



TUGAS AKHIR- RC09-1380

STUDI EKSPERIMEN PANEL SANDWICH FIBER GLASS - FOAM UNTUK LANTAI STRUKTURAL RUMAH TINGGAL

BRILLIANTIKA FUSI NUR RAHMASARI
NRP 3112 100 076

Dosen Pembimbing
Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D
Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS, Ph.D

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT- RC09-1380

EXPERIMENTAL STUDY OF FIBER GLASS- FOAM SANDWICH PANEL FOR STRUCTURAL FLOOR FOR RESIDENTIAL USE

BRILLIANTIKA FUSI NUR RAHMASARI
NRP 3112 100 076

Major Supervisor
Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D
Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS, Ph.D

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**STUDI EKSPERIMEN PANEL SANDWICH FIBER
GLASS-FOAM UNTUK LANTAI STRUKTURAL
RUMAH TINGGAL**

TUGAS AKHIR

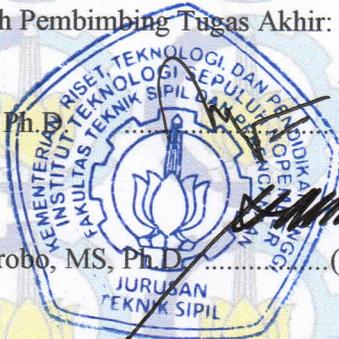
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Struktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BRILLIANTIKA FUSI NUR RAHMASARI
NRP. 3112 100 076

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS, Ph.D. (Pembimbing II)



**SURABAYA
JUNI, 2016**

STUDI EKSPERIMEN PANEL SANDWICH FIBER GLASS – FOAM UNTUK LANTAI STRUKTURAL RUMAH TINGGAL

Nama Mahasiswa : Brilliantika Fusi Nur Rahmasari
NRP : 3112100076
Jurusan : Teknik Sipil FTSP - ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D.
Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS, Ph.D

Abstrak

Penggunaan panel sandwich dalam konstruksi struktur bangunan menawarkan banyak keuntungan karena beberapa alasan seperti beratnya yang ringan dan pengerjaannya yang cepat. Aplikasi panel sandwich paling besar adalah pada bangunan-bangunan industry dan komersial dengan prosentase penggunaan sekitar 80% dari panel sandwich yang diproduksi. Dengan kekuatannya dan beratnya yang ringan, panel sandwich fiber glass-foam sebagai lantai struktural diharapkan mampu diaplikasikan pada rumah sederhana.

Untuk penyelesaiannya dilakukan perancangan dimensi struktur pelat lantai dan kemudian dilakukan analisa struktur dengan menggunakan proram ABAQUS untuk mendapatkan dimensi struktur yang mampu menahan beban. Perancangan juga mempertimbangkan faktor vibrasi untuk meningkatkan nilai kenyamanan

Diperoleh pelat lantai sandwich berdimensi 300 cm x 100 cm x 14 cm yang dapat menahan beban rencana dan memenuhi persyaratan vibrasi. Penelitian ini juga menguji konduktivitas thermal dengan hasil 1,401 W/m K untuk GFRP dan 0,023 W/m K untuk PU Foam.

Kata Kunci : pelat komposit panel sandwich, fiberglass-foam, lantai struktural, vibrasi, konduktivitas thermal.

EXPERIMENTAL STUDY OF FIBER GLASS-FOAM SANDWICH PANEL FOR STRUCTURAL FLOOR FOR RESIDENTIAL USE

Name of Student : Brilliantika Fusi Nur Rahmasari
NRP : 3112100076
Department : Civil Engineering Department
Lecturer : Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D.
Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS, Ph.D

Abstract

The use of sandwich panel in building construction offers lots of benefits because of some reasons such as lightweight and fast to construct. The biggest sandwich panel application is for industrial and commercial building with the usage percentage about 80% of the total produced panel. With its strength and lightweight, fiber glass-foam sandwich panel as structural floor is expected to be applied for simple residential housing.

For making it happen, the researcher will design the structural dimension of floor plate that will be analyzed by using ABAQUS software to obtain the structure's dimension that can hold the load. The design also considers vibration factors to increase the comfort value.

This study obtained the dimension of the floor plate which is 300 cm x 100 cm x 14 cm that can be loaded by the designed load and meet the vibration requirements. The study also examined the thermal conductivity and obtained 1.401 W/m K for GFRP and 0.023 W/m K for PU Foam.

Keywords : sandwich composite panel, fiberglass-foam, structural floor, vibration, thermal conductivity.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Studi Eksperimen Panel Sandwich *Fiber Glass – Foam* untuk Lantai Struktural Rumah Tinggal”.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Allah SWT, yang selalu setia memberikan hidayah-Nya dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan semangat sampai selesainya Proposal Tugas Akhir ini.
3. Ir. Faimun, M.Sc., Ph.D dan Prof. Ir. Priyo Suprobo, MS, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen pengajar beserta staff karyawan di Jurusan Teknik Sipil, terima kasih atas ilmu-ilmu yang telah diberikan.
5. Mide, Gifari, Febri yang sudah menyemangati dan menemani mengerjakan TA setiap hari. Karim dan Atik yang sudah meminjami printer.
6. Teman-teman Teknik Sipil angkatan 2012 yang turut membantu dan memberikan semangat kepada penulis.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang selalu memberi dukungan untuk penulis selama perkuliahan dan pengerjaan Tugas Akhir ini, semoga jasa anda dibalas kebaikan oleh-Nya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih mempunyai banyak kekurangan sehingga masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak dalam perbaikan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan dapat menambah pengetahuan bagi para pembaca.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	5
1.2.1. Permasalahan Utama	5
1.2.2. Detail Permasalahan	5
1.3. Tujuan	5
1.4. Batasan Masalah	6
1.5. Manfaat	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Umum	7
2.2. Struktur Sandwich.....	8
2.3. Jenis Fiber dan Sifatnya	11
2.4. <i>Fiber Glass</i> (Fiber Kaca)	13
2.5. Metode Pabrikasi <i>Fiberglass</i> Menggunakan Proses Cetakan Terbuka (Akovali).....	14
2.5.1. Proses Wet Lay-up	15
2.5.2. <i>Bag Moulding</i> dan Proses Perawatan (<i>Curing</i>) ...	20

2.5.3.	Proses Cetakan Otoklaf (<i>Autoclave Moulding</i>) ...	23
2.5.4.	Vacuum Resin Infusion	28
2.6.	Penggunaan Panel Sandwich pada Bangunan.....	34
2.7.	Penelitian dan Perkembangan Terkini	36
2.8.	Slab (Pracetak).....	43
2.9.	Struktur <i>Skin</i>	44
2.10.	Struktur <i>Core</i>	45
2.11.	Pelat Sandwich.....	49
BAB III METODOLOGI		53
3.1.	Umum	53
3.2.	Bahan dan Alat.....	53
3.2.1.	Bahan.....	53
3.2.2.	Alat	53
3.2.3.	Waktu dan Tempat Penelitian.....	54
3.3.	Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir	54
3.4.	Studi Literatur	55
3.4.1.	Penentuan Spesifikasi dan Dimensi Bangunan Rumah.....	56
3.5.	Persiapan Material, Alat dan Penjadwalan Penelitian	57
3.5.1.	Perencanaan Material	57
3.5.2.	Perencanaan Alat	60
3.5.3.	Jadwal Penelitian	63
3.6.	<i>Preliminary Design</i> Panel Sandwich Pra Pengujian	63

3.7.	Perhitungan Vibrasi	64
3.8.	Pembuatan Fiber Glass Sheet.....	67
3.9.	Pembuatan Panel Sandwich	70
3.10.	Pengujian Benda Uji	71
3.11.	Konfigurasi Tinjauan	75
3.12.	Panel yang Diuji.....	77
3.13.	Hasil Penelitian	78
3.14.	Output Penelitian	78
3.15.	Kesimpulan	78
BAB IV ANALISA, HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		79
4.1.	Karakterisasi Skin Panel	79
4.1.1.	Tipe Serat Fiber	79
4.1.2.	Tipe Matriks	80
4.1.3.	Pabrikasi Fiberglass Sheet	80
4.2.	Karakterisasi Core Panel.....	86
4.2.1.	Pabrikasi Spesimen Rigid Polyurethane Foam....	86
4.3.	Analisa Numerik Penentuan Dimensi Panel	87
4.4.	Pembebanan pada Pelat Lantai	88
4.4.1.	Beban-Beban yang Bekerja pada Pelat Bangunan 2 Lantai.....	88
4.5.	Menentukan Tebal <i>Skin</i> dan <i>Core</i>	89
4.5.1.	Hubungan Geometri-Struktur Sandwich	91
4.5.2.	Perencanaan Struktur Sandwich	94

4.5.3.	Desain	94
4.6.	Desain Struktur Lantai untuk Manusia Karena Pengaruh Getaran.....	96
4.6.1.	Deskripsi Lantai.....	96
4.6.2.	Penentuan Karakteristik Lantai Dinamik.....	100
4.6.3.	Penilaian	103
4.7.	Pemodelan Pelat.....	104
4.8.	Analisa Ketahanan Pelat Terhadap Beban Gravitasi	110
4.9.	Pabrikasi Pelat.....	112
4.10.	Pengujian Gravity Load (Four Point Bending).....	115
4.10.1.	Persiapan Pengujian.....	115
4.10.2.	Analisa Hasil Pengujian.....	116
4.11.	Pengujian Konduktivitas Thermal	124
4.11.1.	Persiapan Pengujian.....	124
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		137
5.1.	Kesimpulan	137
5.2.	Saran	137
DAFTAR PUSTAKA.....		139
BIODATA PENULIS.....		142
Lampiran 1		143
Lampiran 2		144

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Fiber Glass' Material Properties</i>	13
Tabel 2. 2 Sifat Material <i>Tooling</i> Komposit.....	28
Tabel 2. 3 Perlengkapan <i>Vacuum Infusion</i>	29
Tabel 2. 4 Rekapitulasi Hasil Pengujian.....	42
Tabel 3. 1 Dimensi Rumah yang Dipertimbangkan	56
Tabel 3. 2 Penentuan <i>Damping</i>	65
Tabel 3. 3 Rekomendasi Kebutuhan Penggunaan	66
Tabel 3. 4 Kebutuhan Resin untuk Beberapa Ukuran Produk.....	76
Tabel 3. 5 <i>Curing Time</i> Menurut Temperatur	76
Tabel 3. 6 Dimensi Rumah yang Dipertimbangkan	77
Tabel 4. 17 Perhitungan Konduktivitas Thermal PU Foam BU-2	133
Tabel 4. 18 Perhitungan Konduktivitas Thermal PU Foam BU-3	134
Tabel 4. 19 Rekapitulasi Perhitungan Konduktivitas Thermal PU Foam	135
Tabel 4. 20 Rekapitulasi Perhitungan Konduktivitas Thermal GFRP	135
Tabel 4. 21 Perbandingan Konduktivitas Thermal Berbagai Zat	135
Tabel 4. 1 Metode <i>Vacuum Infusion</i>	80
Tabel 4. 2 Proses <i>Vacuum Infusion</i> di Workshop.....	83
Tabel 4. 3 Tipe dan Ukuran Rumah Sederhana yang Ditinjau	88
Tabel 4. 4 Nilai-nilai Beban pada Bangunan.....	89
Tabel 4. 5 Contoh untuk Penentuan <i>Modal Mass</i> dengan Perhitungan Manual.....	101
Tabel 4. 6 Penentuan Redaman	102
Tabel 4. 7 Input Material Properties	106
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Lendutan Pelat Lantai 1 (BU1)	117

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Lendutan Pelat Lantai 2 (BU2)	117
Tabel 4. 10 Peralatan yang Diperlukan Beserta Fungsinya.....	124
Tabel 4. 11 Langkah Pengujian Konduktivitas Thermal	126
Tabel 4. 12 Spesifikasi Benda Uji	128
Tabel 4. 13 Perhitungan Konduktivitas Thermal GFRP BU-1..	128
Tabel 4. 14 Perhitungan Konduktivitas Thermal GFRP BU-2..	129
Tabel 4. 15 Perhitungan Konduktivitas Thermal GFRP BU-3..	130
Tabel 4. 16 Perhitungan Konduktivitas Thermal PU Foam BU-1	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Peta Jumlah Kerusakan Rumah Akibat Gempa di Provinsi Sumatera Barat.....	2
Gambar 1. 2	Kehancuran Struktur Rumah Sederhana Pasca Gempa Bengkulu (2007).....	3
Gambar 1. 3	Panel <i>sandwich concrete-foam</i>	4
Gambar 2. 1	Panel sandwich yang dibuat dengan mengikat permukaan luar ke permukaan paduan aluminium dari inti <i>honeycomb</i> (sarang madu).	9
Gambar 2. 2	Penampang melintang dari struktur logam clad (<i>cladded metal</i>).....	9
Gambar 2. 3	Sandwich panel dengan (a) <i>expanded plastic core</i> , (b) <i>honeycomb core</i> , (c) <i>corrugated core</i>	10
Gambar 2. 4	Pola anyaman (a) anyaman datar, (b) <i>twill weave</i> , (c) <i>crowfoot weave</i> , (d) <i>long shaft weave</i>	12
Gambar 2. 5	Tipe Cetakan Terbuka (a) <i>Positive</i> (b) <i>Negative</i>	14
Gambar 2. 6	Prosedur <i>Hand lay-up</i> : (1) cetakan dibersihkan dan dilapisi dengan <i>mold release agent</i> ; (2) lapisan tipis <i>gel coat</i> (resin, kemungkinan berpigmen untuk memberi warna) diaplikasikan, yang akan menjadi permukaan luar produk; (3) ketika <i>gel coat</i> telah sebagian <i>setting</i> , lapisan-lapisan resin dan serat dapat diberikan, serat biasanya dalam bentuk <i>mat</i> atau <i>cloth</i> ; setiap lapisan dirol untuk sepenuhnya membuat serat terisi oleh resin dan menghilangkan gelembung udara; (4) produk di- <i>curing</i> ; dan (5) produk yang sepenuhnya mengeras dilepas dari cetakan.....	16
Gambar 2. 7	Metode <i>Spray – up</i>	19

Gambar 2. 8	Prosedur <i>bag moulding</i> (a) <i>vacuum bag moulding</i> (b) <i>pressure bag</i>	22
Gambar 2. 9	Sistem Otoklaf Tipikal.....	25
Gambar 2. 10	Perlengkapan <i>Vacuum Infusion</i>	29
Gambar 2. 11	Konfigurasi Dasar <i>Resin Infusion</i>	33
Gambar 2. 12	Aplikasi panel <i>sandwich</i> pada bangunan komersial	36
Gambar 2. 13	Spesimen pengujian <i>gel time</i> dan <i>peak</i> eksotermik resin vinyil ester	38
Gambar 2. 14	Grafik hubungan prosentase katalis dan geltime resin	39
Gambar 2. 15	Grafik hubungan prosentase katalis dengan peak eksotermal resin.....	40
Gambar 2. 16	Pembuatan specimen tekan rigid PU foam.....	41
Gambar 2. 17	Pelat Pracetak Berlubang (<i>Hollow Core Slab</i>)	43
Gambar 2. 18	Pelat Pracetak Tanpa Lubang (<i>Solid Slabs</i>).....	44
Gambar 2. 19	Pelat Pracetak (a) <i>Double Tees</i> dan (b) <i>Single Tee</i>	44
Gambar 2. 20	Tipe <i>core</i> (a) <i>Corrugated</i> (b) <i>Honeycomb</i>	47
Gambar 2. 21	Variasi Modulus geser (G) lapisan <i>core</i>	47
Gambar 2. 22	Pembuatan specimen tekan rigid PU <i>foam</i>	48
Gambar 2. 23	Dimensi pelat sandwich dengan <i>skin</i> tipis yang sama.....	49
Gambar 2. 24	Konvensi tanda untuk pelat sandwich; tanda positif ditunjukkan.....	50
Gambar 3. 1	Bagan Alir Metodologi Penyelesaian Tugas Akhir	55
Gambar 3. 2	Tampak 3D Rumah <i>Knock Down</i> 2 Lantai.....	56
Gambar 3. 3	Material-material Penelitian: (a) <i>Fiberglass</i> , (b) Polyurethane Resin, (c) Diisocyanate, (d) Resin, (e) Katalis, dan (f) <i>Vacuum Bag</i>	58
Gambar 3. 4	Timbangan Digital	60

Gambar 3. 5 Kaca	61
Gambar 3. 6 Sealant Tape	61
Gambar 3. 7 Pompa Vakum	61
Gambar 3. 8 (a) Roller, (b) <i>Releasing Wax</i> , (c) <i>Peel Ply</i> , (d) Bekisting Kayu	62
Gambar 3. 9 Grafik OS-RMS90 damping 3%	66
Gambar 3. 10 Pembuatan <i>fiber glass sheet</i> dengan <i>infusion method</i>	70
Gambar 3. 11 Model Bekisting untuk Pembuatan Panel	71
Gambar 3. 12 Model Panel Rencana	71
Gambar 3. 13 Ilustrasi Pengujian Pelat Sandwich dengan Beban Terpusat	72
Gambar 4. 1 Material matriks <i>fiberglass</i> (a) <i>Vynil Ester Resin EVERPOL 324 VE I</i> , (b) Katalis Akperox A60 MEKP	80
Gambar 4. 3 Bekisting Kayu untuk Benda Uji <i>Four Point Bending</i>	87
Gambar 4. 4 Variasi x (rasio ketebalan <i>skin/core</i>) sebagai fungsi dari ω (rasio berat <i>core</i> /berat total): (1) $\rho_o =$ $0,01786$; (2) $\rho_o = 0,03571$; (3) $\rho_o = 0,05357$; (4) $\rho_o =$ $0,07143$	92
Gambar 4. 5 Variasi D^* (kekakuan lentur non-dimensional) sebagai fungsi dari ω (rasio berat <i>core</i> /berat total): (1) $\rho_o = 0,01786$; (2) $\rho_o = 0,03571$; (3) $\rho_o = 0,05357$; (4) $\rho_o = 0,07143$	92
Gambar 4. 6 Variasi M^* (momen lentur non-dimensional) sebagai fungsi dari ω (rasio berat <i>core</i> /berat total): (1) $\rho_o =$ $0,01786$; (2) $\rho_o = 0,03571$; (3) $\rho_o = 0,05357$; (4) $\rho_o =$ $0,07143$	93
Gambar 4. 7 Struktur Bangunan	96
Gambar 4. 8 Rencana lantai	97

Gambar 4. 9 Hubungan Balok Dinding	98
Gambar 4. 10 Bentuk model yang diharapkan untuk bagian dari lantai yang dianggap sesuai dengan eigenfrequency pertama	98
Gambar 4. 11 $OS-RMS_{90}$ untuk redaman 3%	103
Gambar 4. 12 Rekomendasi untuk Peryaratan Kinerja	104
Gambar 4. 13 (a) Pelat Sandwich Rencana (b) Definisi <i>Skin</i> dan <i>Core</i> Pelat	105
Gambar 4. 14 <i>Four Point Bending</i>	108
Gambar 4. 15 Pendefinisian Material PU <i>Foam</i>	108
Gambar 4. 16 Pendefinisian material GFRP	109
Gambar 4. 17 Hasil Analisa Abaqus	110
Gambar 4. 18 Skema Pabrikasi Pelat	114
Gambar 4. 19 Perlengkapan Pabrikasi Pelat (a) Bekising, (b) RPUF Cair A dan B	114
Gambar 4. 20 Pelat Sandwich yang Telah Dirapihkan Bagian Tepinya.....	114
Gambar 4. 21 Setting Alat Pengujian Pemasangan LVDT dan Pemasangan <i>Strain Gauge</i>	115
Gambar 4. 22 Step-step Menuju Kegagalan Pelat yang Diuji (a) Kondisi Pelat Saat Muncul Delaminasi, (b) Pelat yang Telah Diuji	116
Gambar 4. 23 Defleksi pada Pelat Sandwich	117
Gambar 4. 24 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan	118
Gambar 4. 25 Grafik Hubungan Tegangan vs Regangan.....	120
Gambar 4. 26 Hubungan Momen-Kurvatur pada Pelat.....	121
Gambar 4. 27 Grafik Hubungan Momen vs Kurvatur.....	122
Gambar 4. 28 Grafik Beban vs Lendutan Pengujian dan Abaqus	123
Gambar 4. 29 Grafik Tegangan vs Regangan Pengujian dan Abaqus.....	123

Gambar 4. 30 Grafik Momen vs Kurvatur Pengujian dan Abaqus	124
Gambar 4. 31 Mekanisme Pengujian Konduktivitas Thermal...	126
Gambar 4. 32 Benda Uji (a) PU <i>Foam</i> (b) GFRP	127
Gambar 4. 33 Pengukuran Konduktivitas Thermal	128

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lokasi Praktikum.....	143
Lampiran 2 Brosur <i>Strain Gauges</i>	144

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Secara geografis Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik yaitu lempeng Benua Asia, Benua Australia, lempeng Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Kondisi tersebut sangat berpotensi sekaligus rawan bencana seperti letusan gunung berapi, gempa bumi, tsunami, banjir dan tanah longsor.

