



TESIS- MN142532

**IDENTIFIKASI *MULTIPLE DAMAGES* STRUKTUR KAPAL
BERBAHAN *SANDWICH PANEL* MENGGUNAKAN
RESPON GETARAN**

WINDRA ISWIDODO
4115203006

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590505 198403 1 012

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D
NIP. 19620328 198803 1 001

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS - MN142532

**IDENTIFIKASI MULTIPLE DAMAGES STRUKTUR KAPAL
BERBAHAN SANDWICH PANEL MENGGUNAKAN
RESPON GETARAN**

WINDRA ISWIDODO
4115203006

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590505 198403 1 012

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D
NIP. 19620328 198803 1 001

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



THESIS - MN142532

**MULTIPLE DAMAGES IDENTIFICATION OF SANDWICH
PANEL MATERIAL ON SHIP STRUCTURE USING
VIBRATION RESPONSE**

WINDRA ISWIDODO
4115203006

SUPERVISOR

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

MAGISTER PROGRAM
MARINE PRODUCTION AND MATERIAL ENGINEERING
DEPARTEMEN OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017

**LEMBAR PENGESAHAN
TESIS**

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

WINDRA ISWIDODO

NRP 4115203006

Tanggal Ujian : 11 Juli 2017

Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590505 198403 1 012

(Pembimbing)

2. Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19620328 198803 1 001

(Pembimbing)

3. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc.
NIP. 19640416 198903 1 003

(Penguji)

4. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.
NIP. 19691231 200604 1 178

(Penguji)

5. Prof. Dr. Ir. Buana Ma'ruf, M.Sc., M.M
NIP. 19611015 198703 1 003

(Penguji)



Dekan Fakultas Teknologi Kelautan,

Prof. Ir. Daniel Mohammad Rosyid, Ph.D.

NIP. 19610702 198803 1 003

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “**Identifikasi Multiple Damages Struktur Kapal Berbahan Sandwich Panel Menggunakan Respon Getaran**”. Adapun maksud penulisan tesis ini yaitu sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama pelaksanaan penelitian dan penulisan thesis ini banyak pihak yang telah membantu, karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D dan Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng.,Ph.D sebagai pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penelitian.
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc.,Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan sebagai pimpinan instansi penulis menimba ilmu dan menempuh studi Magister.
3. Dr. Ir. Heri Supomo, M.Sc., Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Buana Ma'ruf M.Sc.,M.M. selaku penguji sidang tesis yang telah memberikan penilaian dan masukan untuk kesempurnaan penelitian.
4. Seluruh Dosen Program Pasca Sarjana Teknik Perkapalan yang telah membimbing penulis hingga mampu menempuh pendidikan Magister.
5. Drs Sugeng Hari Widodo, M.MPd selaku ayahanda, yang banyak memberikan bantuan moril dan materil serta doa yang tak ternilai harganya, selama penulis menimba ilmu.
6. drg. Fitriyah Okta Lutfiyana dan Ilyzia Raudha Ratriandiari Iswidodo yang senantiasa memberikan semangat serta doa selama penulis menimba ilmu.
7. Tim peneliti *sandwich panel*, yang telah memberikan semangat, masukan dan doa kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian.
8. Kolonel Laut (T) Ir. Soegeng Poerwadi, Letkol Laut (KH) Drs. Imbalo P. Tambunan, Mayor Laut (T) Pompny Pratisna, ST., MT dan seluruh staf

Laboratorium Industri Kimia dan Material, KOARMATIM TNI AL Surabaya, yang telah mendukung pengujian laboratorium penelitian ini.

9. Rekan-rekan Pasca Sarjana 2015, Indra, Putri, Noor, An Apriyani, Dika, Wasis, Wisnu, Ismail, Fahmi, Erzad, Reynaldi, dan Roni yang telah bersama-sama dalam suka duka menuntut ilmu bersama-sama dengan penulis

Penulis menyadari bahwa penelitian tesis ini masih memiliki banyak kelemahan dan kekurangan, oleh karena itu sangat diharapkan saran yang membangun agar penelitian ini lebih dapat disempurnakan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

IDENTIFIKASI *MULTIPLE DAMAGES* STRUKTUR KAPAL BERBAHAN *SANDWICH PANEL* MENGGUNAKAN RESPON GETARAN

Nama Mahasiswa : Windra Iswidodo
NRP : 4115203006
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Dosen Pembimbing II : Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Saat ini banyak terobosan baru dalam teknologi material. Salah satunya adalah penggunaan material *Sandwich Panel* untuk konstruksi kapal. *Sandwich Panel* merupakan material ringan yang terdiri dari dua pelat baja yang dipisahkan oleh bagian inti (*core*). Material *Sandwich Panel* pada kapal akan mendapat gaya berulang dari luar, hal tersebut akan memicu adanya retak dan kemudian dapat menyebabkan kegagalan pada material.

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan material inti dari *Sandwich Panel* dengan bahan resin dan talac yang memiliki komposisi 10%, 20%, 30%, dan 40% dari berat total. Identifikasi dilakukan dengan metode eksperimen yang meliputi pengujian, densitas, kekuatan geser, dan kekuatan tarik material untuk mendapatkan nilai persyaratan yang diberikan oleh DNV. Investigasi dilakukan juga pada material *Sandwich Panel* dengan metode eksperimen kekuatan lentur. Analisa dengan *Finite Element Modeling* dilakukan untuk validasi kekuatan material *Sandwich Panel*. Selanjutnya, akan dilakukan identifikasi dampak *multiple damages* melalui pendekatan karakteristik getaran dengan metode eksperimen dan analisa *finite elemen*.

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan komposisi talac pada *core material* memberikan peningkatan kekuatan material 12,23% dan peningkatan kekakuan material sebesar 23,10% pada modulus geser. Analisa aplikasi *sandwich panel* pada geladak kendaraan menghasilkan perubahan berat konstruksi sebesar -10,71% dengan perubahan bentuk konstruksi seperti berkurangnya penegar dan penumpu. Pengaruh cacat pada material inti *Sandwich Panel* berdasarkan hasil eksperimen terjadi penurunan rata-rata frekuensi natural sebesar 1,64%.

Kata kunci : *Core Material, Sandwich Panel, Pengujian Getaran, Multiple Damages*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

MULTIPLE DAMAGES IDENTIFICATION OF SANDWICH PANEL MATERIAL ON SHIP STRUCTURE USING VIBRATION RESPONSE

Student Name : Windra Iswidodo
NRP : 4115203006
Supervisor I : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Supervisor II : Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

Nowday, lot of new breakthroughs in material technology. One of the them is the use of Sandwich panel Material. Sandwich panel is a material that consist of two steel plates separated by a core part. On its application on ship, Sandwich panel will get repetitive force from the outside. This will occur a defect and then lead to failure of the material.

This research was conduct to got core material from Sandwich Panel with resin and talac which have composition 10%, 20%, 30%, and 40%. Identification doing by experimental method that includes testing, density, shear strength, and tensile strength to obtain the value of the requirements provided by DNV. Sandwich Panel material with flexural strength experimental method to investigated. This research will identify multiple damages with vibration characteristic approach with the experimental method and finite element analysis.

Based on the result, added of talac composition on core material gives 12.23% material strength and material stiffness increase of 23.10% in shear modulus. Analysis of sandwich panel applications on the cardeck resulted in a reduced of construction weight -10.71%. Effect of defect on Sandwich Panel core material based on the experimental result is a decrease in natural frequency mean of 1.64%.

Key word: Core Material, Sandwich Panel, Vibration test, Multiple Damages

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Hipotesis	4
1.6 Batasan Masalah.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Material <i>Sandwich Panel</i> pada Kapal	5
2.2 Komposisi Material Inti <i>Sandwich Panel</i>	7
2.3 Peraturan DNV tentang <i>Sandwich Panel</i>	11
2.4 Standarisasi pengujian material.....	12
2.4.1 Pengujian Berat Jenis (<i>Density</i>) pada <i>Core Material</i>	13
2.4.2 Pengujian Tarik	14
2.4.3 Pengujian Geser	16
2.4.4 Pengujian Lentur	18
2.5 Kajian Teori Getaran	20
2.5.1 Rasio Redaman (<i>Damping Ratio</i>)	20
2.5.2 Frekuensi Natural	20

2.5.3.	Menentukan Rasio Redaman	22
2.6	Modal Analysis	22
2.7	<i>Experimental Modal Analysis</i>	24
2.8	Fourier Transform.....	25
2.9	Noise Effect	26
2.10	Sudut Fase.....	27
2.11	Referensi Penelitian <i>Modal Analysis</i> pada Material <i>Sandwich Panel</i>	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	Tahapan penelitian	29
3.2	Studi Literatur	30
3.3	Pengumpulan Data Awal	30
3.4	Identifikasi variasi <i>core material</i>	32
3.4.1	Pengujian densitas <i>core material</i>	33
3.4.2	Pengujian kekuatan tarik <i>core material</i>	33
3.4.3	Pengujian kekuatan geser <i>core material</i>	34
3.5	Metode Pembuatan <i>Sandwich Panel</i>	36
3.5.1	Identifikasi material <i>faceplate</i>	36
3.5.2	Persiapan material <i>faceplate</i>	37
3.5.3	Persiapan Cetak <i>Sandwich Panel</i> , Pengecoran, dan Kontrol Reaktivitas.....	37
3.5.4	Pembukaan cetakan	40
3.6	Metode Identifikasi <i>sandwich panel</i>	40
3.6.1	Pengujian densitas <i>sandwich panel</i>	40
3.6.2	Pengujian lentur <i>sandwich panel</i>	41
3.7	Pemodelan <i>Sandwich Panel</i>	42
3.8	Pemilihan jenis <i>core material Sandwich Panel</i>	43

3.9	Pengujian Getaran	43
3.9.1	Persiapan Pengujian	43
3.9.2	Pengujian Getaran Panel Sandwich	44
3.9.3	Proses Pengolahan Data Uji Getaran	45
3.10	Pembuatan Cacat pada <i>Core</i>	47
BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN		49
4.1	Analisa Hasil Identifikasi Komposisi <i>Core Material Syntheticresin</i>	49
4.1.1	Identifikasi Komposisi <i>Core Material</i>	50
4.1.2	Identifikasi Densitas <i>Core Material</i>	51
4.1.3	Pengujian Tarik <i>Core Material</i>	53
4.1.4	Pengujian Geser <i>Core Material</i>	57
4.2	Analisa Hasil Identifikasi Material <i>Sandwich Panel</i>	61
4.2.1	Densitas <i>Sandwich Panel</i>	61
4.2.2	Pengujian Lentur <i>Sandwich Panel</i>	62
4.2.3	Hasil Identifikasi Material <i>Sandwich Panel</i>	67
4.3	Pemodelan Struktur Sandwich Panel	68
4.4	Perubahan Berat Konstruksi	72
4.5	Identifikasi <i>Multiple Damages</i> (Kerusakan Jamak) pada <i>Sandwich Panel</i> dengan Respon Getaran.....	76
4.5.1	Pemodelan <i>Sandwich Panel</i>	77
4.5.2	Nilai Koherensi <i>Sandwich Panel</i> Utuh	79
4.5.3	Perbandingan Hasil Analisis dan Eksperimen <i>Sandwich Panel</i> Kondisi Utuh.....	79
4.5.4	Perbandingan Hasil Analisis dan Eksperimen <i>Sandwich Panel</i> Kondisi Cacat	82
4.5.5	Hasil dan Analisa <i>Damping Ratio Sandwich Panel</i>	84

4.5.6	Pengaruh Cacat pada Frekuensi Natural Material <i>Sandwich Panel</i>	86
4.6	Aplikasi Struktur Berbahan <i>Sandwich Panel</i> pada Industri Perkapalan	88
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		91
5.1	Kesimpulan.....	91
5.2	Saran	92
DAFTAR PUSTAKA		93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Contoh material <i>sandwich panel</i>	2
Gambar 2.1	(a) Konstruksi kapal pelat baja konvensional	6
	(b) Konstruksi kapal <i>sandwich panel</i>	6
Gambar 2.2	Bahan baku pembuatan material inti <i>Sandwich Panel</i>	7
Gambar 2.3	Resin 157 BQTN	8
Gambar 2.4	Spesimen uji tarik	14
Gambar 2.5	Spesimen pengujian geser dan metode pengujian geser.....	16
Gambar 2.6	Titik pembebanan tunggal dan titik pembebanan ganda	18
Gambar 2.7	Penentuan estimasi Redaman, <i>Half power bandwidth</i>	22
Gambar 2.8	<i>Modal testing</i> secara umum dari FRF	26
Gambar 2.9	Ilustrasi sudut fase	27
Gambar 3.1	Bagan alir rencana penelitian	29
Gambar 3.2	Pengujian densitas <i>core material</i>	33
Gambar 3.3	Pengujian tarik <i>core material</i>	34
Gambar 3.4	Pengujian kekuatan geser <i>core material</i>	35
Gambar 3.5	Skema metode pembuatan <i>sandwich panel</i>	36
Gambar 3.6	Proses persiapan <i>faceplate</i> sebelum penyetelan	37
Gambar 3.7	Persiapan pembuatan <i>Sandwich Panel</i>	38
Gambar 3.8	Proses pembuatan <i>core material</i>	39
Gambar 3.9	Pengujian densitas material <i>sandwich panel</i>	41
Gambar 3.10	Pengujian lentur pada material <i>Sandwich Panel</i>	41
Gambar 3.11	Model <i>Sandwich panel</i>	42
Gambar 3.12	Dudukan untuk pengujian getaran.....	44
Gambar 3.13	Set up penelitian yang digunakan dalam pengujian	44
Gambar 3.14	Ilustrasi pengambilan data.....	45
Gambar 3.15	Bagan pengolahan data.....	45
Gambar 3.16	Proses pembuatan cacat pada <i>core Sandwich Panel</i>	47
Gambar 4.1	Bentuk spesimen uji setelah pengujian Tarik.....	54
Gambar 4.2	Grafik hubungan tegangan dan regangan pada <i>core material</i>	55

Gambar 4.3	Grafik Modulus Elastisitas <i>core material</i>	56
Gambar 4.4	Grafik hubungan pembebanan dan perpanjangan <i>core material</i> ..	59
Gambar 4.5	Bentuk kegagalan pada <i>core material</i> setelah pengujian geser	60
Gambar 4.6	Grafik hubungan pembebanan dengan defleksi <i>sandwich panel</i> ..	63
Gambar 4.7	Grafik hubungan tegangan lentur dan defleksi <i>sandwich panel</i> ...	65
Gambar 4.8	Kerusakan pada material inti pada saat pembebanan uji lentur	66
Gambar 4.9	(a) <i>Finite element</i> model geladak kendaraan <i>Sandwich panel</i>	69
	(b) geladak kendaraan dengan sistem konstruksi konvensional ..	69
Gambar 4.10	Ilustrasi pembebanan pada geladak kendaraan	69
Gambar 4.11	(a) Identifikasi pembebanan pada <i>sandwich panel</i>	71
	(b) Hasil tegangan lentur maksimum pada <i>sandwich panel</i>	71
	(c) Hasil tegangan lentur pada sistem konstruksi konvensional.....	72
Gambar 4.12	Perbandingan berat konstruksi antara <i>Sandwich Panel</i> dengan sistem konstruksi konvensional.....	73
Gambar 4.13	<i>Mode</i> getaran yang terjadi pada panel	77
Gambar 4.14	Model <i>Sandwich Panel</i> dengan kondisi cacat.....	78
Gambar 4.15	Hasil pengolahan data pengujian getaran <i>Sandwich Panel</i> kondisi utuh	80
Gambar 4.16	Grafik hasil pengujian getaran <i>Sandwich Panel</i> utuh	81
Gambar 4.17	Hasil pengolahan data pengujian getaran <i>Sandwich Panel</i> kondisi Cacat	82
Gambar 4.18	Grafik hasil pengujian getaran <i>Sandwich Panel</i> cacat.....	83
Gambar 4.19	Grafik verifikasi hasil pengujian <i>Sandwich Panel</i>	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil perhitungan berat konstruksi kapal	7
Tabel 2.2	Faktor material pada DNV	7
Tabel 2.3	Parameter ketebalan minimal	8
Tabel 2.4	Standarisasi pengujian dan kriteria <i>Sandwich Panel</i>	9
Tabel 2.5	Dimensional spesimen uji tarik.	11
Tabel 2.6	Nilai numerik $(\beta_n l)^2$ untuk keadaan ujung tertentu	17
Tabel 3.1	Ukuran utama kapal Roro-750 GT.....	27
Tabel 3.2	Prosentase Variasi Komposisi <i>core material</i>	28
Tabel 4.1	Kriteria Material class LR dan DNV 2012.....	49
Tabel 4.2	Komposisi core material Synthrticresin	51
Tabel 4.3	Hasil pengujian densitas <i>core materia</i>	52
Tabel 4.4	Hasil kekuatan tarik material inti <i>Synteticresin</i>	53
Tabel 4.5	Hasil Pengujian geser <i>core material</i>	57
Tabel 4.6	Hasil densitas <i>sandwich panel</i>	61
Tabel 4.7	Hasil pengujian lentur material <i>sandwich panel</i>	62
Tabel 4.8	Identifikasi <i>Sandwich Panel</i> berdasarkan kriteria LR dan DNV	67
Tabel 4.9	Perbandingan nilai tegangan lentur <i>sandwich panel</i>	71
Tabel 4.10	Hasil perhitungan berat konstruksi model.....	72
Tabel 4.11	Biaya material <i>Sandwich Panel</i> dan plat konvensional	74
Tabel 4.12	Hasil <i>modal analysis</i> pada <i>sandwich panel</i>	78
Tabel 4.13	Nilai koherensi <i>sandwich panel</i> kondisi utuh dan cacat	79
Tabel 4.14	Perbandingan analisa dan eksperimen <i>sandwich panel</i> utuh	81
Tabel 4.15	Perbandingan analisa dan eksperimen <i>sandwich panel</i> cacat	83
Tabel 4.16	Data <i>damping ratio sandwich panel</i> kondisi utuh.....	84
Tabel 4.17	Data <i>damping ratio sandwich panel</i> kondisi cacat.....	85
Tabel 4.18	Verifikasi hasil keseluruhan pengujian getaran	86
Tabel 4.19	Aplikasi <i>Sandwich Panel</i> pada Industri Perkapalan.....	89

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

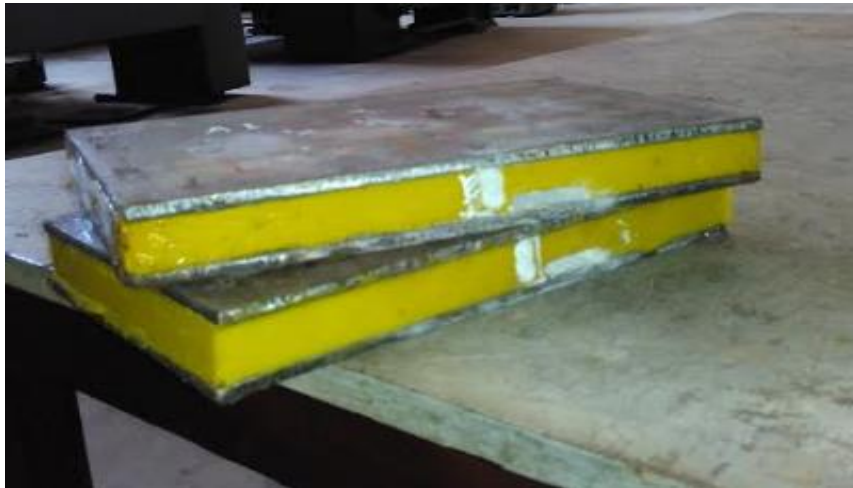
PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang.

Seiring dengan perkembangan teknologi saat ini, para pelaku industri dituntut untuk melakukan inovasi dalam menghasilkan suatu hal yang baru dan mempunyai nilai tambah bagi bidang industri perkapalan yang membutuhkan terobosan baru untuk dapat merasakan perkembangan teknologi yang ada. Sistem konstruksi kapal membutuhkan teknologi material maju dengan harapan dapat memperoleh suatu material yang lebih ringan, kuat, dan tahan lama. Material pada kapal, pada umumnya adalah baja. Tetapi baja sangat rentan terhadap pengaruh lingkungan, Oleh karena itu, berhubungan dengan hal perawatan yang dilakukan pada konstruksi kapal maka diperlukan material baru yaitu *Sandwich Panel* yang diharapkan dapat menggantikan material baja pada sistem konstruksi kapal.

Multiple damages adalah kerusakan atau retak yang terjadi pada material dengan jumlah kerusakan lebih dari satu, selain itu lokasi dan bentuk dari kerusakan material tersebut berbeda antara satu dengan yang lainnya. Pembahasan inilah yang akan dilakukan identifikasi pada material *sandwich panel* dengan memberikan kerusakan jamak (*multiple damages*) pada material inti *sandwich panel*. Penelitian yang berkaitan dengan kerusakan jamak pada material inti ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh terhadap frekuensi natural *sandwich panel* apabila terdapat kerusakan pada material intinya.

Utomo (2016) telah melakukan penelitian berkaitan dengan pemilihan material inti dan hasil pengujian yang telah dilakukan untuk *Sandwich Panel*, material inti yang digunakan dalam lapisan *Sandwich Panel* adalah *Syntheticresin* dengan komposisi 50% Resin, 50% Talc dan 0.3% Catalyst. Nilai densitas material 1728 kg/m³, Tensile strength 24.75 Mpa, Modulus elastisitas 546.95 Mpa, dan Modulus geser 273.48 Mpa. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa material *Sandwich Panel* dapat menggantikan sistem konstruksi pada geladak kapal dengan pengurangan berat konstruksi 13,08% dari geladak dengan sistem konstruksi konvensional menggunakan pelat baja.



Gambar 1.1 Contoh material *Sandwich Panel*

Jweeg & Hammond (2012) meneliti tentang perubahan natural frekuensi yang terjadi pada suatu material jika pada material tersebut terdapat *crack*. Pada penelitian tersebut, material yang digunakan menggunakan komposit *fiber*, dan variabel retak yang diteliti berdasarkan sudut kemuculan dari retak tersebut. Hasil dari penelitian tersebut komparasi antara metode eksperimen dengan analisa adalah 8,5%. Penelitian ini juga menjelaskan bahwa bertambahnya modulus elastisitas akan memberikan dampak penambahan kekakuan material sehingga frekuensi natural pada material tersebut akan bertambah.

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh *Winahyu* (2017) membahas tentang dampak perubahan frekuensi natural pada *Sandwich Panel* akibat kerusakan pada material intinya dan *damping ratio* yang terjadi pada material. Perubahan nilai frekuensi natural yang terjadi pada kondisi utuh dan kondisi cacatnya adalah 8 Hz pada mode 1 dan 94 Hz pada mode 2. Sedangkan nilai *damping ratio* dipengaruhi oleh ketebalan material inti (*core*) dari *Sandwich Panel*. Pada *sandwich panel* dengan cacat sebagian, *damping ratio* turun 17.11% dan pada material cacat penuh *damping ratio* turun 25.75% pada nilai rata-ratanya

Penelitian ini melakukan identifikasi material *Sandwich Panel* dengan variasi komposisi material inti (*core*) untuk mendapatkan karakteristik material yang terbaik, variasi komposisi yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah perbandingan resin dan talac yaitu 10% - 40% dari berat total *syntheticresin*. Setelah dilakukan identifikasi pada *core*, akan dilakukan identifikasi dampak pada material

Sandwich Panel akibat retak (*multiple damages*) yang terjadi pada *core* melalui pendekatan karakteristik getaran, penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen dan pemodelan Finite Elemen. Identifikasi kerusakan pada material inti dilakukan untuk mengetahui perbedaan frekuensi natural dari material *Sandwich Panel*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, maka pokok permasalahan yang akan dipecahkan adalah:

1. Identifikasi komposisi material inti (*core*) pada *Sandwich Panel*, berdasarkan pengujian material yang telah ditetapkan dalam LR 2006 dan DNV 2012.
2. Identifikasi perubahan berat yang dapat diberikan dari penggunaan *sandwich panel* pada model konstruksi kapal
3. Identifikasi pengaruh cacat pada material inti *Sandwich Panel* dibandingkan dengan material utuh menggunakan pengujian getaran.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dalam penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan nilai properties material *Sandwich Panel* berdasarkan komposisi material inti (*core*)
2. Mengetahui nilai kekuatan material *sandwich panel* yang dibuat untuk diaplikasikan pada konstruksi geladak kapal berdasarkan pemodelan.
3. Memperoleh nilai pengaruh cacat pada material inti *Sandwich Panel* dengan respon getaran untuk analisa numerik dan eksperimen.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai referensi dalam hal pengembangan material baru, namun mudah untuk diaplikasikan pada industri perkapalan di berbagai skala industri.
2. Sebagai acuan penelitian selanjutnya deteksi kerusakan material inti pada *Sandwich Panel*

1.5 Hipotesis

Berdasarkan penelitian sebelumnya, dalam penelitian ini ditarik suatu hipotesa, dimana perbedaan komposisi pada material inti *Sandwich Panel* dapat mempengaruhi kekuatan material tersebut dan pengujian getaran pada material *sandwich panel* akan memberikan perubahan frekuensi natural pada kondisi utuh dan cacat.

1.6 Batasan Masalah

Untuk mengefektifkan proses penelitian, maka diterapkan beberapa batasan-batasan masalah, yaitu sebagai berikut :

1. Peraturan penggunaan *Sandwich panel* mengacu pada peraturan *Lloyd's Register*, April 2006 dan DNV (*Det Norske Veritas*), April 2012.
2. Material yang diuji merupakan pemodelan dari aplikasi material *Sandwich Panel* di kapal pada area geladak kendaraan kapal dengan ukuran *frame spacing*.
3. Pengujian eksperimen yang dilakukan adalah : pengujian densitas, pengujian tarik, pengujian geser, pengujian lentur, dan pengujian getaran.
4. Kerusakan yang diteliti pada penelitian ini akan diberikan pada material inti *Sandwich Panel* berbentuk retak jamak, yaitu retak pada dua lokasi dari *core material*.
5. Pada penelitian ini tidak dilakukan kajian mengenai umur lelah material *Sandwich panel* tersebut.
6. Pada penelitian ini tidak dilakukan kajian secara ekonomis pada penggunaan material *Sandwich Panel* pada kapal.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Sandwich Panel pada Kapal

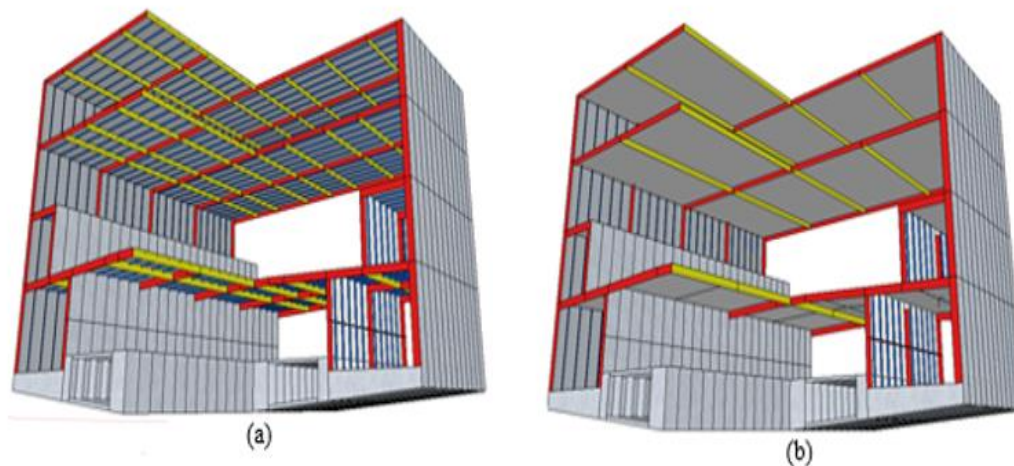
Penggunaan SPS di kapal telah banyak diterapkan. Berbagai macam riset juga telah dilakukan, seperti yang dilakukan oleh *Brooking & Kennedy* (2004), tentang pengaruh SPS terhadap pengurangan berat kapal, potensi penggunaan SPS pada kapal tidak lepas dari beberapa karakteristik dari SPS terhadap industri perkapalan diantaranya:

- Struktur yang sederhana dan mudah untuk dibangun
- Perawatan yang dibutuhkan minimal
- Menambah ketahanan terhadap korosi
- Ketahanan terhadap retak dan masalah struktural lainnya

Brooking & Kennedy (2004) melakukan desain studi penerapan SPS pada kapal *tanker*, dengan LOA = 144,0 m ; B = 21,50 m pada DWT = 14.000 ton Dengan menerapkan metode FE (*Finite element*), analisa yang dilakukan menunjukkan tegangan pada konstruksi yang menggunakan SPS memberikan nilai yang lebih kecil dari kriteria tegangan yang diizinkan. Dilanjutkan pada penelitian tersebut bahwa material SPS memiliki rata-rata stress yang lebih besar terhadap baja biasa, material SPS tetap memenuhi persyaratan yang diberikan. Ini membuktikan bahwa material SPS dapat diaplikasikan ke dalam struktur di bidang perkapalan.

Brooking & Kennedy (2004) juga melakukan perbandingan berat antara material SPS dengan material baja biasa. Dimana hasil perhitungan menghasilkan material SPS dapat mereduksi berat dari material baja pada struktur kapal dengan prosentase pengurangan 2,8%, sehingga dari penelitian yang telah dilakukan mendapatkan bahwa material SPS dapat menggantikan material baja.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh *Utomo* (2016), dilakukan analisa perubahan berat konstruksi pada kapal *ferry roro* di bagian *parallel middle body*. Dengan diaplikasikannya *sandwich panel* pada kapal, bentuk konstruksi kapal mengalami penyederhanaan. Penyederhanaan yang dimaksud adalah dihilangkannya *stiffner* dari desain kapal tersebut. Namun, perubahan ini tidak mengurangi kekuatan dari struktur tersebut.



Gambar 2.1 (a) Konstruksi kapal pelat baja konvensional, (b) Konstruksi kapal *sandwich panel* (*Utomo*, 2016)

Gambar 2.1 merupakan perbedaan bentuk konstruksi geladak pada kapal dengan konstruksi pelat baja konvensional dan konstruksi kapal yang telah menggunakan *Sandwich Panel*. Efek lain dari pemasangan *sandwich panel* pada konstruksi kapal, yaitu dapat berkurangnya berat LWT dari kapal tersebut. Total berat yang dapat direduksi dari penerapan *sandwich panel* ini mencapai 13,08% dibandingkan dengan baja biasa. Pengurangan beban ini bisa berakibat turunnya *draft* dan bertambahnya muatan tanpa harus mengorbankan *freeboard*. Pada Tabel 2.1 merupakan perbandingan berat konstruksi kapal antara konstruksi konvensional dengan konstruksi dengan menggunakan *Sandwich Panel*.

Tabel 2.1 Hasil perhitungan berat konstruksi kapal (Utomo, 2016)

Bagian block	Berat konstruksi (Ton)		(%)
	Steel	<i>Sandwich panel</i>	
Block. 01 (No. Gading 63-75)	89,11	88,66	-0,50
Block. 02 (No. Gading 51-62)	83,89	82,29	-1,94
Block. 03 (No. Gading 39-50)	73,35	71,08	-3,20
Block. 04 (No. Gading 27-38)	73,35	71,08	-3,20
Block. 05 (No. Gading 16-26)	67,64	64,88	-4,25
Total	387,34	377,99	-13,08

Momcilovic & Motok (2009) Sandwich Plate System (SPS) merupakan material ringan yang merupakan struktur dua pelat logam yang dipisahkan oleh material inti elastomer. Pada material ini pelat yang digunakan biasanya terbuat dari baja yang digabungkan sebagai batas luar dari material inti dan kemudian disatukan oleh material *polyurethane*.

2.2 Komposisi Material Inti *Sandwich Panel*

Pembuatan material *syntheticresin* memerlukan bahan baku seperti resin, talac, catalist dan pigmen. Semua bahan baku tersebut dicampurkan sehingga menjadi material inti untuk *sandwich panel*. Berikut ini adalah uraian untuk bahan baku dari pembuatan material inti.



Gambar 2.2 Bahan baku pembuatan material inti *Sandwich Panel*

A. Resin 157 BQTN

Tipe resin ini tahan terhadap air (suhu normal) dan asam lemah. Produk unggulan kami adalah YUKALAC® 157 BQTN-EX. Tipe jenis ini sangat populer di bidang pembuatan kapal di Indonesia. Bidang aplikasi lainnya antara lain: tangki, alat saniter, ornamen dan lain-lain. YUKALAC® 157 BQTN-EX ber-sertifikasi LR Register & FDA. YUKALAC® 157 BQTN-EX juga sudah ber-sertifikasi BKI (Biro Klasifikasi Indonesia).



Gambar 2.3 Resin 157 BQTN

Berbentuk cairan kental, bening sedikit berwarna merah/hijau. Resin mempunyai beberapa tipe dari yang keruh, berwarna hingga yang bening dengan berbagai kelebihanannya seperti kekerasan, lentur, kekuatan dll. Selain itu harganya pun bervariasi. Bahan ini berwujud cairan kental seperti lem, berkelir hitam atau bening. Berfungsi untuk mengencerkan semua bahan yang akan dicampur. Resin mempunyai beberapa tipe dari yang keruh, berwarna hingga yang bening dengan berbagai kelebihanannya seperti kekerasan, lentur, kekuatan dan lain-lain. Resin adalah senyawa polymer rantai karbon. Polymer berasal dari kata –poly (banyak) dan –mer (ikatan). Senyawa polymer rantai karbon dapat didefinisikan

sebagai senyawa yang mempunyai banyak ikatan rantai karbon. Resin merupakan bahan pembuat Fiberglass yang berwujud cairan kental seperti lem, berkelir hitam atau bening. Berfungsi untuk mengeringkan semua bahan yang akan dicampur.

B. Talac

Talac berbentuk serbuk putih seperti bedak yang dicampurkan dengan resin berfungsi seperti dempul. Aplikasi dempul resin ini bisa digunakan untuk menghalus permukaan fiber atau sebaliknya untuk membuat detil dalam relief. Sesuai dengan namanya, bahan ini berupa bubuk berwarna putih seperti sagu. Berfungsi sebagai campuran adonan fiberglass agar keras dan agak lentur. Menjadikannya sebagai mineral paling lembut.

Talac merupakan silikat magnesium terhidrasi, talek memiliki rumus kimia $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$. Talac tidak larut dalam air, Talac merupakan mineral metamorf yang dihasilkan dari mineral magnesium seperti piroksen, amfibol, olivin, dan mineral serupa lainnya dengan adanya karbon dioksida dan air. Hal ini biasa dikenal sebagai karbonasi talek atau steatisasi dan memproduksi sederetan cadas yang dikenal sebagai karbonat talek Susunan kimiawi: $3MgO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ (63,35 wt% SiO_2 ; 31,90 wt% MgO ; 4,75 wt% hidroksida)

C. Catalist

Catalyst atau Methyl Ethyl Ketone Peroxide adalah hardener atau pengeras resin yang dapat digunakan untuk :

- Membuat tangki, kotak, atau kapal
- coating pada kayu lapis
- kancing
- pelapis permukaan pada besi atau furniture

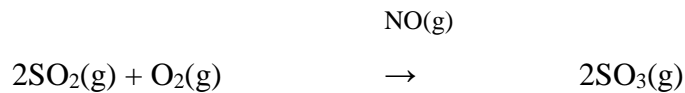
sifat katalis : cair, berwarna bening, baunya sgt menyengat, sering disebut jg hardener, berfungsi sbg pengering saat dicampur resin. Tipe catalyst permek – N digunakan untuk resin bening sedangkan catalyst untuk resin pada umumnya. Adapun jenis-jenis Katalis berdasarkan wujudnya, katalis dapat dibedakan menjadi katalis homogen dan katalis heterogen (James E. Brady, 1990).

1) Katalis Homogen

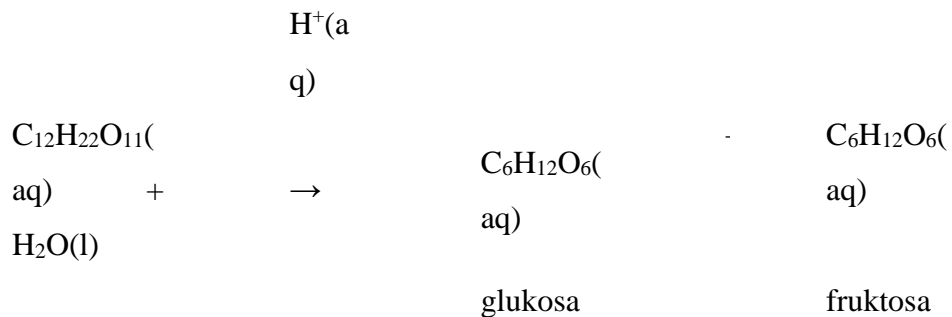
Katalis homogen adalah katalis yang dapat bercampur secara homogen dengan zat pereaksinya karena mempunyai wujud yang sama.

Contoh Katalis Homogen :

a. Katalis dan pereaksi berwujud gas



b. Katalis dan pereaksi berwujud cair



2) Katalis Heterogen

Katalis heterogen adalah katalis yang tidak dapat bercampur secara homogen dengan pereaksinya karena wujudnya berbeda.

Contoh Katalis Heterogen :

Katalis berwujud padat, sedang pereaksi berwujud gas.



D. Pigmen/ Pewarna

Pigmen adalah pewarna resin berupa pasta. Penggunaannya harus dicampur dengan resin terlebih dahulu. Warna pigmen bermacam-macam tetapi untuk pembuatan rockwork sebaiknya digunakan warna dasar (hitam, putih, merah, biru dan kuning). Dengan pencampuran warna dasar ini bisa menghasilkan variasi warna yang tidak terhingga. Pigment adalah zat pewarna

saat bahan fiberglass dicampur. Pemilihan warna disesuaikan dengan selera pembuatnya. Pada umumnya pemilihan warna untuk mempermudah proses akhir saat pengecatan.

2.3 Peraturan DNV tentang *Sandwich Panel*

DNV membagi kalkulasi ketebalan menjadi 2 bagian. Bagian *face plate* yang dilambangkan dengan t_1 (top plate) dan t_2 (bottom plate) dan ketebalan *core* dengan t_c . Berikut ini adalah formula dalam menentukan tebal material sandwich

$$t_{1,2_min} = 0,5 \left(t_0 + \frac{k.L}{f_1^{0,5}} \right) \quad (2.1)$$

Dimana:

L = Panjang kapal (m)

f_1 = Faktor Material

t_0, k = Parameter ketebalan minimal

Tabel 2.2 Faktor material pada DNV

Jenis baja	Keterangan	f_1
NV-NS	$\sigma_y \geq 235$ MPa	1,00
NV-27	$\sigma_y \geq 265$ MPa	1,08
NV-32	$\sigma_y \geq 315$ MPa	1,28
NV-36	$\sigma_y \geq 355$ MPa	1,39
NV-40	$\sigma_y \geq 390$ MPa	1,47

Tabel 2.3 Tabel parameter ketebalan minimal

Bagian Konstruksi	t_0	k
<i>Bottom / Inner bottom / Side</i>	5,0	0,04
<i>Weather deck</i>	5,5	0,02
<i>Bulkhead</i>	5,0	0,03
<i>Tween decks & superstructure ends and sides</i>	5,0	0,01
<i>Superstructure decks</i>	5,0	0

Setelah ketebalan minimal didapat, DNV mensyaratkan dalam penambahan ketebalan berdasarkan factor korosi. Berikut adalah formula yang di syaratkan:

$$t_{1,2_gross_required} = t_{1,2_min} + t_k \quad (2.2)$$

- $t_{1,2_gross_required}$ = Ketebalan minimal yang digunakan
 $t_{1,2_min}$ = Ketebalan minimal mula-mula
 t_k = Ketebalan tambahan sebagai factor korosi

Persyaratan ketebalan *core* didapat menggunakan system try and error. Sehingga desainer bisa memberikan ketebalan yang dibutuhkan kapal secara optimum. Berikut adalah formula yang berkaitan dengan penentuan ketebalan *core* material.

$$R = 0,01A_R 0,1 \left[\frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{bt_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] kP_{eq,R} \leq 1 \quad (2.3)$$

R = nilai indeks ketebalan *core material*, $R \leq 1$.

$$A_R = \left(\frac{a}{b} \right)^{0,65}$$

$P_{eq,R}$ = 0,0017 (Z_{rule}/l^2) (MPa)

l = panjang panel (mm)

Z_{rule} = ekuivalen modulus penampang *midship*

t_c = pilihan ketebalan lapisan inti (mm)

a = panjang panel pada tepi terpanjang (mm)

b = lebar panel pada tepi terpendek (mm)

d = $t_c + (t_1 + t_2) / 2$, (mm)

t_1, t_2 = ketebalan panel lapisan atas dan bawah (mm)

k = faktor kekuatan baja.

2.4 Standarisasi pengujian material.

LR (2006) dan DNV (2012) mengatur standarisasi pengujian material *sandwich panel*, baik untuk persyaratan *core material* hingga kriteria persyaratan *sandwich panel* yang digunakan. Standarisasi pengujian dan kriteria nilai hasil pengujian ditetapkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Standarisasi pengujian dan kriteria *sandwich panel*.

Property	Test Standard	Acceptance criteria	
		DNV	LR
Density	ISO 845	> 1000 kg/m ³	≥ 1000 kg/m ³ at RT
Hardness	DIN 53505 ASTM D2240	65 at 20°C	Shore D ≥ 65 at RT
Tensile Strength	ISO 527 ASTM D412	> 5 MPa at +80°C	≥ 20 MPa at RT
Tensile Modulus		> 200 MPa at +80°C	≥ 5 MPa at +80°C
Elongation at break		Min. 20% at 20°C Min. 10% at -20°C	Min. 10% at -20°C Min. 20% at RT
Shear Modulus	ASTM C 273 - 01	G ≥ 312-2,4T (°C) or, min. 120 MPa at +80°C	G ≥ 312-2,4T (°C)
Bond shear strength	ASTM D429-81	3,7 MPa (shot blasted) 6,2 MPa (grift blasted)	≥ 2,7 MPa (shot blasted) ≥ 4 MPa (grift blasted)
Bond shear strength from beam flexure	ASTM C393	> allowable stress defined in 3.5.2 DNV rules for Steel SPS	-

Sumber : LR (2006) & DNV (2012)

Tabel 2.4 menunjukkan standarisasi material *sandwich panel* untuk dilakukan pengujian, maka pada penelitian ini akan melakukan pengujian untuk berat jenis *core*, pengujian tarik pada *core*, dan pengujian geser pada material inti. Kemudian pada material *Sandwich Panel* akan dilakukan pengujian lentur untuk mendapatkan kekuatan lentur dan kekuatan geser dari material *sandwich panel*.

2.4.1. Pengujian Berat Jenis (*Density*) pada *Core Material*

Pengujian densitas dilakukan untuk menentukan kepadatan dari material *sandwich panel* yang dibuat berdasarkan ISO 845. Dimensional spesimen uji dibentuk dengan jelas untuk memudahkan dalam perhitungan volume. Ukuran spesimen setidaknya memiliki total volume paling sedikit 100 cm³. Spesimen benda uji dibuat minimal 5 spesimen.

Spesimen yang dibuat, setidaknya menunggu 72 jam setelah pembuatan dan sebelum pemotongan spesimen dilakukan. Spesimen harus disimpan setidaknya selama 16 jam pada keadaan atmosfer standard atau dalam kondisi kering. Pengukuran dimensi dalam satuan (mm), dengan membuat minimal tiga pengukuran yang terpisah dari masing-masing dimensi. Untuk bahan yang kaku dalam bentuk papan, setidaknya dilakukan lima pengukuran pada daerah pusat dan menghitung rata-rata untuk setiap dimensi.

Densitas, ρ dari benda uji diberikan dalam satuan kg/m^3 , yang diperoleh dari persamaan berikut

$$\rho = m/V \cdot 10^6 \quad (2.4)$$

dimana :

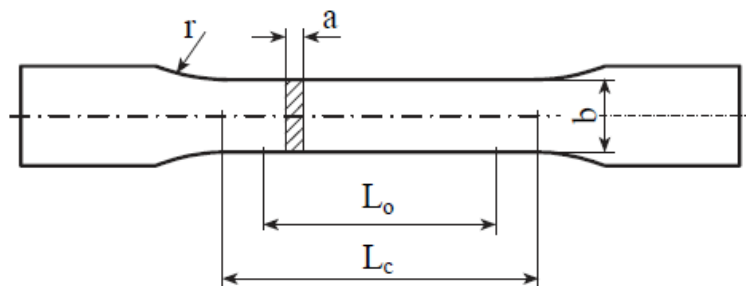
ρ = berat jenis (kg/m^3)

m = massa, untuk spesimen uji, (kg)

V = volume spesimen uji, (m^3)

2.4.2. Pengujian Tarik.

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material yang diuji. Spesimen benda uji yang merupakan pelat, maka bentuk dan dimensional benda uji yang dibuat sesuai dengan yang diberikan EN 10002, adapun bentuk spesimen uji tarik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Spesimen uji tarik, (ASTM D 412, EN 10002)

dimana :

a = ketebalan *sandwich panel*, pelat, maupun *core material*, (mm)

b = lebar spesimen *sandwich panel*, pelat, maupun *core material*, (mm)

L_0 = panjang pengukuran awal, (mm)

L_c = panjang bidang spesimen yang diuji, (mm)

S_o = pengukuran luas penampang pada bidang spesimen uji, (mm²)

r = radius bidang pada akhir spesimen uji, (mm)

Spesimen uji tarik akan dibentuk dari dua material yaitu baja dan *core material* yang kemudian akan disatukan. Adapun dimensional spesimen uji tarik yang terdapat pada Gambar 2.5, dijelaskan dalam Tabel 2.8 berikut ini.

Tabel 2.5 Dimensional spesimen uji tarik.

Dimension	Specimen propotional test specimen	Specimen 200 mm specimen
a	t	t
b	25 mm	≥ 25 mm
L_o	$5,65\sqrt{S_o}$	200 mm
L_c	$L_o + b$	225 mm
r	25 mm	25 mm

Tabel 2.5 menjelaskan ukuran dari setiap dimensional dalam bentuk notasi yang diberikan pada Gambar 2.2 mengenai bentuk spesimen uji tarik.

Tegangan tarik yang dihasilkan dari pembebanan tarik pada spesimen uji tarik ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma_{tk} = F/A \quad (2.5)$$

dimana :

F = Gaya yang diamati, (N)

A = Luas penampang dari bidang spesimen yang tertarik, (mm²)

σ_{tk} = Tegangan tarik, kekuatan tarik material, (Mpa)

Sedangkan, elongasi yang terjadi dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut.

$$Elongation, (\%) = \frac{(L-L_o)}{L_o} \cdot 100 \quad (2.6)$$

dimana :

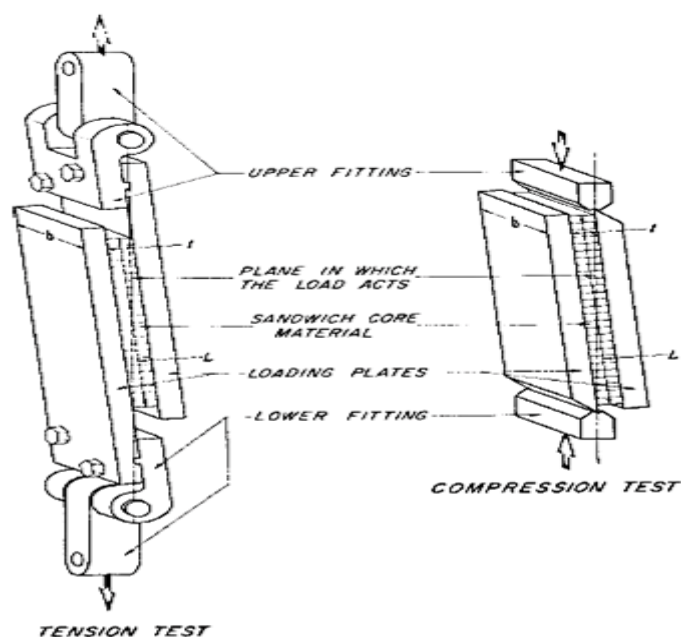
L = Jarak dari pertambahan panjang material, (mm)

L_o = Jarak hasil dari panjang pengukuran awal, (mm)

2.4.3. Pengujian Geser

Pengujian geser dilakukan pada material Sandwich Panel untuk mengetahui kekuatan erat pada material komposit *syntheticresin* dengan baja. Hal yang umum logam diaplikasikan dalam desain teknik dengan pembebanan geser. Baut, paku keling dan pasak mendapat beban sedemikian rupa sehingga akan membelah komponen tersebut menjadi dua bagian (Budinski,1999). Kekuatan geser suatu bahan adalah tegangan yang menyebabkan komponen rusak/patah akibat beban geser. Pengujian geser dapat dilakukan pada mesin uji tarik menggunakan peralatan tambahan khusus.

Spesimen benda uji untuk pengujian geser pada material *sandwich panel* dengan lebar spesimen tidak kurang dari 50 mm dan panjang spesimen uji tidak kurang 12 kali tebal material inti (*core*). Bentuk spesimen uji dan metode pengujian untuk *sandwich panel* yang dibuat sesuai ASTM C273 seperti yang di tunjukkan pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Spesimen pengujian geser dan metode pengujian geser (ASTM C 273, Standard Test Method for Shear Properties of Sandwich Core Materials)

Pada Gambar 2.5 menunjukkan metode pengujian geser pada material sandwich panel, peralatan yang digunakan adalah alat pengujian tarik, dimana

pengikat (*grip*) pada alat uji tarik letaknya vertikal dengan posisi sejajar, maka diperlukan peralatan tambahan untuk melakukan pengujian geser ini. Sehingga spesimen uji sandwich panel posisinya dapat sejajar sesuai dengan *grip* pada alat uji. Sedangkan metode pengujian yang dilakukan sama seperti uji tarik, tetapi perlu adanya ekstensometer untuk mengukur pergeseran yang terjadi pada material inti dengan plat pada *sandwich panel*.

Tegangan geser *core* pada material sandwich panel dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\tau = \frac{P}{Lb} \quad (2.7)$$

dengan modulus geser *core* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$G = \frac{St}{Lb} \quad (2.8)$$

Untuk menentukan nilai poisson ratio dari hasil pengujian geser maka dapat dihitung dengan persamaan berikut ini berdasarkan ASTM E1826 – 01:

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\mu)}$$

$$\mu = \frac{E_c}{2G_c} - 1 \quad (2.9)$$

dimana :

τ = tegangan geser *core*, (MPa)

G_c = Modulus geser *core*, (MPa)

P = beban pada spesimen, (N)

S = $\Delta P/\Delta u$, load deflection, (mm)

u = displasment dari plate, (mm)

b = lebar *sandwich*, (mm)

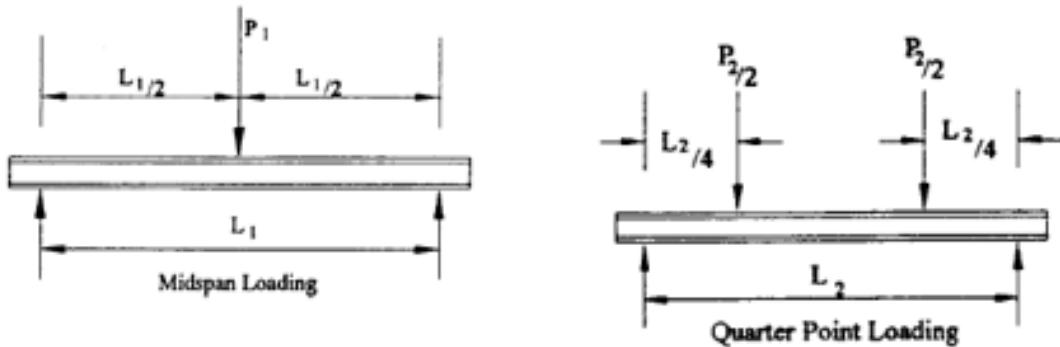
L = panjang *sandwich*, (mm)

μ = *poisson ratio*

E_c = Modulus Elastisitas (MPa)

2.4.4. Pengujian Lentur

Pengujian lentur dilakukan pada spesimen *sandwich panel* untuk mengetahui kondisi material terhadap pembebanan lentur berdasarkan nilai tegangan lentur dan defleksi yang terjadi. Spesimen benda uji yang dibuat harus dalam bentuk persegi panjang dengan ketebalan *sandwich panel* berdasarkan hasil perhitungan ketebalan, dengan lebar dari spesimen tidak kurang dari 2 kali total ketebalan atau tidak lebih dari 1,5 panjang bentang. Sedangkan panjang dari spesimen merupakan panjang bentang yang ditambahkan 50 mm. Bentuk pengujian lentur yang diberikan oleh ASTM C393, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut ini.



Gambar 2.6 Titik pembebanan tunggal dan titik pembebanan ganda (ASTM C 393, *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions*)

Gambar 2.6 menunjukkan dua tipe pengujian dari pembebanan tunggal pada spesimen dan pembebanan ganda, dengan aturan jarak posisi pembebanan yang diberikan pada tiap tipe pengujian yang dilakukan.

Tegangan geser *core*, pada pembebanan tunggal (*midspan loading*), dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\tau = \frac{P}{(d+c)b} \quad (2.10)$$

dengan tegangan lentur, *midspan loading*, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_{lt} = \frac{PL}{2t(d+c)b} \quad (2.11)$$

Defleksi atau lendutan spesimen dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\Delta = \frac{PL^3}{48D} + \frac{PL}{4U} \quad (2.12)$$

dengan nilai kekakuan lentur untuk lapisan luar yang sama, dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12} \quad (2.13)$$

Selanjutnya dalam pengujian lentur, diperlukan perhitungan modulus kerusakan (*Modulus of Rupture*) dengan menggunakan persamaan berdasarkan ASTM C 293 sebagai berikut :

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2.14)$$

Berikut ini adalah notasi untuk persamaan (2.9) hingga (2.12):

τ = tegangan geser *core*, (MPa)

σ_t = tegangan lentur, (MPa)

P = beban, (N)

d = ketebalan *sandwich*, (mm)

c = ketebalan lapisan *core*, (mm)

b = lebar *sandwich*, (mm)

L = panjang bentang, (mm)

Δ = total defleksi bidang tengah bentang, (mm)

G = modulus geser inti, lihat (G_c , bab 2), (MPa)

E = modulus elastisitas lapisan baja, lihat (E_f), (MPa)

D = kekakuan lentur panel, (N.mm²)

$U = \frac{G(d+c)^2 b}{4c}$, (N)

R = *modulus of rupture*, (MPa)

2.5 Kajian Teori Getaran

Menurut *Thompson* (1980), Sistem mengandung massa dan elastisitas yang mampu bergerak secara relatif, apabila gerakan sistem seperti itu berulang sendiri dalam interval waktu tertentu maka gerakan itu dikenal dengan getaran (*vibration*). Getaran pada umumnya merupakan bentuk energi sisa dan pada berbagai kasus tidak diinginkan. Getaran pada umumnya merupakan sebuah fenomena baik alami maupun mekanis dimana osilasi terjadi diantara titik keseimbangan. Osilasi adalah peristiwa berayunnya suatu benda untuk mencapai titik keseimbangannya. Frekuensi natural adalah frekuensi sistem yang mempunyai getaran bebas tanpa peredaman.

2.5.1. Rasio Redaman (*Damping Ratio*)

Benda yang mengalami getaran lama kelamaan akan berusaha kembali ke titik keseimbangannya. Secara perlahan benda akan berkurang amplitudonya hingga displacement benda tersebut menjadi nol. Hal yang mempengaruhi pengurangan displacement ini adalah redaman. Di dalam redaman, terdapat hal yang dinamakan *damping ratio*. *Damping ratio* adalah parameter yang tidak memiliki dimensi sebagai perbandingan antara damping yang terjadi dengan critical damping yang diharapkan pada benda tersebut. Jadi *damping ratio* dapat dituliskan seperti persamaan berikut.

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad (2.14)$$

Dimana:

- ζ = *damping ratio*
- c = actual damping
- c_c = damping kritis

2.5.2. Frekuensi Natural

Sebuah struktur apabila digetarkan maka akan terjadi osilasi pada frekuensi natural (ω) yang merupakan milik sistem itu sendiri, frekuensi natural juga dipengaruhi oleh kekakuan dan massa. Perhitungan matematis frekuensi natural getaran didapat dari persamaan (*Thomson* 1980).

$$\omega_n = (\beta_n l)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho l^4}} = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.15)$$

Nilai dari $(\beta_n l)$ tergantung dari kondisi tumpuan, untuk batang dengan kondisi tumpuan menggunakan persamaan (Thomson 1980).

Tabel 2.6 Nilai numerik $(\beta_n l)^2$ untuk keadaan ujung tertentu (Thomson, 1980)

Konfigurasi batang	$(\beta_1 l)^2$ Mode 1	$(\beta_2 l)^2$ Mode 2	$(\beta_3 l)^2$ Mode 3
Ditopang sederhana	9,87	39,5	88,9
Konsol	3,52	22,0	61,7
Bebas-bebas	22,4	61,7	121,0
Jepit-jepit	22,4	61,7	121,0
Jepit-engsel	15,4	50,0	104,0
Engsel-bebas	0	15,4	50,0

Dimana,

frekuensi natural (Hz)

ρ = massa jenis bahan (kg/m^3)

l = panjang balok (m)

I = momen inersia balok (m^4)

E = Modulus Young (N/m^2)

Estimasi Frekuensi Natural. Mengestimasi frekuensi natural pada frequency domain menjadi hal yang rancu. Karena pada kondisinya tidak diketahui *mode* atau bentuk getaran yang ada pada *spectrum* hasil penelitian. Oleh karena itu, pada beberapa penelitian, tambahan bantuan seperti *software* lainnya dibutuhkan dalam proses estimasi. Frekuensi natural dari *mode* ke- r , dipilih berdasarkan nilai tertinggi dari amplitude pada frekuensi sekitar *mode* tersebut.

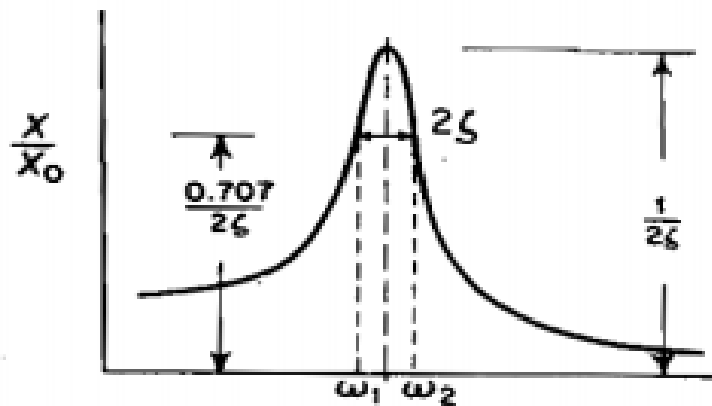
$$|\alpha_r(\omega)|_{max} = \omega_r = \omega_{peak} \quad (2.15)$$

- α_r = amplitude pada *mode* ke-r
 ω_r = estimasi frekuensi natural pada *mode* ke-r

2.5.3. Menentukan Rasio Redaman

Untuk mengestimasi redaman, lokasi dari ω_a dan ω_b harus ditentukan terlebih dahulu untuk setiap sisi dari puncak *spectrum* yang ingin diidentifikasi. Posisinya adalah sebuah titik dengan *amplitude* $\frac{\alpha_{max}}{\sqrt{2}}$. Kemudian *damping ratio* dapat di estimasi menggunakan formula sebagai berikut:

$$\zeta_r = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2\omega_r} \quad (2.15)$$



Gambar 2.7 Penentuan estimasi Redaman, *Half power bandwidth* (Thomson, 1980)

2.6 Modal Analysis

Modal analysis adalah proses dalam menentukan karakteristik material yang telah ada pada material tersebut dalam bentuk frekuensi natural, faktor *damping*, *mode* getaran dan menggunakannya untuk perhitungan matematis lebih lanjut. *Mode* natural dari struktur tersebut telah ada dalam material dan sepenuhnya ditentukan berdasarkan karakteristik fisiknya (*massa*, kekakuan, *damping*). Masing-masing *mode* juga memiliki natural frekuensinya masing-masing. Prosedur dalam pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan estimasi nilai redaman, bentuk getaran, dan frekuensi naturalnya mengikuti *Modal Analysis*.

Pada dua dekade terakhir modal analisis telah menjadi suatu teknologi untuk menentukan, memperbaiki, dan mengoptimasi karakteristik dinamis dari sebuah struktur teknik. Tidak hanya dikenal pada bidang mekanikal dan aeronautika saja, tetapi *modal analysis* sudah diaplikasikan pada beberapa bidang seperti sipil dan struktur bangunan, masalah biomekanikal, struktur luar angkasa, instrument akustikal, transportasi, dan pembangkit nuklir.

Seiring dengan semakin dibutuhkannya informasi tentang perilaku dinamis dari sebuah struktur teknis, proses desain yang dibutuhkan juga harus berbeda. Komputer *modelling fenite elemen* saat ini telah menyediakan *tools* yang mendukung terjadinya proses analisa dinamis. Tetapi, *modelling* dengan komputer tidak bias menentukan tentang perilaku dinamis material secara keseluruhan. Ini karena ada beberapa karkateristik material yang tidak bias dimasukkan ke dalam program seperti *damping* dan *nonlinearity* material.

Modal analysis dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, diantaranya adalah:

a) *Troubleshooting*

Troubleshooting menggunakan modal analisis secara eksperimen dapat dilakukan pada struktur dinamis yang diteliti. Metode ini populer dalam aplikasi desain sebuah struktur karena kemudahannya. Hasil yang didapatkan tentu saja natural frekuensi, factor *damping*, dan bentuk *mode* getaran

b) Metode validasi

Banyak aplikasi dari struktur dinamis bergantung pada *model* matematisnya yang akurat. *Model-model* tersebut bias dibuat menggunakan *model* elemen hingga (FEM). Tetapi, sesungguhnya sangat tidak masuk akal jika metode FEM ini merepresentasikan struktur sesungguhnya. Ini karena banyak factor yang bias berpengaruh pada material asli dibandingkan dengan kondisi pada *model*. Oleh karena itu sebuah analisa eksperimen dapat digunakan untuk “membenarkan” sebuah FE *model*.

c) Modifikasi structural

Perubahan structural dapat berpengaruh besar terhadap *massa*, kekakuan atau peredaman sebuah struktur dinamis. Penggunaan dari

modal analysis jika dilakukan dalam struktur tersebut akan dapat digunakan dan di manfaatkan sesuai dengan tujuan desain tersebut.

d) Deteksi kerusakan struktur

Pendeteksian kerusakan struktur yang tidak bias dilihat sudah menjadi prioritas dalam bidang industry. Hal ini sudah banyak dilakukan pada bidang penerbangan dan luar angkasa. Sekarang, aplikasi ini banyak dilakukan pada bidang konstruksi sipil, contohnya jembatan. Praktek umum dilakukan dengan menguji sebuah benda saat dalam kondisi sempurna atau awal. Kemudian setelah kerusakan struktur terjadi pengujian kembali dilakukan untuk menunjukkan perubahan data dari modal analisis. (He Jimin, 2001)

2.7 *Experimental Modal Analysis*

Experimental Modal Analysis (EMA) telah menjadi pengujian yang populer sejak pengembangan digital *FFT spectrum analyzer* pada awal 1970. Pengujian benturan (*bump testing*) telah digunakan secara luas dan ekonomis untuk menemukan mode getaran pada mesin atau struktur. EMA merupakan penentuan frekuensi alami, mode getar, dan rasio redaman dari pengukuran vibrasi secara eksperimen.

Pengujian modal analisis secara eksperimen bertujuan untuk mendapatkan data *frequency response function* (FRF) dari sebuah struktur. Metode ini digunakan untuk eksitasi sebuah struktur dengan input gaya tertentu dan diukur baik gaya maupun respon dari struktur tersebut. Sebagai hasilnya, data yang diperoleh dari FRF biasa digunakan lebih lanjut untuk berbagai kepentingan teknis. (He Jimin, 2001)

Pada pengujian laboratorium, ada pengaturan yang lazim di pakai. Biasanya pengujian ini terdiri dari tiga komponen. Seperti *single input* dan *single output*. Pada bagian pertama berfungsi untuk menciptakan gaya ekstiasi dan diaplikasikan pada test struktur. Bagian kedua digunakan untuk mengukur dan mendapatkan data tentang respon. Sedangkan pada bagian ketiga fungsi untuk memproses signal yang dihasilkan bagian satu dan bagian dua untuk menghasilkan data dari pengujian itu sendiri.

Sebagaimana telah disebutkan, bagian pertama berfungsi sebagai mekanisme eksitasi yang digunakan sebagai gaya untuk memberikan *amplitude* dan frekuensi tertentu kepada struktur. Ada beberapa macam jenis peralatan eksitasi yang biasa digunakan dalam percobaan. Yang paling lazim digunakan adalah *shaker* dan *hammer*. Peralatan dengan jenis *hammer*, termasuk dalam jenis eksitasi secara *impact*. Eksitasi jenis ini adalah jenis yang paling mudah digunakan dan di aplikasikan. Peralatan lain yang berpengaruh pada pengujian ini adalah *accelerometer*, berfungsi untuk mengukur percepatan yang terjadi pada material dan *output signal* dalam bentuk voltase. Sinyal inilah yang kemudian ditransfer menuju *analyser*. *Accelerometer* tidak bisa memproses data tentang karakteristik material, semisal *linearity*, hanya dua aspek yang bisa diproses datanya, yaitu *frekuensi* dan *amplitudo*. Jenis *accelerometer* yang paling banyak digunakan adalah *piezoelectric*. (He Jimin, 2001)

2.8 Fourier Transform

Fourier transform sudah menjadi hal yang sangat dasar dalam modal analysis. Banyak peneliti percaya bahwa *Fourier Transform* adalah landasan dari *modal analysis* itu sendiri. Tanpa itu, *modal analysis* hanya akan tetap menjadi konsumsi akademik saja. Salah satu fungsi utama adalah mengubah spectrum hasil pengujian getaran dari *time domain* menjadi frekuensi domain (dan sebaliknya). Data yang didapat merupakan sebuah data yang sama, hanya saja penyajiannya yang berbeda. Berikut adalah formula dari *Fourier Transform*:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2.16)$$

Dimana:

X(f) = fungsi spectrum pada frekuensi domain

X(t) = fungsi spectrum pada *time domain*

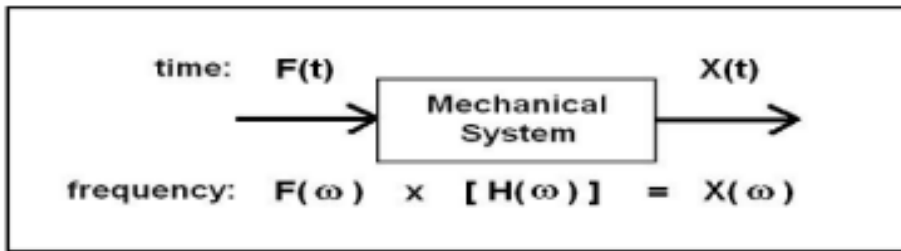
i = $\sqrt{-1}$

ω = frekuensi (Hz)

t = waktu (sec)

2.9 Noise Effect

Dalam semua percobaan, *noise* akan selalu muncul pada proses baik input maupun *output*. Untuk frekuensi yang mendekati resonansi, respon getaran sangatlah signifikan dibandingkan yang lain, sehingga *noise* bisa di abaikan. Tetapi, *noise* sangatlah mengganggu pada frekuensi selain itu. Maka untuk mengukur keakuratan data, perlu dilakukan perhitungan kembali sebagai ukuran dari keandalan data yang telah diambil pada penelitian. Sebuah percobaan dapat disederhanakan menjadi gambar di bawah ini:



Gambar 2.8 *modal testing* secara umum dari FRF (Schwarz, 1999)

Hal ini berhubungan dengan nilai *coherence*. *Coherence* adalah metode pengukuran valid data dari FRF yang menyatakan baik buruknya sebuah pengolahan data tersebut. Skala *coherence* dinyatakan dari 0 hingga 1. Nilai 1 melambangkan bahwa hubungan antara input dan output adalah linier dan merupakan sebuah data yang baik. Sedangkan nilai selain satu mengindikasikan bahwa pengujian telah dipengaruhi oleh *noise*, nilai selain 1 juga bisa diakibatkan oleh kesalahan pengolahan data. Semakin mendekati 0, kualitas data yang diolah bisa dinyatakan semakin buruk. Formula *coherence* ($\gamma_{FX}^2(\omega)$) dinyatakan dengan:

$$\gamma_{FX}^2(\omega) = \frac{|S_{FX}(\omega)|^2}{S_{FF}(\omega)S_{XX}(\omega)} \quad (2.17)$$

Dimana:

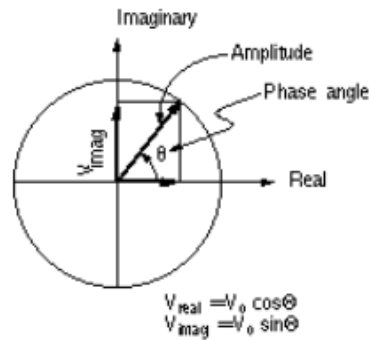
$S_{FX}(\omega)$ = spektrum daya silang dari sinyal masukan dan keluaran

$S_{FF}(\omega)$ = spektrum daya diri dari sinyal masukan f (t)

$S_{XX}(\omega)$ = spektrum daya diri sinyal keluaran x (t)

2.10 Sudut Fase

Sudut fase adalah derajat dimana sebuah gelombang terjadi. Hal ini menjadi penting diperhatikan dalam eksperimen modal analysis, karena salah satu fungsi sudut fase adalah mengetahui kekakuan keseluruhan struktur. Jika sudut fase bernilai positif (+) maupun negative (-) pada frekuensi natural antara material uji dan dudukan maka dapat diasumsikan bahwa dudukan sudah memiliki nilai kekakuannya, ini berarti antara material dan dudukan bergetar pada arah yang sama. Jika nilai antara keduanya berbeda, perlu dilakukan pengecekan ulang tentang proses setting dudukan maupun material uji. Ilustrasi sederhana dari sudut fase seperti Gambar 2.9



Gambar 2.9 Ilustrasi sudut fase
(<http://www.ansys.stuba.sk>)

Pada saat spectrum gelombang pada frequency domain mencapai amplitude (disimbolkan dengan V pada gambar diatas) garis V diatas di ubah menjadi vector yang mewakilinya pada garis x (V_{real}) dan y ($V_{imaginary}$). Kemudian teori trigonometri sederhana diaplikasikan untuk mengetahui sudut fase spectrum pada amplitudonya.

Jika :

$$V_{real} = V \cos \emptyset$$

$$V_{imaginary} = V \sin \emptyset$$

Maka, \emptyset (sudut fase) dapat dicari dengan formula:

$$\emptyset = \tan^{-1}(V_{imaginary}/V_{real}) \quad (2.28)$$

2.11 Referensi Penelitian *Modal Analysis* pada Material *Sandwich Panel*

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menjadi referensi dalam penelitian kali ini. *Kumar Jha, (2007)* melakukan penelitian tentang material *sandwich* yang diuji menggunakan teori *modal analysis*. Pada penelitian itu, *faceplate* yang digunakan adalah aluminium dengan *core* juga berbahan aluminium namun berbentuk konstruksi *honeycomb*. Penelitian dilakukan dengan variasi kondisi jepit dari material dan dilakukan dengan tiga metode, *experimental*, *analytical*, dan *software analysis*. Dengan maksimal *error* yang di dapat dari penelitian tersebut adalah 9%.

