLOCK
(TOP)

DWG NO.

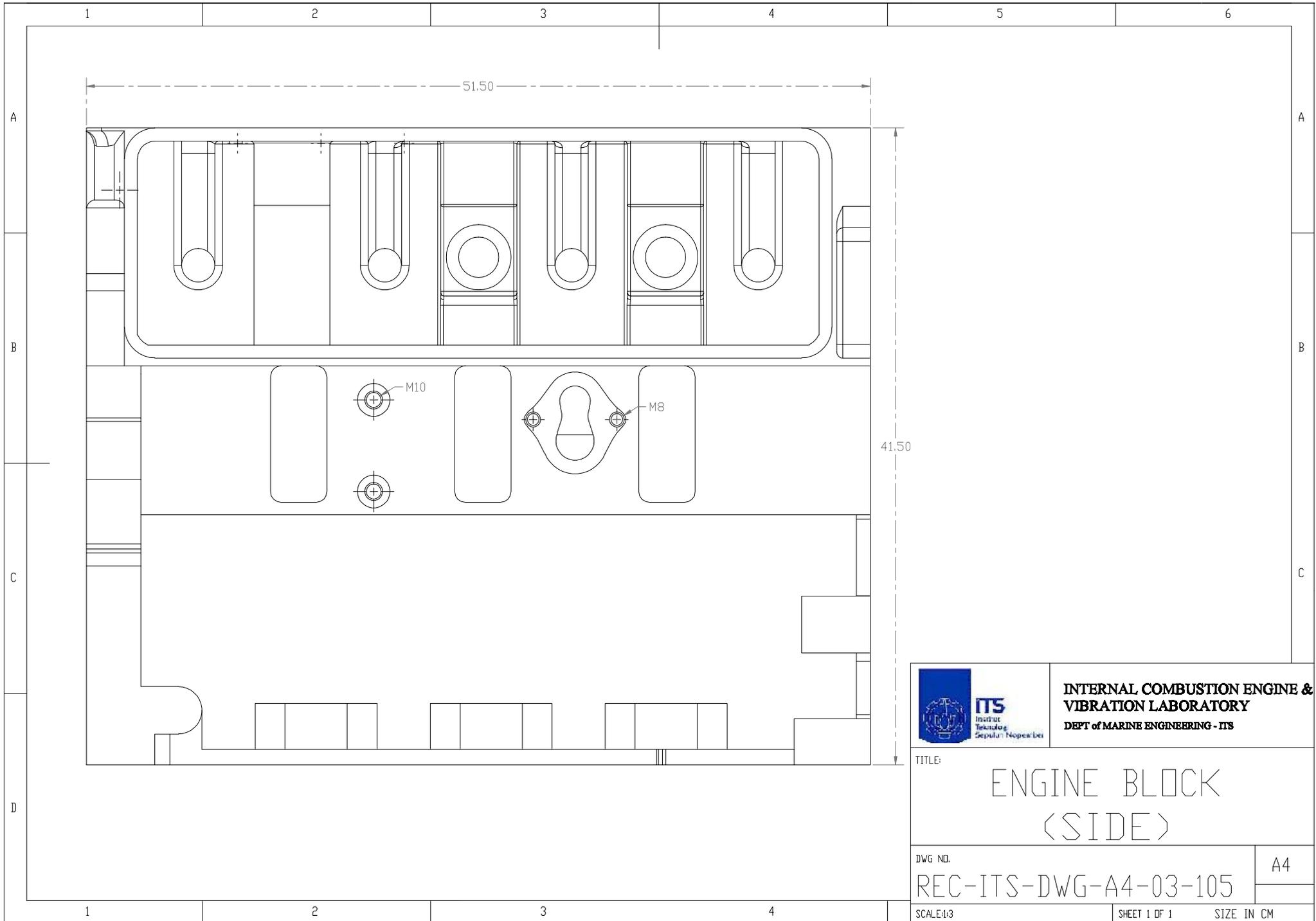
REC-ITS-DWG-A4-03-104

A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1

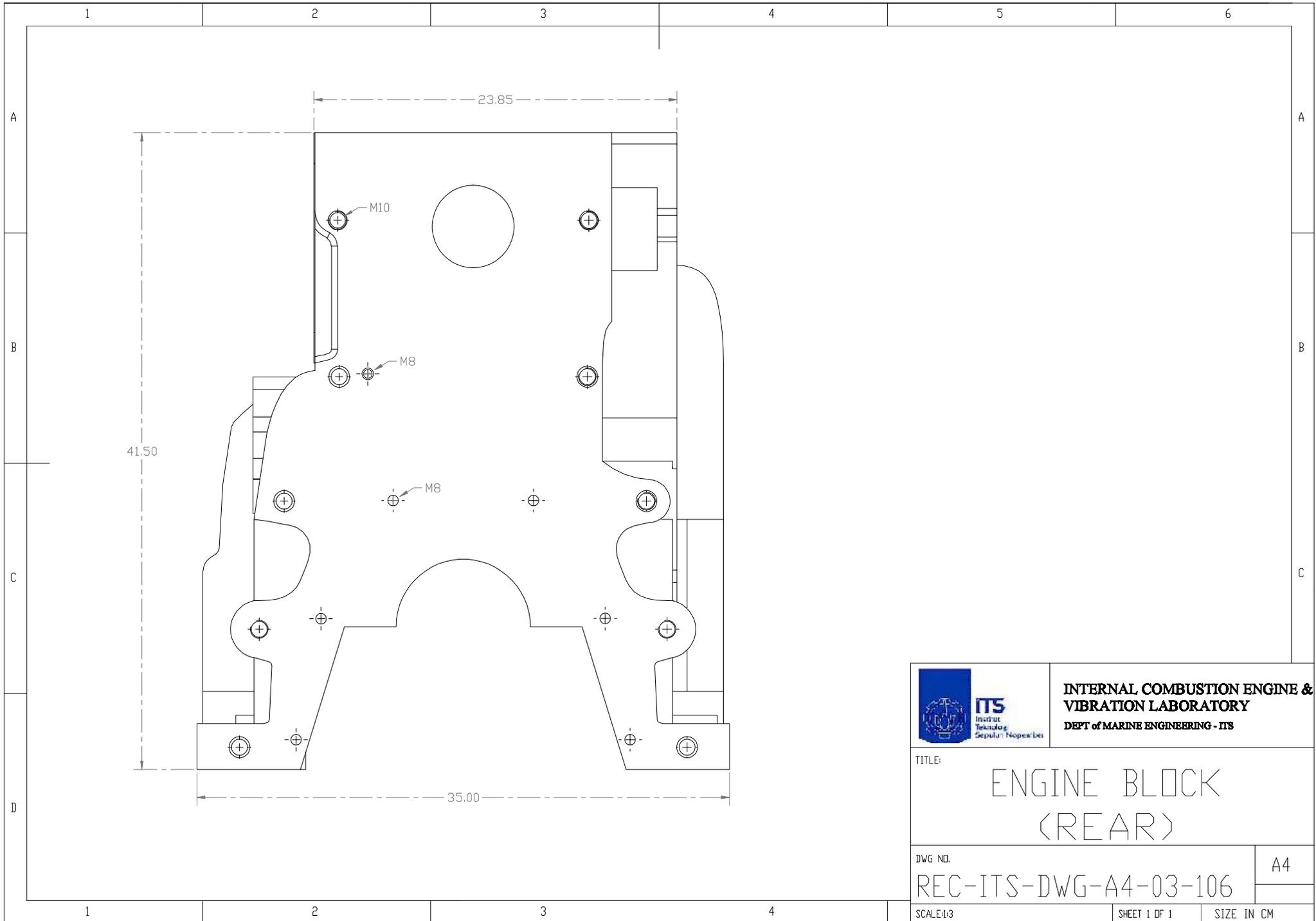
SIZE IN CM



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
**ENGINE BLOCK
(SIDE)**

DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-03-105 A4

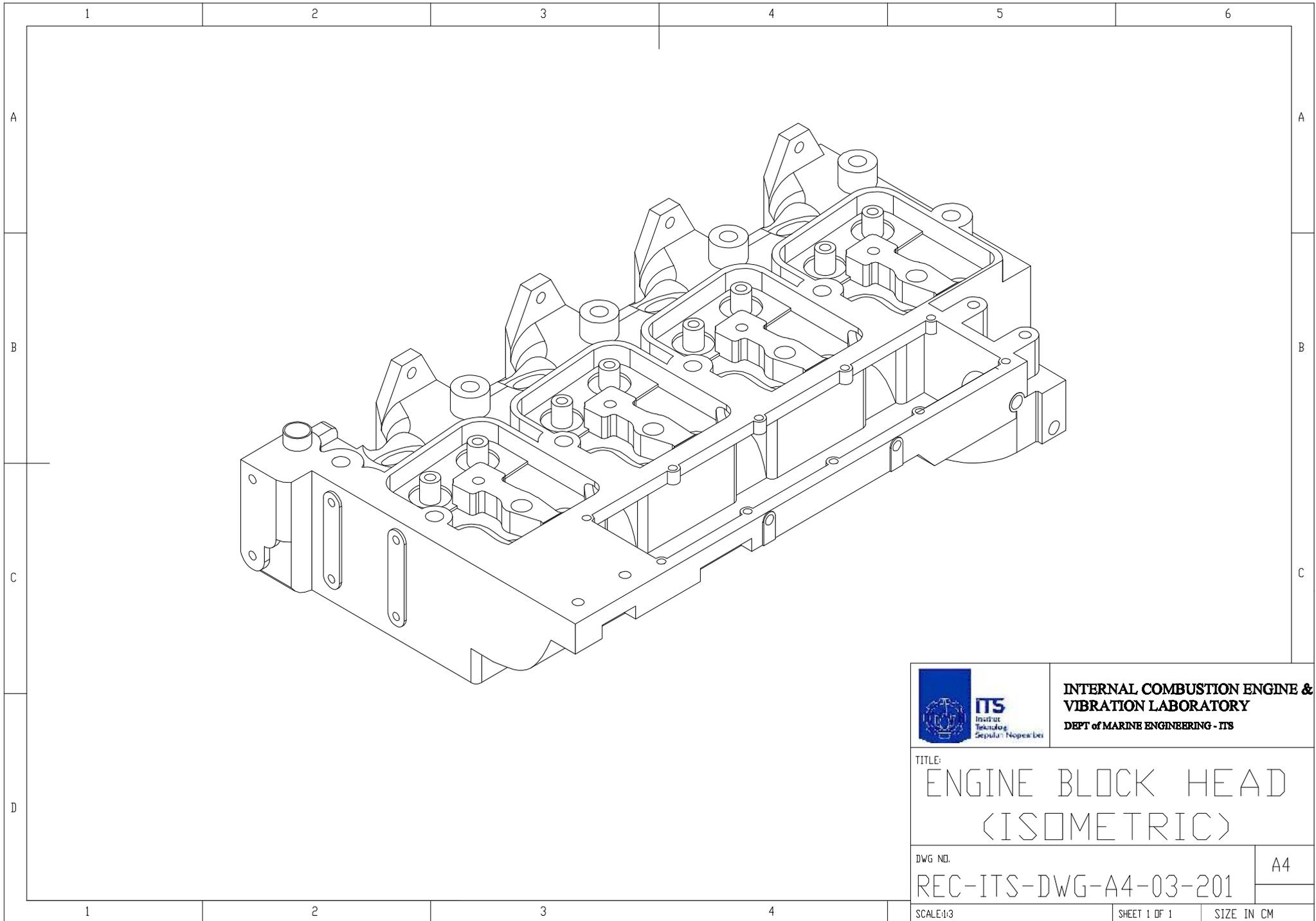


**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
**ENGINE BLOCK
(REAR)**

DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-03-106 A4