Gempa Mentawai berskala 7.2 SR yang terjadi pada 25 Oktober 2010 menewaskan lebih dari 400 jiwa (OCHA, 2010) setelah sebelumnya gempa bumi berskala 7.6 SR di Sumatera Barat tahun 2009 menewaskan lebih dari 1000 jiwa (OCHA, 2009). Korban tewas terbanyak adalah mereka yang tertimpa reruntuhan rumah – rumah sederhana. Pusat Pengendalian Operasi Badan Penanggulangan Bencana (PUSDALOPS BNPB) menyebutkan bahwa akibat gempa bumi Sumatera Barat 2009 terdapat 88.272 rumah dalam kondisi rusak berat, 40.813 rumah dalam kondisi rusak sedang dan 46.886 rumah rusak ringan.

Di daratan Sumatra, kerusakan rumah menjalar di sepanjang pantai baik ke arah utara dari Bengkulu atau ke arah selatan dari Padang ke Kabupaten Pasisir Selatan (WHO Indonesia,2010).

Sistem lantai dari rumah-rumah yang terkena dampak gempa di daratan Sumatra meliputi jenis-jenis struktur (1) Konvensional (seluruh struktur plat lantai dikerjakan di tempat, bekisting menggunakan plywood dengan perancah scaffolding) (2) *Half slab* (separuh struktur plat lantai dikerjakan dengan sistem

Bondek (tulangan bawah dihilangkan dan fungsinya digantikan oleh plat bondek, dengan begini diharapkan ada penghematan besi tulangan dan bekisting di bawahnya) (5) Kayu. Jenis lantai konvensional, *half slab*, dan *full precast* lebih banyak dipakai di daerah perkotaan Sumatera, sedangkan jenis kayu juga sering dijumpai di daerah pedesaan kemudian diikuti dengan bondek. Namun secara keseluruhan, lantai konvensional dan kayu lebih mendominasi dibandingkan tiga jenis struktur yang lain (BPS, 2011).



(a)



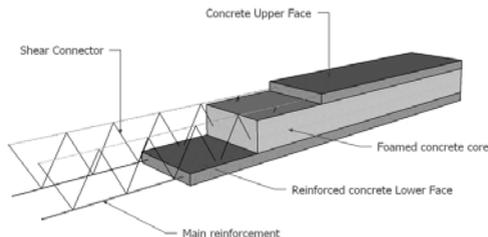
(b)

Gambar 1. 2 Kehancuran Struktur Rumah Sederhana Pasca Gempa Bengkulu (2007)

(sumber : Build Change, 2007)

Selain menghancurkan bangunan, gempa bumi juga berhasil memutus jalur transportasi darat. Tercatat 15 titik jalan di Kabupaten Agam rusak berat akibat gempa Sumatera Barat 2009 (BNPB, 2009), mengakibatkan beberapa desa terisolir dan mengalami keterlambatan bantuan. Kondisi jalan inilah yang juga menjadi penyebab lambatnya pembangunan pemukiman akibat truk pembawa material tertahan di Bengkulu. Maka jalur udara merupakan satu-satunya akses dalam rangka pemberian bantuan, termasuk dalam hal pengangkutan material bangunan terutama material lantai karena lantai merupakan bagian dari struktur sekunder rumah yang penting, sehingga kesulitan terbesar dalam rangka membangun rumah pasca bencana adalah pada pengangkutan bahan material tersebut.

Dibutuhkan satu solusi untuk mengatasi tingginya berat jenis lantai konvensional untuk mengurangi resiko kematian akibat tertimpa lantai konvensional yang berat. Mengganti lantai konvensional dengan panel *sandwich* merupakan salah satu solusi. Penggunaan panel *sandwich* (Gambar 1.3) dalam konstruksi struktur bangunan menawarkan banyak keuntungan karena beberapa alasan seperti beratnya yang ringan dan biaya yang efektif. Aplikasi panel *sandwich* paling besar adalah pada bangunan-bangunan industri dan komersial dengan prosentase penggunaan sekitar 80% dari panel *sandwich* yang diproduksi (Dedecker, 2006).



Gambar 1. 3 Panel *sandwich concrete-foam*

(sumber : Reinhardt, 1990)

1.2. Perumusan Masalah

1.2.1. Permasalahan Utama

Pabrikasi panel ringan sebagai pelat lantai rumah berbahan *fiber glass* dan *foam* untuk memikul beban-beban yang ada pada struktur rumah.

1.2.2. Detail Permasalahan

1. Penentuan material yang dipakai pada panel *sandwich*.
2. Tipe struktur panel yang akan dipakai..
3. Analisa kemampuan penampang dengan beban yang ada.
4. Evaluasi (perhitungan) dan pengetesan panel.
5. Mencocokkan hasil perhitungan dengan hasil tes laboratorium.

1.3. Tujuan

Tujuan utama dari Tugas Akhir ini yaitu :

Tujuan utama dari Tugas Akhir ini adalah dapat melakukan pabrikasi panel ringan sebagai pelat lantai rumah berbahan *fiber glass* dan *foam* untuk memikul beban-beban yang ada pada struktur rumah.

Tujuan secara detail dari pembahasan Tugas Akhir ini adalah:

1. Memperoleh prosedur pembuatan *skin*.
2. Memperoleh prosedur pembuatan *core*.
3. Memperoleh hasil perhitungan struktur komposit.
4. Mendapat tebal *skin* dan *core* yang dibutuhkan untuk bisa menahan gaya-gaya yang bekerja pada panel.

1.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak melebar, maka dalam Tugas Akhir ini penulis membatasi permasalahan pada :

1. Struktur yang ditinjau fokus pada pelat lantai.
2. Panel yang diuji diasumsikan *simply supported beam*, panel memiliki tumpuan yang memungkinkannya untuk berotasi dan tidak memiliki ketahanan momen.
3. *Fiber glass* yang digunakan adalah jenis E-Glass.
4. *Material properties* yang digunakan diambil dari literature dan penelitian sebelumnya.

1.5. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Menambah wawasan dan mengaplikasikan teori yang telah diperoleh selama masa perkuliahan.
2. Memberi referensi alternatif sistem struktur lain yang lebih efisien.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Secara keseluruhan, lantai konvensional dan kayu lebih mendominasi dibandingkan tiga jenis struktur yang lain yaitu lantai *half slab* (separuh struktur plat lantai dikerjakan dengan sistem *precast*, bagian tersebut bisa dibuat di pabrik, lalu dikirim ke lokasi proyek untuk dipasang), *full precast*, dan bondek (tulangan bawah dihilangkan dan fungsinya digantikan oleh plat bondek, dengan begini diharapkan ada penghematan besi tulangan dan bekisting di bawahnya) (BPS, 2011).

Pada saat gempa biasanya terjadi pencairan (*liquefaction*) yang menimbulkan berbagai dampak. Dampak tersebut meliputi penurunan tanah, retaknya pondasi, keretakan vertikal pada dinding pasangan bata, keretakan dan terangkatnya lantai interior, dan adanya air dan pasir yang merembes ke atas melalui retak-retak di lantai. Rumah yang mendapatkan dampak kerusakan lantai seperti itu adalah yang plat lantainya umumnya terbuat dari beton tanpa tulangan tipis (5 – 10 cm) (Building Change, 2007). Jenis struktur lantai konvensional dan kayu runtuh karena kurangnya kekakuan dan kemampuan menahan beban pada struktur lantai jenis ini.

Keterbatasan moda transportasi udara seperti helikopter pada kapasitas angkutnya menjadikan proses distribusi material tidak efektif. Dengan keterbatasan tersebut, membangun sebuah rumah dalam keadaan darurat memerlukan waktu pengangkutan material yang lama, kecuali mengganti lantai beton atau kayu tersebut dengan material yang lebih

ringan.

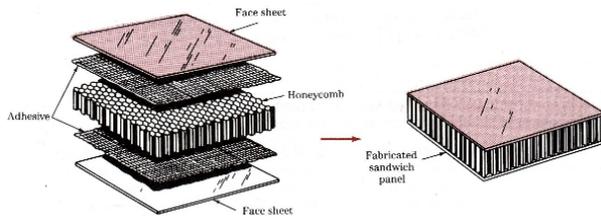
Sebagaimana diketahui, lantai merupakan salah satu elemen bangunan yang berfungsi menahan naiknya air tanah ke bagian bangunan, mengatur perbedaan ketinggian bangunan, dan menahan beban barang-barang yang berada di atasnya. Namun akibat beratnya, lantai konvensional menjadi salah satu komponen penyumbang gaya gempa yang cukup besar di mana gaya gravitasi (W_f) dan gaya horizontal gempa (V) memiliki hubungan linear dalam formula gempa statik ekuivalen $V = C_s \times W_f$.

Panel sandwich dipilih sebagai material alternatif karena materialnya ringan dalam bentuk modul-modul yang mudah diaplikasikan dalam bentuk konstruksi ruangan, karena mudah disusun sehingga proses pengerjaannya menjadi sangat singkat. Panel sandwich ini ringan dan kuat, sehingga cocok sekali digunakan untuk membangun rumah yang tahan terhadap gempa, daya tahannya pun lama.

2.2. Struktur Sandwich

Struktur sandwich merupakan salah satu tipe struktur komposit. Penampangnya terdiri dari dua buah lapisan kulit (*skin*) yang kuat dan kaku yang dihubungkan dengan inti (*core*) dengan kerapatan kecil. Dibandingkan dengan struktur homogen, kombinasi rangkaian tersebut mampu menghasilkan struktur baru yang memiliki rasio kekakuan terhadap berat yang tinggi dengan kemampuan insulasi panas yang baik (Salet, 1990). Secara struktural, momen lentur ditahan oleh bagian kulit sementara beban geser ditahan oleh bagian inti. Oleh karena itu, struktur sandwich mewakili sebuah contoh optimum dari penggunaan material berbeda yang berperilaku sebagai suatu struktur komposit baru.

William F. Smith (2010) menjelaskan bahwa terdapat dua macam material sandwich yang telah umum digunakan, yaitu *honeycomb sandwich* dan struktur *cladded sandwich*. Struktur *honeycomb sandwich* telah digunakan dalam industry penerbangan selama lebih dari 40 tahun. Panel *honeycomb* terbuat dari aluminium yang dibuat dengan mengelem dengan kuat permukaan pelat tipis aluminium ke bagian inti *honeycomb* yang terbuat dari paduan aluminium seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Panel sandwich yang dibuat dengan mengikat permukaan luar ke permukaan paduan aluminium dari inti *honeycomb* (sarang madu).

(sumber: Smith, 2010)

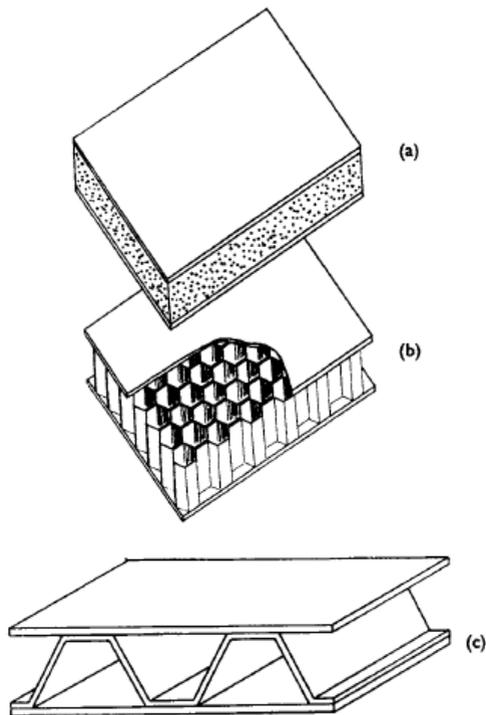
Struktur *cladded* digunakan untuk membuat komposit dari inti logam dengan lapisan terluar yang tipis dari logam lain atau logam seperti pada Gambar 2.2. Biasanya lapisan logam terluar dipanaskan dan dikaitkan ke logam inti (*hot-roll-bonded*) untuk membentuk ikatan metalurgi (*atomic diffusion*) di antara lapisan luar dan inti logam bagian dalam.



Gambar 2. 2 Penampang melintang dari struktur logam clad (*cladded metal*)

(sumber: Smith, 2010)

Secara struktural, momen lentur ditahan oleh bagian kulit sementara beban geser ditahan oleh bagian inti. Sehingga struktur sandwich merupakan sebuah contoh optimum dari penggunaan material berbeda yang berperilaku sebagai suatu struktur komposit yang baru. Sebagai acuan kasar dari proporsi, struktur sandwich yang efisien diperoleh ketika berat inti sama dengan berat kedua lapisan skin (Howard G. Allen, 1969).



Gambar 2. 3 Sandwich panel dengan (a) *expanded plastic core*,
(b) *honeycomb core*, (c) *corrugated core*
(sumber: Howard G. Allen, 1969)

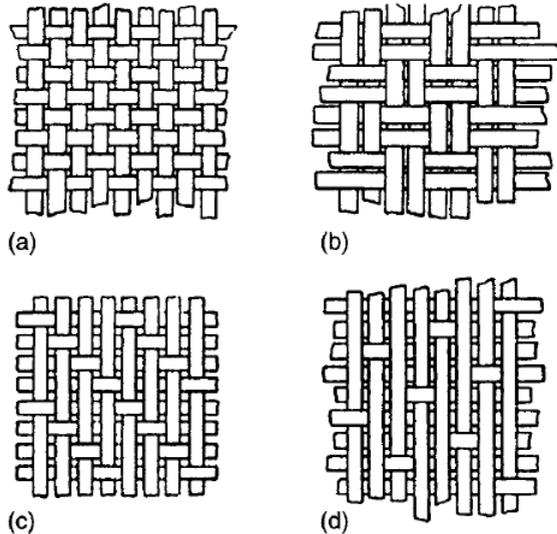
2.3. Jenis Fiber dan Sifatnya

Kata fiber berarti tunggal, merujuk pada material memanjang yang memiliki panjang minimal 200 kali lebar atau diameternya (Manziona dan Gillham, 1981 dalam Akovali, 2001). Sementara komposit fiber didefinisikan sebagai sebuah kombinasi dari dua atau lebih komponen yang berbeda dalam bentuk atau komposisi pada skala makro (Pepley, 1987 dalam Akovali, 2001) dan memiliki dua atau lebih fase (lapis), di mana fase ke-n bertindak sebagai penguat fase ke n+1 (Herakovich, 1998).

Komposit fiber, juga berlaku untuk struktur komposit secara umum, biasanya terdiri dari material penguat yang berada dalam sebuah matriks (lem/binder). Metode untuk meningkatkan kekuatan dan sifat material secara keseluruhan adalah dengan menambahkan fase terdispersi (menyebarkan) ke dalam matriks yang dapat berupa keramik, metal atau polimer. Oleh karena itu berkembanglah *ceramic matrix composites*, *metal matrix composites (MMC)* atau *polymer matrix composites (PMC)* atau komposit keramik/metal/polimer, *carbon matrix composites (CMC)*, atau bahkan *hybrid composites*. Dalam sebuah komposit, secara umum matriks memiliki nilai modulus yang rendah, sementara materi penguat biasanya 50 kali lebih kuat dan 20-150 kali lebih kaku (Akovali 2001).

Materi penguat dalam sebuah komposit dapat berupa penguat particular (*particular reinforcing agents* seperti bubuk selulosa, bubuk karet) atau fiber (fiber kaca, fiber carbon, aramid/kevlar, boron, keramik maupun metal). Materi penguat tersebut kemudian dikombinasikan dengan matriks polimer dalam beberapa bentuk, antara lain filament (fiber menerus), *chopped strands*, *roving* (strand menerus parallel), *yarn* (filament yang diplintir), *woven rovings* (*roving* yang dianyam), *woving yarn*, ataupun dalam bentuk mat, yaitu lembaran tipis yang merupakan

hasil kombinasi fiber menerus maupun *chopped strands* dengan matriks (Grooven, 1996). Berbagai pola anyaman yang ada pada fiber ditunjukkan dalam gambar berikut.



Gambar 2. 4 Pola anyaman (a) anyaman datar, (b) *twill weave*, (c) *crowfoot weave*, (d) *long shaft weave*

(sumber : Akovali, 2001)

Sistem kerja material fiber secara umum dikenal sebagai sistem Fiber Reinforced Composite (FRC). Dalam sistem ini, serat menahan beban utama sementara fungsi matriks terutama untuk memuat distribusi dan transfer beban ke serat sekaligus sebagai pengikat di antara serat-serat yang ada (Akovali, 2001), selain juga berperan : (1) menentukan stabilitas termo-mekanika komposit, (2) menciptakan durabilitas yang baik, dan (3) memungkinkan spasi dan orientasi fiber berdasarkan kebutuhan.

Matriks tersebut biasanya menyumbangkan volume sebesar 30-40% dari volume total struktur komposit (Uyanik, 2001).

2.4. *Fiber Glass (Fiber Kaca)*

Kaca merupakan merupakan material yang terdiri dari jaringan silica. Kaynak (2001) menyebutkan ada empat klasifikasi kaca yang digunakan secara komersial, diantaranya alkali tinggi (soda-lime-silica : A glass), *electrical grade* (calcium alumino boro-silicate dengan alkali oxide rendah : E glass), chemically-resistant modified E glass grade (dengan kalsium alumino silikat : ECR glass), high strength grade (dengan magnesium alumino silikat tanpa boron oksida: S glass). Dari keempat jenis fiber glass yang ada, jenis E glass merupakan jenis yang paling banyak digunakan meskipun S glass memiliki kekuatan tarik dan modulus elastisitas paling tinggi.

Tabel 2. 1 *Fiber Glass' Material Properties*

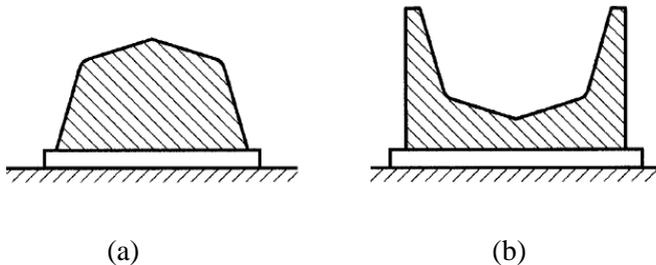
Material	Kerapatan	Kekuatan Tarik	Modulus Young	CTE	Strain to Failure
	(kg/m ³)	(Mpa)	(Gpa)	(10 ⁻⁶ /K)	(%)
E-Glass	2620	3450	81	5	4.9
S-Glass	2500	4590	89	5.6	5.7
A-Glass	2500	3050	69	8.6	5

(sumber : Akovali, 2001)

2.5. Metode Pabrikasi *Fiberglass* Menggunakan Proses Cetakan Terbuka (Akovali)

Metode ini menggunakan hanya satu sisi permukaan cetakan, baik positif (*male plug*) maupun negatif (*female cavity*). Karena hanya menggunakan satu sisi, proses ini membutuhkan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan proses *closed mold*. Keuntungan lain adalah struktur yang sangat kompleks dan besar memungkinkan untuk diproduksi dalam proses cetakan terbuka, yang akan sangat sulit jika menggunakan proses cetakan tertutup. Selain itu tersedia berbagai material (logam, plester, kayu, FRP) untuk proses cetakan terbuka yang lebih murah.

Kekurangan metode ini adalah bahwa hanya ada satu permukaan saja yang finished dan halus. Dibandingkan dengan metode lain, periode *curing* yang dibutuhkan untuk proses cetakan terbuka ini cenderung lebih lama. Secara normal, penggunaan panas akan mengurangi durasi *curing*. Namun, untuk ukuran yang besar, penggunaan panas sulit dilakukan.



Gambar 2. 5 Tipe Cetakan Terbuka (a) *Positive* (b) *Negative*

(sumber : Groover, 1996)

Proses cetakan terbuka biasanya diklasifikasikan berdasarkan metode bagaimana resin dan *reinforcement* diaplikasikan pada cetakan. Jika matriks dan *reinforcement* diaplikasikan dengan tangan, maka ini disebut sebagai *hand lay-up*, jika digunakan *spray gun*, maka ini disebut *spray-up*. Jika proses *curing* melibatkan *bag*, maka ini disebut *bag moulding*. Jika digunakan *autoclave*, maka itu disebut *autoclave moulding*. Untuk mengkombinasikan keunggulan dari masing-masing metode – metode tersebut, biasanya dua atau lebih gabungan metode digunakan.

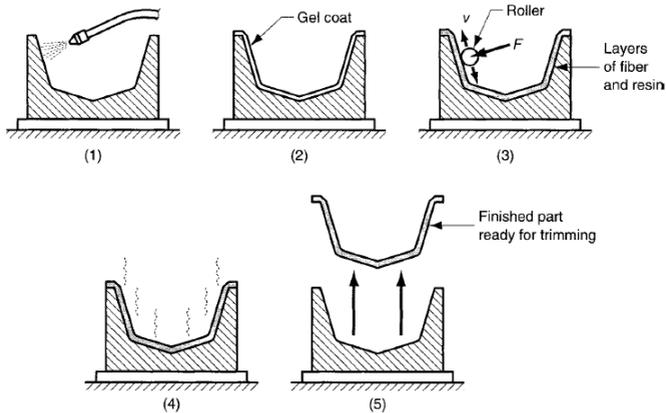
2.5.1. Proses Wet Lay-up

2.5.1.1. Hand Lay-up

Metode ini merupakan metode paling tua dalam proses produksi fiberglass. Secara umum ada 5 prosedur, diantaranya : *cleaning, gel coating, laying up, curing, part removal*. Lima prosedur ini yang juga dibutuhkan untuk proses cetakan terbuka lain. Yang membedakan antara setiap proses cetakan terbuka yang satu dengan yang lain adalah pada prosedur ketiga (*laying up*) dan keempat (*curing*).