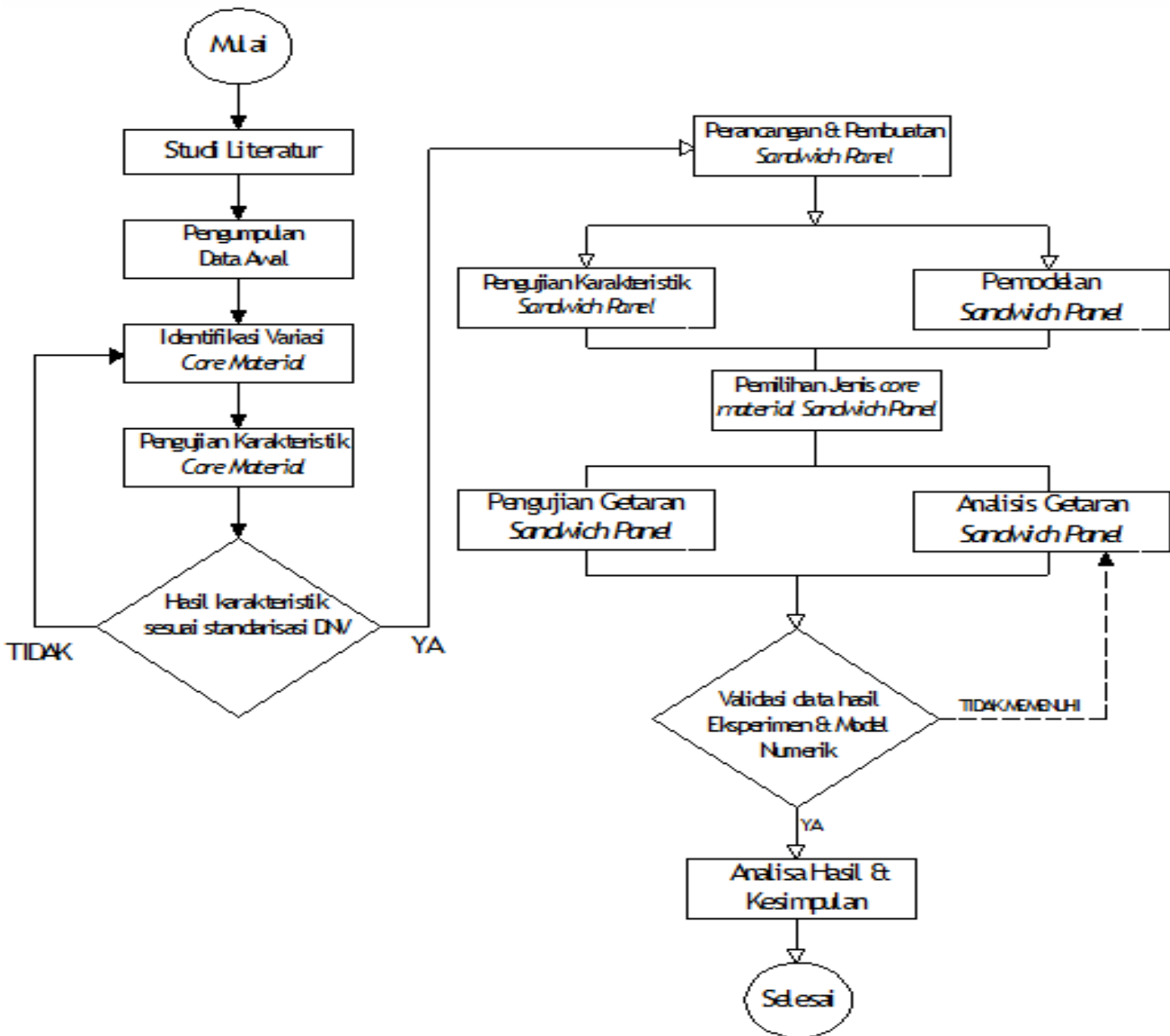
Jovanovic, (2012) dan *Waily, (2013)* melakukan eksperimen mengenai pendeteksian kerusakan pada material menggunakan metode *modal analysis*. Pada penelitian tersebut, ditemukan tren yang sama. Yaitu semakin besar cacat yang terdapat pada sebuah material, frekuensi natural yang dimiliki benda tersebut akan semakin turun. Lebih lanjut *Waily, (2013)* melakukan verifikasi menggunakan *software ANSYS*, dan didapatkan hasil *error* yang tidak terlampaui jauh dengan hasil penelitian eksperimen.

Winahyu, (2017) melakukan penelitian berikatan dengan getaran pada material *Sandwich Panel* dengan kerusakan tunggal pada material intinya. Nilai verifikasi keseluruhan percobaan yaitu perbedaan hasil percobaan baik melalui eksperimen maupun analisa model. Disini, hasil eksperimen menjadi patokan pada proses verifikasi. Ini dikarenakan pada eksperimen merupakan representasi keadaan sebenarnya. Nilai perbedaan maksimal yang terdapat pada keseluruhan percobaan adalah 7.37%. beda ini didapat pada percobaan *sandwich* cacat penuh pada material 6-30-6. Rata-rata perbedaan hasil penelitian ini secara keseluruhan hanya 1.52%.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan penelitian

Sebagai landasan operasional pelaksanaan eksperimen dalam penelitian ini disusun kerangka penelitian secara skematis diuraikan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan alir rencana penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan alur penelitian yang dilakukan, diawali dengan melakukan studi pendahuluan dan studi literatur dari penerapan material *sandwich panel* pada konstruksi kapal. Studi pendahuluan dilakukan dengan melakukan percobaan pembuatan *sandwich panel* menggunakan bahan sederhana yaitu material multiplex untuk lapisan *faceplate* dan *core material* merupakan *polyurethane foam*. Tujuan studi pendahuluan adalah untuk mengetahui pola dan alternatif teknis yang lain dalam proses pembuatan *sandwich panel* selanjutnya.

3.2 Studi Literatur

Dalam tahap ini, penulis mencari sebanyak-banyaknya sumber informasi yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Baik melalui *paper*, jurnal, penelitian sebelumnya, pendapat para ahli, internet dan lain-lain.

3.3 Pengumpulan Data Awal

Pada tahap ini, penulis mengumpulkan data awal yang dibutuhkan dalam pembuatan *model* dan spesimen berdasarkan penelitian yang telah dilakukan. Hal-hal yang menjadi bahan acuan peneliti dalam penelitian ini mengacu pada hasil penelitian sebelumnya oleh *Utomo* (2016) dan *Winahyu* (2017). Beberapa hal yang diambil sebagai data awal penelitian adalah:

- a) Karakteristik material *Sandwich panel*
- b) Aplikasi material *Sandwich Panel* pada kapal
- c) Frekuensi natural pengujian getaran *Sandwich Panel*

Berdasarkan hal tersebut, pemilihan jenis kapal dalam penerapan *sandwich panel* ini menggunakan jenis kapal penumpang, dengan ukuran panjang kapal (LOA) tidak lebih dari 60 meter. Jenis kapal penumpang adalah Roro-750 GT yang merupakan kapal penyeberangan lintas paciran / Lamongan – Bawean. Sistem konstruksi dari kapal ini adalah konstruksi melintang, yang dibangun oleh PT. Adiluhung Sarana Segara Indonesia dengan klasifikasi kapal menggunakan Biro Klasifikasi Indonesia. Kapal tersebut akan digantikan struktur pelat datarnya dari kondisi konvensional menggunakan pelat baja menjadi material *sandwich panel*. Adapun ukuran utama dari kapal tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Ukuran utama kapal Roro – 750 GT

Keterangan	Ukuran
Type	Roro – 750 GT
Length Over All, (LOA)	56,02 meter
Length Water Line, (LWL)	50,80 meter
Length Between Perpendicular, (LPP)	48,82 meter
Length Construction, (L)	48,82 meter
Breadth, (B)	14,00 meter
Height, (H)	10,85 meter
Draught, (T)	2,70 meter
Design Sea Speed, (Vs)	12 knot
Crew	22 persons
Passenger	196 persons
Load vechile	15 Truck (8T) + 18 City Car
Mean Engine	2 x 1.100 HP

Sumber : *General arrangement* dokumen PT. Adiluhung Sarana Segara

Tabel 3.1 menunjukkan bahwa nilai panjang kapal yang digunakan dalam perancangan ketebalan *sandwich panel* adalah panjang konstruksi kapal. Panjang konstruksi kapal ditentukan berdasarkan standarisasi BKI (2006) yang menyatakan panjang konstruksi kapal diambil tidak kurang dari 96% panjang garis air (LWL) dan tidak lebih besar dari 97% panjang garis air.

Aplikasi material *Sandwich Panel* pada kapal ferry Ro-Ro dengan lokasi pemasangan pada *car deck* menggunakan material *sandwich panel* dengan menggunakan komposisi material inti *syntethicresi B* (50% *Resin*, 50% *talca*) yang telah dilakukan oleh Utomo (2016), dimensional pelat yang dihitung adalah pada ukuran 6 m x 3,5 m dengan ketebalan (6-20-6). Dimensional tersebut merupakan asumsi perubahan jarak antar penumpu dan penegar pada konstruksi kapal.

Pengumpulan data awal pada penelitian yang berkaitan dengan frekuensi natural pada material *Sandwich Panel* yang telah dilakukan oleh Winahyu (2017), dimana frekuensi natural didapat dari hasil pengujian getaran. Hasil pengujian getaran berupa frekuensi natural pada *sandwich panel* utuh dengan *sandwich panel* dengan cacat penuh. Keseluruhan pengujian menunjukkan penurunan frekuensi natural. Rata-rata pada *mode 1* menunjukkan pengurangan 84 Hz, serta pada *mode 2* menunjukkan pengurangan 264 Hz. Ini terjadi akibat penurunan kekakuan yang

terjadi pada material sandwich panel akibat adanya cacat yang ada pada inti material *sandwich panel*.

3.4 Identifikasi variasi *core material*

Pada tahap ini merupakan tahap untuk identifikasi variasi komposisi material inti (*core*) dilakukan untuk mendapatkan komposisi terbaik untuk material inti yang digunakan dan mendapatkan karakteristik material yang lebih baik pada material *Sandwich Panel*.

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah Resin 157 dan talac serta katalis sebagai bahan pengering . Resin 157 merupakan bahan perekat yang mudah dibentuk sesuai dengan bentuk cetakan, resin jenis ini merupakan jenis resin yang tahan terhadap air sehingga sering digunakan sebagai pembuatan kapal *fiberglass*. Sedangkan talac adalah bahan pengisi, pembuat kaku, dan pengental Resin, material inti pada *syntheticresin* yang digunakan memerlukan kekakuan sehingga menggunakan talac sebagai bahan pembuat kaku pada resin. Selain itu penggunaan talac sebagai pengental dan pengisi dari resin sehingga resin tidak terjadi tetesan pada cetakan dan adonan resin menjadi lebih padat. Pada Tabel 3.2 menunjukkan variasi komposisi penggunaan Resin dengan talac.

Tabel 3.2 Prosentase Variasi Komposisi *core material*

Jenis <i>core material</i>	Resin 157	Talac
Core Material A	90 %	10 %
Core Material B	80 %	20 %
Core Material C	70 %	30 %
Core Material D	60 %	40 %

Variasi komposisi antara Resin dengan talac pada penelitian ini untuk *core material A* menggunakan 90% Resin dan 10% talac, sama halnya dengan *core material D* dimana menggunakan 60% Resin dan 10% talac, sedangkan untuk catalist adalah 0,3% dari volume Resin.

3.4.1 Pengujian densitas *core material*

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui nilai densitas dari *core material* yang akan digunakan. DNV (2012) menetapkan standarisasi densitas untuk penggunaan jenis *core material* adalah $\geq 1.000 \text{ kg/m}^3$ sebagai syarat dari class untuk digunakan sebagai sistem konstruksi di kapal. Pengujian densitas dilakukan pada seluruh jenis komposisi *core material*. Gambar 3.2 menunjukkan pengujian densitas pada *core material* sebelum dilakukan pembentukan spesimen uji tarik.



Gambar 3.2 Pengujian densitas *core material*

Gambar 3.2 menunjukkan proses pengujian densitas *core material* dalam bentuk *solid*, dimana berat material inti dilakukan sebelum dilakukan pembentukan spesimen pengujian tarik untuk semua jenis variasi *core material*.

3.4.2 Pengujian kekuatan tarik *core material*

Pengujian kekuatan tarik *core material* selain bertujuan untuk kesesuaian nilai kekuatan yang telah distandarisasikan, juga diperlukan untuk mengetahui nilai kekuatan dari setiap jenis *core material*.

Pengujian tarik dipilih karena akan menghasilkan nilai batas kekuatan material sampai dengan bentuk kegagalan material. Pengujian kekuatan tarik pada penelitian ini dilakukan pada alat uji tarik UTM (*Universal Testing Machine*)

dengan kapasitas maksimum beban mencapai 100 Ton. Gambar 3.3 berikut ini menunjukkan proses pengujian tarik dari pada *core material*.



Gambar 3.3 Pengujian tarik *core material*

Gambar 3.3 menunjukkan pengujian tarik *core material* bentuk *solid* dengan menggunakan alat uji UTM. Pemilihan *core material* ditentukan berdasarkan nilai kekuatan tarik material yang diikuti dengan pengamatan fisik mengenai bentuk kegagalan dari setiap jenis *core material*, dengan nilai kekuatan material tidak kurang dari kriteria nilai yang ditetapkan oleh DNV 2012.

3.4.3 Pengujian kekuatan geser *core material*

Pengujian kekuatan geser material inti (*core material*) bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan geser antara *face plate* dengan *core material* sesuai dengan standarisasi pengujian ASTM C 273, pengujian kekuatan geser pada material inti *Sandwich Panel* dilakukan dengan menggunakan alat uji kekuatan tarik, tetapi diperlukan peralatan tambahan yang berfungsi sebagai dudukan dan pengikat spesimen uji. Gambar 3.4 menunjukkan spesimen uji untuk kekuatan geser material inti dan pengikat spesimen uji.

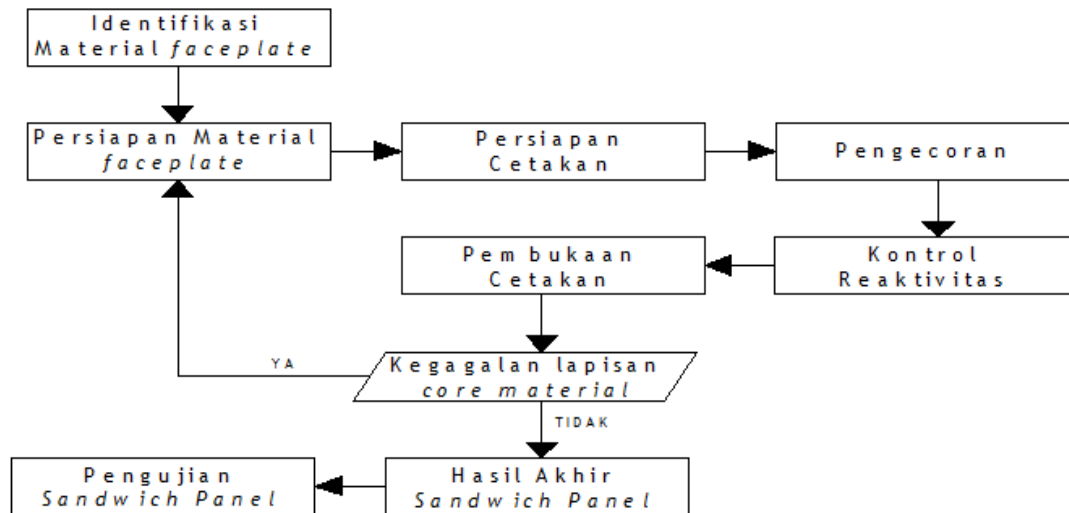


Gambar 3.4 Pengujian kekuatan geser *core material*

Pada Gambar 3.4 (a) merupakan alat untuk mengikat spesimen uji dengan mesin pengujian agar posisi spesimen berada pada satu garis lurus satu sama lainnya. Selanjutnya pada Gambar 3.4 (b) merupakan proses pengujian kekuatan geser *core material* pada alat uji tarik UTM yang telah dikaitkan dengan pengikat tambahan. Sedangkan pada Gambar 3.4 (c) merupakan hasil dari pengujian geser pada spesimen uji. Berdasarkan hasil pengujian geser yang dilakukan pada material inti *Sandwich Panel*, maka akan didapatkan nilai tegangan geser, Modulus geser dan *poison ratio* pada masing-masing variasi *core material*.

3.5 Metode Pembuatan *Sandwich Panel*

Sebagai landasan untuk mudah dipahami berikut ini ditunjukkan skema metode pembuatan *sandwich panel* yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 sebagai berikut.



Gambar 3.5 Skema metode pembuatan *sandwich panel*

Gambar 3.5 menunjukkan skema langkah dalam pembuatan *sandwich panel*, yang dimulai dari identifikasi jenis material *faceplate* yang digunakan, dilanjutkan dengan kalkulasi ketebalan setiap lapisan yang akan dibuat sesuai dengan kapal yang menjadi objek dalam penelitian dan dilanjutkan pada proses pekerjaan fisik pembuatan *sandwich panel* sampai dengan persiapan spesimen dalam metode eksperimen. Berikut ini dijelaskan tahapan pekerjaan yang dilakukan dalam pembuatan *sandwich panel*.

3.5.1 Identifikasi material *faceplate*

Identifikasi material *faceplate* dilakukan untuk mengetahui jenis material baja yang digunakan, dengan mengetahui jenis baja yang digunakan maka akan dapat diketahui nilai faktor material baja berdasarkan tingkat kekuatannya (f_t) yang merupakan suatu koefisien yang digunakan dalam perancangan *sandwich panel*. Tegangan luluh adalah 292,74 Mpa sehingga seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 pada bab sebelumnya. Berdasarkan nilai tegangan luluh yang terjadi, maka

material *faceplate* yang digunakan memiliki nilai faktor material antara 1 – 1,08 dan masuk dalam jenis baja NV-NS dan NV-27.

3.5.2 Persiapan material *faceplate*

Material *faceplate* yang sebelumnya telah diidentifikasi, selanjutnya disiapkan untuk dipasang pada cetakan sebagai material dari *sandwich panel*. Sebelum material *faceplate* dipasang terlebih dahulu *faceplate* dipotong menyesuaikan dimensional spesimen uji. Setelah pemotongan *faceplate*, selanjutnya dilakukan pengkasaran permukaan *faceplate* dengan *wire brush* hingga permukaan menjadi lebih kasar dari sebelumnya. Tujuan dari pengkasaran permukaan ini adalah untuk menghasilkan ikatan antara lapisan *core material* dengan *faceplate* tanpa adanya penggunaan bahan perekat.



Gambar 3.6 Proses persiapan *faceplate* sebelum penyetalan

Pada Gambar 3.6 menunjukkan proses persiapan *faceplate* sebelum disatukan pada cetakan, dimana dalam gambar tersebut menunjukkan proses pengkasaran permukaan, hingga pembersihan permukaan *faceplate* yang dilakukan secara manual, selanjutnya pekerjaan dilanjutkan pada penyetalan *faceplate* di dalam cetakan *sandwich panel*.

3.5.3 Persiapan Cetak Sandwich Panel, Pengecoran, dan Kontrol Reaktivitas

Pembuatan material *sandwich panel* diperlukan persiapan dalam hal bahan baku dan cetakan yang akan membentuk material *sandwich panel*. Bahan baku yang

dipersiapkan pada tahap ini adalah Resin 157, talac, catalyst, pewarna, dan beberapa peralatan pendukung lainnya, sedangkan untuk membuat cetakan sebagai keperluan pembuatan spesimen pengujian, maka metode yang digunakan adalah pengecoran pada lapisan material inti diantara kedua material baja sebagai *faceplate*.

Dalam hal keperluan pembuatan spesimen pengujian *sandwich panel*, diperlukan cetakan dasar yang sesuai dengan ukuran dimensional dari spesimen pengujian yang akan dibuat. Gambar 3.7 menunjukkan bahan baku dan cetakan yang digunakan pada tahap persiapan pembuatan material *sandwich panel* berikut ini.



Gambar 3.7 Persiapan pembuatan *Sandwich Panel*, (a) Bahan baku, (b) cetakan *sandwich panel*

Cetakan *sandwich panel* yang telah selesai kemudian dipersiapkan untuk digunakan dalam pekerjaan pembuatan *sandwich panel*. Pada tahap selanjutnya dilakukan pembuatan *core material* dengan bahan baku yang telah disiapkan pada tahap sebelumnya. Langkah pertama adalah menghitung volume spesimen uji yang akan dicetak, kemudian menentukan volume dan berat Resin, talac, dan katalis untuk proses pencampuran. Setelah itu bahan baku yang telah tercampur dituang pada cetakan yang telah disiapkan sebelumnya. Gambar 3.8 menunjukkan proses pembuatan *core material* dengan variasi komposisi Resin 60% dengan talac 40% dan proses pengecoran *core material* pada cetakan.



Gambar 3.8 Proses pembuatan *core material*, (a) Timbang berat Resin, (b) *mixer* bahan baku *core material*, (c) Pengecoran *core material* pada cetakan

Pemasangan *faceplate* pada cetakan *sandwich panel*. Pemasangan dilakukan secara bergantian antara setiap bagian *faceplate*. *Faceplate* yang telah dibersihkan kemudian dipasang pada posisi sponeng (takikan bentuk pada balok bingkai cetakan) yang sebelumnya telah diberi *Glezing asetic silicone* yang berfungsi untuk menutup bagian celah pertemuan antara *faceplate* dengan sponeng cetakan. Kemudian pada seluruh bagian sisi *faceplate* kembali diisi dengan *Glezing asetic silicone* dengan tujuan menghindari kebocoran pada saat proses pengecoran dilakukan.

3.5.4 Pembukaan cetakan

Proses pembukaan cetakan *sandwich panel* dilakukan secara bertahap. Tahap pertama yang dilakukan adalah membuka balok gapit yang menahan bagian permukaan *faceplate*, dilanjutkan pada tahap kedua, yaitu melakukan pemisahan *Glezing astatic silicone* dari cetakan. Tahap ketiga yaitu melakukan pemisahan pada bingkai utama cetakan antara bingkai bawah dan kedua bingkai sisi, pemisahan dilakukan secara perlahan untuk menghindari kerusakan pada *sandwich panel*.

Setelah proses pembukaan selesai, cetakan *sandwich panel* harus dibersihkan dari sisa *Glezing astatic silicone* yang menempel dan kemudian dirangkai kembali menjadi satu kesatuan untuk melakukan pencetakan pada *sandwich panel* yang lainnya.

3.6 Metode Identifikasi sandwich panel.

Identifikasi *sandwich panel* selain dilakukan untuk mengetahui perubahan karakteristik material penyusun dari adanya penggabungan komponen material, juga dilakukan untuk mengetahui seberapa besar batas nilai tegangan yang akan menghasilkan kegagalan pada material *sandwich panel*. Beberapa pengujian dilakukan, seperti pengujian densitas, pengujian tarik material dan pengujian lentur.

3.6.1 Pengujian densitas *sandwich panel*

Pengujian densitas dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai berat volume dari material *sandwich panel* yang terdiri dari lapisan *faceplate* dan *core material*. Standarisasi pengujian mengacu pada pengujian densitas ISO 845. Nilai berat volume yang dihasilkan nantinya akan menjadi faktor pengali untuk mendapatkan nilai berat dari pengaplikasian material *sandwich panel* pada konstruksi kapal. Gambar 3.9 menunjukkan material *sandwich panel* dilakukan pengujian densitas dengan menimbang berat dari material tersebut.



Gambar 3.9 Pengujian densitas material *sandwich panel*

3.6.2 Pengujian lentur sandwich panel.

Pengujian lentur dilakukan sebagai perwakilan kondisi pembebanan yang terjadi pada struktur pelat datar pada konstruksi kapal. Standarisasi pengujian menggunakan ASTM C 393 yang merupakan standarisasi pengujian lentur untuk bentuk material *sandwich*. Gambar 3.10 merupakan proses pengujian lentur pada material *sandwich panel*.

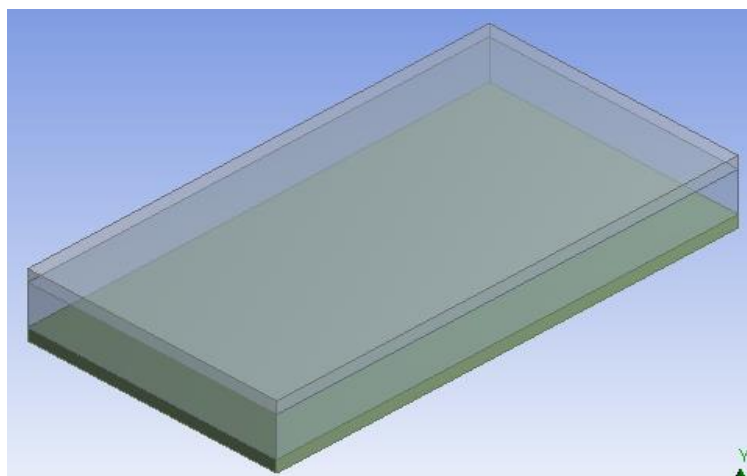


Gambar 3.10 Pengujian lentur pada material *sandwich panel*

Pada Gambar 3.9 alat pengujian yang digunakan adalah mesin uji tarik yang diberikan tambahan dudukan untuk dapat dilaksanakan pengujian lentur pada material *sandwich panel*. Pengujian lentur dilakukan pada beberapa spesimen dari setiap hasil variasi komposisi material inti dari *sandwich panel* yang telah dikalkulasikan sebelumnya. Hasil dari pengujian ini adalah pola bentuk grafik hubungan antara tegangan lentur yang dihasilkan dengan *deflection* yang terjadi pada spesimen. Nilai tegangan lentur (σ_t) dan defleksi (Δ) yang dihasilkan menjadi dasar penentuan batas tegangan dan lendutan dari pengaplikasian *sandwich panel* pada konstruksi kapal.

3.7 Pemodelan Sandwich Panel

Pemodelan *sandwich panel* pada penelitian ini menggunakan *finite element modelling*. Model *sandwich panel* ini kemudian akan dilakukan proses analisa struktur dan *modal analysis* untuk mengetahui tegangan maksimum yang terjadi pada material *Sandwich panel* untuk setiap masing-masing komposisi dan untuk mengetahui karakteristik dinamika material tersebut dari proses *modal analysis*. Gambar 3.11 merupakan model *Sandwich Panel* dengan menggunakan FEM.



Gambar 3.11 Model *Sandwich panel*

Model yang dibuat memiliki panjang 100 mm x 200 mm. Skala 1:2 ini diambil berdasarkan perkiraan skala pemasangan di kapal sebenarnya. Berdasarkan jarak konstruksi antar *girder* dengan mengurangi keberadaan *stiffner* Karakteristik material yang digunakan pada *face plate* adalah *structural steel plate* / baja dan

karakteristik *corenya* adalah *syntheticresin* dengan masing-masing nilai propertis dari setiap komposisi.

3.8 Pemilihan jenis *core material Sandwich Panel*

Pada tahap ini dilakukan pemilihan jenis material inti pada *sandwich panel* dengan kriteria berdasarkan kekuatan tegangan tarik *core material*, kekuatan pembebanan dari model *sandwich panel*, dan harga dari pembuatan spesimen pengujian.

3.9 Pengujian Getaran

3.9.1 Persiapan Pengujian

Tahap persiapan yang dilakukan untuk pengujian getaran adalah dengan menambahkan peralatan pendukung untuk memberikan kondisi spesimen uji dapat dikondisikan seperti pada kondisi dilapangan yaitu pelat yang dilas (jepit) pada keempat sisinya, dimana struktur yang ditambahkan tidak merubah hasil dari pengujian. Dengan kondisi laboratorium pengujian yang ada, maka dibuat dudukan untuk spesimen uji yang terbuat dari baja dengan tebal 10 – 25 mm.

Dudukan ditempatkan pada mesin *fraise* yang diikat dengan baut M16 sebanyak 6 buah. Pada bagian tengah dudukan dibuat lubang yang berfungsi sebagai lokasi untuk membuat cacat atau retak pada *core* dengan menggunakan mesin bor tangan. Perlu menjadi perhatian adalah pengencangan baut dapat merubah proses identifikasi hasil pengujian. Gambar 3.12 menggambarkan dudukan yang digunakan dalam pengujian getaran material *Sandwich Panel*.



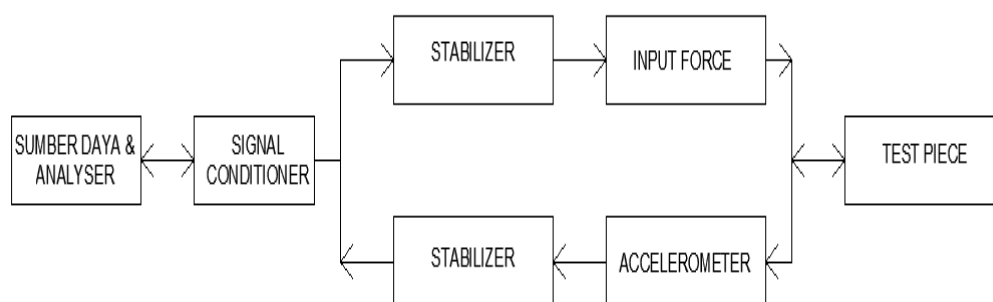
Gambar 3.12 Dudukan untuk pengujian getaran

3.9.2 Pengujian Getaran Panel Sandwich

Proses untuk melakukan pengujian getaran diawali dengan pengaturan peralatan yang akan digunakan untuk identifikasi hasil pengujian getaran. Peralatan yang digunakan antara lain.

- Sumber daya : Laptop *Asus X550D*
- *Analyser* : *Software PicoScope 6 ver 6.11.12.1692*
- *Hammer* : *Omega IH 101-1K*

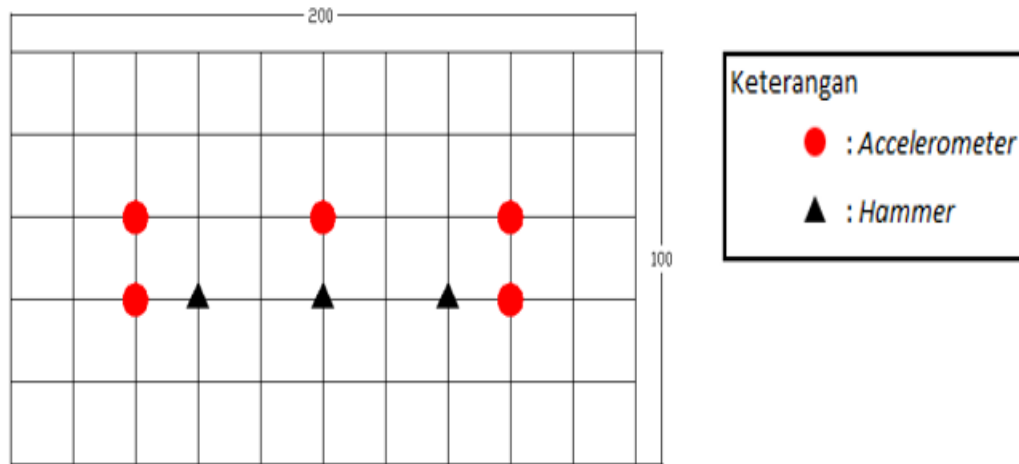
Pengujian ini menggunakan *Experiment Modal Analysis* dengan metode *impact input* dan *piezoelectric accelerometer*. Gambar 3.13 menggambarkan bagan alur pengujian untuk mendapatkan karakteristik dinamis dari material *sandwich panel*.



Gambar 3.13 Set up penelitian yang digunakan dalam pengujian

Pengujian getaran *Panel* ini adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik dinamis dari material *Sandwich Panel* itu sendiri. Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data untuk setiap posisi *hammer* sebanyak 12

kali. Gambar 3.14 adalah ilustrasi pengambilan data dari pengujian getaran material *sandwich panel*.

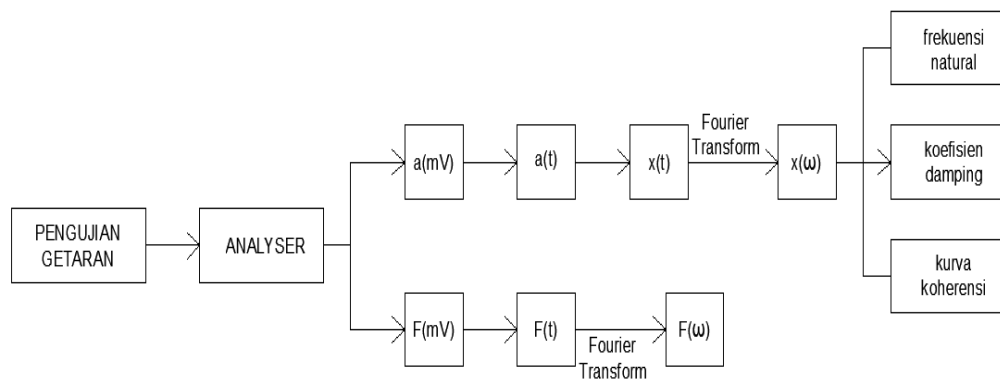


Gambar 3.14 Ilustrasi pengambilan data

Pada gambar 3.13 adalah ilustrasi pengambilan data pada pengujian getaran ini. Pertama-tama, panel di beri garis dengan jarak 20 mm membentuk kotak-kotak seperti diatas. segitiga hitam menunjukkan posisi eksitasi *hammer* pada panel sedangkan titik-titik merah menunjukkan posisi *accelerometer*. Posisi pengambilan data diatas diambil sebanyak mungkin agar *mode* getaran yang terjadi pada panel dapat terambil datanya pada pengujian ini.

3.9.3 Proses Pengolahan Data Uji Getaran

Data yang didapat dari pengujian tidak bisa langsung digunakan sebagai bahan analisa. Data harus diolah terlebih dahulu menggunakan teori-teori dan formula yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya. Pada penelitian kali ini penulis mengolah data dengan bantuan *software* matematis. Adapun bagan dari pengolahan data hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Bagan pengolahan data.

Gambar 3.15 menggambarkan bagan dalam proses pengolahan data yang didapat dari pengujian getaran akan terekam pada *analyser*. Tahap peratama, data yang terekam pada *analyser* berupa dimensi signal listrik, untuk merubah terhadap dimensi yang lebih familiar maka perlu dilakukan konversi. Konversi pada tahap ini diapat melalui data sensitifitas dari *accelerometer* dan *hammer* yang digunakan dalam penelitian. Adapun data sensitifitasnya adalah

- *Accelerometer sensitivity* : $\frac{10,32}{9,8} mV / mS^2$
- *Hammer sensitivity* : $1,14877737 mV / N$

Kemudian untuk mempermudah analisa hasil, percepatan sebagai *output* pada *accelerometer* dikonversi menjadi *displacement* atau perubahan menggunakan formula (3.1) berikut ini.

$$x = \frac{a}{2\pi^2 f^2} \quad (3.1)$$

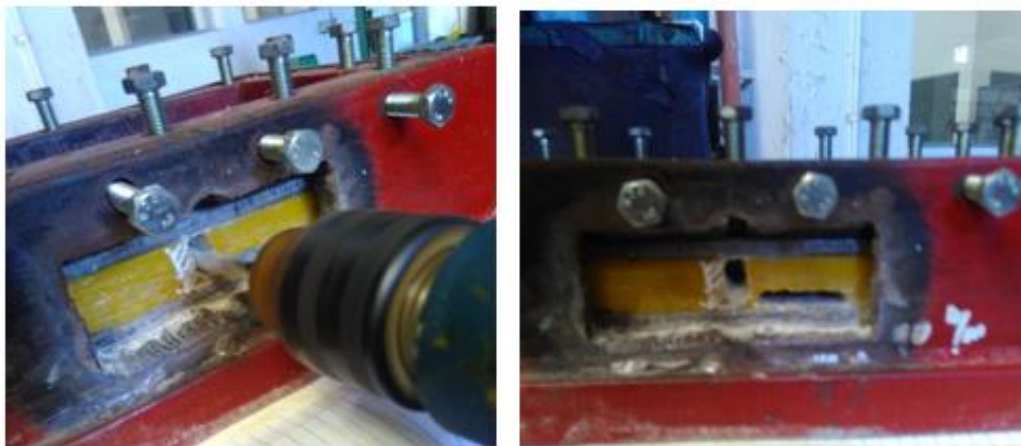
Formula *Fourier Transform* digunakan pada data, sesuai dengan persamaan (2.16), *force* yang digunakan harus memenuhi hingga frekuensi yang akan diidentifikasi, apabila tidak memenuhi dilakukan pengujian ulang. Kemudian *spectrum displacement* berdasarkan *frekuensi domain* dapat diidentifikasi dan dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan karakteristik dinamis dari material tersebut sesuai dengan formula (2.14) hingga (2.17)

Proses identifikasi frekuensi natural dilakukan setelah data dari frekuensi domain telah diketahui. Menggunakan grafik transfer function sebagai proses awal identifikasi karena merupakan perbandingan dari output dan input. Perlu diperhatikan juga adalah nilai koherensi dari hasil pengujian tersebut. Selanjutnya dapat diidentifikasi peak yang merupakan frekuensi natural berdasarkan perkiraan estimasi dari proses analisa pemodelan.

Jumlah peak yang terdapat pada pengujian terkadang banyak dan sulit dibedakan, maka dilakukan proses verifikasi peak menggunakan sudut fase. *He Jimin* (2001), pada bukunya menyatakan bahwa secara teori, sudut fase pada sebuah mode getaran akan berubah sebanyak -180° . Ini menandakan perubahan drastis dari positif ke negative atau sebaliknya. Jika peak yang diestimasi menunjukkan perubahan sudut fase seperti diatas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa peak pada frekuensi tersebut merupakan frekuensi natural dari sandwich panel.

3.10 Pembuatan Cacat pada *Core*

Pada tahap ini dilakukan pembuatan cacat (*crack*) pada bagian *core* dengan bentuk sesuai dengan kerusakan yang terjadi pada saat dilakukan pengujian lentur yaitu dengan kerusakan pada *core* berbentuk melintang sepanjang 40 mm dan dilanjutkan dengan kerusakan berbentuk vertikal setinggi tebal dari *core* yaitu 20 mm. masing-masing cacat yang dibuat memiliki kedalaman 35 mm. Gambar 3.16 menggambarkan proses pembuatan cacat pada *core* dari material *sandwich panel*.



Gambar 3.16 Proses membuat cacat pada *core Sandwich panel*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Hasil Identifikasi Komposisi *Core Material Syntheticresin*

Core material yang digunakan merupakan material yang telah umum digunakan dalam industri perkapalan, namun tidak untuk mendukung kekuatan kapal melainkan untuk hal yang lain, seperti insulasi panas, insulasi suara dan bahan perekat. Perbedaan komposisi yang digunakan untuk material inti pada *Sandwich Panel* adalah *syntheticresin*, dimana pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya telah menjelaskan bahwa penggunaan *syntheticresin* sebagai material inti dapat diaplikasikan pada kapal sebagai pengganti pelat baja. Pada Tabel 4.1 menunjukkan kriteria material yang telah diberikan oleh *class* yaitu LR dan DNV 2012.

Tabel 4.1 Kriteria Material class LR dan DNV 2012

Jenis Hasil	Kriteria Class	
	DNV	LR
Tensile Strength	> 5 Mpa at +80°C	≥ 20 Mpa at RT
Tensile Modulus	> 200 Mpa at +80°C	≥ 5 Mpa at RT
Elongation at Break	Min. 10% - 20% at 20°C	Min. 10% - 20% at RT
Shear Modulus	Min. 120 Mpa at +80°C	Min. 120 Mpa
Density	> 1000 kg/m ³	≥ 1000 kg/m ³ at RT

Berdasarkan kriteria yang harus dipenuhi oleh material *Sandwich Panel* sesuai dengan LR dan DNV diantaranya untuk nilai berat volume harus diatas 1000 kg/m³, sedangkan untuk nilai kekuatan tarik dan modulus geser masing-masing adalah lebih dari 20 Mpa dan 120 Mpa. Berikut ini diberikan hasil analisa investigasi dari setiap komposisi material inti yang digunakan untuk *Sandwich Panel*.

4.1.1 Identifikasi Komposisi *Core Material*

Penentuan komposisi material inti yang digunakan seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya dengan variasi campuran pada material talac untuk mendapatkan komposisi terbaik yang akan digunakan pada struktur kapal Ferry Ro-Ro 750 GT. Pada penelitian sebelumnya perbandingan campuran antara Resin dengan talac adalah 50:50 pada fraksi berat keseluruhan *syntheticresin*, berdasarkan data tersebut, maka penelitian ini menggunakan variasi perbandingan campuran Resin dengan talac dibawah nilai yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya yaitu 10% - 40% perbandingan berat antara resin dan talac. Harapan dari pemilihan variasi komposisi ini adalah dengan pengurangan talac yang diberikan pada material inti akan diperoleh nilai kekuatan tegangan lentur yang lebih kecil. Kemudian, hal ini dilakukan untuk memperoleh material inti yang lebih baik dari segi kekuatan untuk diaplikasikan pada konstruksi kapal khususnya untuk konstruksi geladak kendaraan.

Sebelum menentukan perbandingan yang akan digunakan pada *core material Syntheticresin*, perlu diketahui fungsi dari masing-masing bahan utama yang digunakan pada *synthrticresin*. Resin 157 merupakan bahan perekat yang mudah dibentuk sesuai dengan bentuk cetakan, resin jenis ini merupakan jenis resin yang tahan terhadap air sehingga sering digunakan sebagai pembuatan kapal *fiberglass*. Sedangkan talac adalah bahan pengisi, pembuat kaku, dan pengental Resin, material inti pada *syntheticresin* yang digunakan memerlukan kekakuan sehingga menggunakan talac sebagai bahan pembuat kaku pada resin. Selain itu penggunaan talac sebagai pengental dan pengisi dari resin sehingga resin tidak terjadi tetesan pada cetakan dan adonan resin menjadi lebih padat. Bahan selanjutnya adalah katalis yang berfungsi sebagai bahan untuk mempercepat pengeringan pada resin. Pada tabel 4.2 menunjukkan perbandingan komposisi antara Resin 157, Talac dan katalis dengan cetakan untuk spesimen uji tarik pada *core material*.

Tabel 4.2 Komposisi core material Synthrticresin

Jenis <i>Core Material</i>	Volume (cm ³)	Berat Resin (gram)	Komposisi		
			Resin (gram)	Talc (gram)	Catalist (ml)
Synteticresin					
Core Material A	3,650	3,900	3,499	390	11
Core Material B	3,650	3,900	3,109	780	11
Core Material C	3,650	3,900	2,719	1,170	11
Core Material D	3,650	3,900	2,329	1,560	11

Perbandingan variasi komposisi *syntheticresin* yang ditunjukkan pada tabel 4.2 bahwa *core material A* memiliki komposisi 90% Resin dan 10% talac, sedangkan pada *core material D* memiliki komposisi 60% Resin dan 40% talac. Dapat disimpulkan bahwa perbedaan komposisi talac yang digunakan dapat menyebabkan kekakuan pada *syntheticresin*, sehingga semakin banyak jumlah talac yang digunakan pada campuran Resin membuat *core material* tersebut menjadi lebih kaku. Apabila dibandingkan dengan material inti yang tidak menggunakan talac memiliki kelenturan yang lebih tinggi.

4.1.2 Identifikasi Densitas *Core Material*

Berdasarkan penentuan komposisi material inti yang akan digunakan sebagai *core* dari material *Sandwich Panel*, maka 4 jenis komposisi *core material* diidentifikasi karakteristik nilai berat volume yang dihasilkan, sebagai pembanding material inti dengan jenis *Syntheticresin B*. Kembali pada rumusan masalah pada bab sebelumnya, dimana pemilihan variasi komposisi talac dengan resin adalah dibawah 50%. Pemilihan ini dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya yang menghasilkan jenis material *Syntheticresin B* (50% resin, 50% talac) pada perbandingan fraksi beratnya sebagai material terbaik. Maka, pada penelitian ini diharapkan dengan variasi komposisi talac yang lebih sedikit dapat menghasilkan nilai kekuatan lentur yang semakin besar, sehingga didapatkan material yang lebih

ringan tetapi memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi material yang lebih banyak campuran talacnya.

Kriteria berat jenis yang ditentukan oleh DNV lebih dari 1000 kg/m³. Hasil pengujian berat volume yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Hasil pengujian densitas *core material*.

No	Jenis core material	Densitas rata-rata (kg/m ³)	Kontrol kriteria
1	Core Material A	1.184	√
2	Core Material B	1.354	√
3	Core Material C	1.409	√
4	Core Material D	1.501	√
5	<i>Synthetic resin B</i>	1.728	√

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.3, keseluruhan nilai berat volume untuk 4 komposisi *core material* dapat memenuhi standarisasi nilai densitas yang telah ditetapkan oleh DNV 2012, dan nilai berat volume 4 komposisi tersebut memiliki nilai dibawah material inti jenis *Synthetic Resin B*, dimana perbandingan campuran bahan adalah 50% resin dan 50% talac.

Apabila ditinjau secara mendalam berkaitan dengan perbedaan komposisi material inti terdapat perbedaan nilai densitas pada setiap jenis komposisi. Hal ini dipengaruhi oleh prosentase talac yang dicampurkan pada setiap jenis komposisi. Pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa *Core Material A* memiliki nilai densitas paling rendah dibandingkan komposisi lain yaitu 1.184 kg/m³, sedangkan *Core Material D* memiliki nilai densitas 1.501 kg/m³. Jadi, semakin besar prosentase nilai talac yang dicampurkan pada resin sebagai bahan utama *Syntheticresin* maka nilai densitas yang dimiliki oleh *core material* tersebut akan semakin tinggi.

Pada pengujian berat volume keempat jenis komposisi yang diujikan telah memenuhi kriteria DNV 2012. Dengan demikian dapat ditarik kesimpulan, bahwa seluruh jenis material inti dapat digunakan sebagai *core material* untuk *Sandwich Panel*, yang selanjutnya akan diidentifikasi berdasarkan syarat kekuatan material dengan menggunakan pengujian tarik.

4.1.3 Pengujian Tarik *Core Material*

Penentuan kekuatan tarik material dilakukan dengan menggunakan pengujian tarik. Sesuai dengan yang telah dijelaskan pada Bab 3, berkaitan dengan standarisasi pengujian tarik berdasarkan ASTM D412. Pengujian tarik menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*) yaitu sebuah mesin pengujian untuk menguji tegangan tarik dan kekuatan tekan bahan atau material. *Testing Machine*. Mesin pengujian ini telah terbukti bahwa dapat melakukan pengujian tarik sesuai standar dan tes kompresi pada bahan, komponen, dan struktur.

Cara penggunaan UTM adalah dengan memberikan gaya tekan atau gaya tarik kepada terhadap bahan yang diujikan. Untuk melaksanakan pengujian tekan atau tarik terhadap material, kita memerlukan benda uji yang lainnya. Benda uji itu dipasang pada mesin penguji dengan gaya tekan dan gaya tarik yang akan semakin bertambah besar akhirnya menekan dan menarik pada batang tersebut, maka batang ini akan menjadi pendek atau panjang. UTM akan memberikan informasi mengenai seberapa besar pengukuran yang akan diuji terhadap bahan sehingga standarisasi yang diinginkan dapat tercapai dengan sempurna. Pengujian dilakukan pada setiap komposisi material inti dengan jumlah spesimen uji adalah 3 spesimen. Hasil pengujian tarik ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Hasil kekuatan tarik material inti *Synteticresin*

Jenis material	Tensile strength (Mpa)	Tensile modulus (Mpa)	Elongation (%)	Kontrol kriteria
Core Material A	22,83	254,65	10,13	√
Core Material B	21,75	307,17	10,05	√
Core Material C	20,64	325,43	10,04	√
Core Material D	20,04	333,55	10,04	√

Berdasarkan nilai yang ditunjukkan pada Tabel 4.4, seluruh jenis komposisi material inti dapat digunakan sebagai material inti dari *Sandwich Panel* karena telah memenuhi kriteria yang telah ditetapkan oleh *class*. Nilai kekuatan tarik paling tinggi pada *core material* A dimana penggunaan talac pada jenis material ini adalah 10% dari total Resin yaitu 22,83 Mpa, dapat dilihat bahwa penambahan talac yang hanya 10% dari Resin dapat menerima kemampuan kekuatan tarik paling besar dikarenakan material tersebut masih memiliki sifat lentur yang dipengaruhi oleh

Resin, sehingga beban kekuatan tarik lebih besar diterima dibandingkan dengan *core material* lainnya. Pada nilai tersebut komposisi talac yang semakin besar memiliki nilai modulus elastisitas yang besar, hal ini dipengaruhi oleh sifat talac yang dapat memberikan kekerasan pada material *Syntheticresin*, sehingga perubahan bentuk material setelah dilakukan pengujian tarik tidak mengalami banyak perubahan bentuk. Pada Gambar 4.1 menunjukkan material *Syntheticresin* setelah dilakukan pengujian tarik.



(a)



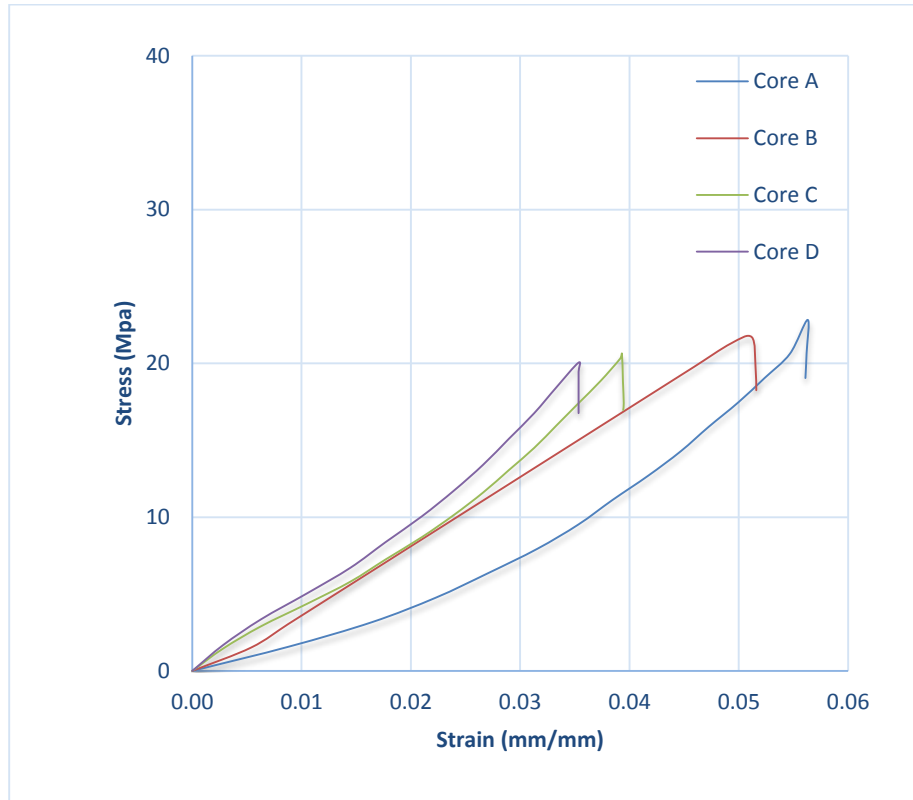
(b)

Gambar 4.1 Bentuk spesimen uji setelah pengujian Tarik

Gambar 4.1 (a) merupakan *core material A* yang telah dilakukan pengujian tarik, dimana pada gambar tersebut diketahui bahwa *core material A* mengalami sedikit kerusakan pada bentuknya dikarenakan oleh jumlah komposisi talac yang lebih sedikit dibandingkan dengan yang lain. Sedangkan Gambar 4,1 (b) adalah spesimen *core material C* dan *core mateial D*, dimana kerusakan pada jenis komposisi pada material ini tidak menimbulkan pecahan seperti yang ditunjukkan pada *core material A*.

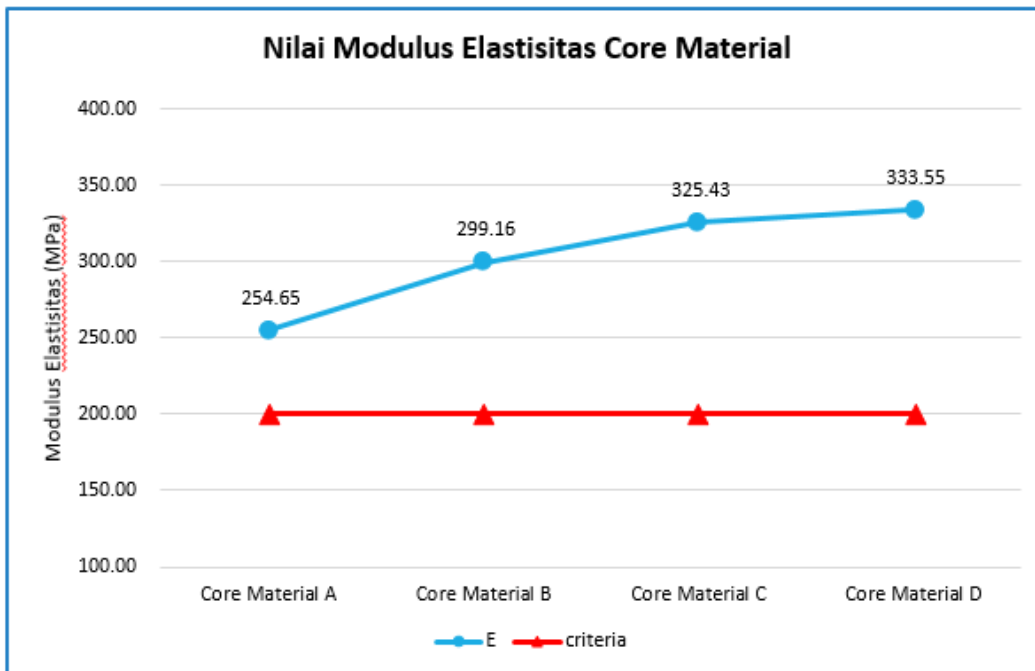
Perbedaan terhadap bentuk kerusakan material ini disebabkan oleh adanya pengaruh komposisi material lain di dalam cairan resin, yaitu material talac. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa, perbedaan komposisi talac pada *syntheticresin*, mampu untuk menghindari kerusakan material dalam bentuk

pecahan. Selain itu, pola grafik hubungan tegangan dengan regangan yang terjadi pada setiap komposisi material inti ditunjukkan pada Gambar 4.2 dengan perubahan komposisi talac dapat menyebabkan nilai tegangan berbeda.



Gambar 4.2 Grafik hubungan tegangan dan regangan pada *core material*

Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan grafik hubungan tegangan dengan regangan yang terjadi pada *core material* semua komposisi. Dimana grafik berwarna biru adalah grafik hubungan tegangan dengan regangan *core material* A. berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa nilai tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *core material* lainnya, hal ini dipengaruhi oleh komposisi talac yang paling sedikit dimiliki oleh *core material* A yaitu 10% dari total campuran Resin, sifat talac yang menyebabkan adonan resin dapat menjadi kaku dan lebih berat sehingga *core material* A masih memiliki sifat lentur dari Resin yang dimiliki. Nilai regangan yang dihasilkan juga menunjukkan bahwa *core material* A lebih lentur dibandingkan dengan komposisi material inti yang memiliki campuran talac lebih banyak.



Gambar 4.3 Grafik Modulus Elastisitas *core material*

Gambar 4.3 menunjukkan nilai modulus elastisitas pada pengujian tari *core material*, dimana dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa *core material D* yang memiliki komposisi talac paling banyak yaitu 40% memiliki nilai modulus elastisitas yang paling tinggi. Hal ini disebabkan oleh kekakuan dari material tersebut karena adanya komposisi talac yang paling banyak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin banyak talac pada material inti akan menjadikan material tersebut lebih kaku, sehingga nilai modulus elastisitasnya akan tinggi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan adanya talac mampu mereduksi bentuk kerusakan berupa kepecahan pada *synthetic resin*, maka jenis *core material D* dengan sifat material getas (*Brittle*), sedangkan *core material A* dengan sifat material elastis (*Ductile*). Dari hasil pengujian tarik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2 dengan komposisi talac yang lebih banyak (*core material D*) menghasilkan kekuatan tarik yang lebih kecil dan regangan yang paling besar, dikarenakan modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan pada hasil pengujian atau bisa dikatakan kemiringan dari grafik hubungan tegangan dan regangan, maka diperoleh nilai modulus yang paling besar. Begitupula sebaliknya

dengan komposisi talac yang 10% (*core material A*) memiliki hasil tegangan yang paling besar, sehingga nilai modulus elastisitasnya paling besar.

4.1.4 Pengujian Geser *Core Material*

Identifikasi pada *core material* selanjutnya adalah dengan melakukan pengujian geser berdasarkan ASTM C 273. Pengujian geser ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan kerekatan antara *faceplate* dengan material komposite *core material*. Pada bab sebelumnya telah dijelaskan metode pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan nilai Modulus geser dan tegangan geser pada *core material*. Pada Tabel 4.5 merupakan hasil pengujian geser *core material*.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian geser *core material*

Jenis material	Shear Stress (Mpa)	Shear modulus (Mpa)	Poisson ratio	Kontrol kriteria
Core Material A	0.83	110,86	0,149	✘
Core Material B	0.85	121,28	0,233	√
Core Material C	1.08	135,00	0,205	√
Core Material D	1.10	144,17	0,157	√

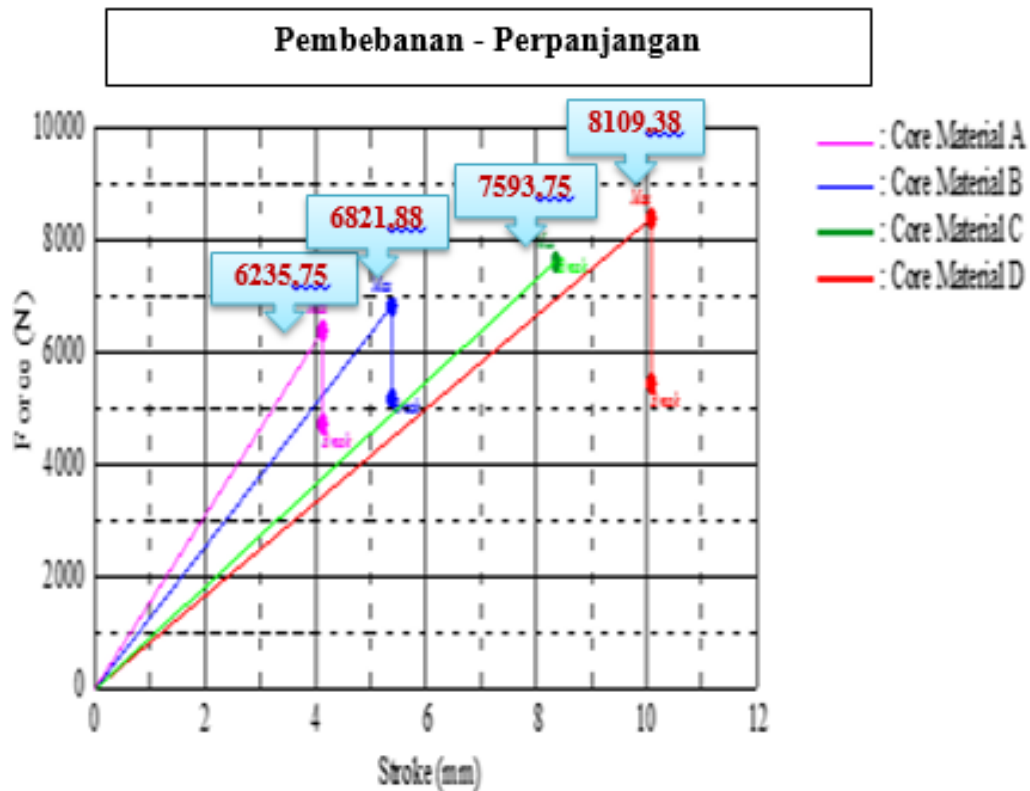
Berdasarkan nilai pada Tabel 4.5 tegangan geser dan modulus geser pada *core material A* adalah 0,83 Mpa dan 110,86 Mpa, dimana nilai modulus geser untuk jenis material inti tersebut tidak memenuhi kriteria yang telah ditetapkan oleh *Lloyd's Register* dengan memberikan nilai minimal pada modulus geser adalah 120 Mpa. Hal ini diperoleh karena beban pada saat spesimen ditarik memiliki nilai yang kecil dibandingkan pada jenis *core material* lainnya yaitu 6.235,75 Newton (Gambar 4.3) sehingga pada proses pengujian ini jenis *core material A* tidak dapat digunakan pada *sandwich panel* untuk aplikasi pada geladak kapal. Sementara itu nilai *poisson ratio* yang diperoleh bekisar antara 0,14 – 0,24, dimana nilai *poisson ratio* inti berada dibawah nilai *poisson ratio* dari baja yaitu 0,33. Sehingga nilai *poisson ratio* yang kecil *core material* tersebut memiliki sifat yang lebih lentur dan elastis.

Nilai *poisson ratio* pada hasil pada Tabel 4.5 diperoleh dari persamaan (2.9), dimana nilai tersebut adalah perbandingan antara modulus elastisatas dari *core* dan modulus geser. *Poisson Ratio* adalah konstanta elastisitas yang dimiliki oleh setiap

material. Sebuah material yang diberikan gaya satu arah, ditarik maupun ditekan, akan mengalami perubahan bentuk. Selain perubahan bentuk ke arah gaya yang diberikan, ada juga perubahan bentuk ke arah yang tegak lurus dengan arah gaya. Poisson Ratio adalah perbandingan dari perubahan arah aksial dengan perubahan arah transversal tersebut. Ketika sebuah gaya satu arah diberikan kepada material tersebut sehingga menghasilkan regangan dan membuat material tersebut berdeformasi.

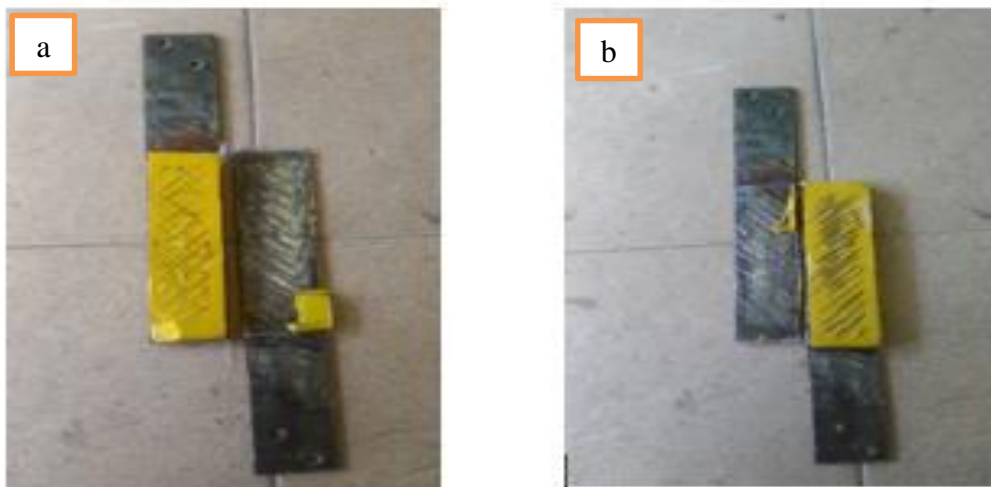
Poisson Ratio dapat menggambarkan karakter dan sifat masing-masing material. Mayoritas material memiliki rentang poisson ratio antara -1,0 sampai dengan 0,5, namun ada beberapa pengecualian. Material yang stabil, isotropis, dan elastis bisa memiliki poisson ratio yang berkisar antara 0,0 sampai 0,5. Hal ini dikarenakan modulus young, modulus puntir dan modulus deformasi harus bernilai positif. Karet memiliki poisson ratio mendekati 0.5. Polimer busa memiliki poisson ratio negatif, jika material tersebut ditarik, ketebalannya justru akan bertambah. Poisson ratio menggambarkan sifat dan karakteristik dari suatu material. Karena itu, poisson ratio sangat penting untuk diketahui dalam pemilihan material suatu benda

Berdasarkan hasil pengujian geser yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa *core material* D memiliki nilai tegangan dan Modulus geser yang paling besar diantara yang lainnya yaitu 1,10 Mpa dan 219,04 Mpa. Sehingga komposisi material inti dengan prosentase talac paling banyak yaitu 40% memiliki kekuatan tegangan geser yang paling tinggi, artinya Resin yang dicampur talac lebih banyak dapat memberikan dampak pada lapisan antara *faceplate* dengan material komposit menempel lebih rekat, selain itu fungsi dari talac adalah memberikan kekakuan pada campuran Resin. Pada Gambar 4.3 berikut ini akan ditunjukkan grafik hubungan antara pembebanan dengan perpanjangan pada *core material* yang telah dilakukan pengujian geser.



Gambar 4.4 Grafik hubungan pembebanan dengan perpanjangan *core material*

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa *core material D* (grafik merah) memiliki nilai beban paling tinggi 8.109,38 Newton dengan nilai perpanjangan 10,35 mm, hal ini dipengaruhi oleh campuran talac pada *core material* yang dapat memberikan kerekatan antara *faceplate* dengan material inti. Sehingga dapat disimpulkan berdasarkan grafik hubungan pembebanan dengan perpanjangan diatas komposisi material talac yang semakin banyak dapat membuat kekakuan pada material inti dan kerekatan antara lapisan *faceplate* dengan material inti, sedangkan komposisi talac yang lebih sedikit pembebanan dan perpanjangannya lebih kecil sehingga tidak dapat memenuhi kriteria yang telah ditentukan oleh LR untuk nilai modulus gesernya. Gambar 4.5 merupakan hasil spesimen pengujian setelah dilakukan uji geser.



Gambar 4.5 Bentuk kegagalan pada *core material* setelah pengujian geser

Gambar 4.5 (a) menunjukkan bentuk kegagalan *core material* D setelah dilakukan pengujian geser. Hal ini menunjukkan kerusakan pada material inti yang menempel pada *faceplate* mengalami banyak kerusakan, dikarenakan pengaruh kerekatan material inti dengan pelat lebih baik dibandingkan dengan jenis *core material* lainnya. Sedangkan Gambar 4.3 (b) adalah spesimen *core material* A dengan kegagalan material inti lebih sedikit mengalami kegagalan dikarenakan kerekatan antara *core* dengan *faceplate* tidak sempurna. Apabila kembali pada gambar grafik seperti Gambar 4.3 menggambarkan bahwa *core material* D memiliki nilai kekakuan dan kerekatan yang lebih tinggi dibanding jenis material inti dengan komposisi lainnya.

Berdasarkan pengujian geser yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa kerekatan antara pelat dengan material inti dipengaruhi oleh komposisi antara campuran resin dengan talac. Komposisi talac yang lebih banyak dapat memberikan kekakuan pada material inti, sehingga daya rekat yang timbul semakin besar. Hal ini juga berpengaruh pada kekuatan beban yang diterima oleh material akan semakin besar dengan perbedaan beban sekitar 8,37% untuk setiap jenis *core material*.

4.2 Analisa Hasil Identifikasi Material *Sandwich Panel*

Identifikasi material *sandwich panel* dilakukan untuk mengetahui perubahan bentuk karakteristik material dari kondisi setiap material penyusunnya, dikarenakan material *sandwich panel* ini tersusun dari dua jenis material yang memiliki sifat berbeda, tentu akan menghasilkan nilai kekuatan yang berbeda, dengan melakukan identifikasi maka akan diketahui apakah bentuk lapisan akan memberikan peningkatan kekuatan atau sebaliknya.

4.2.1 Densitas *Sandwich Panel*

Hasil identifikasi densitas *sandwich panel* ditunjukkan pada Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.6 Hasil densitas *sandwich panel*

Sandwich panel	Densitas rata-rata (kg/m³)	Rata-rata
<i>Core Material A</i>	3632.17	3856,90
<i>Core Material B</i>	3720.56	
<i>Core Material C</i>	3906.45	
<i>Core Material D</i>	4168.41	

Tabel 4.6 menunjukkan hasil dari densitas material *sandwich panel* dengan nilai rata-rata densitas sebesar 3.856,9 kg/m³. Densitas yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan densitas baja konvensional 7.850 kg/m³. Pengurangan berat densitas sebesar 50,86%. Hal ini menunjukkan kombinasi bentuk material *sandwich panel* akan menghasilkan material yang lebih ringan dari kondisi berat material baja. Namun, hal ini tidak dapat dijadikan dasar untuk menyatakan bahwa penggunaan material *sandwich panel* pada konstruksi kapal akan mereduksi berat dari konstruksi kapal. Hal ini dikarenakan luas permukaan yang sama antara penggunaan material baja pada suatu ketebalan tertentu yang digantikan dengan material *sandwich panel* dengan ketebalan yang lebih besar cenderung akan menghasilkan berat yang lebih besar.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pengurangan berat yang terjadi pada beberapa penerapan material *sandwich panel* bukan pada penggunaan material tersebut, melainkan pada bentuk struktur dari suatu konstruksi yang dirubah

sedemikian rupa, untuk menghasilkan pengurangan berat, namun masih memiliki nilai keamanan dari segi kekuatan konstruksi yang dihasilkan. Hal ini akan mengakibatkan suatu permasalahan, karena dibutuhkan analisa melalui perhitungan kekuatan struktur untuk dapat mencapai kondisi pengurangan berat konstruksi yang diharapkan.

4.2.2 Pengujian Lentur *Sandwich Panel*

Pengujian lentur dilakukan untuk mendapatkan nilai kekuatan suatu material dalam menerima beban secara vertikal hingga material tersebut tidak dapat kembali pada posisi semula atau hingga material tersebut mengalami kerusakan. Pada material *Sandwich Panel* pengujian lentur dilakukan untuk mengetahui kekuatan yang pada material tersebut hingga material inti mengalami kerusakan dan material *faceplate* tidak dapat kembali pada bentuk awalnya. Table 4.7 akan menyajikan hasil pengujian lentur yang dilakukan pada material *Sandwich Panel*.

Tabel 4.7 Hasil pengujian lentur material *sandwich panel*

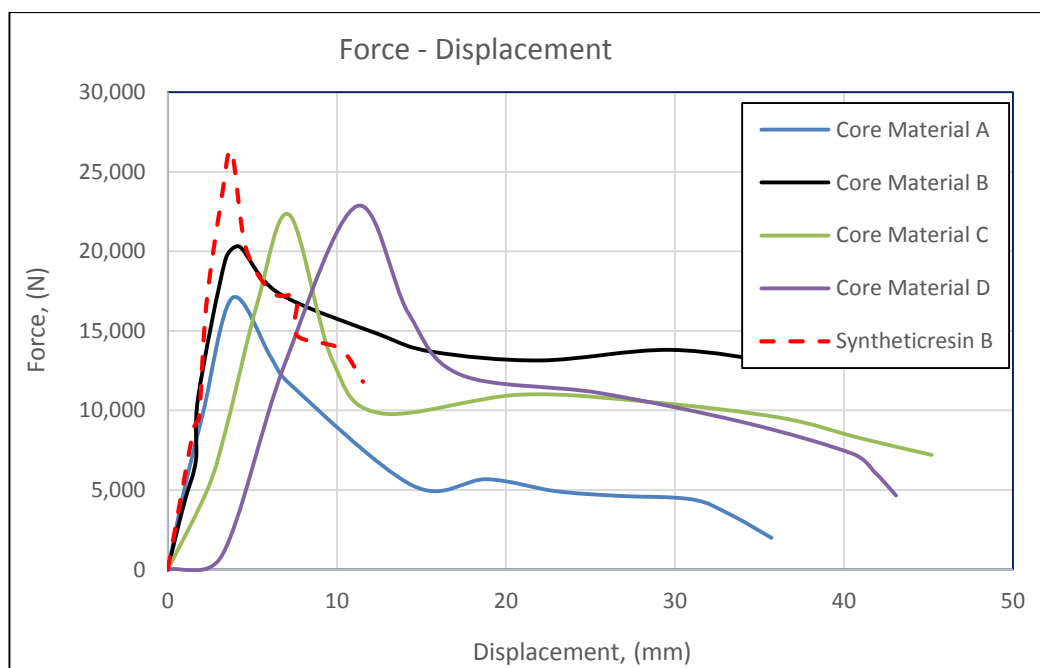
Jenis material	Force (N)	Flexure Stress (Mpa)	Deflection (mm)	MoR (Mpa)
Core Material A	17075	88,93	3,81	105,40
Core Material B	20300	105,73	4,24	116,51
Core Material C	22298	116,14	7,19	127,98
Core Material D	22842	118,97	11,81	152,05

Tabel 4.7 menyajikan hasil pengujian lentur pada material *Sandwich Panel*, komposisi dengan campuran talac yang lebih banyak yaitu *core material D* mampu menerima beban lebih besar dengan nilai 22842 Newton dan defleksi yang terjadi pada material tersebut sebesar 11,81 mm. Hal ini terjadi disebabkan oleh kekakuan pada masing-masing material inti, dengan ketebalan *faceplate* yang sama sehingga yang mempengaruhi kemampuan material dalam menerima beban dan tegangan lentur yang dihasilkan disebabkan oleh komposisi talac yang ada pada material inti.