SCALE:1:3 SHEET 1 OF 1 SIZE IN CM

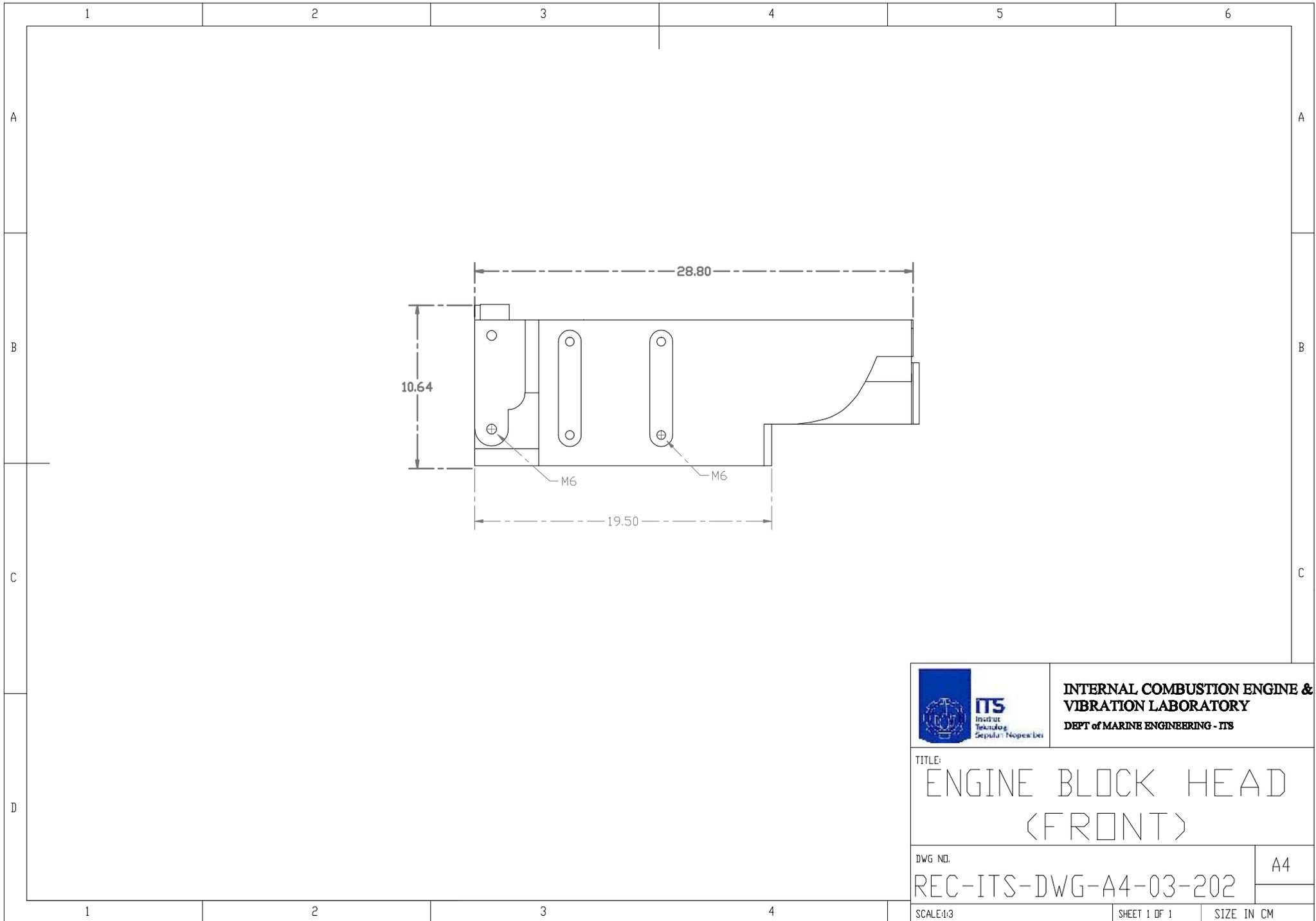


**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
**ENGINE BLOCK HEAD
(ISOMETRIC)**

DWG NO.
REC-ITS-DWG-A4-03-201

A4

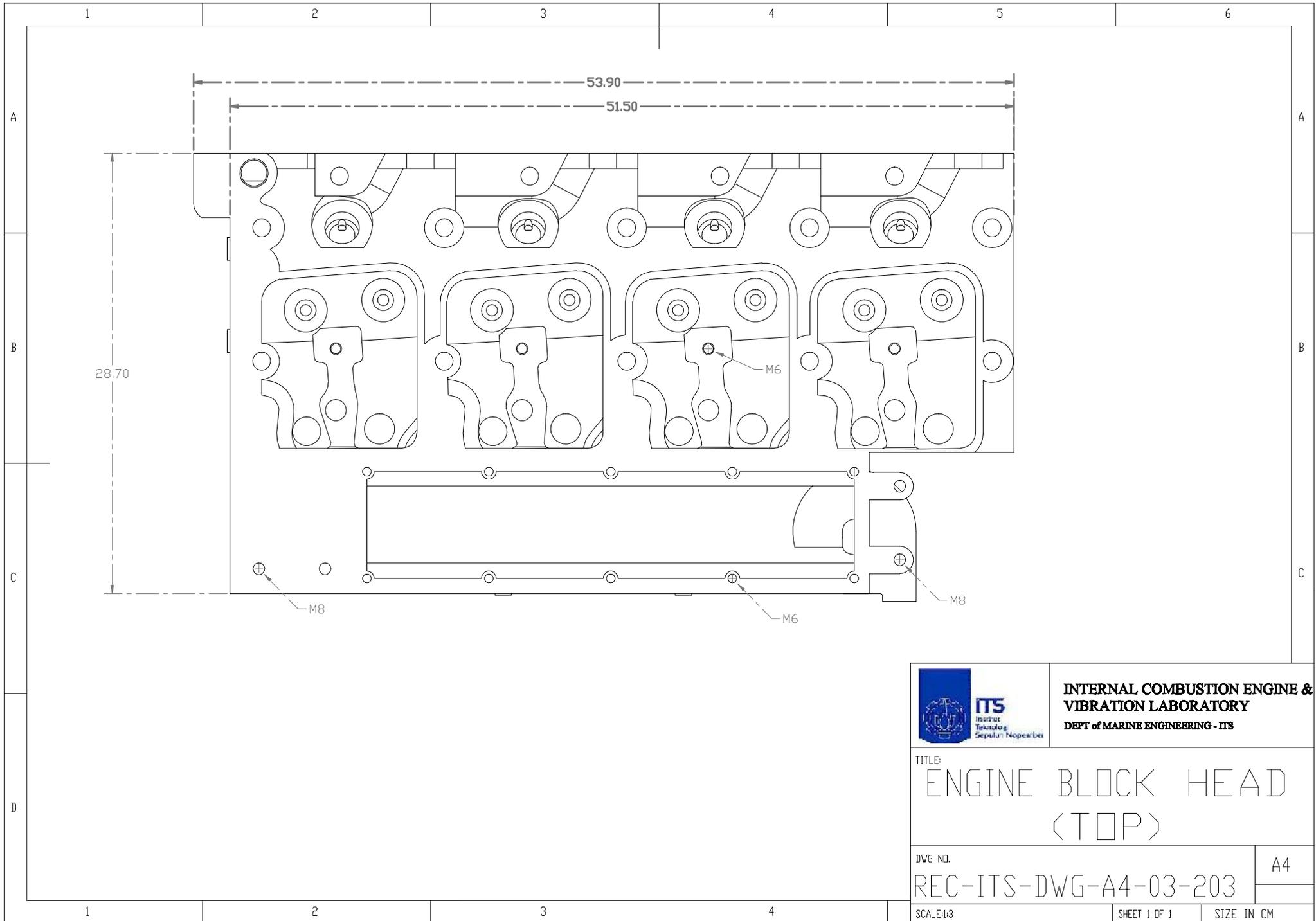


**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
**ENGINE BLOCK HEAD
(FRONT)**

DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-03-202 A4

SCALE:1:3 SHEET 1 OF 1 SIZE IN CM

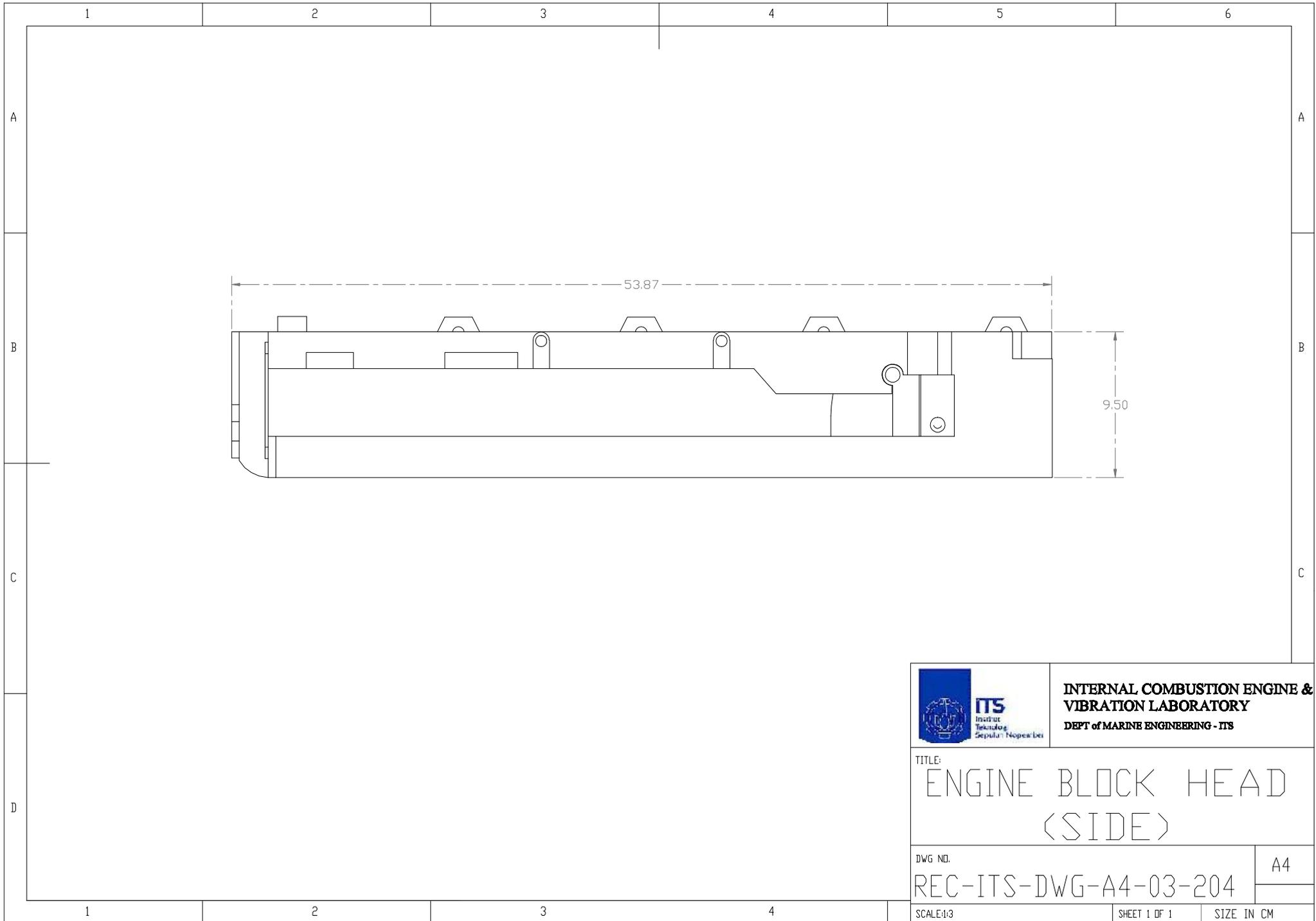