Langkah pertama dari proses *hand lay-up* adalah membersihkan permukaan cetakan, diikuti dengan penerapan *release agent* untuk mempermudah melepas produk dari cetakan. Pada langkah kedua, *gel coating tipis* akan diterapkan pada permukaan luar dari cetakan, jika kualitas permukaan produk menjadi pertimbangan penting. Resin *gel coat* biasanya

berpigmen (untuk memberi warna pada permukaan), dan aplikasikan pada cetakan dengan menggunakan *spray gun*.



Gambar 2. 6 Prosedur *Hand lay-up*: (1) cetakan dibersihkan dan dilapisi dengan *mold release agent* ; (2) lapisan tipis *gel coat* (resin, kemungkinan berpigmen untuk memberi warna) diaplikasikan, yang akan menjadi permukaan luar produk; (3) ketika *gel coat* telah sebagian *setting*, lapisan-lapisan resin dan serat dapat diberikan, serat biasanya dalam bentuk *mat* atau *cloth*; setiap lapisan dirol untuk sepenuhnya membuat serat terisi oleh resin dan menghilangkan gelembung udara; (4) produk di-*curing*; dan (5) produk yang sepenuhnya mengeras dilepas dari cetakan.

(sumber: Groover, 1996)

Ada beberapa material yang digunakan di dalam produksi cetakan untuk proses *hand lay-up*, seperti metal, GFRP, atau plaster. Faktor yang mempengaruhi pemilihan material cetakan

adalah jumlah produk yang akan dibuat, kualitas permukaan dari produk yang dibutuhkan, juga beberapa faktor teknis dan faktor ekonomis lainnya.

2.5.1.2. Otomasi dalam Proses Lay-Up

Cara terbaik untuk mengotomasi proses *hand lay – up* adalah dengan mengakselerasi poses laminasi pada langkah ketiga. Karena itu, para produsen peralatan telah mengembangkan *automated tape laying machines* untuk keperluan ini.

Automated tape-laying machines menggunakan beberapa rol *chopped strands, woven roving, yarn* atau *prepreg tape*. Pertama – tama, beberapa bentuk fiber ini dipasang pada *machine*, kemudian mereka disalurkan menuju resin yang telah diberi katalis untuk pembasahan fiber (*fiber wetting*), kemudian fiber basah ini melewati beberapa roler. Celah antara roler disesuaikan dengan ketebalan laminasi yang dibutuhkan. Celah ini penting untuk menentukan jumlah resin yang diinginkan, dan ketika material melewati roler, kelebihan resin juga turut dihilangkan. Kemudian material ini diposisikan pada cetakan seketika setelah meninggalkan mesin.

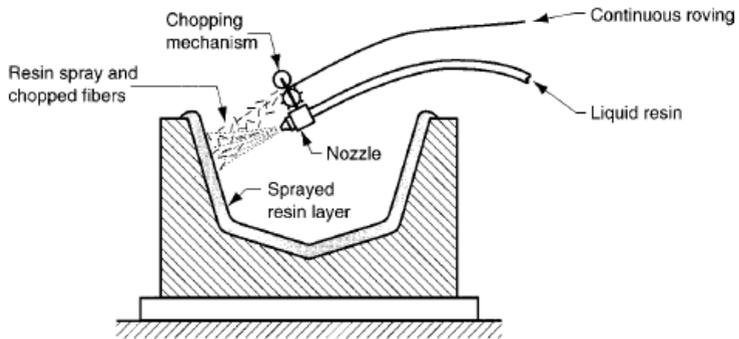
Setiap laminasi ditempatkan dengan metode *back and forth* pada permukaan cetakan sampai semua lapisan selesai. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat kinerja *automated tape-laying machines*, meliputi ketebalan laminasi yang diinginkan, kerenggangan dan kerapatan fiber, dan juga jenis resin yang digunakan dalam proses ini.

2.5.1.3. *Spray-up*

Spray –up adalah alternatif lain dari langkah ketiga untuk proses *open mould wet lay-up*. Metode ini membantu untuk mengotomasi pengaplikasian lapisan matriks resin dan *reinforcement* fiber, sehingga mengurangi waktu produksi pada prosedur *hand lay-up* manual.

Di dalam metode ini, sebagaimana diilustrasikan pada **Error! Reference source not found.**, fiber tipe *chopped*, bersama dengan cairan matrix resin, disebarkan (*sprayed*) pada permukaan cetakan terbuka, sampai ketebalan laminasi komposit yang diinginkan dicapai. *Spray up* juga terkadang digunakan untuk mengaplikasikan *gel coat* pada permukaan cetakan sebelum proses *hand lay – up* dan *spray – up*.

Perlengkapan yang dibutuhkan pada metode ini diantaranya : sebuah *spray gun*, a *glass fibre chopper attachment*, dan sistem perpompaan. *Chopper attachment* menyediakan *roving* terusan dan memotongnya menjadi fiber pendek-pendek. Secara umum, *chopped fiber* memiliki panjang antara 25 – 75 mm dan mereka ditambahkan pada aliran matriks resin seketika keluar dari *spray gun nozzle*. Jenis penyampuran seperti ini menghasilkan orientasi fiber acak pada lapisan komposit, yang mana pada proses *hand lay up* mungkin orientasi fiber mengikuti arah penerapan rol.



Gambar 2. 7 Metode *Spray – up*

(sumber: Groover, 1996)

2.5.1.4. Otomatisasi dalam *Spray-up*

Dalam proses *spray-up*, penyemprotan ke permukaan cetakan terbuka umumnya dilakukan manual oleh operator yang menggunakan pistol semprot portabel genggam. Jenis penyemprotan ini harus dilakukan oleh seorang pekerja yang kompeten untuk mengoperasikan dan memelihara peralatan, dan juga untuk menghasilkan laminasi yang tepat untuk komponen yang sedang diproduksi. Oleh karena itu, karena ketergantungan kualitas dan konsistensi dari laminasi pada keterampilan operator, komponen yang diproduksi dengan cara ini akan bervariasi dalam berat dan kualitas.

Otomatisasi dalam *spray-up* akan mencegah pengaruh-pengaruh negatif pada komponen yang diproduksi. Otomatisasi atau mekanisasi dalam *spray-up* dicapai dengan menggunakan mesin yang terkomputerisasi di mana jalur pistol semprot

diprogram dan dikendalikan. Dalam metode ini, pistol semprot melekat pada mesin *operator – control* atau dioperasikan oleh robot. Oleh karena itu, otomatisasi dalam proses *spray-up* mengurangi tenaga kerja dan menghasilkan konsistensi dan kualitas yang jauh lebih baik dibandingkan dengan penyemprotan manual.

Otomasi juga membuat proses *spray-up* menjadi lebih ramah lingkungan. Namun, jika peralatan *spray-up* tidak memadai, atau dioperasikan oleh personel non-kompeten, maka tempat kerja akan lebih beresap. Gas dan emisi yang mudah menguap lainnya dari resin cair sangat berbahaya bagi kesehatan. Oleh karena itu, menggunakan peralatan otomatis, tanpa seorang pekerja, akan sangat menguntungkan.

2.5.2. Bag Moulding dan Proses Perawatan (Curing)

Tujuan dari proses *bag moulding* pada teknik *wet lay-up* adalah untuk mengompakkan laminasi pada permukaan cetakan terbuka. Fungsi lainnya adalah untuk mengeluarkan volatil dengan menerapkan tekanan kepada resin. Oleh karena itu, di proses *hand lay-up* dan *spray-up*, *bag moulding* dapat digunakan sebagai proses tambahan untuk proses perawatan (*curing*). Seperti diilustrasikan dalam Gambar 2.8. ada dua metode dasar yang digunakan dalam industri: *vacuum bag moulding* dan *pressure bag moulding*.

2.5.2.1. *Vacuum Bag Moulding*

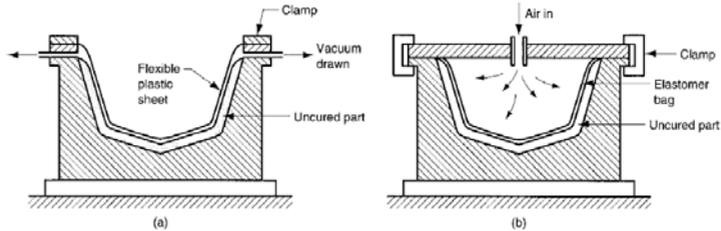
Dalam *vacuum bag moulding*, komponen laminasi yang diproduksi dengan *hand lay-up* atau *spray-up* pada cetakan terbuka ditutupi oleh selembar plastik polimer. Plastik ini harus fleksibel dan tidak melekat ke laminasi: polivinil alkohol atau Nylon biasanya dipilih. Setelah tepi cetakan tertutup dan tersegel (*sealed*), vakum ditarik untuk memberikan tekanan oleh kantong plastik terhadap komponen laminasi selama *curing*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.

Dibandingkan dengan proses *lay-up* tanpa *bag moulding*, metode vakum menghasilkan produk dengan konten *reinforcement* dan adhesi yang lebih baik antara lapisan. Untuk mempercepat penyembuhan, Pemanasan dapat diterapkan dalam teknik tas vakum. Dibandingkan dengan tas tekanan molding, keterbatasan metode tas vakum adalah jumlah maksimum tekanan yang diberikan, yang tidak dapat melebihi 98 (Schwartz, 1997).

2.5.2.2. *Pressure Bag Moulding*

Perbedaan antara *pressure bag* dan *vacuum bag moulding* adalah jenis tekanan yang diberikan. Dalam metode *vacuum bag*, tekanan diberikan karena vakum ditarik antara kantong plastik dan laminasi. Namun, dalam teknik *pressure bag*, tekanan udara positif diterapkan. Dalam metode ini, tekanan positif diberikan dengan meniupkan udara untuk mengembangkan kantong plastik elastis yang menutupi laminasi pada permukaan cetakan terbuka (**Error! Reference source not found.** b). Perbedaan lain adalah besarnya tekanan yang diberikan, yang dapat mencapai~ 300 kPa

dalam *pressure bag moulding*, sementara kurang dari 98 kPa pada metode *vacuum bag*.



Gambar 2. 8 Prosedur *bag moulding* (a) *vacuum bag moulding* (b) *pressure bag*

(sumber: Groover, 1996)

Pressure bag moulding juga diterapkan ketika proses *curing* berlangsung. Untuk mempercepat *curing*, pemanasan eksternal bisa ditambahkan, atau dari pada tekanan udara, uap bertekanan ditiupkan pada *bag*. *Pressure bag moulding* sangat cocok untuk komponen berongga kompleks, yang biasanya membutuhkan *core* dan sisipan.

2.5.2.3. *Curing*

Sebagaimana dinyatakan dalam bagian sebelumnya, *curing* adalah langkah keempat dalam keseluruhan proses *wet lay-up*, dan diperlukan bagi semua resin matriks *thermosetting* untuk mengeras. Selama *curing*, cairan resin berubah menjadi kaku dan keras karena pembentukan ruas saling silang dari struktur polimer tersebut.

Waktu, suhu dan tekanan adalah tiga parameter utama yang mempengaruhi derajat ruas silang dalam proses *curing*. Pada resin *thermosetting*, *curing* akan mulai pada suhu ruang, yang mana cenderung agak lambat. Peningkatan suhu akan mengurangi waktu yang diperlukan untuk proses *curing* selesai. Namun, pada proses *wet lay-up* (termasuk *hand lay-up* dan *spray-up*), ukuran cetakan biasanya sangat besar. Oleh karena itu, pemanasan bisa sangat sulit, dan kadang-kadang mungkin diperlukan beberapa hari untuk pengerasan yang cukup sebelum pelepasan produk dari cetakan.

Ada beberapa teknik pemanasan yang digunakan dalam proses *curing*, seperti *oven curing*, *infrared curing*, dan *autoclave curing* (*Engineered Materials Handbook*, 1998 dalam Akovali, 2001). Dalam *curing oven*, panas diterapkan pada suhu terkontrol, dan juga memungkinkan untuk menarik vakum secara parsial dalam beberapa *curing oven*. *Vacuum curing oven* tipikal (perangkat yang menyalurkan panas secara konveksi), biasanya terbuat logam besar, terisolasi panas, oven dengan sirkulasi udara dan dengan pintu besar pada satu atau kedua ujungnya. Ukuran standar tinggi, lebar dan panjang adalah 3 m, lebar 4 m, dan panjang 9 m. Pemanasan inframerah terutama digunakan ketika laminasi pada cetakan terbuka dengan ukuran sangat besar, dan karena itu sangatlah tidak praktis untuk memanaskan dalam oven.

2.5.3. Proses Cetakan Otoklaf (*Autoclave Moulding*)

2.5.3.1. Sistem Cure Otoklaf

Proses cetakan otoklaf digunakan terutama dalam industri pesawat terbang di mana tingkat produksi yang tinggi bukan merupakan pertimbangan penting. Hal ini digunakan terutama

untuk pembuatan komponen komposit, selain berbagai aplikasi lain seperti vulkanisasi produk karet.

Sistem *autoclave* adalah sebuah sistem dengan bejana bertekanan di mana reaksi kimia yang kompleks terjadi di dalamnya sesuai dengan jadwal yang ditentukan (*siklus curing/cure cycle*) untuk memproses berbagai bahan. Dengan perkembangan material dan proses, kondisi operasi *autoclave* bisa mencapai 700 ° C dan 15 MPa. Bahan yang diproses di otoklaf diantaranya lem perekat untuk logam, laminasi termoplastik, logam, bahan matriks keramik dan karbon, serta komponen pesawat terbang dan elektronik lain. Pada Gambar 2.9 merupakan ilustrasi dari sistem *autoclave*. Unsur-unsur penting dari sistem *autoclave* adalah:

- a. bejana bertekanan
- b. sumber panas (*heat source*)
- c. kipas untuk menyeragamkan sirkulasi udara di dalam bejana
- d. sistem tekan bejana
- e. sistem untuk mengaplikasikan vakum pada produk yang dilingkupi *vacuum bag*.
- f. sistem untuk mengontrol parameter operasi, dan
- g. sistem untuk memuat cetakan ke dalam *autoclave*.



Gambar 2. 9 Sistem Otoklaf Tipikal

Otoklaf biasanya diberikan tekanan dengan nitrogen atau karbon dioksida dari tangki penyimpanan cairan dan divaporasi sebelum digunakan. Dahulu, otoklaf menggunakan tekanan dari *plant* air, tetapi pengaturan ini membawa resiko kebakaran. Namun, saat ini beberapa perusahaan lebih memilih untuk menggunakan gabungan udara dan nitrogen dalam rasio tertentu untuk alasan ekonomis.

2.5.3.2. Analisa Proses

Bahan awal untuk proses cetakan otoklaf adalah *prepreg* yang mengandung serat di dalam *partially cured resin*. Biasanya, *prepreg* mengandung resin sekitar 42% berat. Jika *prepreg* ini di-

curing tanpa kehilangan resin sama sekali, laminasi yang telah *cured* akan mengandung sekitar 50% volume serat. Karena hampir 10 persen berat resin mengalir keluar selama proses pencetakan, konten serat sebenarnya dalam *cured* laminasi sekitar 60 persen volume, yang mana dianggap sebagai standar industri untuk aplikasi penerbangan ruang angkasa. Kelebihan resin yang mengalir keluar dari *prepreg* menghilangkan udara yang terperangkap dan larutan residu, yang mana akan mengurangi konten udara (*void content*) di dalam laminasi. Namun, kecenderungan saat ini adalah melibatkan isi resin bersih (*net resin content*), sekitar 34 persen berat dan diperbolehkan hanya sekitar 1-2 persen berat resin hilang selama poses molding (Mallick, 1988).

a. Proses *Lay-up*

Kegiatan *lay-up* dilakukan di ruang bersih yang ditetapkan sebagai 'kelas' tertentu. Setiap kelas menunjukkan jumlah maksimum partikel diizinkan di ruang bersih, dan juga mendefinisikan batasan suhu dan kelembaban. Sebagian besar aktivitas ini dilakukan di ruang bersih yang diklasifikasikan sebagai Kelas 100.000. Namun, beberapa produsen melakukan *step* ini di lingkungan Kelas 400.000, karena lebih mudah untuk pemeliharaan.

b. Proses *curing*

Setelah *vacuum bag* siap, *lay-up* dimasukkan ke dalam *autoclave*. Siklus *curing*, yang telah dikembangkan melalui berbagai studi teknis dan pengujian, kemudian dijalankan (biasanya otomatis), oleh komputer.

c. Pengembangan siklus *curing* dan kontrol kualitas

Karena *curing* menentukan sifat produk, industri mengambil pendekatan yang sangat konservatif terhadap parameter - parameter, dan *curing* dari bahan tersebut. Tes yang sesuai dilakukan untuk memastikan bahwa bagian tertentu dari material komposit *preimpregnated* ini dapat diterima. Pengujian biasanya melibatkan pembuatan panel dan melakukan berbagai uji mekanis, seperti tarik, lentur, geser balok pendek, dan sebagainya, serta kadar resin, kadar aliran dan *volatile*. Pengujian kimiawi, seperti *high pressure liquid chromatography* (HPLC), *thermogravimetric analysis* (TGA), *differential scanning calorimetry* (DSC), *rheologi*, inframerah (IR) spektroskopi, dll, juga dilakukan untuk karakterisasi material, pengembangan parameter proses, kontrol kualitas, pembaharuan, dll. Pengujian ini menunjukkan keadaan kimia dan keadaan fisik dari resin belum di-*curing*. Sistem resin yang telah di-*curing* juga dipelajari dengan menggunakan TGA, analisis termomekanis (TMA), analisis mekanik dinamis (DMA), dll. Tes dapat mengindikasikan :

- Perkembangan/kemajuan secara kimia dari sistem resin
- apakah resin sudah pada tahap yang tepat untuk *curing*
- rasio reaktan terhadap reaksi produk
- pada suhu berapa *volatile* berkembang
- viskositas dan
- apakah pemasok telah mengirim bahan yang benar.

d. Tooling

Tujuan utama dari *tooling* adalah untuk memberikan morfologi kontur pada produk ketika selesai *curing*. Mentransfer panas ke bagian *lay-up* adalah fungsi lain dari alat. Alat umumnya

terbuat dari bahan tahan lama yang tercantum dalam Tabel 2.2, meskipun beberapa bagian dapat dilakukan pada alat plester yang biasanya rusak oleh siklus panas.

Tabel 2. 2 Sifat Material *Tooling* Komposit

Material	CTE 10 ⁻⁶ /K	Thermal conductivity w/m.K	Approximate fabricated cost \$/m ²
Fibreglass-epoxy	7.9	-	175–278
Graphite-epoxy	-0.9	0.022	220–320
Aluminium	23	0.221	390–600
Steel	13.9	0.048	250–450
Electroless nickel	13.3	0.035	370–580

2.5.4. Vacuum Resin Infusion

Vacuum resin infusion adalah teknik canggih untuk pembuatan komposit berkinerja tinggi dan bebas *void* bahkan pada cetakan besar atau rumit sekalipun. Proses ini cocok untuk pembuatan komposit serat karbon dan secara luas digunakan oleh produsen profesional untuk produksi panel bodi serat karbon seperti *bonnet* dan oleh produsen kapal untuk produksi lambung kapal.

Pada *resin infussion*, *reinforcement* diletakkan pada cetakan dalam keadaan 'kering', yaitu tanpa resin sama sekali, dan kemudian dilingkupi dengan *bagging material* (*peel ply*, *infusion mesh*, dan *bagging film*) sebelum diberikan tekanan vakum menggunakan pompa vakum. Setelah semua udara dihilangkan dari *bag* dan *reinforcement* telah sepenuhnya dikompresi di bawah tekanan ini, resin epoxy cair (dicampur dengan pengeras) dialirkan terhadap *reinforcement* melalui pipa yang di bawah tekanan vakum. Setelah resin sepenuhnya diresapi melalui

penguatan, pasokan resin dihentikan (menggunakan penjepit pipa) dan dibiarkan mengeras dalam tekanan vakum.

Resin *infusion*, bila dilakukan dengan benar, dapat menghasilkan produk dengan kekuatan yang luar biasa dan dengan penampilan yang berkualitas. Kombinasi tekanan vakum bersama dengan bahan habis pakai vakum (seperti *peel ply* dan *infusion mesh*) berarti bahwa komposit yang telah jadi telah menyerap resin pada rasio resin-to-reinforcement yang optimal, menghindari komposit kaya resin atau variasi dalam kinerja yang tak terelakkan dari metode *wet lay up* tradisional.

2.5.4.1. Perlengkapan



Gambar 2. 10 Perlengkapan *Vacuum Infusion*

Tabel 2. 3 Perlengkapan *Vacuum Infusion*

Komponen/material	Kegunaan
Pompa vakum komposit	Pompa vakum elektrik mampu memberikan tekanan vakum sangat tinggi (99,98% vakum). Pompa ini menciptakan tekanan vakum yang menarik semua udara keluar dari kantong

	vakum dan mempertahankan tekanan vakum ini sepanjang siklus <i>curing</i> komposit.
Resin catch pot & gelas penampung	<i>Catch pot</i> diletakkan di antara komposit dan pompa vakum dan mencegah kelebihan resin dari komposit masuk ke dalam pompa. <i>catch pot</i> dapat diisi dengan gelas penampung sehingga setiap resin yang tertangkap oleh pot dapat dengan mudah dibuang setelah proses selesai.
Vacuum gauge	Pengukur vakum menunjukkan tingkat vakum dalam sistem dan sangat berharga dalam mengidentifikasi ketika ada kebocoran kecil di vakum. Infus tidak akan dimulai sampai seluruh sistem mencapai vakum penuh (setidaknya 99,9 pada pengukur vakum).
¼ Turn valve	<i>¼ turn valve</i> digunakan untuk menahan tekanan vakum sementara mempersiapkan <i>bag</i> . katup dapat dibuka dan ditutup untuk menghilangkan lebih banyak udara karena kantong dibentuk untuk menyesuaikan dengan baik di sekeliling komposit.
Tube clamp	<i>Tube clamp</i> digunakan untuk menutup aliran atau resin dari wadah penampung ke komposit. <i>Tube</i> biasanya dijepit sebelum resin yang mengalir ke komposit mencapai akhir dari <i>reinforcement</i> (untuk memungkinkan beberapa lag dalam sistem).