Berdasarkan hasil pengujian lentur disajikan pada Tabel 4.7 menunjukkan nilai *modulus of ruptur* dimana dapat dilihat bahwa *Sandwich Panel* dengan *core material D* memberikan nilai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan material inti dengan campuran talac yang lebih sedikit. Talac mampu membentuk

materal inti menjadi lebih kuat dan padat sehingga akan membentuk material komposit, dimana penambahan talac tersebut akan menahan beban sesuai dengan modulus elastisitasnya yang tinggi. Dengan modulus elastisitas dari *core material* D, maka jelas terlihat dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik dari material *Sandwich Panel*.

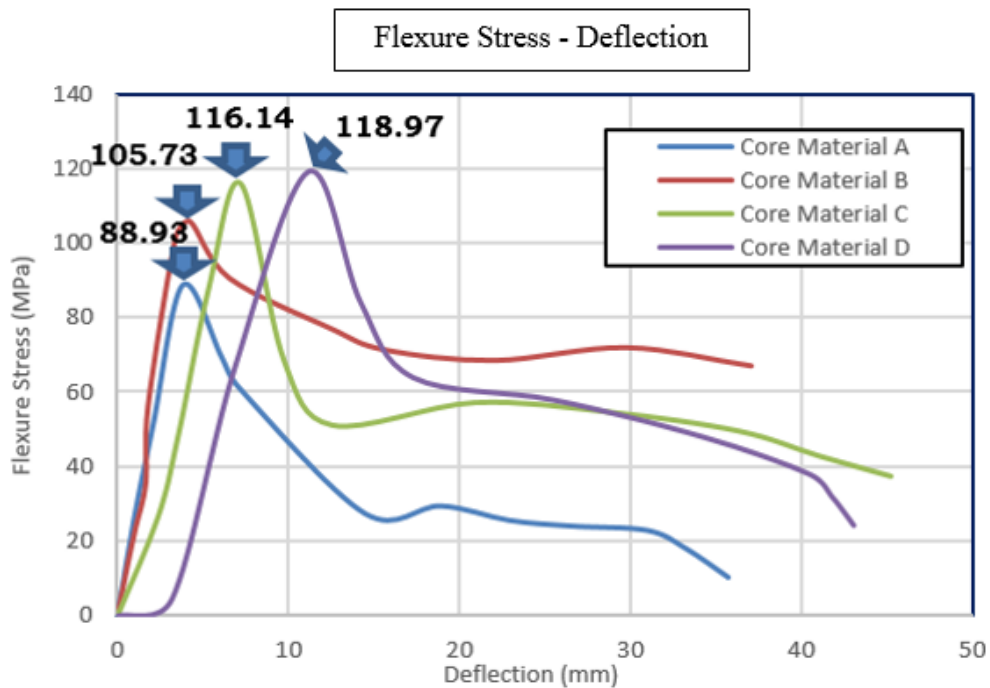
Dari hasil pengujian lentur diketahui bahwa komposisi talac yang lebih sedikit atau material *sandwich panel* yang lebih ringan memiliki nilai tegangan lentur yang paling kecil. Sehingga berdasarkan hasil rumusan masalah yang mengacu pada berat *sandwich panel* yang lebih ringan tidak memiliki kekuatan lentur yang lebih baik dibandingkan dengan material inti dengan campuran talac 40%. Maka dari hasil pengujian lentur pada material *sandwich panel* dapat disimpulkan bahwa kekuatan material dalam menerima beban yang paling besar adalah material dengan komposisi talac paling banyak atau material *sandwich panel* yang paling berat. Hal ini dipengaruhi oleh kekakuan material talac dalam membentuk material inti dari *sandwich panel* sehingga material tersebut memiliki kekuatan lentur yang paling tinggi. Grafik hubungan antara beban dengan defleksi pada material *Sandwich Panel* dapat terlihat pada Gambar 4.6 sebagai berikut.



Gambar 4.6 Grafik hubungan pembebanan dengan defleksi *sandwich panel*

Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa pada kondisi awal material mampu menerima beban jauh lebih tinggi, hingga sampai pada batas *core material* mengalami kegagalan. Namun, material *faceplate* masih mampu menahan beban sampai mengalami kondisi plastis, dimana material *faceplate* tidak dapat kembali pada bentuk semula, dalam artian beban yang diterima oleh lapisan *faceplate* telah terserap sepenuhnya tanpa ada yang dilepaskan. Pada *core material* A, B, dan C memiliki nilai defleksi yang saling berdekatan diantara ketiganya, hal tersebut dipengaruhi oleh beban awal yang diterima oleh spesimen langsung menyebabkan kerusakan awal pada material inti hingga mencapai kerusakan maksimalnya. Sedangkan pada *core material* D beban awal yang diterima oleh material tidak langsung merusak material inti. Pengaruh ini juga dapat disebabkan oleh kerekatan antara *core* dengan *faceplate* yang berbeda pada setiap jenis material. Pada hasil grafik tersebut dapat dilihat perbandingan dari material *Sandwich Panel* dengan menggunakan material inti *Syntheticresin* dari hasil penelitian sebelumnya oleh (Utomo, 2016). Dimana terlihat bahwa komposisi antara talac dan resin adalah 50%:50%, nilai beban yang dapat diterima lebih besar dibandingkan dengan *core material* D, hal ini membuktikan bahwa komposisi talac mempengaruhi kekuatan dari material *sandwich Panel*, semakin banyak talac yang dicampurkan pada material inti maka akan menambah kekuatan dari material tersebut.

Pada umumnya, penentuan nilai kekuatan kapal berdasarkan nilai tegangan yang terjadi pada komponen material di konstruksi kapal. Maka dalam hal ini analisa juga diberikan dalam bentuk hubungan dari tegangan lentur dan defleksi yang terjadi pada *sandwich panel* yang ditunjukkan dalam Gambar 4.7 sebagai berikut.

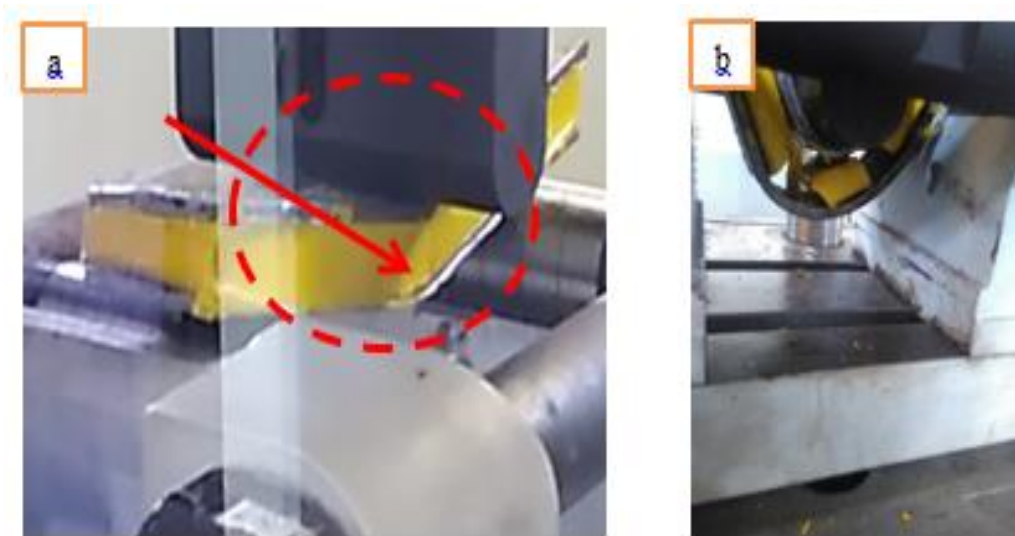


Gambar 4.7 Grafik hubungan tegangan lentur dengan defleksi *sandwich panel*

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan tegangan lentur dan defleksi yang terjadi pada 4 jenis material inti *sandwich panel* yang memiliki komposisi talac berbeda, dimana ditunjukkan bahwa, pada *sandwich panel* dengan menggunakan komposisi *core material* D memberikan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan komposisi *core material* lainnya. Kondisi ini merupakan kondisi dimana kegagalan pada *core material* terjadi pada saat *faceplate* juga mulai mengalami kerusakan.

Analisa selanjutnya dapat terlihat pada hasil tegangan lentur untuk *core material* B, dimana setelah terjadi kerusakan material inti dilanjutkan dengan kerusakan pada *faceplate*, dapat diartikan bahwa kekakuan yang terdapat pada *core* B hampir setara dengan kekakuan pada *faceplate* dari material *Sandwich Panel*. Selain itu bentuk kerusakan pada material inti terjadi secara horisontal terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan kerusakan secara vertikal pada lokasi pusat pembebanan, selanjutnya material inti akan lepas dari permukaan *faceplate*. Sehingga pada Gambar 4.7 menunjukkan tren grafik yang mulai turun setelah pembebanan yang maksimum pada material inti merupakan bentuk kegagalan pada *faceplate* hingga mencapai titik dimana *faceplate* tidak dapat kembali pada bentuk awal.

Bentuk kerusakan pada material inti *sandwich panel* dapat dilihat pada Gambar 4.8, dimana material inti mengalami kegagalan secara horizontal pada permukaan *faceplate* bagian bawah setelah diberikan pembebanan. Kemudian diikuti oleh kerusakan dengan bentuk vertikal setinggi tebal dari *core material*, kerusakan selanjutnya adalah mulai lepasnya material inti dari permukaan *faceplate* akibat dari pembebanan yang diberikan. Gambar 4.7 merupakan kerusakan pada material inti pada saat pengujian.



Gambar 4.8 Kerusakan pada material inti pada saat pembebanan uji lentur

Gambar 4.8 (a) dapat dilihat bahwa rusaknya material inti berawal dari arah horisontal bagian bawah dari lapisan *faceplate* yang diikuti oleh kerusakan searah ketebalan dari *core material*, sedangkan Gambar 4.8 (b) merupakan kerusakan pada material inti hingga kerusakan pada *faceplate* mencapai nilai maksimum dimana *faceplate* tidak dapat kembali pada bentuk awal, material inti akan lepas beberapa bagian dari permukaan *faceplate*. Material *Sandwich Panel* dikatakan rusak pada saat terjadi retak pada material inti dengan bentuk rusak setebal dan selebar *core* sehingga material inti akan lepas dari *faceplate*.

Kerusakan yang terjadi pada material inti dari *sandwich panel* setelah dilakukan pengujian lentur adalah rusaknya *core* searah horisontal atau rusaknya material dengan bentuk memanjang dibagian bawah dari material inti yang lokasinya disekitar pusat tumpuan beban. Kemudian kerusakan pada material inti

searah vertikal atau mengikuti ketebalan *core* hingga seluruh permukaan material inti lepas dari *faceplate*. Bentuk kerusakan pada material inti dari sandwich panel saat dilakukan pengujian lentur diawali oleh rusaknya material inti hingga permukaan material inti lepas dari *faceplate*, kemudian akan diikuti oleh rusaknya *faceplate* hingga tidak dapat kembali ke bentuk awalnya. Berdasarkan bentuk kerusakan pada pengujian lentur ini akan dijadikan dasar untuk pembuatan cacat (*crack*) pada material inti untuk pengujian getaran untuk mendapatkan pengaruh pada cacat pada material inti *sandwich panel* terhadap frekuensi naturalnya.

4.2.3 Hasil Identifikasi Material Sandwich Panel

Berdasarkan analisa identifikasi yang dilakukan pada material *sandwich panel* yang dibuat, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.13 berikut ini.

Tabel 4.8 Identifikasi *Sandwich Panel* berdasarkan kriteria LR dan DNV

Sandwich panel	Densitas (kg/m ³)	Modulus Tarik <i>core</i> (MPa)	Modulus Geser (MPa)	Flexure Stress (Mpa)	Ket.
Core Material A	3.675,17	254.65	110,86	88,93	✘
Core Material B	3.702,56	307.17	121,28	105,75	√
Core Material C	3.973,74	325.43	135,00	116,14	√
Core Material D	4.181,20	333.55	144,17	118,97	√

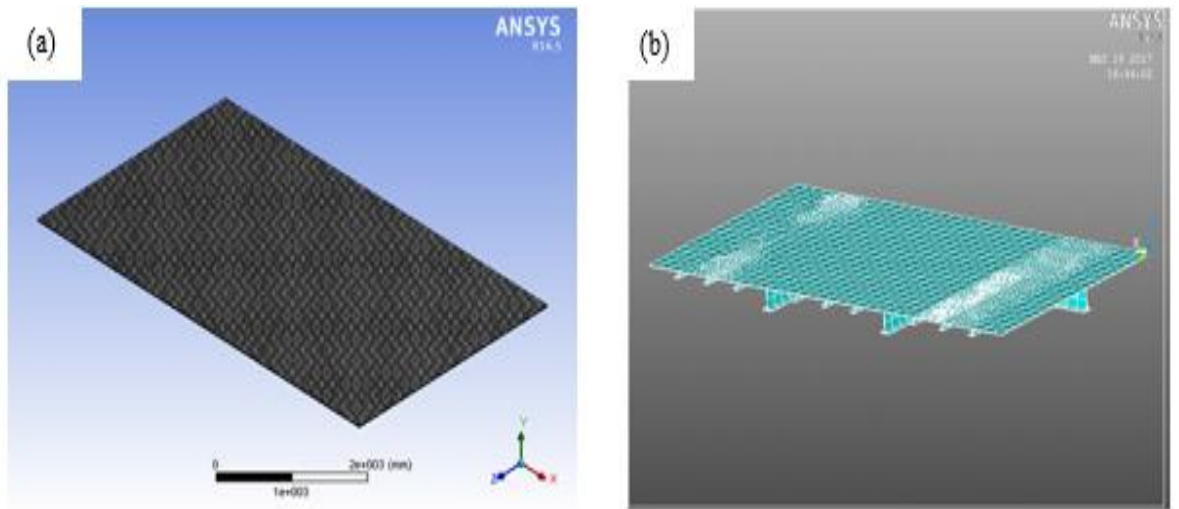
1. Nilai densitas dari material *sandwich panel* lebih ringan 50,67% dari densitas material baja. Namun, hal ini tidak memungkinkan untuk menghasilkan berat konstruksi kapal yang lebih ringan, karena penggunaan *sandwich panel* cenderung menghasilkan ketebalan yang lebih besar dibandingkan penggunaan material baja.
2. Berdasarkan pengujian tarik pada *core material* didapatkan bahwa nilai modulus elastisitas pada setiap *core material* memenuhi kriteria DNV dan mengalami kenaikan pada masing-masing jenis *core material* sebesar 8,38%. Perbedaan nilai ini diakibatkan oleh metode pembuatan material inti dan sifat dari talac yang memberikan sifat kekakuan lebih pada material inti apabila diberikan dengan jumlah yang lebih besar.

3. Pada hasil pengujian geser dari *core material*, didapatkan nilai bahwa *core material A* tidak memenuhi kriteria yang diberikan oleh LR dan DNV, dengan nilai modulus geser 110,86 Mpa dimana nilai ini berada dibawah nilai minimal yang diberikan oleh LR dan DNV yaitu 120 Mpa.
4. Berdasarkan hasil analisa pembebanan pada pengujian lentur didapatkan bahwa kekuatan nilai maksimal tegangan lentur sebagai acuan pada pemodelan struktur geladak kendaraan.

4.3 Pemodelan Struktur Sandwich Panel

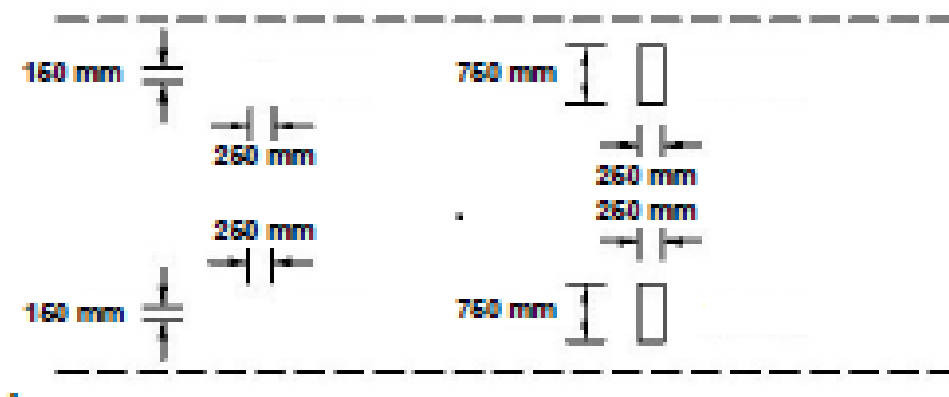
Berdasarkan hasil dari pengujian *core material* dan identifikasi dari *sandwich panel*, maka selanjutnya akan disajikan analisa model secara numerik sebagai perbandingan dan validasi dari hasil pengujian material secara eksperimen. Dimana pemodelan yang dilakukan adalah dengan menggunakan *Finite Element Analysis* dengan bantuan perangkat lunak. Dimensi pemodelan yang dilakukan adalah 6000 x 3500 mm pada lokasi geladak kendaraan dengan menggunakan struktur material *sandwich panel* dan sistem konstruksi konvensional pelat baja. dimana ukuran tersebut adalah ukuran dari jarak gading besar pada kapal Ro-Ro 750 GT.

Pemodelan yang dilakukan dengan membandingkan antara *sandwich panel* dengan sistem konstruksi geladak kendaraan eksisting. Hal ini bertujuan sebagai verifikasi hasil pemodelan pada struktur *sandwich panel* dapat menggantikan sistem konstruksi konvensional. Pada Gambar 4.9 berikut adalah hasil pemodelan struktur pada *sandwich panel* dan sistem konstruksi konvensional dengan menggunakan metode *Finite Element Analysis*.



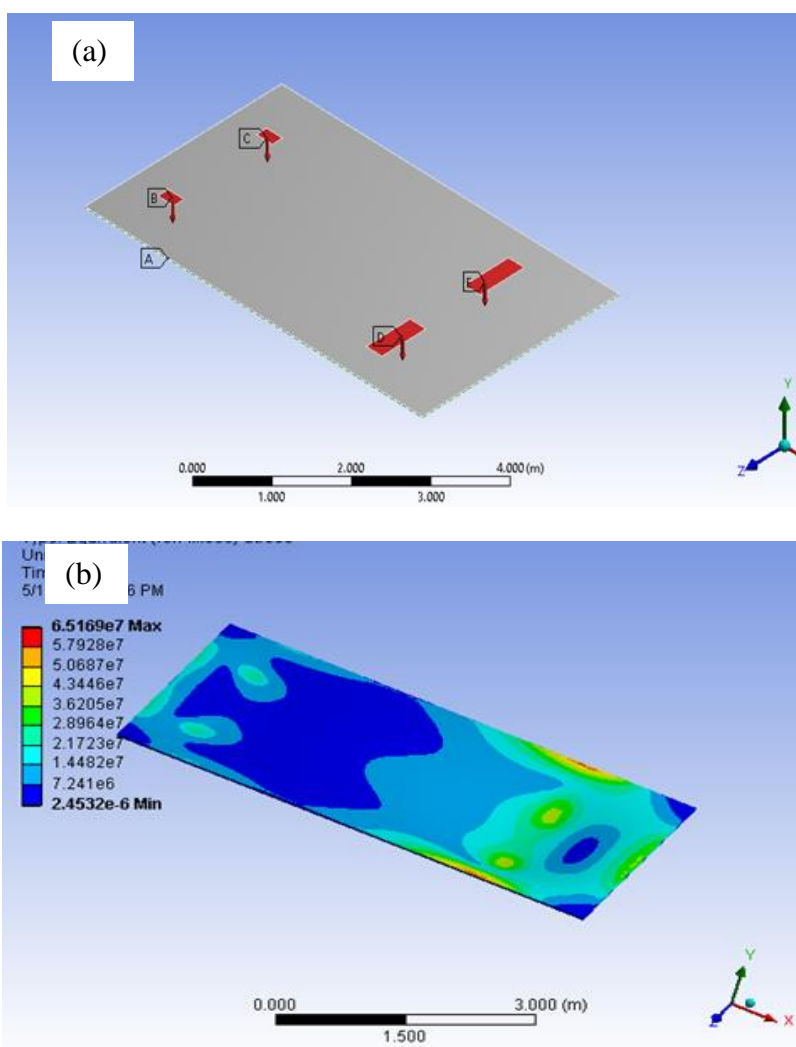
Gambar 4.9 *Finite element* model a) geladak kendaraan dengan *Sandwich panel*,
 b) geladak kendaraan dengan sistem konstruksi konvensional

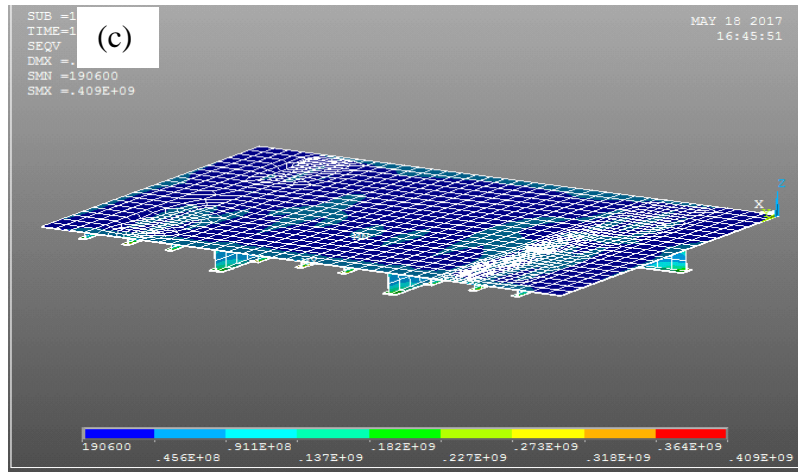
Pembebanan yang diberikan pada model dikondisikan sesuai dengan kondisi beban oleh kendaraan yang berhubungan langsung dengan geladak. Pada model ini beban diberikan oleh kendaraan dengan jenis truk ukuran medium yang memiliki bobot 10 ton. Porsi pembebanan untuk ukuran truk medium pada roda depan dan roda belakangnya adalah 34% : 66% dari nilai bobot total truk. Pada Gambar 4.10 menunjukkan distribusi beban pada geladak kendaraan sesuai dengan peraturan SNI 1725:2016 yang mengatur tentang pembebanan kendaraan pada jembatan.



Gambar 4.10 Ilustrasi pembebanan pada geladak kendaraan (SNI 1725:2016)

Hasil dari pembebanan pada model struktur *sandwich panel* berdasarkan dari ilustrasi pembebanan dengan beban untuk roda depan adalah 34 kN sedangkan untuk roda belakang adalah 66 kN. Gambar 4.11 menunjukkan hasil pembebanan dan hasil tegangan lentur pada struktur *sandwich panel* dan sistem konstruksi konvensional. Dengan kondisi pada model diberikan kondisi jepit pada semua sisi baik pada model struktur geladak kendaraan *sandwich panel* dan juga struktur pelat baja dengan sistem konstruksi konvensional. Ukuran dimensi model pada Gambar 4.10 adalah 6000 x 3500 mm sesuai dengan jarak gading di daerah *midship* kapal.





Gambar 4.11 Hasil Pemodelan Struktur, (a) identifikasi pembebanan pada *sandwich panel*, (b) hasil tegangan lentur maksimum pada *sandwich panel*, (c) hasil tegangan lentur pada sistem konstruksi konvensional

Dari Gambar 4.11 telah dijelaskan langkah pemodelan yang dilakukan pada geladak kendaraan kapal Ro-Ro, dimulai dari identifikasi pembebanan pada model geladak kendaraan yang sesuai dengan luasan kontak roda depan dan roda belakang dari truk dengan ukuran sedang. Sehingga, didapat nilai stress pada masing-masing model *sandwich panel* dan struktur konvensional pelat baja seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.9 Perbandingan nilai tegangan lentur *sandwich panel*

No	Jenis Material Sandwich Panel	Max. Bending Stress	Ultimate stress	Stress ratio
		(MPa)	(MPa)	
1	Core Material A	65.52	88.93	0.74
2	Core Material B	65.15	105.73	0.62
3	Core Material C	64.92	116.14	0.56
4	Core Material D	64.82	118.97	0.54
5	Plat Konvensional	81.81	235	0.35

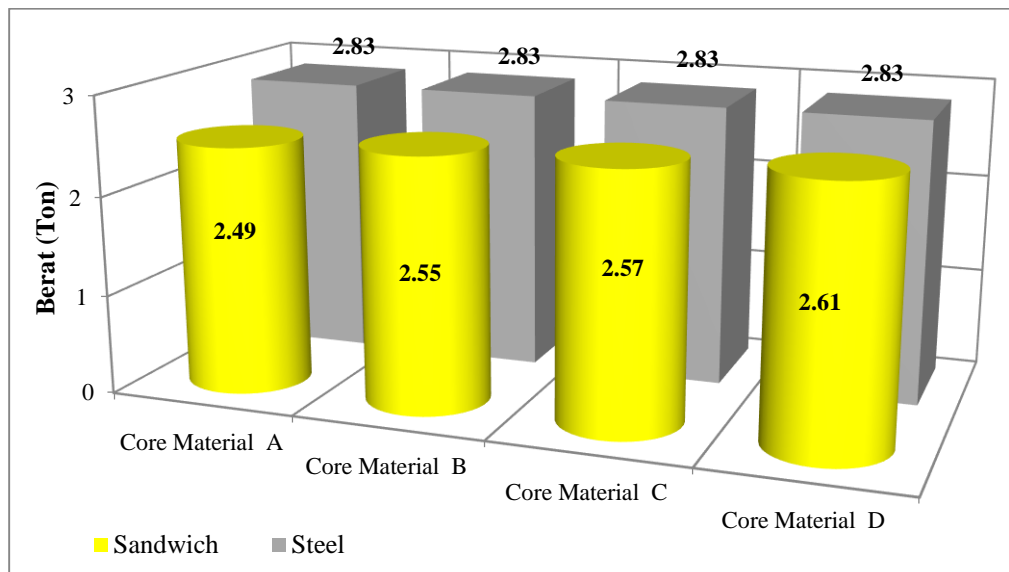
Pada Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa setiap jenis *core material* memiliki nilai tegangan lentur yang berbeda, pada *core material D* memiliki nilai paling rendah diantara jenis *core material* lainnya yaitu 64,82 MPa. Nilai maksimum tegangan lentur masih memenuhi nilai tegangan batas dari hasil pengujian lentur yang telah dilakukan sehingga dari tabel tersebut didapat nilai ratio pada tegangan dengan nilai 0,54. Ratio tegangan didapat dari pembagian antara nilai maksimum tegangan lentur dengan tegangan batas (*ultimate*).

4.4 Perubahan Berat Konstruksi

Analisa perubahan berat konstruksi kapal dilakukan pada model analisa numerik yang telah dilakukan pada pembahasan sebelumnya dengan dimensi model adalah 6000 x 3500 mm. Hasil perhitungan berat dari setiap jenis *core material* ditunjukkan pada Tabel 4.10 yang dibandingkan dengan berat model konstruksi konvensional, dan perbandingan berat konstruksi yang dihasilkan diilustrasikan pada Gambar 4.12 sebagai berikut.

Tabel 4.10 Hasil perhitungan berat konstruksi model

Jenis <i>core material</i>	Berat konstruksi (Ton)		(%)
	Steel	<i>Sandwich panel</i>	
<i>Core Material A</i>	2,83	2,49	-13,49
<i>Core Material B</i>	2,83	2,55	-11,01
<i>Core Material C</i>	2,83	2,57	-9,98
<i>Core Material D</i>	2,83	2,61	-8,35
Rata-rata			-10,73



Gambar 4.12 Perbandingan berat konstruksi antara *Sandwich Panel* dengan sistem konstruksi konvensional

Tabel 4.10 dan Gambar 4.12 memberikan informasi perubahan berat konstruksi terjadi pada setiap jenis material inti dari *sandwich panel* yang memiliki perbedaan pada setiap besaran berat yang berkurang. Rata-rata pengurangan berat konstruksi yang terjadi sebesar 10,73%. Berdasarkan hal tersebut, penggunaan *sandwich panel* pada konstruksi geladak kendaraan mampu mereduksi berat dari konstruksi kapal dengan adanya kesederhanaan bentuk konstruksi yang dihasilkan. Namun, tidak mengurangi segi kekuatan struktur pelat tersebut.

Dari hasil perhitungan berat pada model kapal yang telah dilakukan diperoleh bahwa seluruh jenis *core material* dapat mereduksi berat konstruksi sistem konvensional. Sehingga, pada tahap selanjutnya dilakukan perhitungan biaya material dari *sandwich panel* seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.11 yang selanjutnya akan dilakukan pemilihan jenis *core material* yang paling murah sebagai pengganti struktur konstruksi pelat baja. Pada perhitungan biaya material aplikasi *sandwich panel* pada geladak kendaraan kapal Ferry Ro-Ro 750 GT dengan dimensi model 6 x 3,5 meter tidak mempertimbangkan faktor kesulitan pada proses produksi *Sandwich Panel*, tidak mempertimbangkan biaya yang disebabkan oleh jasa pada saat proses produksi, dan biaya-biaya eksternal. Dalam perhitungan biaya material ini hanya menghitung besarnya biaya total dari material *sandwich panel* dengan setiap komponen bahan baku yang digunakan untuk produksi material

sandwich panel. Tabel 4.11 menunjukkan biaya material pada setiap jenis *core material* yang dibandingkan dengan penggunaan pelat baja untuk diaplikasikan pada geladak kendaraan dengan dimensi model yang sama yaitu 6 x 3,5 meter. Pada analisa ini tidak dapat dibandingkan secara nilai ekonomis, karena dalam analisa biaya material tidak memasukkan biaya produksi dan faktor-faktor eksternal perihal produksi material *sandwich panel*

Tabel 4.11 Biaya material *Sandwich Panel* dan Plat Konvensional

Jenis <i>core material</i>	Luasan Model (m ²)	Berat per Komponen (Kg)			Biaya Material (Rp)
		Talc	Resin 157	Pelat	
<i>Core Material A</i>	21	2,4	21,6	94,2	36.199.800
<i>Core Material B</i>	21	4,8	19,2	94,2	34.763.400
<i>Core Material C</i>	21	7,2	16,8	94,2	33.327.000
<i>Core Material D</i>	21	9,6	14,4	94,2	31.890.600
Plat Konvensional	21	-	-	2826,99	31.096.890

Tabel 4.11 menunjukkan hasil perhitungan dari biaya material dari *sandwich panel* untuk dimensi model 6 x 3,5 meter, berdasarkan biaya material diatas harga setiap komponen disesuaikan dengan harga pada saat pembuatan material *sandwich panel*. Setiap bahan dasar utama pembuatan material *syntheticresin* memiliki harga untuk talac yang digunak adalah Rp 4.000 per kilogram, sementara itu untuk haraga Resin type 157 adalah Rp 31.500 per kilogram, resin type ini adalah resin yang biasa digunakan dalam pembuatan kapal berbahan *fiberglass*.

Biaya material untuk jenis *core material A* adalah yang paling tinggi dibandingkan dengan lainnya yaitu Rp 36.199.800, biaya ini dipengaruhi oleh jumlah resin yang digunakan untuk material inti *syntetheticresin* dengan komposisi 90% resin dari berat keseluruhan material inti. Untuk harga *faceplate* pada setiap jenis *core material* memiliki harga yang sama dengan harga per kilogram adalah Rp 11.000. pada Tabel 4.16 juga disajikan harga material baja untuk sistem

konstruksi konvensional yaitu Rp 31.096.890 sebagai perbandingan material *sandwich panel*.

Biaya material yang dihasilkan untuk material *sandwich panel* dan pelat konvensional lebih mahal biaya material *sandwich panel*. Apabila dikaji lebih jauh, untuk semua jenis variasi komposisi *core material* maka didapat bahwa *core material D* adalah yang paling murah dari segi biaya material, selain itu dari nilai kekuatan material untuk *core material D* memiliki nilai yang paling tinggi karena pengaruh variasi komposisi talac hingga 40% dari berat resin untuk material inti *syntetheticresin*. Jadi, dapat disimpulkan bahwa *core material D* adalah variasi komposisi paling baik untuk digunakan pada geladak kendaraan kapal Ro-Ro sebagai pengganti sistem konstruksi pelat.

Berdasarkan hal tersebut, penggunaan *sandwich panel* pada konstruksi geladak yang merupakan struktur pelat datar di kapal mampu mereduksi berat dari konstruksi kapal dengan adanya kesederhanaan bentuk konstruksi yang dihasilkan. Namun, tidak mengurangi segi kekuatan struktur pelat tersebut. Selain itu, berkurangnya penggunaan penegar dan penumpu pada konstruksi juga akan mengurangi interaksi hubungan penegar dan penumpu pada pelat sehingga akan mengurangi pekerjaan pengelasan dan pengecatan pada bagian penegar dan penumpu yang telah dihilangkan.

Jika ditinjau lebih jauh, pengurangan berat konstruksi pada kapal akan mengakibatkan turunnya *draft* pada kapal sehingga akan berpengaruh pada kestabilan kapal, untuk mengantisipasi hal tersebut dapat dilakukan penambahan pada muatan kapal sampai pada *draft* kapal kembali pada posisi normal. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa selain menghasilkan nilai kekuatan struktur yang jauh lebih baik dan kemampuan reduksi berat konstruksi kapal, penggunaan material *sandwich panel* juga memberikan pengaruh pada peningkatan muatan yang dapat diangkut oleh kapal. Namun, hal ini perlu dikaji lebih dalam pada satu bentuk kapal secara mendetail, mengingat analisa yang dilakukan belum pada satu bentuk kapal, dengan memperhitungkan komponen struktur yang lainnya, seperti *bracket*, permesinan dan lain-lain.

Pada analisa biaya material produksi *sandwich panel* untuk diaplikasikan pada geladak kendaraan kapal Ferry Ro-Ro 750 GT, tidak memasukkan faktor dari

tingkat kesulitan proses produksi, kompones jasa pengelasan, dan faktor-faktor eksternal lainnya yang dapat mempengaruhi kegiatan proses produksi. Pada analisa biaya material ini dilakukan hanya pada perbandingan komponen biaya bahan baku yang membandingkan antara material *sandwich panel* dan pelat yang diaplikasikan pada geladak kendaraan kapal Ferry Ro-Ro 750 GT.

4.5 Identifikasi *Multiple Damages* (Kerusakan Jamak) pada *Sandwich Panel* dengan Respon Getaran

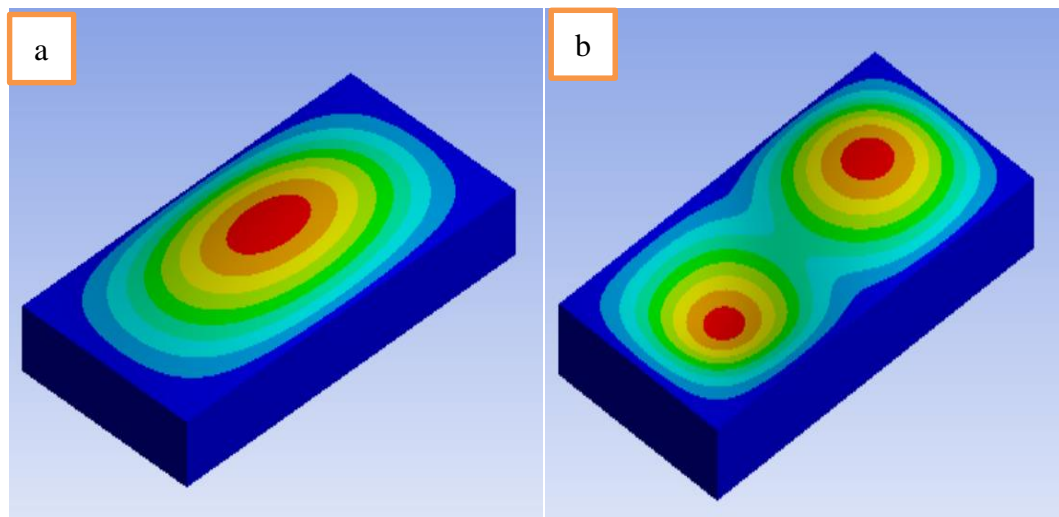
Pada tahap ini dilakukan beberapa proses penelitian terkait *modal analysis* untuk material *Sandwich panel* dengan kondisi utuh dan rusak. Analisa yang pertama menggunakan metode pemodelan, dimana hasil dari pemodelan tersebut, menjadi sarana informasi dalam mengidentifikasi hasil pengujian berikutnya, yaitu pengujian eksperimental material *sandwich panel*. Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya *Multiple damages* adalah kerusakan atau retak yang terjadi pada material dengan jumlah kerusakan lebih dari satu, selain itu lokasi dan bentuk dari kerusakan material tersebut berbeda antara satu dengan yang lainnya. Pembahasan inilah yang akan dilakukan identifikasi pada material *sandwich panel* dengan memberikan kerusakan jamak (*multiple damages*) pada material inti *sandwich panel*. Penelitian yang berkaitan dengan kerusakan jamak pada material inti ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh terhadap frekuensi natural *sandwich panel* apabila terdapat kerusakan pada material intinya.

Berdasarkan hasil identifikasi material *sandwich panel* yang telah dilakukan sebelumnya didapatkan bahwa semua jenis *core material* memenuhi kriteria dan validasi pembebanannya. Sehingga pada tahap ini jenis *core material* yang akan dilakukan identifikasi adalah jenis *core material* A dan D. pemilihan ini didasarkan oleh kriteria batas atas dan batas bawah dari komposisi pada material inti dari *sandwich panel*. Dengan *damping ratio* yang lebih besar, menyebabkan amplitude yang terjadi pada suatu struktur yang terkena getaran menjadi lebih kecil. Dengan amplitudo yang kecil, umur material akan semakin panjang.

4.5.1 Pemodelan *Sandwich Panel*

Analisa menggunakan analisa pemodelan dilakukan selain sebagai referensi dalam proses verifikasi hasil ekperimental. Pada percobaan ini, *mode* getaran yang diidentifikasi hanya dibatasi hingga *mode* ke-2, hal ini dilakukan sebagai pembantu dalam proses identifikasi frekuensi natural dan sebagai verifikasi hasil frekuensi natural yang didapat dalam pengujian ekperimental *sandwich panel*.

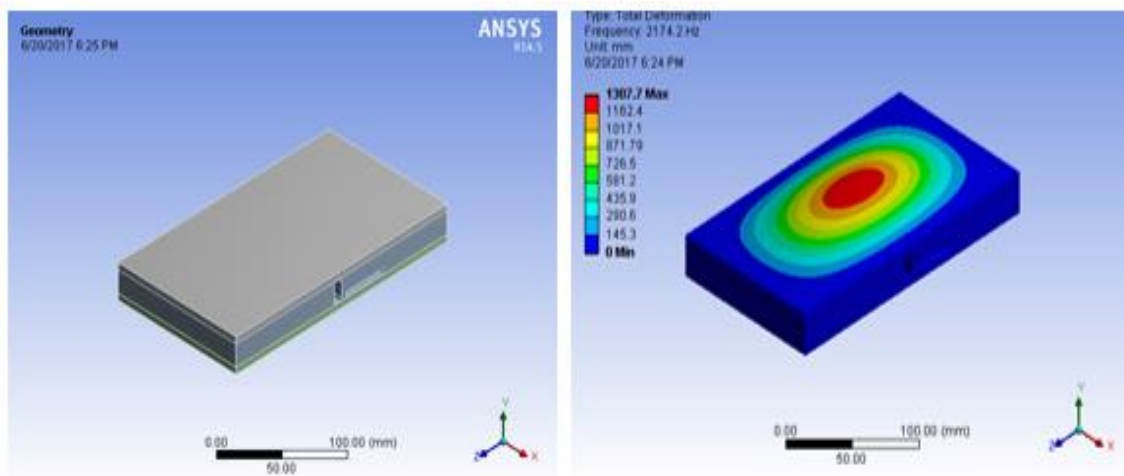
Bentuk *mode* getaran yang terjadi pada spesimen uji, pada *mode* ke-1 memiliki satu gelombang dengan arah memanjang pada benda. Sedangkan untuk *mode* ke-2 memiliki 2 bentuk gelombang juga kearah memanjang pada benda uji. Pada Gambar 4.13 merupakan gambar hasil pemodelan *sandwich panel* dengan dimensi 200 x 100 mm.



Gambar 4.13 *Mode* getaran yang terjadi pada panel, a) *mode* ke-1; b) *mode* ke-2

Kondisi pada pemodelan *modal analysis* yang dilakukan adalah kondisi jepit pada semua sisi dari panel. Hal ini diberikan karena disesuaikan dengan kondisi pada saat melakukan pengujian. Selain pada kondisi utuh yang telah digambarkan pada Gambar 4.13, maka model selanjutnya akan dirusak sesuai kondisi pangujian. Ukuran dari cacat yang dibuat adalah 40 mm berbentuk melintang dengan ketinggian 5 mm, kemudian kerusakan material dibuat secara vertikal setinggi tebal *core* 20 mm dengan lebar 8 mm. kedalaman cacat yang dibuat pada model adalah 35 mm sesuai dengan kemampuan maksimal dari mata bor yang dipakai untuk membuat cacat pada material *sandwich panel* untuk pengujian.

Gambar 4.14 merupakan model dari *sandwich panel* yang telah dibuat cacat pada material intinya.



Gambar 4.14 Model *sandwich panel* dengan kondisi cacat

Berikut ini hasil dari *modal analysis* pada *sandwich panel* untuk jenis *core material A* dan *core material D* seperti pada Tabel 4.12 pada kondisi utuh dan kondisi cacat untuk *mode 1* dan *mode 2*.

Tabel 4.12 Hasil *Modal Analysis* pada *Sandwich Panel*

Dimensi Material	Frekuensi Natural (Hz)				Perubahan Frekuensi Natural (%)	
	Utuh		Cacat		<i>mode 1</i>	<i>mode 2</i>
	<i>mode 1</i>	<i>mode 2</i>	<i>mode 1</i>	<i>mode 2</i>		
<i>Core Material A</i>	2188	2970	2174	2961	-0.64	-0.30
<i>Core Material D</i>	2052	2803	2035	2792	-0.84	-0.39
	Rata Rata				-0.74	-0.35

Tabel 4.12 menunjukkan adanya perbedaan frekuensi antara kedua jenis *core material*, dengan ketebalan *faceplate* dan material inti yang sama memiliki perbedaan nilai frekuensi yang berbeda. Apabila dilihat dari hasil dari *Modal Analysis* yang telah dilakukan didapat bahwa *core material A* memiliki frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *core material D*, hasil ini dipengaruhi oleh komposisi talac yang digunakan pada bahan material intinya sehingga membuat kekakuan yang berbeda antara kedua jenis material tersebut. Dengan ketebalan *faceplate* dan *core material* kondisi material inti kondisi utuh dengan kondisi rusak

memiliki tren frekuensi natural berbeda dengan nilai rata-rata penurunan prosentase 0,74% pada *mode 1* dan 0,35% pada *mode 2*. Turunnya nilai frekuensi natural dipengaruhi oleh kekakuan material akibat rusak atau cacat sehingga mempengaruhi kekakuan dari material itu sendiri.

4.5.2 Nilai Koherensi *Sandwich Panel Utuh*

Pada penentuan *Modal Analysis* diperlukan analisa nilai koherensi untuk mengetahui kualitas dan kuantitas data yang diperoleh dari hasil pengujian. Pada penjelasan sebelumnya telah dijelaskan bawasannya nilai koherensi memiliki skala 0 hingga 1. Dimana nilai 1 pada grafik koherensi melambangkan data hasil pengujian antara data input dan output semakin linier atau sama. Sedangkan nilai koherensi yang mendekati angka 0 menyatakan bahwa banyak *noise* yang terdeteksi pada saat melakukan pengujian atau pengolahan data yang kurang tepat.

Tabel 4.13 Nilai koherensi *Sandwich panel* kondisi utuh dan cacat

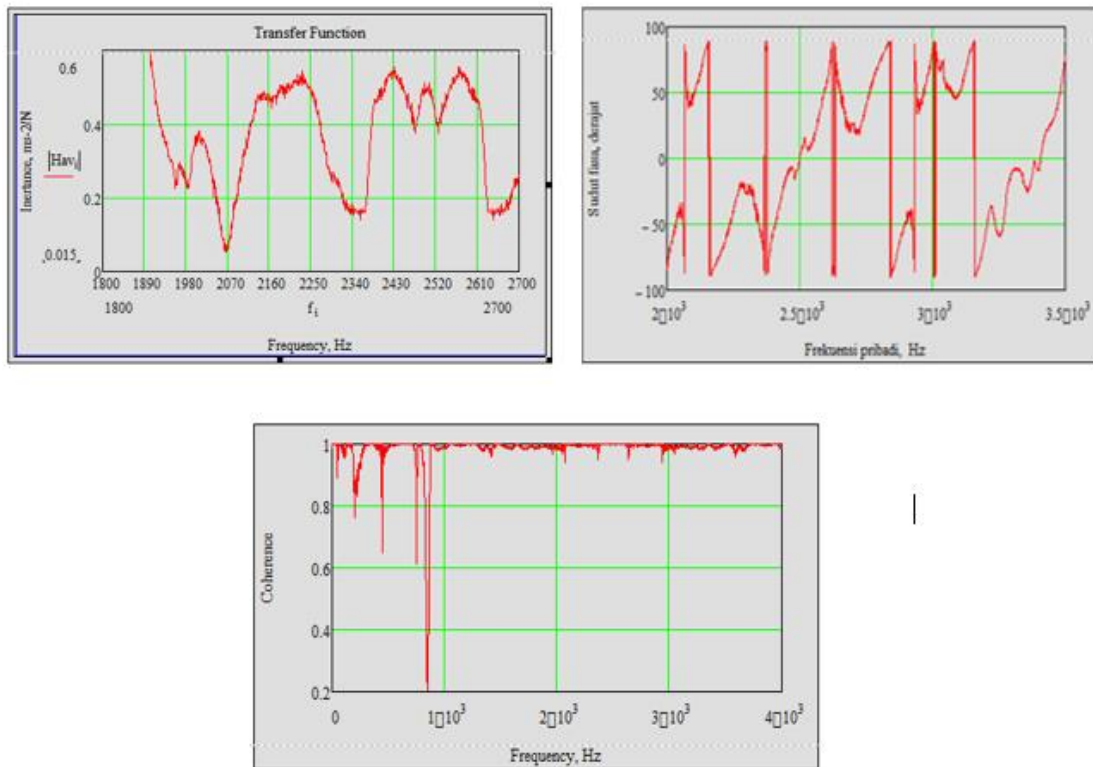
Core Material	Koherensi				Rata-rata
	Utuh		Cacat		
	<i>mode 1</i>	<i>mode 2</i>	<i>mode 1</i>	<i>mode 2</i>	
Core Material A-1	0,90	0,89	0,90	0,93	0,90
Core Material A-2	0,91	0,88	0,90	0,92	0,90
Core Material D-1	0,90	0,88	0,91	0,91	0,90
Core Material D-2	0,91	0,93	0,92	0,90	0,92

Nilai koherensi yang didapat pada tabel 4.13 diolah menggunakan formula 2.40 Dengan hasil secara keseluruhan mendekati nilai 1, ini menunjukkan keseluruhan data yang diambil dan diolah sudah relevan dan mampu digunakan dalam proses analisa. Serta tidak perlu dilakukan pengambilan data maupun pengolahan data ulang.

4.5.3 Perbandingan Hasil Analisis dan Eksperimen *Sandwich Panel Kondisi Utuh*

Pengambilan data pada saat pengujian getaran ini sesuai ilustrasi titik eksitasi pada material uji seperti Gambar 3.12, dimana dilakukan tiga titik eksitasi

(hammer) dan 5 titik *accelerometer*. Setiap titik pengambilan data dilakukan 12 kali pemukulan sehingga menghasilkan 12 data spektrum getaran dalam time domain. Gambar 4.15 merupakan contoh hasil pengolahan data pada pengujian getaran setelah diolah dengan *Fourier Transform* sehingga data yang diperoleh berupa frekuensi domain.



Gambar 4.15 Hasil pengolahan data pada pengujian getaran *Sandwich Panel* kondisi utuh

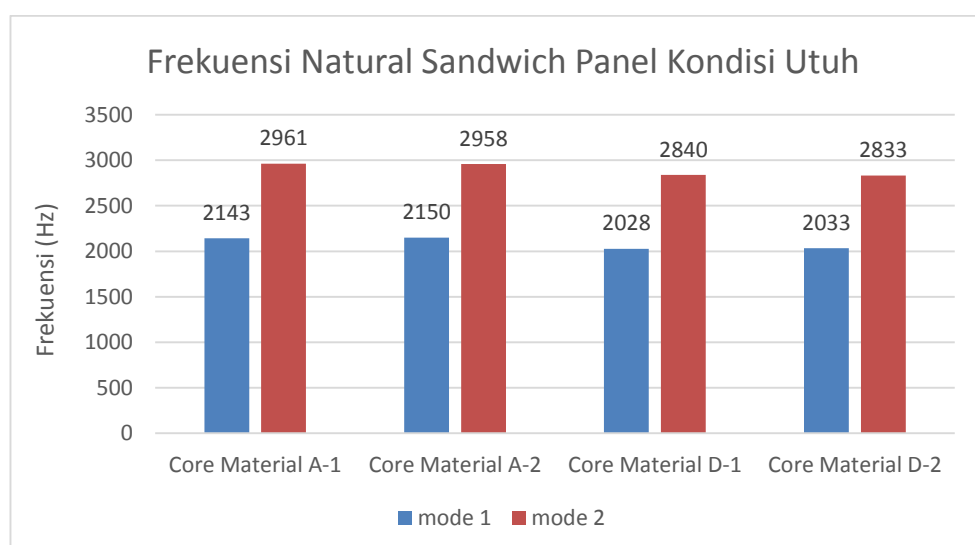
Pada proses selanjutnya, dipilih 6 data terbaik untuk diolah menjadi frekuensi domain. Kategori data yang baik dalam proses pemilihan adalah jika sinyal yang diterima oleh *software analyzer* tidak mengalami *overload* baik dari *hammer* maupun *accelerometer*.

Proses verifikasi hasil merupakan proses membandingkan kedua hasil pengujian antara analisa numerik dengan ekperimental. Hasil ekperimental merupakan variable control dari proses verifikasi ini, karena hasil ekperimental merupakan hasil yang berasal dari keadaan sesungguhnya, bukan keadaan ideal dari hasil analisa pemodelan.

Tabel 4.14 Perbandingan Analisa dan Experimen pada *Sandwich Panel* Kondisi Utuh

Core Material	Frekuensi Natural (Hz)				Perbedaan Frekuensi Natural	
	Analisa		Experimen		mode 1 (%)	mode 2 (%)
	mode 1	mode 2	mode 1	mode 2		
Core Material A-1	2188	2970	2143	2961	-2.12	-0.30
Core Material A-2	2188	2970	2150	2958	-1.76	-0.41
Core Material D-1	2052	2803	2028	2840	-1.17	1.29
Core Material D-2	2052	2803	2033	2833	-0.94	1.05

Tabel 4.14 menunjukkan angka frekuensi natural yang dihasilkan dari analisa dengan pemodelan numerik dan eksperimental, dimana tren yang dimiliki antara analisa model dan percobaan experimen adalah sama. Perbedaan pada setiap jenis *core* dengan komposisi yang berbeda akan mengalami penurunan frekuensi pada material tersebut. Jadi *core material D* frekuensi natural yang dimiliki lebih kecil dibandingkan dengan *core material A*, sama seperti penjelasan sebelumnya perbedaan nilai ini dipengaruhi oleh kekakuan suatu material. Semakin besar nilai modulus elastisitas pada material tersebut maka memiliki frekuensi yang tinggi dibandingkan yang lainnya. Seperti yang digambarkan pada grafik Gambar 4.15 yang menunjukkan hasil pengujian *sandwich panel* pada kondisi utuh.

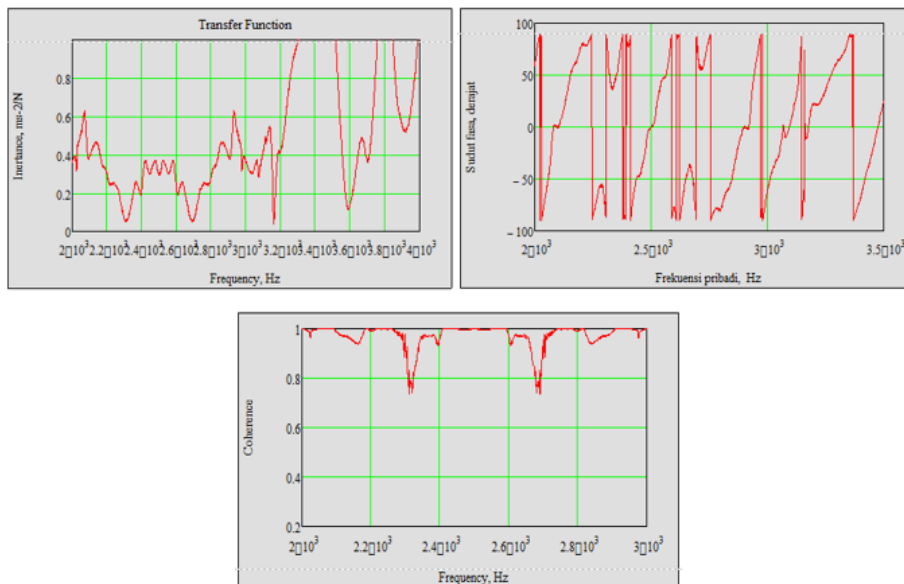


Gambar 4.16 Grafik hasil pengujian getaran *sandwich panel* utuh

Berdasarkan Gambar 4.16 frekuensi natural yang dihasilkan pada material dengan kondisi utuh terdapat perbedaan nilai antara *core material* A dengan D, perbedaan yang terjadi sekitar 30 Hz, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya perbedaan ini terjadi dikarenakan kekakuan pada material tersebut. Terjadi tren penurunan nilai frekuensi antara kedua jenis material tersebut. Perbedaan tersebut juga terjadi pada *mode* 2 yang mengalami perbedaan sekitar 4% lebih kecil dibandingkan dengan *core material* A.

4.5.4 Perbandingan Hasil Analisis dan Eksperimen *Sandwich Panel* Kondisi Cacat

Pengambilan data pada saat pengujian getaran ini sesuai ilustrasi titik eksitasi pada material uji seperti Gambar 3.14, dimana dilakukan tiga titik eksitasi (*hammer*) dan 5 titik *accelerometer*. Setiap titik pengambilan data dilakukan 12 kali pemukulan sehingga menghasilkan 12 data spektrum getaran dalam time domain. Gambar 4.17 merupakan contoh hasil pengolahan data pada pengujian getaran pada *Sandwich Panel* kondisi cacat setelah diolah dengan *Fourier Transform* sehingga data yang diperoleh berupa frekuensi domain.



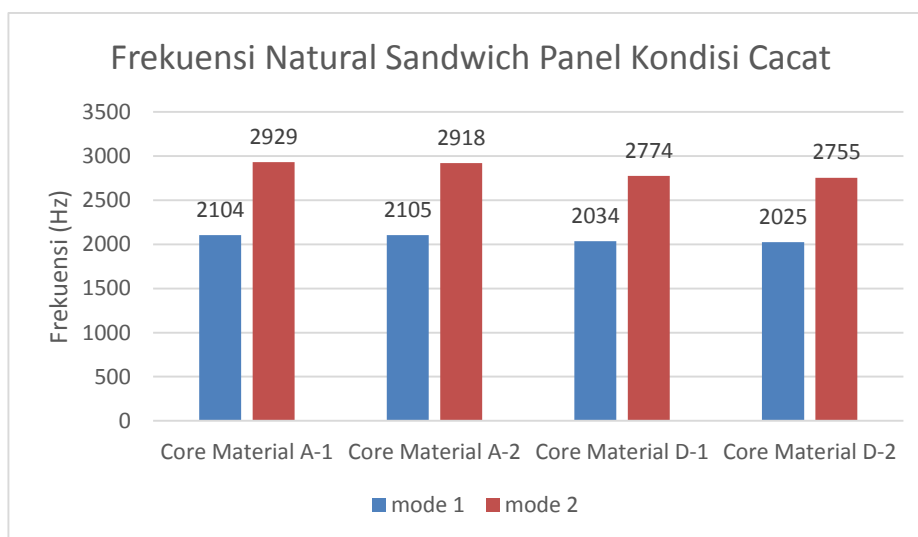
Gambar 4.17 Hasil pengolahan data pada pengujian getaran *Sandwich Panel* kondisi cacat

Proses verifikasi selanjutnya dilakukan pada material *sandwich panel* yang telah diberikan cacat pada *core* seperti yang telah digambarkan pada Gambar 3.16 sehingga hasil dari frekuensi pada material dengan kondisi cacat seperti pada Tabel 4.15 berikut ini.

Tabel 4.15 Perbandingan Analisa *Model* & Percobaan *Experimen* pada *sandwich panel* kondisi cacat

Core Material	Frekuensi Natural (Hz)				Perubahan Frekuensi Natural	
	Analisa		Experimen		mode 1 (%)	mode 2 (%)
	mode 1	mode 2	mode 1	mode 2		
Core Material A-1	2174	2961	2104	2929	-3.35	-1.08
Core Material A-2	2174	2961	2105	2918	-3.29	-1.47
Core Material D-1	2035	2792	2034	2774	-0.07	-0.65
Core Material D-2	2035	2792	2025	2755	-0.49	-1.35

Tabel 4.15 menunjukkan angka frekuensi natural yang dihasilkan dari analisa dengan pemodelan numerik dan eksperimental, dimana tren yang dimiliki antara analisa *model* dan percobaan *experiment* adalah sama. Perbedaan pada setiap jenis *core* dengan komposisi yang berbeda akan mengalami penurunan frekuensi pada material tersebut. Jadi *core material D* frekuensi natural yang dimiliki lebih kecil dibandingkan dengan *core material A*, sama seperti penjelasan sebelumnya perbedaan nilai ini dipengaruhi oleh kekakuan suatu material.



Gambar 4.18 Grafik hasil pengujian getaran *sandwich panel* cacat

Berdasarkan Gambar 4.18 frekuensi natural yang dihasilkan pada material dengan kondisi cact terdapat perbedaan nilai antara *core material* A dengan D, perbedaan yang terjadi dengan rata-rata frekuensi natural 25 Hz pada *mode* 1 dan *mode* 2, perbedaan ini dapat terjadi dikarenakan perbedaan komposisi pada material inti. Sedangkan untuk perbedaan frekuensi natural pada komposisi material inti yang sama terjadi dikarenakan proses pengukatan baut pada dudukan yang tidak sama kekuatannya karena belum menggunakan torsimeter. Sehingga mendapatkan hasil tren penurunan nilai frekuensi natural antara kedua jenis material tersebut.

4.5.5 Hasil dan Analisa *Damping Ratio Sandwich Panel*

Karakteristik dinamis lainnya yang perlu diidentifikasi pada pengujian ini adalah *damping ratio*. Yaitu kemampuan material dalam meredam suatu getaran. Identifikasi ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dengan perbedaan komposisi pada *core* mampu meredam suatu getaran. Pengolahan data menggunakan metode estimasi dengan formula 2.31. Berikut nilai *damping ratio* dari material *sandwich panel* pada kondisi utuh.

Tabel 4.16 Data *damping ratio sandwich panel* kondisi utuh

Jenis Material	Hammer	Posisi acc	ζ_r (%)	Rata-rata
Core Material A-1	1	E	0.606	0.727
	2	E	0.790	
	3	E	0.785	
Core Material A-2	1	E	0.579	0.733
	2	E	0.960	
	3	E	0.661	
Core Material D-1	1	E	0.723	0.768
	2	E	0.745	
	3	E	0.834	
Core Material D-2	1	E	0.601	0.792
	2	E	0.522	
	3	E	1.251	

Tabel 4.16 merupakan nilai *damping ratio* pada material *sandwich panel* kondisi utuh yang dibuat untuk titik *accelerometer* E, dipilihnya titik ini dikarenakan titik E adalah titik tengah dari spesimen uji. Nilai terbaik untuk *damping ratio* adalah 1, sehingga nilai *damping ratio* yang mendekati nilai 1 maka semakin bagus material tersebut dalam meredam getaran. Pada tabel yang disajikan diatas menunjukkan bahwa jenis material inti A ratio yang dimiliki lebih rendah daripada *core material* D, hal ini menggambarkan bahwa jenis variasi komposisi dengan prosentase talac 40% memiliki ratio redaman yang lebih baik karena kekakuan dari material intinya tersebut. Dengan *damping ratio* yang lebih besar, menyebabkan amplitudo yang terjadi pada suatu struktur yang terkena getaran menjadi lebih kecil. Dengan amplitudo yang kecil, umur material akan semakin panjang.

Analisa selanjutnya adalah *damping ratio* pada material *sandwich panel* saat kondisi cacat, dengan menggunakan formula estimasi yang sama seperti kondisi utuh, maka Tabel 4.17 berikut ini merupakan data *damping ratio* material *sandwich panel* pada saat kondisi yang telah dibuat cacat pada *core*.

Tabel 4.17 Data *damping ratio sandwich panel* kondisi cacat

Jenis Material	Hammer	Posisi acc	ζ_r (%)	Rata-rata
Core Material A-1	1	Ea	0.769	0.770
	2	E	0.837	
	3	E	0.705	
Core Material A-2	1	E	0.850	0.785
	2	E	0.865	
	3	E	0.641	
Core Material D-1	1	E	0.850	0.808
	2	E	0.842	
	3	E	0.732	
Core Material D-2	1	E	0.694	0.825
	2	E	0.771	
	3	E	1.011	

Sama halnya dengan ratio pada material *sandwich panel* dengan kondisi utuh, pada kondisi cacat ini dapat dilihat nilai ratio pada material lebih rendah

daripada kondisi utuh. *Core material* A memiliki nilai rata-rata ratio 0,770 dimana nilai ini lebih tinggi dibandingkan kondisi utuh yaitu 0,727. Sedangkan untuk tren nilai ratio setiap jenis *core material* kondisinya sama antara utuh dan cacat yaitu pada *core material* D memiliki redaman terhadap getarannya lebih baik. Jadi, dapat diambil kesimpulan bahwa damping ratio pada dasarnya tidak merubah nilai frekuensi natural, sementara itu ketebalan *core* dan *faceplate* yang sama tidak memiliki perubahan signifikan pada nilai ratio redaman. Tetapi perbedaan angka *damping ratio* terjadi akibat perbedaan komposisi yang mempengaruhi kekakuan pada material *sandwich panel*. Berdasarkan hasil analisa terhadap *damping ratio* pada *Sandwich Panel* menunjukkan perbedaan komposisi *core* mengalami penurunan nilai *damping ratio* -5,89%. Sedangkan nilai *damping ratio* untuk material *Sandwich Panel* utuh dengan cacat mengalami peningkatan 5,36% pada nilai rata-ratanya.

4.5.6 Pengaruh Cacat pada Frekuensi Natural Material *Sandwich Panel*

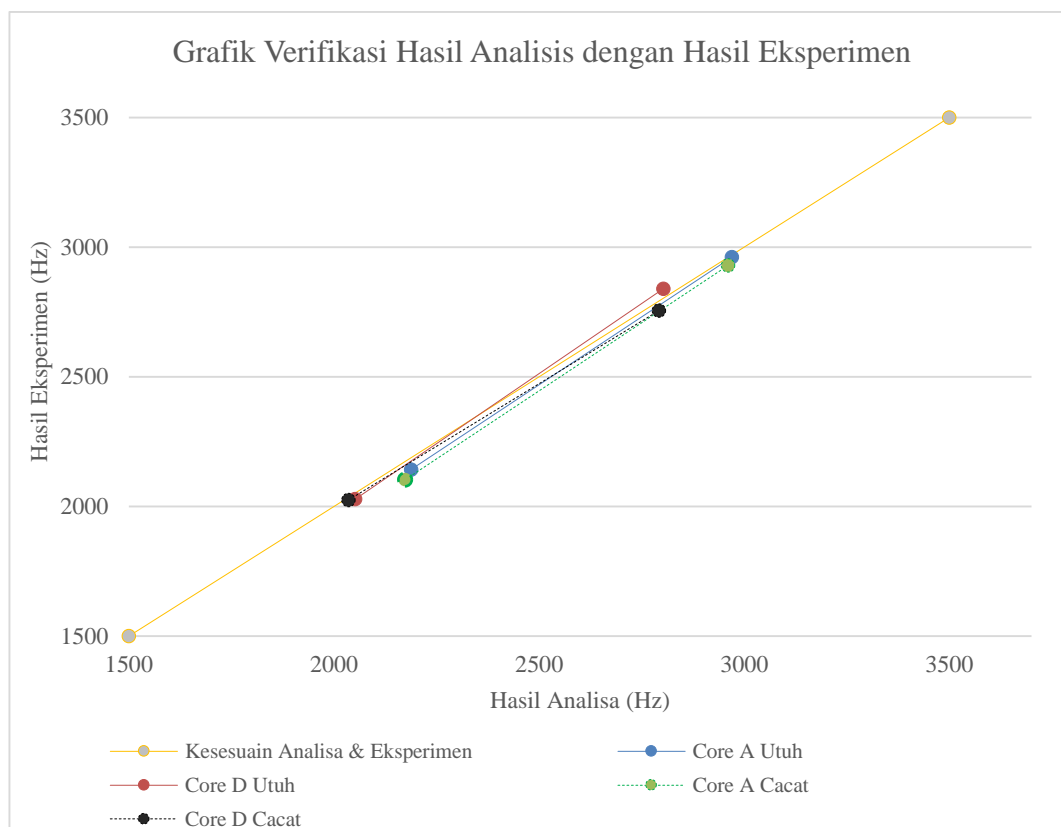
Identifikasi cacat pada material inti *Sandwich Panel* yang telah dilakukan melalui pengujian getaran diperoleh bahwa terjadi penurunan frekuensi natural pada material *sandwich panel* utuh dengan kondisi cacatnya, penurunan frekuensi natural terjadi pada setiap *mode* baik pada analisa model dan eksperimen. Sebagai gambaran kondisi sebenarnya adalah hasil eksperimen. Tabel 4.19 menunjukkan perbedaan prosentase frekuensi natural antara analisa model dengan eksperimen.

Tabel 4.18 Verifikasi hasil keseluruhan pengujian getaran

Core Material	Perbedaan Hasil Analisa dan Experimen (%)				Rata-rata
	Utuh		Cacat		
	mode 1	mode 2	mode 1	mode 2	
Core Material A-1	-2.12	-0.30	-3.35	-1.08	-1.71
Core Material A-2	-1.76	-0.41	-3.29	-1.47	-1.73
Core Material D-1	-1.17	1.29	-0.07	-0.65	-0.15
Core Material D-2	-0.94	1.05	-0.49	-1.35	-0.43
			Rata-rata		-1.01

Pada tabel 4.18 diperlihatkan nilai verifikasi keseluruhan percobaan yaitu perbedaan hasil eksperimen dan analisa model. Hasil eksperimen menjadi tolak ukur pada proses verifikasi, hal ini dikarenakan pada eksperimen merupakan

representasi keadaan sebenarnya. Rata-rata perbedaan hasil penelitian ini secara keseluruhan antara kondisi material *sandwich panel* utuh dan cacat adalah 1,01%. Identifikasi kerusakan material dilakukan pada *core material* A dengan komposisi campuran talac 10% dan *core material* D dengan campuran talac 40%. Gambar 4.19 menunjukkan grafik kesesuaian antara analisa model dengan metode eksperimen.



Gambar 4.19 Grafik verifikasi Hasil pengujian *sandwich panel*

Gambar 4.19 menunjukkan grafik verifikasi antara analisa model dengan eksperimen. Garis yang lurus berwarna abu-abu adalah garis yang melambangkan perbandingan kesesuaian hasil dengan perbedaan 0%. Sumbu x merupakan hasil analisa model dan sumbu y merupakan hasil eksperimen. Titik pertama pada setiap garis melambangkan *mode* 1 dan titik kedua merepresentasikan hasil *mode* 2, apabila hasil yang dilakukan pada pengujian eksperimen dan analisis mempunyai perbedaan yang kecil, garis hasil akan semakin mendekati garis kesesuaian. Begitu pula sebaliknya, jika perbedaan yang terjadi semakin besar, maka garis hasil per dimensi akan semakin menjauh dari garis kesesuaian. Pengaruh terjadinya cacat

pada material inti *Sandwich Panel* dalam eksperimen terjadi penurunan rata-rata frekuensi natural 1,64%.

Dari hasil pengujian getaran yang dilakukan sesuai dengan prosedur pengujian menurut (*Jimin He, 2001*), didapatkan bahwa komposisi talac yang paling kecil (*core material A*) memiliki nilai tegangan lentur yang kecil dibandingkan dengan *core material D* yang memiliki komposisi talak 40%. Dari nilai tegangan lentur tersebut hasil modulus patahnya (*MoR*) menjadi besar pada saat tegangan lenturnya besar. Dari hasil pengujian kekuatan lentur material diperoleh pula bahwa semakin tinggi komposisi talac akan menyebabkan nilai modulus patanya tinggi dan pengaruh pada frekuensi natural material akan menjadi turun. Penurunan frekuensi natural pada komposisi talac yang lebih banyak dipengaruhi oleh berat yang dimiliki oleh materil inti *sandwich panel*. Peranannya dalam konstruksi kapal adalah dengan melakukan analisa estimasi frekuensi natural diperoleh redaman atau *damping*, dimana dengan *damping ratio* yang lebih besar, menyebabkan amplitude yang terjadi pada suatu struktur yang terkena getaran menjadi lebih kecil. Dengan amplitudo yang kecil, umur material akan semakin panjang.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh *Jweeg (2012)* yang melakukan studi komparasi antara eksperimental dan analisa pada material pelat komposit memiliki perbedaan sebesar 8.5%. Penelitian lain oleh *Winahyu (2017)* yang melakukan analisa untuk material *sandwich panel* hasil komparasi antara eksperimen dan analisa memiliki perbedaan 1,57% dengan kerusakan tunggal pada material inti dari *sandwich panel*. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini, hasil yang didapat sudah memadai dan linier dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

4.6 Aplikasi Struktur Berbahan *Sandwich Panel* pada Industri Perkapalan

Sandwich Panel merupakan material ringan yang merupakan struktur dua pelat logam yang dipisahkan oleh material inti elastomer. Plat, biasanya terbuat dari baja, digabungkan sebagai batas luar dari material di kedua sisi dan kemudian disatukan oleh material *polyurethane (Momcilovic & Motok, 2009)*. Penggunaan

Sandwich Panel berdasarkan hasil penelitian ini untuk industri perkapalan ditunjukkan pada Tabel 4.19

Tabel 4.19 Aplikasi *Sandwich Panel* pada Industri Perkapalan

No	Jenis Material	Aplikasi	Ukuran Kapal
1	Core Material A	Kapal Patroli 10 meter	10 meter
2	Core Material B	Kapal Ikan 10 GT	13,5 meter
3	Core Material C	Kapal Ferry Cepat	14 meter
4	Core Material D	Kapal Ferry Ro-Ro 750 GT – Geladak Kendaraan	53 meter

Tabel 4.19 menunjukkan aplikasi penggunaan *Sandwich Panel* pada beberapa jenis kapal atau pada industri perkapalan. Berdasarkan hasil analisa ini diperoleh bahwa *core material D* dengan komposisi talac yang paling banyak dapat diaplikasikan pada geladak kendaraan kapal Ferry Roro 750 GT dengan panjang kapal 53 meter, hal ini diperoleh dengan karakteristik *sandwich panel* yang memiliki komposisi talac paling banyak memiliki kekuatan tekan paling besar yaitu 118,97 Mpa. Sehingga dari hasil ini aplikasi pada industri perkapalan untuk penggunaan material *sandwich panel* adalah ukuran kapal kurang dari 53 meter.