**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
**ENGINE BLOCK HEAD
(TOP)**

DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-03-203 A4

SCALE:1:3 SHEET 1 OF 1 SIZE IN CM



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
ENGINE BLOCK HEAD
(SIDE)

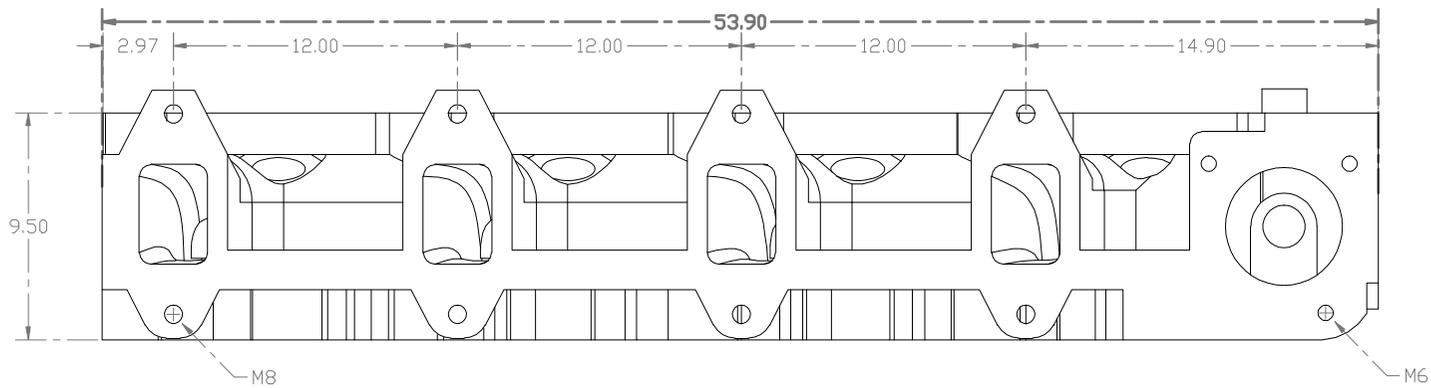
DWG NO.
REC-ITS-DWG-A4-03-204

A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1

SIZE IN CM



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
**ENGINE BLOCK HEAD
(SIDE)**