Silicone bag connectors (atau dengan material sejenis)	Konektor menyatukan selang vakum dan kantong vakum dan juga antara penampung resin dan kantong. Konektor silikon digunakan (bukan logam konektor) karena resin akan menempel selama proses infus. Dengan menggunakan bahan silikon, resin kering yang menempel pada konektor dapat dengan mudah diretakkan dan dilepas setelah proses selesai dan dapat digunakan kembali.
Vacuum hose	Selang vakum menghubungkan pompa vakum, <i>catch pot</i> dan wadah input resin dengan <i>bagged composite</i> .
Vacuum bagging film	Plastik ini untuk membuat vakum dimana bersifat tahan robek dan melekat sangat baik dengan pita segel (<i>sealant tape</i>).
Peel-ply	Kain tenun tipis ini adalah lapisan pertama yang mudah dilepas antara komposit dan kantong vakum. <i>Peel-ply</i> menciptakan permukaan yang bisa menyerap kelebihan resin dan juga, ketika dilepas dari komposit (setelah proses selesai) menghasilkan permukaan bertekstur yang sangat cocok untuk perekatan (<i>bonding</i>).
Resin infusion mesh	<i>Infusion mesh</i> adalah plastic berpola <i>mesh</i> yang dirancang untuk melancarkan aliran resin selama proses infusi.
Resin infusion spiral	Tabung spiral plastik ini digunakan sebagai saluran yang fleksibel yang menyeragamkan

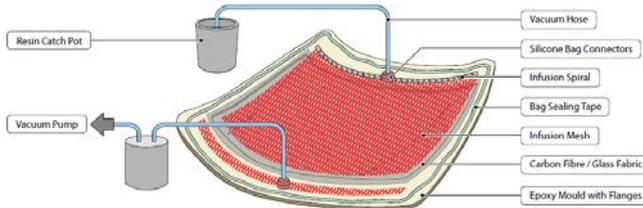
	aliran resin.
Bag sealing tape	Pita khusus yang lengket dan mirip karet (<i>gum</i>) ini digunakan untuk membuat segel sempurna antara dua sisi dari kantong vakum (ketika membuat sampul) atau antara kantong vakum dan cetakan ketika <i>half-bagging</i> cetakan.
Breather	Dalam proses infus, <i>breather</i> sering digunakan sebagai penghalang penyerap antara komposit dan konektor vacum.
Infusion Resin	Proses <i>resin infusion</i> membutuhkan viskositas resin yang rendah.

(sumber: easycomposites.co.uk, 2010)

2.5.4.2. Pertimbangan Sebelum Memulai

Kunci sukses *vacuum resin infussion* memiliki semua peralatan yang tepat dan mempersiapkan segala sesuatu di awal. Setelah resin epoksi infus telah dicampur dengan pengeras nya, jika ada yang tidak beres itu umumnya sudah terlalu terlambat untuk melakukan sesuatu lagi. Masalah seperti kehabisan resin, kehilangan vakum atau memiliki kebocoran di kantong hampir pasti akan mengakibatkan kecacatan produk. Ini berarti bahwa untuk pemula, perencanaan metodologi yang baik sangatlah penting.

Ada banyak konfigurasi alternatif untuk dapat digunakan didalam *resin infusion*. Konfigurasi di bawah ini adalah tipikal dan mampu membuat *strating pont* yang baik.



Gambar 2. 11 Konfigurasi Dasar *Resin Infusion*

(sumber: easycomposites.co.uk, 2010)

2.5.4.3. Jenis Cetakan yang Baik

Cetakan yang cocok untuk *resin infusion* kurang lebih sama dengan cetakan yang biasa digunakan di dalam metode *wet lay-up*, dengan beberapa catatan penting sebagaimana berikut:

a. Permukaan cetakan

Resin infusion terbaik adalah *epoxy* sehingga permukaan cetakan yang digunakan dalam *infusion* juga terbuat dari *epoxy*, apakah *gel coat epoxy* atau hanya permukaan cetakan yang dilapisi resin *epoxy*. Permukaan cetakan yang dibuat menggunakan *polyester gel coat* atau resin polyester sebagai lapisan permukaan menyebabkan produk yang terbuat dari dari *epoxy resin* (atau dengan *gel coat epoxy*) melekat pada cetakan dan merusak produk dan cetakan tersebut.

b. Sayap cetakan

Proses *resin infusion* ini memerlukan area tambahan (*mould flange*) di sekeliling cetakan untuk tempat meletakkan *vacuum connector*, *resin feed connector*, *resin mesh*, dan saluran resin.

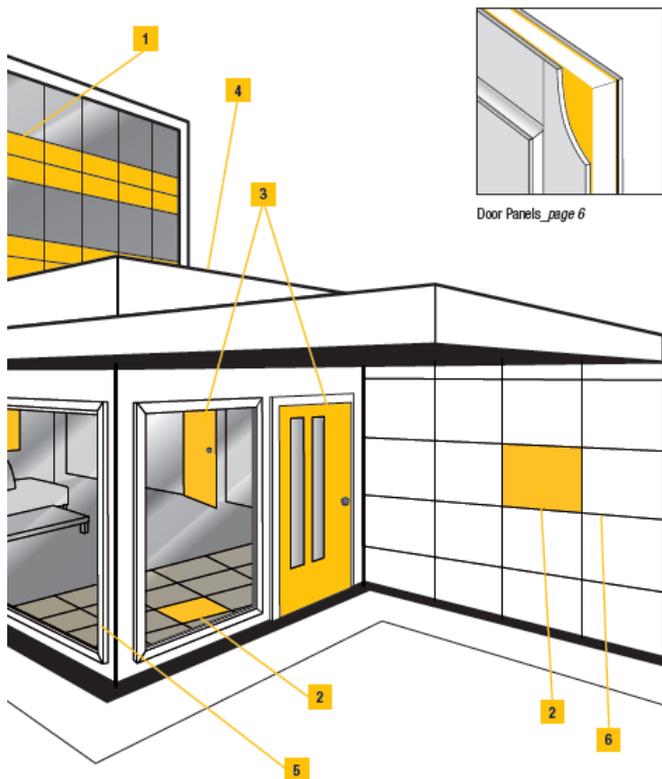
2.5.4.4. Informasi Keamanan

Ketika resin bercampur dengan pengeras (*hardener* atau katalis), campuran akan bersifat eksotermik. Jika ada resin dalam jumlah yang besar di dalam satu wadah, resin dapat menjadi sangat panas. Pada kasus ekstrim, resin dapat berasap dan mencapai suhu yang sangat tinggi. Hal ini sekali lagi hanya akan terjadi ketika resin terakumulasi dalam jumlah yang besar dalam satu wadah (tidak pernah terjadi pada produk) dan ketika terlalu banyak resin yang disiapkan. Jika memungkinkan tanpa mengganggu proses vakumisasi, kelebihan resin di *catch pot* dapat dibagi-bagi ke beberapa wadah kecil untuk mencegah kemungkinan resin terlalu panas. Hal ini tentu hanya bisa dilakukan ketika proses *infusion* selesai dilakukan dan jalur *resin feed* telah disegel.

2.6. Penggunaan Panel Sandwich pada Bangunan

Indikator yang dapat dipakai untuk menunjukkan fenomena pertumbuhan panel sandwich adalah data tingkat produksi *polyurethane foam (PU foam)*, yang selama ini bahan tersebut banyak digunakan sebagai material *core* panel sandwich. Dedecker (2006) menyebutkan bahwa penggunaan PU foam untuk kawasan EAME (Europe, Africa, Middle East) pada tahun

2006 mencapai 405 kt, atau setara dengan 130 mio m² panel. Tingginya angka konsumsi panel sandwich tidak lepas dari beberapa keuntungan yang menyertainya, seperti konstruksinya yang ringan, kemampuan menyerap panas (insulasi panas) yang baik, serta teknik konstruksi yang cepat dan ekonomis. Panel sandwich banyak digunakan pada bangunan industri dan komersial (panel atap, panel dinding, dinding partisi), menyerap sekitar 80% dari jumlah panel sandwich yang diproduksi.





Gambar 2. 12 Aplikasi panel *sandwich* pada bangunan komersial

(sumber: Sika, 2014)

2.7. Penelitian dan Perkembangan Terkini

- **K.P. Jackson, J.M. Allwood, M. Landert (2007)**
“Incremental Forming of Sandwich Panels”
 Jackson dkk (2007) meneliti mengenai aplikasi panel sandwich shell 3D dibatasi oleh tingginya biaya peralatan yang diperlukan untuk kegiatan pembuatan konvensional. Penelitian ini menyajikan penelitian apakah *Incremental Sheet Forming* (ISF) secara teknis akan menjadi alternatif yang signifikan dalam pembuatan panel sandwich.
- **M. Styles, P. Compston, S. Kalyanasundaram, 2008**
“Finite Element Modelling of Core Thickness Effects in Aluminium Foam/Composite Sandwich Structures Under Flexural Loading”
 Styles, dkk (2008) memodelkan perilaku lentur struktur sandwich aluminium *foam* ketebalan 20 dan 5 mm menggunakan *finite elemen* (FE). Pada kulit sandwich, digunakan material yang telah mengalami kerusakan, meliputi retak pada matrix, *compressive failure*, dan *fiber breakage*.

- **Alberto Corigliano, Egidio Rizzi, Enrico Papa (2000)**
“Experimental Characterization and Numerical Simulations of Syntactic-Foam/Glass-Fiber Composite Sandwich”
Corigliano dkk (2000) meneliti tentang simulasi numerik dan eksperimental sandwich *syntactic foam-glass fiber* untuk aplikasi di bidang bahari.
- **Patricia Hamm, Antje Richter, Stefan Winter (2010)**
“Floor Vibrations – New Results”
Penelitian ini bertujuan untuk membuat kriteria desain (*rule*) dan saran bagaimana membuat konstruksi lantai kayu untuk bangunan *lower demand* (rumah sederhana) dan bangunan *higher demand* (apartemen) tanpa adanya getaran yang mengganggu.
- **Hale Mathieson dan Amir Fam (2014)**
“High Cycle Fatigue Under Reversed Bending of Sandwich Panels with GFRP skins and Polyurethane Foam Core”
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pembebanan penuh ($R=1$) pada kinerja siklus kelelahan puncak pada panel sandwich yang terdiri dari *polyurethane foam* sebagai bahan inti dan *Glass Fiber Reinforced Polymer* (GFRP) sebagai bahan kulit dipelajari dan dibandingkan dengan panel yang sama diuji dengan kondisi tanpa pembebanan sepenuhnya ($R=0$).
- **Peyman Karami, Nadia Al-Ayish, dan Kjartan Gudmundsson (2015)**
“A Comparative Study of the Environmental Impact of Swedish Residential Buildings with Vacuum Insulation Panels”
Karami dkk (2015) meneliti mengenai *Vacuum insulation panels* (VIPs), dengan sifat isolasi termal unik, menyediakan alternatif yang menarik untuk industri bangunan.

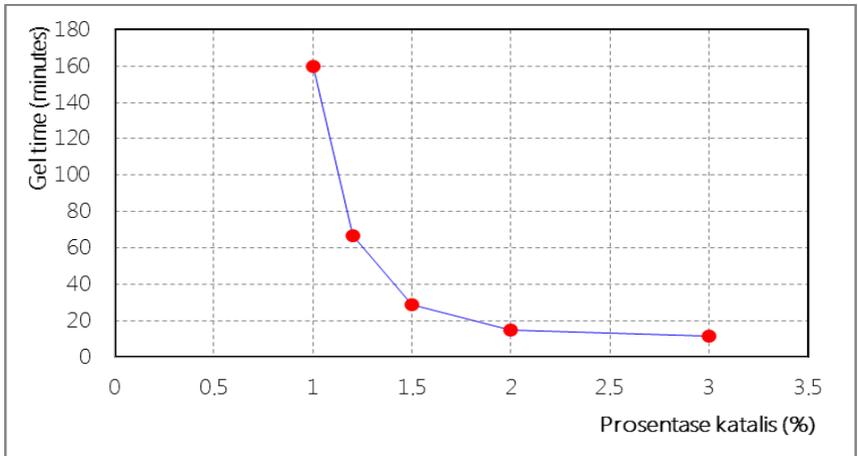
- **Puput Wiyono (2016)**
“Studi Eksperimen Panel Sandwich Fiber Glass Foam untuk Dinding Struktural Rumah Tinggal”

Dalam penelitian ini Puput (2016) mendesain dinding sandwich berbahan fiberglass (jenis *E-Glass*) untuk lapisan *skin*-nya dan menggunakan *polyurethane foam* sebagai lapisan *core*-nya. Puput juga meneliti pengaruh katalis terhadap *geltime* resin saat reaksi.

Sesuai ASTM D2471 99, pengujian gel time ini menggunakan volume resin 120 ml, dengan penambahan cobalt 0.3%, dan katalis bervariasi, diuji pada suhu laboratorium 30 OC dan pengadukan dilakukan secara manual. Untuk menjamin variable bebas hanya pada prosentase katalis, maka specimen diuji pada hari dan waktu yang sama, diambil dari satu sumber induk campuran resin dan cobalt 0.3%, kemudian dituangkan pada 5 buah gelas plastic untuk kemudian ditambahkan katalis dengan variasi 1%, 1,2%, 1.5%, 2%, dan 3%. Gambar 2.13 menunjukkan bahwa semakin penambahan katalis menyebabkan penurunan *geltime* secara eksponensial.



Gambar 2. 13 Spesimen pengujian *gel time* dan *peak* eksotermik resin vinyil ester



Gambar 2. 14 Grafik hubungan prosentase katalis dan geltime resin

Sebelum pembuatan panel lantai, dilakukan pengujian fisika terhadap bahan baku penyusunnya

a) Kepadatan

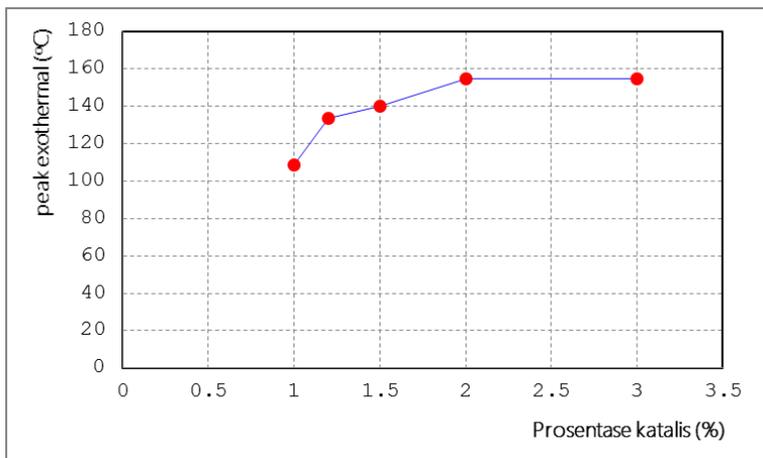
Kepadatan (density) dari material ditentukan dari massa per unit volume. Metode pengetesan dijelaskan secara detail di ASTM Standard D792-08. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan kepadatan komposit serta kepadatan unsur-unsurnya. Kepadatan material ditentukan menggunakan berat dalam udara, W_a , di mana kepadatan udara dapat diabaikan, dan air, ρ_w (0.9975 g/cm³ pada suhu 23°C). volume dari contoh ditentukan dari perbedaan antara berat dari material dalam udara dan berat dalam air dan dengan diketahuinya kepadatan air,

maka kepadatan komposit, ρ_c , adalah sebagai berikut:

$$\rho_c = \frac{W_a}{\left(\frac{W_a - W_w}{\rho_w}\right)} = \frac{\rho_w W_a}{W_a - W_w}$$

b) Pengujian *Peak Exothermic Resin*

Pengujian *peak* eksotermik resin dilakukan bersamaan dengan pengujian geltime. Pengetahuan tentang besarnya suhu puncak resin ketika bereaksi dengan Cobalt dan Katalis menjadi penting sebagai bahan pertimbangan penentuan perlengkapan pabrikasi fiberglass, bahwa perlengkapan tersebut harus bisa menahan panas yang timbul selama reaksi berlangsung. Gambar 2.15 menunjukkan bahwa penambahan katalis menyebabkan peningkatan peak eksotermal resin, yang asimtotis pada angka 154 °C.



Gambar 2. 15 Grafik hubungan prosentase katalis dengan peak eksotermal resin

c) Pabrikasi Rigid Polyurethane Foam

Spesimen *rigid polyurethane foam* dibuat dengan mencampurkan polyurethane resin (polyol, RF50593/7-25A) dan diisocyanate (RF50593/7-25B), produk dari *Asia Polyurethane*. Perbandingan yang digunakan untuk campuran itu adalah 1:1 (brosur *Asia polyurethane*), yang kemudian dituangkan kedalam cetakan (*mold*) dan dibiarkan mengeras (*curing*) selama minimal 5 jam sebelum specimen dapat dilepas dari cetakan.

Foam yang dibuat dengan metode ini menghasilkan jenis sel yang tertutup dengan membran tipis pada dinding sel. Sel tersebut terbentuk secara memanjang sesuai dengan arah pembentukan foam (*foam rise*), menghasilkan material anisotropik. Morfologi sel di daerah permukaan lebih renggang dan kurang merata sehingga pada bagian itu harus dipotong dan dibuang. Sementara pada bagian tengah, morfologi sel cenderung merata, dimensi sel yang tegak lurus dengan arah pembentukan foam (*foam rise*) secara umum memiliki kemiripan sehingga mendekati simetris. Gambar 2.16 menunjukkan bagaimana specimen dibentuk dan diambil dari cetakan.



Gambar 2. 16 Pembuatan specimen tekan rigid PU foam

Tabel 2. 4 Rekapitulasi Hasil Pengujian

Spesimen	Parameter	Nilai	Satuan	Referensi
Fiberglass	Kerapatan	1500	Kg/m ³	-
	Kuat tarik	216	MPa	ASTM D 638 – 03
	Modulus tarik	6389	MPa	
	<i>Poisson's ratio</i>	0.28	N/A	
	<i>Strain to failure</i>	3.3	%	
	Kuat tekan	70	MPa	ASTM D 695 – 02
	Modulus tekan	1877	MPa	
	Kuat geser	3.02	MPa	ASTM D3846 – 02
RPU foam	Kerapatan	48.5	Kg/m ³	ASTM D1622 – 03
	Kuat tarik (L)	393	kPa	ASTM D1623 – 03
	Kuat tarik (T)	229	kPa	
	Modulus tarik (L)	3256	kPa	
	Modulus tarik (T)	929	kPa	
	<i>Poisson's ratio</i>	0.184	N/A	
	<i>Strain to failure</i>	27.6	%	
	Kuat tekan	358.2	kPa	ASTM D1621 – 00
	Modulus tekan	11603	kPa	
	Kuat geser	228	kPa	ASTM C273 – 00
	Modulus geser	3240	kPa	

2.8. Slab (Pracetak)

Menurut *Dr. Edward G Nawy. PE, 1998* slab merupakan elemen horizontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke rangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur.

Untuk pelat pracetak (*precast slab*), ada beberapa jenis yang umum digunakan yaitu:

1. Pelat Pracetak Berlubang (*Hollow Core Slab*)

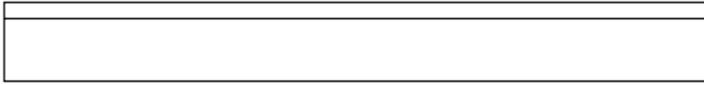
Pelat pracetak dimana ukuran tebal lebih besar dibanding dengan pelat pracetak tanpa lubang. Biasanya pelat tipe ini menggunakan kabel pratekan. Keuntungan dari pelat jenis ini adalah lebih ringan, tingkat durabilitas yang tinggi dan ketahanan terhadap api sangat tinggi. Pelat jenis ini memiliki lebar rata-rata 2 hingga 8 feet dan tebal rata-rata 4 inchi hingga 15 inchi.



Gambar 2. 17 Pelat Pracetak Berlubang (*Hollow Core Slab*)

2. Pelat Pracetak Tanpa Lubang (*Solid Slabs*)

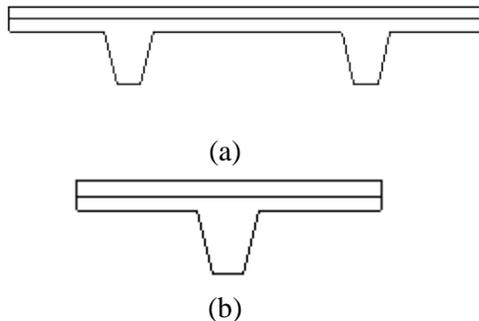
Adalah pelat pracetak dimana tebal pelat lebih tipis dibandingkan dengan lubang. Keuntungan dari penggunaan pelat ini adalah mudah dalam penumpukan karena tidak memakan banyak tempat.