Berikutnya dari Tabel 4.19 disebutkan bahwa untuk *core material C*, dapat dipakai pada kapal Ferry cepat dengan panjang kapal adalah 14 meter. Lokasi penggunaan material *sandwich panel* pada geladak kapal kapal untuk menghilangkan penegarinya. *Core material B* yang memiliki berat lebih kecil dibandingkan *core D* dan *core C* pada aplikasinya dapat digunakan pada Kapal ikan 10 GT dengan panjang 13,5 meter, selanjutnya pada material *Sandwich Panel* yang paling ringan diantara jenis material pada penelitian ini adalah *core material A*. Aplikasi untuk digunakan pada kapal adalah kapal patroli dengan panjang kapal 10 meter. Dari hasil analisa ini dapat disimpulkan bahwa material dengan berat yang lebih ringan dapat diaplikasikan pada kapal dengan manuver tinggi dan akselerasi cepat. Sedangkan untuk material *Sandwich Panel* yang paling berat dapat diaplikasikan pada konstruksi kapal yang memiliki kekuatan paling besar dalam menerima beban.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dalam penentuan *core material* untuk diaplikasikan pada geladak kendaraan dan identifikasi pengaruh adanya cacat pada *core* untuk material *Sandwich Panel* menggunakan getaran, maka didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya adalah :

1. Penelitian ini mendapatkan 4 variasi komposisi *core material* dengan campuran talac terhadap resin yaitu 10%, 20%, 30%, dan 40%. Berdasarkan hasil pengujian densitas *Sandwich Panel* diperoleh bahwa *core material* D memiliki berat yang lebih ringan dibandingkan densitas pelat baja dengan pengurangan berat sebesar 46,73%.
2. Berdasarkan pengujian pada *core material* terjadi perubahan sifat material dengan perbedaan komposisi antara 4 jenis material. Komposisi talac yang lebih sedikit memberikan kekutan tarik yang lebih besar. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan nilai kekuatan material sebesar 12,23% pada pemberian beban tarik.
3. Berdasarkan pengujian geser yang dilakukan untuk mendapatkan kekakuan material bahwa *core material* D mampu memberikan peningkatan kekakuan material sebesar 23,10% pada modulus geser.
4. Berdasarkan hasil pengujian lentur menunjukkan bahwa *core material* D memiliki kekuatan lentur paling tinggi dibandingkan dengan komposisi lainnya dengan perbedaan sebesar 25,33%. Sehingga dari seluruh pengujian yang telah dilakukan, maka dipilih *core material* D sebagai komposisi terbaik untuk digunakan pada material inti dari *Sandwich Panel*.
5. Berdasarkan hasil analisa aplikasi pada struktur kapal, *sandwich panel* mampu memberikan pengurangan berat konstruksi yang terjadi pada model geladak kendaraan dengan dimensi 6 m x 3,5 m sesuai *frame spacing* daerah *midship* sebesar 10,73%. *Sandwich Panel* dapat memberikan kesederhanaan bentuk konstruksi geladak kendaraan, dengan tidak mengurangi nilai

kekuatan dari konstruksi, sehingga menghasilkan bentuk konstruksi yang lebih ringan.

6. Pengujian getaran yang dilakukan menunjukkan bahwa, pengaruh adanya cacat pada material inti *Sandwich Panel* terjadi penurunan rata-rata frekuensi natural sebesar 1,64%.
7. Proses verifikasi yang dilakukan dengan membandingkan antara hasil eksperimen dan analisa model. Prosentase keseluruhan percobaan sebesar 1.01%, hal ini membuktikan bahwa hasil eksperimen telah baik dan linier dengan hasil analisa pemodelan.

5.2 Saran

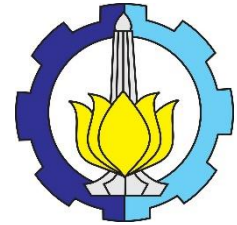
Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, beberapa saran diberikan untuk menunjang hasil penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Analisa perhitungan biaya material dalam penelitian ini hanya menghitung komponen biaya setiap bahan baku pembuatan *Sandwich Panel*, sehingga perlu dilakukan kajian ekonomis untuk memperoleh biaya produksi dengan mempertimbangkan faktor eksternal selama proses produksi *Sandwich Panel*.
2. *Core material* yang digunakan dalam penelitian ini masih bersifat getas, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan konsep produksi yang sama untuk mendapatkan *core material* yang memiliki sifat elastis dan lebih ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Waily, M. (2013), "*Experimental and Numerical Vibration Study of Woven Reinforcement Composite Laminated Plate with Delamination Effect*", Reaserch Gate.
- ASTM C 273, "*Standard Test Method for Shear Properties of Sandwich Core Materials*", American National Standard Institute, United States.
- ASTM C 393, "*Standard test method for flexural properties of sandwich constructions*", American National Standard Institute, United States.
- ASTM C 293, "*Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)*", American National Standard Institute, United States.
- ASTM D 412-68, "*Standard method of tension testing of vulcanixed rubber*", American National Standard Institute, United States.
- ASTM E 1826 - 01, "*Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration*", American National Standard Institute, United States.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016), "*Pembebanan untuk Jembatan*", SNI.1725:2016, BSN, Indonesia.
- Baidowi.A., Utomo.E. (2015), "*Penggunaan Sandwich Plate System (SPS) pada Konstruksi Double Bottom*", *e-journal.undip.ac.id*, Vol.12, No.2. Indonesia.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2006), *Mechanical and Thecnological Tests*, Section.2, BKI, Indonesia.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2016), *Rules for Fibreglass Reinforced Plastic Ships*, Volume V, Part 3, Special Ships, BKI, Indonesia.
- Brooking.M.A., Kennedy.S.J. (2004), "The performance, Safety and Production benefits of SPS structures for Double Hull Tankers", *Proceedings of the RINA conference on Double Hull Tankers*, 25-26.02.2004, London, UK, PP.1-2.
- Det Norske Veritas. (2012), "*Steel Sandwich panel Construction*", Classification notes, No.30.11.
- Ewins, D.J. (1984), "*Modal Testing : Theory and Practice*", Reasearch Studies Press, England

- Gere. J.M, Timoshenko.S.P. (1972), *Strength of Materials*, Jilid 1 & 2 Edisi ke-4, Penerbit Erlangga., Indonesia.
- Goldman, S. (1999), “*Vibration Spectrum Analysis*”, Industrial Press Inc, New York
- Gopichand,A., Krishnaiah,G., Reddy,D., Shankar, N.V.S.(2013) “*Modal Analysis of a Steel Sandwich Plate System (SPS) Floor*” IJERT.
- Jimin, He. Fu, Zhi-Fang.(2001), “*Modal Analysis*”, Butterworth Heinemann,Great Britain
- Jweeg M.j., Hammood. A., Al-Wally, (2012) “*Experimental and Numerik Study of Oblique Crack Effect on Natural Frequency of Different Composite Plate Structure Types*”, Asian Transaction on Engineering.
- Llyod’s Register. (2006),”*Provosional rules for the application of sandwich panel construction to ship structure*”, LR, UK.
- Momcilovic.N., Motok.M. (2009),”*Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of application of Sandwich Plate System*”, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia.
- Ramakrishnan. K, Kumar, P.(2016).”*Application of Sandwich Plate System for Ship Structures*”, Aries Internasional Research Institute, UAE
- Randall, R.B. Tech, B. (1987) “*Frequency Analysis*”, Larsen&Sen, Denmark
- Saito, A. Castanier, M.p. (2008), ”*Vibration Response of Cracked Cantilever Plates Near Natural Frequency Veerings*” AIAA, Illinois.
- Utomo, E. Zubaydi, A. (2016). “*Penggunaan Sandwich panel (Pelat Baja dan Synthetic Resin) Pada Konstruksi Kapal*”, Tesis ITS, Surabaya
- Winahyu, I. Zubaydi, A. (2017). “*Analisis Kerusakan Material Sandwich Panel Pada Konstruksi Kapal Menggunakan Getaran*”, Tesis ITS, Surabaya.



LAMPIRAN
HASIL PENGUJIAN TARIK *CORE MATERIAL*

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK CORE

A1-1

TESIS ITS

Date : 2016/10/17

WINDRA

Shape: Plate

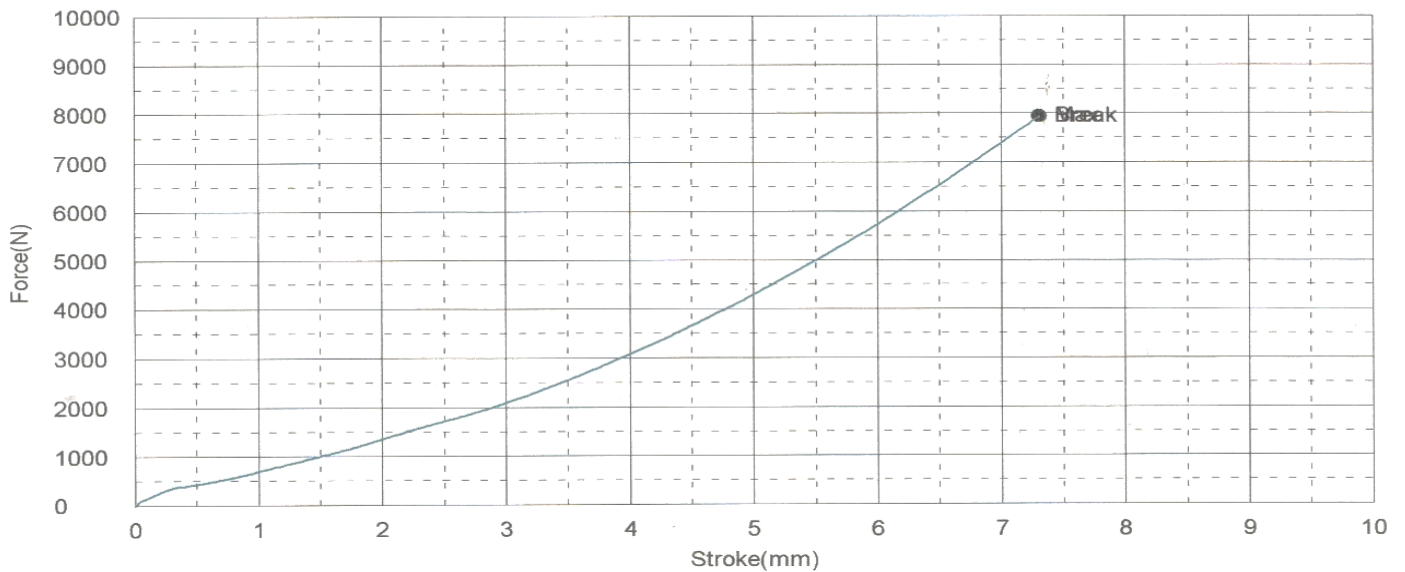
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	16,0000	22,0000	100,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm ²	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm ²	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm ²
Units	N/mm ²	%	N	mm	N/mm ²
1 - 1	--	--	7941,88	7,30600	22,5621

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm ²	%
1 - 1	7,30600	7941,88	7,30600	22,5621	7,30600



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK CORE A1-2 TESIS ITS

Date : 2016/10/17 : WINDRA

Shape: Plate

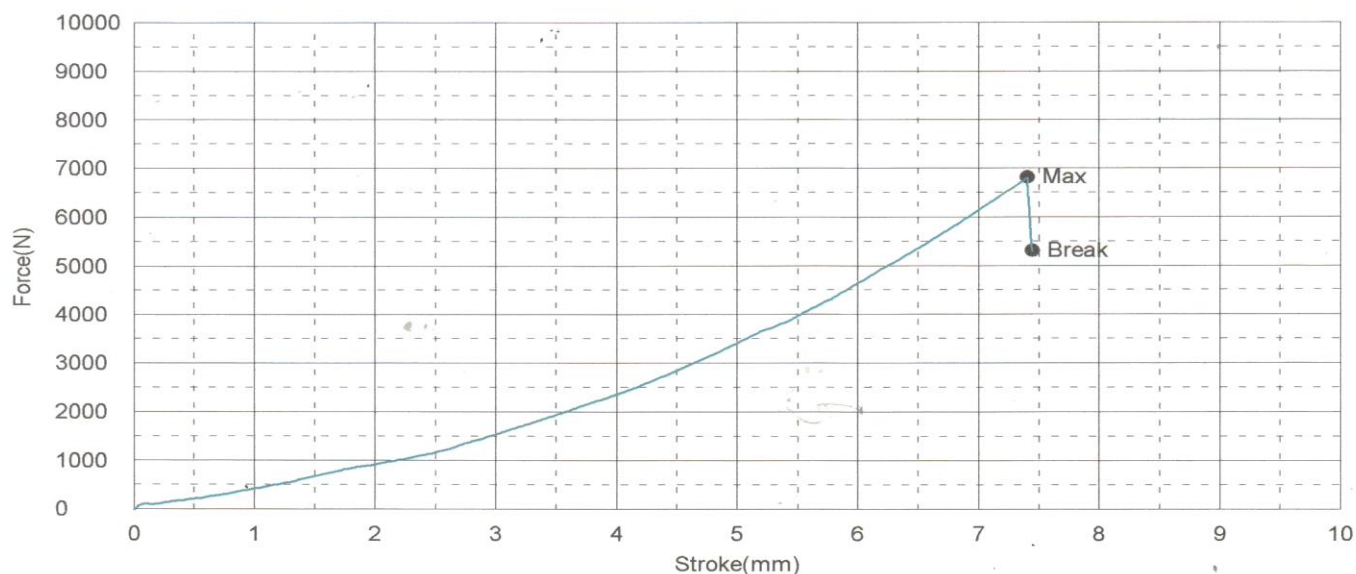
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	15,0000	21,0000	100,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm ²	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm ²	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm ²	%	N	mm	N/mm ²
1 - 1	--	--	6811,25	7,40500	21,6230

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm ²	%
1 - 1	7,40500	5310,00	7,44300	16,8571	7,44300



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK CORE

A1 - 3

TESIS ITS

Date : 2016/10/17

: WINDRA

Shape: Plate

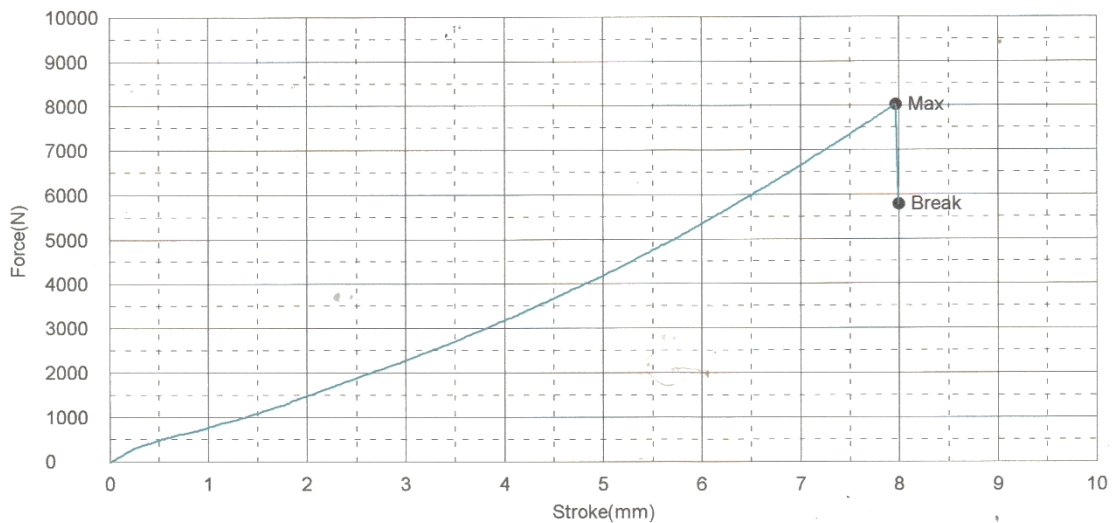
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	15,0000	22,0000	100,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	8018,75	7,96700	24,2992

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	7,96700	5784,38	7,99700	17,5284	7,99700



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK CORE A2-1 TESIS ITS

Date : 2016/10/17 : WINDRA

Shape: Plate

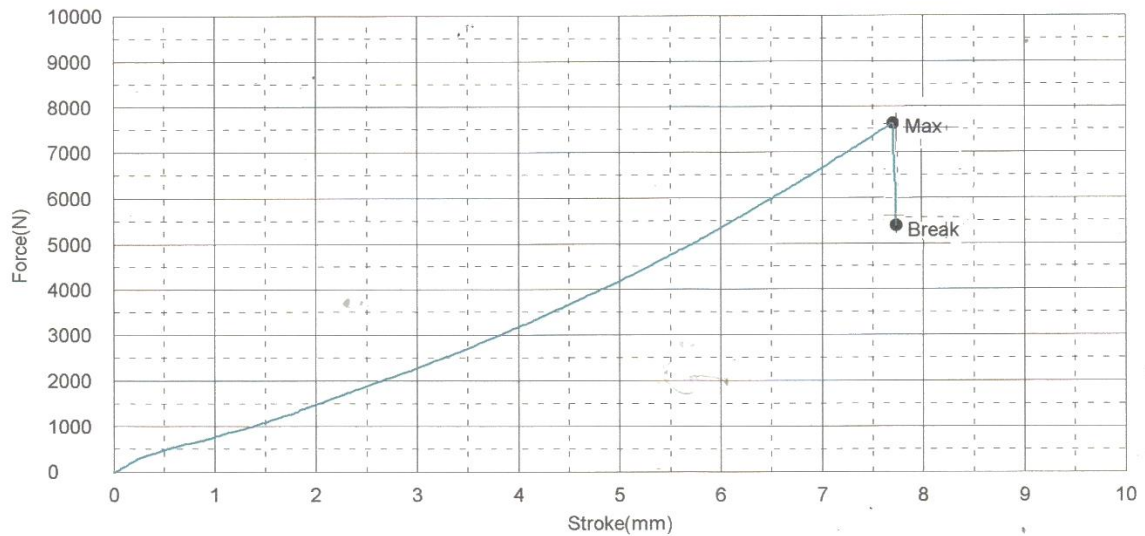
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	15,0000	21,0000	100,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Disp	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	7925,63	7,77650	25,1607

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	5,77650	6926,88	5,81600	21,9901	5,81600



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK CORE A2-3 TESIS ITS

Date : 2016/10/17

WINDRA

Shape: Plate

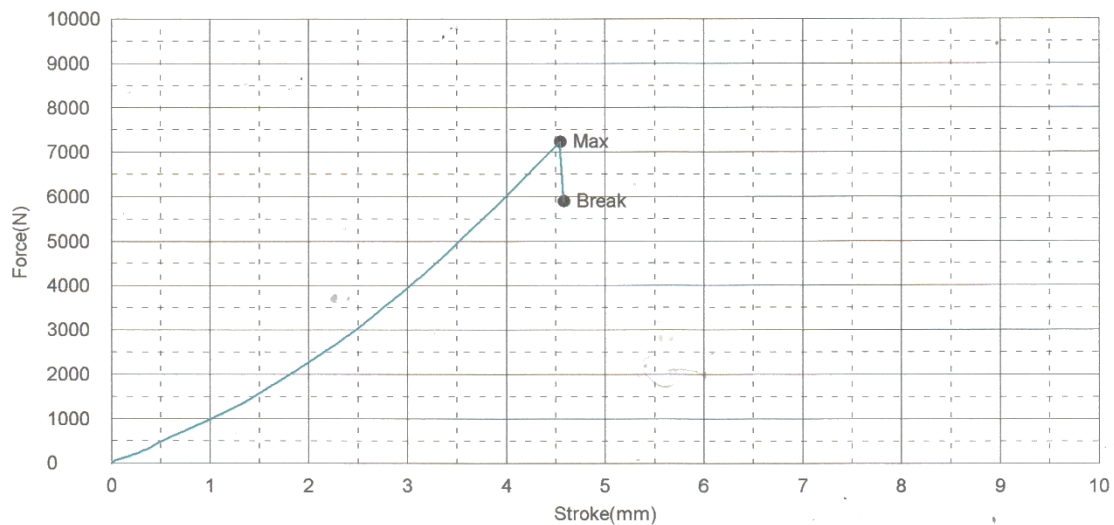
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	15,0000	20,0000	100,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm ²	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm ²	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm ²	%	N	mm	N/mm ²
1 - 1	--	--	7235,63	4,54600	24,1187

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm ²	%
1 - 1	4,54600	5891,88	4,58300	19,6396	4,58300



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK CORE

A3-1

TESIS ITS

Date : 2016/10/17

WINDRA

Shape: Plate

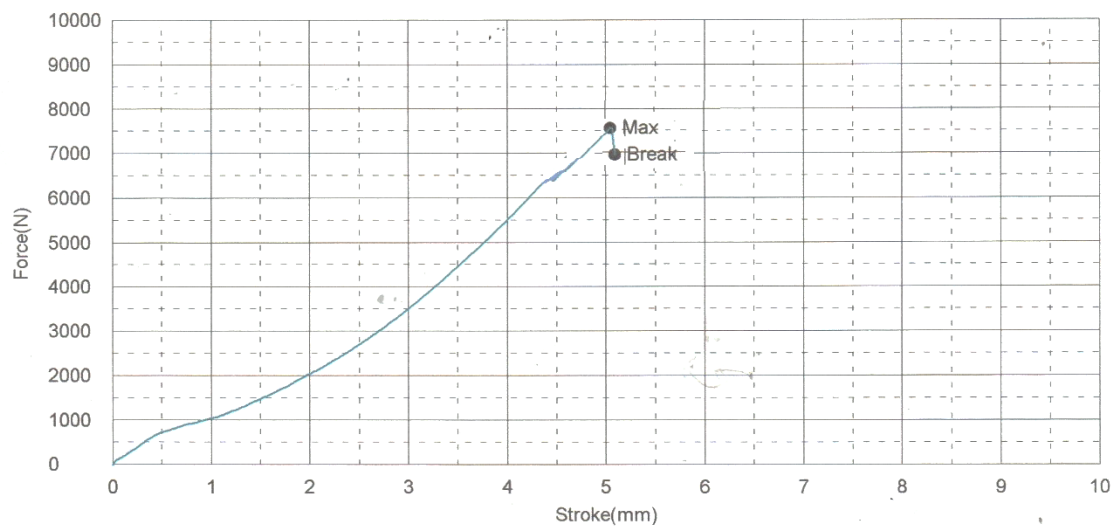
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	16,0000	22,0000	100,0000

Name	YP Force	YP Disp	YP Stress	YP Strain	YS1 Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1 Disp	YS1 Stress	YS1 Strain	YS2 Force	YS2 Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2 Stress	YS2 Strain	Max Force	Max Disp	Max Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	7044,38	5,04900	19,6468

Name	Max Strain	Break Force	Break Disp	Break Stress	Break Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	4,84900	6947,50	4,89450	18,0924	4,89450



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK CORE

A3-2

TESIS ITS

Date : 2016/10/17

WINDRA

Shape: Plate

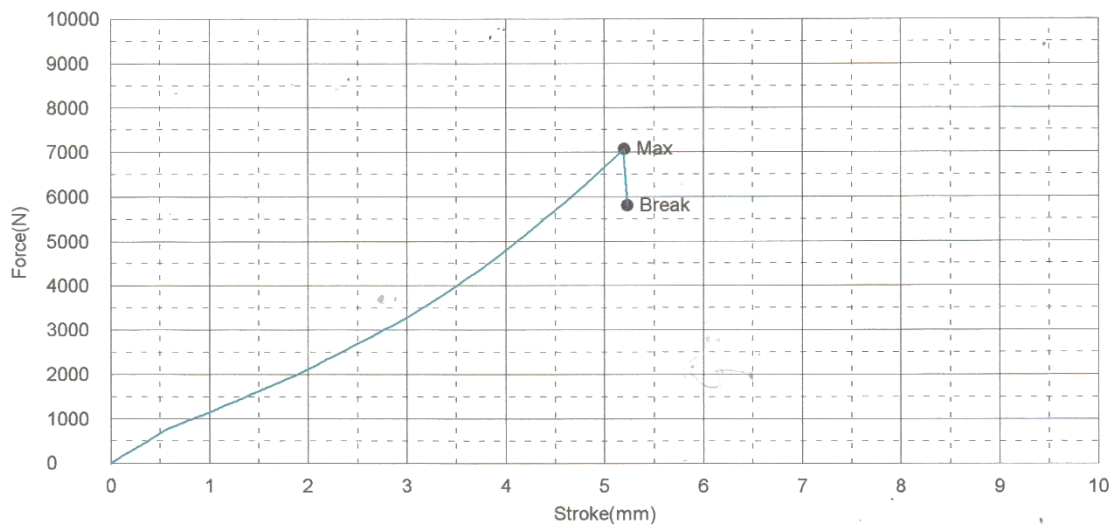
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	16,0000	22,0000	100,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	6973,75	5,19750	17,0042

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	5,19750	5805,63	5,23200	13,9558	5,23200



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK CORE

A3-3

TESIS ITS

Date : 2016/10/17

WINDRA

Shape: Plate

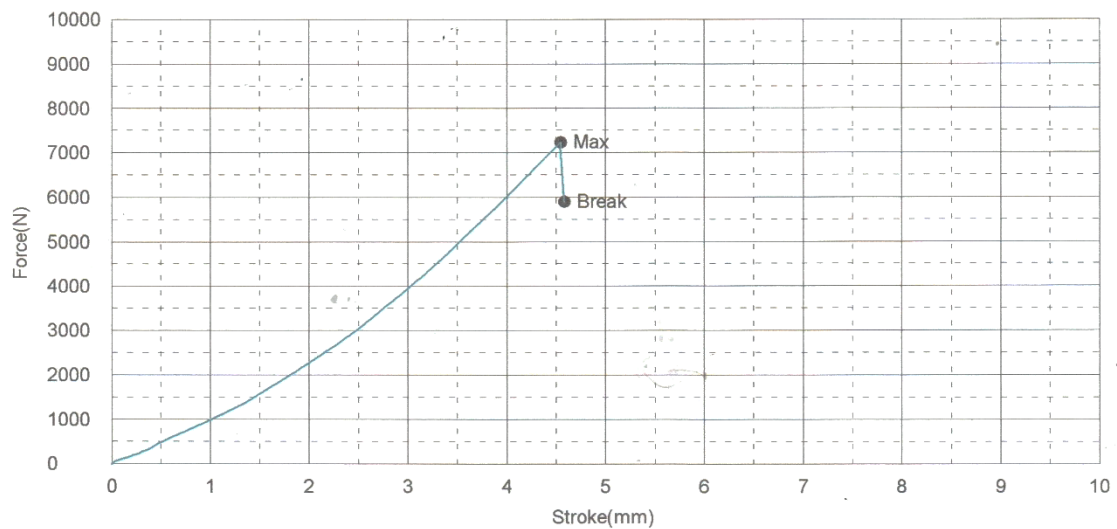
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	16,0000	23,0000	100,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	7293,75	5,69900	13,0265

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	3,96900	5823,13	4,60200	10,3889	4,00200



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK CORE

A4-1

TESIS ITS

Date : 2016/10/17

WINDRA

Shape: Plate

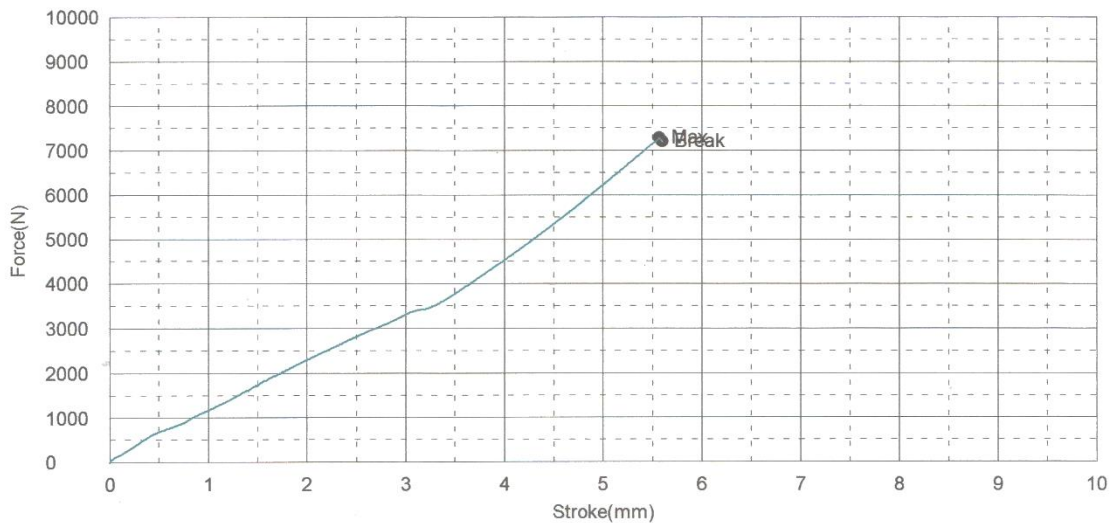
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	16,0000	22,0000	100,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	7285,63	5,96850	23,6546

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	5,56850	7201,25	5,99900	23,3807	5,59900



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK CORE

A4-2

TESIS ITS

Date : 2016/10/17

WINDRA

Shape: Plate

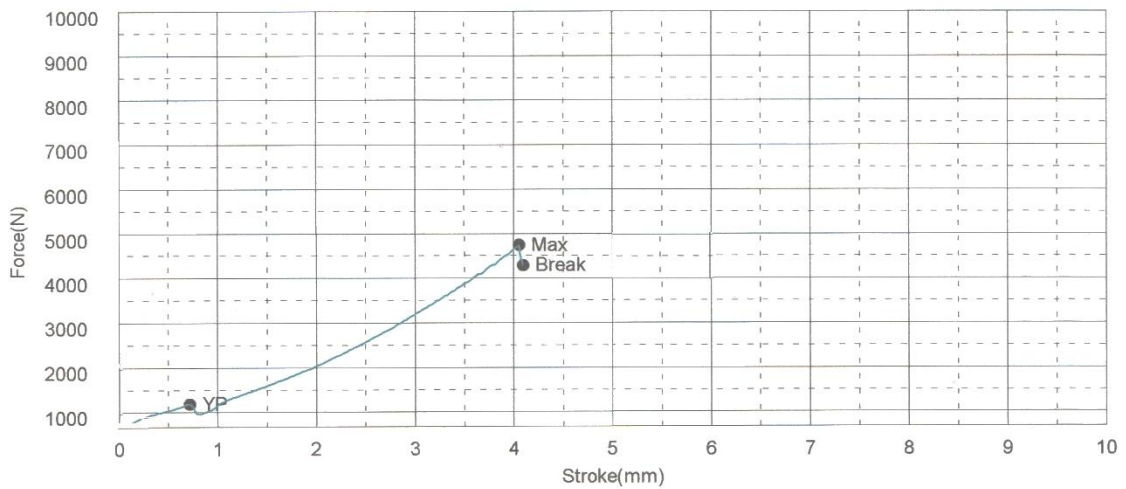
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	16,0000	24,0000	100,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS2_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm ²	%	N
1 - 1	1188,75	1,71900	3,53795	1,71900	--

Name	YS2_Displacement	YS2_Stress	YS2_Strain	YS1_Force	YS1_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm ²	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Stress	YS1_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm ²
Units	N/mm ²	%	N	mm	N/mm ²
1 - 1	--	--	4141,88	4,19250	14,1127

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm ²	%
1 - 1	5,05250	4290,00	5,09450	12,7679	5,09450



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN TARIK CORE

A4-3

TESIS ITS

Date : 2016/10/17

WINDRA

Shape: Plate

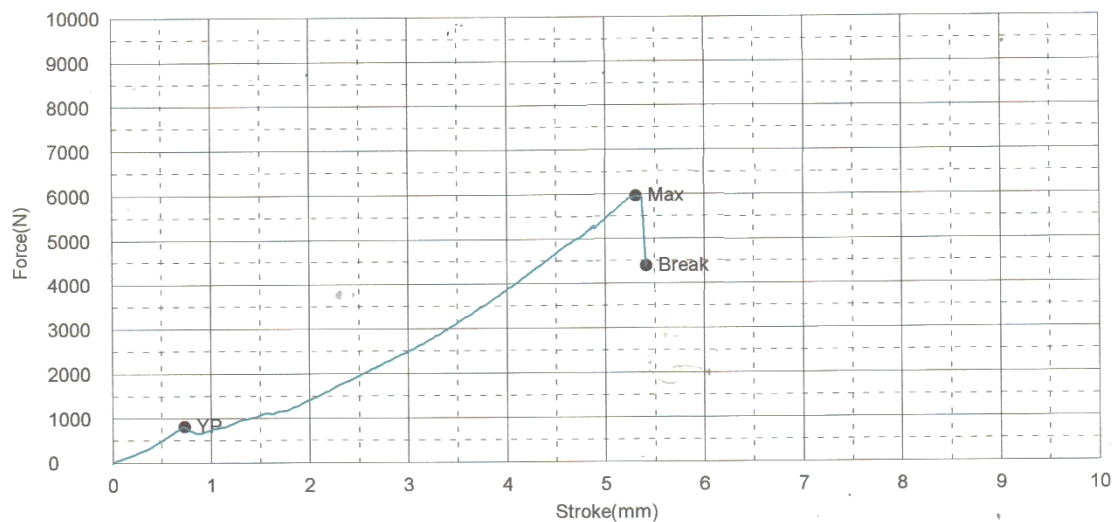
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	15,0000	22,0000	100,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm ²	%	N
1 - 1	819,375	,72700	2,48295	,72700	--

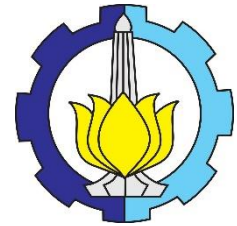
Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm ²	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm ²	%	N	mm	N/mm ²
1 - 1	--	--	6068,13	5,31150	24,1458

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm ²	%
1 - 1	6,31150	4388,75	5,41350	19,3598	6,41350



Comment



LAMPIRAN
HASIL PENGUJIAN GESER *CORE MATERIAL*

LAPORAN HASIL PENGUJIAN GESER

CORE A

Date : 2017/02/24

WINDRA

Shape: Plate

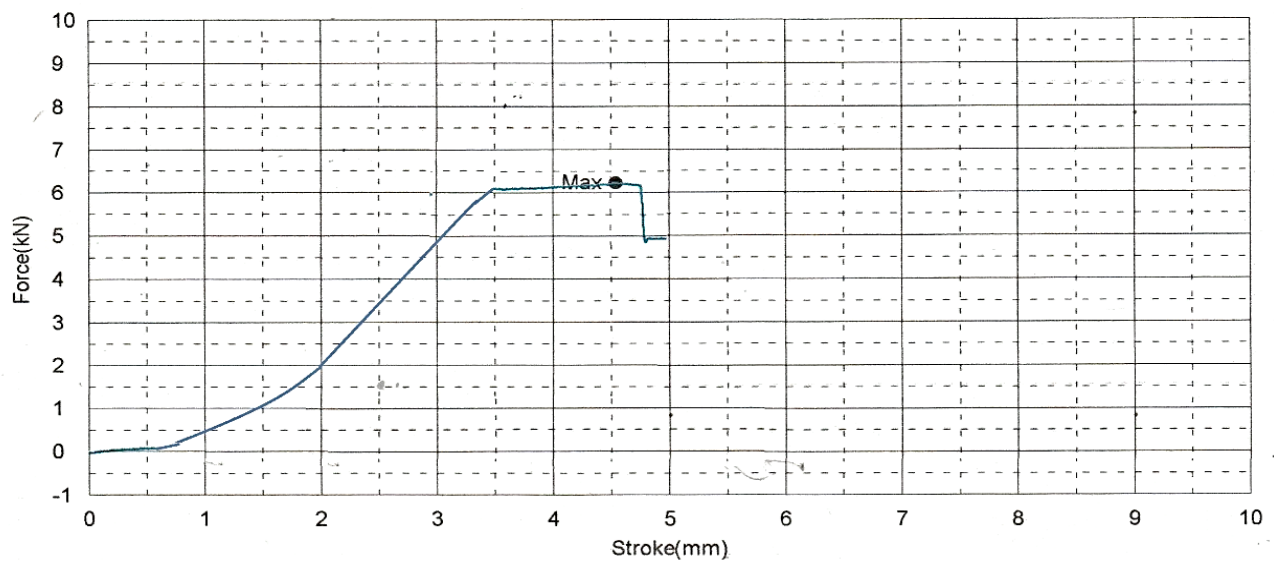
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	20,0000	50,0000	150,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Disp	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	kN	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	6,23750	4,54250	3,77344

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	kN	mm	N/mm2	%
1 - 1	6,36167	--	--	--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN GESER

CORE B

Date : 2017/02/24

WINDRA

Shape: Plate

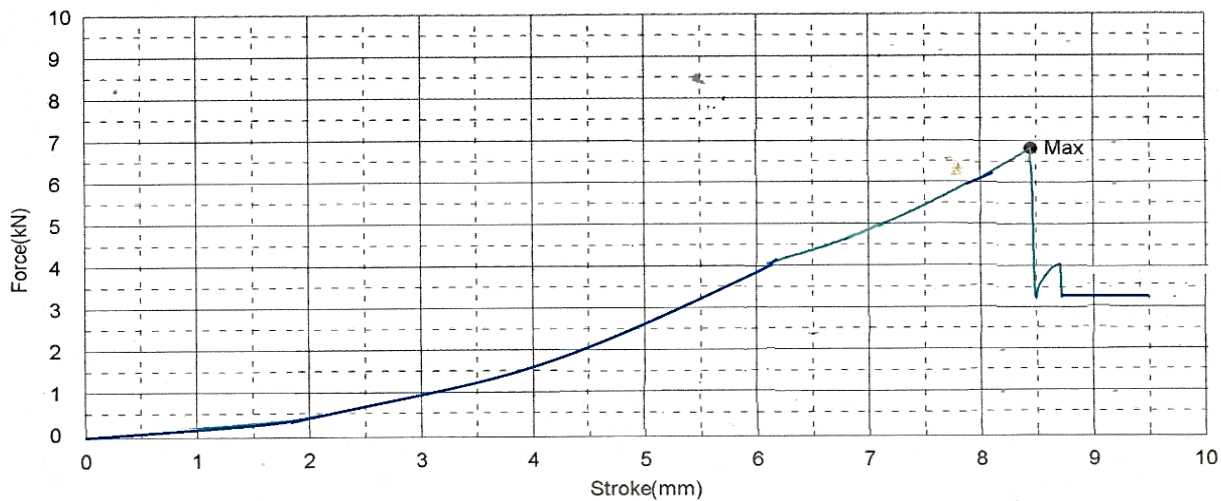
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	30,0000	55,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	kN	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	6,82188	8,45400	4,52235

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	kN	mm	N/mm2	%
1 - 1	6,97294	--	--	--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN GESER

CORE C

Date : 2017/02/22

WINDRA

Shape: Plate

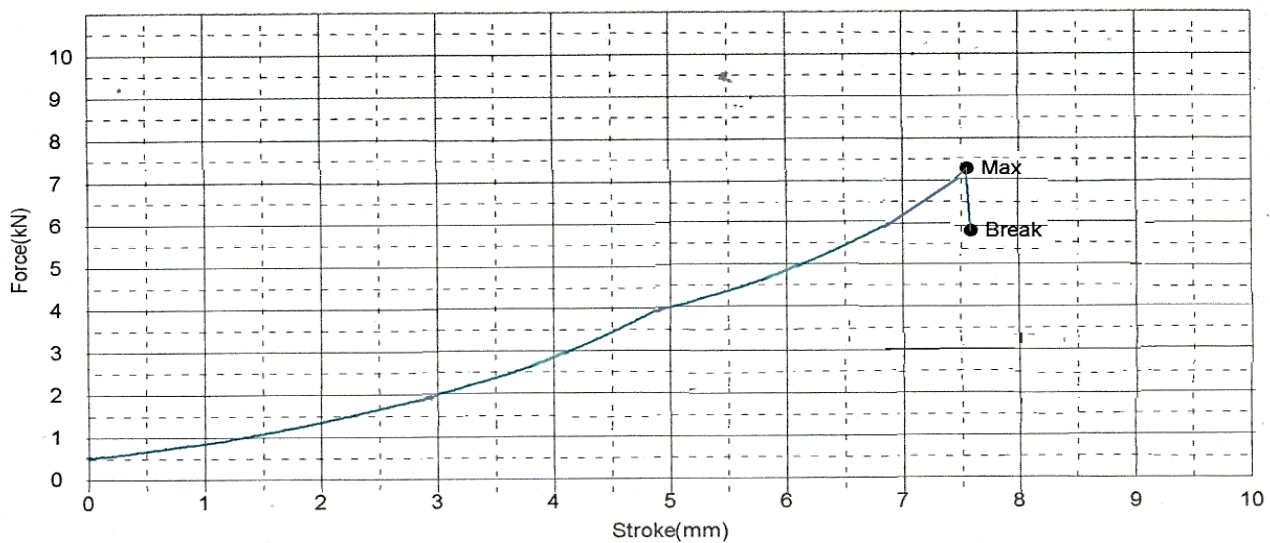
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	30,0000	55,0000	170,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm ²	%	kN	mm	N/mm ²
1 - 1	--	--	7,59372	7,45400	2,92235

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	kN	mm	N/mm ²	%
1 - 1	4,97294			--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN GESER CORE D

Date : 2017/01/04

WINDRA

Shape: Plate

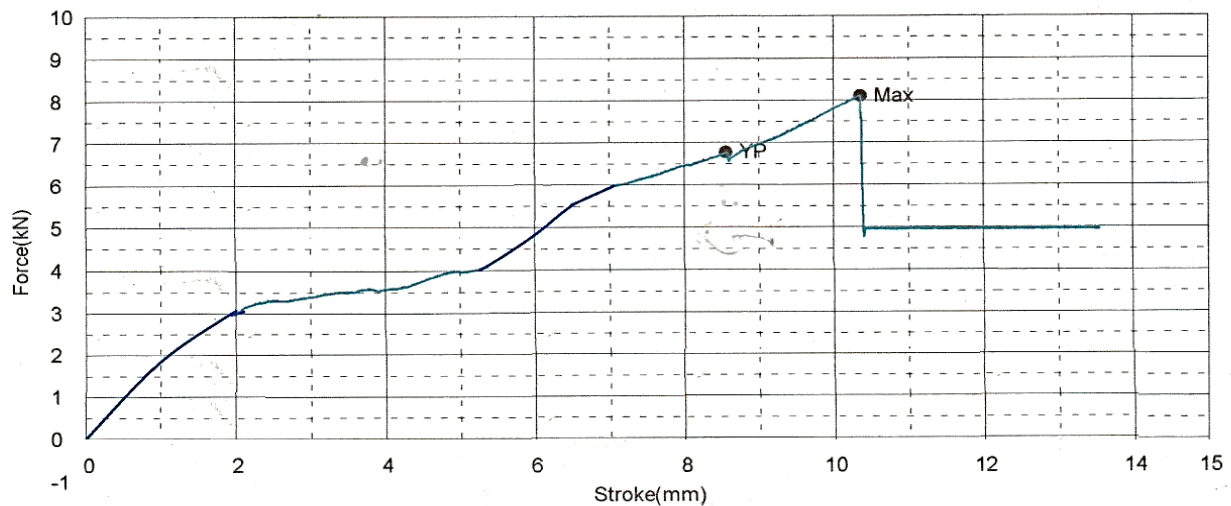
	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1 - 1	30,0000	65,0000	250,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1 - 1	6,78125	8,55200	,91346	3,42080	--

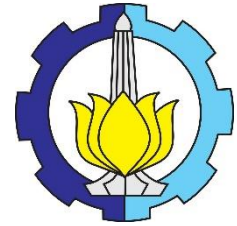
Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm ²	%	kN	mm	N/mm ²
1 - 1	--	--	8,10938	10,3540	1,59455

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	kN	mm	N/mm ²	%
1 - 1	4,14160	--	--	--	--



Comment



LAMPIRAN
HASIL PENGUJIAN LENTUR
SANDWICH PANEL

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL A-1 THESIS - ITS

: WINDRA Date : 2017/03/21

Shape: Plate

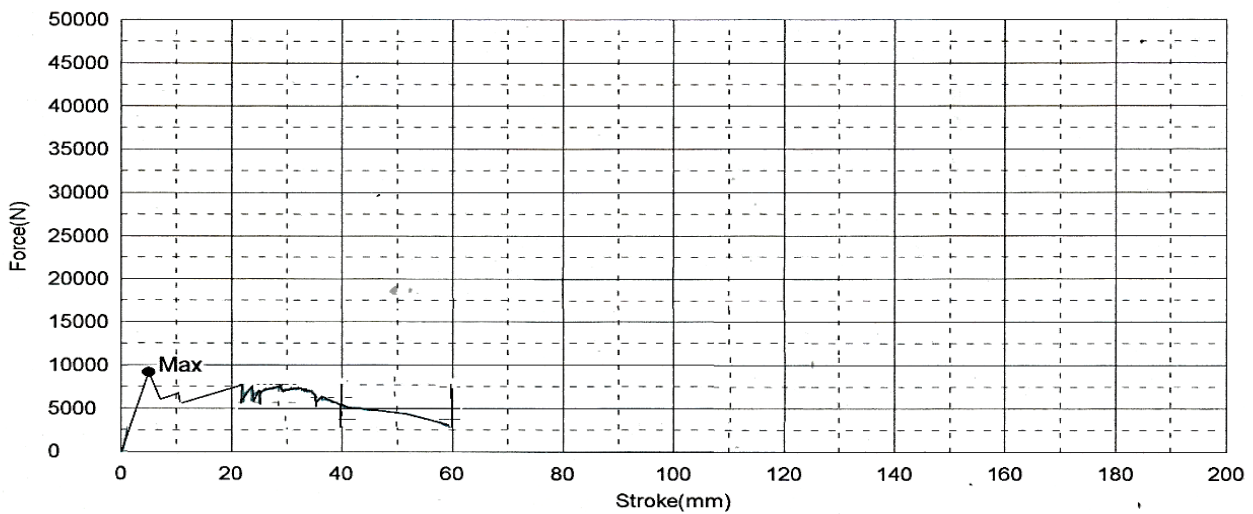
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	27,0000	50,0000	250,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm ²	%	N
1 - 1	7312,50	2,75300	32,1350	2,34923	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm ²	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm ²	%	N	mm	N/mm ²
1 - 1	--	--	12380,6	43,3337	66,9754

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm ²	%
1 - 1	54,0448	5000,00	84,854	21,9727	98,0087



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL A-2 THESIS ITS

Date : 2017/03/21 : WINDRA

Shape: Plate

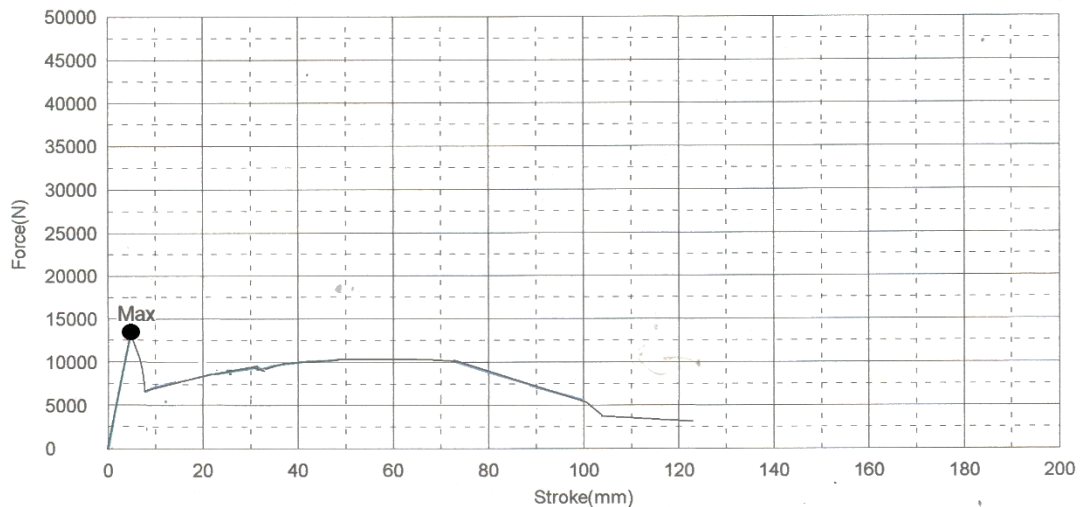
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	32,0000	50,0000	250,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	1889,06	,58450	13,8359	,17956	--

Name	YS1_Disp	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	10872,19	56,2603	66,5932

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	17,2831	2498,44	110,033	18,2991	33,8021



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL A-3 THESIS ITS

Date : 2017/03/21

WINDRA

Shape: Plate

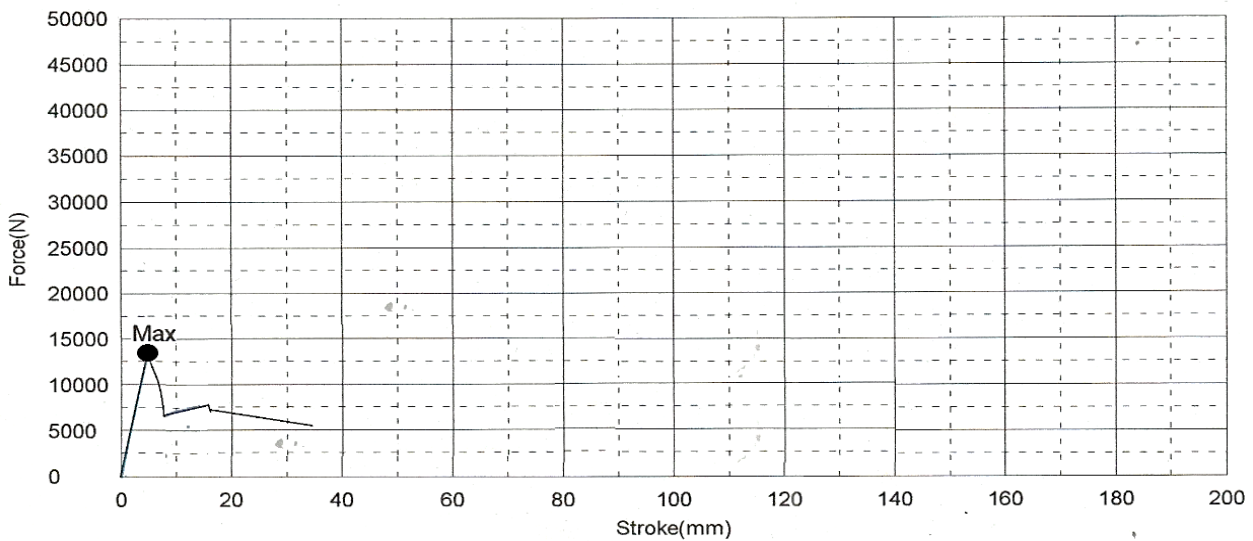
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	32,0000	50,0000	250,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	1889,06	,58450	13,8359	,17956	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	10872,19	56,2603	66,5932

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	17,2831	2498,44	110,033	18,2991	33,8021



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL

A-4

Date :

2017/03/21

:

WINDRA

Shape: Plate

	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
A2	35,0000	50,0000	200,0000

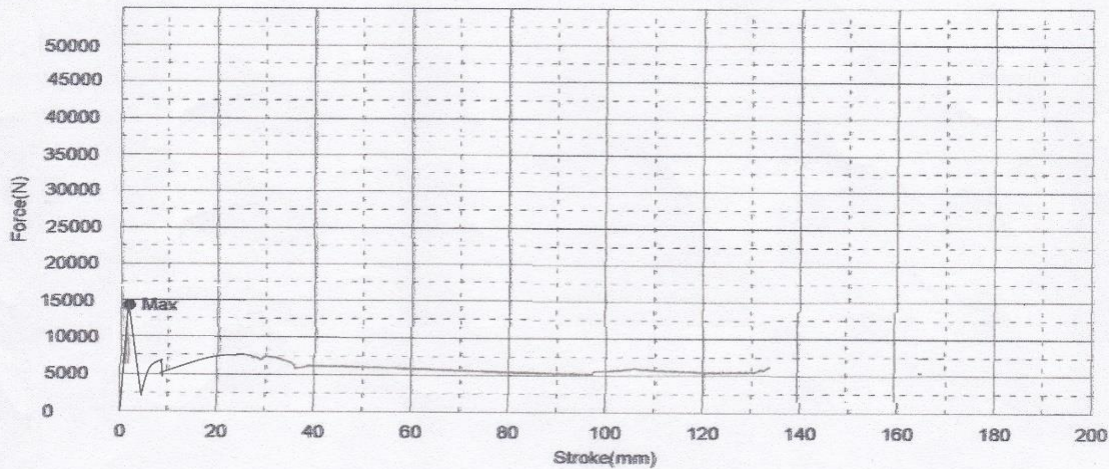
Name	YP Force	YP Disp	YP Stress	YP Strain	YS1 Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
A2	--	--	--	--	--

Name	YS1 Disp	YS1 Stress	YS1 Strain	Max Force	Max Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %		
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
A2	--	--	--	12874,82	1,57800

Name	Max Stress	Max Strain	Break Force	Break Disp	Break Stress
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
A2	287,143	,82845	--	--	--

Name	Break Strain	LYP Force	LYP Disp	LYP Stress	LYP Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
A2	--	--	--	--	--

Name	YS2 Force	YS2 Disp	YS2 Stress	YS2 Strain
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%
A2	--	--	--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL A-5 THESIS ITS

Date : 2017/03/21 : WINDRA

Shape: Plate

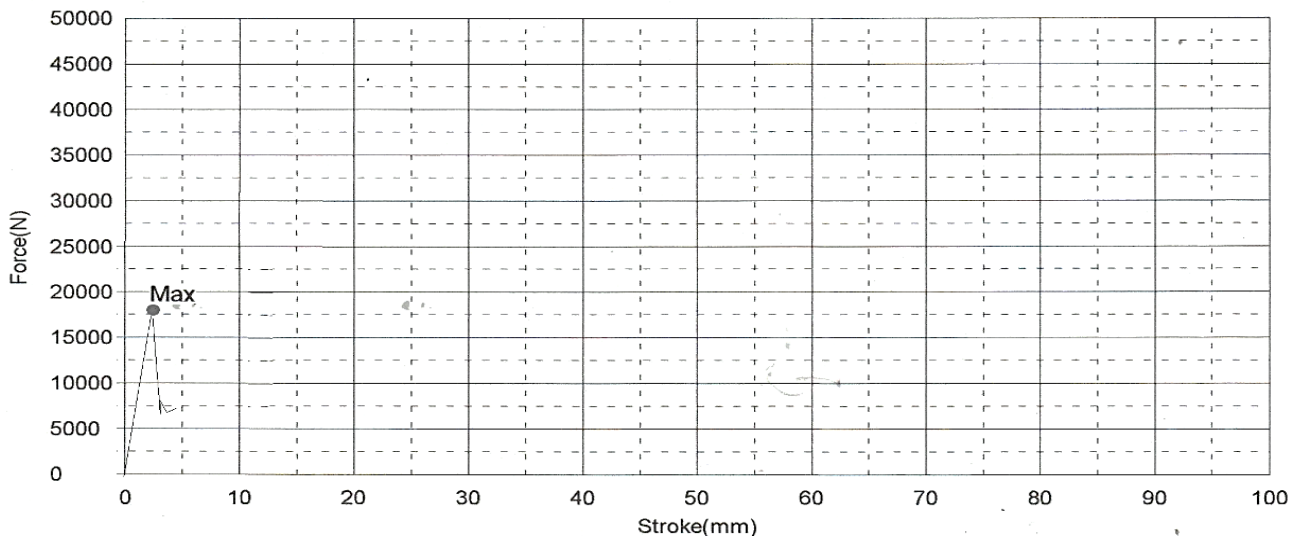
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	32,0000	50,0000	150,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Disp	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	20391,9	3,39800	115,906

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,52910	15946,9	3,43100	106,313	1,54395



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL

B - 1

Date : 2017/03/21 : WINDRA

Shape: Plate

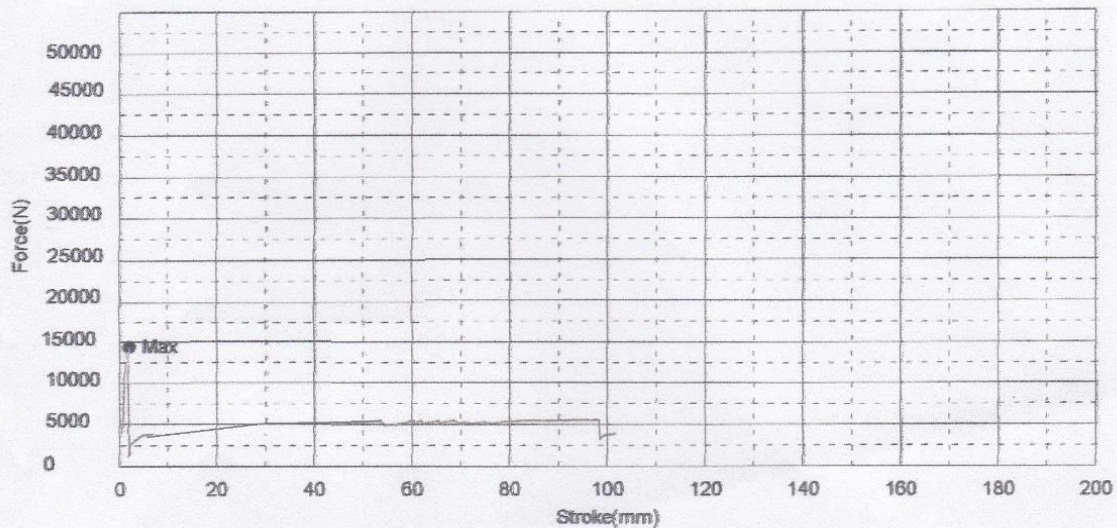
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
C4	33,0000	49,0000	200,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	N	mm	N/mm2	%	N
C4	--	--	--	--	13843,8

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	YS1_Force	YS1_Displacement
Parameter				0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
C4	1,84600	218,383	,91377	--	--

Name	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement	YS2_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
C4	--	--	--	--	--

Name	YS2_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Parameter	0,2 %				
Units	%	N	mm	N/mm2	%
C4	--	--	--	--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL B-2

Date : 2017/03/21 : WINDRA

Shape: Plate

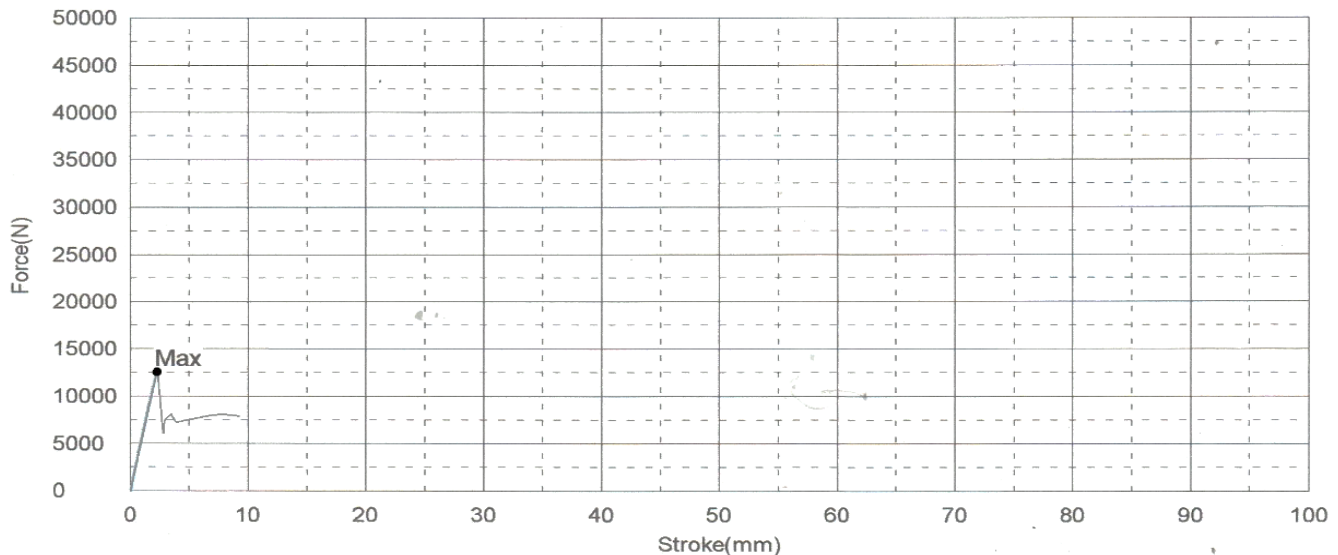
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	33,0000	50,0000	200,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm ²	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm ²	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm ²	%	N	mm	N/mm ²
1 - 1	--	--	12385,9	3,39800	115,906

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm ²	%
1 - 1	1,52910	15946,9	3,43100	106,313	1,54395



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL B-3

Date : 2017/03/21

WINDRA

Shape: Plate

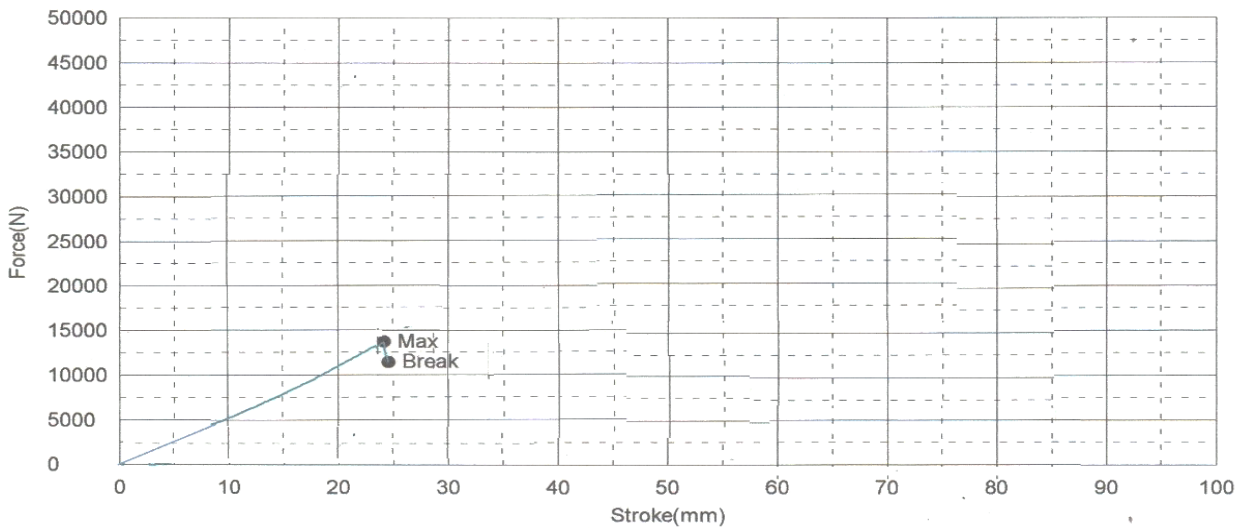
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	35,0000	50,0000	250,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	848,438	1,60600	5,65625	,72270	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	13467,31	24,3640	29,7813

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	24,9138	2506,25	80,4310	16,7083	36,1940



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL

B-4

Date :

2017/03/21

:

WINDRA

Shape: Plate

	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
A2	35,0000	50,0000	200,0000

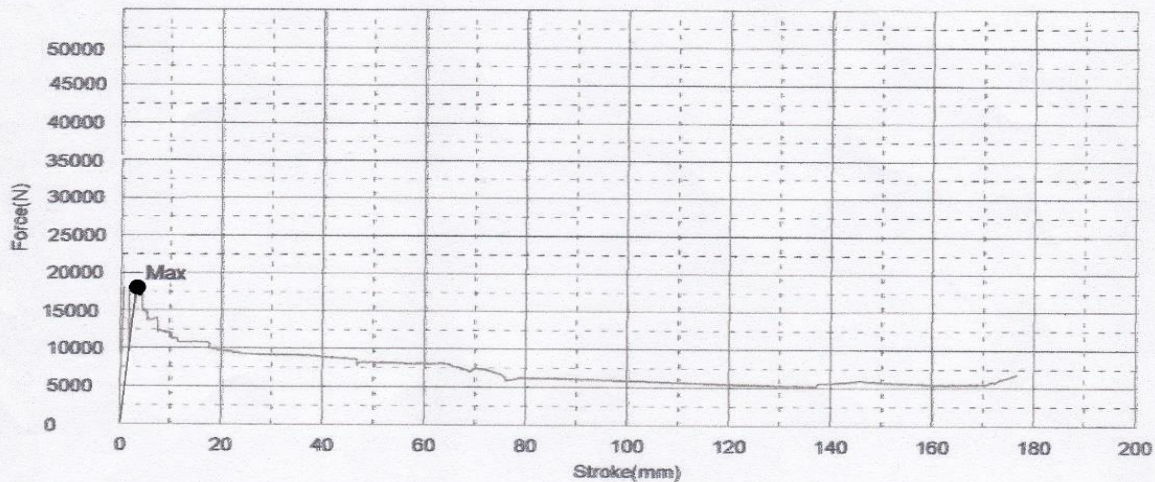
Name	YP Force	YP Disp	YP Stress	YP Strain	YS1 Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
A2	--	--	--	--	--

Name	YS1 Disp	YS1 Stress	YS1 Strain	Max Force	Max Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %		
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
A2	--	--	--	58625,0	1,57800

Name	Max Stress	Max Strain	Break Force	Break Disp	Break Stress
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
A2	287,143	,82845	--	--	--

Name	Break Strain	LYP Force	LYP Disp	LYP Stress	LYP Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
A2	--	--	--	--	--

Name	YS2 Force	YS2 Disp	YS2 Stress	YS2 Strain
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%
A2	--	--	--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL B-5 THESIS ITS

Date : 2017/03/21

WINDRA

Shape: Plate

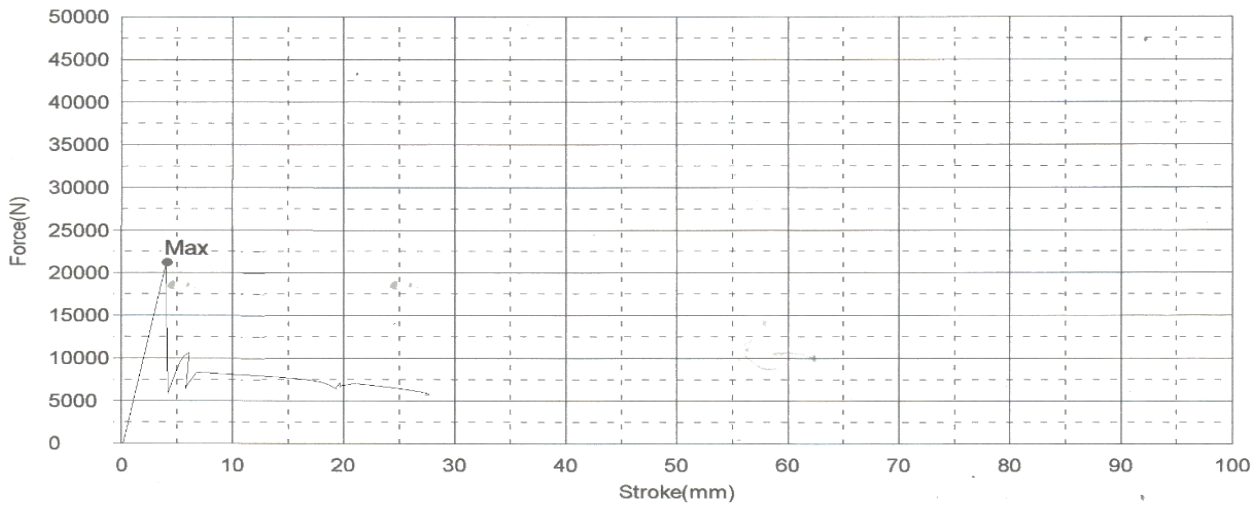
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	32,0000	50,0000	150,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	20391,9	3,39800	115,906

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,52910	15946,9	3,43100	106,313	1,54395



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL C-1

Date : 2017/03/21

WINDRA

Shape: Plate

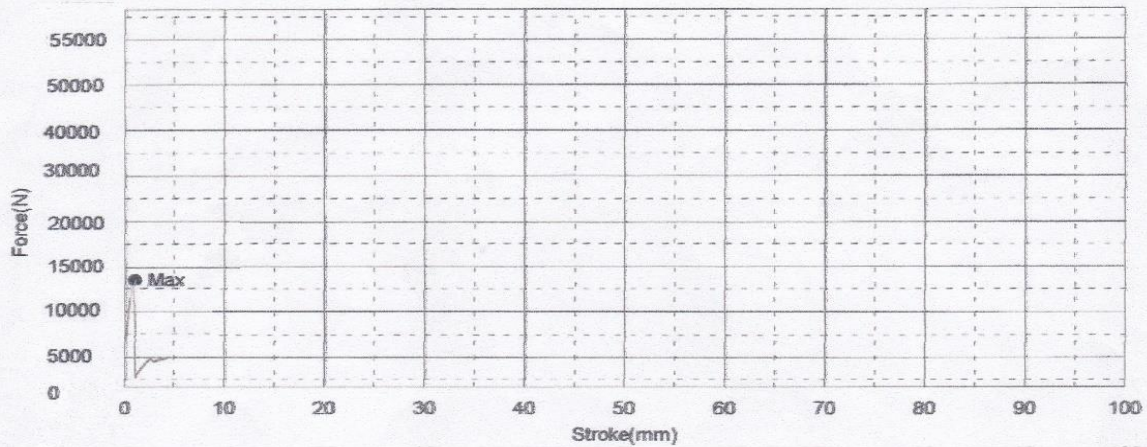
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
A4	35,0000	50,0000	250,0000

Name	YP Force	YP Disp	YP Stress	YP Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	N	mm	N/mm2	%	N
A4	--	--	--	--	12562,5

Name	Max Disp	Max Stress	Max Strain	Break Force	Break Disp
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
A4	,97075	125,204	,50964	--	--

Name	Break Stress	Break Strain	YS1 Force	YS1 Disp	YS1 Stress
Parameter			0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
A4	--	--	--	--	--

Name	YS1 Strain	YS2 Force	YS2 Disp	YS2 Stress	YS2 Strain
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	%	N	mm	N/mm2	%
A4	--	--	--	--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL

C-2

Date : 2017/03/21

WINDRA

Shape: Plate

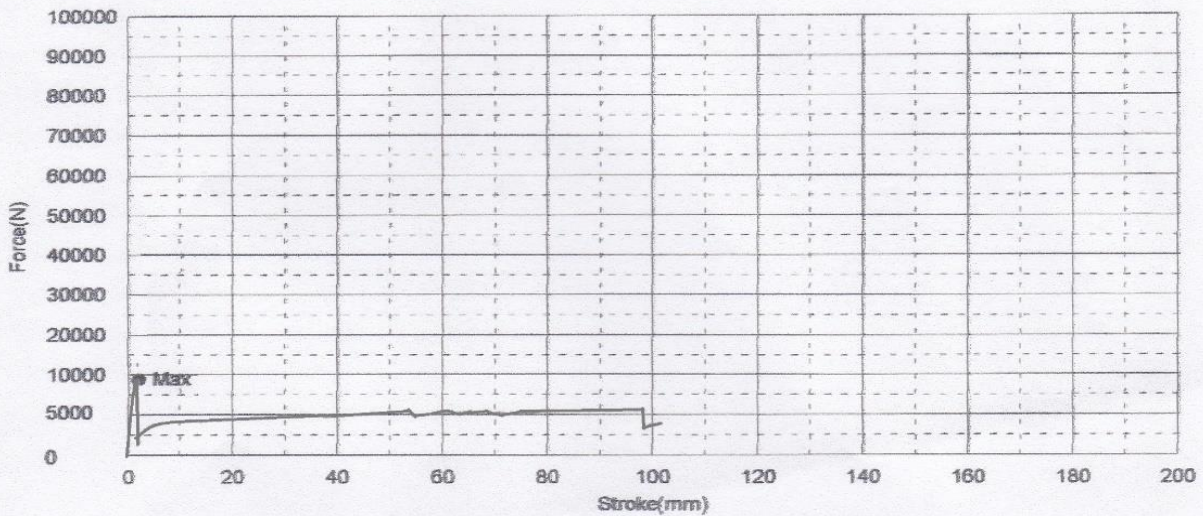
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
C4	33,0000	49,0000	200,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	N	mm	N/mm ²	%	N
C4	--	--	--	--	91377,8

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	YS1_Force	YS1_Displacement
Parameter				0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm ²	%	N	mm
C4	1,84600	218,383	,84607	--	--

Name	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement	YS2_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	N/mm ²	%	N	mm	N/mm ²
C4	--	--	--	--	--

Name	YS2_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Parameter	0,2 %				
Units	%	N	mm	N/mm ²	%
C4	--	--	--	--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL C-3