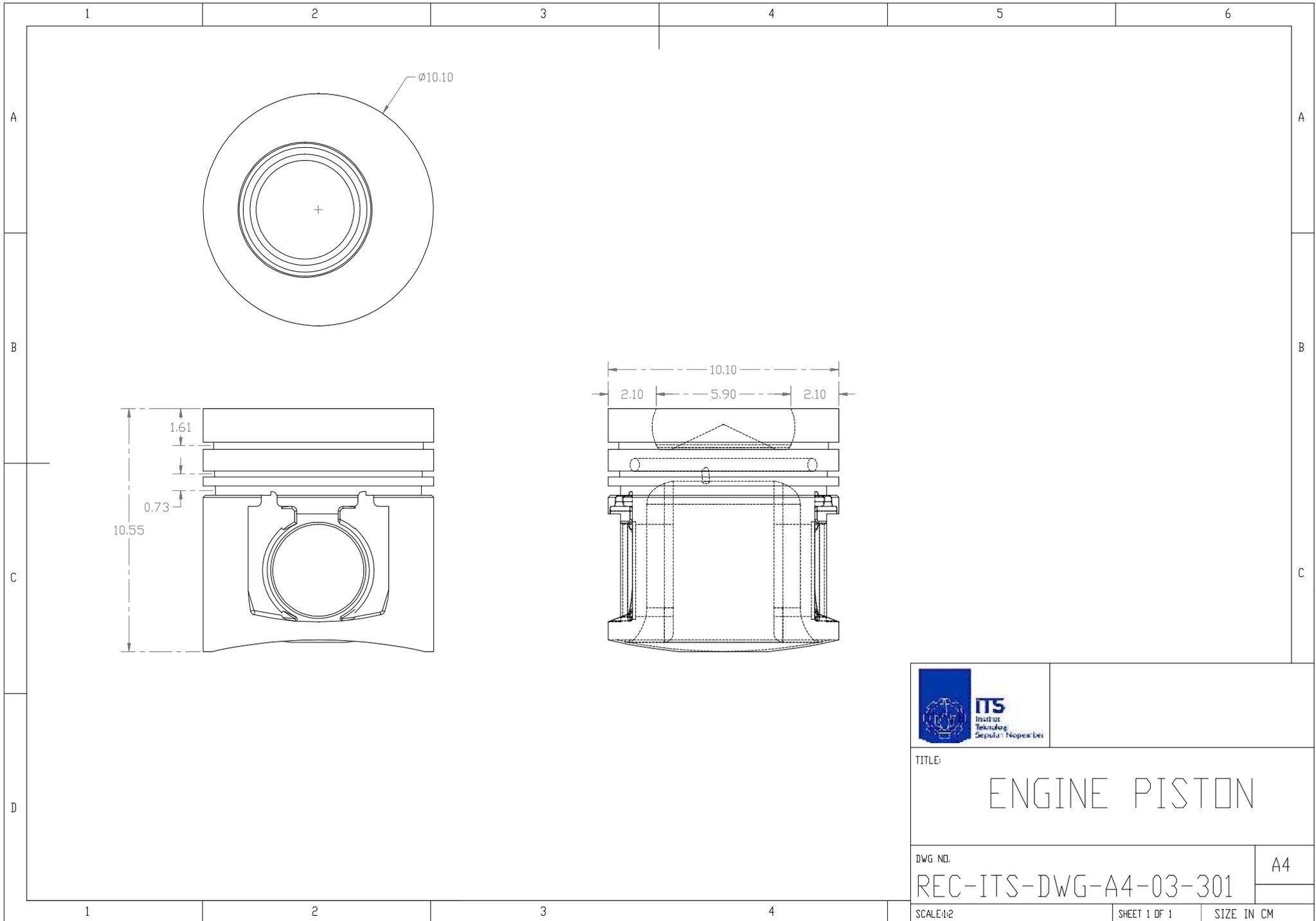
DWG NO.
REC-ITS-DWG-A4-03-205

A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1

SIZE IN CM



TITLE:

ENGINE PISTON

DWG NO.

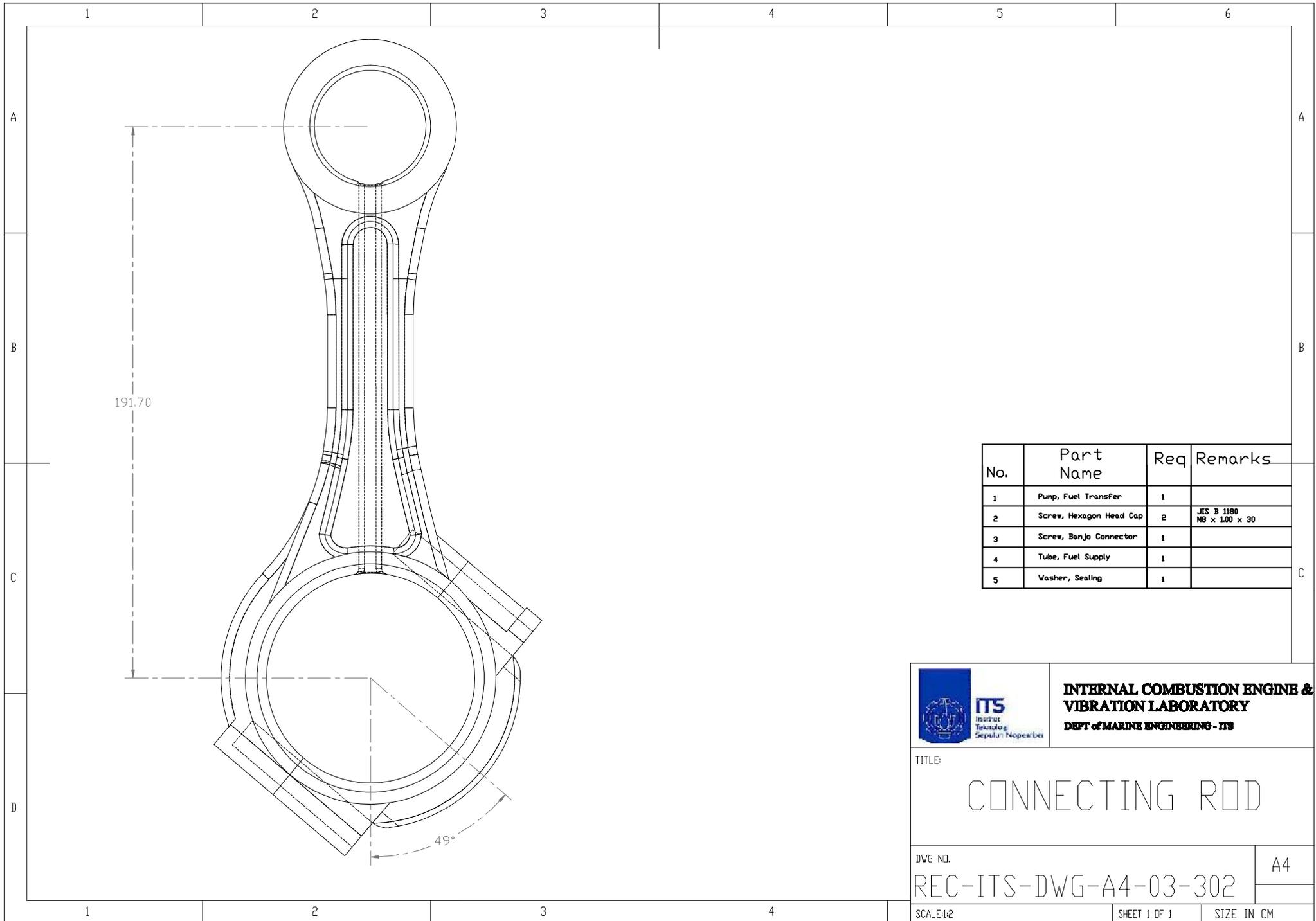
REC-ITS-DWG-A4-03-301

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1

SIZE IN CM



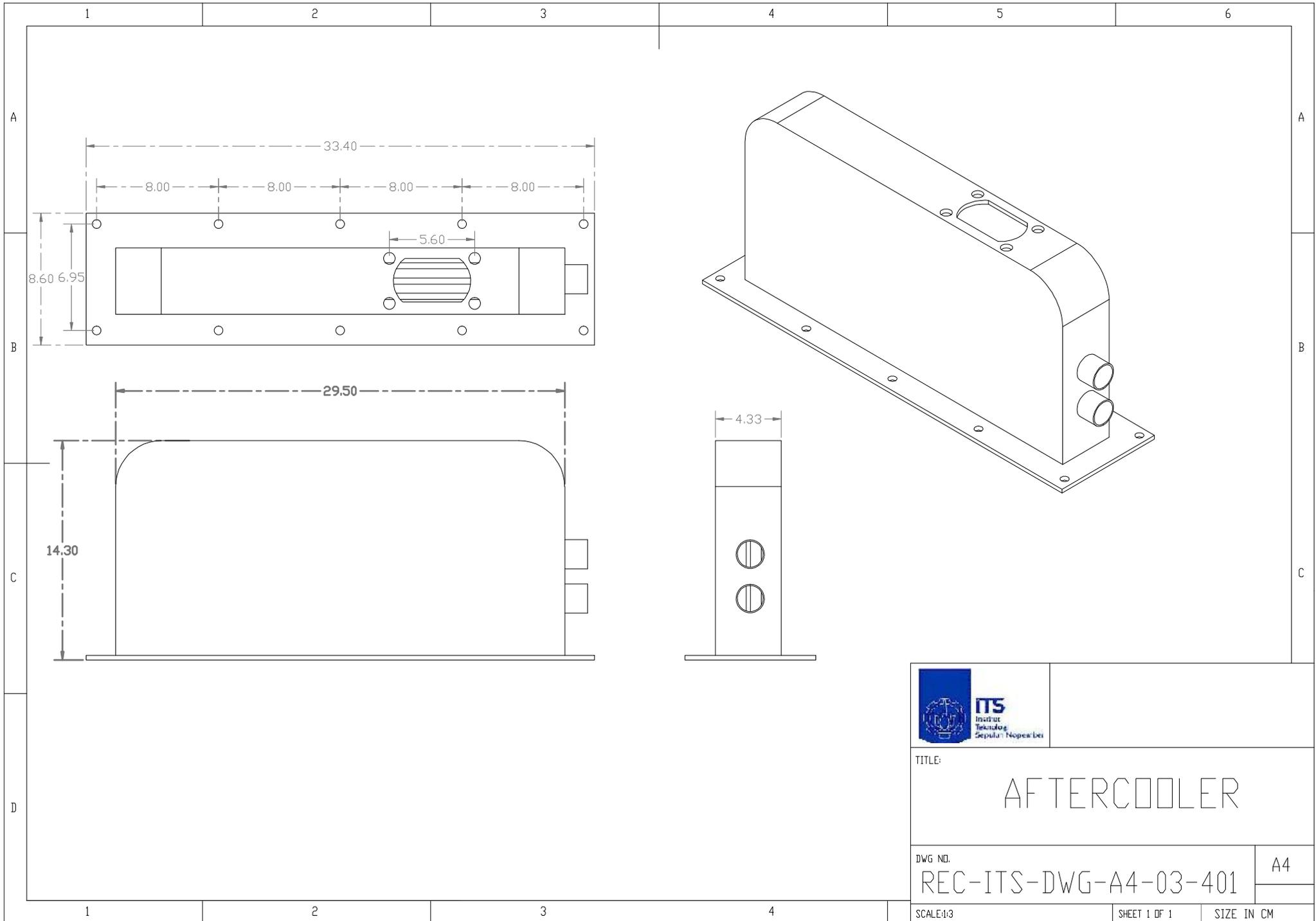
No.	Part Name	Req	Remarks
1	Pump, Fuel Transfer	1	
2	Screw, Hexagon Head Cap	2	JIS B 1180 M8 x 1.00 x 30
3	Screw, Banjo Connector	1	
4	Tube, Fuel Supply	1	
5	Washer, Sealing	1	



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
CONNECTING ROD

DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-03-302 A4



TITLE:

AFTERCOOLER

DWG NO.