Gambar 2. 18 Pelat Pracetak Tanpa Lubang (*Solid Slabs*)

3. Pelat Pracetak *Double Tees* dan *Single Tee*

Pelat ini berbeda dengan pelat yang sudah dijelaskan sebelumnya. Pada pelat ini ada bagian berupa dua buah kaki sehingga tampak seperti dua T yang terhubung.



Gambar 2. 19 Pelat Pracetak (a) *Double Tees* dan (b) *Single Tee*

Pada penelitian ini akan diadopsi bentuk pelat pracetak tanpa lubang (*solid slabs*).

2.9. Struktur *Skin*

Saat ini dari serat alami dan polimer/resin polyurethane juga mulai banyak dikembangkan. Lapisan kulit panel (*skin*)

diharapkan mampu menahan Tarik dan tekan yang terjadi pada panel. Dalam Wiyono (2015) dijelaskan bahwa suhu ruangan menyebabkan *geltime* lebih cepat, sementara ukuran produk yang lebih besar membutuhkan waktu *geltime* yang cukup sampai proses *infusion* selesai. Sesuai ASTM D2471 99, pengujian *geltime* menggunakan volume resin 120 ml, dengan penambahan cobalt 0.3% dan katalis bervariasi, diuji pada suhu laboratorium 30 °C dan pengadukan dilakukan secara manual. Untuk menjamin variabel bebas hanya pada persentase katalis, maka spesimen diuji pada hari dan waktu yang sama, diambil dari satu sumber induk campuran resin dan *cobalt* 0.3%, kemudian dituangkan pada 5 buah gelas plastik untuk kemudian ditambahkan dengan variasi 1%, 1.2%, 1.5%, 2%, dan 3%. Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan katalis menyebabkan penurunan *geltime* secara eksponensial. Sehingga dari penelitian tersebut digunakan campuran resin 120 ml, cobal 0.3%, dan katalis 3%.

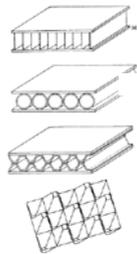
2.10. Struktur *Core*

Allen (1969) menjelaskan bahwa *core* memiliki beberapa fungsi penting. *Core* harus cukup kaku dalam arah tegak lurus ke *skin* untuk memastikan bahwa *skin* tetap memiliki jarak yang benar. *Core* harus cukup kaku dalam geser untuk memastikan bahwa ketika panel tertekuk *skin* tidak lepas dan merusak satu sama lain. Jika kondisi terakhir ini tidak terpenuhi *skin* hanya berperilaku ebagai dua panel independen dan efek sandwich hilang. *Core* ini juga harus cukup kaku untuk menjaga *skin* hampir datar, jika tidak, mungkin bagi *skin* dengan tekuk lokal (kerut) di bawah pengaruh tegangan tekan dalam bidangnya sendiri.

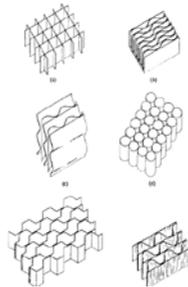
Core harus memenuhi semua persyaratan tersebut dan juga penting bahwa perekat tidak harus cukup fleksibel untuk

memungkinkan gerakan relatif besar dari *skin* dan *core*. Jika *core* cukup kaku memungkinkannya memberi kontribusi yang berguna untuk kekakuan lentur panel secara keseluruhan. Kontribusi ini agak kecil dalam kasus *low-density core* yang biasanya digunakan dan sangat sering dianjurkan untuk mengabaikannya. Ini juga mengarah pada penyederhanaan analisis tegangan dan defleksi.

Bagian inti struktur sandwich dapat terdiri atas bahan-bahan yang berbentuk sarang madu (*honeycomb core*), gelombang/lipatan (*corrugated core*), rangka batang (*truss core*), *C core*, *Z core*, *I core* atau material ringan berongga lainnya. Bagian inti panel sandwich juga dapat berupa rongga-rongga/batang-batang baja atau kayu yang tersusun sebagai bentuk rangka batang (*truss*). Hal itu dapat dimaksudkan agar transfer geser dari kulit satu ke yang lainnya dapat lebih efektif dan optimum, disamping akan membuat panel sandwich lebih ringan.



(a)

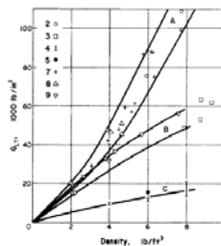


(b)

Gambar 2. 20 Tipe *core* (a) *Corrugated* (b) *Honeycomb*

(sumber: Howard G. Allen, 1969)

Gambar 2.10. merupakan perbandingan variasi Modulus Geser (G) dari lapisan *core* terhadap massa jenisnya.

Gambar 2. 21 Variasi Modulus geser (G) lapisan *core*

(sumber: Howard G. Allen)

Foam memiliki kerapatan yang cukup kecil, yaitu 15-35 kg/m^3 atau sekitar 1% kerapatan beton dan kekuatan geser bervariasi antara 124-255 kg/cm^2 (brosur *NORTHWEST Foam Product, Inc*).

Kepadatan (*density*) dari material ditentukan dari massa per unit volume. Metode pengetesan dijelaskan secara detail di ASTM Standard D792-08. Metode ini dapat digunakan untuk

menentukan kepadatan komposit serta kepadatan unsur-unsurnya. Kepadatan material ditentukan menggunakan berat dalam udara, W_a , dimana kepadatan udara dapat diabaikan, dan air, ρ_w (0.9975 g/cm³ pada suhu 23 °C). Volume dari contoh ditentukan dari perbedaan antara berat dari material dalam udara dan berat dalam air dan dengan diketahuinya kepadatan air, maka kepadatan komposit, ρ_c , adalah sebagai berikut:

$$\rho_c = \frac{W_a}{\left(\frac{W_a - W_w}{\rho_w}\right)} = \frac{\rho_w W_a}{W_a - W_w}$$

Dalam Wiyono (2015) spesimen *rigid polyurethane foam* dibuat dengan mencampurkan polyurethane resin (polyol, RF50593/7-25A, cairan coklat muda) dan diisocyanate (pengeras, RF50593/7-25B, cairan coklat gelap), produk dari *Asia Polyurethane Ltd.* Perbandingan yang digunakan untuk campuran itu adalah 1:1 tanpa menambahkan HCFC (brosur *Asia Polyurethane*), yang kemudian dituangkan ke dalam cetakan (*mold*) dan dibiarkan mengeras (*curing*) selama minimal 5 jam sebelum specimen dapat dilepas dari cetakan. Foam yang dibuat dengan metode ini menghasilkan jenis sel yang tertutup dengan membrane tipis pada dinding sel. Morfologi sel di daerah permukaan lebih renggang dan kurang merata sehingga pada bagian itu harus dipotong dan dibuang. Setelah memotong bagian yang berlebihan, produk menciptakan kepadatan 48,5 kg/m³.

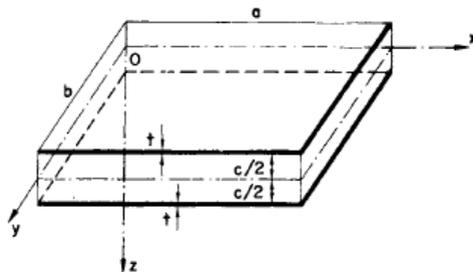


Gambar 2. 22 Pembuatan specimen tekan rigid PU *foam*

(sumber: Wiyono, 2015)

2.11. Pelat Sandwich

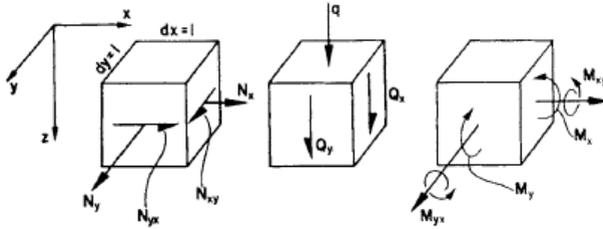
Pelat sandwich terdiri dari dua lapis *skin* dengan ketebalan t , dan dipisahkan oleh lapisan *core* yang memiliki massa jenis yang kecil dengan ketebalan c . Ketebalan pelat keseluruhan adalah h dengan lebar b , dimana semua lapisan diasumsikan sebagai material isotropic. Howard G. Allen (1969) mendeskripsikan pelat sandwich sebagai berikut:



Gambar 2. 23 Dimensi pelat sandwich dengan *skin* tipis yang sama

(sumber: Howard G. Allen, 1969)

Konvensi tanda yang akan diadopsi untuk pelat ditunjukkan pada Gambar 2.13, yang menunjukkan arah positif dari tekuk dan momen putar (M_x, M_y, M_{xy}, M_{yx}), gaya geser (Q_x, Q_y) dan gaya membran (N_x, N_y, N_{xy}, N_{yx}).



Gambar 2. 24 Konvensi tanda untuk pelat sandwich; tanda positif ditunjukkan

(sumber: Howard G. Allen, 1969)

Kekakuan lentur didapat dari persamaan berikut:

$$D_2 = \text{flexural rigidity of sandwich} = Etd^2/2g.$$

Dengan E adalah modulus elastisitas untuk *skin*. Sedangkan tegangan maksimum yang diijinkan pada masing-masing lapisan *skin* dan *core* adalah

$$\sigma_x = \frac{qb^2}{dt} (\beta_3 + \nu\beta_4); \quad \sigma_y = \frac{qb^2}{dt} (\beta_4 + \nu\beta_3),$$

$$\tau_{xy} = \frac{qb^2}{dt} (1 - \nu)\beta_5,$$

$$\tau_{zx} = \frac{qb}{d} \beta_6, \quad \tau_{yz} = \frac{qb}{d} \beta_7,$$

Dimana:

$$\beta_3 = \sum \sum \frac{16}{\pi^4} \frac{(-1)^{(m-1)/2} (-1)^{(n-1)/2}}{\Omega^2} \frac{m}{n} \frac{b^2}{a^2},$$

$$\beta_4 = \sum \sum \frac{16}{\pi^4} \frac{(-1)^{(m-1)/2} (-1)^{(n-1)/2}}{\Omega^2} \frac{n}{m},$$

$$\beta_5 = \sum \sum \frac{16}{\pi^4} \frac{b}{a\Omega^2},$$

$$\beta_6 = \sum \sum \frac{16}{\pi^3} \frac{(-1)^{(n-1)/2}}{n\Omega} \frac{b}{a},$$

$$\beta_7 = \sum \sum \frac{16}{\pi^3} \frac{(-1)^{(m-1)/2}}{m\Omega}.$$

Dalam mendesain pelat sandwich terutama tebal *core*, Howard G. Allen (1969) juga memberikan batasan-batasan. Ada 3 pendekatan yang dipakai untuk menghitung ketebalan lapisan *core*, yaitu pendekatan tegangan momen maksimum (σ_1), tegangan geser maksimum (τ_1), dan defleksi maksimum (Δ_1), sehingga tebal lapisan dapat diperoleh dengan 3 persamaan

$$d \geq \frac{qL^2}{8bt\sigma_1},$$

$$d \geq \frac{qL}{2b\tau_1},$$

$$d \geq \frac{qL^2}{16bG\Delta_1} \left\{ 1 + \sqrt{\left(1 + \frac{20}{3} \frac{b}{t} \frac{G^2\Delta_1}{Eq} \right)} \right\}.$$

Dari ketiga persamaan tersebut kemudian diambil nilai yang terbesar. Dimana beban q sama dengan hasil dari beban kerja dan

faktor beban yang sesuai, ketebalan *skin* dinotasikan t , σ_1 menotasikan kerutan tekan, τ_1 adalah kekuatan geser ultimate *core*.

BAB III METODOLOGI

3.1. Umum

Sebelum mengerjakan Tugas Akhir, maka perlu disusun langkah-langkah pengerjaan sesuai dengan uraian kegiatan yang akan dilakukan. Urutan pelaksanaannya dimulai dari pengumpulan literatur dan pedoman studi eksperimen, sampai mencapai tujuan akhir dari analisa struktur yang akan disajikan.

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1. Bahan

Bahan yang menjadi objek penelitian ini adalah fiber, resin, polyurethane dan diisocyanate dari PT. Justus Kimia Raya di Surabaya, Jawa Timur. Bahan lain yang digunakan adalah katalis dan cobalt yang juga diperoleh dari PT. Justus Kimia Raya.

3.2.2. Alat

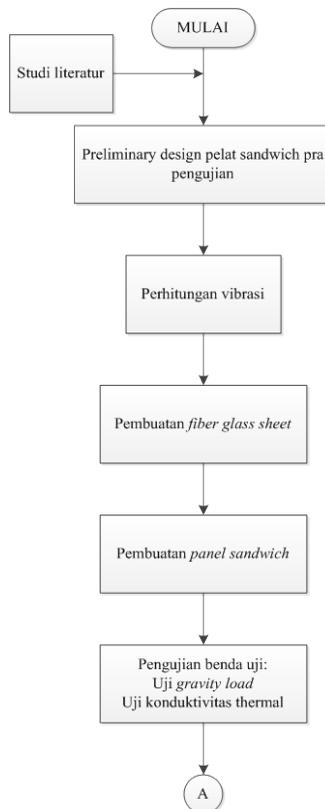
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan dan Beton ITS dan *Workshop* Struktur ITS.

3.2.3. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Januari – Juni 2016. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Beton ITS dan Workshop Struktur ITS.

3.3. Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:



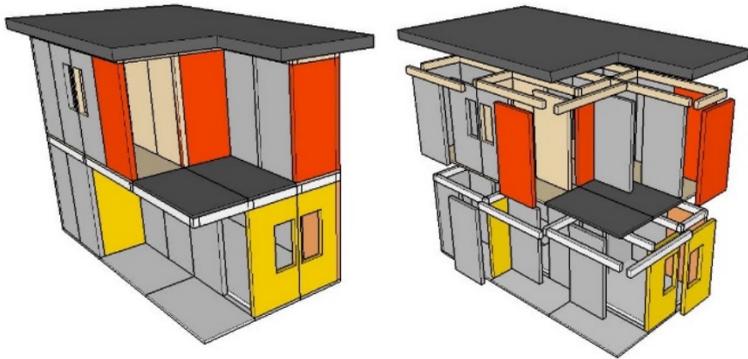


Gambar 3. 1 Bagan Alir Metodologi Penyelesaian Tugas Akhir

3.4. Studi Literatur

Tahap Studi Literatur yang dilakukan di dalam penelitian pelat sandwich ini adalah dengan menggunakan jurnal-jurnal penelitian struktur sandwich, jenis fiber dan sifatnya, *fiberglass*, penggunaan panel sandwich pada bangunan, dan penelitian dan perkembangan terkini. Studi literatur telah dilakukan di Bab II: Tinjauan Pustaka.

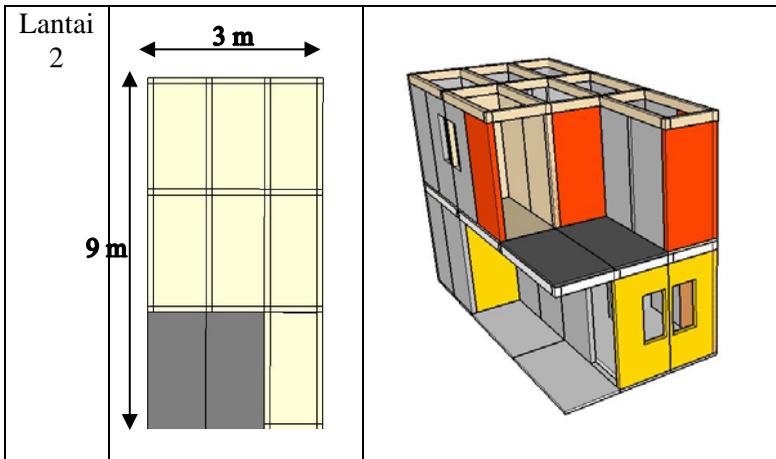
3.4.1. Penentuan Spesifikasi dan Dimensi Bangunan Rumah



Gambar 3. 2 Tampak 3D Rumah *Knock Down* 2 Lantai

Tabel 3. 1 Dimensi Rumah yang Dipertimbangkan

Lantai	Denah	Tampak 3D
Lantai 1	<p style="text-align: center;">3 m</p> <p style="text-align: center;">9 m</p>	

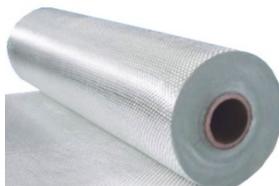


3.5. Persiapan Material, Alat dan Penjadwalan Penelitian

Tahap persiapan, bertujuan untuk mempersiapkan semua keperluan alat dan bahan agar penelitian dapat berjalan cepat dengan hasil yang diharapkan.

3.5.1. Perencanaan Material

Perencanaan material yang digunakan dalam penelitian adalah:



(a)



(b)



(c)

(d)



(e)

(f)

Gambar 3. 3 Material-material Penelitian: (a) *Fiberglass*, (b) Polyurethane Resin, (c) Diisocyanate, (d) Resin, (e) Katalis, dan (f) *Vacuum Bag*.

Keterangan:

a) **Fiberglass**

Fiberglass adalah jenis plastik yang diperkuat serat dimana serat penguatnya khusus berupa fiberglass (serat kaca). Serat kaca yang digunakan adalah yang berjenis woven. Matriks plastik yang digunakan adalah epoxy resin.

b) **Polyurethane Resin**

Polyurethane Resin (PUR) adalah polimer yang terdiri dari unit organik yang digabungkan dengan karbamat

(urethane). Polyurethane ini tidak mencair ketika dipanaskan. Polimer polyurethane pada umumnya dibentuk dengan mereaksikan di- atau polyisocyanate dengan poliol. Kedua isocyanate dan poliol yang digunakan untuk membuat polyurethane mengandung rata-rata dua atau lebih gugus fungsional per molekul. Produk polyurethane sering hanya disebut “urethane”, tetapi berbeda dengan etil karbamat, yang juga disebut urethane. Polyurethane resin ini digunakan untuk membuat core.

c) Diisocyanate

Diisocyanate adalah senyawa yang dibutuhkan untuk membuat produk polyurethane, seperti foam yang kaku dan fleksibel. Banyak produk polyurethane yang kita andalkan setiap hari menjadi lebih aman dan lebih nyaman dikarenakan oleh diisocyanate. Polyurethane senyawa yang kompleks, tapi dasar-dasarnya relative mudah dipahami. Polyurethane foam sebagai core diproduksi dengan menggabungkan diisocyanate dengan polyurethane resin.

d) Resin

Resin digunakan sebagai matriks untuk fiberglass.

e) Katalis

Katalis adalah suatu zat yang mempercepat laju reaksi kimia pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan atau terpakai oleh reaksi itu sendiri. Suatu katalis berperan dalam reaksi tapi bukan sebagai pereaksi ataupun produk. Katalis memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat atau memungkinkan reaksi pada suhu lebih rendah akibat perubahan yang dipicunya

terhadap pereaksi. Katalis menyediakan suatu jalur pilihan dengan energi aktivasi yang lebih rendah.

f) **Vacuum Bag**

Vacuum bag digunakan untuk proses *vacuum bagging* pada saat pembuatan skin. *Vacuum bagging* adalah teknik yang digunakan untuk menciptakan tekanan mekanis pada laminasi selama proses curingnya. Mem-vakum laminasi komposit memiliki beberapa fungsi. Pertama, *vacuum bagging* bisa menghilangkan udara yang terjebak antara lapisan. Kedua, memadatkan lapisan fiber untuk transmisi energi yang efisien di antara bundel fiber dan mencegah pergeseran orientasi fiber selama curing. Yang terakhir, dan yang paling penting, teknik *vacuum bagging* mengoptimalkan rasio fiber-resin di bagian komposit.

3.5.2. Perencanaan Alat

Alat-alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

1. Timbangan



Gambar 3. 4 Timbangan Digital

Timbangan digital adalah jenis timbangan yang bekerja secara elektronik dengan tenaga listrik. Umumnya timbangan ini menggunakan arus lemah dan indikatornya berupa angka digital pada layar bacaan.

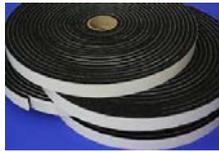
2. Bekisting skin yang terbuat dari kaca.



Gambar 3. 5 Kaca

3. Sealant Tape

Sealant tape adalah perekat hitam, sangat rekat, bertekstur padat dengan hambatan udara yang luar biasa dan transmisi uap air rendah.



Gambar 3. 6 Sealant Tape

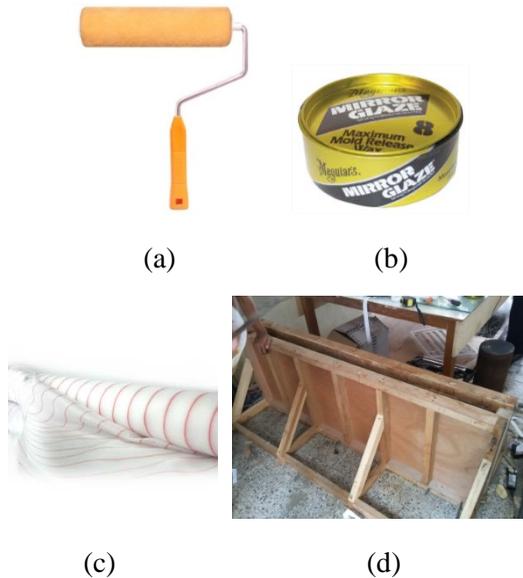
4. Pompa Vakum

Pompa vakum adalah perangkat yang menghilangkan molekul gas dari volume tertutup untuk menghasilkan vakum parsial.