Date : 2017/03/21 : WINDRA

Shape: Plate

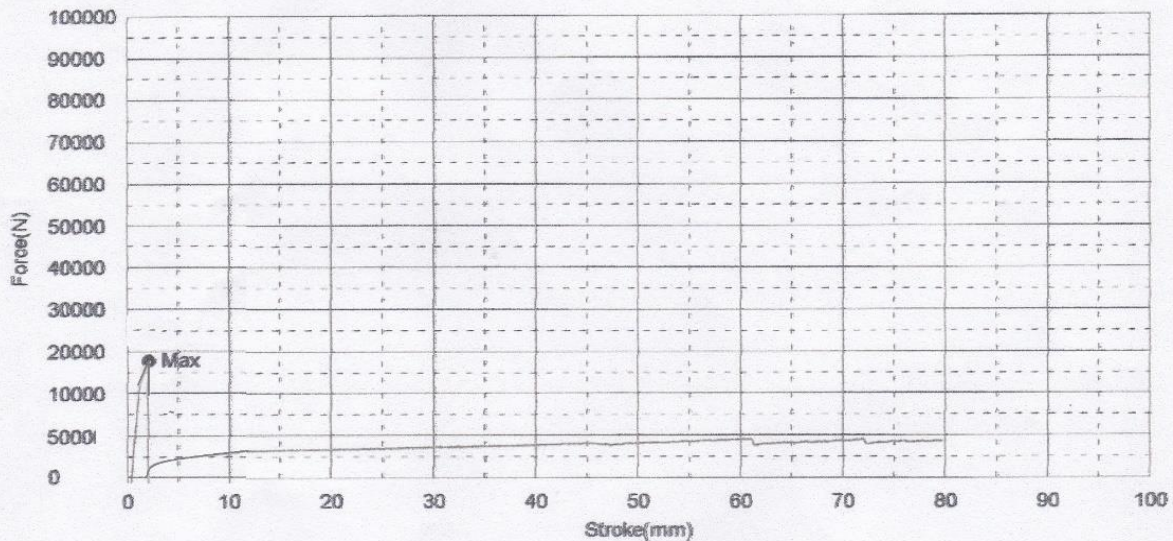
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
C2	32,0000	50,0000	250,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	N	mm	N/mm2	%	N
C2	--	--	--	--	17750,0

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max_Strain	YS1_Force	YS1_Displacement
Parameter				0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
C2	2,05500	216,854	,98640	--	--

Name	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement	YS2_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
C2	--	--	--	--	--

Name	YS2_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Parameter	0,2 %				
Units	%	N	mm	N/mm2	%
C2	--	--	--	--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL C-4 THESIS ITS

Date : 2017/03/21 : WINDRA

Shape: Plate

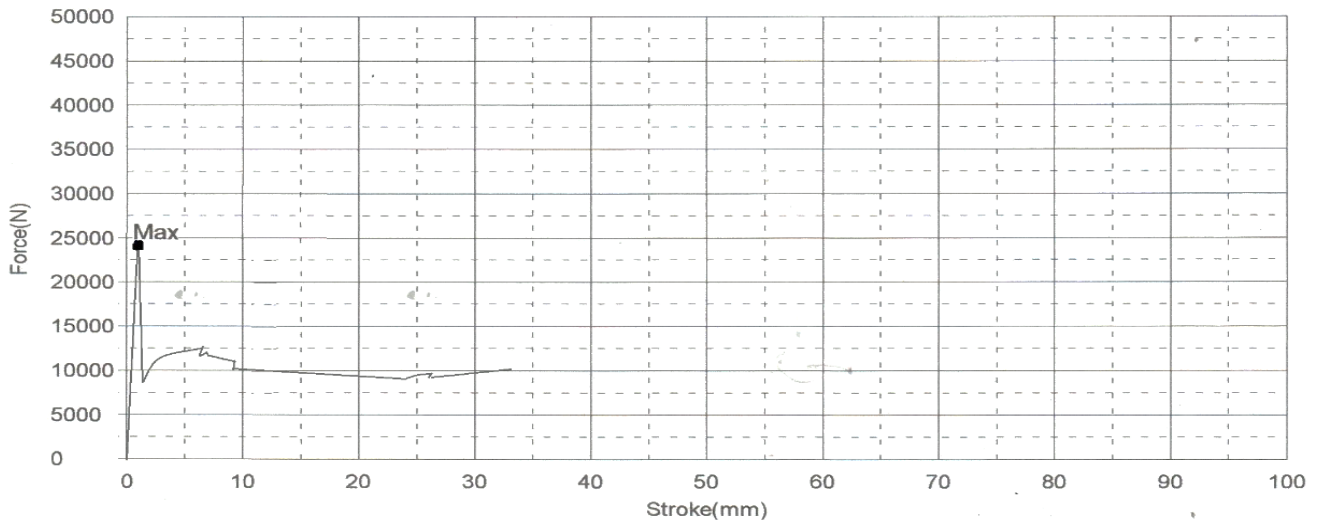
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	32,0000	50,0000	200,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	20391,9	3,39800	115,906

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,52910	15946,9	3,43100	106,313	1,54395



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL

C-5

Date :

2017/03/21

:

WINDRA

Shape: Plate

	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
A1	34,0000	50,0000	150,0000

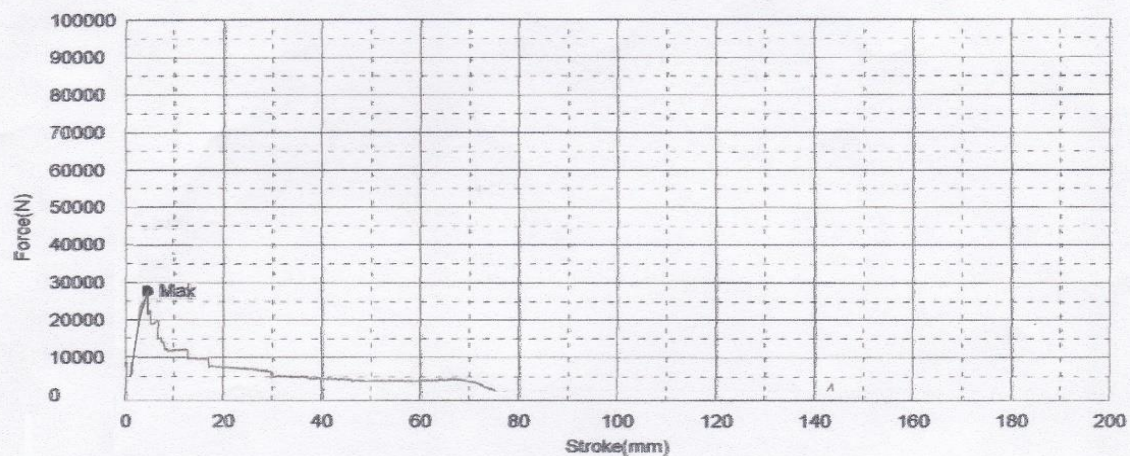
Name	YP Force	YP Disp	YP Stress	YP Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
A1	--	--	--	--	--

Name	YS1 Disp	YS1 Stress	YS1 Strain	Max_Force	Max_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %		
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
A1	--	--	--	22331,3	1,14200

Name	Max Stress	Max Strain	Break Force	Break Disp	Break Stress
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
A1	218,155	,58242	--	--	--

Name	Break Strain	LYP Force	LYP Disp	LYP Stress	LYP Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
A1	--	--	--	--	--

Name	YS2 Force	YS2 Disp	YS2 Stress	YS2 Strain
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%
A1	--	--	--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL D-1 THESIS ITS

Date : 2017/03/21

WINDRA

Shape: Plate

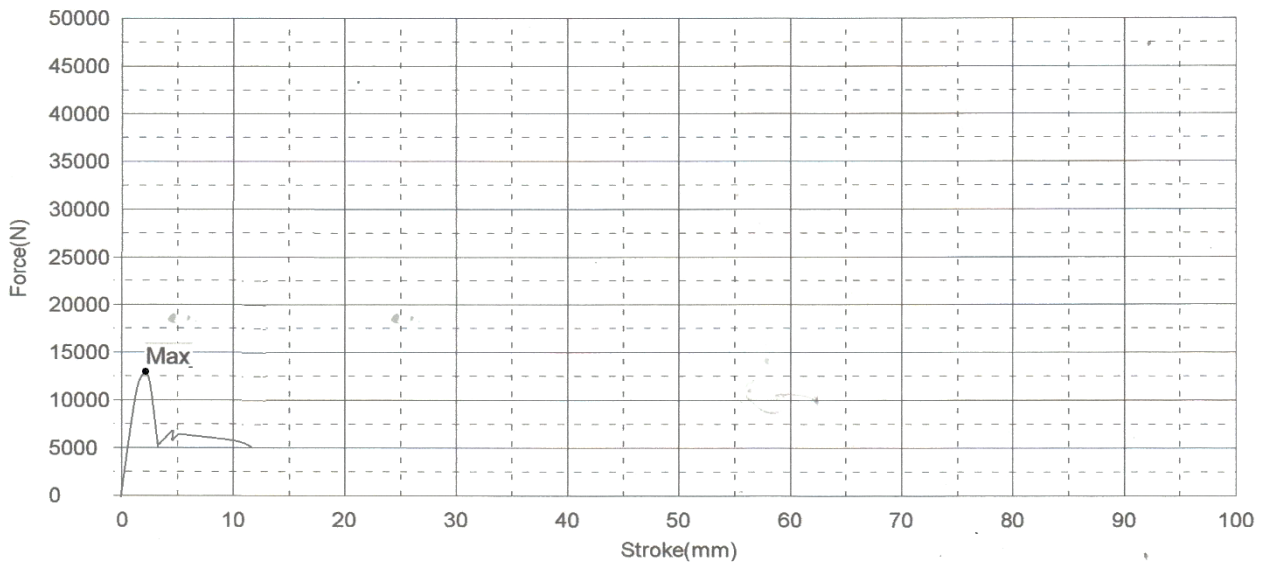
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	32,0000	50,0000	150,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm ²	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm ²	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm ²	%	N	mm	N/mm ²
1 - 1	--	--	12391,9	3,39800	115,906

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm ²	%
1 - 1	1,52910	15946,9	3,43100	106,313	1,54395



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL

D - 2

Date :

2017/03/21

:

WINDRA

Shape: Plate

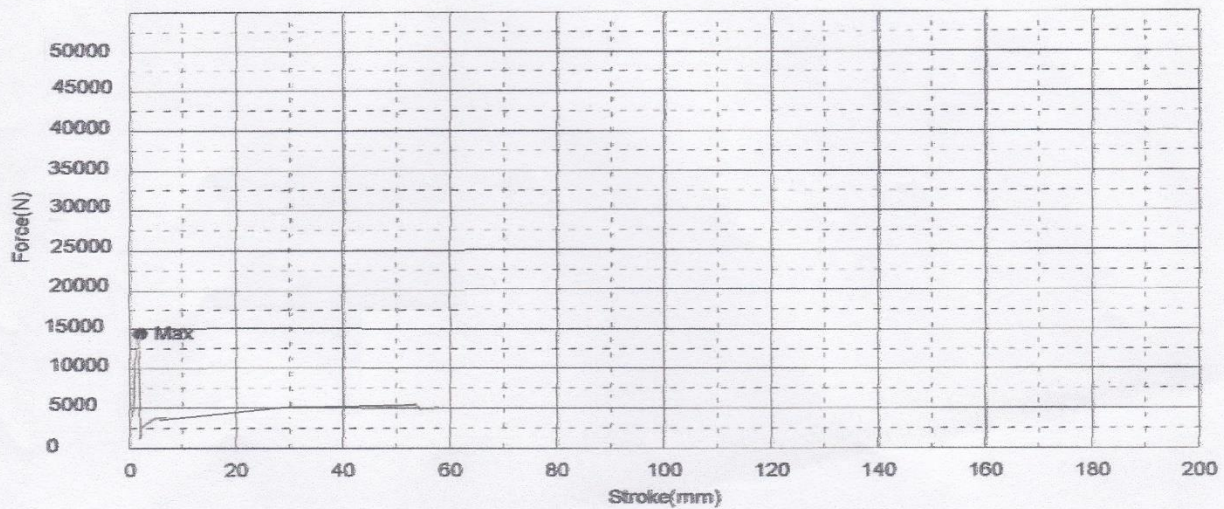
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
C4	33,0000	49,0000	200,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	N	mm	N/mm2	%	N
C4	--	--	--	--	13843,8

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max_Strain	YS1_Force	YS1_Disp
Parameter				0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
C4	1,84600	218,383	,91377	--	--

Name	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp	YS2_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
C4	--	--	--	--	--

Name	YS2_Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break_Strain
Parameter	0,2 %				
Units	%	N	mm	N/mm2	%
C4	--	--	--	--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL

D-3

Date :

2017/03/21

:

WINDRA

Shape: Plate

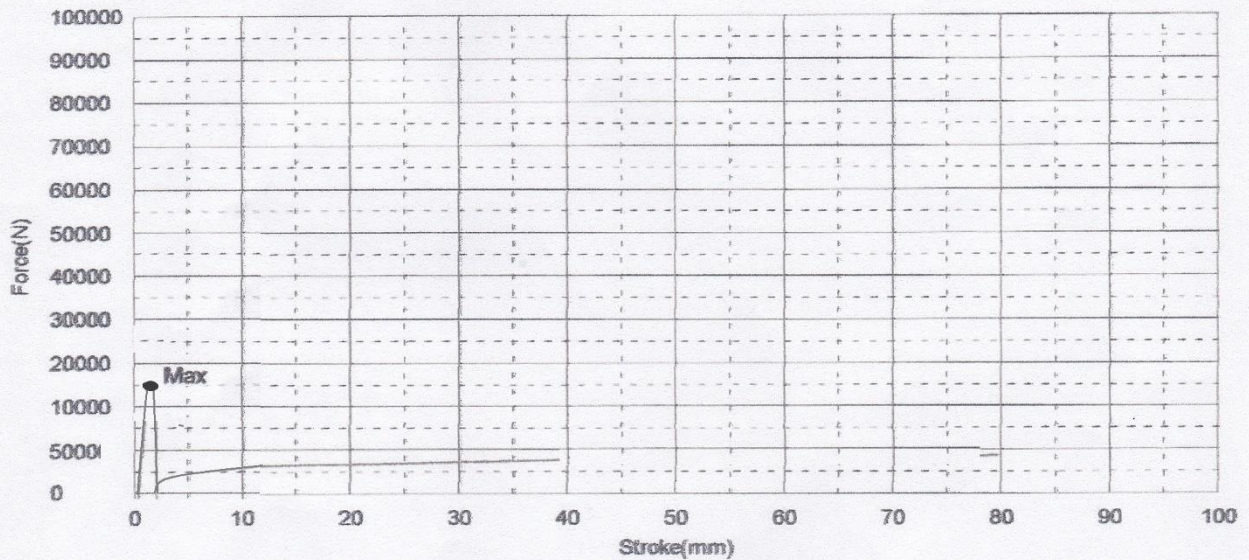
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
C2	32,0000	50,0000	200,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	
Units	N	mm	N/mm2	%	N
C2	--	--	--	--	13750,0

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max_Strain	YS1_Force	YS1_Disp
Parameter				0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
C2	2,05500	216,854	,98640	--	--

Name	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp	YS2_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
C2	--	--	--	--	--

Name	YS2_Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break_Strain
Parameter	0,2 %				
Units	%	N	mm	N/mm2	%
C2	--	--	--	--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL

D-4

Date :

2017/03/21

:

WINDRA

Shape: Plate

	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
A2	35,0000	50,0000	200,0000

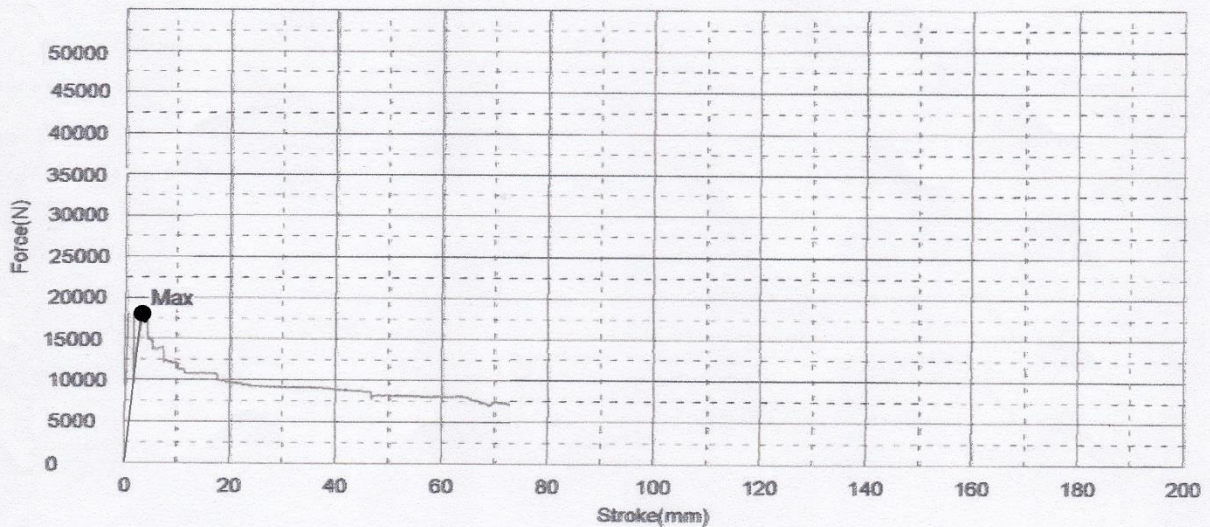
Name	YP Force	YP Disp	YP Stress	YP Strain	YS1 Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
A2	--	--	--	--	--

Name	YS1 Disp	YS1 Stress	YS1 Strain	Max Force	Max Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %		
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
A2	--	--	--	18625,0	1,57800

Name	Max Stress	Max Strain	Break Force	Break Disp	Break Stress
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
A2	287,143	,82845	--	--	--

Name	Break Strain	LYP Force	LYP Disp	LYP Stress	LYP Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
A2	--	--	--	--	--

Name	YS2 Force	YS2 Disp	YS2 Stress	YS2 Strain
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%
A2	--	--	--	--



Comment

LAPORAN HASIL PENGUJIAN BENDING SANDWICH PANEL D-5 THESIS ITS

Date : 2017/03/21 : WINDRA

Shape: Plate

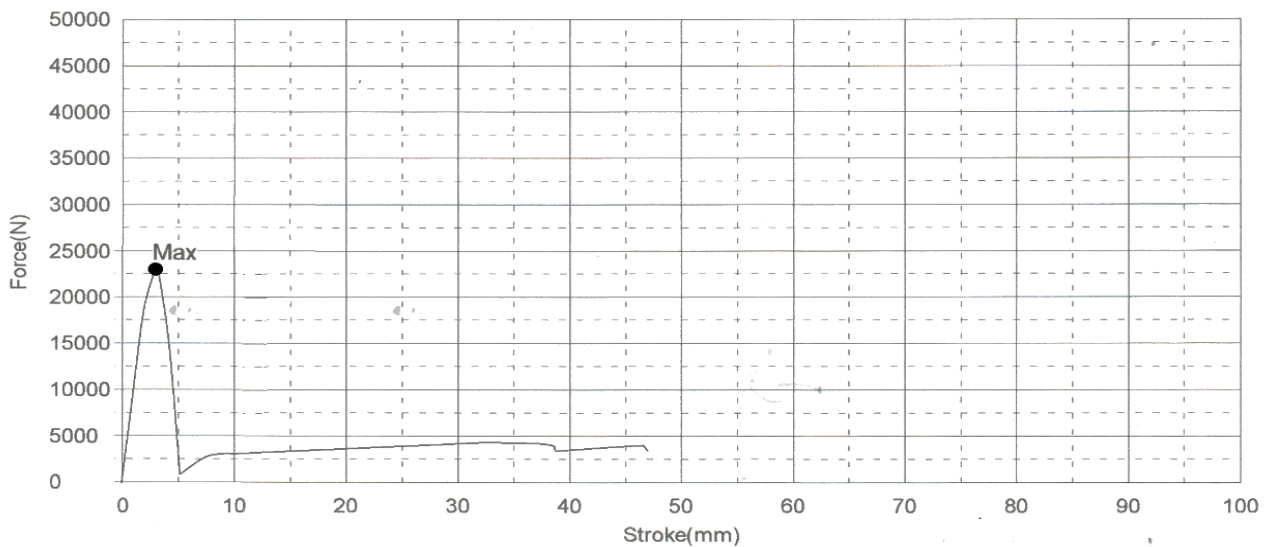
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	32,0000	50,0000	150,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	20391,9	3,39800	115,906

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,52910	15946,9	3,43100	106,313	1,54395

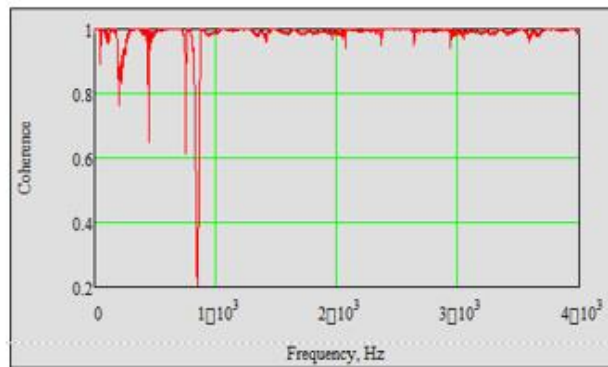
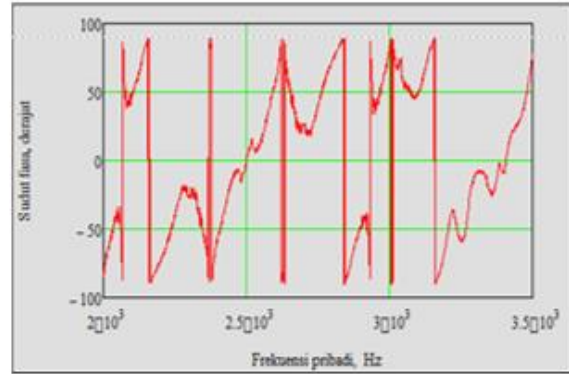
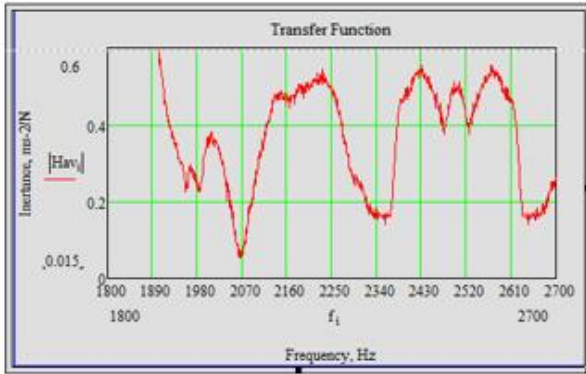


Comment

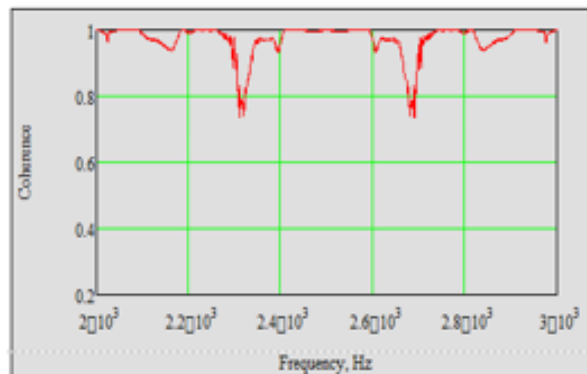
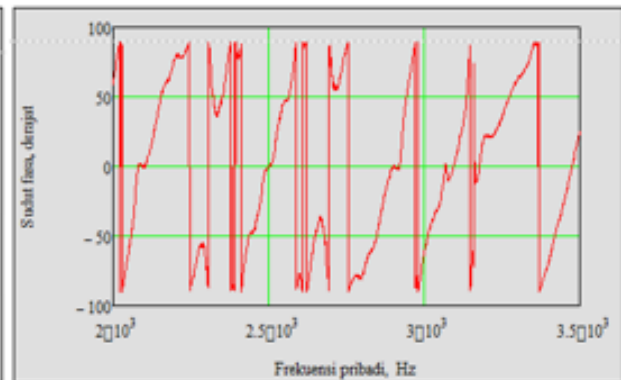
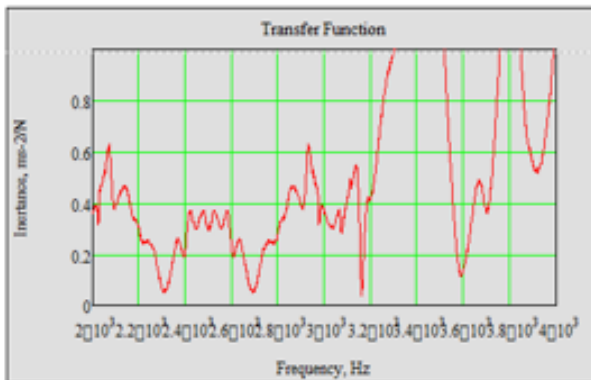


LAMPIRAN
PENGUJIAN GETARAN *SANDWICH PANEL*
KONDISI UTUH

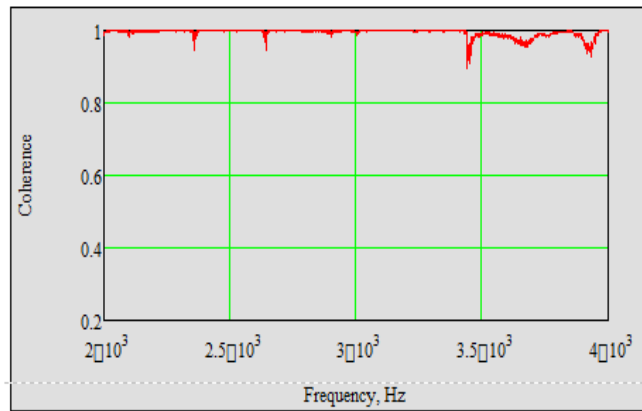
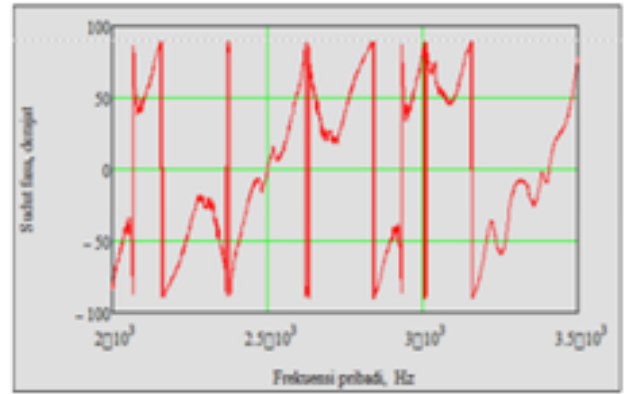
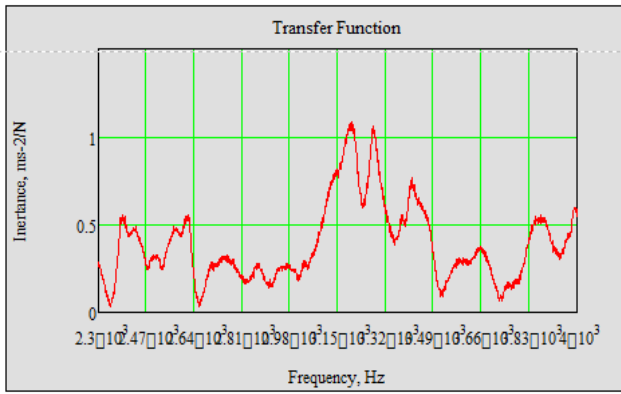
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H1A1 – PERCOBAAN 1”



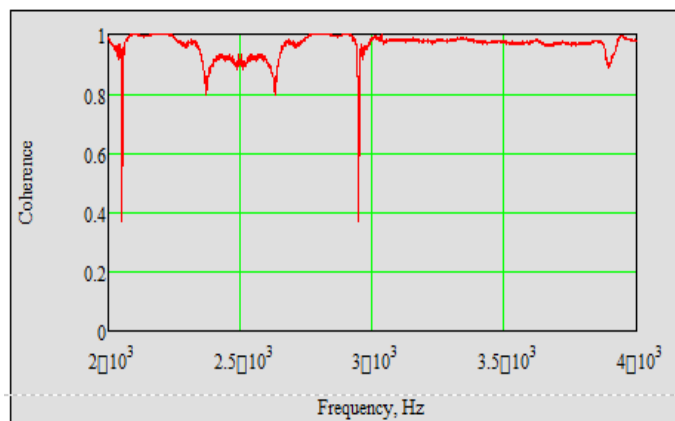
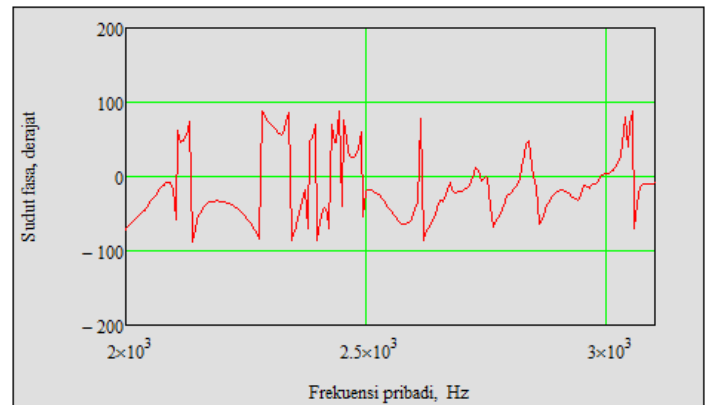
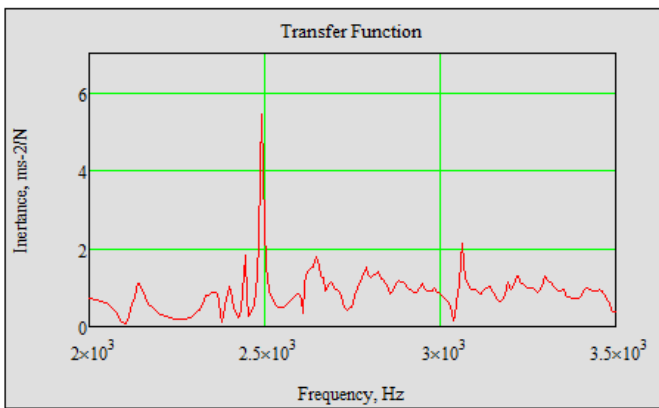
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H1A1 – PERCOBAAN 2”



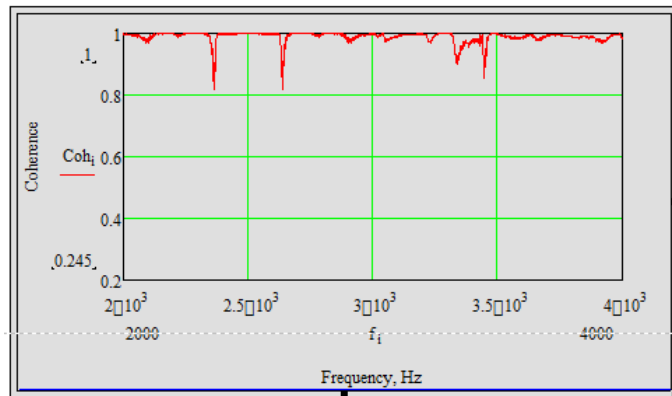
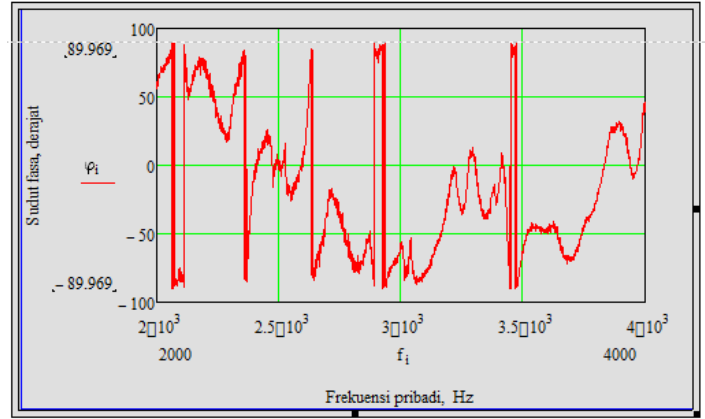
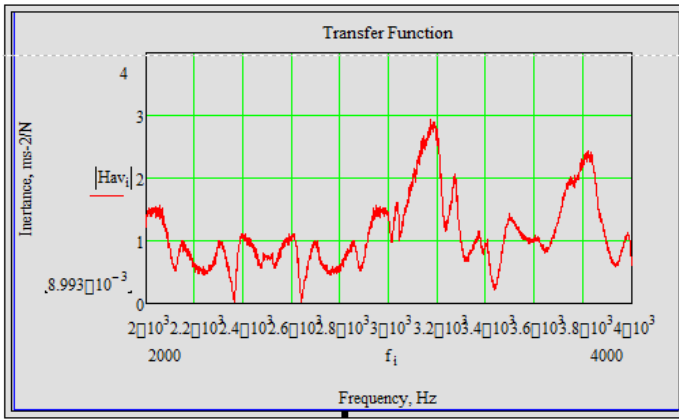
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H1A2 – PERCOBAAN 1”



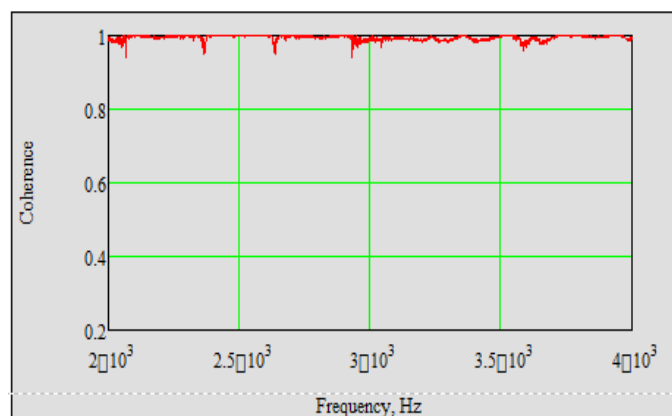
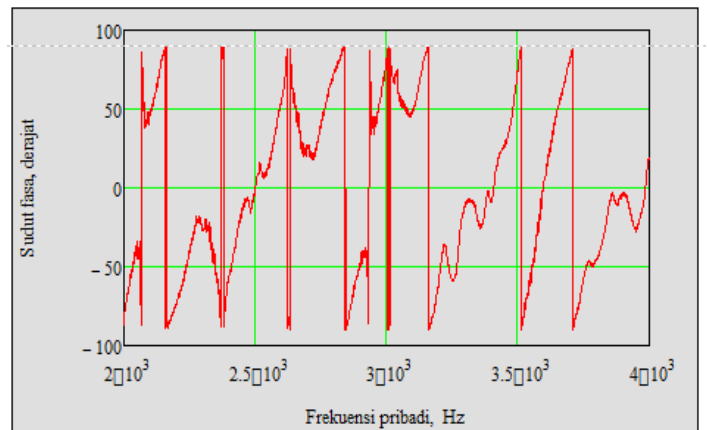
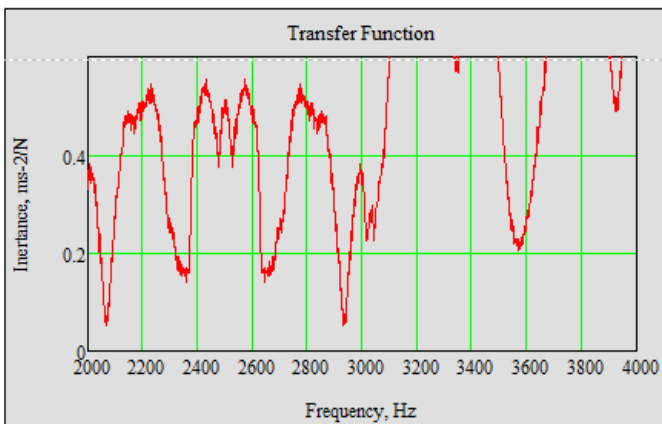
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H1A2 – PERCOBAAN 2”



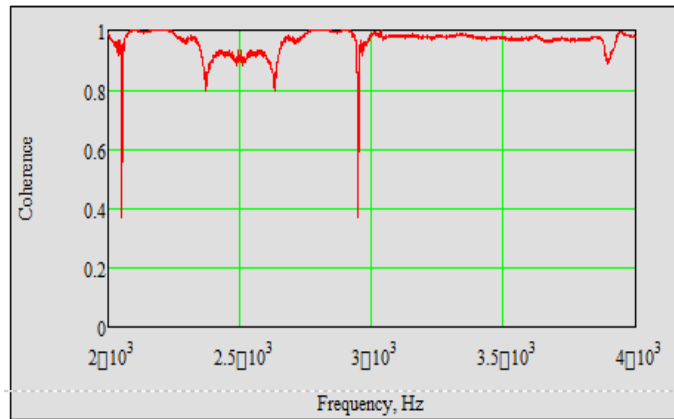
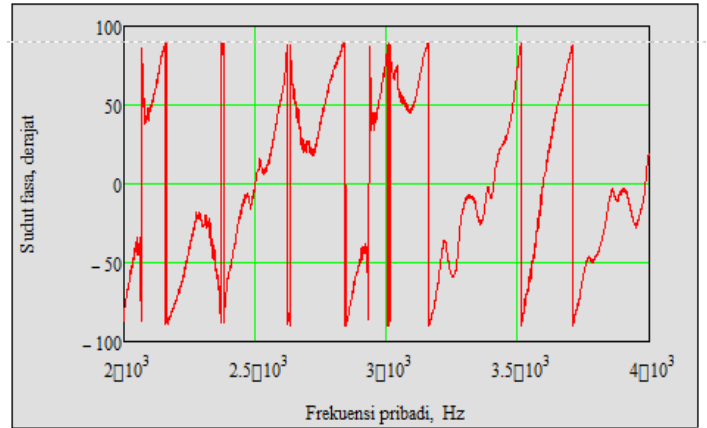
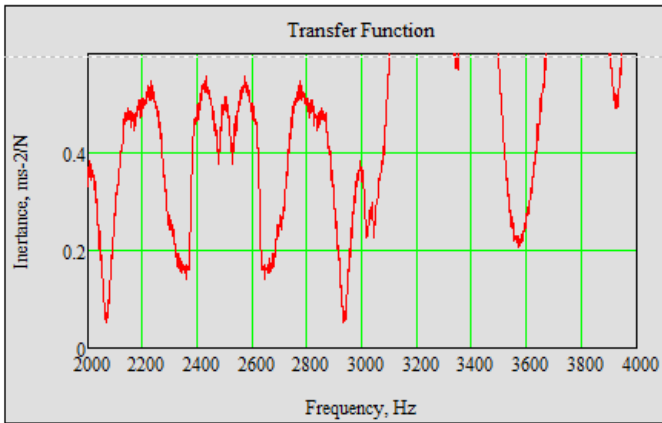
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H1A3 – PERCOBAAN 1”



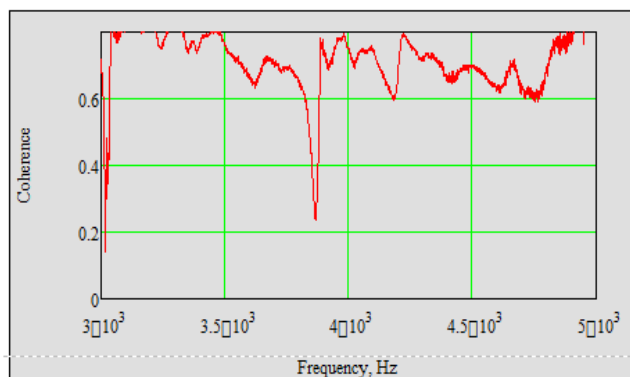
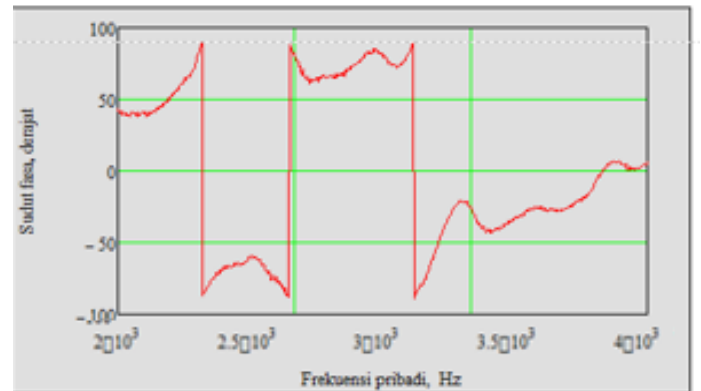
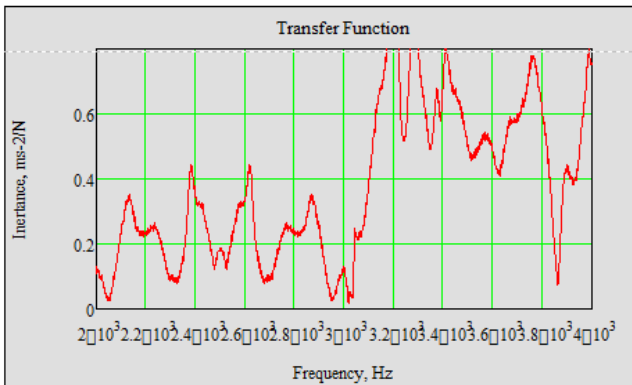
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H1A3 – PERCOBAAN 2”



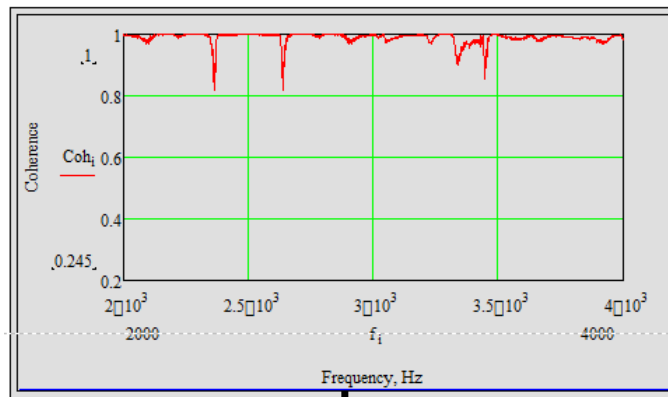
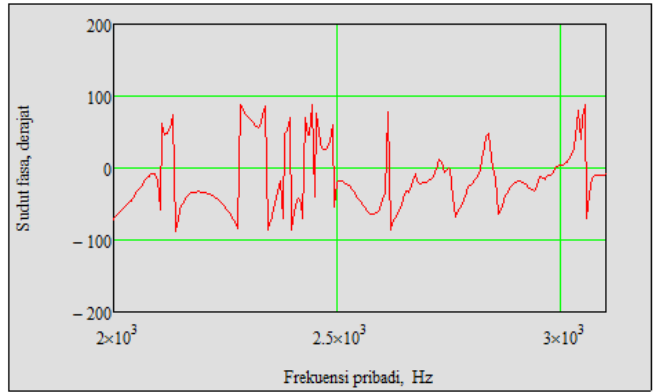
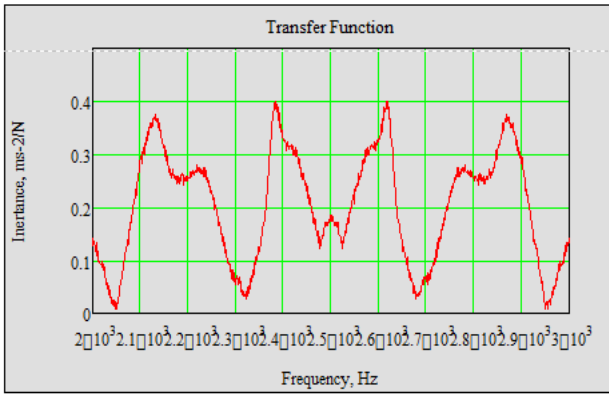
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H1A4 – PERCOBAAN 1”



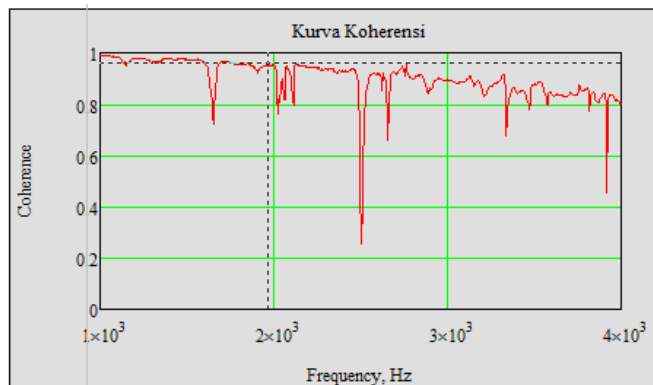
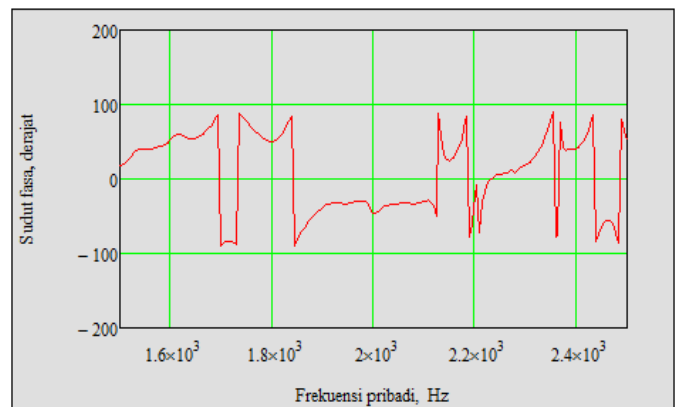
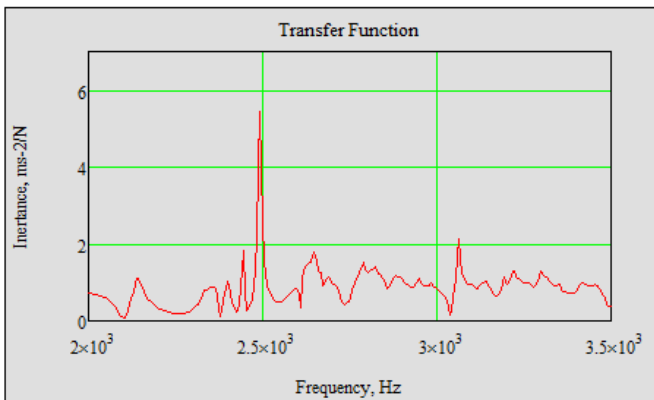
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H1A4 – PERCOBAAN 2”



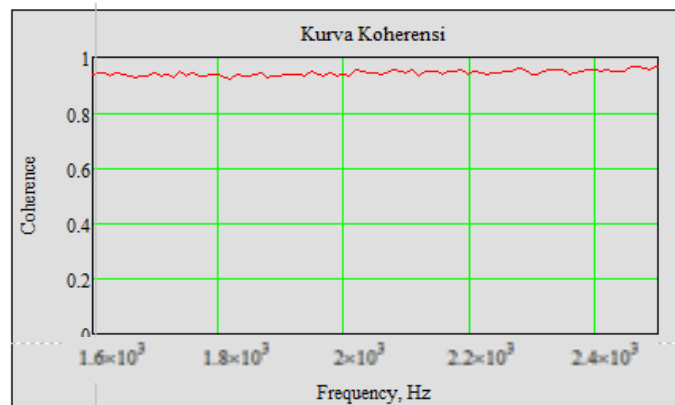
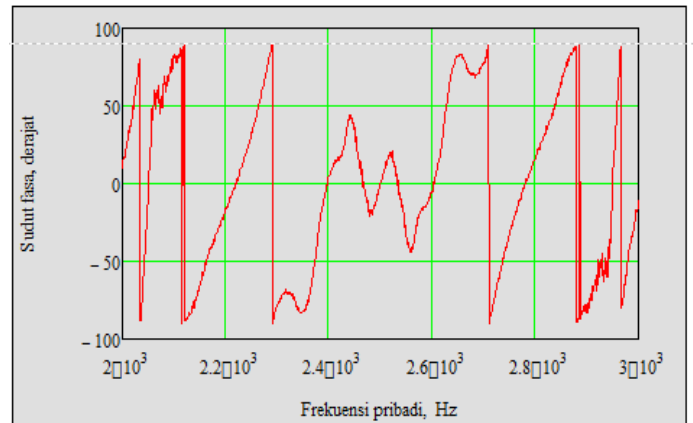
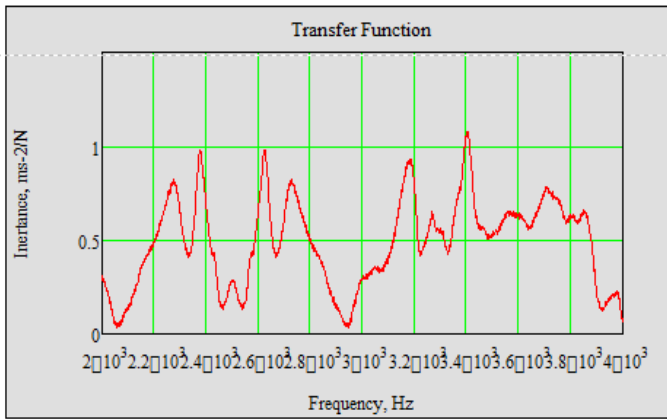
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H1A5 – PERCOBAAN 1”



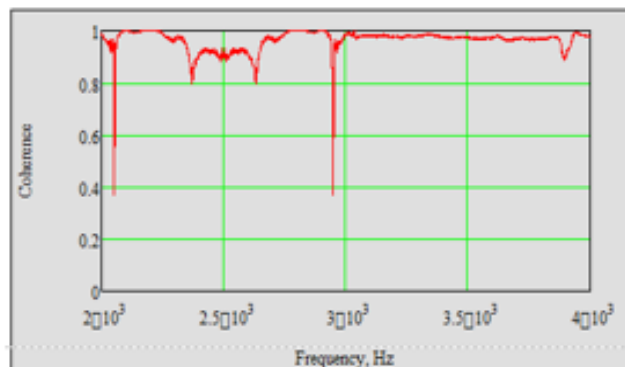
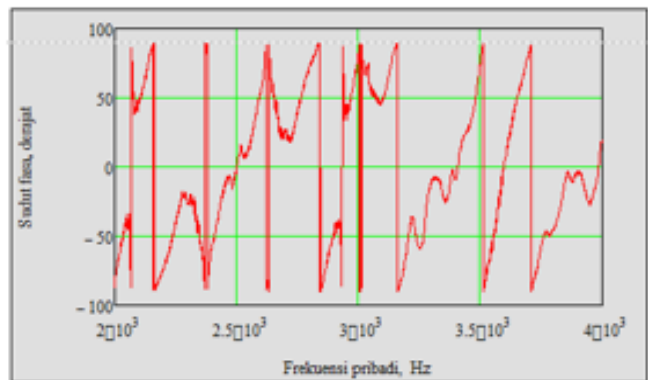
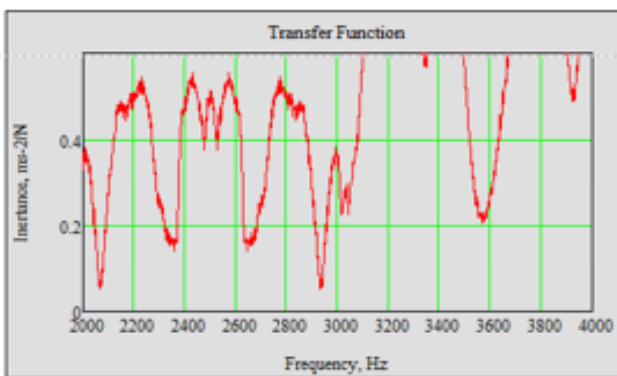
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H1A5 – PERCOBAAN 2”



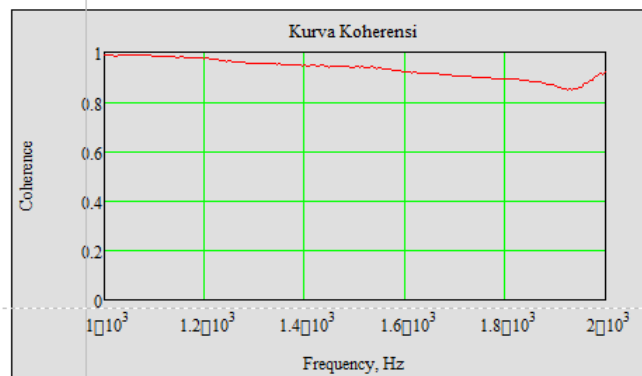
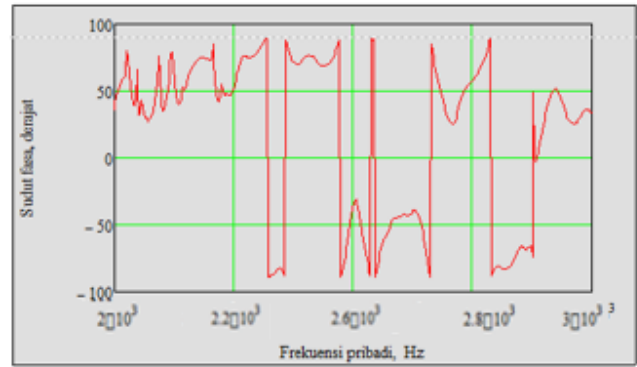
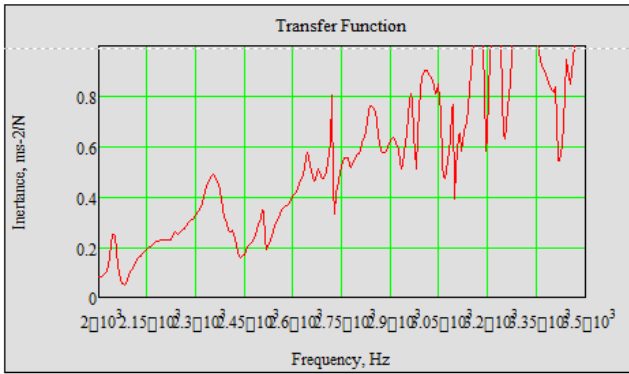
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H2A1 – PERCOBAAN 1”



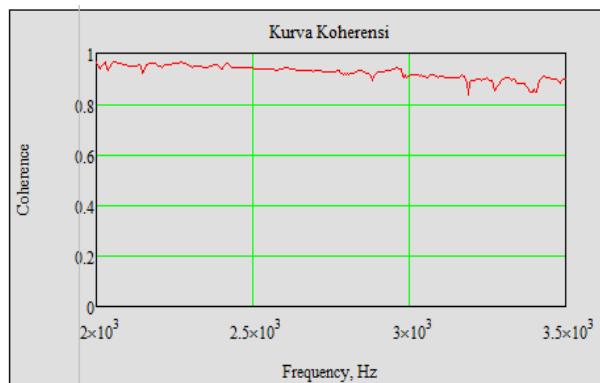
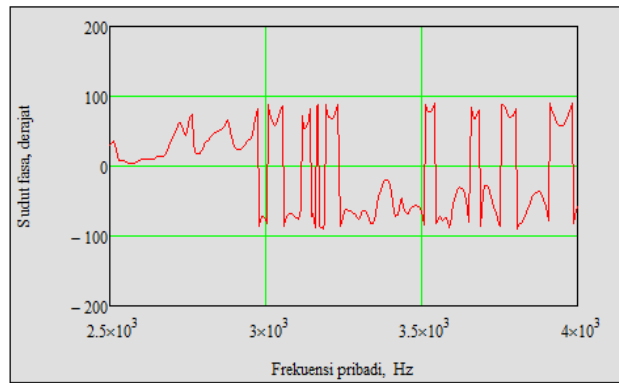
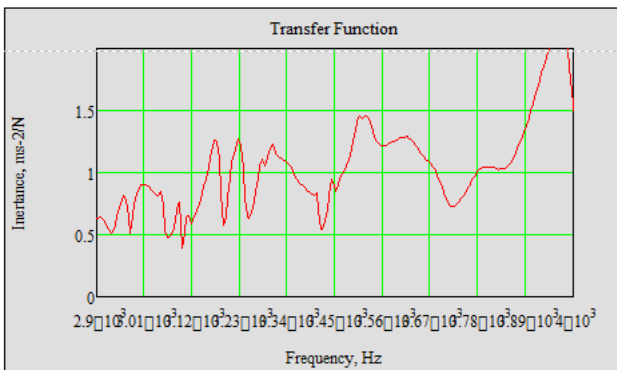
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H2A1 – PERCOBAAN 2”



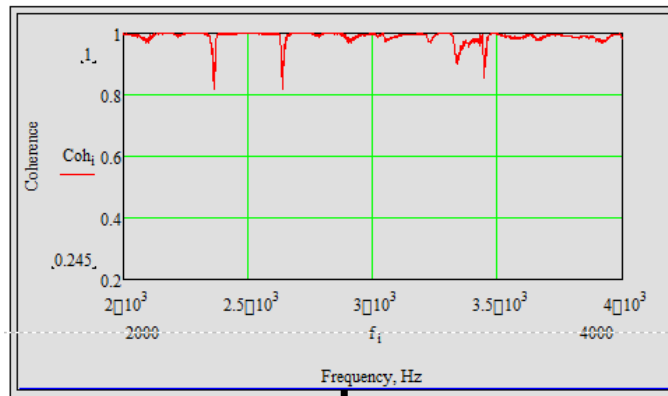
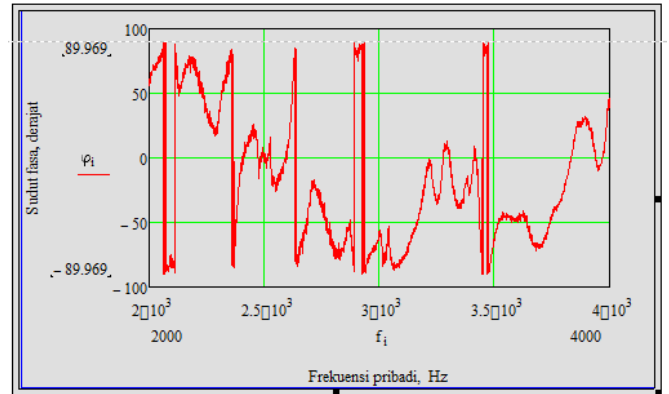
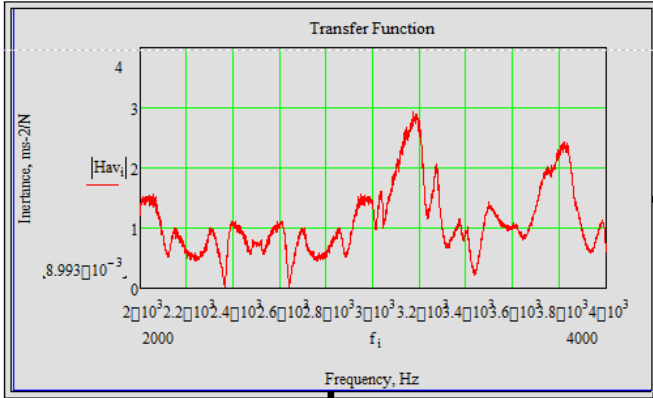
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H2A2 – PERCOBAAN 1”



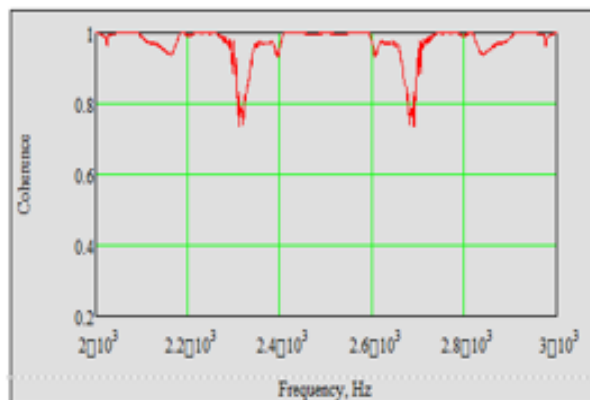
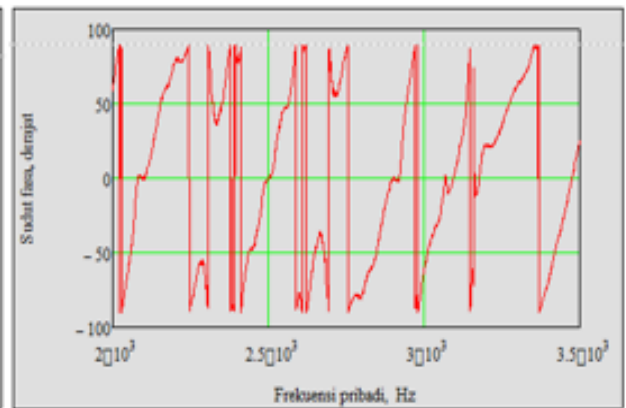
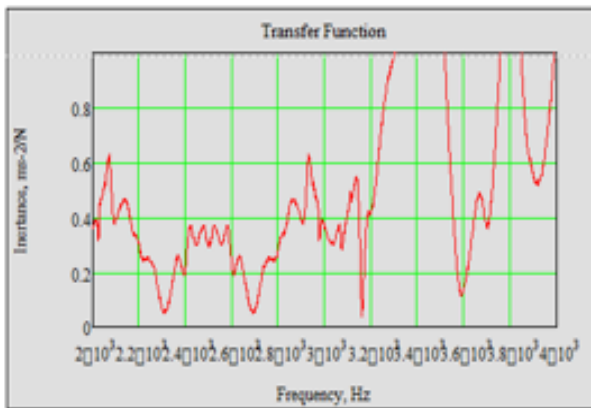
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H2A2 – PERCOBAAN 2”



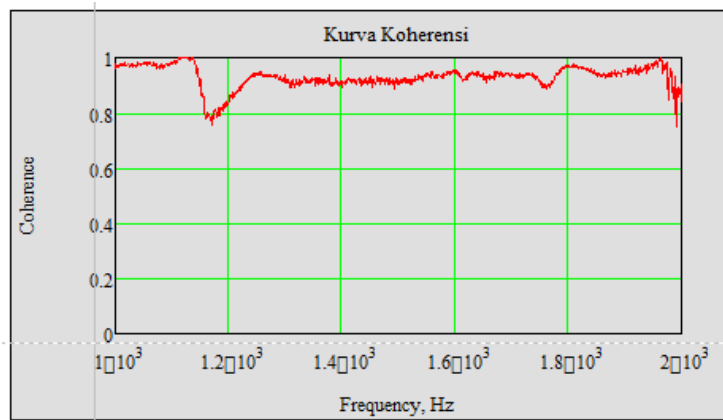
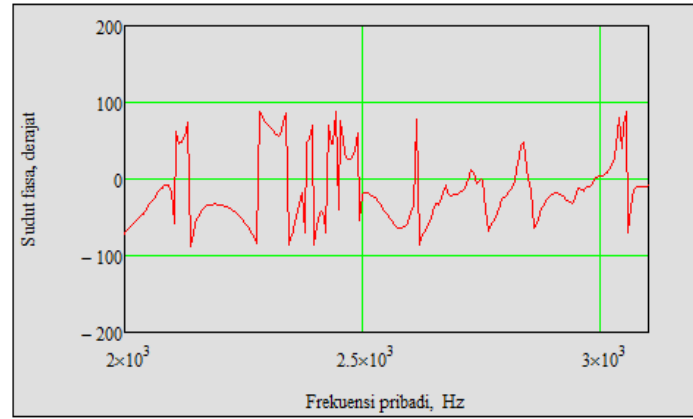
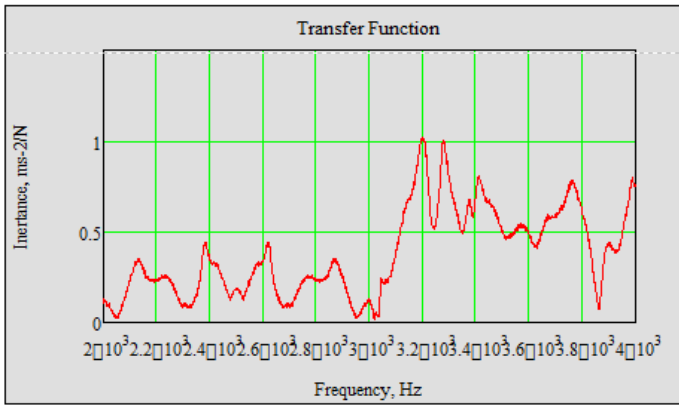
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H2A3 – PERCOBAAN 1”



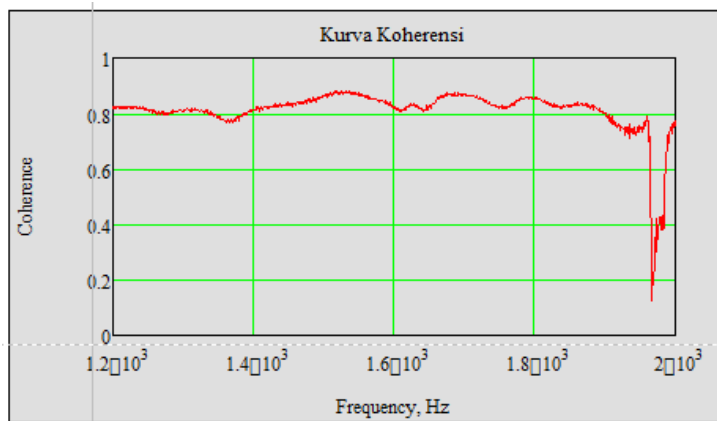
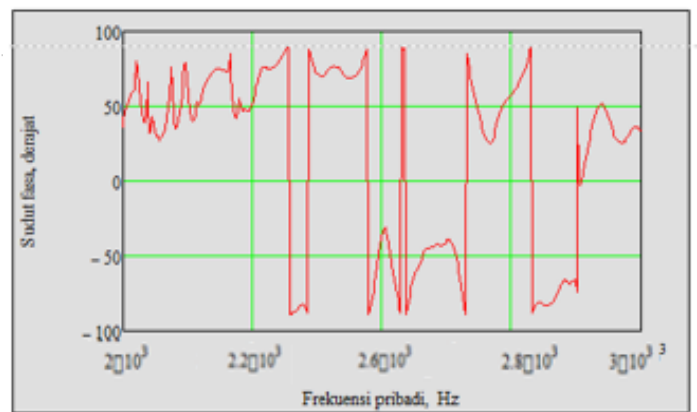
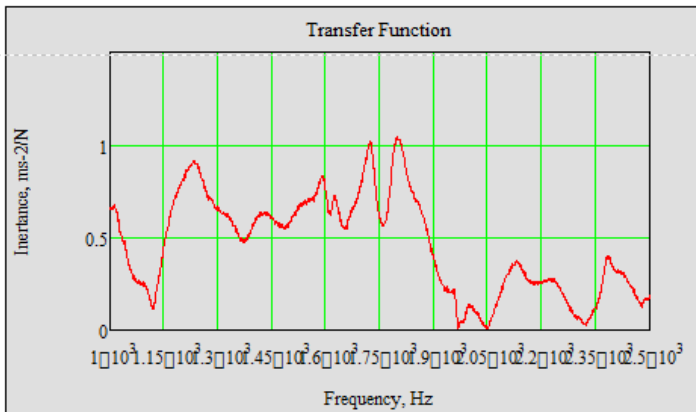
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H2A3 – PERCOBAAN 2”



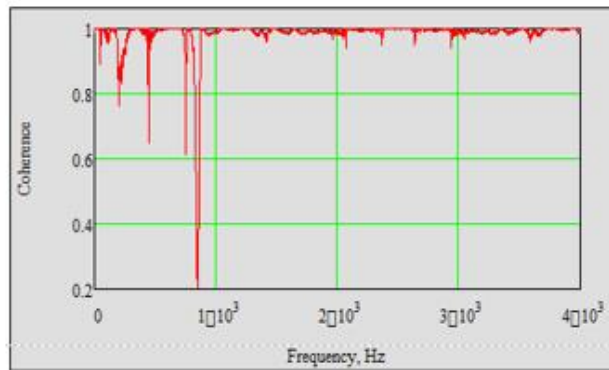
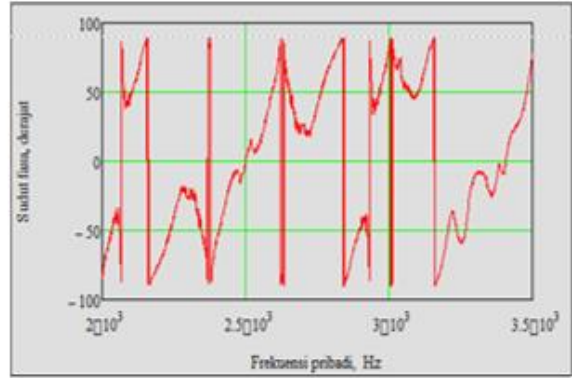
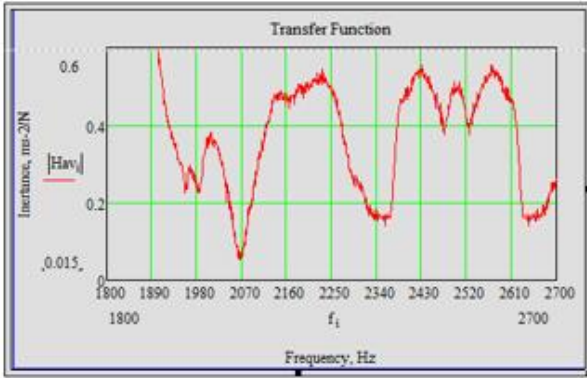
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H2A4 – PERCOBAAN 1”



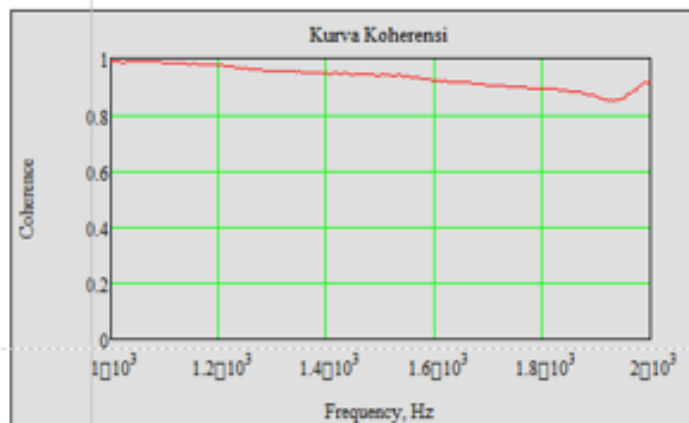
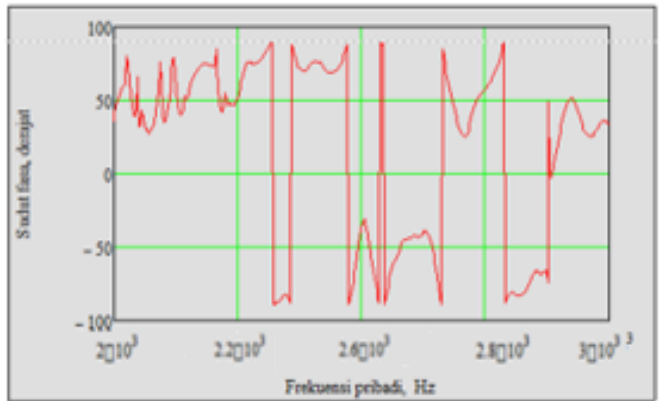
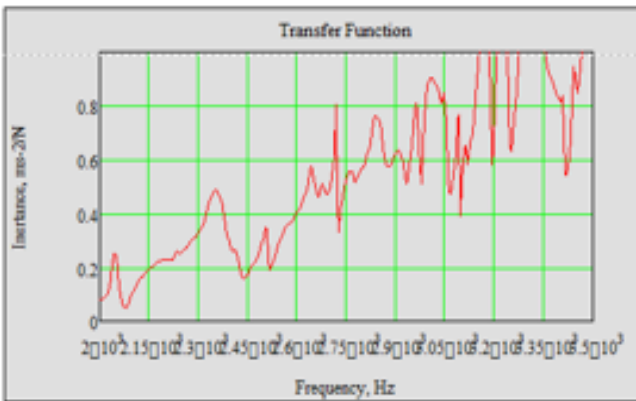
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H2A4 – PERCOBAAN 2”