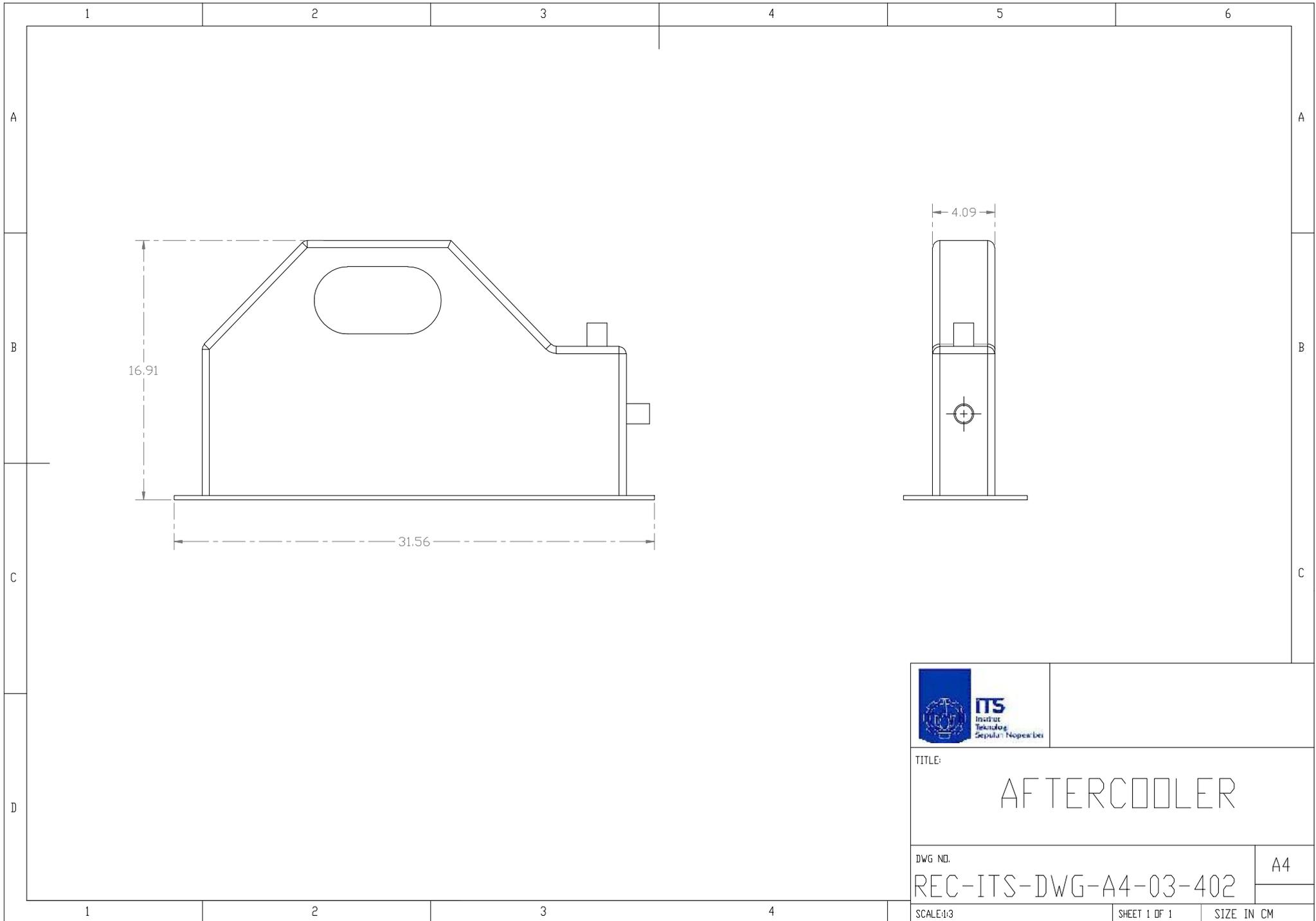
REC-ITS-DWG-A4-03-401

A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1

SIZE IN CM



TITLE:

AFTERCOOLER

DWG NO.