Gambar 3. 7 Pompa Vakum

5. Alat bantu dalam pembuatan panel



Gambar 3. 8 (a) Roller, (b) *Releasing Wax*, (c) *Peel Ply*, (d)
Bekisting Kayu

Keterangan:

- (a) Roller, digunakan untuk meratakan permukaan fiber dan lembaran lainnya dengan cepat dan efisien.
- (b) *Releasing Wax*, adalah *release agent* yang paling umum digunakan untuk memudahkan pelepasan benda uji dari bekistingnya.
- (c) *Peel Ply*, juga disebut “*Release Fabric*” adalah kain sintesis yang diletakkan di atas permukaan epoxy pada saat epoxy mulai mengeras agar memperoleh hasil permukaan yang halus.
- (d) Bekisting Kayu digunakan pada saat pengecoran foam agar foam tidak bocor dan berceceran.

3.5.3. Jadwal Penelitian

Waktu yang disediakan untuk menyelesaikan tugas akhir penelitian adalah 5 bulan dengan rincian sebagai berikut:

Mulai : Februari 2016

Selesai : Juni 2016

3.6. Preliminary Design Panel Sandwich Pra Pengujian

Melakukan permodelan struktur menggunakan program ABAQUS lalu dilakukan kontrol dengan menggunakan metode *Allowable Stress Design* (ASD). Analisa elemen hingga dilakukan menggunakan program bantu ABAQUS 6.10.1. Panel dianalisa menggunakan *shell composites* 3 dimensi dengan mode lamina. Metode ASD menitikberatkan pada beban layanan (beban kerja) dan tegangan yang dihitung secara elastic dengan cara membandingkan tegangan terhadap harga batas yang diijinkan (Salmon et al, 1992). Dimensi balok diperoleh dengan cara coba-coba yang kemudian dikontrol menggunakan teori ASD (*Allowable Stress Design*). Tegangan batas diperoleh dari penelitian sebelumnya mengenai *material properties* GFRP sandwich panel (Wiyono dkk, 2015), sedangkan tegangan ijin terkolerasi didapat dengan mengalikan tegangan batas dengan *safety factor*.

$$\sigma_{act} \leq \sigma_{ijin \text{ terkolerasi}}$$

$$\sigma_{ijin \text{ terkolerasi}} = \frac{\Omega \times \sigma_{batas}}{SF}$$

dimana Ω = factor reduksi (didapat dari SNI 2847 2013)

σ_{act} = tegangan yang terjadi (MPa)

SF = Safety Factor (1.5)

3.7. Perhitungan Vibrasi

Karena pelat lantai ini ringan maka diperlukan perhitungan vibrasi yang mengacu pada *Design of Floor Structures For Human Induced Vibrations* (Feldmann dkk, 2009). Langkah yang dilakukan secara garis besar meliputi:

1. Deskripsi lantai

Lantai untuk rumah ini, memiliki bentang 3 m dari sisi ke sisi. Lantai adalah panel sandwich dengan tebal total yang akan dicari pada tahap *preliminary design*.

Nilai *material properties* yaitu:

- *Fiberglass (E-Glass)*, $E = 6.389 \text{ N/mm}^2$
tensile strength = 216 N/mm^2
- *Polyurethane foam*, $E_{pu} = 3,256 \text{ N/mm}^2$ *tensile strength* = $0,393 \text{ N/mm}^2$

Sebagaimana disyaratkan dalam *Design of Floor Structures For Human Induced Vibrations* (Feldmann dkk, 2009) ini modulus elastisitas nominal *polyurethane foam* akan ditingkatkan untuk perhitungan dinamis:

$$\begin{aligned} E_{f,dyn} &= 1.1 \times E_{pu} \\ &= 3,582 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan dilanjutkan dengan meninjau sifat penampang pelat lantai yaitu luasan (A), momen inersia (I), berat sendiri lantai (g), dan beban hidup (*live load*). Setelah mengetahui sifat penampang maka perhitungan dilanjutkan ke pembebanan.

2. Penentuan karakteristik dinamik lantai

- Kondisi yang mendukung
Pada perhitungan ini diasumsikan sebagai *simply supported beam*. Hal ini artinya balok sekunder yang terhubung ke balok utama memiliki bagian terbuka dengan kekakuan torsi rendah.
- *Eigenfrequency*
Eigenfrequency adalah istilah untuk frekuensi alami, setiap model struktur memiliki perilaku spesifik dinamisnya sendiri yang berkaitan dengan bentuk model getaran dan periode T (s) dari osilasi tunggal.
- *Modal mass*
Modal mass yaitu massa umum, dapat juga diartikan sebagai massa yang diaktifkan dalam mode tertentu.
- *Damping*
Damping (redaman) adalah disipasi energi dari sistem yang bergetar. Total redaman terdiri dari:
 - Redaman material dan struktural
 - Redaman oleh furniture dan finishing (misal: *false floor*)
 - Radiasi geometris (penyebaran energi melalui struktur).

Tabel 3. 2 Penentuan *Damping*

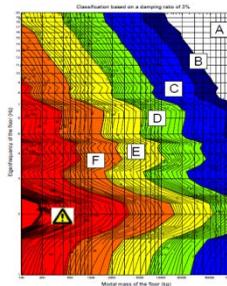
Type	Damping (% of critical damping)
Structural Damping D_1	
Wood	6%
Concrete	2%
Steel	1%
Composite	1%
Damping due to furniture D_2	
traditional office for 1 to 3 persons with separation walls	2%

paperless office	0%
Open plan office	1%
Library	1%
Houses	1%
Scholls	0%
Gymnastic	0%
Damping due to furniture D_3	
Ceiling under the floor	1%
Free floating floor	0%
Swimming screed	1%
Total Damping $D = D_1 + D_2 + D_3$	

(sumber: Feldmann dkk, 2009)

3. Penilaian

Tujuan dari penilaian kenyamanan struktur lantai adalah sebuah desain, dengan getaran yang sangat kecil, yang bias menghasilkan kenyamanan yang memadai untuk penggunaanya.



Gambar 3. 9 Grafik OS-RMS90 damping 3%

(sumber: Feldmann dkk, 2009)

Tabel 3. 3 Rekomendasi Kebutuhan Penggunaan

Class	OS-RMS ₉₀		Function of floor												
	Lower Limit	Upper Limit	Critical Workspace	Health	Education	Residential	Office	Meeting	Retail	Hotel	Prison	Industrial	Sport		
A	0.0	0.1	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green		
B	0.1	0.2	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green		
C	0.2	0.8	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green		
D	0.8	3.2	Red	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green		
E	3.2	12.8	Red	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green		
F	12.8	51.2	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Yellow		



Recommended
 Critical
 Not recommended

3.8. Pembuatan Fiber Glass Sheet

Langkah-langkah pembuatan *fiber glass sheet*:

- Persiapan Peralatan

Peralatan yang diperlukan harus dalam keadaan bersih saat sebelum digunakan kemudian diatur dengan rapi sesuai dengan rencana posisinya. Peralatan yang dibutuhkan antara lain:

- a. Gunting
- b. Kasa

- c. T-Connector
 - d. Selang spiral
 - e. Selotip kertas
 - f. Selang 5/8"
 - g. *Clamp*
 - h. Wadah campuran resin
 - i. *Catchpot*
 - j. Kabel rol
 - k. Timbangan
 - l. Penggaris atau meteran
- Pembuatan *Fiber Glass Sheet*

Fiber glass dibuat sendiri di Laboratorium Beton dan Bahan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS menggunakan metoda *infusion* sebagaimana langkah-langkah berikut ini:

 1. Menakar seluruh campuran yang dibutuhkan, baik resin, kobalt, dan katalis sesuai dengan perbandingan rencana.
 2. Aplikasikan cetakan rilis ke permukaan cetakan dengan hati-hati.
 3. Jika permukaan gelcoat diperlukan aplikasikan langsung ke cetakan yang telah disiapkan dan biarkan curing.
 4. Tumpuk fiber ke dalam cetakan yang mengoptimalkan kinerja laminasi.
 5. Memasukkan bahan-bahan campuran yang sudah disiapkan ke dalam wadah dengan urutan sebagai berikut:
 - Memasukkan resin, katalis, dan kobalt.
 - Mengaduk campuran hingga campuran terlihat satu warna (coklat kebiruan cenderung hitam).

- Mendingkan campuran hingga molekul udaranya habis.
6. Mendingkan campuran selama 10-15 menit agar campuran menghilangkan gelembung udaranya. Untuk memastikan gelembung udara sudah hilang, wadah digoyang sesekali dengan kemiringan tertentu, namun jangan sampai menumpahkan isi wadah.
 7. 'Plastik vakum' diletakkan di atas fiber dan disegel (selotip) kedap udara di sekitar tepi cetakan, di luar perimeter laminasi yang diperlukan.
 8. Minimal dua koneksi dimasukkan ke dalam plastik vakum.
 9. Dengan *entry point* resin ditutup, area di bawah plastik divakum dengan menggunakan pompa vakum.
 10. Sebuah *vacuum drop test* yang mengisolasi bagian dari pompa vakum melalui pot tangkapan harus dilakukan untuk memastikan bagian dapat mempertahankan integritas vakum penuh untuk setidaknya 15 menit.
 11. Wadah untuk pasokan resin diisi dengan jumlah yang diperlukan resin katalis dan saluran penyuplai resin dibuka sehingga vakum menarik resin melalui tabung untuk masuk ke dalam fiber mengisi rongga antara plastik vakum dan cetakan.
 12. Setelah bagian sepenuhnya diresapi dengan resin, diperbolehkan untuk melakukan curing.
 13. Menjepit selang dengan clamp setelah semua campuran habis dan seluruh permukaan fiber tertutup campuran resin.
 14. Plastik dan bahan habis pakai lainnya dikeluarkan dari bagian dan dibuang.



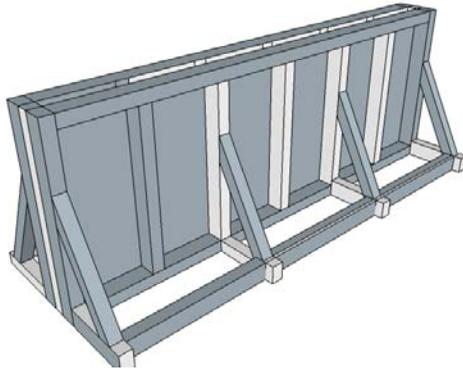
Gambar 3. 10 Pembuatan *fiber glass sheet* dengan *infusion method*

3.9. Pembuatan Panel Sandwich

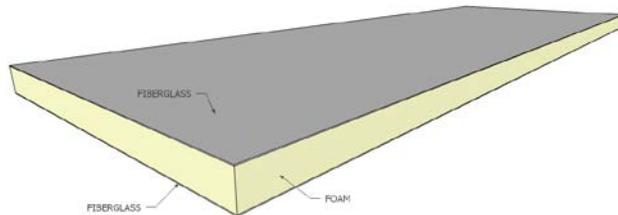
Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel sandwich berbentuk persegi panjang ukuran 150 cm x 50 cm x 7 cm. Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan, skin dan campuran *foam* untuk memastikan kondisi bahan dan alat sesuai yang direncanakan.
2. Timbang bahan sesuai perencanaan.
3. Mengolesi bekisting kayu dengan *releasing wax* untuk memudahkan proses pelepasan.
4. Menempelkan *fiberglass* pada bekisting dengan sedemikian rupa sehingga bagian tengahnya bias diisi *foam*.
5. Memasang baut dan mur pada sekeliling bekisting untuk memastikan bekisting kuat menahan *foam* yang mengembang dan mencegah kebocoran foam pada saat proses pengecoran.

6. Untuk menjadi panel, kedua *fiberglass* digabungkan dan diisi dengan cairan RPUF.
7. Dibiarkan selama satu hari sampai paduan komposit tersebut menyatu.



Gambar 3. 11 Model Bekisting untuk Pembuatan Panel

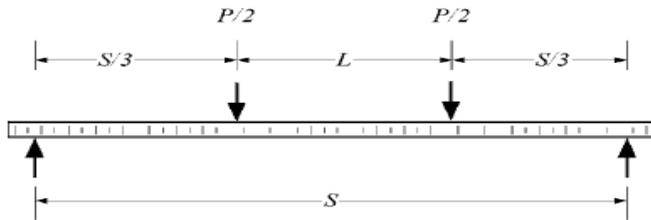


Gambar 3. 12 Model Panel Rencana

3.10. Pengujian Benda Uji

- Uji *Four Point Bending*
Uji ini menggunakan alat uji tekan (*dial*) di Workshop Struktur ITS yang mengacu pada ASTM D 7250 – 06 : *Standard Practice for Determining*

Sandwich Beam Flexural and Shear Stiffness. Praktik ini mencakup penentuan lentur dan sifat kekakuan geser melintang dari konstruksi sandwich yang datar yang mengalami lentur sedemikian rupa sehingga saat diterapkan pada sandwich menghasilkan kelengkungan pada permukaannya. Bentuk bahan inti yang diperbolehkan termasuk inti dengan permukaan ikatan menerus (seperti kayu balsa dan *foam*) serta inti dengan permukaan ikatan terputus (seperti *honeycomb*). Metode perhitungan dalam praktik ini terbatas pada balok dan pelat sandwich untuk menunjukkan respon gaya-defleksi linear. Praktek ini menggunakan hasil tes yang diperoleh dari Metode Uji C393/C393M dan/atau D7249/D7249M.



Gambar 3. 13 Ilustrasi Pengujian Pelat Sandwich dengan Beban Terpusat

Terminologi D3878 mendefinisikan istilah yang berkaitan dengan fiber modulus tinggi dan kompositnya. Terminologi C274 mendefinisikan istilah yang berkaitan dengan konstruksi sandwich struktural. Terminology D883 mendefinisikan istilah yang berhubungan dengan plastic. Terminology E6 mendefinisikan istilah yang berkaitan dengan pengujian mekanik. Terminologi E456 dan Praktik E177 mendefinisikan istilah yang berkaitan dengan statistic. Dalam hal terjadinya pertentangan

persyaratan, Terminologi D3878 akan menjadi prioritas dibandingkan terminologi lainnya.

Simbol:

b = lebar sandwich, mm

c = tebal *core*, mm

d = tebal sandwich, mm

D = kekakuan lentur, N-mm²

Δ = defleksi balok tengah bentang, mm

G = modulus geser *core*, MPa

S = panjang bentang sisi tumpuan, mm

L = panjang bentang beban, mm (L = 0,0 untuk konfigurasi beban 3-point bending)

n = jumlah specimen

p = total gaya yang diaplikasikan, N

t = tebal skin, mm

U = kekakuan geser melintang

- Uji Konduktivitas Thermal

Pengetesan dilakukan dengan mengacu kepada ASTM E 1225 – 99 : *Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids*. Metode pengujian ini menjelaskan teknik *steady state* untuk penentuan konduktivitas termal, λ , padatan opague-homogen. Metode pengujian ini adalah untuk bahan dengan konduktivitas efektif dalam batas kisaran $0,2 < \lambda < 200$ W/mK untuk perkiraan rentang temperature antara 90 dan 1300 K. Metode ini dapat digunakan di luar kisaran tersebut dengan penurunan akurasi.

Deskripsi dari syarat dan simbol khusus untuk standar ini:

- Syarat:

- Konduktivitas thermal, λ – waktu saat aliran panas, dalam kondisi stabil, melalui satuan luas, per unit gradient suhu pada arah tegak lurus ke area yang ditentukan.

- Konduktivitas thermal nyata – ketika model lain dari perpindahan panas melalui suatu material terjadi selain terjadinya konduksi, hasil pengukuran yang dilakukan menurut metode tes ini akan mewakili konduktivitas thermal nyata atau efektif untuk material yang diuji.
- Simbol:
 - $\Lambda_s(T)$ = konduktivitas thermal dari specimen pertukaran panas, (W/mK)
 - $\Lambda'_s(T)$ = konduktivitas thermal dari specimen yang dihitung dengan mengabaikan koreksi pertukaran panas, (W/mK)
 - T = temperature absolut (K)
 - l = panjang specimen, (m)
 - T_i = temperature pada posisi tertentu, (K)
 - q = aliran panas per satuan luas (W/m²)

Signifikansi dan penggunaan: metode komparatif pengukuran konduktivitas thermal sangat berguna untuk bahan rekayasa seperti keramik, polimer, logam dan alloy, refraktori, karbon, grafit, dan fiber termasuk kombinasi dan bentuk komposit lainnya masing-masing. Desain yang tepat dari sistem guarded-longitudinal sulit dan metode jenis ini tidak praktis untuk mencoba menentukan rincian konstruksi dan prosedur untuk menutup semua aspek yang pasti menimbulkan kesulitan untuk seseorang tanpa pengetahuan teknis tentang teori aliran panas, pengukuran suhu, dan praktik pengujian umum.

Persyaratan: Pengukuran di lingkungan vakum tidak dianjurkan kecuali vakum diperlukan untuk tujuan perlindungan.

Langkah pengujian: sumber panas berasal dari uap air yang berasal dari air yang dipanaskan (dengan asumsi, air yang sudah berubah menjadi uap memiliki suhu 100 °C. Uap air dimasukkan wadah yang telah dibungkus aluminium foil untuk meminimalisir kehilangan panas, yang mengenai salah satu ujung specimen. Ujung specimen yang lain diukur suhunya dengan menggunakan thermometer tembak hingga batas waktu yang telah ditentukan (minimal 300 detik).

3.11. Konfigurasi Tinjauan

Lembaran *fiberglass* yang digunakan dalam pengujian FPB dan konduktivitas thermal dipabrikasi melalui metode *infusion* untuk mencapai rasio serat yang tinggi terhadap volume total *fiberglass*, yang kemudian akan berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan *fiberglass* tersebut. Berbeda dengan metode konvensional seperti *hand lay-up* yang memiliki control kualitas produk yang lebih rendah, *vacuum infusion* mampu menciptakan produk berkualitas tinggi dengan hamper 0% *void* atau gelembung udara yang terperangkap. Resin yang akan digunakan adalah jenis vinylester dengan dua tipe serat kaca yang akan dibandingkan kekuatannya, woven roving 200 dan combo mat 800 dengan proporsi resin menurut Tabel 3.1. *Curing* dilakukan pada skin pada suhu ruangan selama 24 jam dengan perubahan jadwal *curing* yang dapat dilakukan berdasarkan Tabel 3.2.

Tabel 3. 4 Kebutuhan Resin untuk Beberapa Ukuran Produk

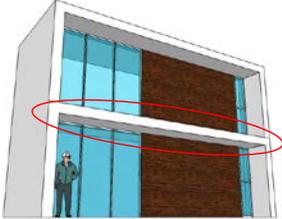
Ukuran Produk	Total berat <i>reinforcement</i> dalam gram per meter persegi (gsm)									
	1 layer/200gsm		2 Layers/400gsm		3 Layers/600gsm		4 Layers/800gsm		5 Layers/1000gsm	
	PART	MIX	PART	MIX	PART	MIX	PART	MIX	PART	MIX
0.25sqm	20	84	40	108	60	132	80	156	100	180
0.5sqm	40	108	80	156	120	204	160	252	200	300
1sqm	80	156	160	252	240	348	320	444	400	540
1.5sqm	120	204	240	348	360	492	480	636	600	780
2sqm	160	252	320	444	480	636	640	828	800	1020

(sumber: easycomposites.co.uk, 2010)

Tabel 3. 5 *Curing Time* Menurut Temperatur

Suhu	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C	120°C
<i>Cure Time</i>	24 jam	11 jam	6 jam	4 jam	2 jam	1.5 jam

Tabel 3. 6 Dimensi Rumah yang Dipertimbangkan

Tipe Rumah	Bentuk morfologi	Dimensi		
		P (m)	L (m)	H (m)
2 lantai	 <p>bagian panel yang ditinjau</p>	9	3	6

Bentuk konfigurasi gedung yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah rumah permanen *knock-down* 2 lantai dengan ukuran panjang, lebar dan tinggi berturut-turut adalah sebagaimana Tabel 3.3. Panel sandwich untuk lantai memiliki ukuran 1000 mm x 3000 mm.

3.12. Panel yang Diuji

Benda uji panel yang digunakan terdiri dari 3 bagian berbahan fiberglass, yakni *top skin*, *bottom skin*, dan 1 bahan *polyurethane foam* sebagai pengisi diantara rongga yang terbentuk, sebagai *core* dari sandwich itu sendiri.

3.13. Hasil Penelitian

Setelah semua benda uji sudah dites, maka data pengetesan diolah untuk mendapatkan hasil kuat tekan dan regangan. Penyajian hasil penelitian berupa grafik berdasarkan regangan dan lendutan yang diperoleh. Data yang diperoleh dari hasil pengujian *Four Point Bending* dan konduktivitas thermal selanjutnya dianalisa. Setelah semua data tersebut dianalisa maka dilakukan pembahasan terhadap hasil analisa.

3.14. Output Penelitian

1. Diperoleh pengganti bahan bangunan konvensional dengan tujuan menciptakan bahan bangunan alternatif yang kuat, ringan, dan mudah dirakit.
2. Pelat lantai yang terbuat dari panel sandwich yang didesain akan mampu berfungsi seperti pelat lantai yang umum digunakan.
3. Pembuktian peneliti-peneliti sebelumnya (benar atau tidaknya).