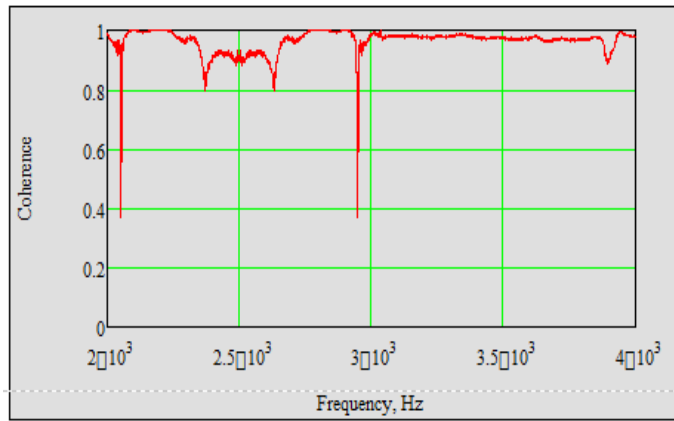
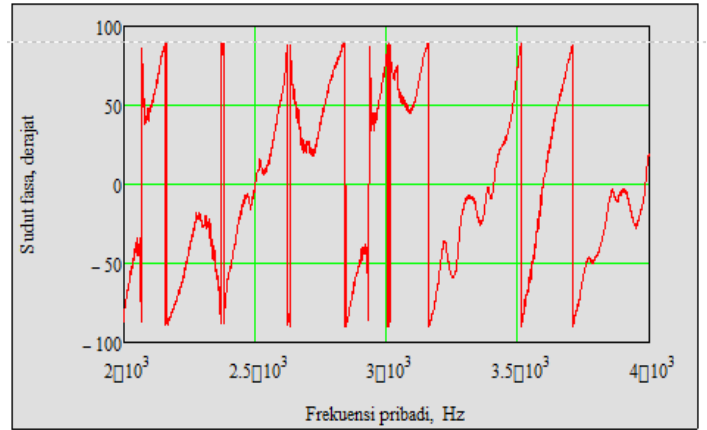
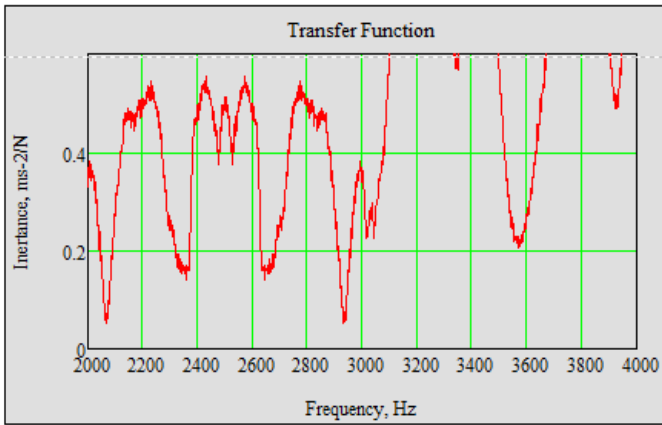
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H2A5 – PERCOBAAN 1”



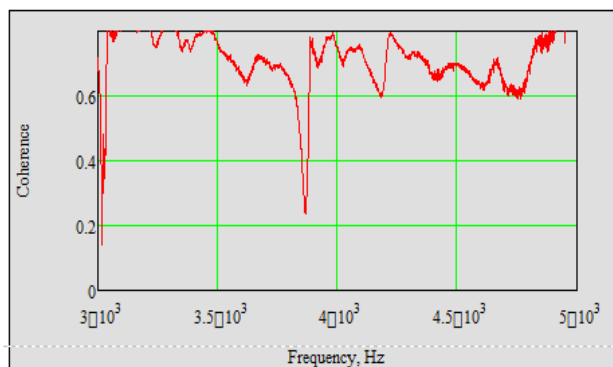
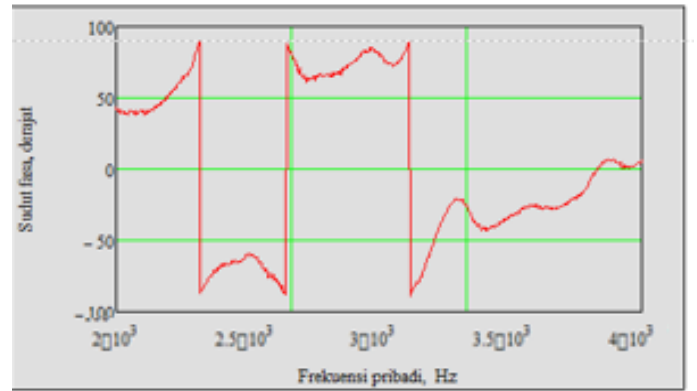
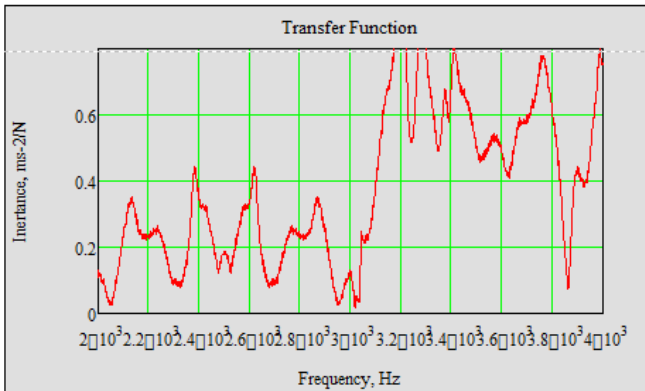
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H2A5 – PERCOBAAN 2”



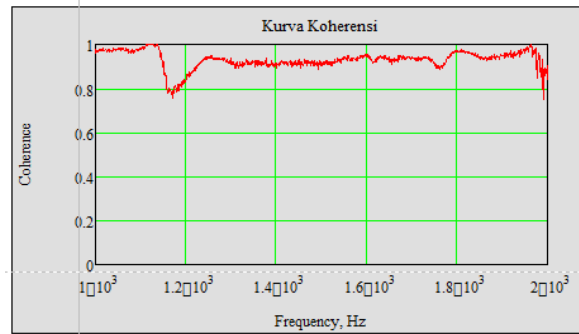
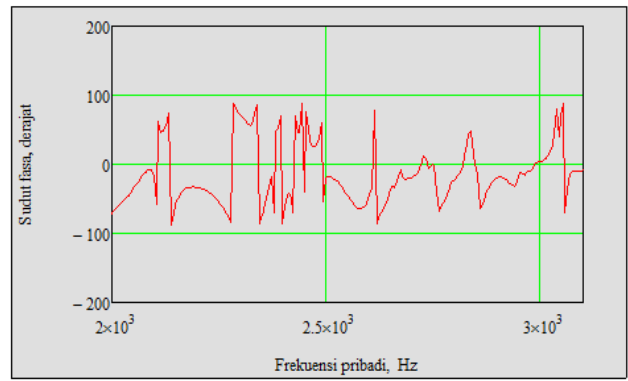
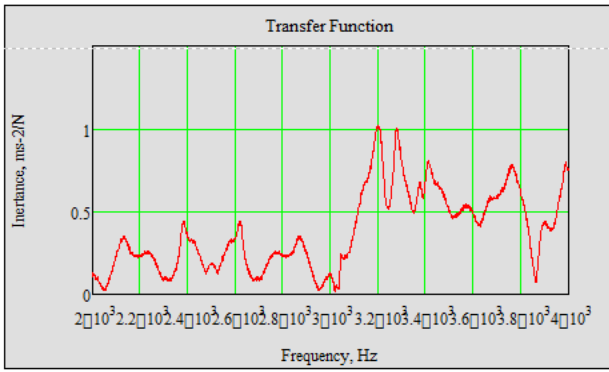
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H3A1 – PERCOBAAN 1”



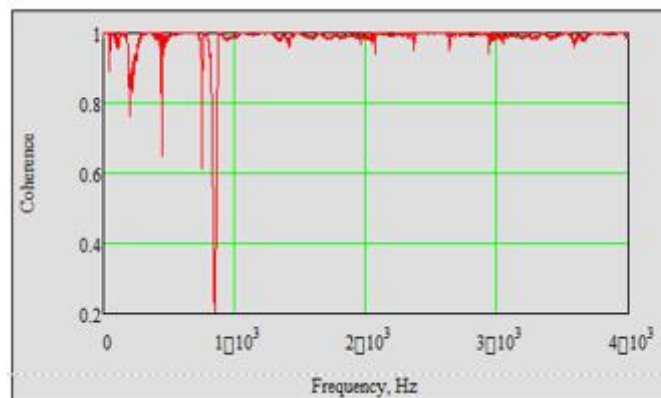
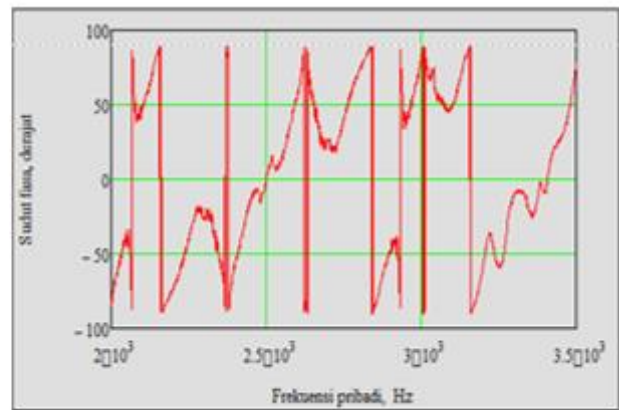
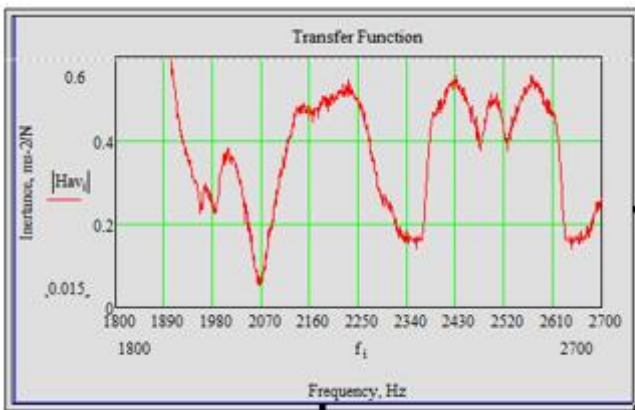
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H3A1 – PERCOBAAN 2”



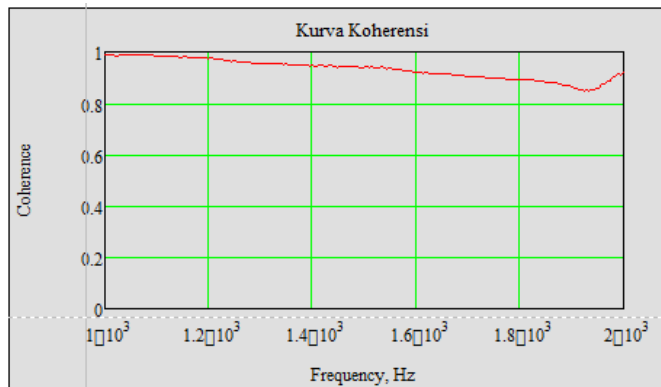
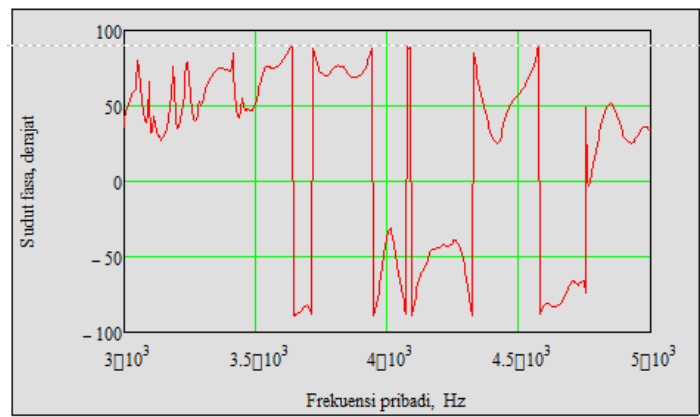
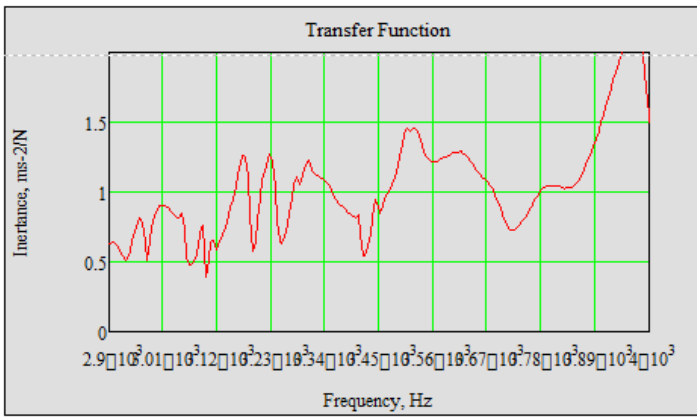
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H3A2 – PERCOBAAN 1”



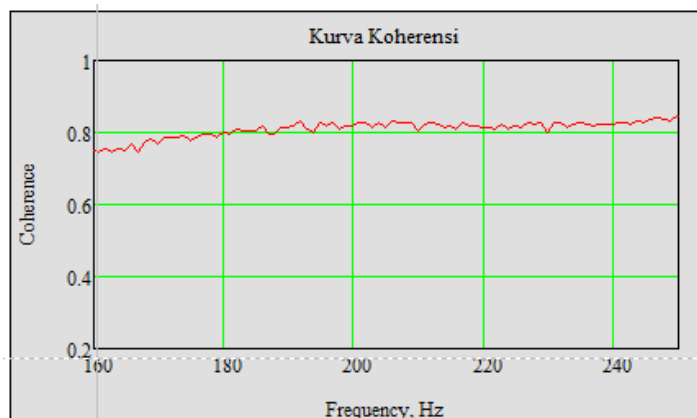
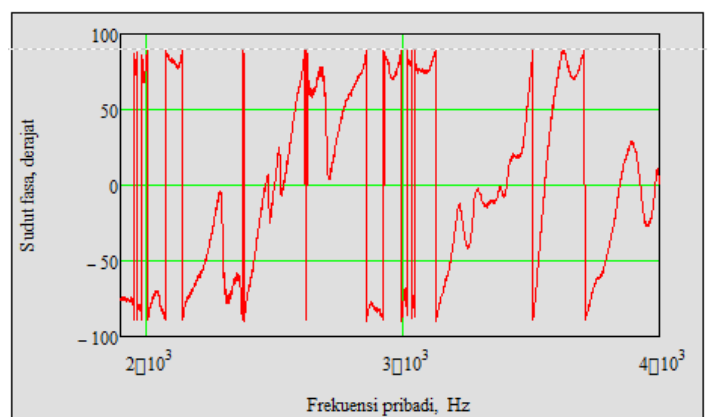
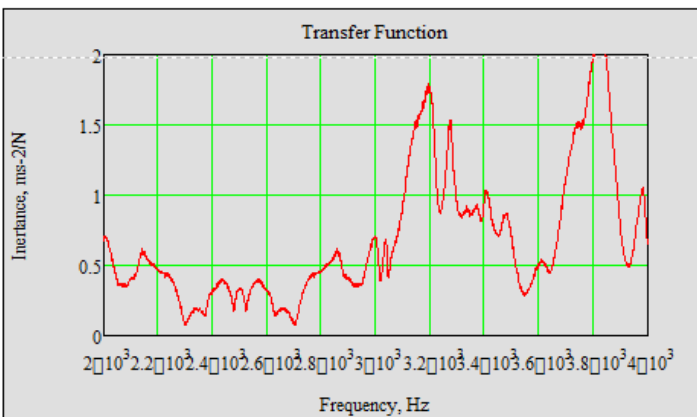
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H3A2 – PERCOBAAN 2”



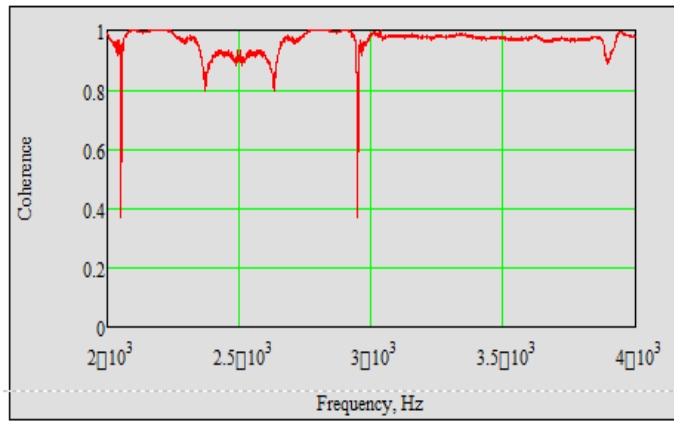
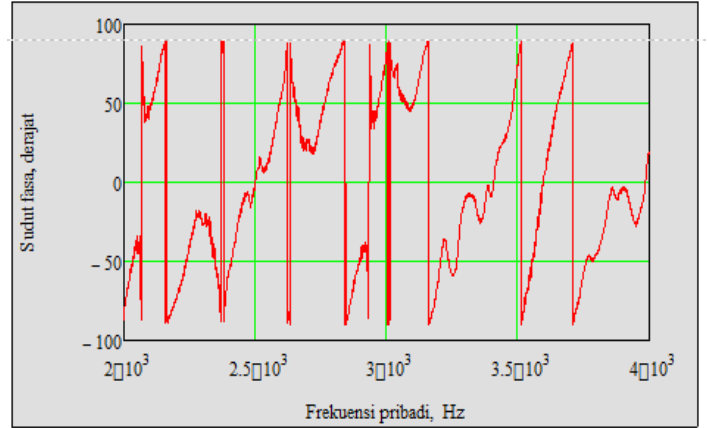
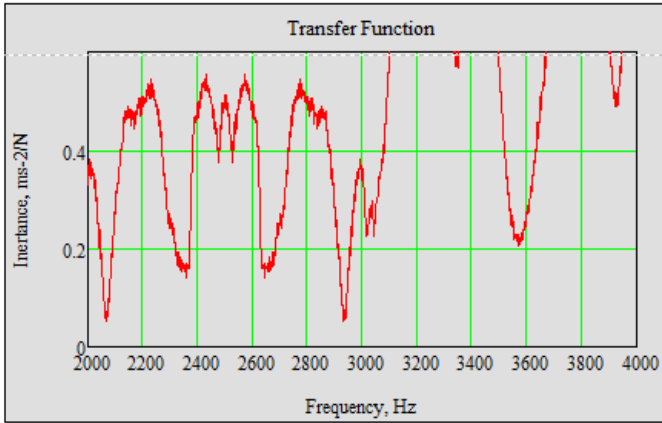
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H3A3 – PERCOBAAN 1”



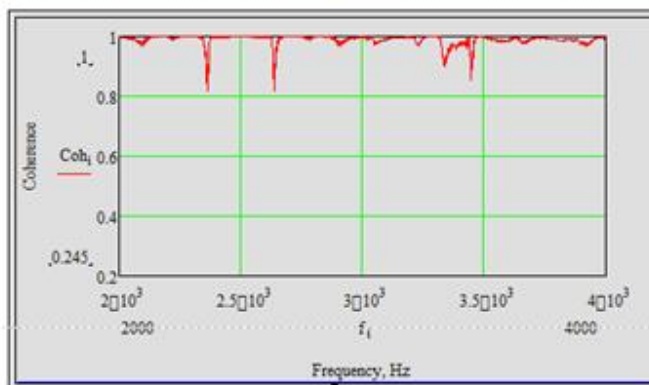
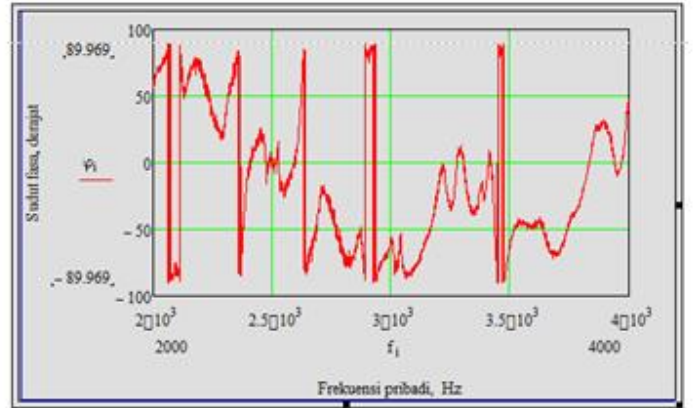
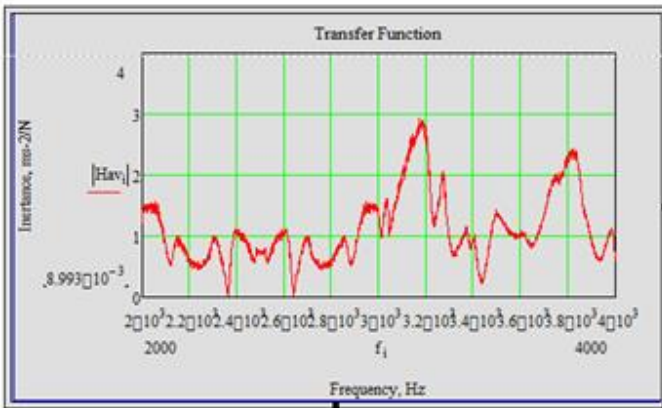
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H3A3 – PERCOBAAN 2”



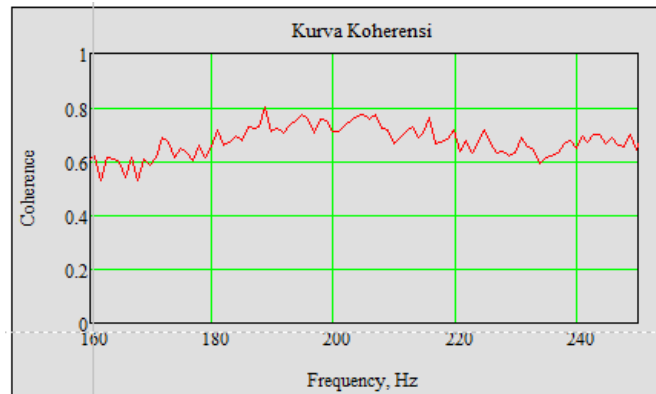
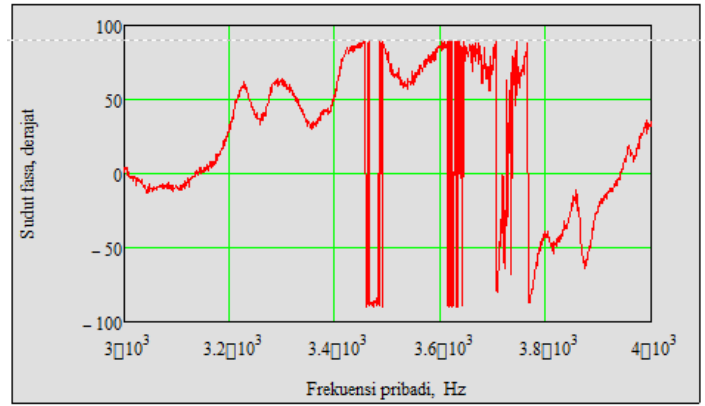
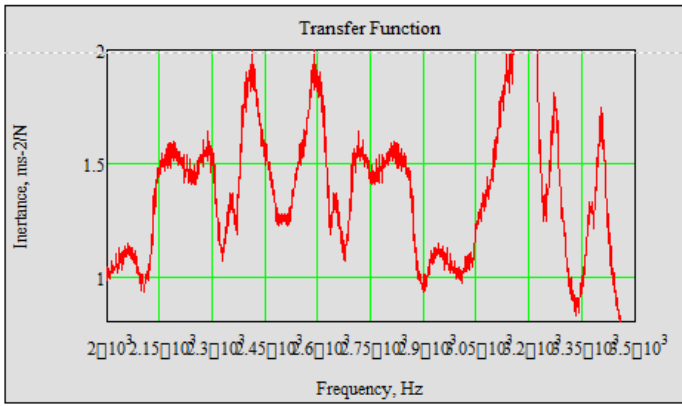
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H3A4 – PERCOBAAN 1”



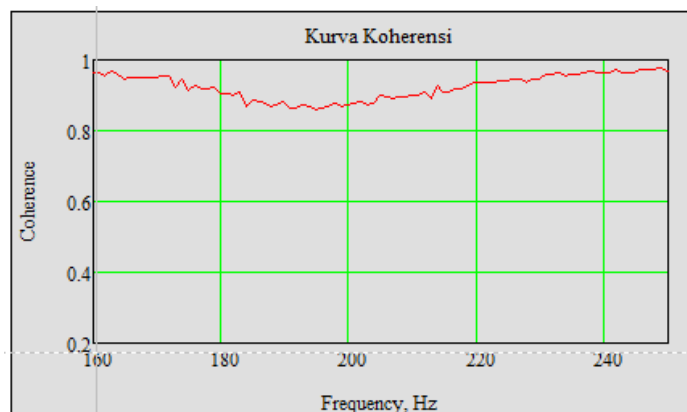
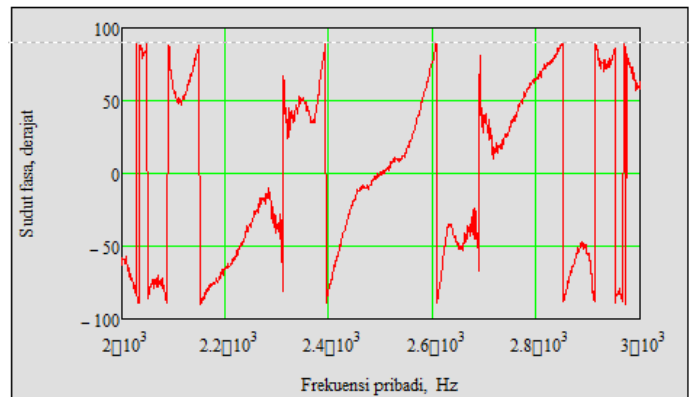
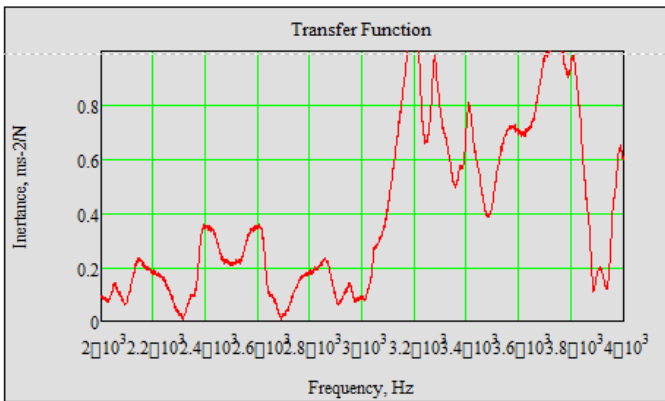
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H3A4 – PERCOBAAN 2”



CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H3A5 – PERCOBAAN 1”



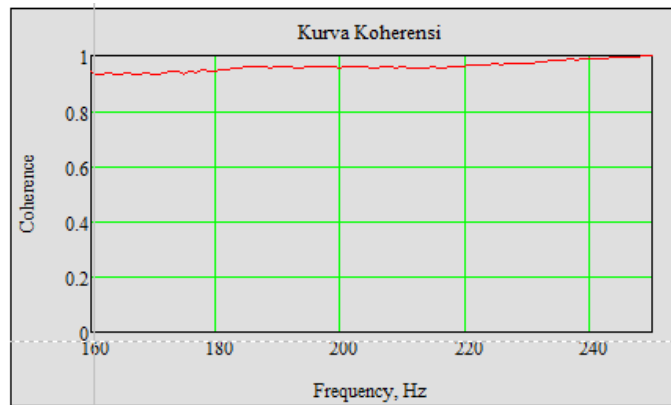
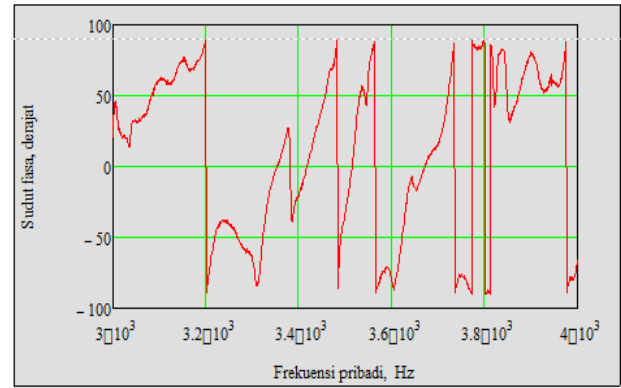
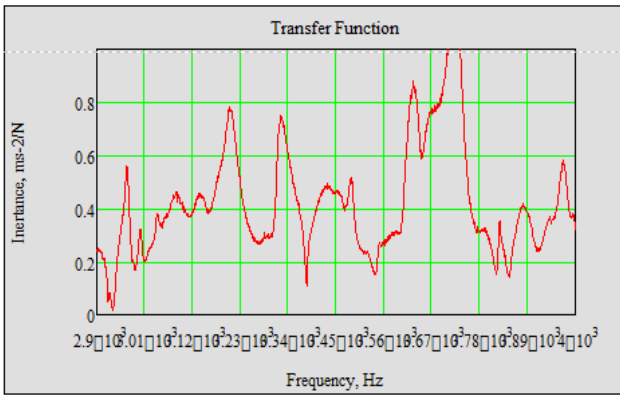
CORE MATERIAL A-1
TITIK PENGUJIAN “H3A5 – PERCOBAAN 2”



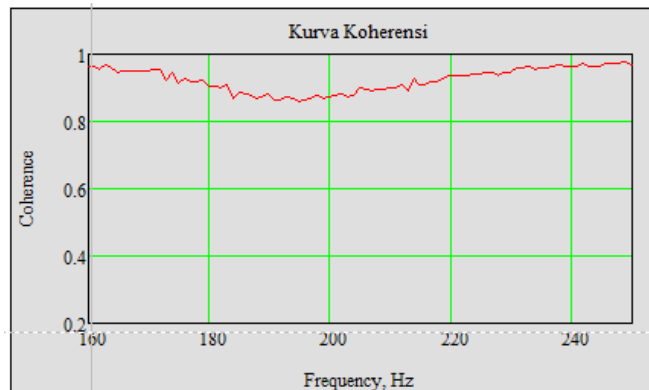
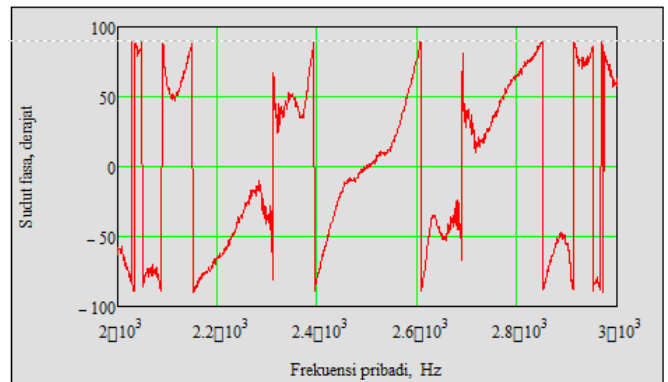
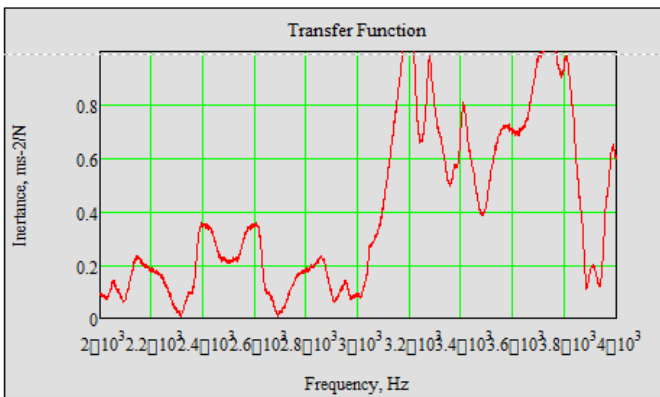


LAMPIRAN
PENGUJIAN GETARAN *SANDWICH PANEL*
KONDISI CACAT

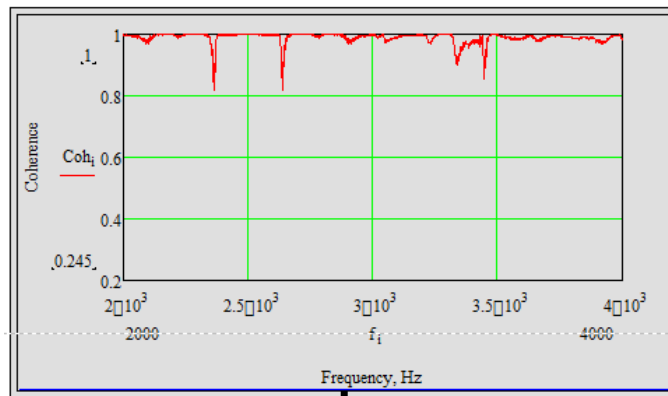
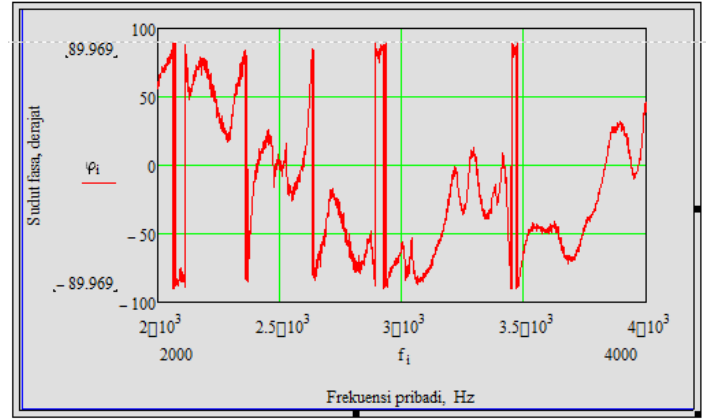
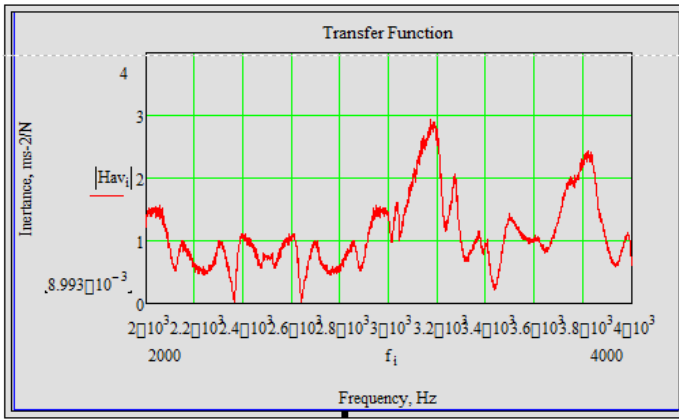
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H1A1 – PERCOBAAN 1”



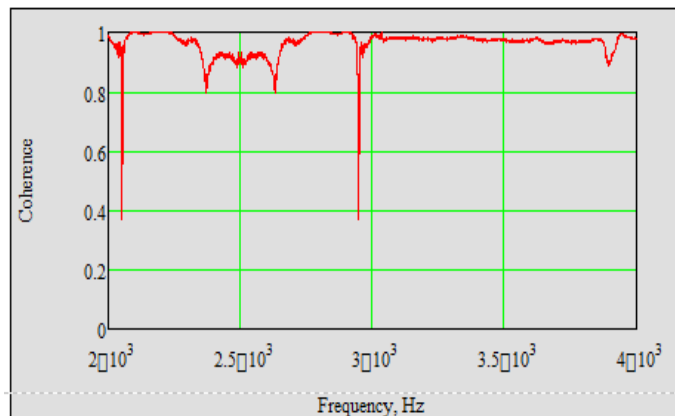
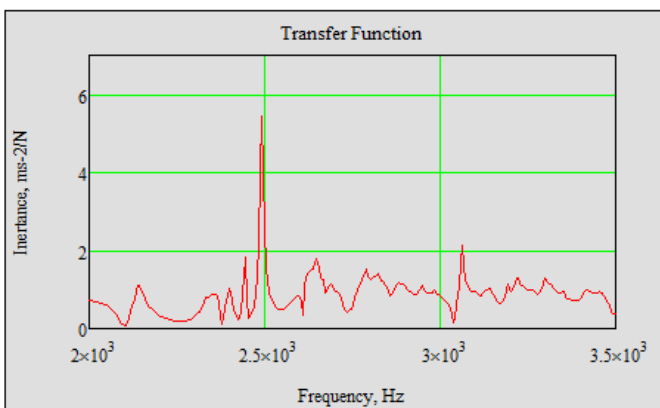
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H1A1 – PERCOBAAN 2”



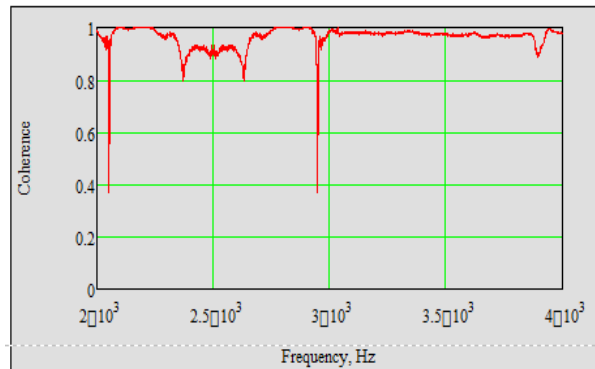
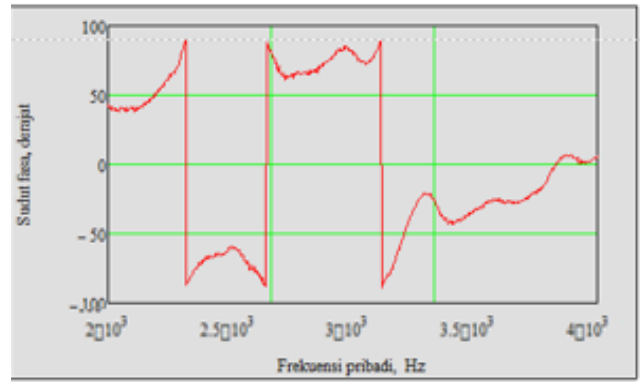
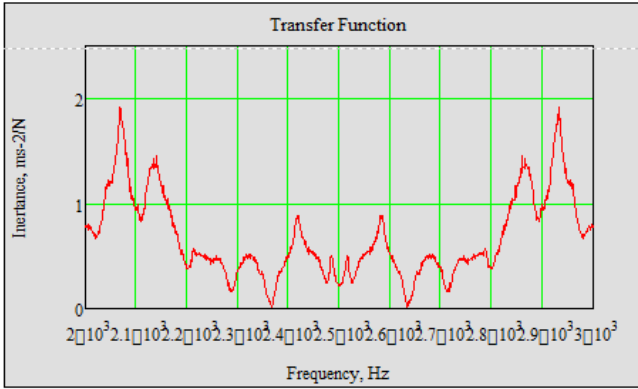
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H1A2 – PERCOBAAN 1”



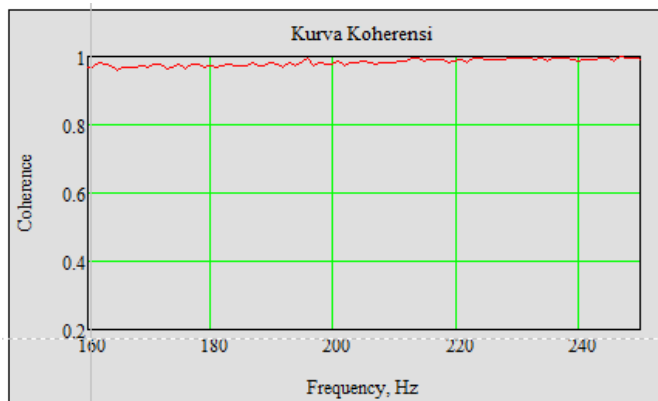
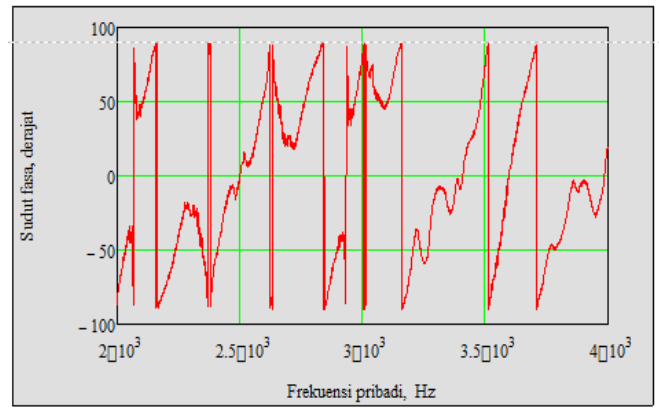
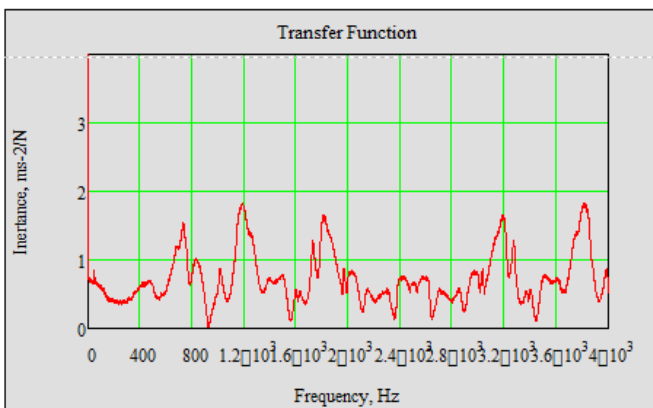
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H1A2 – PERCOBAAN 2”



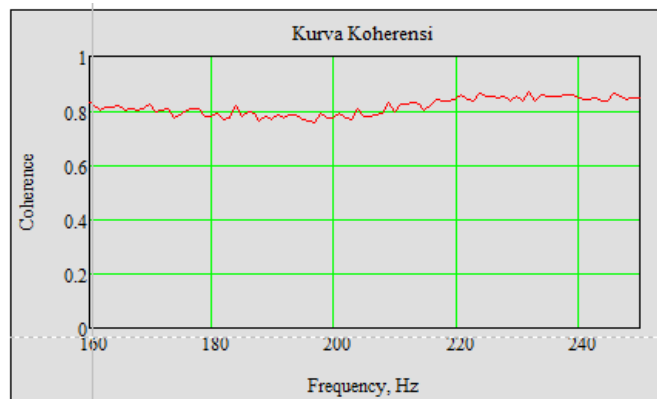
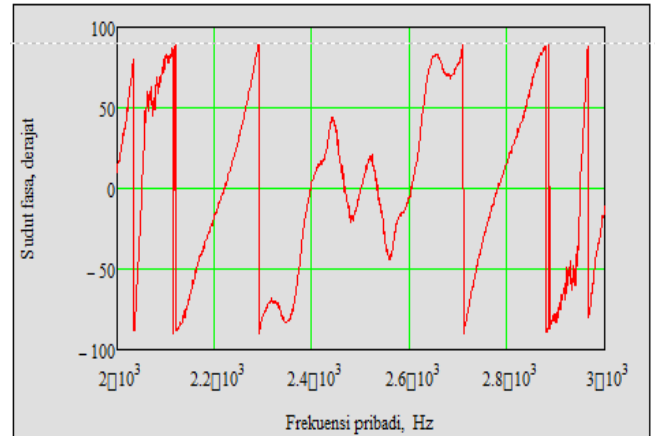
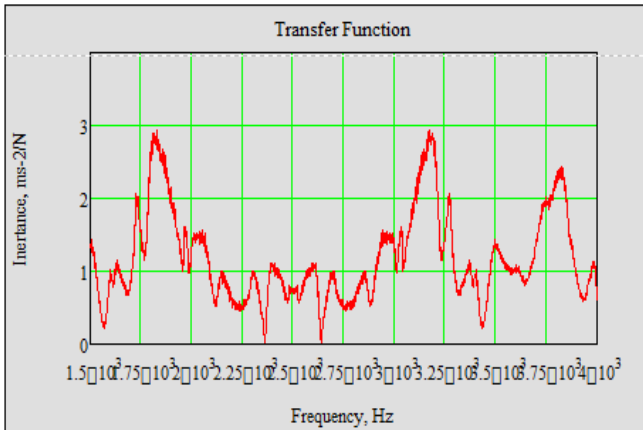
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H1A3 – PERCOBAAN 1”



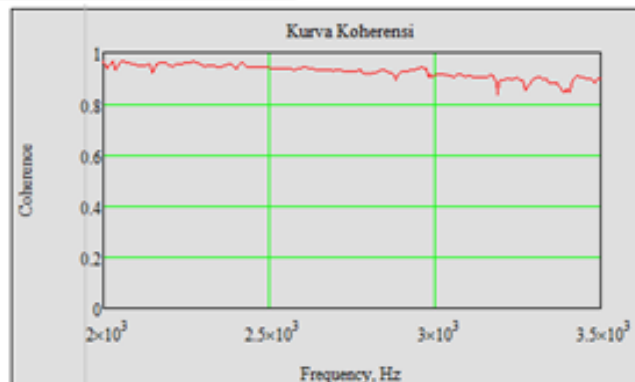
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H1A3 – PERCOBAAN 2”



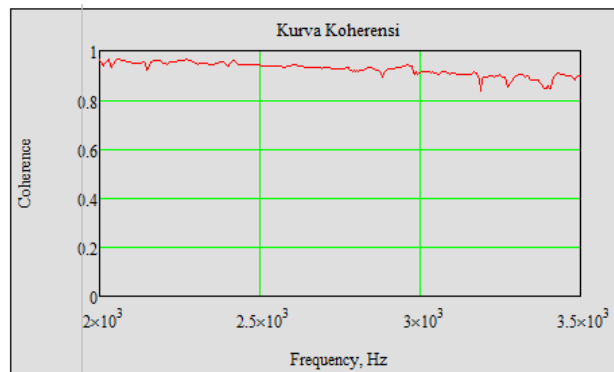
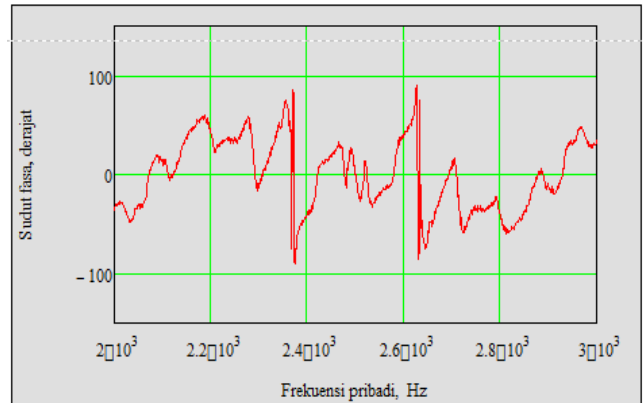
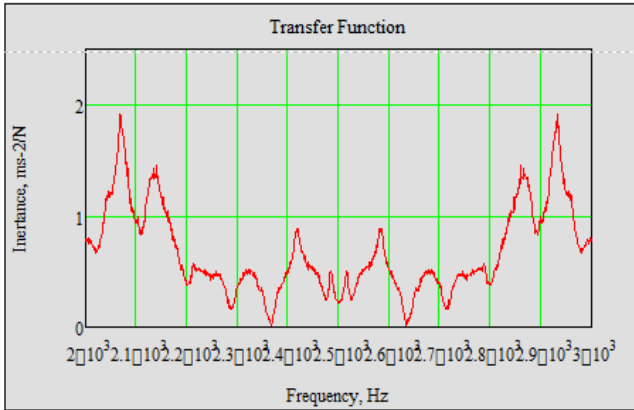
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H1A4 – PERCOBAAN 1”



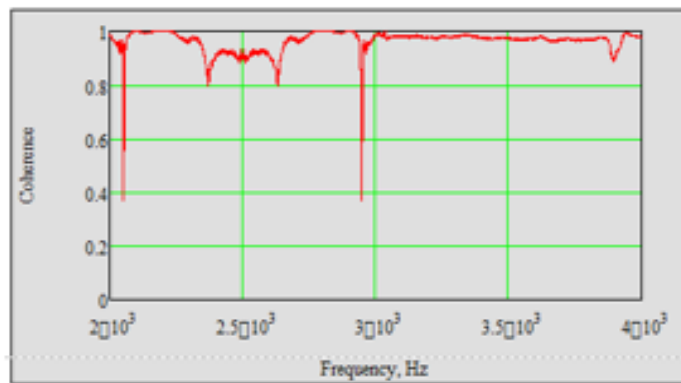
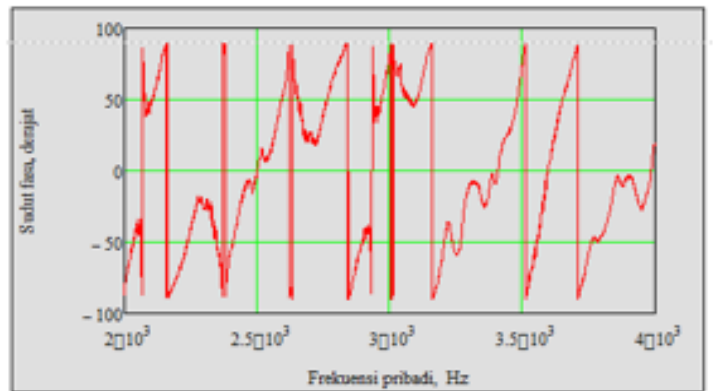
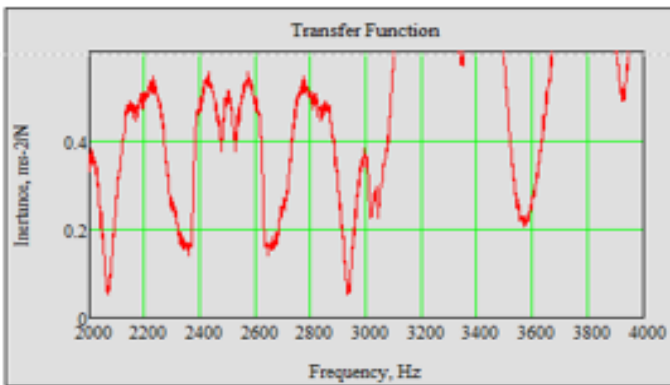
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H1A4 – PERCOBAAN 2”



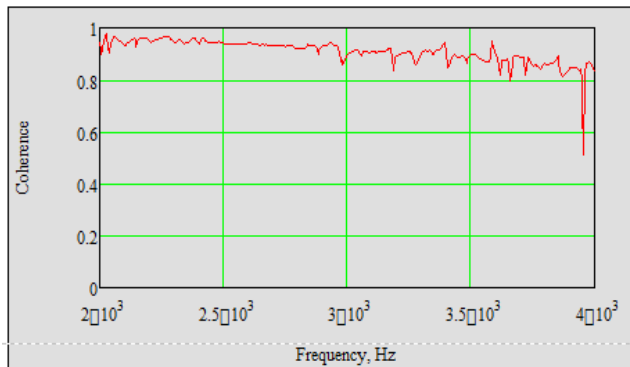
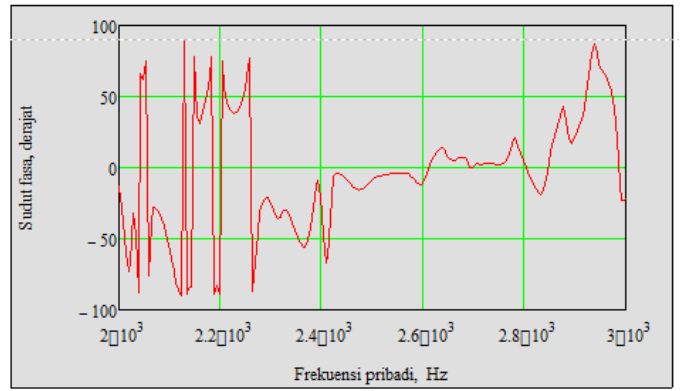
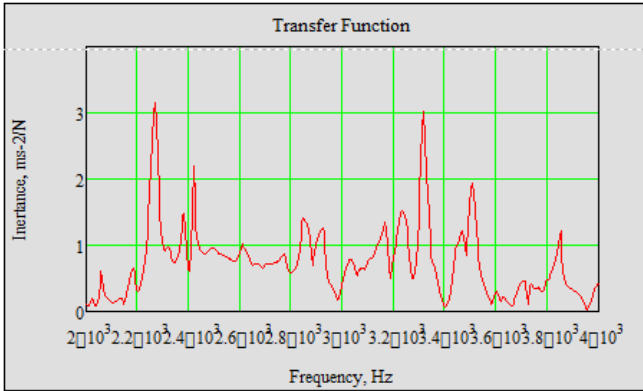
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H1A5 – PERCOBAAN 1”



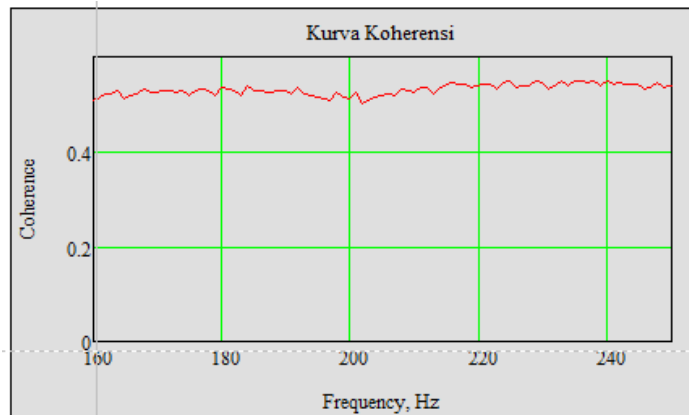
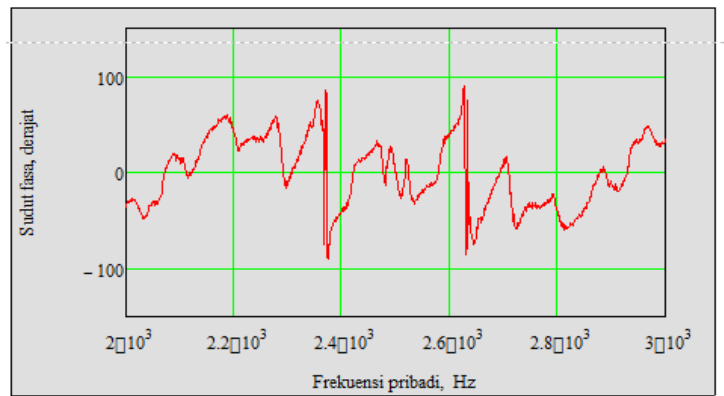
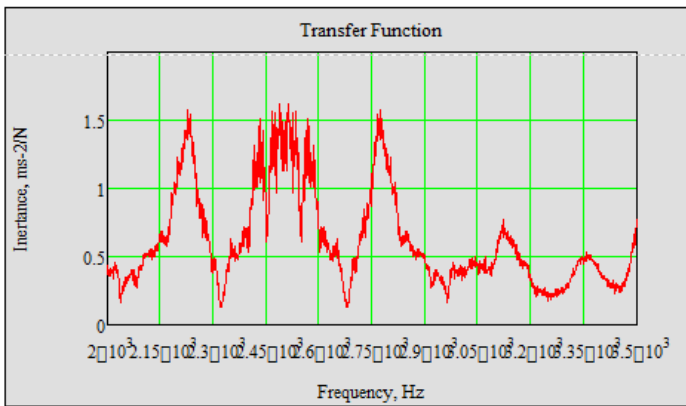
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H1A5– PERCOBAAN 2”



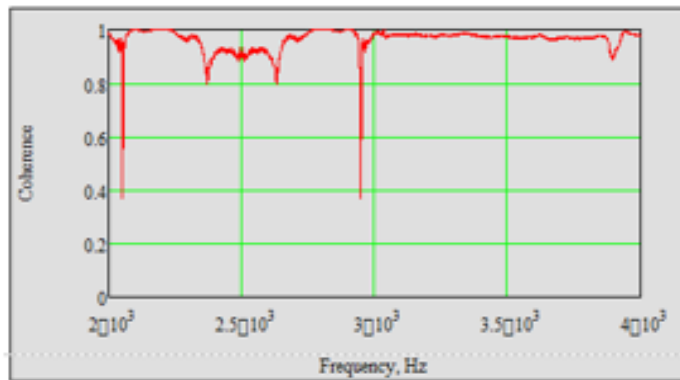
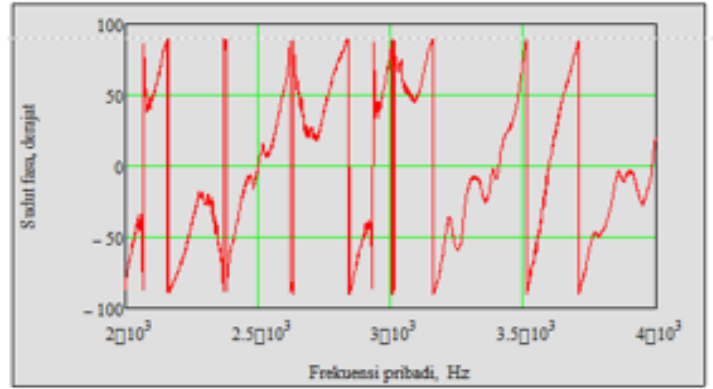
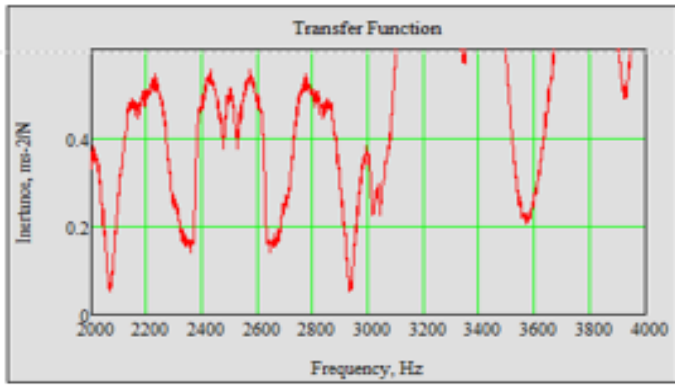
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H2A1– PERCOBAAN 1”



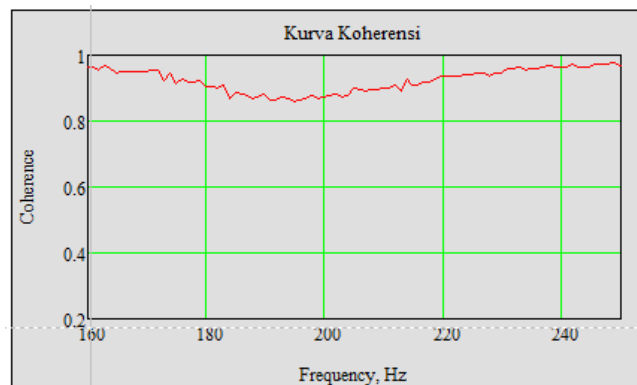
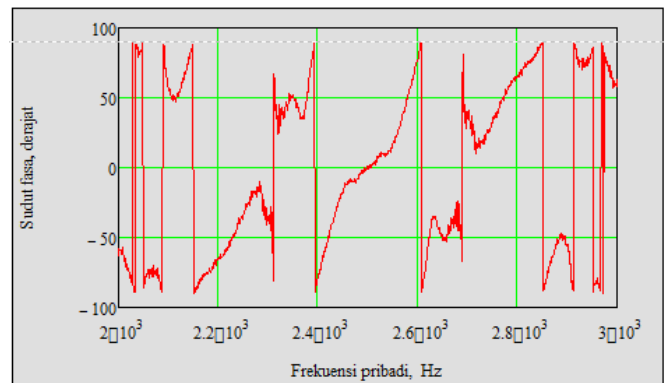
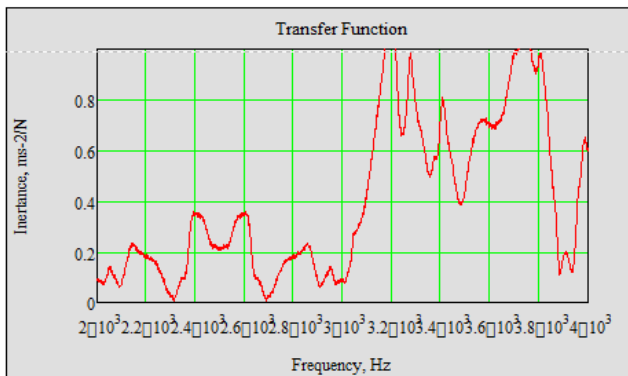
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H2A1– PERCOBAAN 2”



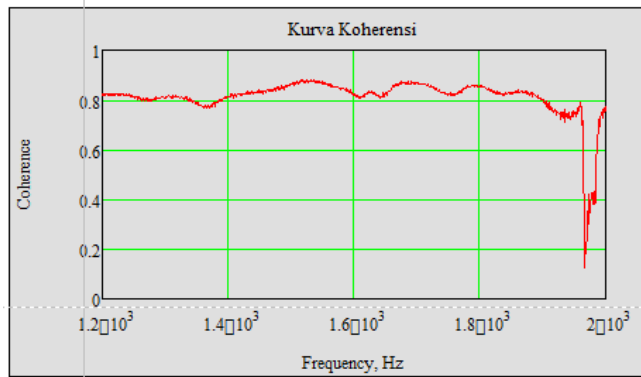
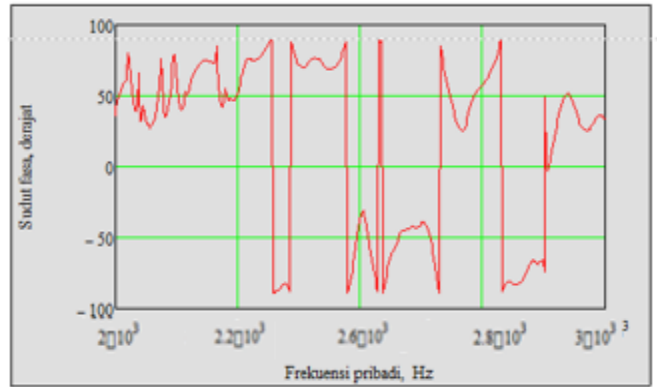
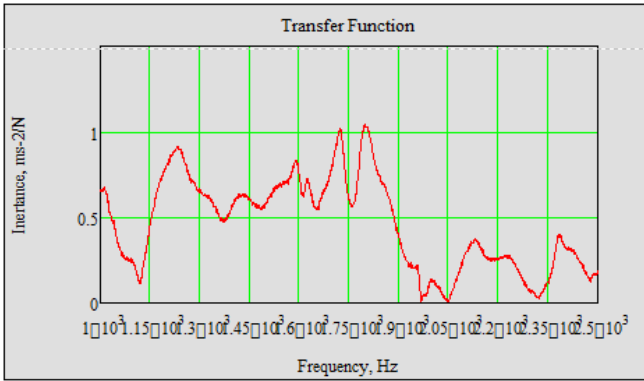
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H2A2– PERCOBAAN 1”



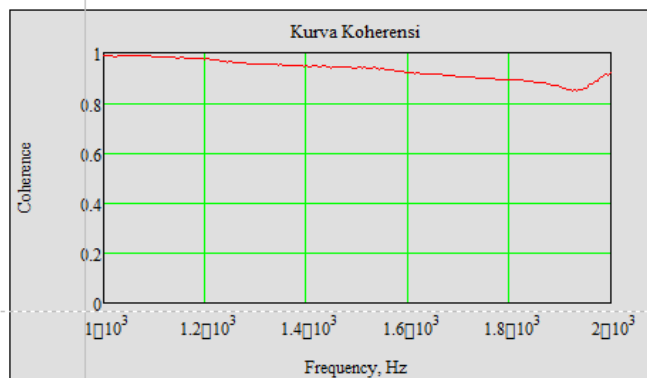
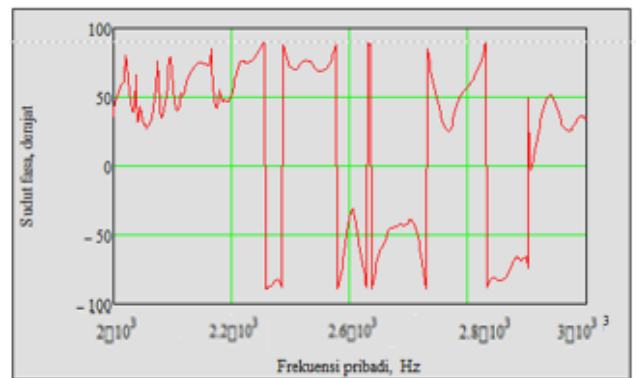
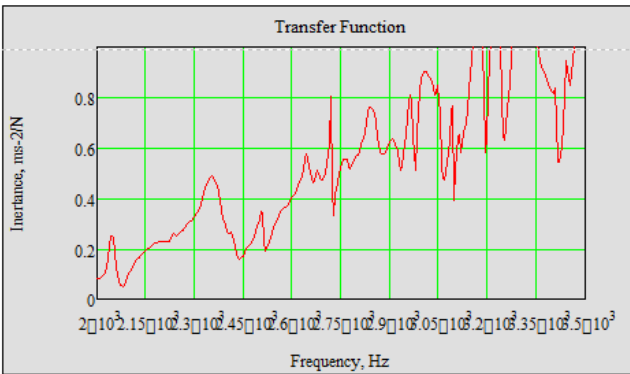
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H2A2 – PERCOBAAN 2”



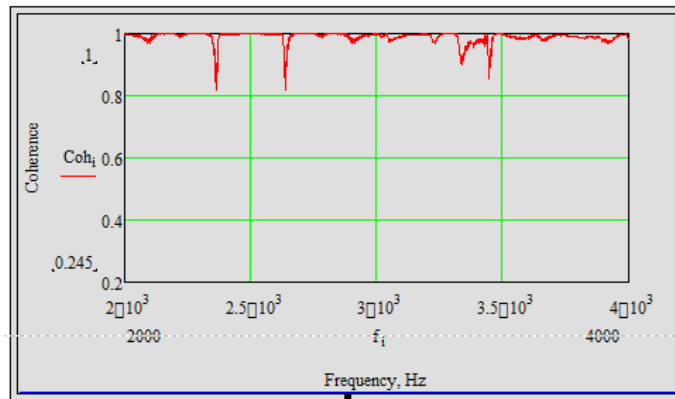
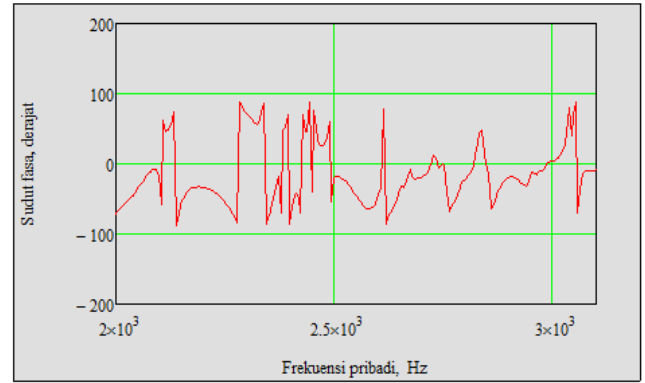
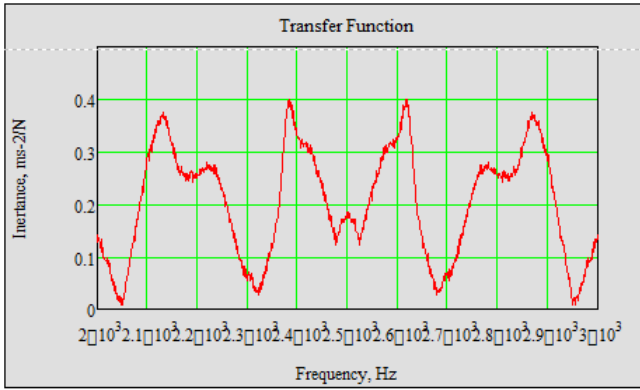
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H2A3 – PERCOBAAN 1”



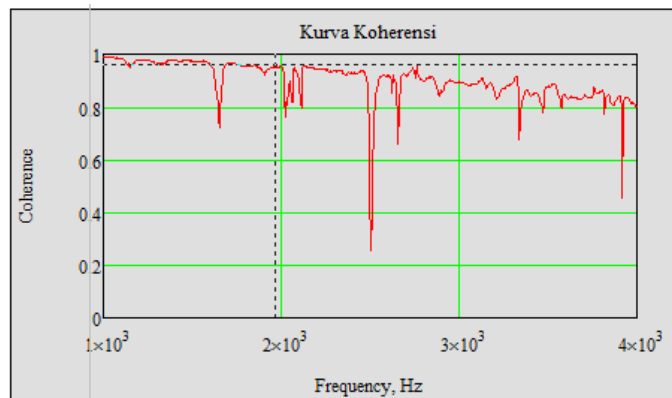
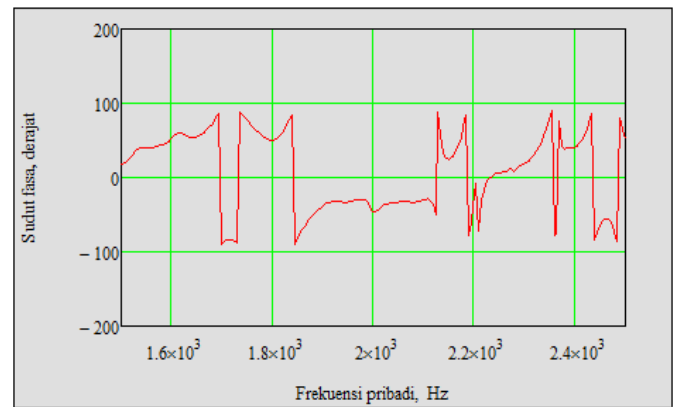
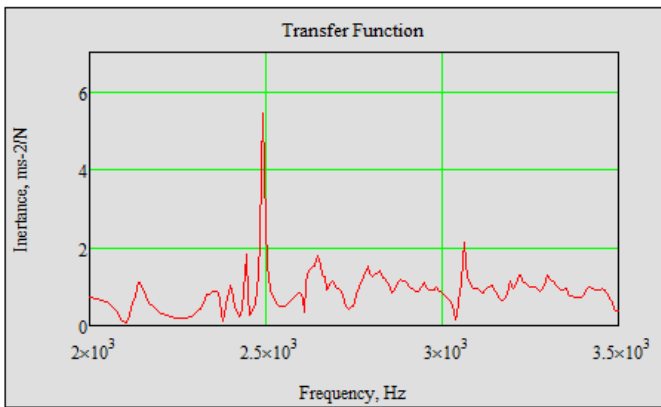
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H2A3 – PERCOBAAN 3”



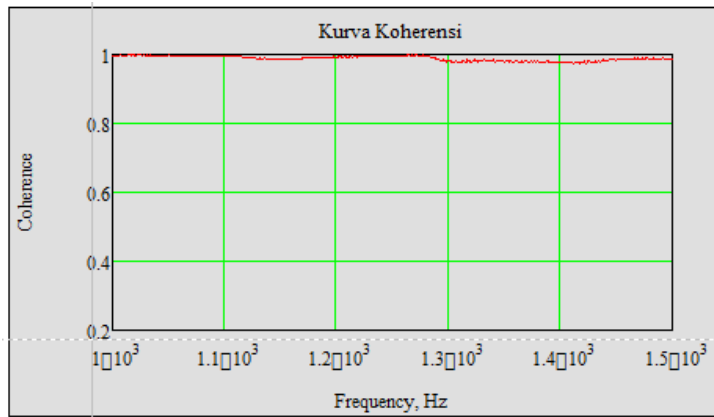
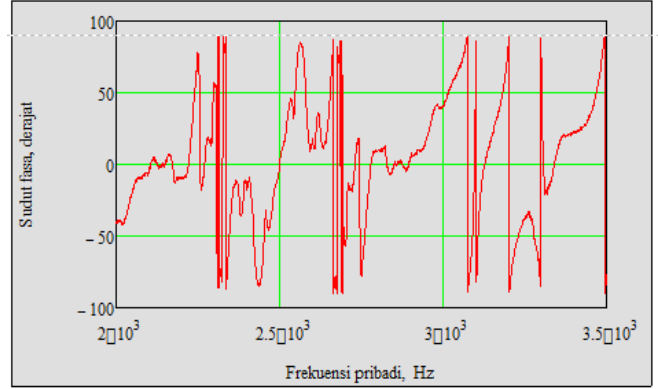
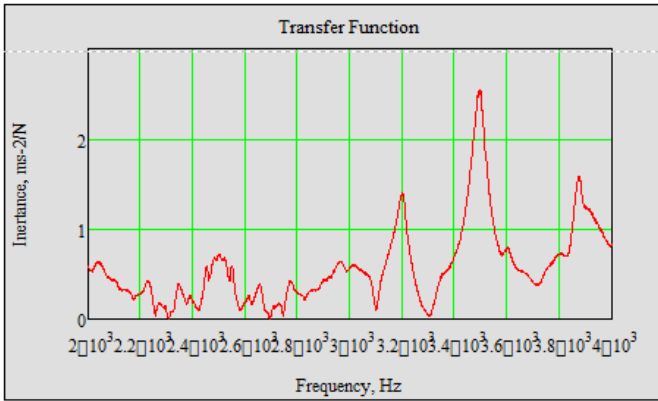
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H2A5 – PERCOBAAN 1”