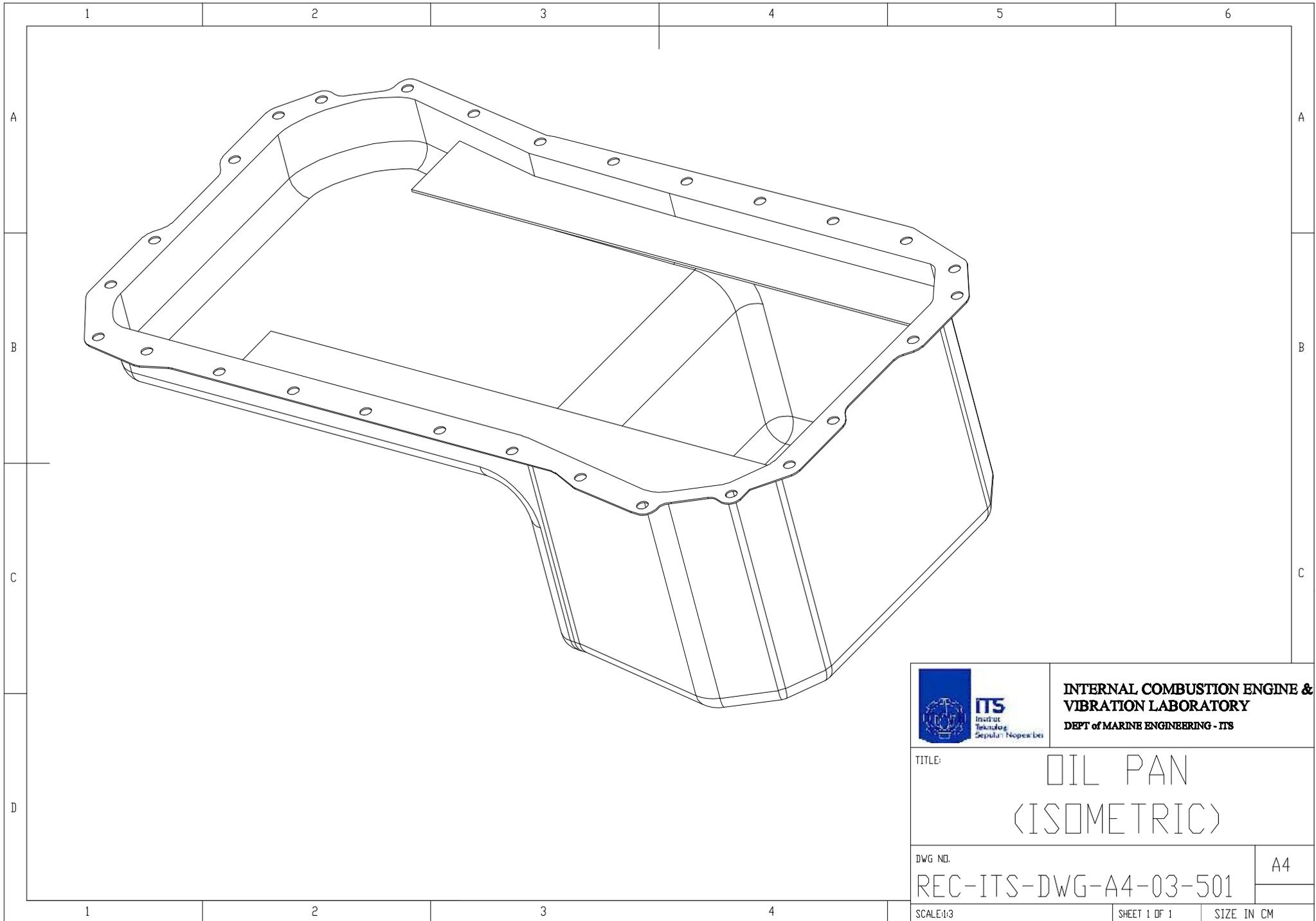
REC-ITS-DWG-A4-03-402

A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1

SIZE IN CM

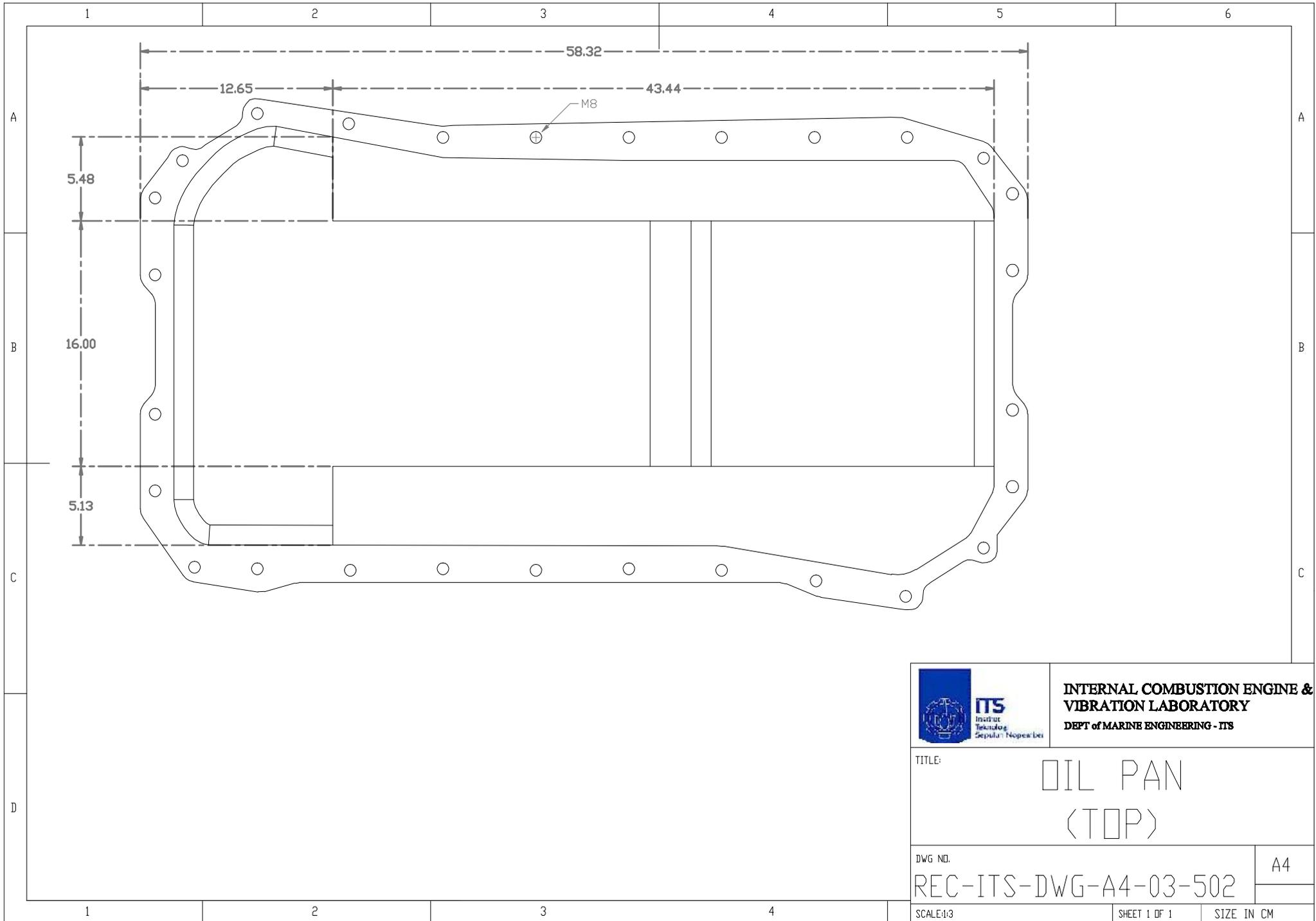


**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE: **OIL PAN
(ISOMETRIC)**

DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-03-501 A4

SCALE: 1:3 SHEET 1 OF 1 SIZE IN CM

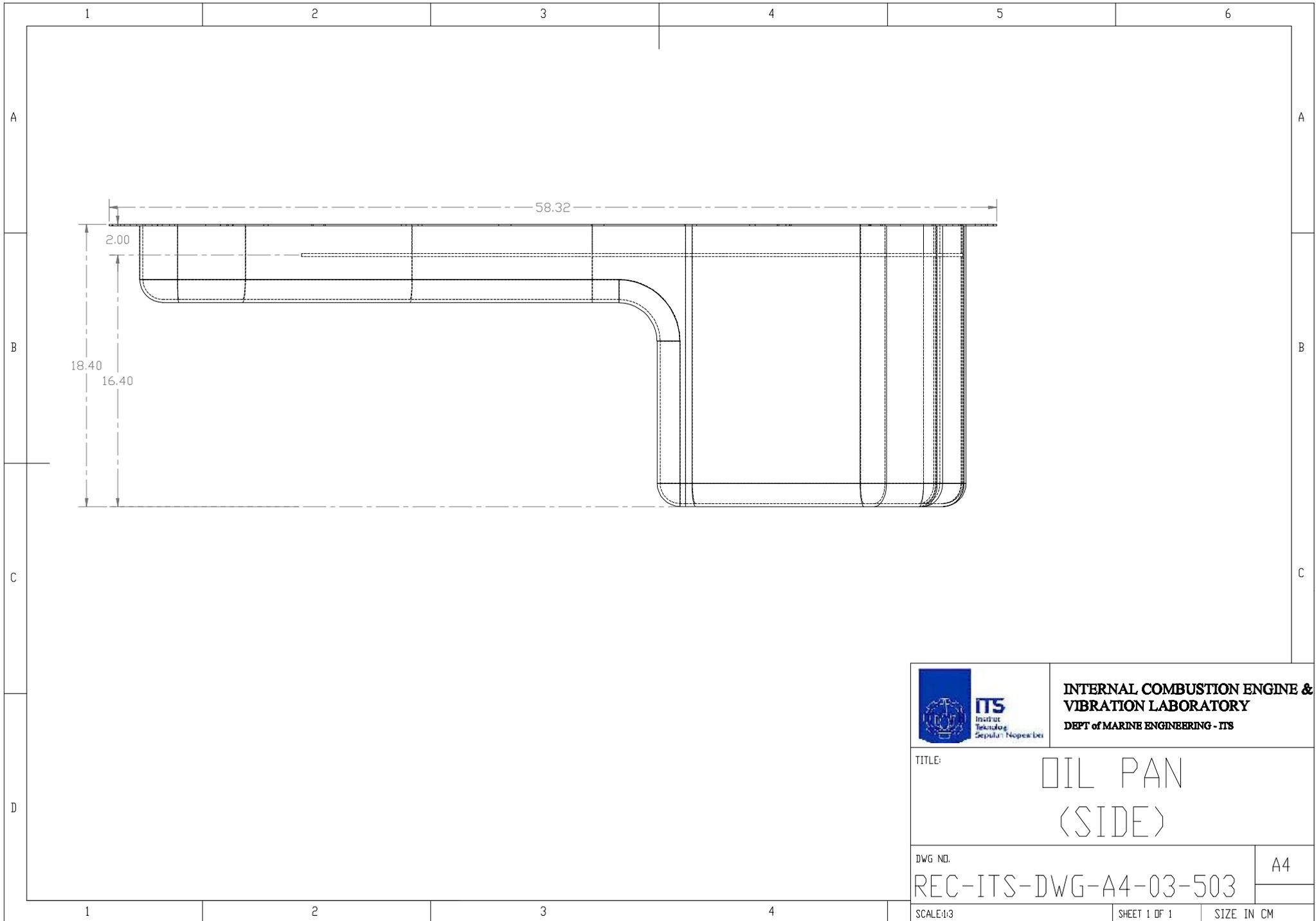


**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

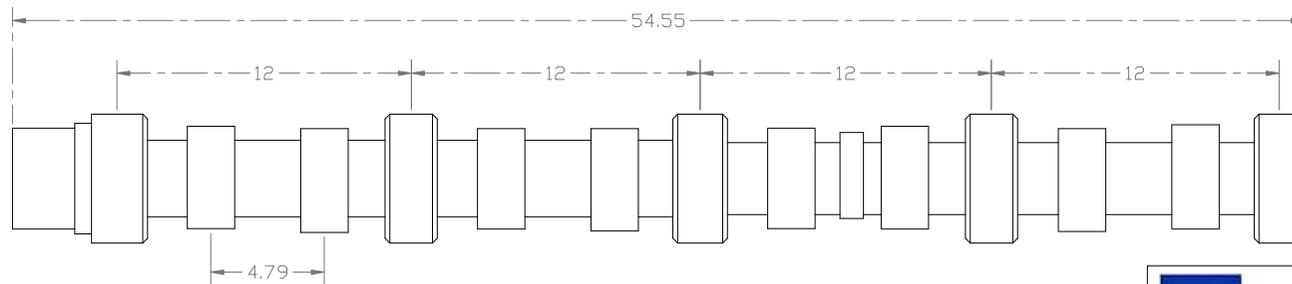
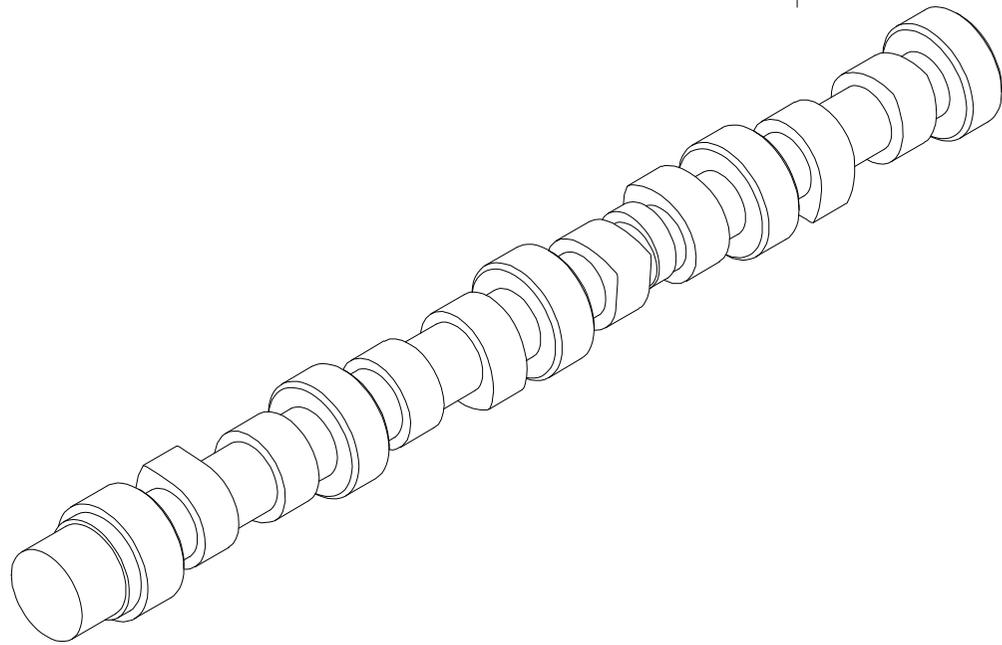
TITLE: **OIL PAN
(TOP)**

DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-03-502 A4

SCALE: 1:3 SHEET 1 OF 1 SIZE IN CM