3.15. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka didapat regangan, lendutan, maupun konduktivitas thermal. Dari penelitian sandwich panel, didapat dimensi optimal sesuai dengan tujuan utama penelitian yang berdasar pada kuat, ringan, dan mudah dirakit. Tahap selanjutnya setelah analisis dan pembahasan maka dari keseluruhan penelitian ditarik kesimpulan serta saran.

BAB IV

ANALISA, HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakterisasi Skin Panel

4.1.1. Tipe Serat Fiber

Pemilihan jenis fiber sebagai *reinforcement* pada skin panel dinding didasarkan pada beberapa alasan, di antaranya memiliki dua arah fiber yang saling tegak lurus untuk menahan momen-momen yang kemungkinan terjadi pada panel dan harus memiliki kestabilan posisi sehingga mampu mempertahankan sifat mekanik pada arah fiber itu. Fiber tipe *cloth 200* dan *combo mat CTG E-Glass Knitted Mat ECW300/570* produk dari Taishan Fiberglass Inc. memenuhi kriteria tersebut dan digunakan sebagai *reinforcement skin* pelat lantai. Fiber *combo mat* sendiri merupakan kombinasi dari dua fiber berbeda, *Woven Roving (WR)* 570 g/m², dan *Chopped strands/CSM* 300 g/m² yang dijahit bersama sehingga mencegah fiber berubah posisi.



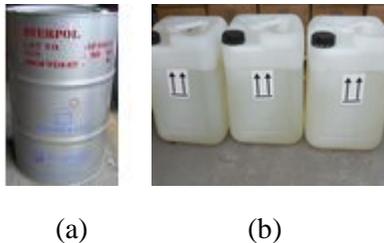
(a)

(b)

Gambar 4.1. (a) Serat Fiber Tipe *Combo Mat*, (b) Serat Fiber Tipe *Cloth*

4.1.2. Tipe Matriks

Pabrikasi *fiberglass* menggunakan metode *vacuum infusion* mengharuskan resin memiliki geltime yang panjang dan viskositas yang rendah. Resin yang digunakan dalam *fiberglass* ini adalah thermosetting resin EVERPOL 324 VE I, modified vinyl ester resin for infusion, dengan viskositas sebesar 170 cps (resin standar memiliki nilai viskositas berkisar antara 250-350 cps). Untuk dapat mengeras, resin *vinyl ester* ini perlu ditambahkan *cobalt* 1% dari campuran, dan katalis *Akperox A60* produk dari Akpa Kimya San ve Tic Ltd.



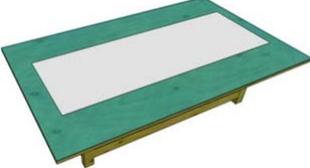
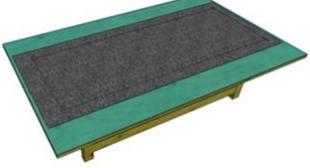
Gambar 4. 1 Material matriks *fiberglass* (a) *Vinyl Ester Resin* EVERPOL 324 VE I, (b) Katalis Akperox A60 MEKP

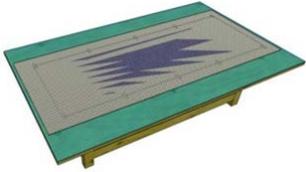
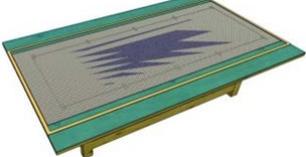
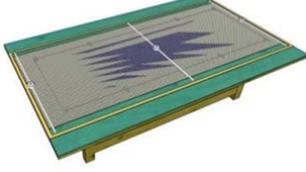
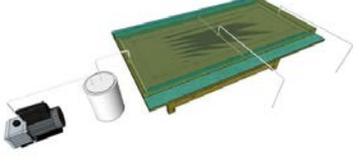
4.1.3. Pabrikasi Fiberglass Sheet

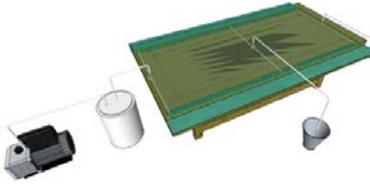
Lembaran *fiberglass* dibuat menggunakan metode *vacuum infusion* yang secara skematis diperlihatkan Gambar 4.3. dengan langkah-langkah sebagaimana Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Metode *Vacuum Infusion*

No	Kegiatan	Keterangan
----	----------	------------

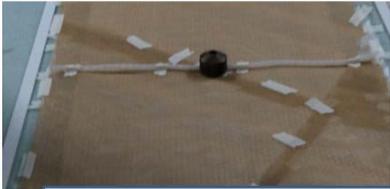
1	 <p>A wooden table with a rectangular top. The length is labeled as 2.4 m and the width as 1.2 m. The table has four legs.</p>	<p>Meja sebagai media kerja, ukuran disesuaikan dengan benda uji yang akan dibuat.</p>
2	 <p>A green rectangular mold is placed on the wooden table. The mold has a slightly raised edge.</p>	<p>Kaca digunakan sebagai mold pabrikan skin karena tidak berpori, memiliki permukaan halus sempurna, kemudian kaca dilapisi <i>mold release</i>.</p>
3	 <p>A white rectangular sheet of glass fiber is placed on the green mold. The sheet is slightly larger than the mold's opening.</p>	<p>Serat kaca diletakkan sesuai kebutuhan dimensi produk, dengan <i>excess width</i> yang cukup (3-4 cm).</p>
4	 <p>The white sheet of glass fiber is now secured to the green mold with several metal clips along its edges.</p>	<p>Supaya tetap pada posisi, serat kaca direkatkan sisi-sisinya pada mold kaca.</p>
5	 <p>A dark grey, textured peel ply layer is placed on top of the white sheet of glass fiber.</p>	<p>Lapisan <i>peel ply</i> (nilon) sebagai lapis kedua, untuk melepas lapis 3 dst.</p>

6		<p><i>Breather: plastic mesh</i> = untuk memberikan rongga yang cukup sebagai jalan resin.</p>
7		<p><i>Sealant tape</i> dipasang di sekeliling lapisan.</p>
8		<p>Pemasangan connector</p>
9		<p>Seluruh material ditutup dengan <i>vacuum film</i>, diberikan <i>excess</i> lipatan pada lokasi-lokasi yang tidak datar.</p>
10		<p>Selang inlet dan outlet dipasang.</p>

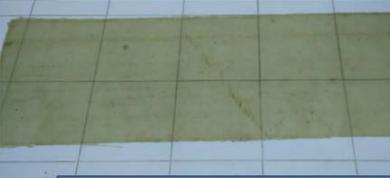
11		Cairan resin, cobalt, dan katalis dicampur, disiapkan dalam wadah, proses infusio siap dijalankan.
----	---	--

Tabel 4. 2 Proses *Vacuum Infusion* di Workshop

No	Kegiatan	Perlengkapan
1	 <p data-bbox="268 790 655 853">1 Menyiapkan cetakan datar untuk <i>skin</i> panel, melapisinya dengan <i>release wax</i></p>	<p>Peralatan : kain, meja, <i>glass mold</i>, sarung tangan,</p> <p>Bahan : double tape, release wax</p> <p>Lapisan release wax diperlukan untuk mempermudah melepas produk dari cetakan (<i>glass mold</i>)</p>
2	 <p data-bbox="268 1189 655 1268">2 Meletakkan lapisan serat fiber pada cetakan, meratakan, dan memastikan serat fiber pada posisi yang sesuai</p>	<p>Peralatan : <i>Roller</i>, selotip kertas</p> <p>Bahan : Serat kaca,</p>

3	 <p>3 Meletakkan lapisan <i>peel ply</i>, ukurannya dibuat lebih lebar 5 cm terhadap ukuran serat fiber guna mempermudah proses pelepasan</p>	<p>Peralatan : Gunting, selotip keras</p> <p>Bahan : <i>peel ply</i></p>
4	 <p>4 Meletakkan lapisan <i>plastic mesh</i> sebagai <i>breather</i></p>	<p>Peralatan : Gunting, selotip kertas</p> <p>Bahan : <i>plastic mesh</i></p> <p>Tanpa lapisan <i>breather</i>, vacuum infusion tidak</p>
5	 <p>5 Meletakkan <i>selang spiral</i> (untuk meratakan aliran resin)</p>	<p>Peralatan : Gunting, selotip kertas</p> <p>Bahan : <i>T connector</i>, selang spiral</p>
6	 <p>6 Meletakkan lapisan plastik (<i>vacuum film</i>)</p>	<p>Peralatan : Gunting, selotip kertas</p> <p>Bahan : <i>Vacuum film</i></p>

7	 <p>7 Proses vakumisasi dimulai, tabung hijau sebagai resin catch pot agar resin tidak masuk ke dalam vacuum pump.</p>	<p>Peralatan : selang, resin catch pot, sealent</p> <p>Bahan : -</p>
8	 <p>8 Resin mulai mengalir di bawah vacuum film.</p>	<p>Peralatan : Ember, vacuum pump,</p> <p>Bahan : Resin</p>
9	 <p>9 Dua buah inlet digunakan mempercepat proses vakumisasi</p>	<p>Peralatan : Ember, vacuum pump,</p> <p>Bahan : Resin</p>
10	 <p>10 Vakumisasi selesai, kondisi specimen setelah 24 jam, bagian tepi perlu digunting sejarak 10 cm untuk mempermudah melepas lapisan peel ply</p>	<p>Peralatan : Gunting</p> <p>Bahan : -</p>

11	 <p data-bbox="275 387 665 472">11 <u>Lapisan peel ply ditarik, dilepas dari lapisan fiberglass.</u></p>	Terbukti, dengan keberadaan lapisan <i>peel ply</i> , proses pengelupasan menjadi lebih mudah.
12	 <p data-bbox="275 655 665 770">12 <u>Hasil akhir fiberglass setelah lapisan peel ply seluruhnya dilepas.</u></p>	<i>Vacuum infusion</i> menghasilkan fiberglass dengan volume rasio lebih besar.

4.2. Karakterisasi Core Panel

4.2.1. Pabrikasi Spesimen Rigid Polyurethane Foam

Spesimen *Rigid Polyurethane Foam* dibuat dengan mencampurkan dua komponen, *polyol*, (resin, RF50593 / 7-25A, *light brown liquid*) dan *diisocyanate* (*hardener*, RF50593 / 7-25A, *light brown liquid*), produk dari Asia Polyurethane Pte. Ltd, dengan rasio pencampuran 1:1 (*volume based*). Kemudian, campuran tersebut dituang ke dalam cetakan yang bereaksi pada mode *free rise* dan dibiarkan mengeras selama minimal 12 jam sebelum dapat dilepas dari cetakan. Setelah memotong bagian yang berlebih (bagian yang lebih renggang pada area atas), produk menghasilkan kerapatan 48,5 kg/m³ (ASTM D1622-03) (Wiyono, 2016).

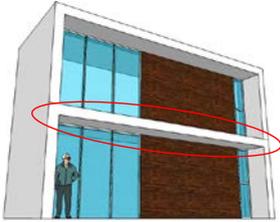


Gambar 4. 2 Bekisting Kayu untuk Benda Uji *Four Point Bending*

4.3. Analisa Numerik Penentuan Dimensi Panel

Bangunan yang ditinjau merupakan rumah sederhana 2 lantai yang semua elemen bangunannya terdiri dari panel sandwich *fiberglass-foam*. Ukuran dan morfologi rumah tersebut, termasuk bagian panel yang dipertimbangkan dalam desain ditunjukkan oleh Tabel 4.2.

Tabel 4. 3 Tipe dan Ukuran Rumah Sederhana yang Ditinjau

Tipe Rumah	Bentuk morfologi	Dimensi		
		P (m)	L (m)	H (m)
2 lantai	 <p>bagian panel yang ditinjau</p>	9	3	6

4.4. Pembebanan pada Pelat Lantai

4.4.1. Beban-Beban yang Bekerja pada Pelat Bangunan 2 Lantai

Beban Lantai

Dead Load (DL)

$$\text{Berat } top \text{ skin (1.8 mm)} = 3,348 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat core (116.4 mm)} = 5,645 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Berat } bottom \text{ skin (1.8 mm)} = \underline{3,348 \text{ kg/m}^2} +$$

$$12,341 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{DL lantai yang ditahan} = 12,341 \times 1$$

$$= 12,341 \text{ kg/m}^2 = 0,123 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Live Load (LL)} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{LL lantai yang ditahan} = 200 \text{ kg/m}^2 \times 1$$

$$= 200 \text{ kg/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$$

Tabel 4. 4 Nilai-nilai Beban pada Bangunan

Jenis Bangunan	Tipe Pelat	Beban Gravitasi	
		DL	LL
		N/mm	N/mm
2 lantai	Pelat lantai 2	0,123	2
	Pelat lantai 1	0,123	2

4.5. Menentukan Tebal *Skin* dan *Core*

Bagian ini menyajikan prosedur grafis sederhana yang memungkinkan pelat sandwich struktural yang akan dirancang dari GRP skin dan bahan inti foam, sehingga berat sandwich menjadi minimum. Metode ini didasarkan pada persamaan terkenal untuk kekakuan lentur, momen lentur dan berat pelat sandwich.

NOTATION

b	lebar pelat
D	kekakuan lentur
D^*	kekakuan lentur (non-dimensional)
E	modulus Young
E_c	modulus Young dari bahan <i>core</i>
E_s	modulus Young dari bahan <i>skin</i>
I	momen inersia
L	bentang pelat
m	rasio modulus <i>skin/core</i>
M	momen lentur
M^*	momen lentur (non-dimensional)

tc	ketebalan <i>core</i>
ts	ketebalan <i>skin</i>
W	beban terpusat pada pelat
Wb	berat pelat per satuan panjang
x	rasio ketebalan <i>core/skin</i>
ρc	kepadatan <i>core</i>
ρs	kepadatan <i>skin</i>
ρo	rasio kepadatan <i>core/skin</i>
ω	rasio berat <i>core</i> /berat total
σs	kekuatan lentur aman bahan <i>skin</i>
δ	defleksi pusat pelat

Penggunaan sandwich dianggap sebagai bahan yang paling efisien untuk digunakan dalam aplikasi aeronautika tertentu dan keluarangkasaan dimana beratnya harus minimal, menyesuaikan dengan semua kendala desain yang memungkinkan. Dalam konstruksi sandwich struktural, ada berbagai bahan yang tersedia untuk digunakan sebagai *skin* dan *core* untuk aplikasi tertentu. Ada *rigid foams* yang terbuat dari bahan polimer seperti fenolat, *polyurethane*, PVC, dan lain-lain. *Honeycomb* dan *corrugated core* – terbuat dari aluminium atau *glass-fiber reinforced plastics* (GRP).

Dalam desain struktural sandwich, kombinasi bahan *skin* dan *core* dapat dipilih sehingga berat sandwichnya minimum, maka tujuan dari menggunakan struktur sandwich terpenuhi. Dalam bagian ini, akan dijelaskan bagaimana sebuah pelat sandwich dapat dirancang sedemikian rupa sehingga beratnya menjadi minimum.

Allen (1969) telah memberikan prosedur untuk desain elemen struktur sandwich. Tetapi prosedur desain ini merupakan salah satu perancangan struktur yang memiliki berat rendah. Dengan prosedur grafis sederhana yang disajikan dalam bagian ini, (beratnya rendah) struktur sandwich yang efisien dapat dirancang.

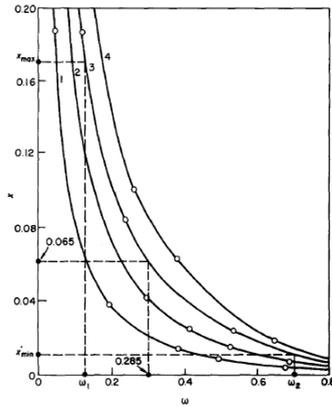
Dalam konstruksi sandwich praktis, kepadatan *core* bervariasi 25-100 kg/m³ dan kepadatan permukaan (*skin*) dapat bervariasi 1400-2000 kg/m³ (GRP). Jika isi *core* dalam pelat sandwich meningkat, maka struktur menjadi lebih ringan dan karenanya menjadi efisien.

4.5.1. Hubungan Geometri-Struktur Sandwich

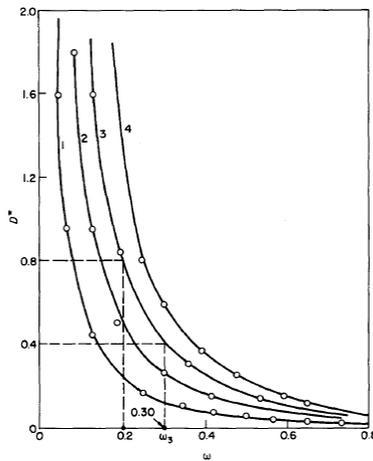
D^* merupakan rasio kekakuan lentur sandwich dengan kekakuan lentur pelat hipotetis yang terbuat dari bahan *skin* sendiri dan memiliki ketebalan sama dengan ketebalan *core* sandwich. D^* harus setinggi mungkin dan praktis.

M^* merupakan rasio momen lentur yang dapat ditahan pelat sandwich tersebut dibandingkan dengan pelat hipotetis yang terbuat dari bahan *skin* sendiri dan memiliki ketebalan sama dengan ketebalan *core*. Sekali lagi, untuk konstruksi sandwich yang efisien, M^* harus setinggi mungkin dan praktis.

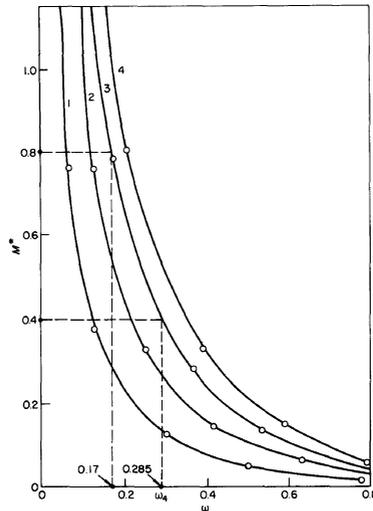
Kurva diplot untuk x , D^* , dan M^* terhadap ω pada Gambar 4.5. sampai Gambar 4.7. berurutan. Kurva mewakili GRP *skin/foam core* dari pelat sandwich dengan cukup baik dan diplot untuk $m = 0,0005$, $\sigma_s = 80$ Mpa dan $E_s = 6$ Gpa.



Gambar 4. 3 Variasi x (rasio ketebalan *skin/core*) sebagai fungsi dari ω (rasio berat *core/berat total*): (1) $\rho_o = 0,01786$; (2) $\rho_o = 0,03571$; (3) $\rho_o = 0,05357$; (4) $\rho_o = 0,07143$



Gambar 4. 4 Variasi D^* (kekakuan lentur non-dimensional) sebagai fungsi dari ω (rasio berat *core/berat total*): (1) $\rho_o = 0,01786$; (2) $\rho_o = 0,03571$; (3) $\rho_o = 0,05357$; (4) $\rho_o = 0,07143$



Gambar 4. 5 Variasi M^* (momen lentur non-dimensional) sebagai fungsi dari ω (rasio berat *core*/berat total): (1) $\rho_o = 0,01786$; (2) $\rho_o = 0,03571$; (3) $\rho_o = 0,05357$; (4) $\rho_o = 0,07143$

Pengamatan berikut dapat diperoleh dari Gambar 4.5-4.7.

- 1) Variasi x , D^* dan M^* dengan ω bersifat independen dari berat sandwich.
- 2) Kuantitas x , D^* , dan M^* berjumlah besar untuk nilai-nilai kecil ω dan akan menurun terus dengan meningkatnya ω . Tingkat penurunan x , D^* , M^* meningkatkan nilai-nilai terendah ω .
- 3) Untuk nilai tertentu ω , ketiga kuantitas x , D^* , dan M^* memiliki nilai yang lebih tinggi untuk nilai ρ_o yang lebih tinggi.

4.5.2. Perencanaan Struktur Sandwich

Prosedur desain menggunakan kurva pada Gambar 4.5-4.7 dijelaskan di bawah ini.

- 1) Mengetahui batas dari t_s dan t_c , batas x (x_{min} dan x_{max}) dapat ditetapkan.
- 2) Dari kurva x vs ω (Gambar 4.5), untuk nilai ρ_o yang ditentukan, batas x (x_1 dan x_2) dapat diperoleh.
- 3) Asumsikan bahwa untuk pelat yang efisien, nilai D^* terletak di antara 0,4 dan 0,8. Nilai-nilai yang sesuai dari ω dapat diperoleh dari kurva D^* vs ω (Gambar 4.6). Di kisaran nilai ω yang diperoleh, nilai tertinggi dipilih sesuai pada batasan yang dijelaskan pada langkah 2). Sehingga batas atas ω (ω_3) ditetapkan.
- 4) Jika nilai M^* antara 0,4 dan 0,8, nilai-nilai ω yang sesuai dengan $M^* = 0,4$ dan $0,8$ diperoleh dari Gambar 4.7. ω harus maksimal dalam jangkauan ω_1 dan ω_2 sehingga berat sandwich menjadi minimum. Batas atas ω (ω_4) ditetapkan.
- 5) Nilai yang dipilih untuk ω adalah yang terendah dari ω_3 atau ω_4 . Nilai yang sesuai untuk x diperoleh dari Gambar 4.5.

4.5.3. Desain

Desain akan menggambarkan kemampuan kerja dari metode ini.