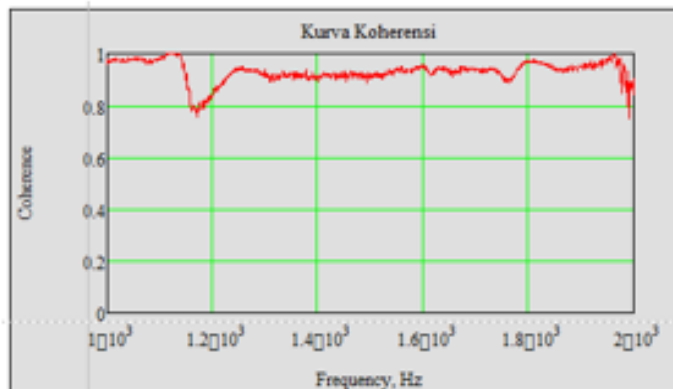
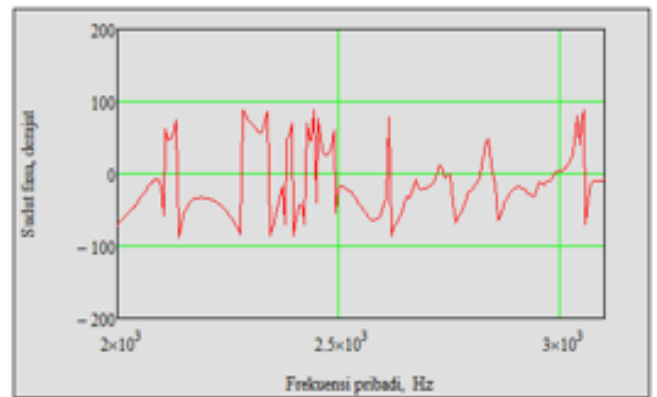
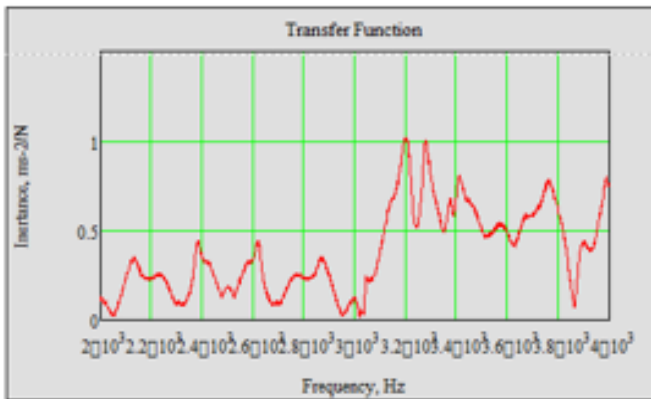
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H2A5 – PERCOBAAN 2”



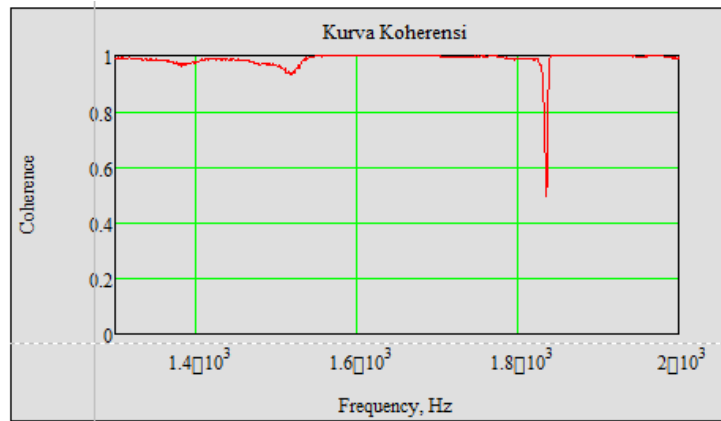
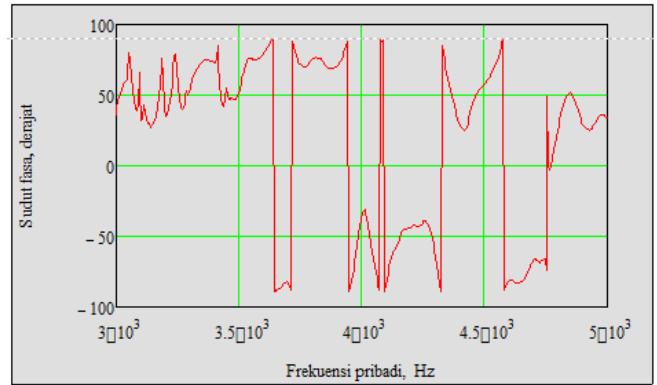
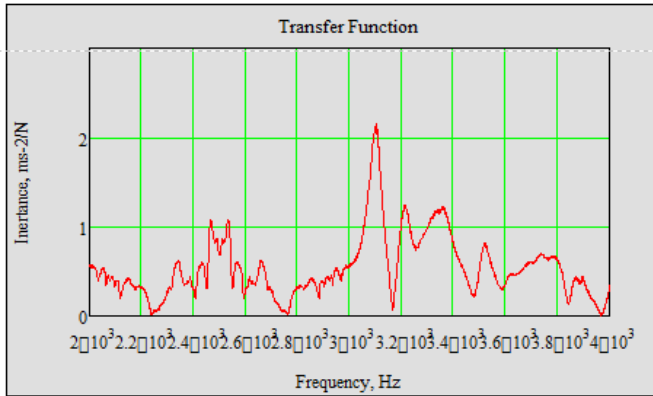
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H3A1 – PERCOBAAN 1”



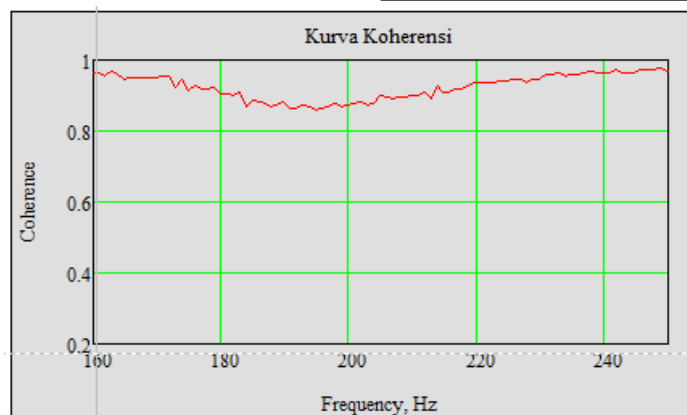
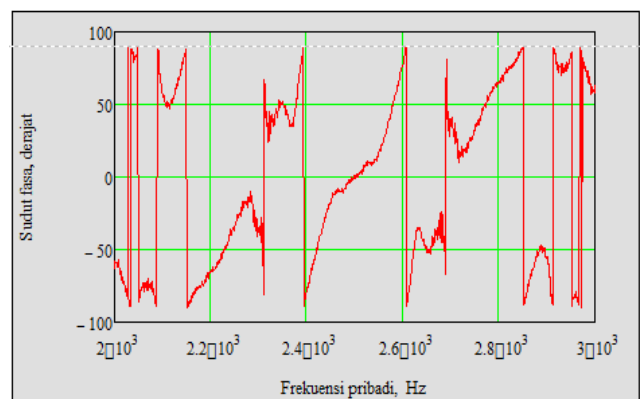
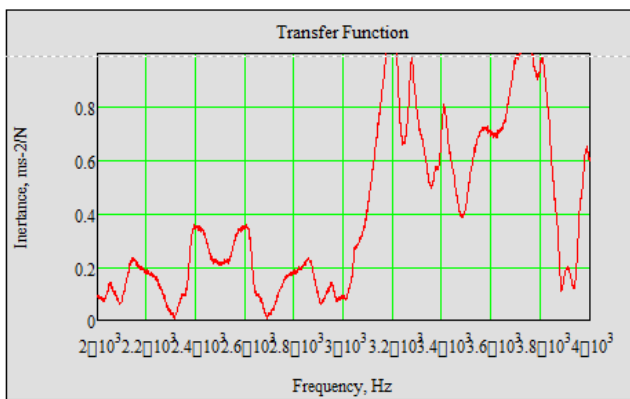
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H3A1 – PERCOBAAN 2”



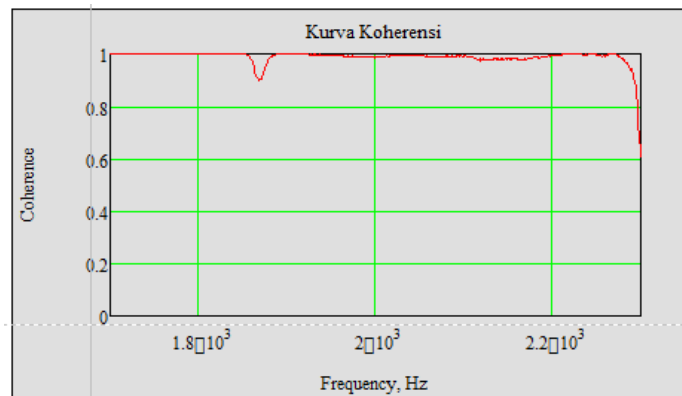
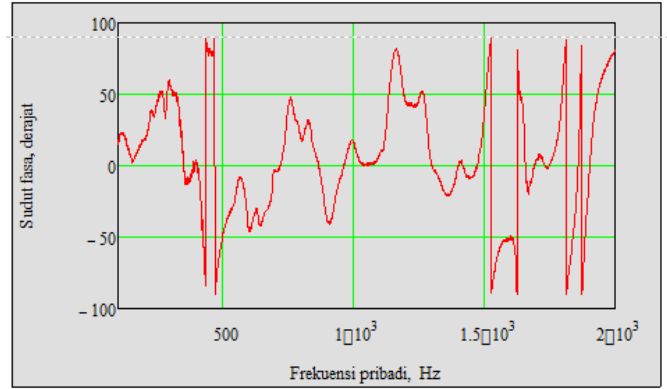
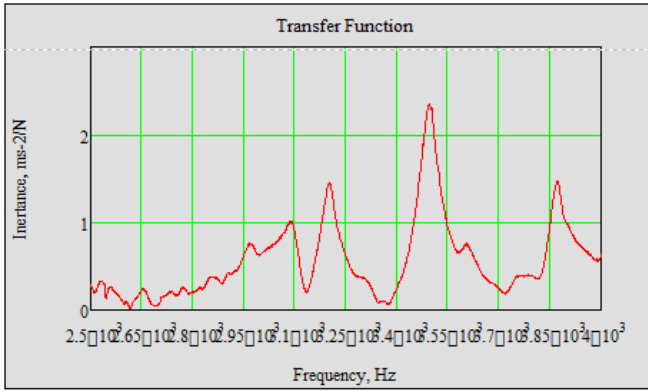
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H3A2 – PERCOBAAN 1”



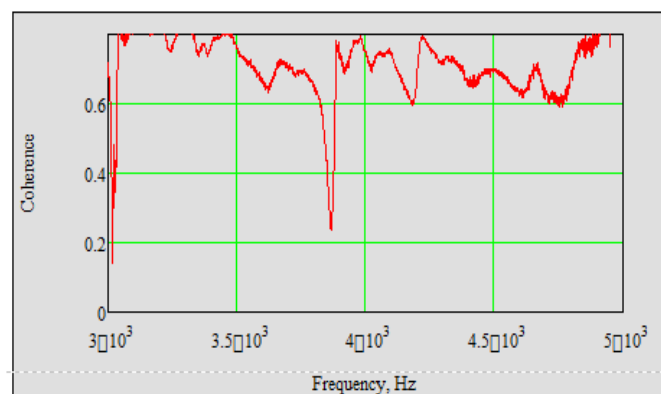
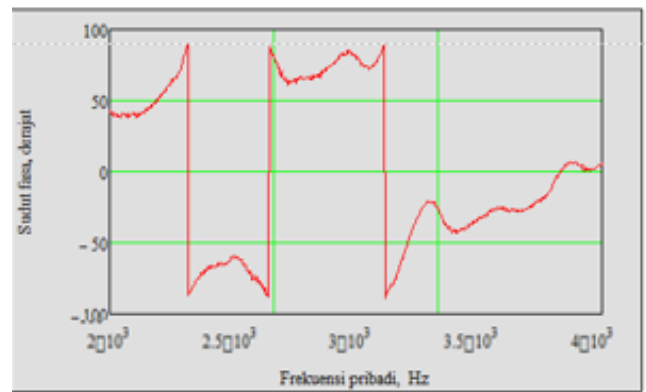
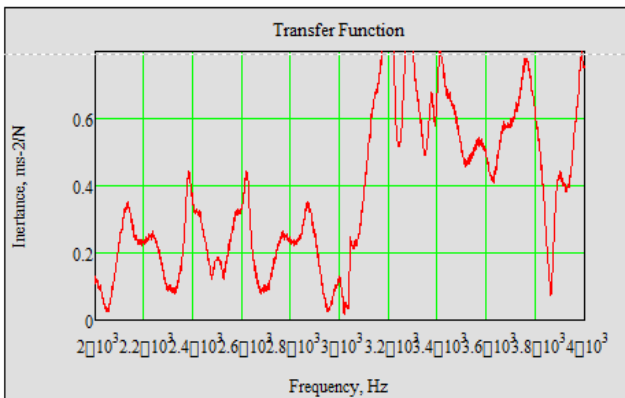
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H3A2 – PERCOBAAN 2”



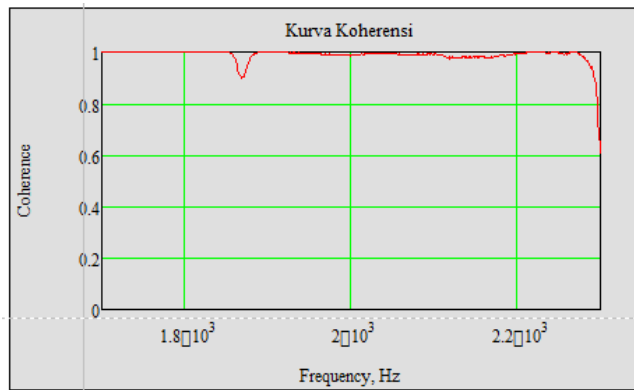
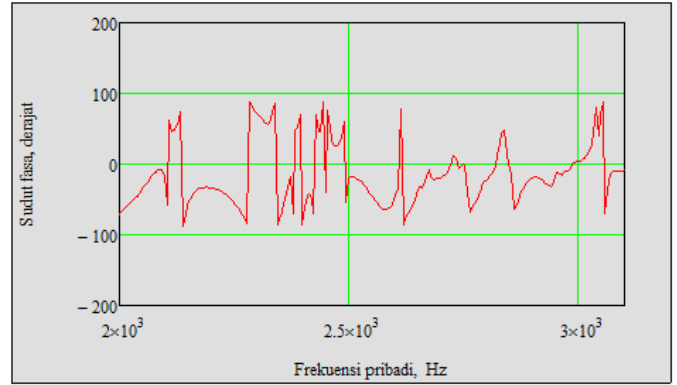
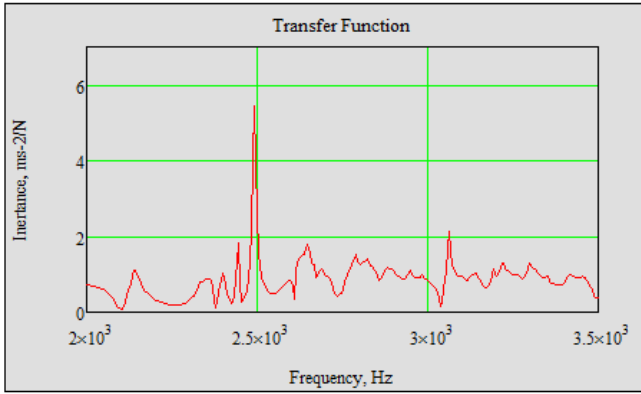
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H3A4 – PERCOBAAN 1”



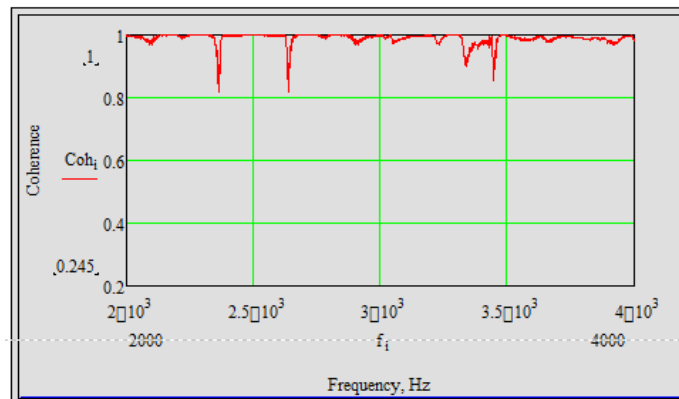
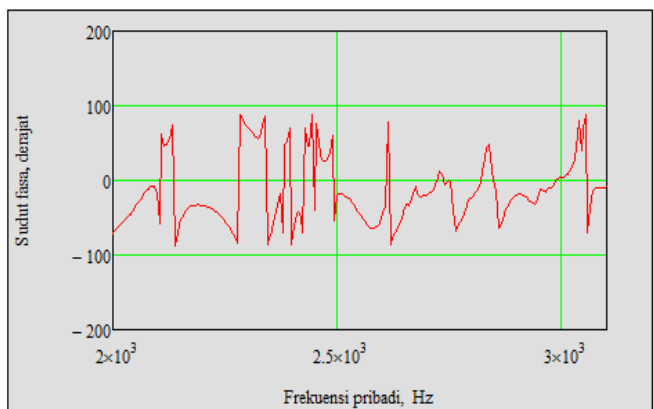
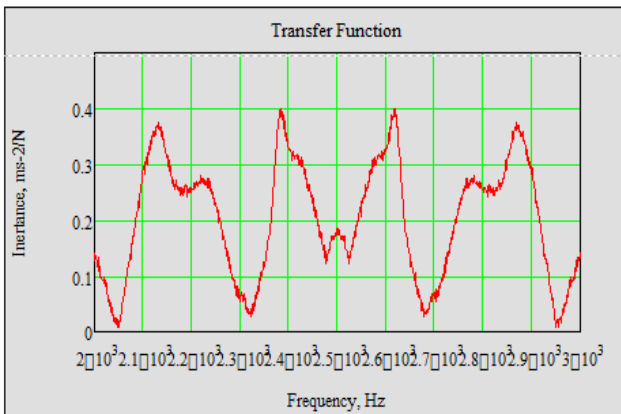
CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H3A4 – PERCOBAAN 2”



CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H3A5 – PERCOBAAN 1”



CORE MATERIAL D-1
TITIK PENGUJIAN “H3A5 – PERCOBAAN 2”





LAMPIRAN

PENGOLAHAN DAN ANALISA DATA

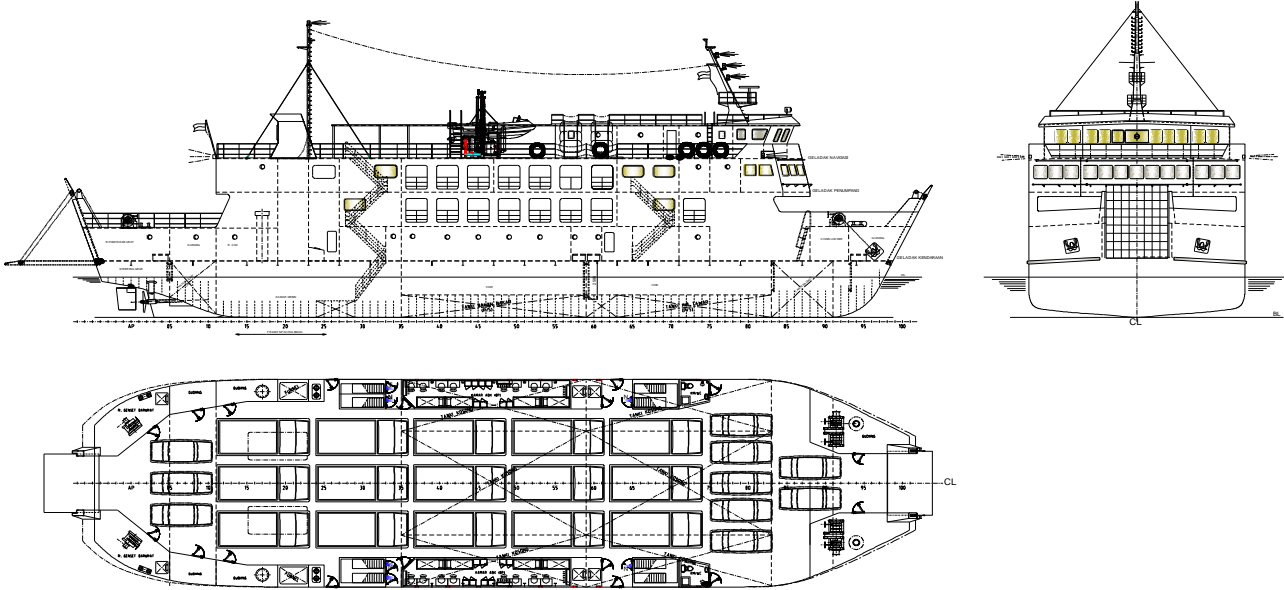


LAMPIRAN. 1

GEOMETRIK DATA KAPAL, UKURAN UTAMA KAPAL DAN DATA KONSTRUKSI

Nama Kapal	:	KMP. LINTAS PACIRAN/LAMONGAN - BAWEAN
Type Kapal	:	RORO-750 GT
Sistem Konstruksi	:	MELINTANG
Sumber Data	:	PT. ADILUHUNG SARANA SEGARA INDONESIA
Kelas	:	BKI 100 P "KAPAL PENYEBRANGAN SM"

I. GENERAL ARRANGEMENT.



II. UKURAN UTAMA KAPAL.

a. Panjang (L)

Panjang (L) adalah jarak pada garis air muat dari linggi haluan ke belakang kemudi atau garis sumbu tongkat kemudi jika tidak ada linggi kemudi. Dimana tidak boleh kurang dari 96% LWL dan tidak lebih besar dari 97% LWL.

Diketahui :	Lwl	=	50.80	m	Maka :	96% Lwl	=	48.77	m
	Lpp	=	48.82	m		97% Lwl	=	49.28	m

Sehingga : $L = 48.82$ m

b. Lebar (B)

Lebar kapal adalah jarak terbesar pada kapal yang diukur dari kulit bagian dalam.

Dimana : $B = 14.00$ m

c. Tinggi (H)

Tinggi kapal adalah jarak vertikal pada titik tengah panjang kapal (L), dari garis dasar ke bagian atas dari balok geladak dibagian sisi geladak menerus yang paling atas.

Dimana : $H = 10.85$ m

d. Sarat (T)

Sarat (T) merupakan jarak vertikal pada titik tengah panjang kapal (L), dari dasar ke tanda lambung timbul untuk garis muat musim panas.

Dimana : $T = 2.70$ m

e. Tinggi geladak (D)

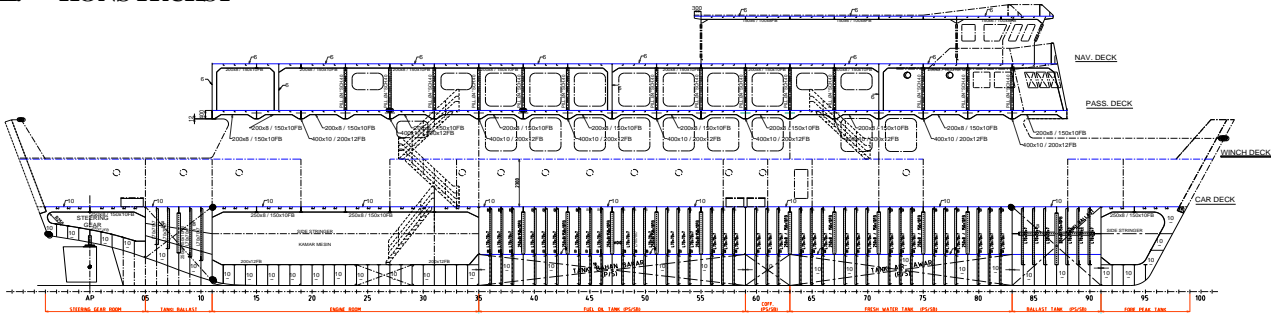
Tinggi geladak (D), adalah :

Dimana : $D = 3.80$ m

f. Rekapitulasi Principal Dimension

- Type	=	Roro - 750 GT
- Length of Over All, (LOA)	=	56.02 m
- Length Water Line, (LWL)	=	50.8 m
- Length Between Perpendicular, (LPP)	=	48.82 m
- Breadth , (B)	=	14.00 m
- Height, (H)	=	10.85 m
- Draught, (T)	=	2.70 m
- Design Sea Speed, (Vs)	=	12 knot
- Crew	=	22 persons
- Passenger	=	196 persons
- Load vehicle	=	15 Truck (8T) + 18 City Car
- Mean Engine	=	2 x 1.100 HP

III. KONSTRUKSI



Konstruksi dengan menggunakan material sandwich panel hanya dilakukan pada struktur pelat datar, dengan data pelat eksisting seperti yang diuraikan pada tabel berikut.

Nama Bagian	Luas (m ²)	Tebal pelat (m)	Volume (m ³)	Berat Pelat (Ton)
- Top Deck	157.714	0.006	0.946	7.428
- Navigation Deck	523.952	0.006	3.144	24.678
- Passenger Deck	533.472	0.006	3.201	25.127
- Crew Deck	179.592	0.006	1.078	8.459
- Car Deck	686.367	0.010	6.864	53.880
- Double bottom plate	335.870	0.008	2.687	21.093
Note : Berat jenis baja	7.85 T/m ³	Total		140.664

Dengan data penguat pada konstruksi pelat datar, ditunjukkan pada tabel berikut.

Nama Bagian	Penguat Melintang	Penguat Memanjang	Jarak Antara (m)	Jumlah
- Top Deck :				
Transversal	L 60x60x6	-	0.50	22
Longitudinal	FB. 150.6 / 100.8	-	4.00	4
- Navigation Deck :				
Transversal	L 60x60x6	FB. 150.6 / 100.8	3.00	3
Longitudinal	-	-	-	-
- Passenger Deck :				
Transversal	FB. 200.8 / 150.10	-	2.00	16
Longitudinal	-	FB. 200.8 / 150.10	2.00	7
- Crew Deck :				
Transversal	L 60x60x6	-	0.50	65
- Car Deck :				
Transversal	L 60x60x6	-	0.50	78
Longitudinal	FB. 250.8 / 150.10	-	2.00	19
Longitudinal	-	FB. 250.8 / 150.10	2.00	6
- Double bottom :				
Transversal	L 75x75x7	-	0.50	36
Longitudinal	Plate 8 mm	-	2.00	9
Longitudinal	-	Plate 8 mm	2.00	5



LAMPIRAN. 2
KALKULASI KETEBALAN PANEL SANDWICH

Nama Kapal	: KMP. LINTAS PACIRAN/LAMONGAN - BAWEAN
Type Kapal	: RORO-750 GT
Sistem Konstruksi	: MELINTANG
Sumber Data	: PT. ADILUHUNG SARANA SEGARA INDONESIA
Kelas	: BKI 100 P "KAPAL PENYEBRANGAN SM"

I. KETEBALAN MINIMUM LAPISAN FACE PLATE

Ketebalan minimum dari rancangan panel sandwich, dihitung berdasarkan persamaan berikut ini, berdasarkan aturan yang ditetapkan oleh DNV (2012).

$$t_{1,2,min} = 0,5 \left(t_0 + \frac{k \cdot L}{f_1^{0,5}} \right)$$

Dimana :

$t_{1,2,min}$: Ketebalan minimum, (mm)

f_1 : Faktor material berdasarkan jenis baja, (Lihat **Tabel.A**)

Note : Ketebalan minimum ditambahkan dengan ketebalan korosi, (Lihat **Tabel.C & D**)

t_0 : Parameter ketebalan minimum, (Lihat **Tabel.B**)

k : Parameter ketebalan minimum, (Lihat **Tabel.B**)

L : Panjang kapal, (m)

Tabel.A : Nilai faktor material berdasarkan jenis material baja.

Jenis material baja	Keterangan	f_1
NV-NS	σ_y tidak kurang dari 235 MPa	1.00
NV-27	σ_y tidak kurang dari 265 MPa	1.08
NV-32	σ_y tidak kurang dari 315 MPa	1.28
NV-36	σ_y tidak kurang dari 355 MPa	1.39
NV-40	σ_y tidak kurang dari 390 MPa	1.47

Tabel.B : Parameter ketebalan minimum.

Items	t_0	k
Bottom / Inner bottom / Side	5.0	0.04
Weather deck	5.5	0.02
Bulkhead	5.0	0.03
Tween decks & Superstructure ends and sides	5.0	0.01
Superstructure decks	5.0	0.00

Tabel.C : Ketebalan korosi yang diizinkan, (mm).

Structural member	Exposure type, upper or lower plate of the sandwich, whichever is relevant	Bulk Carriers and Dry Cargo Vessels	Tankers
Upper deck panel (weather deck)	Atmosphere	2.0	1.0
	Cargo hold / Cargo tank	2.0	3.0
	Ballast tank	3.0	3.0
Inner bottom and hoppper tank panel in cargo area	Cargo hold / Cargo tank	3.5	3.0
	Ballast tank	1.5	1,0/ 1,5
	Fuel tank	1.0	-
	Void space	1.0	0.5
Inner bottom outside cargo area	Engine room/ steering gear room etc.	1.0	0.5
	Fuel/lub.Oil/fresh water/void space	0.5	0.5
Internal car decks and ramps	Upper plate in sandwich	2.0	-
	Lower plate in sandwich	0.5	-

Tabel.D : Ketebalan korosi untuk geladak cuaca dan tutup palka, (mm).

Application	Hatch cover configuration	tk, (mm)
Bulk carriers, or carriers and combination	Weather face	1.5
	Cargo	1
	Internal Space	0.5
Cellular cargo holds intended for containers	Weather face or cargo	0.5
	Internal space	0.5
All other ship types	Weather face or cargo	1
	Internal space	0.5

Tabel.E : Perhitungan ketebalan minimum face plate panel sandwich.

Nama bagian	f_I	t_0	k	L (m)	$t_{1,2min}$ (mm)	t_k (mm)	$t_{1,2min} + t_k$ (mm)	Pembulatan (mm)
Top Deck	1.00	5.5	0.02	48.82	3.24	1.50	4.74	4.00
Navigation Deck	1.00	5.0	0.00	48.82	2.50	1.00	3.50	4.00
Passenger Deck	1.00	5.0	0.00	48.82	2.50	1.00	3.50	4.00
Crew Deck	1.00	5.0	0.00	48.82	2.50	0.50	3.00	4.00
Car Deck	1.00	5.0	0.04	48.82	3.48	2.00	5.48	6.00
Double bottom plate	1.00	5.0	0.04	48.82	3.48	0.50	3.98	4.00

II. KETEBALAN LAPISAN INTI (POLYURETHANE)

Ketebalan lapisan inti polyurethane dihitung berdasarkan persamaan berikut, yang diberikan oleh LR (2006).

$$R = 0,01A_R 0,1 \left[\frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{bt_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] k P_{eq,R}; \leq 1$$

Tabel.F : Perhitungan ketebalan lapisan inti polyurethane.

Nama bagian	a (mm)	b (mm)	A_R $(a/b)^{0,65}$	Z_{rule} (cm^3)	l (cm)	$P_{eq,R}$ (Mpa)	face plate		
							t_1 (mm)	t_2 (mm)	k
Top Deck, Navigation Deck, Crew Deck, Double bottom plate	2,400.00	1,500.00	1.36	2,109,784	240	0.062	4.0	4.0	1
	t_c (mm)	d (mm)	R	$R \leq I$	Hasil				
	20.00	24.00	1.159	no	Seluruh ketebalan dibentuk dalam panel untuk dipilih yang paling optimal.				
	25.00	29.00	0.957	oke					
	30.00	34.00	0.815	oke					
	35.00	39.00	0.708	oke					
40.00	44.00	0.626	oke						

Nama bagian	a (mm)	b (mm)	A_R $(a/b)^{0,65}$	Z_{rule} (cm^3)	l (cm)	$P_{eq,R}$ (Mpa)	face plate		
							t_1 (mm)	t_2 (mm)	k
Car Deck	2,400.00	1,500.00	1.36	2,109,784	240	0.062	6.0	6.0	1
	t_c (mm)	d (mm)	R	$R \leq I$	Hasil				
	20.00	24.00	0.829	oke	Seluruh ketebalan dibentuk dalam panel untuk dipilih yang paling optimal.				
	25.00	29.00	0.684	oke					
	30.00	34.00	0.582	oke					
	35.00	39.00	0.505	oke					
40.00	44.00	0.446	oke						

TABEL DATA HASIL
PENGUJIAN DENSITAS *CORE MATERIAL SANDWICH PANEL*
TYPE MATERIAL SYNTHETICRESIN

Density Analysis			
Core Composition	Volume	Mass	Density
	(cm ³)	(gram)	(kg/m ³)
Synteticresin			
Core Material A	3,648	4,455	1,221
Core Material B	3,648	4,939	1,354
Core Material C	3,648	5,142	1,410
Core Material D	3,648	5,479	1,502

TABEL DATA HASIL
KOMPOSISI *CORE MATERIAL SANDWICH PANEL*

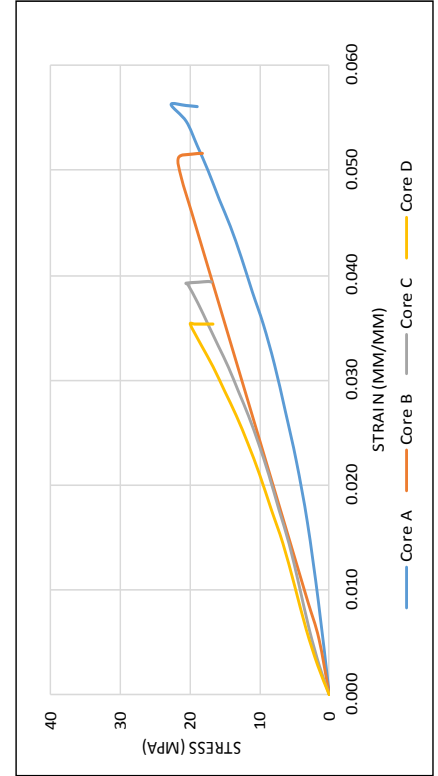
Jenis Core Material	Volume	Berat Resin	Komposisi		
	(cm ³)	(gram)	Resin (gram)	Talc (gram)	Catalist (ml)
Synteticresin					
Core Material A	3,650	3,900	3,499	390	11
Core Material B	3,650	3,900	3,109	780	11
Core Material C	3,650	3,900	2,719	1,170	11
Core Material D	3,650	3,900	2,329	1,560	11

TABEL DATA HASIL
PENGUJIAN TARIK DAN DENSITAS CORE MATERIAL SANDWICH PANEL
TYPE MATERIAL SYNTHETICRESIN

Hari Pengujian : -
 Tanggal Pengujian : -
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Material Koarmatim A.L. - Tanjung Perak, Surabaya
 Type Alat Uji : -

Standarisasi Dimensi : EN 10002
 Standarisasi Pengujian : ISO 527 - ASTM D412
 Di Uji Oleh : Windra Iswidodo

Keterangan	Dimensi Sebelum Pengujian Tarik										Dimensi Setelah Pengujian Tarik					F (N)	σ_{tensil} [F/S _o] (Mpa)	ϵ_{gns} [ΔL/L _o] (mm/mm)	ϵ_{lat} [Δb/b ₁] (mm/mm)	E [σ/ε] (Mpa)
	[a] (mm)	[b] (mm)	[S _o] (mm ²)	L _o (mm)	L _c (mm)	L _{total} (mm)	r (mm)	[a] (mm)	[b] ₁ (mm)	[S _u] (mm ²)	L (mm)	L _{c1} (mm)								
Core Material A																				
- Spesimen #1	16.00	22.00	352.00	84.00	110.00	-	25	16.00	22.00	352.00	91.31	-	7.941.88	22.56	0.09	0.00	0.00	259.41		
- Spesimen #2	15.00	21.00	315.00	84.00	109.00	-	25	14.50	21.00	304.50	91.41	-	6.811.25	21.62	0.09	0.00	0.00	245.28		
- Spesimen #3	15.00	22.00	330.00	85.00	110.00	-	25	15.00	22.00	330.00	92.97	-	8.018.75	24.30	0.09	0.00	0.00	259.25		
Core Material B																				
- Spesimen #1	16.00	21.00	336.00	85.00	110.00	-	25	16.00	21.00	336.00	93.58	-	7.925.63	23.59	0.10	0.00	0.00	233.78		
- Spesimen #2	15.00	22.00	330.00	85.00	110.00	-	25	15.00	22.00	330.00	91.72	-	6.284.38	19.04	0.08	0.00	0.00	240.91		
- Spesimen #3	16.00	20.00	320.00	85.00	111.00	-	25	15.50	20.00	310.00	89.55	-	7.235.63	22.61	0.05	0.00	0.00	422.78		
Core Material C																				
- Spesimen #1	16.00	22.00	352.00	85.00	110.00	-	25	16.00	22.00	352.00	90.05	-	7.044.38	20.01	0.06	0.00	0.00	336.91		
- Spesimen #2	16.00	22.00	352.00	85.00	110.00	-	25	15.00	23.00	345.00	90.19	-	6.973.75	19.81	0.06	0.04	0.04	324.63		
- Spesimen #3	15.00	22.00	330.00	85.00	111.00	-	25	15.00	22.00	330.00	90.97	-	7.293.75	22.10	0.07	0.00	0.00	314.74		
Core Material D																				
- Spesimen #1	15.00	20.00	300.00	84.00	110.00	-	25	16.00	22.00	352.00	89.67	-	7.285.63	24.29	0.07	0.09	0.09	359.88		
- Spesimen #2	14.00	20.00	280.00	85.00	110.00	-	25	15.00	24.00	360.00	89.19	-	4.641.88	16.58	0.05	0.17	0.17	336.11		
- Spesimen #3	15.00	21.00	315.00	84.00	106.00	-	25	16.00	22.00	352.00	89.31	-	6.068.13	19.26	0.06	0.05	0.05	304.65		



Result Type	Classification Rule of Ship			
	DNV	LR	Material Core	
Tensile Strength	> 5 Mpa at +80°C	≥ 20 Mpa at RT	[A]	[D]
Tensile Modulus	> 200 Mpa at +80°C	≥ 5 Mpa at RT	[B]	[C]
Elongation at Break	Min. 10% - 20% at 20°C	Min. 10% - 20% at RT	[A]	[D]
Shear Modulus	Min. 120 Mpa at +80°C	Min. 120 Mpa	[B]	[C]
Density	> 1000 kg/m ³	≥ 1000 kg/m ³ at RT	[A]	[D]
			[A]	[D]
Tensile Strength	22.83 Mpa	21.75 Mpa	20.64 Mpa	20.04 Mpa
Tensile Modulus	254.65 Mpa	299.16 Mpa	325.43 Mpa	333.55 Mpa
Elongation at Break	10.13 %	10.15 %	10.04 %	10.04 %
Density	1.221 Kg/m ³	1.354 Kg/m ³	1.410 Kg/m ³	1.502 Kg/m ³

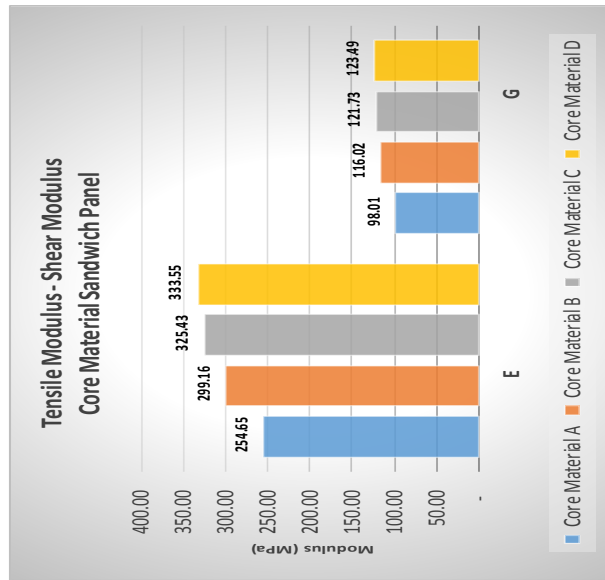
TABEL DATA HASIL
PENGUJIAN GESER MATERIAL INTI SANDWICH PANEL
TYPE MATERIAL SYNTHETICRESIN

Hari Pengujian	:		Standarisasi Dimension	:	EN 10002
Tanggal Pengujian	:		Standarisasi Pengujian	:	ASTM C273
Lokasi Pengujian	:	Laboratorium Material Koarmatim AL	Di Uji Oleh	:	Windra Iswidodo
Type Alat Uji	:			:	

Shear Test

Keterangan	Dimensional						F (N)	τ [E/L.b] (Mpa)	S [E/u] (N/mm)	E [σ/ϵ] (Mpa)	G [St/Lb] (Mpa)	ν (E/2.G)-1 (No Unit)
	[b] (mm)	[t] (mm)	L ₀ (mm)	[u] (mm)	L (mm)	[E/L.b] (Mpa)						
Core Material A												
- Spesimen #1	50,00	20,00	150,00	0,15	150,15	6,235,75	0,83	41,571,67	254,65	110,86	0,149	
Core Material B												
- Spesimen #1	50,00	20,00	150,00	0,15	150,15	6,821,88	0,91	45,479,20	299,16	121,28	0,233	
Core Material C												
- Spesimen #1	50,00	20,00	150,00	0,15	150,15	7,593,75	1,01	50,625,00	325,43	135,00	0,205	
Core Material D												
- Spesimen #1	50,00	20,00	150,00	0,15	150,15	8,109,38	1,08	54,062,53	333,55	144,17	0,157	

u : Displacement of Loading Plate --} Asumsi disp. = 0.15 mm



TABEL DATA HASIL
PENGUJIAN LENTUR SANDWICH PANEL

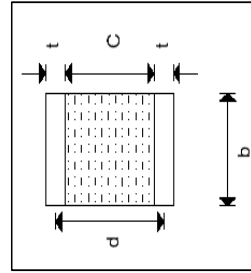
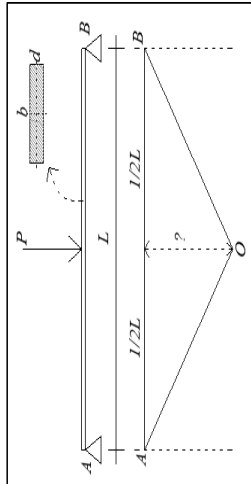
: ASTM C 393
: ASTM C 393
: Winda Iswidodo

Standarisasi Dimensional
Standarisasi Pengujian
Di Uji Oleh

Laboratorium Material Koamatim AL - Tanjung Perak, Surabaya

Hari Pengujian : -
Tanggal Pengujian : -
Lokasi Pengujian : -
Type Alat Uji : -

Dimensi Spesimen Sandwich Panel



Flexure Test

Keterangan	Dimensional				Facing Plate [E] (Mpa)	P (N)	τ (Mpa)	σ (Mpa)	D [$E(d^3 - c^3)/12$] (N·mm ²)	Δ (mm)	U [$PL/4(\Delta \cdot PL^3 / 48D)$] (N)	R [PL/bd^2]	G [$4c U/(d+c)^2 b$] (Mpa)
	[b] (mm)	[t] (mm)	[c] (mm ²)	[d] (mm)									
Core Material A													
Spesimen A1	50,00	6,00	20,00	26,00	250	9092,00	3,95	82,36	376784709,68	24,25	34659,91	67,25	26,21
Spesimen A2	50,00	6,00	21,00	27,00	250	12500,00	5,21	108,51	410072080,65	20,14	76463,23	85,73	55,75
Spesimen A3	50,00	6,00	20,00	26,00	250	12969,31	5,64	117,48	376784709,68	58,27	17222,51	95,93	13,02
Spesimen A4	50,00	6,00	22,00	28,00	200	12596,50	5,04	83,98	444775935,48	55,13	12494,09	64,27	8,80
Spesimen A5	50,00	6,00	21,00	27,00	150	13592,00	5,66	70,79	410072080,65	51,80	10303,33	55,93	7,51
Core Material B													
Spesimen B1	50,00	6,00	22,00	28,00	250	13467,31	5,39	112,23	444775935,48	24,30	58275,43	85,89	41,03
Spesimen B2	50,00	6,00	20,00	26,00	250	12265,90	5,33	111,10	376784709,68	74,12	12068,37	90,72	9,13
Spesimen B3	50,00	6,00	23,00	29,00	250	4467,19	1,72	35,79	480896274,19	55,36	5334,73	26,56	3,63
Spesimen B4	50,00	6,00	21,00	27,00	200	17385,90	7,24	120,74	410072080,65	23,67	52355,17	95,40	38,18
Spesimen B5	50,00	6,00	23,00	29,00	150	20391,90	7,84	98,04	480896274,19	35,22	23719,99	72,74	16,14
Core Material C													
Spesimen C1	50,00	6,00	21,00	27,00	250	12380,60	5,16	107,47	410072080,65	43,37	23069,14	84,91	16,82
Spesimen C2	50,00	6,00	22,00	28,00	250	15240,00	6,10	127,00	444775935,48	63,33	18255,45	97,19	12,85
Spesimen C3	50,00	6,00	20,00	26,00	250	20498,54	8,91	185,68	376784709,68	51,45	37971,05	151,62	28,71
Spesimen C4	50,00	6,00	22,00	28,00	200	23243,80	9,30	154,96	444775935,48	26,54	65181,46	118,59	45,89
Spesimen C5	50,00	6,00	22,00	28,00	150	22343,83	8,94	111,72	444775935,48	23,18	42645,73	85,50	30,02
Core Material D													
Spesimen D1	50,00	6,00	21,00	27,00	250	12638,55	5,27	109,71	410072080,65	74,15	12319,75	86,68	8,98
Spesimen D2	50,00	6,00	22,00	28,00	250	15875,14	6,35	132,29	444775935,48	43,28	31337,76	101,24	22,06
Spesimen D3	50,00	6,00	20,00	26,00	250	13969,31	6,07	126,53	376784709,68	45,50	26115,70	103,32	19,75
Spesimen D4	50,00	6,00	23,00	29,00	200	18775,65	7,22	120,36	480896274,19	33,74	34472,46	89,30	23,46
Spesimen D5	50,00	6,00	21,00	27,00	150	22975,56	9,57	119,66	410072080,65	30,58	32341,09	94,55	23,58

Sandwich Panel (6-20-6) Core Material A				Calculation of Sandwich Panel Materials							
Force		Displacement		b	t	c	d				
Dial	Sc.10000	Dial	Sc. 10	50.00	6.00	21.00	27.00				
				E_{face}	G_{core}	D	U	E_{core}			
				9443.23	1.25	410072081	1713.97	254.65			
				τ_{core}	σ	Δ	L	G_{core}	U	$\Delta x/L$	R
0.000	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	0
0.488	4879	0.09405	0.941	2.03	25.41	0.94		1282.72	1759162.84	0.00	20.07654
0.988	9878	0.20862	2.086	4.12	51.45	2.09		688.30	943956.03	0.01	40.65144
1.708	17075	0.38133	3.813	7.11	88.93	3.81		527.25	723080.65	0.01	70.2679
1.336	13356	0.60876	6.088	5.56	69.56	6.09		96.16	131882.03	0.06	54.96132
1.173	11729	0.71478	7.148	4.89	61.09	7.15		62.44	85630.51	0.08	48.26914
0.528	5277	1.44837	14.484	2.20	27.48	14.48		10.63	14571.70	0.21	21.71399
0.567	5674	1.88955	18.896	2.36	29.55	18.90		8.66	11872.76	0.27	23.35144
0.493	4931	2.2914	22.914	2.05	25.68	22.91		6.11	8378.14	0.34	20.29012
0.464	4636	2.65392	26.539	1.93	24.15	26.54		4.92	6753.55	0.39	19.07984
0.441	4412	3.09852	30.985	1.84	22.98	30.99		3.99	5472.64	0.46	18.15432
0.347	3465	3.32595	33.260	1.44	18.05	33.26		2.90	3978.06	0.50	14.26004
0.199	1990	3.57219	35.722	0.83	10.36	35.72		1.54	2108.67	0.54	8.187243

Sandwich Panel (6-20-6) Core Material B				Calculation of Sandwich Panel Materials							
Force		Displacement		b	t	c	d				
Dial	Sc.10000	Dial	Sc. 10	50.00	6.00	23.00	28.00				
				E_{face}	G_{core}	D	U	E_{core}			
				9443.23	1.25	410072081	1713.97	254.65			
				τ_{core}	σ	Δ	L	G_{core}	U	$\Delta x/L$	R
	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	0
0.156	2730	0.035	0.61	1.14	14.22	0.61		501.52	708948.80	0.00	10.44642857
0.261	4568	0.061	1.07	1.90	23.79	1.07		426.14	602383.35	0.00	17.47767857
0.395	6913	0.095	1.66	2.88	36.00	1.66		384.23	543143.16	0.01	26.45089286
0.616	10780	0.102	1.79	4.49	56.15	1.79		-4512.11	-6378264.32	0.00	41.25
1.115	19513	0.195	3.41	8.13	101.63	3.41		7747.43	10951673.01	0.00	74.66517857
1.160	20300	0.242	4.24	8.46	105.73	4.24		713.95	1009232.96	0.01	77.67857143
0.993	17378	0.374	6.55	7.24	90.51	6.55		129.30	182772.86	0.05	66.49553571
0.846	14803	0.711	12.44	6.17	77.10	12.44		39.65	56048.69	0.15	56.64508929
0.782	13685	0.895	15.66	5.70	71.28	15.66		27.26	38539.11	0.20	52.36607143
0.751	13143	1.26	22.05	5.48	68.45	22.05		17.61	24895.45	0.29	50.29017857
0.789	13808	1.702	29.79	5.75	71.91	29.79		13.36	18885.05	0.41	52.83482143
0.735	12863	2.12	37.10	5.36	66.99	37.10		9.78	13822.90	0.52	49.21875
0.667	11673	2.589	45.31	4.86	60.79	45.31		7.15	10107.56	0.64	44.66517857
0.569	9958	2.753	48.18	4.15	51.86	48.18		5.68	8035.40	0.69	38.10267857
0.408	7140	3.126	54.71	2.98	37.19	54.71		3.54	5006.47	0.79	27.32142857
0.115	2013	3.205	56.09	0.84	10.48	56.09		0.96	1353.88	0.82	7.700892857

FLEXURE ANALYSIS

Sandwich Panel (6-20-6) Core Material C				Calculation of Sandwich Panel Materials							
				b	t	c	d				
Force	Displacement			50.00	6.00	23.00	28.00				
Dial	Sc.10000	Dial	Sc.10	E_{face}	G_{core}	D	U	E_{core}			
				9443.23	1.25	410072081	1713.97	254.65			
				τ_{core}	σ	Δ	L	G_{core}	U	$\Delta x/L$	R
	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	0
0.296	5062	0.148	2.35	2.11	26.36	2.35		93.18	127790.73	0.02	19.36837
0.531	9080	0.22	3.50	3.78	47.29	3.50		127.91	175418.66	0.03	34.74528
0.987	16878	0.335	5.33	7.03	87.90	5.33		189.72	260181.43	0.04	64.58304
1.304	22298	0.452	7.19	9.29	116.14	7.19		181.28	248612.09	0.05	85.32551
0.772	13201	0.611	9.71	5.50	68.76	9.71		48.44	66436.75	0.11	50.5148
0.575	9833	0.789	12.55	4.10	51.21	12.55		24.76	33954.56	0.17	37.62436
0.643	10995	1.314	20.89	4.58	57.27	20.89		15.82	21692.91	0.29	42.07385
0.614	10499	1.814	28.84	4.37	54.68	28.84		10.62	14559.67	0.41	40.17628
0.557	9525	2.285	36.33	3.97	49.61	36.33		7.51	10293.75	0.53	36.44656
0.483	8259	2.576	40.96	3.44	43.02	40.96		5.71	7832.73	0.60	31.60446
0.421	7199	2.843	45.20	3.00	37.50	45.20		4.48	6139.88	0.67	27.54758

Sandwich Panel (6-20-6) Core Material D				Calculation of Sandwich Panel Materials							
				b	t	c	d				
Force	Displacement			50.00	6.00	23.00	26.00				
Dial	Sc.10000	Dial	Sc.10	E_{face}	G_{core}	D	U	E_{core}			
				9443.23	1.25	410072081	1713.97	254.65			
				τ_{core}	σ	Δ	L	G_{core}	U	$\Delta x/L$	R
	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	0
0.054	875	0.201	3.20	0.36	4.56	3.20		7.85	10770.20	0.05	3.882249
0.789	12782	0.432	6.87	5.33	66.57	6.87		74.72	102479.92	0.07	56.72396
1.410	22842	0.703	11.18	9.52	118.97	11.18		86.02	117967.26	0.11	101.3698
0.995	16119	0.895	14.23	6.72	83.95	14.23		38.44	52714.71	0.17	71.53402
0.756	12247	1.089	17.32	5.10	63.79	17.32		22.01	30185.05	0.23	54.35148
0.685	11097	1.606	25.54	4.62	57.80	25.54		12.84	17608.57	0.36	49.24704
0.568	9202	2.155	34.26	3.83	47.93	34.26		7.70	10556.57	0.50	40.8355
0.448	7258	2.551	40.56	3.02	37.80	40.56		5.05	6922.29	0.60	32.20828
0.378	6124	2.63	41.82	2.55	31.89	41.82		4.11	5632.86	0.62	27.17574
0.325	5265	2.678	42.58	2.19	27.42	42.58		3.45	4737.27	0.64	23.36538
0.287	4649	2.71	43.09	1.94	24.22	43.09		3.01	4122.61	0.64	20.63343

FLEXURE ANALYSIS

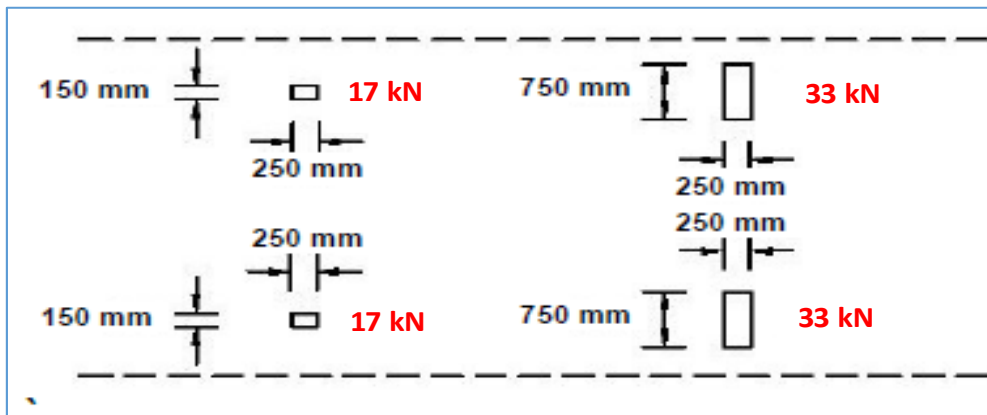
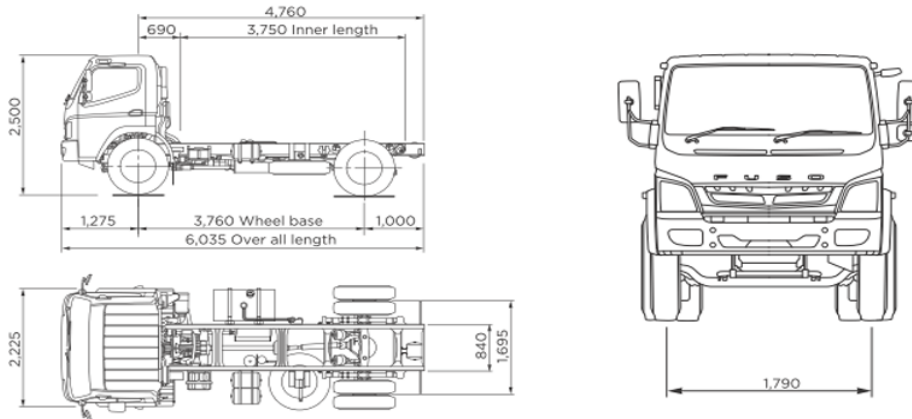


LAMPIRAN. 8

KALKULASI PEMBENANAN PADA GELADAK KENDARAAN

Nama Kapal	:	KMP. LINTAS PACIRAN/LAMONGAN - BAWEAN
Type Kapal	:	RORO-750 GT
Lokasi Model	:	GELADAK KENDARAAN - MDSHIP SECTION
Dimensi Model	:	6 x 3,5 Meter
Standarisasi	:	SNI 1725 : 2016

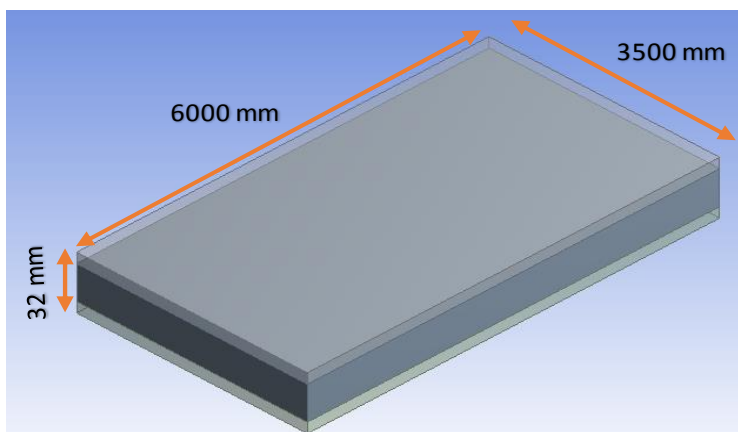
I. ILUSTRASI PEMBEBANAN



Berat Total Truk : **100 kN**
 Distribusi beban : **34% : 66%**

II. VOLUME MODEL GELADAK KENDARAAN

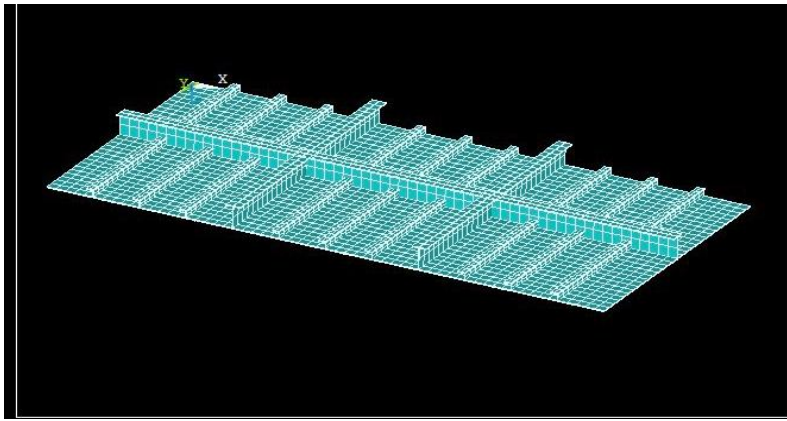
A. Sandwich Panel



$$\begin{aligned}
 V_{pl} &= P \times L \times t \\
 &= 6000 \times 3500 \times 6 \text{ mm} \\
 &= \mathbf{0.13 \text{ m}^3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{core} &= P \times L \times t \\
 &= 6000 \times 3500 \times 20 \text{ mm} \\
 &= \mathbf{0.42 \text{ m}^3}
 \end{aligned}$$

B. Pelat Konvensional



$$\begin{aligned} V_{pl} &= P \times L \times \text{tebal} \\ &= 6 \times 3.5 \times 0.012 \text{ m} \\ &= \mathbf{0.25 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

III. KALKULASI PEMBEBANAN SANDWICH PANEL

A. Core Material A

$$\begin{aligned} W_{pl} &= \rho \times V \\ &= 7850 \times 0.126 \\ &= \mathbf{989.10 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_c &= \rho \times V \\ &= 1221 \times 0.42 \\ &= \mathbf{512.82 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{pl} &= \rho \times V \\ &= 7850 \times 0.126 \\ &= \mathbf{989.10 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$W_{\text{Total}} = \mathbf{2491.02 \text{ kg}}$$

B. Core Material B

$$\begin{aligned} W_{pl} &= \rho \times V \\ &= 7850 \times 0.126 \\ &= \mathbf{989.10 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_c &= \rho \times V \\ &= 1354 \times 0.42 \\ &= \mathbf{568.68 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{pl} &= \rho \times V \\ &= 7850 \times 0.126 \\ &= \mathbf{989.10 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$W_{\text{Total}} = \mathbf{2546.88 \text{ kg}}$$

C. Core Material C

$$\begin{aligned} W_{pl} &= \rho \times V \\ &= 7850 \times 0.126 \\ &= \mathbf{989.10 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_c &= \rho \times V \\ &= 1410 \times 0.42 \\ &= \mathbf{592.20 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{pl} &= \rho \times V \\ &= 7850 \times 0.126 \\ &= \mathbf{989.10 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$W_{\text{Total}} = \mathbf{2570.40 \text{ kg}}$$

D. Core Material D

$$\begin{aligned} W_{pl} &= \rho \times V \\ &= 7850 \times 0.126 \\ &= \mathbf{989.10 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_c &= \rho \times V \\ &= 1502 \times 0.42 \\ &= \mathbf{630.84 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{pl} &= \rho \times V \\ &= 7850 \times 0.126 \\ &= \mathbf{989.10 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$W_{\text{Total}} = \mathbf{2609.04 \text{ kg}}$$

IV. KALKULASI PEMBEBANAN PELAT KONVENSIONAL

A. Berat Pelat Strip

$$\begin{aligned} V_{pl} &= P \times L \times \text{tebal} \\ &= 6 \times 3.5 \times 0.012 \text{ m} \\ &= \mathbf{0.25 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{pl} &= \rho \times V \\ &= 7850 \times 0.25 \\ &= \mathbf{1978.20 \text{ kg}} \end{aligned}$$

B. Berat Profil L

$$\begin{aligned} W_L &= W_{profil} \times P_{profil} \times \text{Jumlah Profil} \\ &= 9.66 \times 9 \times 3.5 \\ &= \mathbf{304.29 \text{ kg}} \end{aligned}$$

C. Berat Profil T

$$\begin{aligned} W_{T1} &= W_{profil} \times P_{profil} \times \text{Jumlah Profil} \\ &= 33 \times 6 \times 1 \\ &= \mathbf{198.00 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{T2} &= W_{profil} \times P_{profil} \times \text{Jumlah Profil} \\ &= 33 \times 3 \times 3.5 \\ &= \mathbf{346.50 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{T_{total}} &= W_{T1} + W_{T2} \\ &= \mathbf{544.50 \text{ kg}} \end{aligned}$$

C. Berat Total

$$\begin{aligned} W_{total} &= W_{pl} + W_L + W_T \\ &= \mathbf{2826.99 \text{ kg}} \end{aligned}$$

PENGUJIAN GETARAN SANDWICH PANEL KONDISI UTUH

PENGUJIAN GETARAN SANDWICH PANEL										
Spesimen Uji	Titik eksitasi (Hammer)	Posisi acc (probe)	#Percobaan I		#Percobaan II		Rata-Rata		Standart Deviasi	
			Frekuensi Natural		Frekuensi Natural		Frekuensi Natural		Frekuensi Natural	
			mode 1	mode 2	mode 1	mode 2	mode 1	mode 2	mode 1	mode 2
Core Material A-1	1	A	2152	2988	2180	2928	2143	2961	16.76	28.14
		B	2144	2928	2123	2986				
		C	2152	2986	2128	2928				
		D	2136	2928	2176	2928				
		E	2146	2988	2123	2928				
	2	A	2152	2988	2152	2928				
		B	2174	2986	2119	2928				
		C	2152	2986	2132	2988				
		D	2136	2986	2131	2928				
		E	2152	2968	2123	2984				
	3	A	2136	2988	2123	2988				
		B	2136	2968	2136	2988				
		C	2132	2986	2155	2928				
		D	2136	2968	2123	2928				
		E	2166	2928	2152	2980				
Core Material A-2	1	A	2136	2986	2152	2986	2150	2958	17.56	29.63
		B	2132	2928	2152	2928				
		C	2151	2928	2146	2970				
		D	2152	2991	2152	2928				
		E	2132	2984	2174	2928				
	2	A	2136	2928	2152	2986				
		B	2136	2928	2152	2928				
		C	2152	2928	2146	2916				
		D	2149	2968	2152	2928				
		E	2136	2988	2174	2928				
	3	A	2136	2988	2184	2928				
		B	2112	2988	2152	2988				
		C	2136	2986	2152	2988				
		D	2136	2928	2184	2988				
		E	2194	2984	2152	2986				
Core Material D-1	1	A	2074	2991	2048	2857	2056	2840	27.36	34.98
		B	2074	2820	2038	2801				
		C	2074	2857	2080	2802				
		D	2074	2820	2010	2857				
		E	2074	2820	2015	2857				
	2	A	2010	2820	2013	2801				
		B	2015	2820	2038	2858				
		C	2074	2857	2074	2820				
		D	2038	2830	2074	2857				
		E	2080	2820	2074	2857				
	3	A	2085	2857	2074	2857				
		B	2074	2820	2015	2857				
		C	2074	2820	2074	2830				
		D	2074	2830	2080	2820				
		E	2074	2820	2010	2857				
Core Material D-2	1	A	2010	2857	2080	2820	2033	2833	26.70	23.25
		B	2010	2803	2010	2857				
		C	2015	2857	2015	2857				
		D	2013	2830	2013	2820				
		E	2080	2820	2038	2857				
	2	A	2038	2857	2074	2830				
		B	2038	2812	2038	2820				
		C	2038	2828	2058	2857				
		D	2103	2822	2010	2807				
		E	2010	2822	2015	2801				
	3	A	2015	2820	2013	2801				
		B	2013	2820	2010	2857				
		C	2074	2820	2015	2857				
		D	2053	2822	2013	2857				
		E	2038	2890	2038	2801				

NILAI KOHERNSI PENGUJIAN								
Spesimen Uji	Titik eksitasi	Posisi acc (probe)	#Percobaan I		#Percobaan II		Rata-Rata	
			Frekuensi Natural		Frekuensi Natural		Frekuensi Natural	
			mode 1	mode 2	mode 1	mode 2	mode 1	mode 2
Core Material A-1	1	A	0.95	0.95	0.88	0.87	0.90	0.89
		B	0.92	0.93	0.97	0.93		
		C	0.92	0.93	0.95	0.93		
		D	0.9	0.91	0.89	0.88		
		E	0.9	0.92	0.9	0.87		
	2	A	0.9	0.85	0.9	0.91		
		B	0.92	0.91	0.91	0.96		
		C	0.91	0.9	0.9	0.89		
		D	0.92	0.9	0.92	0.92		
		E	0.91	0.93	0.88	0.89		
	3	A	0.93	0.92	0.98	0.98		
		B	0.9	0.92	0.9	0.85		
		C	0.94	0.89	0.92	0.91		
		D	0.92	0.91	0.98	0.99		
		E	0.89	0.89	0.92	0.92		
Core Material A-2	1	A	0.9	0.85	0.9	0.85	0.91	0.88
		B	0.92	0.91	0.92	0.91		
		C	0.92	0.91	0.91	0.96		
		D	0.91	0.9	0.9	0.89		
		E	0.92	0.9	0.92	0.92		
	2	A	0.91	0.93	0.88	0.89		
		B	0.93	0.92	0.98	0.98		
		C	0.89	0.89	0.92	0.92		
		D	0.9	0.85	0.9	0.85		
		E	0.92	0.9	0.92	0.92		
	3	A	0.91	0.93	0.88	0.89		
		B	0.96	0.95	0.91	0.95		
		C	0.91	0.93	0.88	0.89		
		D	0.92	0.9	0.92	0.92		
		E	0.91	0.93	0.88	0.89		
Core Material D-1	1	A	0.89	0.92	0.9	0.85	0.90	0.88
		B	0.91	0.98	0.92	0.91		
		C	0.89	0.92	0.91	0.9		
		D	0.85	0.9	0.92	0.9		
		E	0.91	0.92	0.91	0.93		
	2	A	0.91	0.91	0.93	0.92		
		B	0.9	0.9	0.9	0.92		
		C	0.9	0.92	0.94	0.89		
		D	0.92	0.9	0.92	0.91		
		E	0.91	0.93	0.89	0.89		
	3	A	0.93	0.92	0.98	0.98		
		B	0.89	0.89	0.92	0.92		
		C	0.9	0.85	0.9	0.85		
		D	0.92	0.9	0.92	0.92		
		E	0.91	0.93	0.88	0.89		
Core Material D-2	1	A	0.96	0.95	0.91	0.95	0.91	0.93
		B	0.91	0.93	0.88	0.89		
		C	0.92	0.9	0.92	0.92		
		D	0.9	0.9	0.9	0.92		
		E	0.9	0.92	0.94	0.89		
	2	A	0.92	0.9	0.92	0.91		
		B	0.91	0.93	0.89	0.89		
		C	0.93	0.92	0.98	0.98		
		D	0.89	0.89	0.92	0.92		
		E	0.9	0.85	0.9	0.85		
	3	A	0.92	0.9	0.92	0.92		
		B	0.91	0.93	0.88	0.89		
		C	0.89	0.92	0.9	0.85		
		D	0.91	0.98	0.92	0.91		
		E	0.89	0.92	0.91	0.9		

NILAI DAMPING RATIO SANDWICH PANEL KONDISI UTUH

Material	Hammer	Posisi acc	a	a/v2	mode	ω_a	ω_b	ζ	(%)	Rata-Rata
A-1	1	E	2.31E-13	1.63E-13	2146	2129	2155	0.006058	0.606	0.727
	2	E	4.09E-13	2.90E-13	2152	2132	2166	0.0079	0.790	
	3	E	5.41E-13	3.82E-13	2166	2145	2179	0.007849	0.785	
A-2	1	E	2.82E-13	1.99E-13	2074	2062	2086	0.005786	0.579	0.733
	2	E	3.77E-13	2.66E-13	2136	2122	2163	0.009597	0.960	
	3	E	3.09E-13	2.19E-13	2194	2179	2208	0.006609	0.661	
D-1	1	E	3.01E-13	2.13E-13	2074	2058	2088	0.007232	0.723	0.763
	2	E	2.91E-13	2.06E-13	2080	2067	2098	0.007452	0.745	
	3	E	4.53E-13	3.20E-13	2074	2021	2055	0.008197	0.820	
D-2	1	E	3.15E-13	2.23E-13	2080	2068	2093	0.00601	0.601	0.792
	2	E	2.89E-13	2.04E-13	2010	2093	2114	0.005224	0.522	
	3	E	2.78E-13	1.96E-13	2038	2014	2065	0.012512	1.251	

Damping Ratio Utuh				
Jenis Material	Hammer	Posisi acc	(%)	Rata-rata
Core Material A-1	1	E	0.606	0.727
	2	E	0.790	
	3	E	0.785	
Core Material A-2	1	E	0.579	0.733
	2	E	0.960	
	3	E	0.661	
Core Material D-1	1	E	0.723	0.763
	2	E	0.745	
	3	E	0.820	
Core Material D-2	1	E	0.601	0.792
	2	E	0.522	
	3	E	1.251	