 <p>ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember</p>	<p>INTERNAL COMBUSTION ENGINE & VIBRATION LABORATORY DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS</p>	
<p>TITLE: OIL PAN (SIDE)</p>		
<p>DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-03-503</p>	<p>A4</p>	
<p>SCALE:1:3</p>	<p>SHEET 1 OF 1</p>	<p>SIZE IN CM</p>



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

CAMSHAFT

DWG NO.

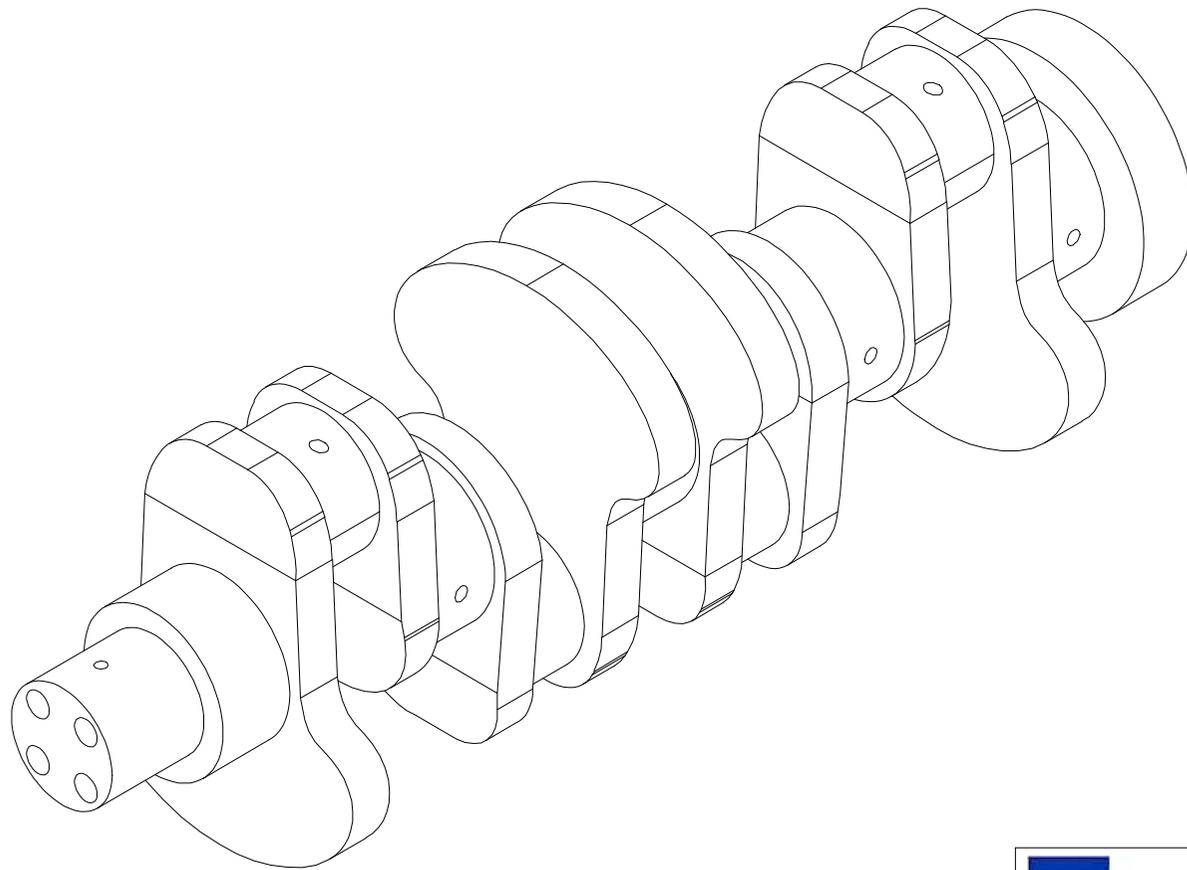
REC-ITS-DWG-A4-03-601

A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1

SIZE IN CM



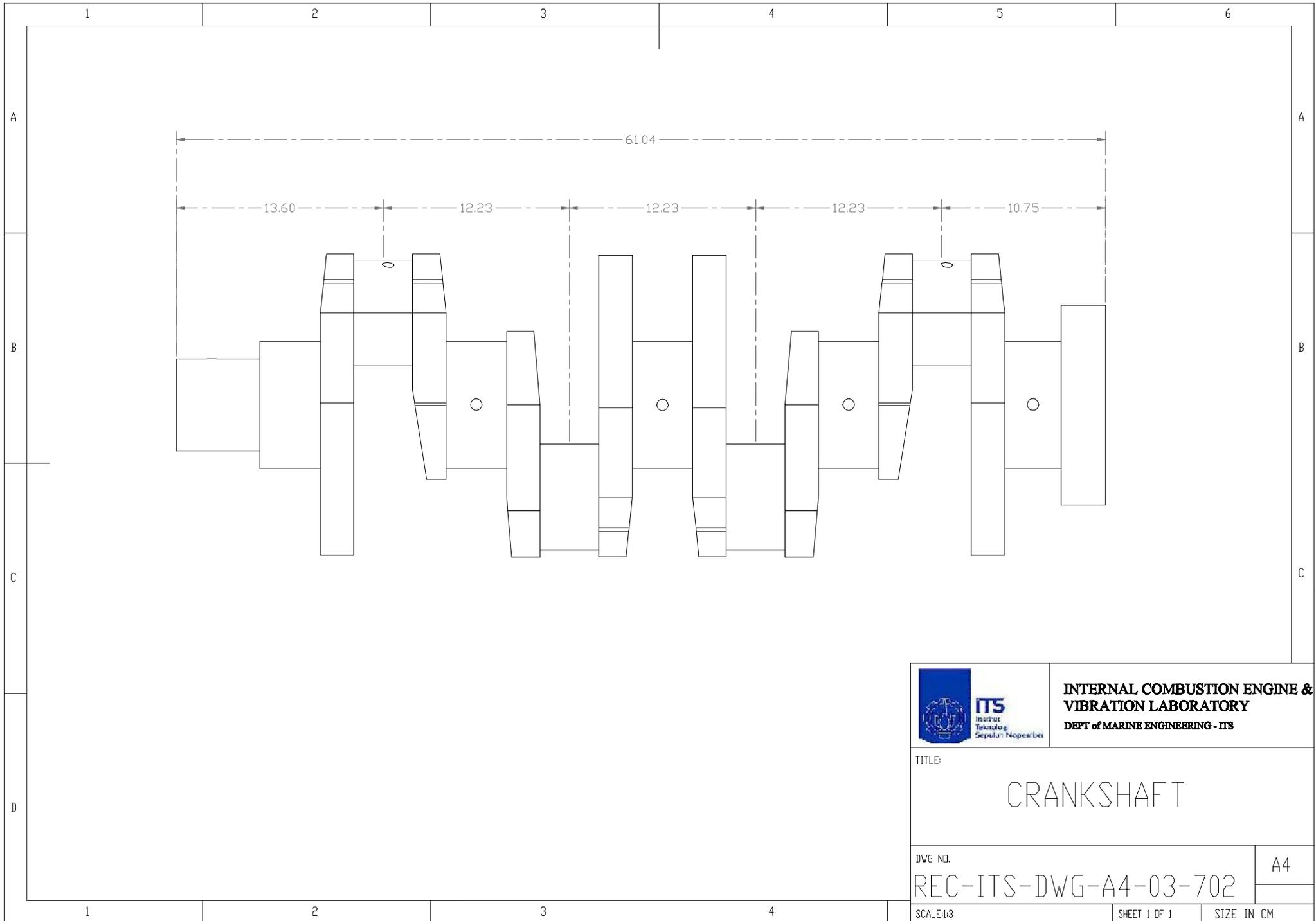
**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
CRANKSHAFT

DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-03-701

A4

SCALE:1:3 SHEET 1 OF 1 SIZE IN CM



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

CRANKSHAFT

DWG NO.