PENGUJIAN GETARAN SANDWICH PANEL KONDISI CACAT

			#Percobaan I		#Percobaan II		Rata-Rata		Standart Deviasi	
Spesimen Uji	Titik eksitasi (Hammer)	Posisi acc (probe)	Frekuensi Natural		Frekuensi Natural		Frekuensi Natural		Frekuensi Natural	
			mode 1	mode 2	mode 1	mode 2	mode 1	mode 2	mode 1	mode 2
Core Material A-1	1	A	2128	2936	2080	2936	2104	2929	37.12	36.78
		B	2128	2869	2128	2869				
		C	2030	2978	2128	2872				
		D	2128	2869	2128	2986				
		E	2128	2928	2080	2936				
	2	A	2128	2920	2150	2909				
		B	2080	2928	2128	2913				
		C	2080	2920	2080	2988				
		D	2080	2913	2080	2980				
		E	2080	2936	2150	2936				
	3	A	2030	2913	2128	2973				
		B	2030	2899	2128	2978				
		C	2128	2872	2128	2928				
		D	2128	2986	2030	2936				
		E	2128	2936	2128	2936				
Core Material A-2	1	A	2080	2909	2128	2973	2105	2918	39.48	40.13
		B	2030	2869	2128	2869				
		C	2128	2980	2166	2936				
		D	2128	2869	2030	2936				
		E	2128	2973	2080	2936				
	2	A	2080	2978	2128	2869				
		B	2128	2869	2080	2869				
		C	2128	2936	2080	2973				
		D	2080	2936	2166	2913				
		E	2080	2913	2080	2936				
	3	A	2080	2936	2080	2869				
		B	2080	2928	2158	2869				
		C	2080	2869	2080	2973				
		D	2080	2936	2080	2869				
		E	2166	2920	2185	2936				
Core Material D-1	1	A	2053	2758	2053	2728	2034	2774	23.87	38.17
		B	2053	2758	2018	2802				
		C	2058	2728	2010	2801				
		D	2038	2728	2010	2728				
		E	2103	2728	2058	2758				
	2	A	2018	2758	2018	2801				
		B	2010	2801	2010	2758				
		C	2010	2758	2010	2728				
		D	2058	2858	2053	2802				
		E	2048	2812	2018	2758				
	3	A	2048	2758	2010	2822				
		B	2018	2758	2010	2822				
		C	2010	2758	2053	2758				
		D	2010	2758	2058	2858				
		E	2038	2822	2048	2758				
Core Material D-2	1	A	2053	2858	2018	2758	2025	2755	38.53	40.60
		B	2018	2801	2010	2758				
		C	2010	2758	2010	2728				
		D	2010	2858	2010	2728				
		E	2018	2728	2018	2801				
	2	A	2010	2728	2010	2758				
		B	2010	2758	2010	2728				
		C	2010	2758	2018	2858				
		D	2053	2728	2010	2728				
		E	2018	2728	2010	2728				
	3	A	2010	2728	2018	2728				
		B	2010	2728	2010	2728				
		C	2010	2728	2010	2758				
		D	2010	2758	2053	2758				
		E	2208	2728	2078	2728				

NILAI KOHERNSI PENGUJIAN								
Spesimen Uji	Titik eksitasi	Posisi acc (probe)	#Percobaan I		#Percobaan II		Rata-Rata	
			Frekuensi Natural		Frekuensi Natural		Frekuensi Natural	
			mode 1	mode 2	mode 1	mode 2	mode 1	mode 2
Core Material A-1	1	A	0.95	0.95	0.88	0.94	0.90	0.93
		B	0.92	0.95	0.97	0.92		
		C	0.92	0.89	0.95	0.89		
		D	0.9	0.9	0.89	0.9		
		E	0.9	0.9	0.9	0.92		
	2	A	0.9	0.91	0.9	0.92		
		B	0.92	0.9	0.91	0.91		
		C	0.91	0.92	0.9	0.92		
		D	0.92	0.88	0.92	0.91		
		E	0.91	0.98	0.88	0.93		
	3	A	0.93	0.9	0.98	0.89		
		B	0.9	0.92	0.9	0.9		
		C	0.94	0.9	0.92	0.92		
		D	0.92	0.9	0.9	0.9		
		E	0.89	0.95	0.91	0.94		
Core Material A-2	1	A	0.9	0.93	0.88	0.92	0.90	0.92
		B	0.92	0.94	0.92	0.89		
		C	0.92	0.92	0.9	0.98		
		D	0.91	0.89	0.94	0.91		
		E	0.92	0.9	0.92	0.88		
	2	A	0.91	0.92	0.89	0.92		
		B	0.93	0.92	0.98	0.9		
		C	0.89	0.91	0.92	0.94		
		D	0.9	0.92	0.9	0.92		
		E	0.92	0.91	0.92	0.89		
	3	A	0.91	0.93	0.85	0.98		
		B	0.96	0.89	0.91	0.92		
		C	0.91	0.9	0.9	0.9		
		D	0.92	0.92	0.9	0.92		
		E	0.91	0.91	0.93	0.88		
Core Material D-1	1	A	0.89	0.85	0.92	0.91	0.91	0.91
		B	0.91	0.91	0.92	0.89		
		C	0.89	0.91	0.89	0.85		
		D	0.85	0.9	0.9	0.91		
		E	0.91	0.9	0.95	0.91		
	2	A	0.91	0.9	0.93	0.9		
		B	0.9	0.92	0.9	0.9		
		C	0.9	0.91	0.9	0.9		
		D	0.9	0.93	0.92	0.92		
		E	0.92	0.89	0.9	0.92		
	3	A	0.91	0.9	0.93	0.92		
		B	0.93	0.93	0.92	0.91		
		C	0.89	0.89	0.92	0.92		
		D	0.9	0.85	0.9	0.91		
		E	0.91	0.93	0.88	0.93		
Core Material D-2	1	A	0.96	0.95	0.92	0.89	0.92	0.90
		B	0.91	0.91	0.91	0.9		
		C	0.92	0.89	0.93	0.91		
		D	0.9	0.85	0.89	0.89		
		E	0.9	0.91	0.9	0.85		
	2	A	0.92	0.91	0.92	0.91		
		B	0.91	0.9	0.91	0.91		
		C	0.93	0.9	0.96	0.9		
		D	0.89	0.9	0.91	0.9		
		E	0.9	0.92	0.92	0.9		
	3	A	0.92	0.9	0.91	0.92		
		B	0.91	0.93	0.89	0.85		
		C	0.89	0.92	0.9	0.85		
		D	0.91	0.98	0.92	0.91		
		E	0.89	0.92	0.91	0.9		

NILAI DAMPING RATIO SANDWICH PANEL KONDISI CACAT

Material	Hammer	Posisi acc	a	a/v2	mode	ω_a	ω_b	ζ	$\zeta_r(\%)$	Rata-rata
A-1	1	E	3.81E-13	2.69E-13	2080	2065	2097	0.0076923	0.76923077	0.770
	2	E	5.19E-13	3.67E-13	2150	2133	2169	0.0083721	0.8372093	
	3	E	4.41E-13	3.12E-13	2128	2110	2140	0.0070489	0.70488722	
A-2	1	E	3.42E-13	2.42E-13	2058	2035	2070	0.0085034	0.85034014	0.785
	2	E	2.77E-13	1.96E-13	2080	2063	2099	0.0086538	0.86538462	
	3	E	2.91E-13	2.06E-13	2185	2165	2193	0.0064073	0.64073227	
D-1	1	E	3.01E-13	2.13E-13	2058	2040	2075	0.0085034	0.85034014	0.808
	2	E	2.91E-13	2.06E-13	2018	2039	2073	0.0084242	0.84241824	
	3	E	4.13E-13	2.92E-13	2048	2030	2060	0.0073242	0.73242188	
D-2	1	E	2.05E-13	1.45E-13	2018	2030	2058	0.0069376	0.69375619	0.825
	2	E	3.09E-13	2.18E-13	2010	2092	2123	0.0077114	0.77114428	
	3	E	3.18E-13	2.25E-13	2078	2050	2092	0.0101059	1.0105871	

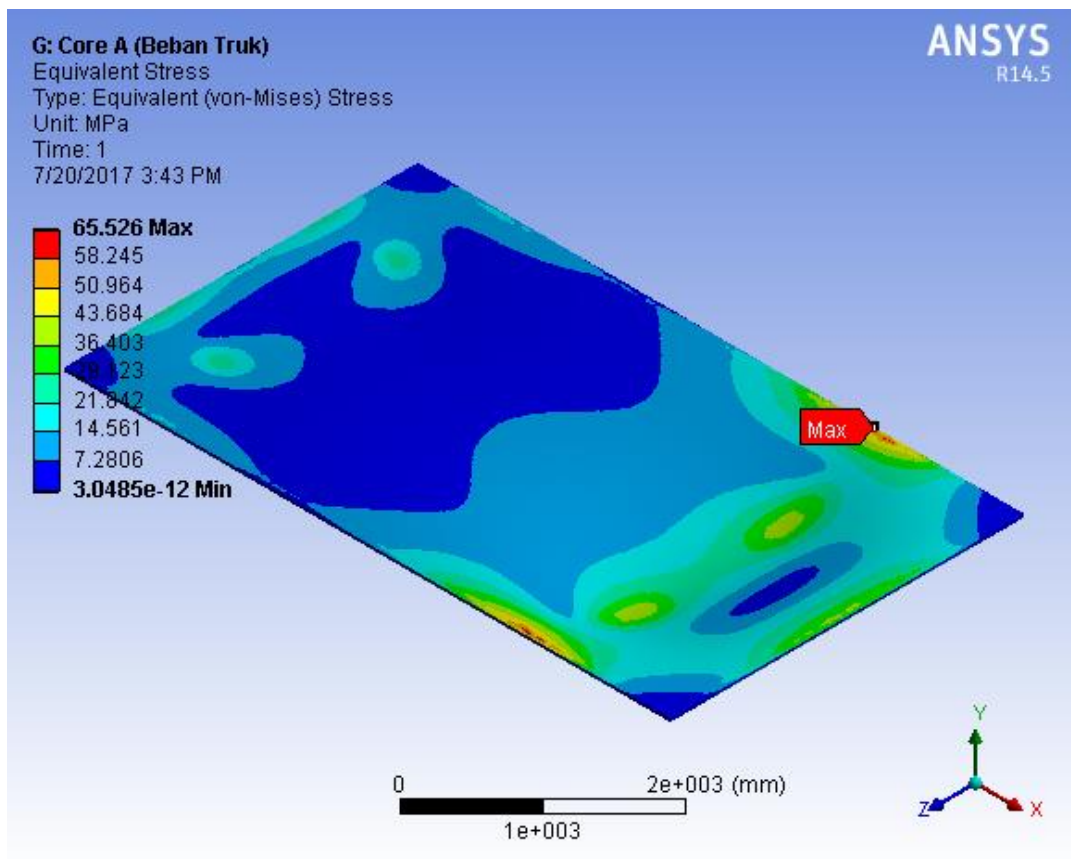
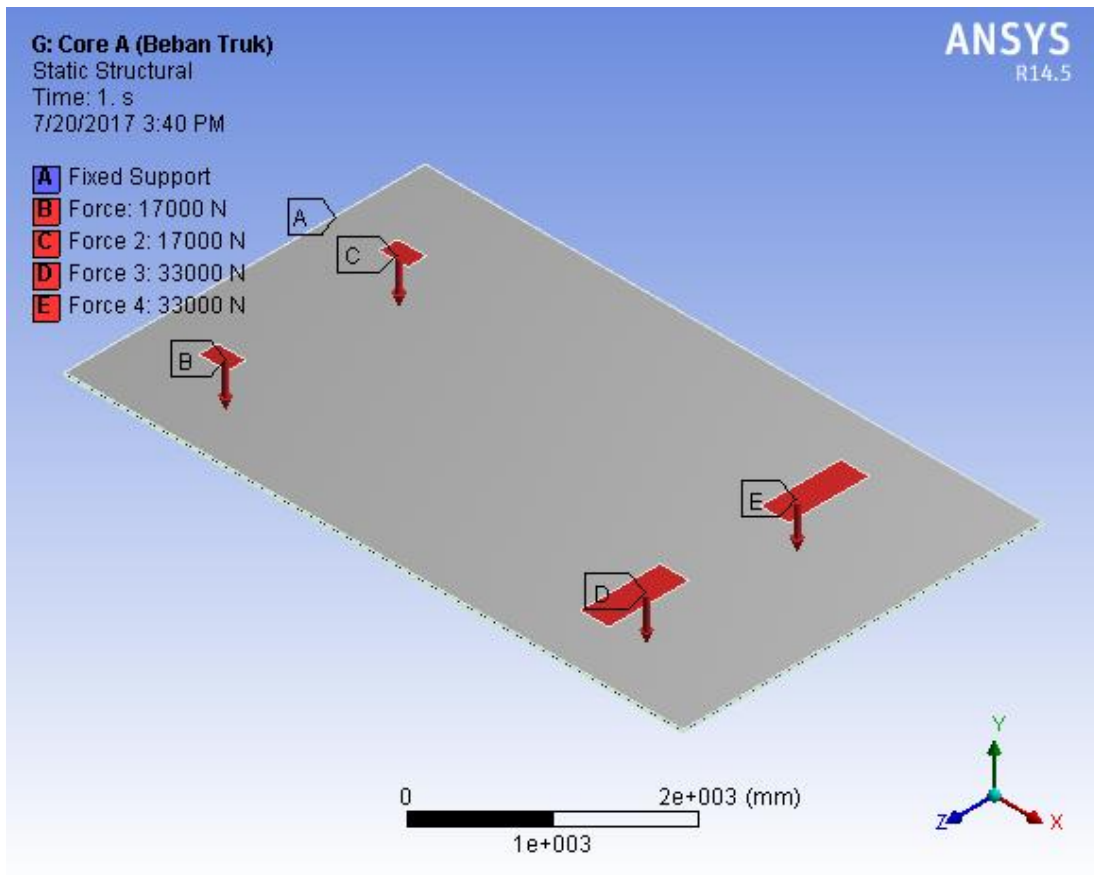
Damping Ratio Cacat				
Jenis Material	Hammer	Posisi acc	(%)	Rata-rata
Core Material A-1	1	E	0.769	0.770
	2	E	0.837	
	3	E	0.705	
Core Material A-2	1	E	0.850	0.785
	2	E	0.865	
	3	E	0.641	
Core Material D-1	1	E	0.850	0.808
	2	E	0.842	
	3	E	0.732	
Core Material D-2	1	E	0.694	0.825
	2	E	0.771	
	3	E	1.011	



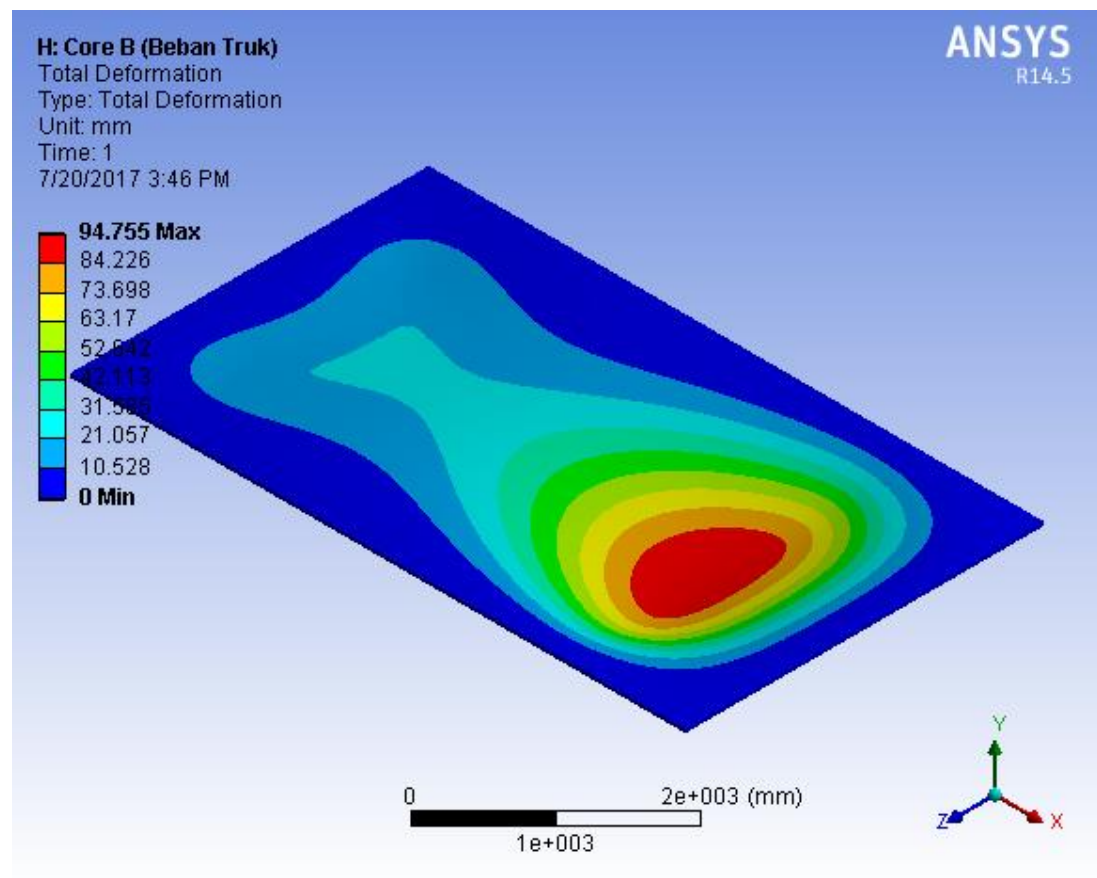
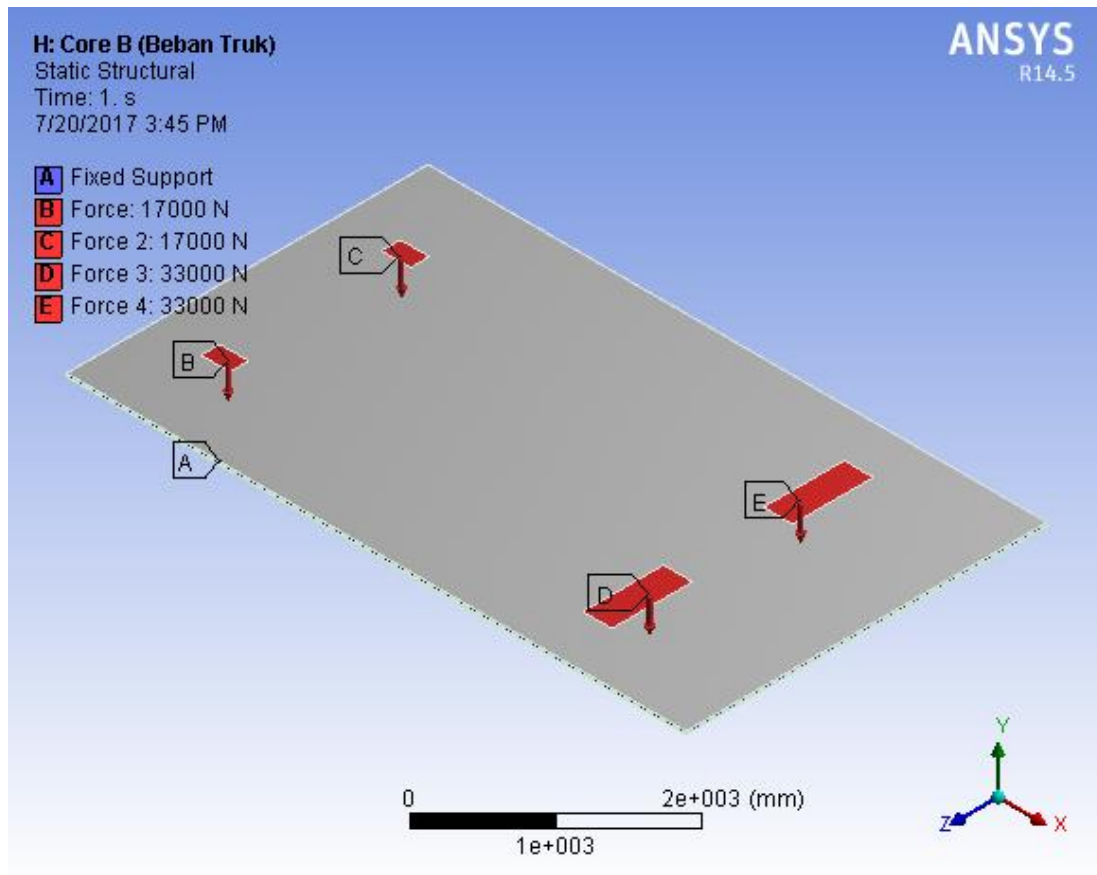
LAMPIRAN

GAMBAR PEMODELAN SANDWICH PANEL

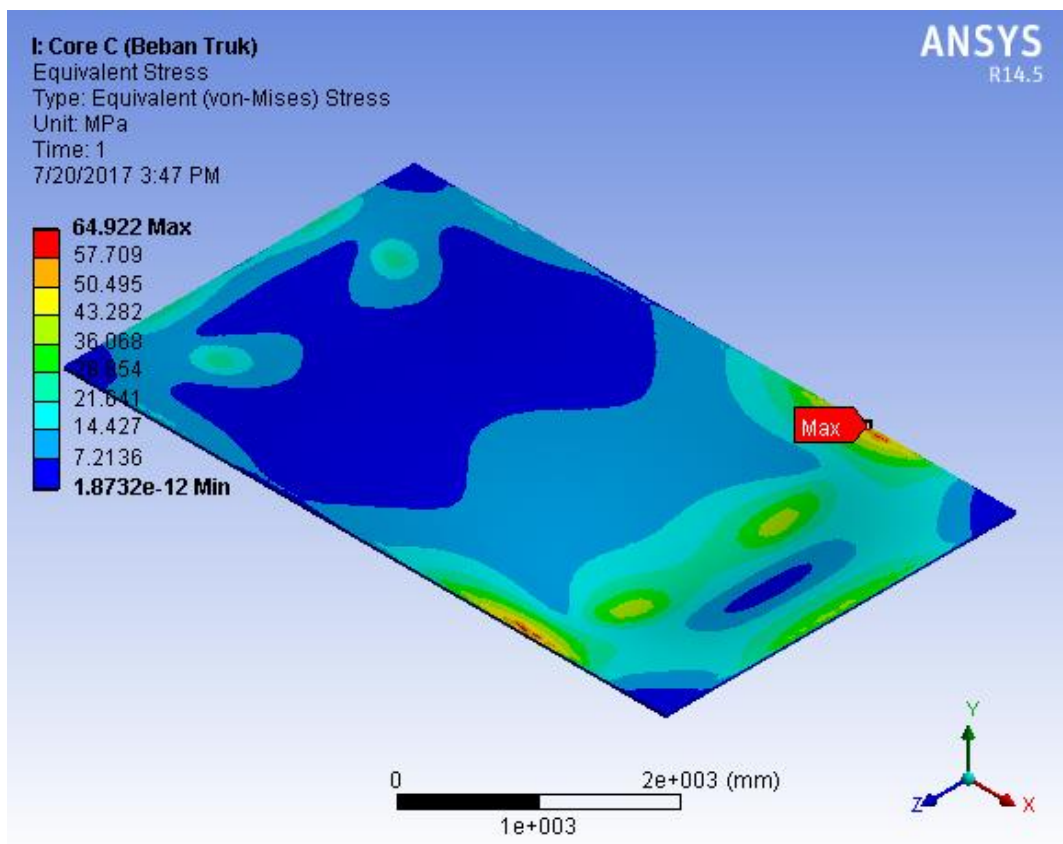
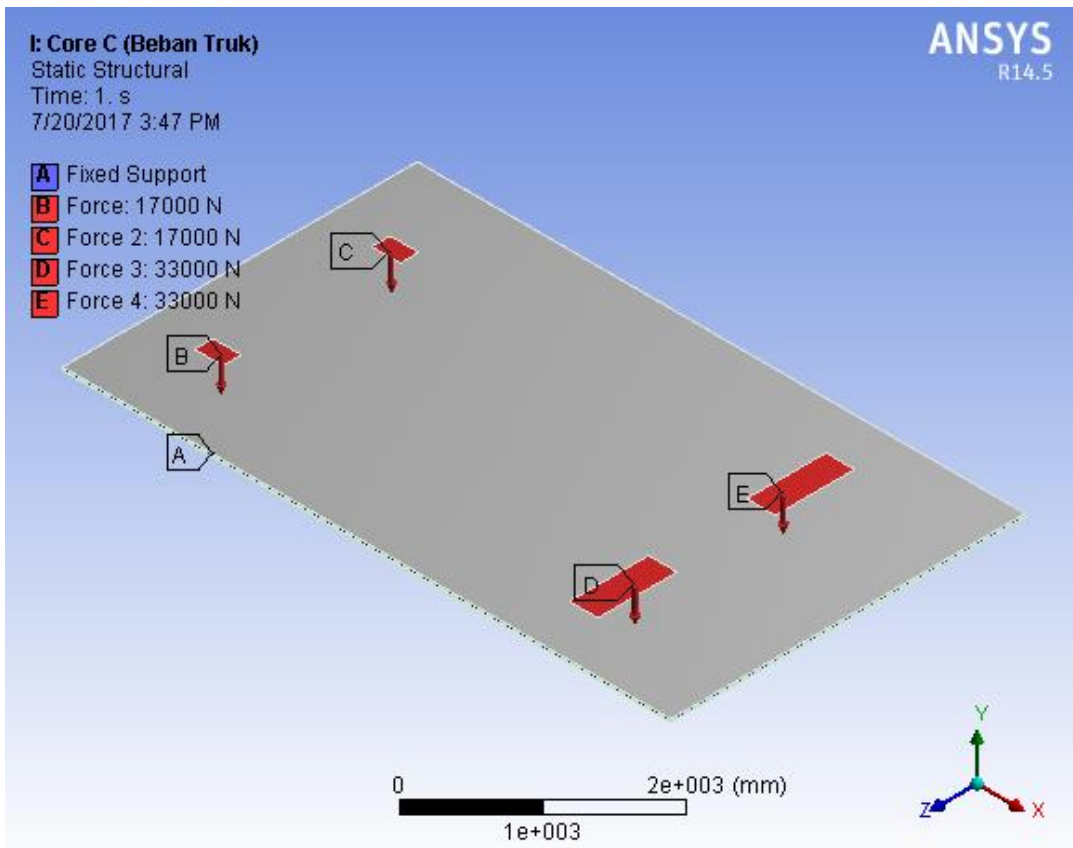
PEMBEBANAN SANDWICH PANEL – CORE MATERIAL A (10% TALAC)



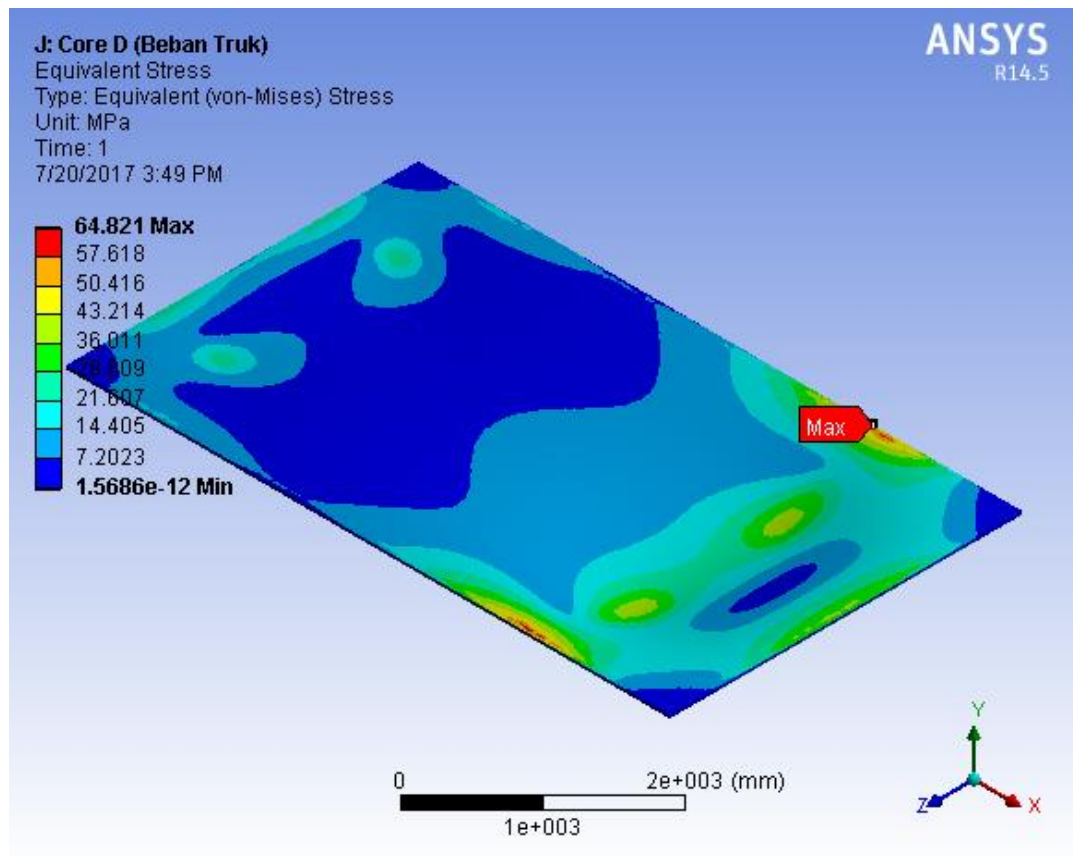
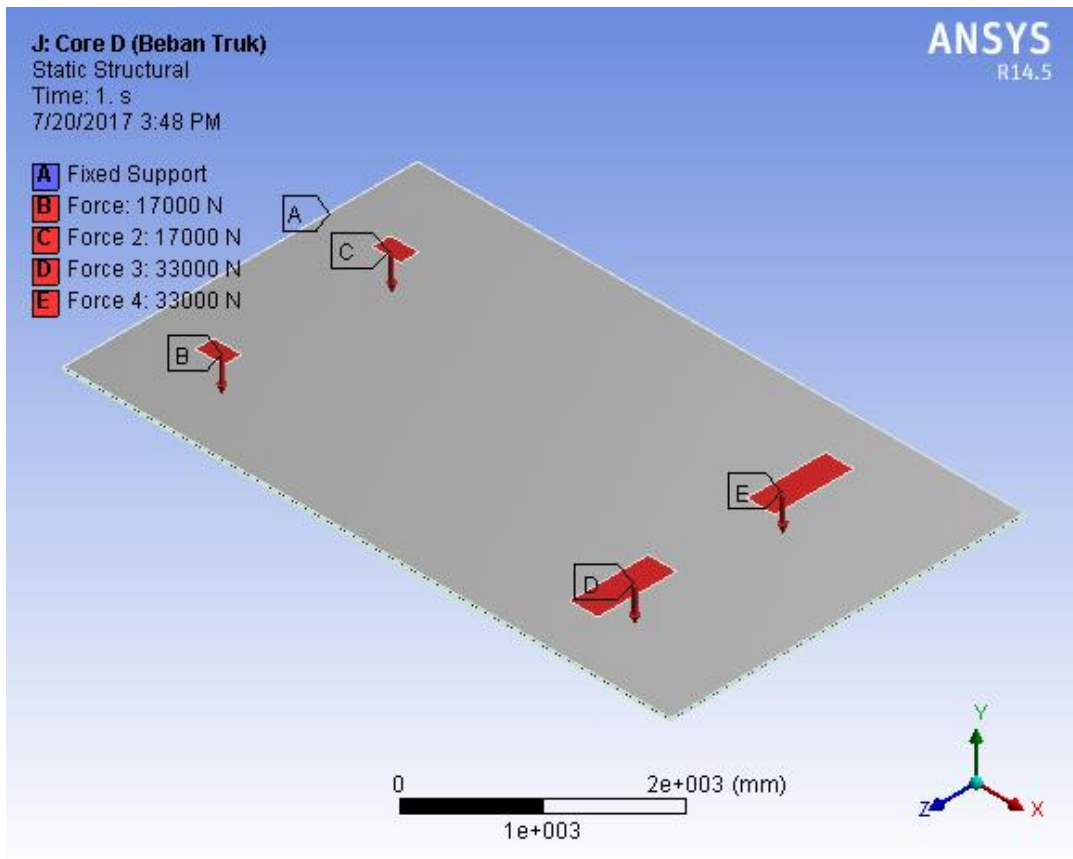
PEMBEBANAN SANDWICH PANEL – CORE MATERIAL B (20% TALAC)



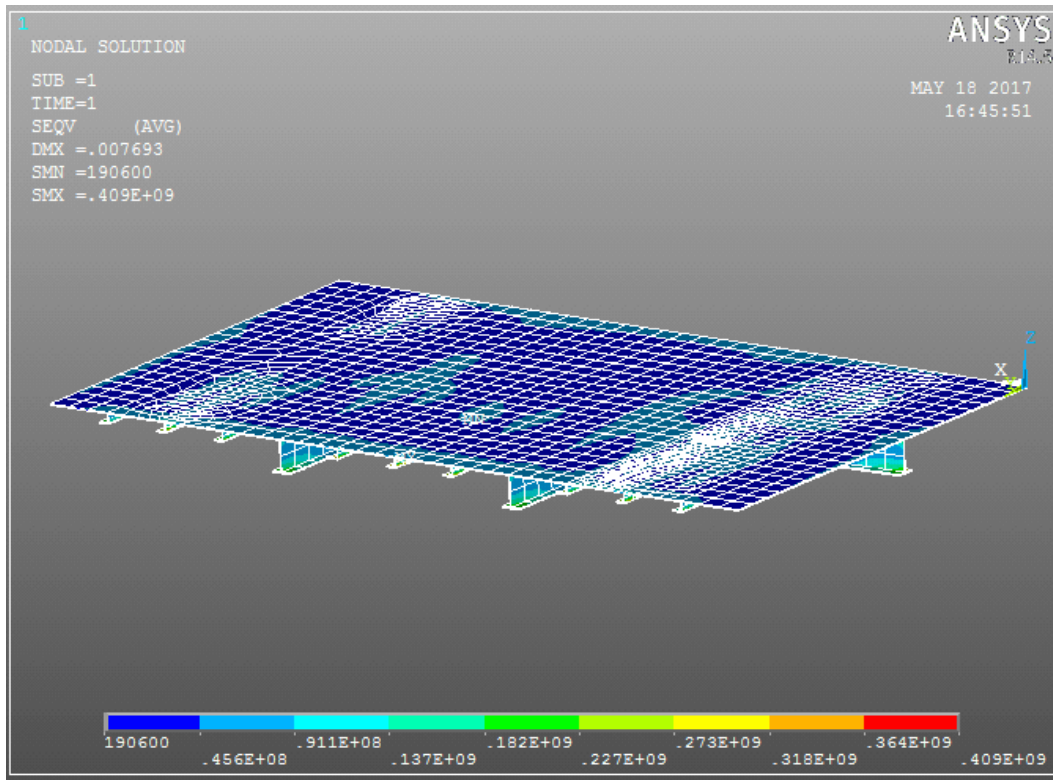
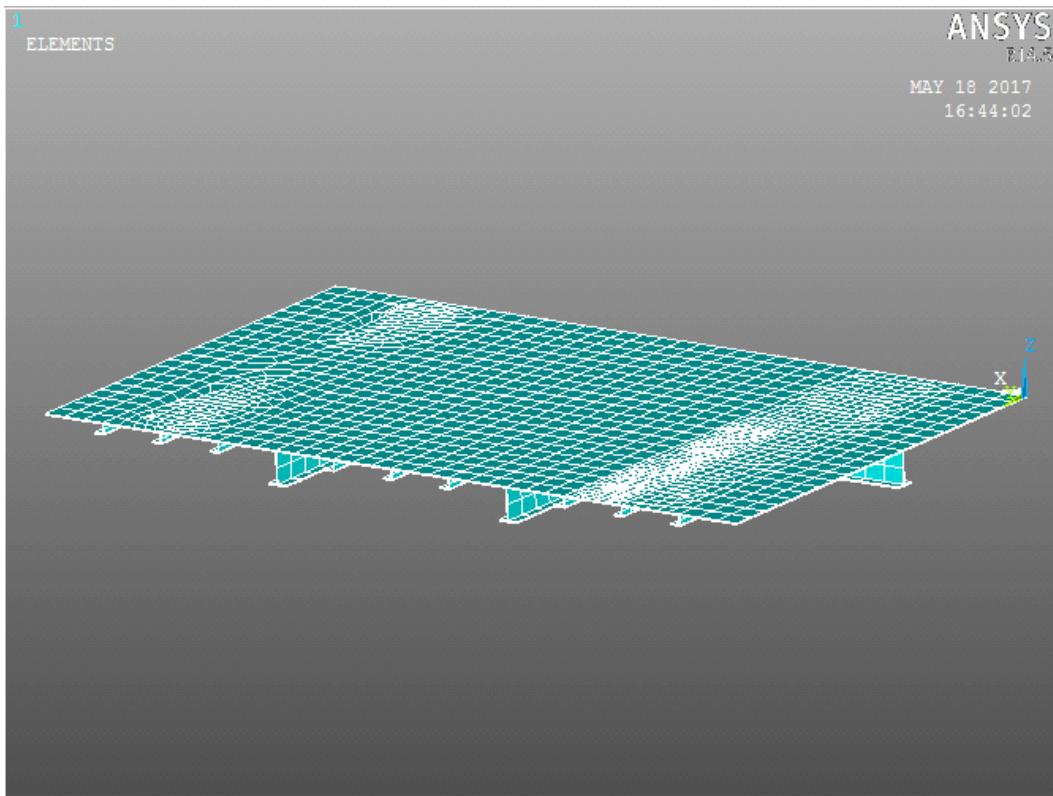
PEMBEBANAN SANDWICH PANEL – CORE MATERIAL C (30% TALAC)



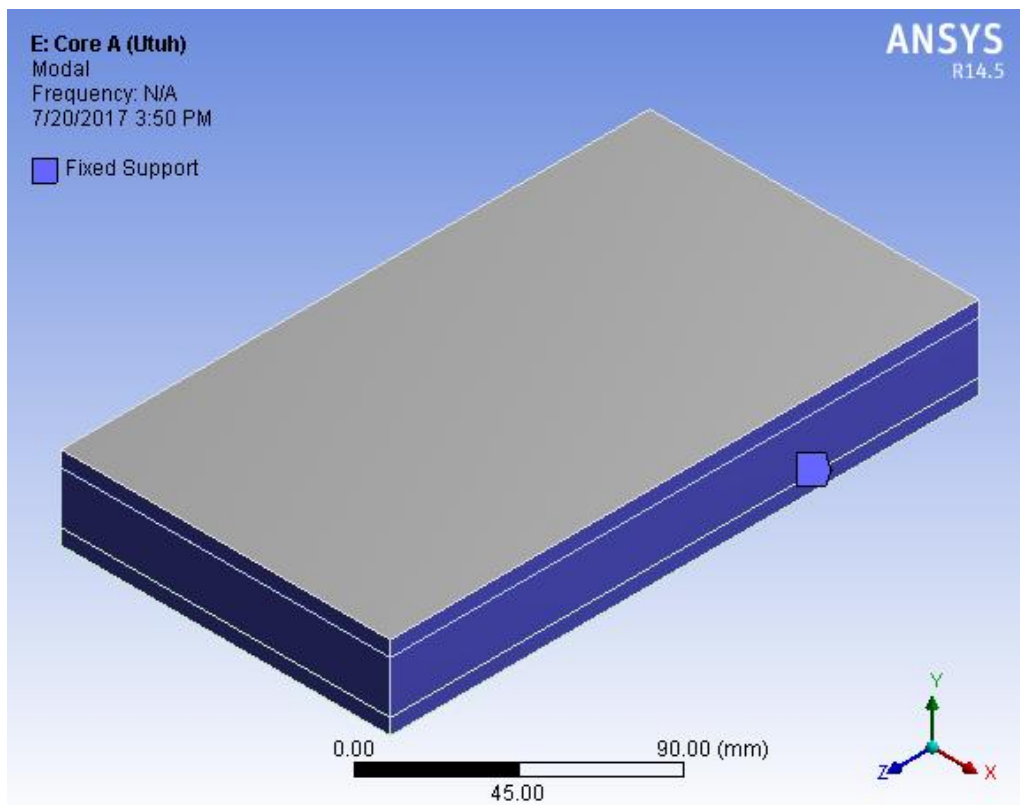
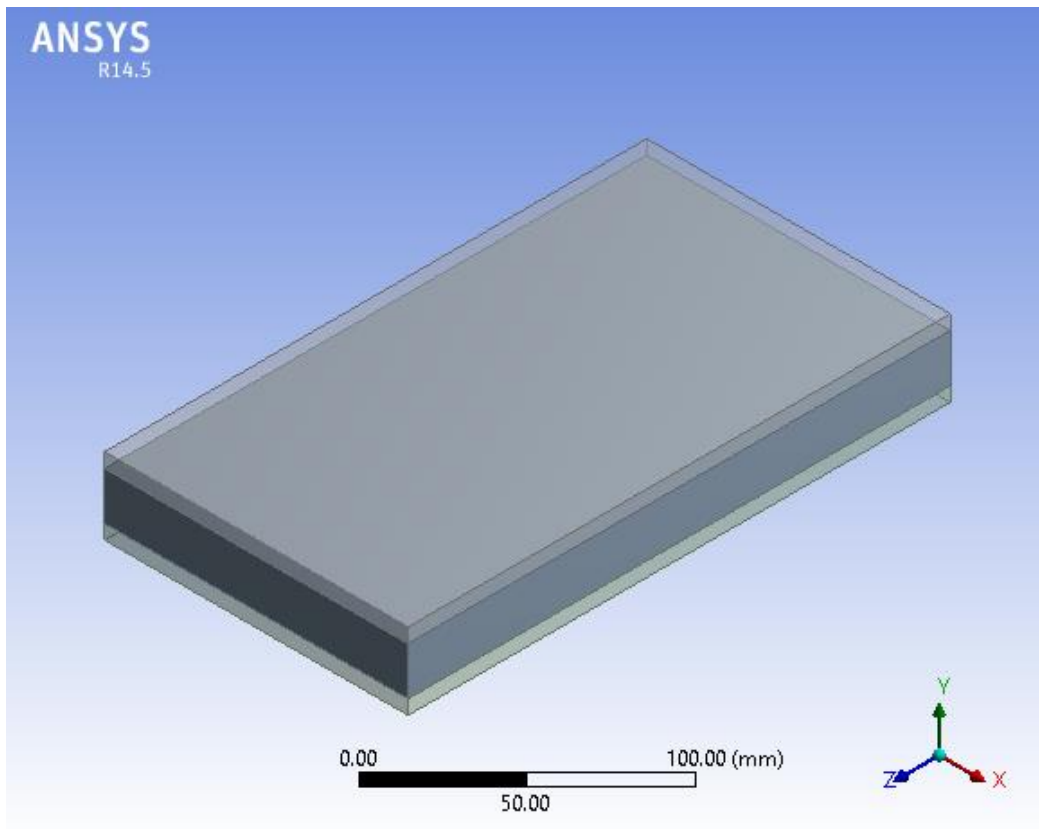
PEMBEBANAN SANDWICH PANEL – CORE MATERIAL D (40% TALAC)

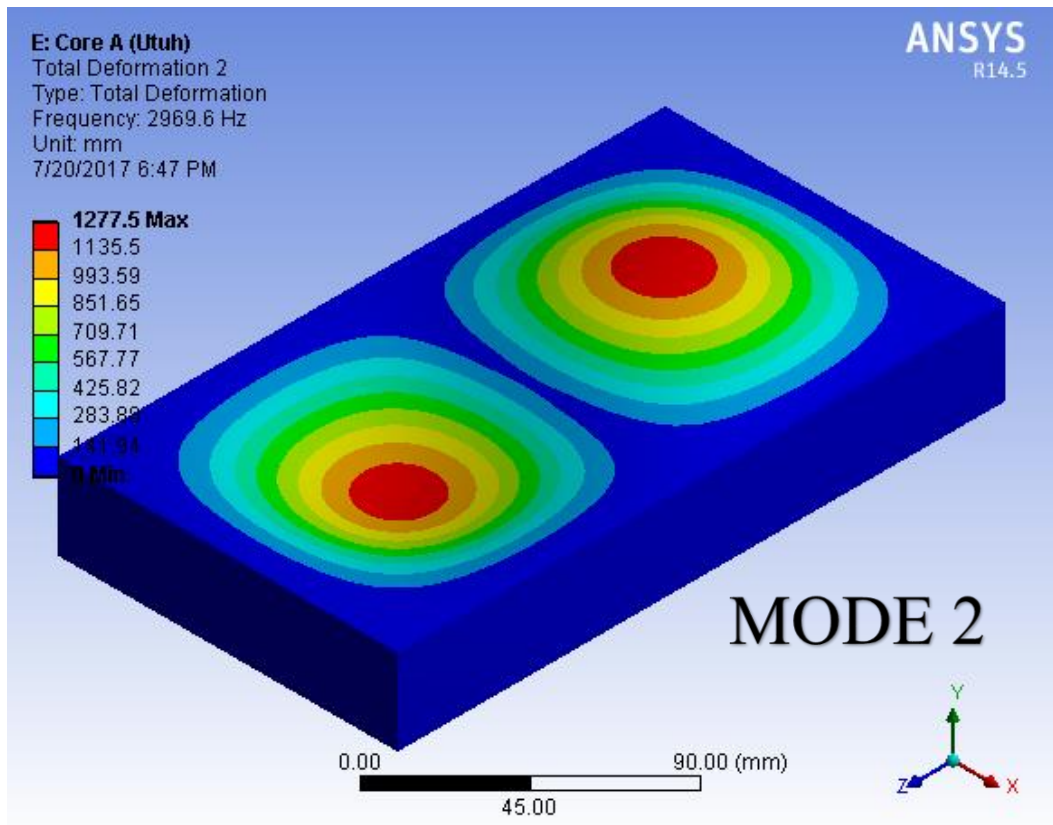
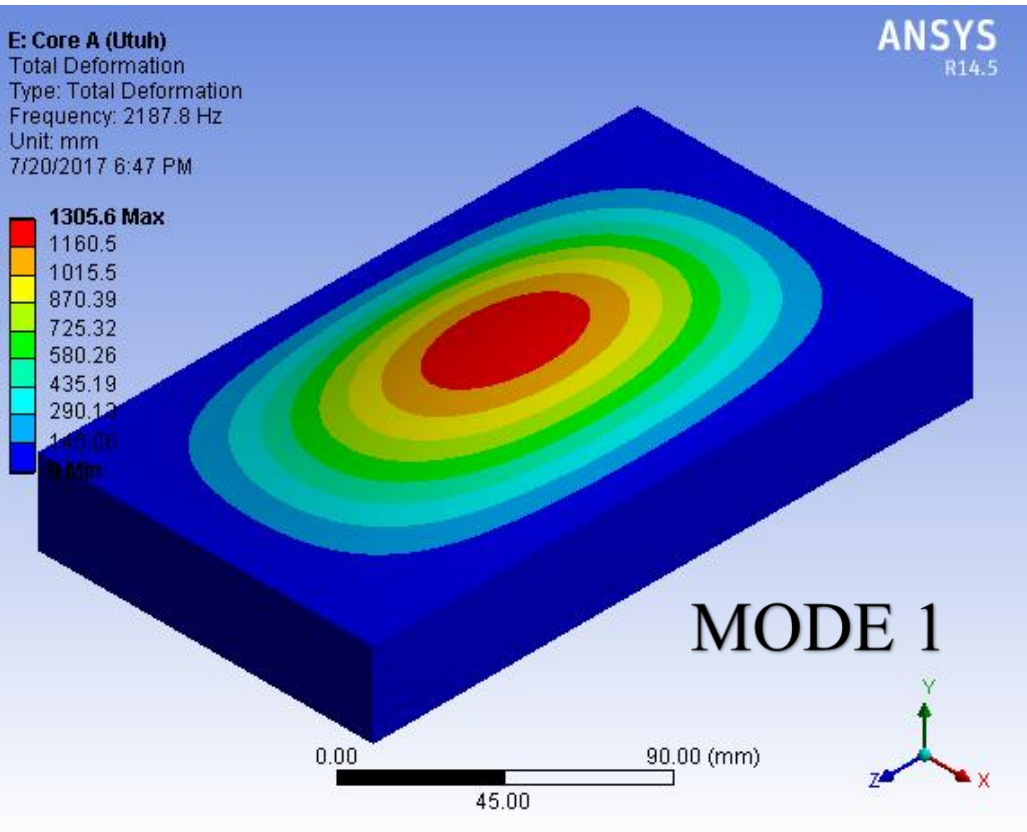


PEMBEBANAN PELST KONVENSIONAL GELADAK KENDARAAN KAPAL

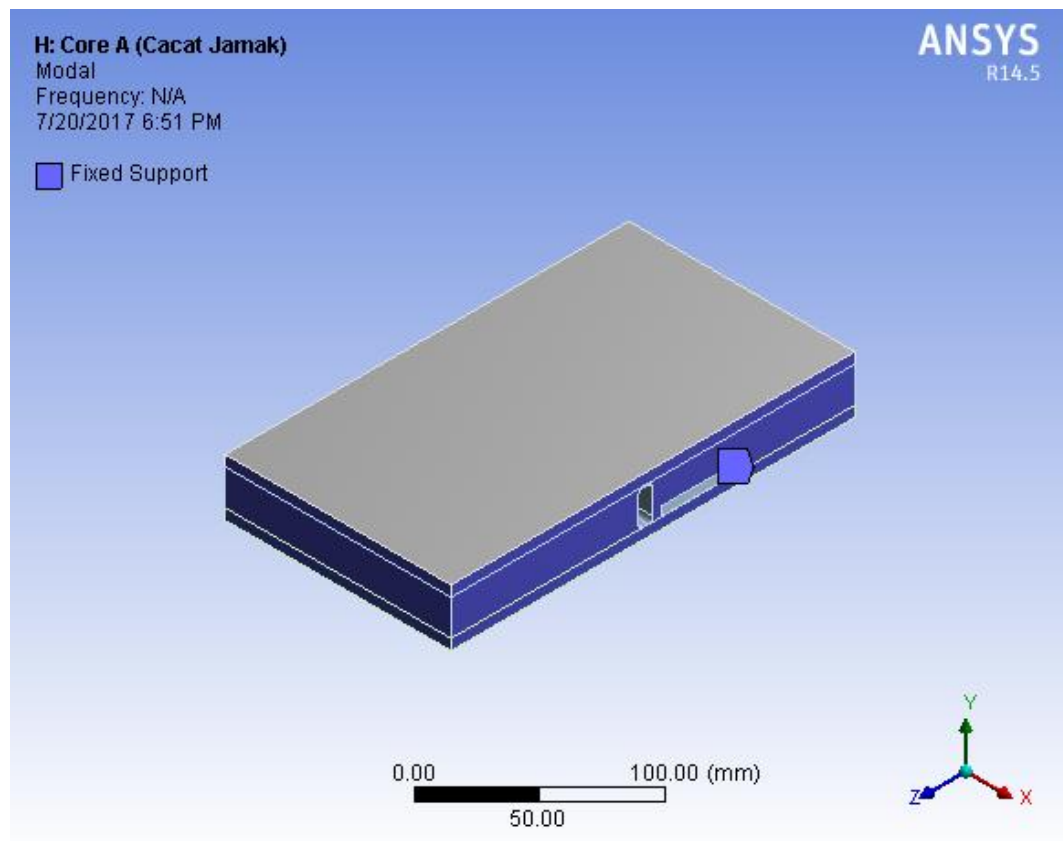
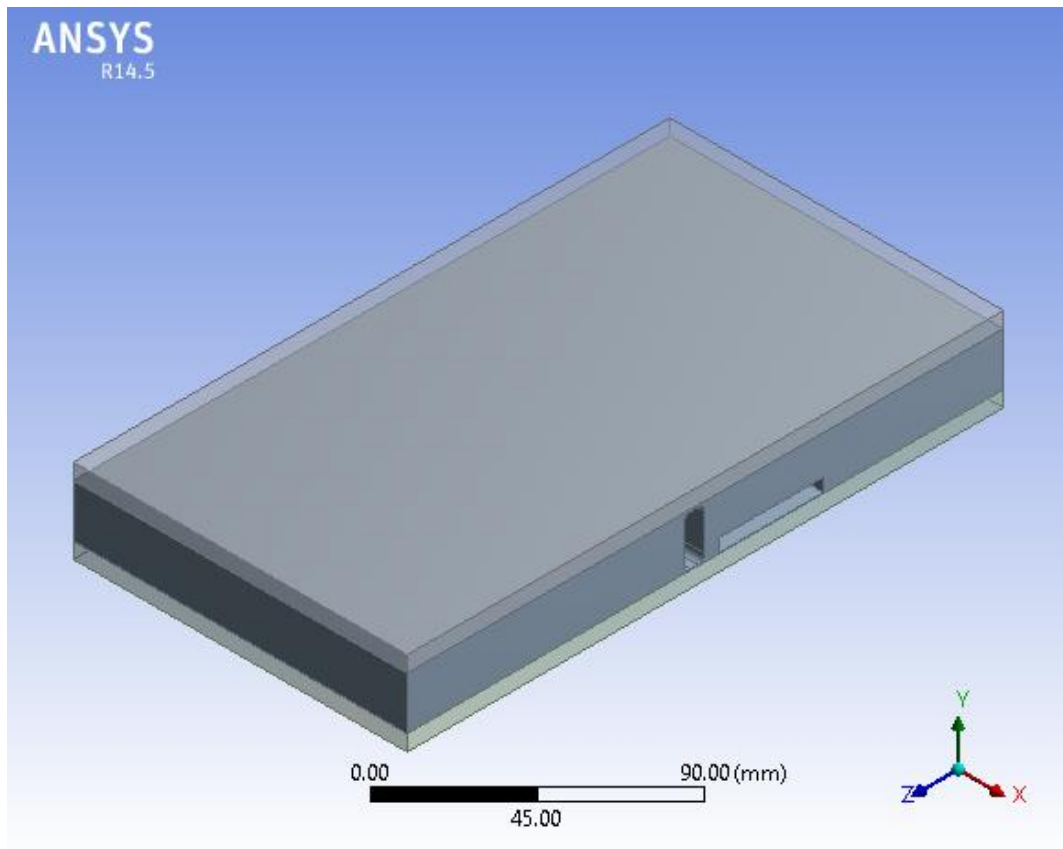


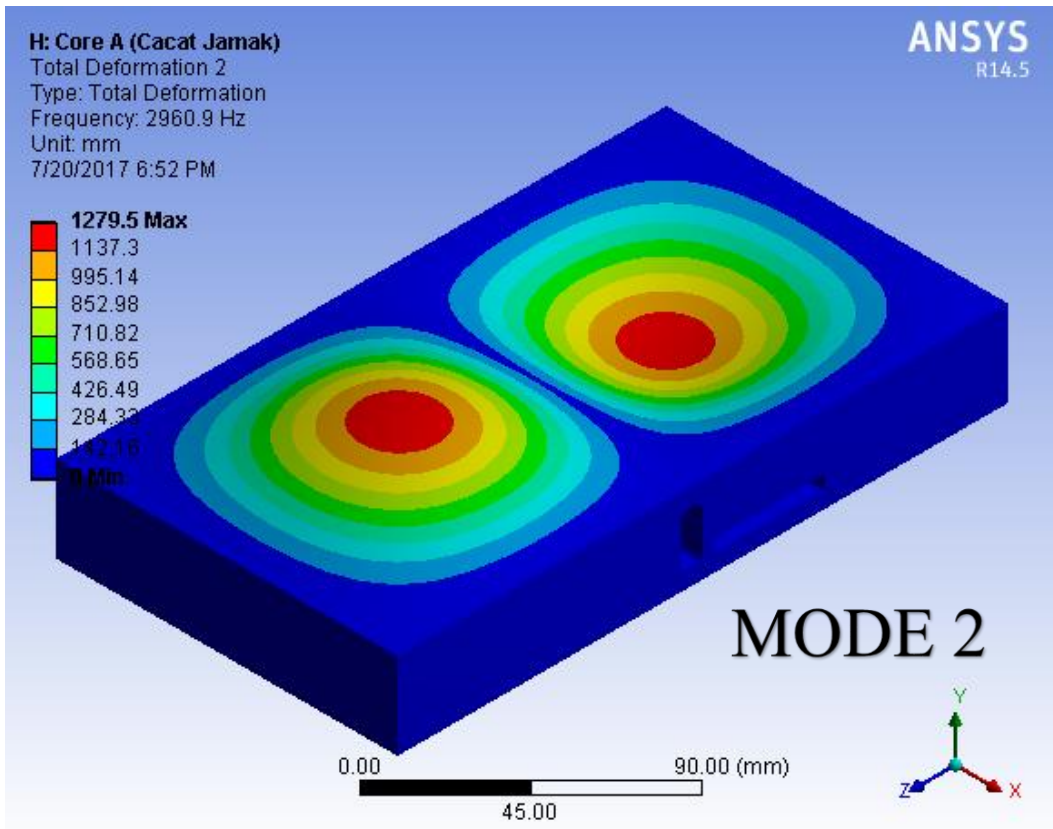
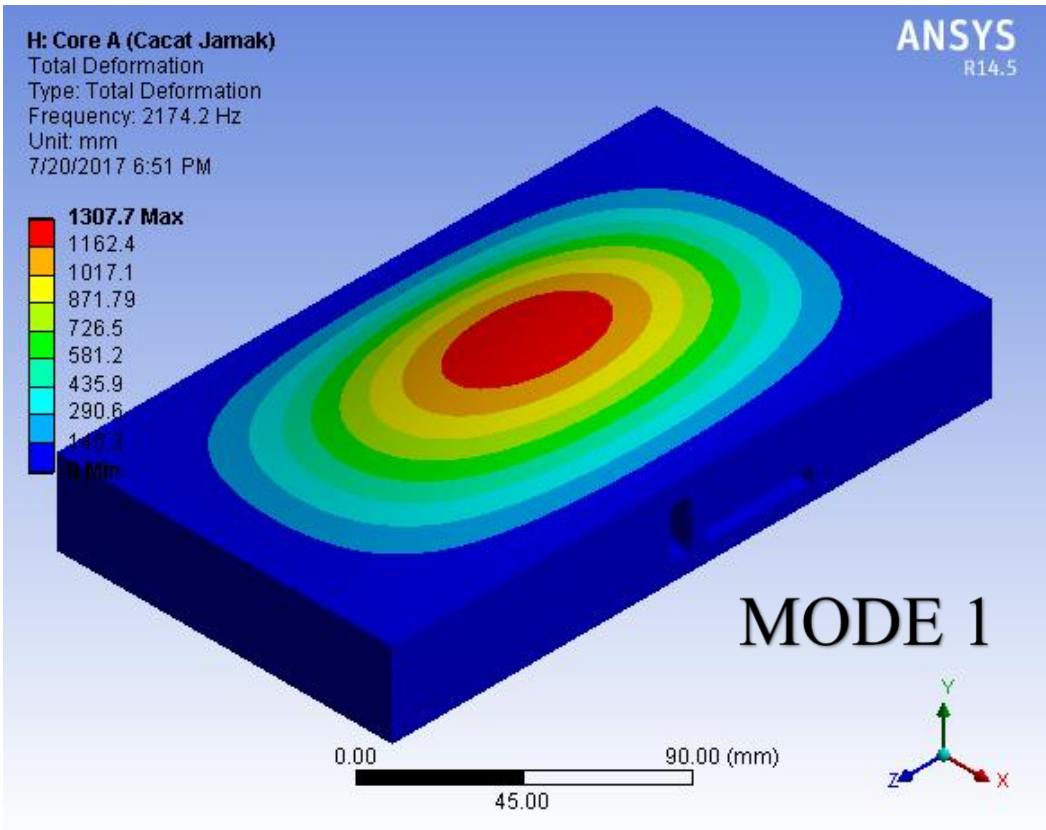
MODAL ANALYSIS SANDWICH PANEL CORE MATERIAL - KONDISI UTUH

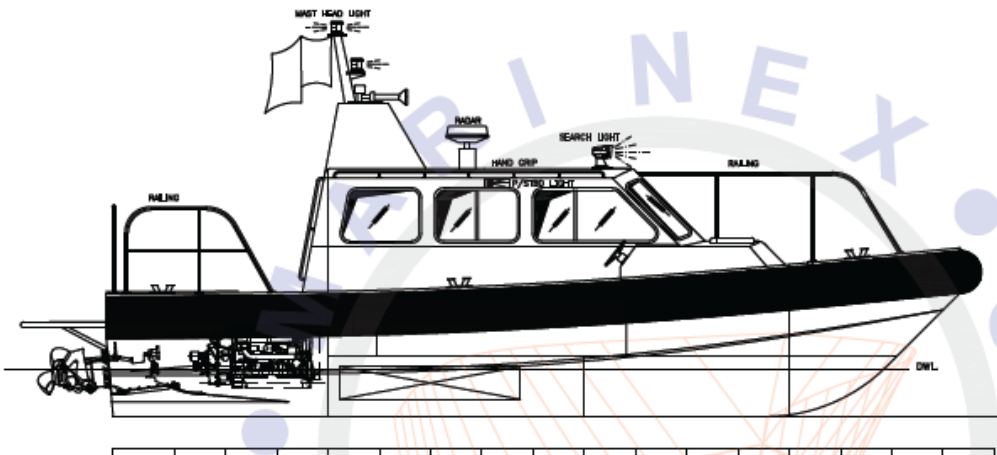




MODAL ANALYSIS SANDWICH PANEL CORE MATERIAL - KONDISI CACAT








PROFILE

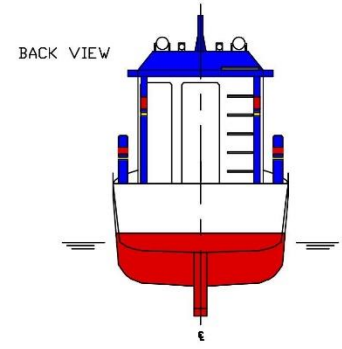
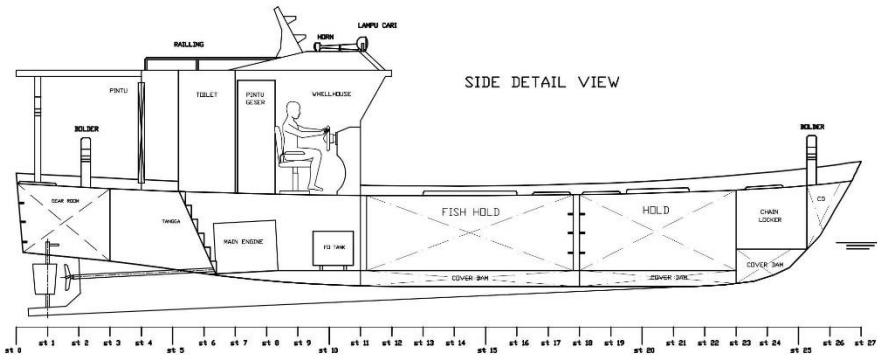
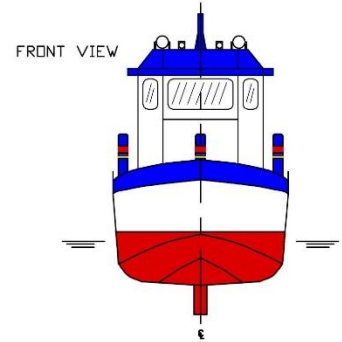
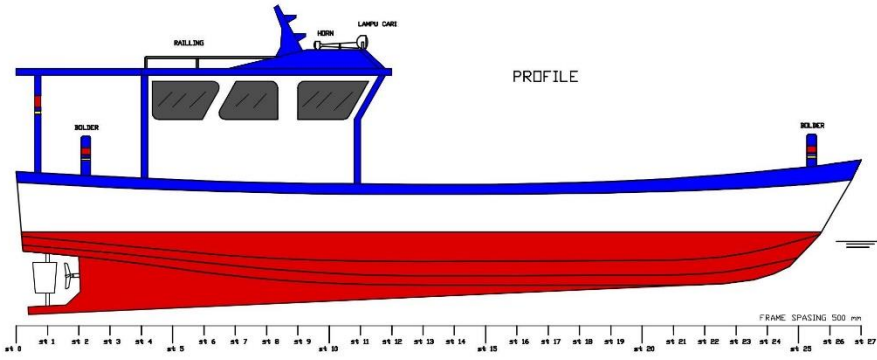


DECK VIEW

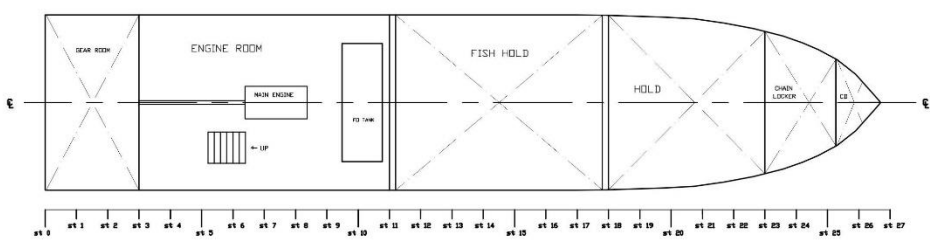
- LENGTH OVERALL - 11.25M
- WIDTH OVERALL - 3.60 M
- WIDTH HULL - 3.10 M
- DRAUGHT - 0.55 M
- ENGINE POWER - 1 X 400 HP (MIN)
- PROPULSION - 1 X WATERJET
- SPEED - 25 KNOTS

DATE - INITIAL	ISSUE	CHANGE DETAILS
THIS DRAWING IS THE EXCLUSIVE PROPERTY OF THE MARINEX GROUP DESIGN AND MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR MODIFIED IN WHOLE OR PART WHATSOEVER WITHOUT PRIOR WRITTEN PERMISSION.		

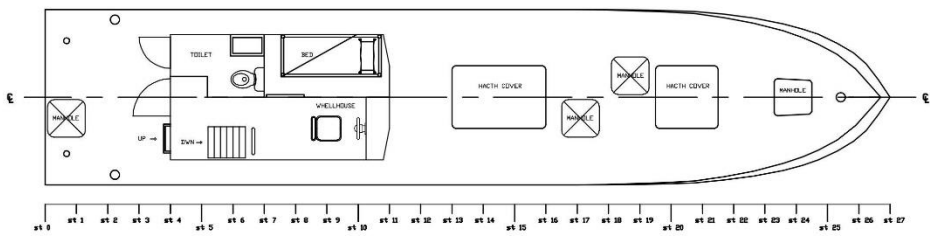
 MARINEX GROUP DESIGN <small>TEL: 0010 80000, FAX: 002 700000 80001, 80002, 80003, 80004, 80005, 80006, 80007, 80008, 80009, 80010 Website: www.marinegroupdesign.com</small>	CHECKED	AMRD	
	DRAWN	JM	
CLIENT	TBA	SCALE	1:50 A3
TITLE	PRELIMINARY GENERAL ARRANGEMENT 10.00M PASSENGER BOAT	DATE	22/08/15
	1	ISSUE	DRAWING NO. PB10-0086-G001



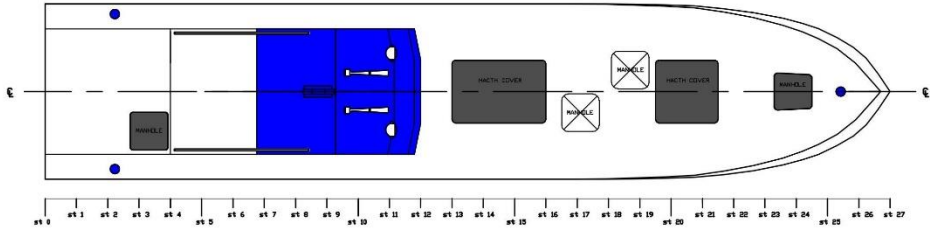
DECK VIEW



NAVIGATION DECK VIEW



UPPER VIEW



MAIN DIMENSION	
LENGTH OVER ALL (LOA)	13.50 m
BREATH OVER ALL (BOA)	2.80 m
HEIGHT HULL (H hull)	1.45 m
DRAFT (T)	0.70 m
ENGINE	1 X 80 HP

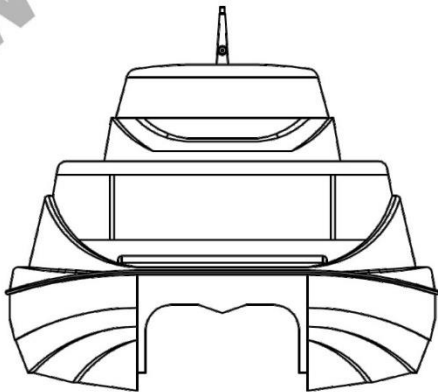
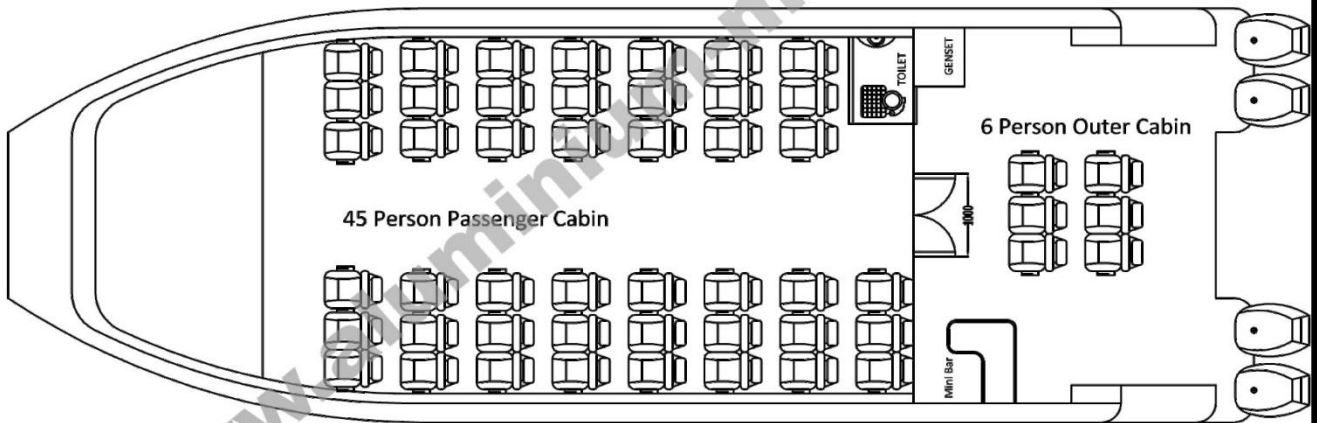
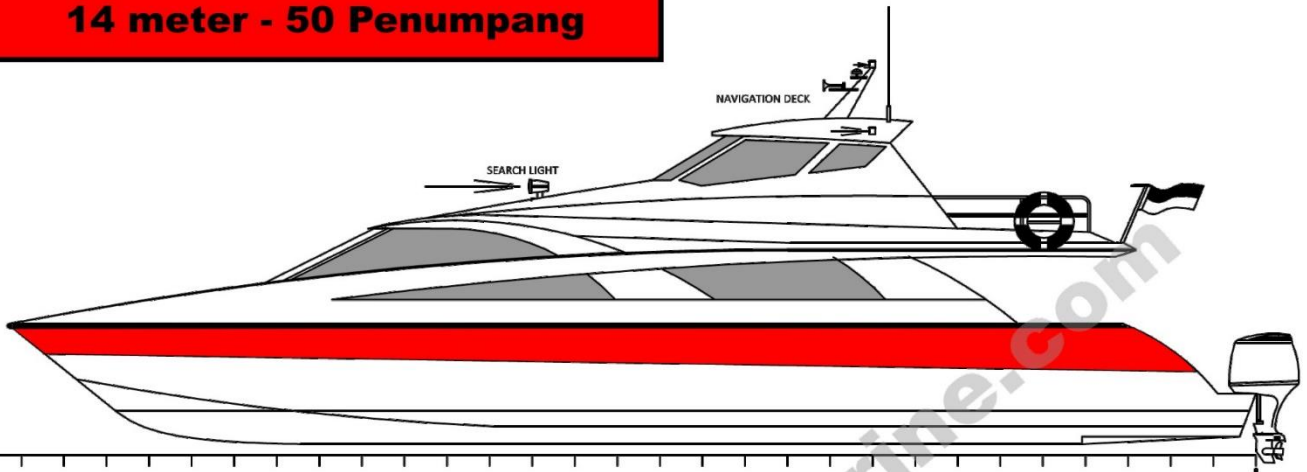


PT. MAJU BANGKIT INDONESIA GROUP
 BOAT BUILDER DAN SPECIALIST
 Jl. Raya Klatoh Rejo, Kandang, Bemus, Surabaya, Jawa Timur, Indonesia
 email : majubangkit@gmail.com Website : www.speedboat.surabaya.com Mobile : 0855 5764 8491

Vessel : KAPAL IKAN FIBERGLASS 10 GT	
Title : GENERAL ARRANGEMENT	
Drawn : M. Syaifudin Thoha, Amd.	Scale : 1 : 100
Checked : Eddy Noer Seto, Amd.	
Approved : Eddy Noer Seto Amd.	Date : 11 - 02 - 2017

JC 1450 Catamaran

14 meter - 50 Penumpang



MAIN DIMENSION	
LENGHT OVER ALL [LoA]	14.00 Meter
BEAM OVER ALL [BoA]	05,00 Meter
HULL HEIGHT [H]	01,40 Meter
DRAUGHT [T]	00,60 Meter
ENGINE SUGGEST	4 x F250 HP

VESSEL : JC 1450
14 Meter - 50 Passenger catamaran

TITLE : GENERAL ARRANGEMENT

DRN : ARIE SURJONO,AMD DATE : 27/10/2007

SCALE : X : X CKD : ARIE S

DRAWING NO.1102

REV : 0



JAVANESE BOATS

FIBERGLASS BOAT BUILDER

Email : javaneseboat@gmail.com
081703337505