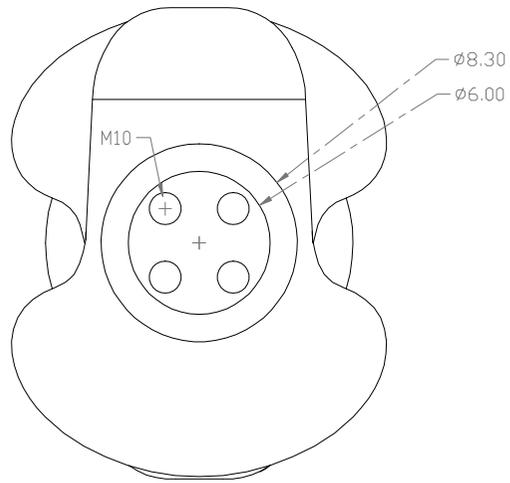
REC-ITS-DWG-A4-03-702

A4

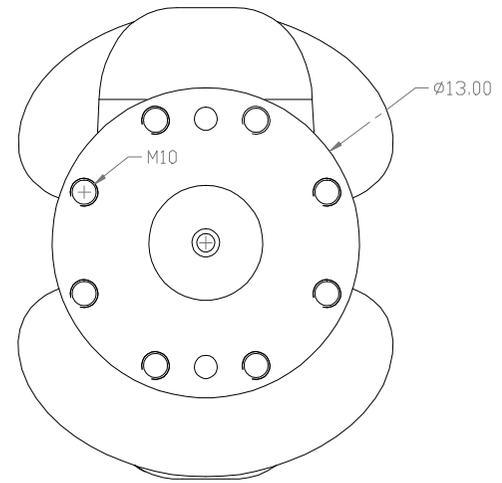
SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1

SIZE IN CM



FRONT



REAR



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:

CRANKSHAFT

DWG NO.

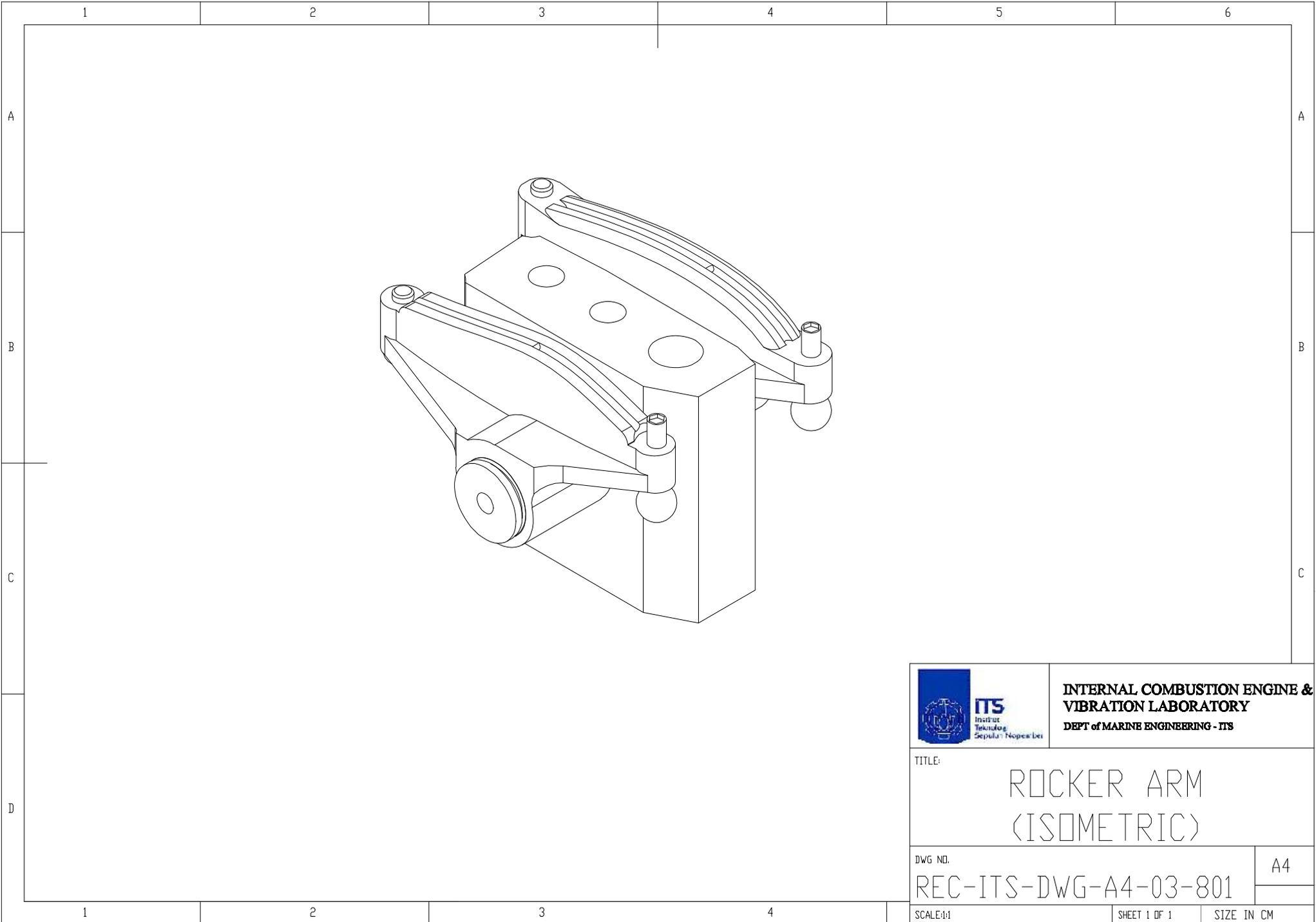
REC-ITS-DWG-A4-03-703

A4

SCALE:1:3

SHEET 1 OF 1

SIZE IN CM

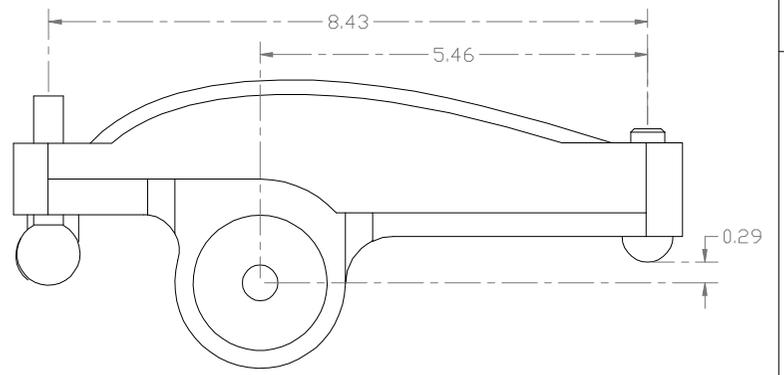
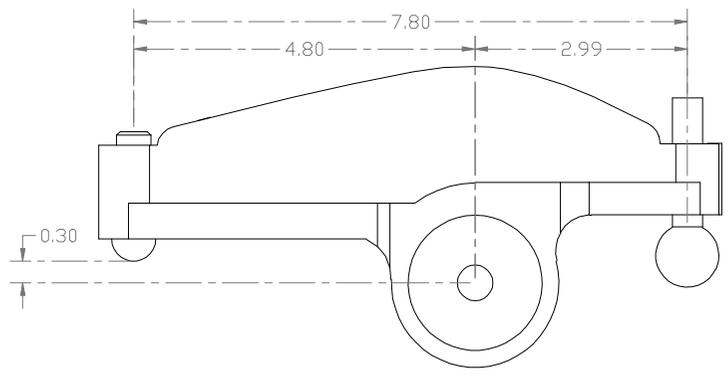


**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
**ROCKER ARM
(ISOMETRIC)**

DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-03-801 A4

SCALE:1:1 SHEET 1 OF 1 SIZE IN CM



**INTERNAL COMBUSTION ENGINE &
VIBRATION LABORATORY**
DEPT of MARINE ENGINEERING - ITS

TITLE:
ROCKER ARM

DWG NO. REC-ITS-DWG-A4-03-802 A4

SCALE:1:1 SHEET 1 OF 1 SIZE IN CM