Diketahui:

$$W = 740,484 \text{ N}, L = 3 \text{ m},$$

$$M = M_{lx} = 0,001 \times W \times L_x \times x \\ = 370,242 \text{ Nm};$$

$$\rho_o = 0,026, b = 1,5 \text{ m}, x_{min} = 0,016, x_{max} = 0,031,$$

$$\delta_{max} = 0,013 \text{ m};$$

nilai t_s dan t_c ditentukan sebagai berikut.

Langkah 1)

$$x_{min} = 0,016, x_{max} = 0,031$$

Nilai-nilai yang sesuai dari ω yaitu $\omega_1 = 0,456, \omega_2 = 0,295$

Langkah 2)

Untuk $D^* = 0,4, \omega = 0,189$;

Dan $D^* = 0,8, \omega = 0,126$.

- $\omega_3 = 0,189$

Langkah 3)

Untuk $M^* = 0,4, \omega = 0,179$

Dan $M^* = 0,8, \omega = 0,113$.

- $\omega_4 = 0,179$

Langkah 4)

Nilai ω yang dipilih adalah $\omega_4 = 0,179$ (yaitu nilai terkecil antara ω_3 dan ω_4).

Nilai yang sesuai dari $x = 0,065$; $D^* = 0,4$; dan $M^* = 0,4$

Langkah 5)

$$\delta = \frac{WL^3}{48EI} = \frac{WL^3}{48D} \quad ; \text{ atau}$$

$$D = \frac{WL^3}{48\delta} \quad ; \text{ atau}$$

$$D^* = \frac{12D}{E_s bt_c^3} = \frac{WL^3}{4E_s bt_c^3 \delta}$$

- $0,4 = \frac{740,484 x (3)^3}{4 x 7.000 x (10)^9 x 1,5 x tc^3 x 0,013}$
- $t_c^3 = 9,521 x 10^{-4} m^3$
 $t_c = 9,838 x 10^{-2} m = 98,375 \text{ mm} \approx 99 \text{ mm}$, dan

$$t_s = 0,065 \times 99 \text{ mm} = 6,394 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$$

Langkah 6)

$$M^* = 0,4 = \frac{6M}{\sigma_s b t_c^2}, \text{ atau}$$

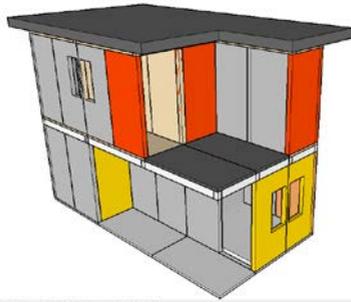
$$t_c^2 = \frac{6 \times 370,242}{72 \times (10)^6 \times 1,5 \times 0,4} = 5,142 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

- $t_c = 2,268 \times 10^{-2} \text{ m} = 22,677 \text{ mm}$, dan
 $t_s = 0,065 \times 22,677 \text{ mm} = 1,474 \text{ mm}$

Jadi untuk memenuhi kriteria lendutan, dimensi sandwich harus $t_c = 99 \text{ mm}$ dan $t_s = 7 \text{ mm}$, meskipun ketebalan lebih rendah akan cukup untuk menahan momen lentur. Namun untuk memenuhi kriteria vibrasi, dimensi sandwich harus $t_c = 132 \text{ mm}$ dan $t_s = 8 \text{ mm}$

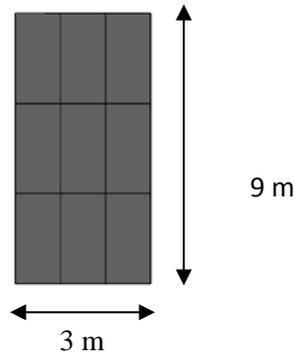
4.6. Desain Struktur Lantai untuk Manusia Karena Pengaruh Getaran

4.6.1. Deskripsi Lantai



Gambar 4. 6 Struktur Bangunan

Lantai membentang sepanjang 3 m antara balok utama. Ketebalan keseluruhannya 110 mm. Balok utama adalah *Glass Fiber Reinforced (GFR) Beam* yang bertindak sebagai balok komposit. Balok menempel pada kolom vertikal dengan sambungan momen penuh. Untuk balok utama dengan bentang 3 m digunakan balok dengan bahan *Glass Fiber Reinforced (GFR)*. Tidak ada balok utama dengan bentang yang lebih pendek dari 3 m.



Gambar 4. 7 Rencana lantai

Nilai *material properties* yaitu:

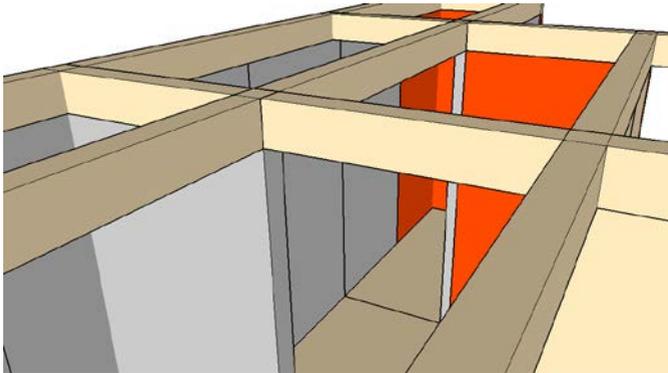
- *Fiberglass (E-Glass)*, $E_f = 6.389 \text{ N/mm}^2$ $f_s = 216 \text{ N/mm}^2$
- *Polyurethane foam*, $E_{pu} = 3,256 \text{ N/mm}^2$ $f_{pu} = 0,393 \text{ N/mm}^2$

Sebagaimana disyaratkan dalam “Panduan untuk desain lantai untuk manusia yang dipengaruhi getaran menggunakan grafik desain”, modulus elastis nominal *polyurethane foam* akan meningkat untuk perhitungan dinamis:

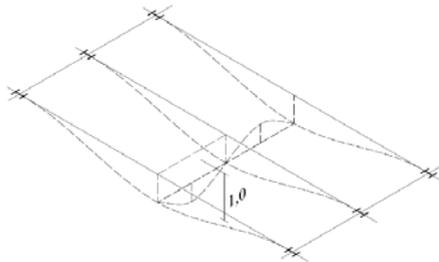
$$E_{pu,dyn} = 1.1 \times E_{pu} = 3,582 \text{ N/mm}^2$$

Bentuk model yang diharapkan dari bagian pelat lantai yang dianggap sesuai dengan eigenfrequency pertama ditunjukkan pada

Gambar 4.11. Dari bentuk model itu bisa disimpulkan bahwa masing-masing bidang pelat lantai dapat dianggap *simply supported* untuk perhitungan dinamis selanjutnya. Mengenai batas kondisi balok utama, diasumsikan bahwa untuk amplitudo kecil karena pelat mengalami analisis getaran, sambungan balok kolom memberikan tahanan rotasi yang cukup, sehingga balok utama dapat dianggap jepit sepenuhnya.



Gambar 4. 8 Hubungan Balok Dinding



Gambar 4. 9 Bentuk model yang diharapkan untuk bagian dari lantai yang dianggap sesuai dengan eigenfrequency pertama

Section properties

- Pelat:

Section properties yang relevan dari pelat pada arah x global adalah:

$$A_{plate,x} = 140 \frac{mm^2}{mm}$$

$$I_{plate,x} = 2,325 \times 10^{11} \frac{mm^4}{mm}$$

- Balok utama:
Dengan asumsi model getaran pertama seperti dijelaskan di atas, lebar efektif balok dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$b_{eff} = b_{eff,1} + b_{eff,2} = \frac{I_0}{8} + \frac{I_0}{8} = 2 \times \frac{3}{8} = 0.75 \text{ m}$$

Section properties yang relevan dari balok utama untuk keadaan batas layanan (tidak ada retak) adalah:

$$A_{beam} = 28.800 \text{ mm}^2$$

$$I_{beam} = 1,58 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

Beban

- Pelat
 - Berat sendiri

$$g_{plate} = 0,37 \frac{kN}{m^2}$$
 - Beban hidup: Dari pembebanan beban hidup 3 kN/m² digunakan untuk lantai di rumah sederhana. Fraksi beban hidup dipertimbangkan untuk perhitungan dinamis diasumsikan sekitar 10% dari beban hidup penuh, jadi untuk memeriksa getaran diasumsikan bahwa

$$q_{plate} = 0.1 \times 6 = 0.6 \frac{kN}{m^2}$$
- Balok utama:
 - Berat sendiri:

$$g_{beam} = 0,029 \frac{kN}{m}$$
 - Beban hidup:

$$q_{beam} = 0,588 \frac{kN}{m}$$

4.6.2. Penentuan Karakteristik Lantai Dinamik

Eigenfrequency

Eigenfrequency pertama dihitung atas dasar pendekatan berat sendiri. Total lendutan maksimum dapat diperoleh dengan superposisi dari defleksi pelat dan defleksi balok utama, yaitu

$$\delta_{total} = \delta_{plate} + \delta_{beam}$$

dengan

$$\delta_{plate} = \frac{5 \times (0,37+0,6) \times 10^{-3} \times 1000^4}{384 \times 3,582 \times 2,325 \times 10^{11}} = 1,517 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\delta_{beam} = \frac{5 \times (0,029+0,588) \times 3000^4}{384 \times 3,582 \times 1,58 \times 10^{11}} = 0,924 \text{ mm}$$

Total defleksi yaitu

$$\delta_{total} = 1,517 \times 10^{-5} + 0,924 = 0,924 \text{ mm}$$

Dengan demikian, eigenfrequency pertama dapat diperoleh dari pendekatan berat sendiri (frekuensi natural dari pendekatan berat sendiri):

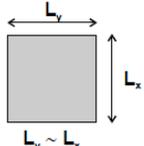
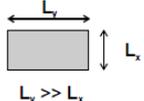
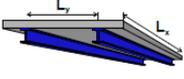
$$f_1 = \frac{18}{\sqrt{0,924}} = 18,73 \text{ Hz}$$

Modal mass

Massa total pelat adalah

$$M_{total} = (0,37 + 0,6) \times 10^2 \times 3 \times 1 = 291,073 \text{ kg}$$

Tabel 4. 5 Contoh untuk Penentuan *Modal Mass* dengan Perhitungan Manual

	Example	Approximation of mode shape	Mass distribution	Modal mass
1	 <p style="text-align: center;">$L_y \sim L_x$</p>	$\delta(x, y) = \sin \frac{\pi x}{\ell_x} \sin \frac{\pi y}{\ell_y}; \delta(x, y) _{\max} = 1,0$	$\mu = \frac{M_{total}}{\ell_x \cdot \ell_y}$	$M_{mod} = \mu \int \delta^2(x, y) dF =$ $= \frac{M_{total}}{\ell_x \ell_y} \int_0^{\ell_x} \int_0^{\ell_y} \sin^2 \left(\frac{\pi x}{\ell_x} \right) \sin^2 \left(\frac{\pi y}{\ell_y} \right) dx dy = \frac{M_{total}}{4}$
2	 <p style="text-align: center;">$L_y \gg L_x$</p>	$1.0 \leq y \leq \frac{l_x}{2} \text{ and } l_y - \frac{l_x}{2} \leq y \leq l_y$ $\delta(x, y) = \sin \frac{\pi x}{\ell_x} \cdot \sin \frac{\pi y}{\ell_y}; \delta(x, y) _{\max} = 1,0$ $2. \frac{l_x}{2} \leq y \leq l_y - \frac{l_x}{2}$ $\delta(x, y) = \sin \frac{\pi x}{\ell_x} \cdot 1,0 \quad \delta(x, y) _{\max} = 1,0$	$\mu = \frac{M_{total}}{\ell_x \cdot \ell_y}$	$M_{mod} = \mu \int \delta^2(x, y) dF =$ $= \frac{M_{total}}{\ell_x \ell_y} \left[2 \int_0^{\ell_x/2} \int_0^{\ell_x/2} \sin^2 \left(\frac{\pi x}{\ell_x} \right) \cdot \sin^2 \left(\frac{\pi y}{\ell_y} \right) dx dy + \right.$ $\left. + \int_{\ell_x/2}^{\ell_x} \int_{\ell_x/2}^{\ell_x} \sin^2 \left(\frac{\pi x}{\ell_x} \right) dx dy \right] = \frac{M_{total}}{4} \left(2 - \frac{\ell_x}{\ell_y} \right)$
3	 <p>Plate and beams simply supported</p>	$\delta(x, y) = \frac{\delta_x}{\delta} \sin \frac{\pi x}{\ell_x} \sin \frac{\delta_y}{\delta} \sin \frac{\pi y}{\ell_y}; \delta(x, y) _{\max} = 1,0$ <p>where: δ_x = deflection of the beam δ_y = deflection of the slab assuming stiff supports by the beams ($\delta_x = 0$)</p> $\delta = \delta_x + \delta_y$	$\mu = \frac{M_{total}}{\ell_x \cdot \ell_y}$	$M_{mod} = \mu \int \delta^2(x, y) dF =$ $= \frac{M_{total}}{\ell_x \ell_y} \int_0^{\ell_x} \int_0^{\ell_y} \left[\frac{\delta_x}{\delta} \sin \frac{\pi x}{\ell_x} + \frac{\delta_y}{\delta} \sin \frac{\pi y}{\ell_y} \right]^2 dx dy$ $= M_{total} \cdot \left[\frac{\delta_x^2 + \delta_y^2}{2\delta^2} + \frac{8}{\pi^2} \frac{\delta_x \cdot \delta_y}{\delta^2} \right]$

Menurut Tabel 4.4., contoh 3, modal mass dari pelat diasumsikan dapat dihitung sebagai

$$M_{mod} = \frac{291,073}{\left[\frac{(1,517 \times 10^{-5})^2 + 0,924^2}{2 \times 0,924^2} + \frac{8}{\pi^2} \times \frac{(1,517 \times 10^{-5}) \times 0,924}{0,924} \right]} \times$$

$$= 146,364 \text{ kg}$$

Redaman

Rasio redaman dari pelat *Glass Fiber-Foam* ditentukan sesuai dengan Tabel 4.5.

Tabel 4. 6 Penentuan Redaman

Type	Damping (% of critical damping)
Structural Damping D_1	
Wood	6%
Concrete	2%
Steel	1%
Composite	1%
Damping due to furniture D_2	
Traditional office for 1 to 3 persons with separation walls	2%
Paperless office	0%
Open plan office	1%
Library	1%
Houses	1%
Schools	0%
Gymnastic	0%

Damping due to finishings D_3	
Ceiling under the floor	1%
Free floating floor	0%
Swimming screed	1%
Total Damping $D = D_1 + D_2 + D_3$	

$$D = D_1 + D_2 + D_3 = +1\% + 1\% + 1\% = 3\%$$

Dengan

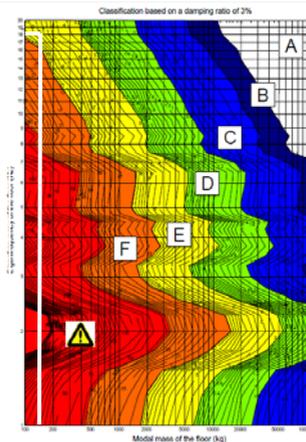
$D_1 = 1.0\%$ (pelat komposit)

$D_2 = 1.0\%$ (rumah)

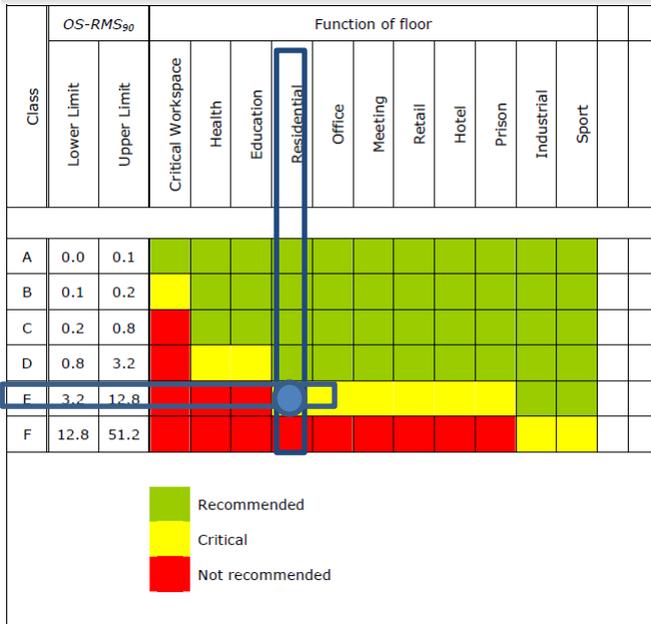
$D_3 = 1.0\%$ (*false floor*)

4.6.3. Penilaian

Berdasarkan sifat model yang dihitung di atas, lantai diklasifikasikan sebagai kelas C (Gambar 4.12).



Gambar 4. 10 OS-RMS₉₀ untuk redaman 3%



Gambar 4. 11 Rekomendasi untuk Peryaratan Kinerja

Nilai OS-RMS₉₀ yang diharapkan kira-kira sebesar 8 mm/s.

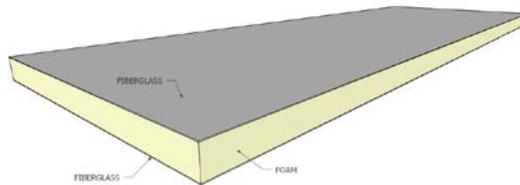
Menurut Gambar 4.13, kelas E diklasifikasikan kritis namun masih dapat digunakan untuk rumah, berarti persyaratan terpenuhi.

4.7. Pemodelan Pelat

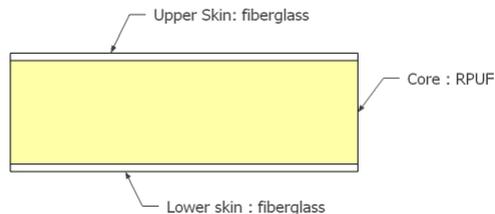
Pelat dimodelkan ke dalam program bantu elemen hingga ABAQUS v6.14, dengan mengambil dimensi modul pelat 1 m x 3 m. ketebalan pelat sebesar 140 mm. ada dua jenis material yang digunakan sebagai penyusun pelat, untuk bagian kulit (*skin*)

digunakan GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer combomat-vynil ester*) dan untuk bagian inti (*core*) digunakan *rigid polyurethane* (PU) foam dengan nilai-nilai parameter material lamina didapat dari penelitian sebelumnya sesuai Tabel 4.6. dan dengan ketebalan menurut Tabel 4.7. *Fiberglass* dianalisa dalam mode *lamina*.

Boundary Condition (BC1) pada sisi pelat dibuat menjadi sendi, dengan menonaktifkan parameter *displacement* dan rotasi ($U_1, U_2, U_3, UR_1, UR_3 = 0$), kecuali UR_2 yaitu rotasi ke arah sumbu Y.



(a)



(b)

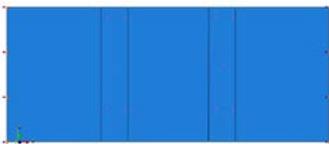
Gambar 4. 12 (a) Pelat Sandwich Rencana (b) Definisi *Skin* dan *Core* Pelat

Tabel 4. 7 Input Material Properties

Parameter	Mass density	E1	E2	Nu	G12	G13	G23
Satuan	ton/mm ³	Mpa	MPa		MPa	MPa	MPa
GFRP	1.50E-09	6389	6389	0.28	2500 ¹⁾	2500 ¹⁾	2500 ¹⁾
RPU foam	4.80E-07	3.256	3.256	0.184	3.240	3.240	3.240
Keterangan	1) $G = E/(2*(1+\nu))$						

(sumber: Wiyono, 2016)

Tabel 4.7. Pemodelan Pelat Pada Program ABAQUS

Tipe Pelat	Bentuk Pemodelan	Mekanisme pemodelan
Pelat Lantai	 <p style="text-align: center;">BC</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1 part panel 0,5 m x 1,5m, 3D, <i>deformable shell planar</i> • 1 section <i>shell composites</i> , GFRP = 2 mm, 0⁰ foam = 66 mm, 0⁰, tebal total = 70 mm • BC: U1,U2,U3,UR1,UR3 = 0.

Beban korelasi (P_2) pada model pelat sandwich menggunakan perbandingan lendutan antara model dengan ukuran pelat sandwich sesungguhnya dengan mengasumsikan bahwa hubungan antara Beban (P) dengan Lendutan (Δ) masih linear (kondisi elastis).

Dengan metode *Four Point Bending*, lendutan pada pelat sandwich ukuran sebenarnya dihitung menggunakan persamaan

$$\Delta_1 = \frac{P_1 a_1}{24EI_1} (3L_1^2 - 4a_1^2)$$

$$\Delta_1 = \frac{2389 \times 1000}{24 \times 6389 \times 3,709 \times 10^7} (3 \times 3000^2 - 4 \times 1000^2) = 9,661$$

mm

$$9,661 = \frac{L_1}{x} = \frac{3000}{x}$$

$$x = 311$$

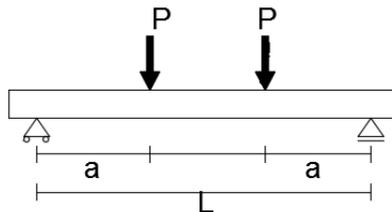
sehingga untuk model panel sandwich didapat lendutan sebesar

$$\Delta_2 = \frac{L_2}{311} = \frac{1500}{311} = 4,8 \text{ mm}$$

maka besarnya P_2 yaitu

$$P_2 = \frac{\Delta_2 24EI_2}{(3L_2^2 - 4a_2^2)a_1}$$

$$P_2 = \frac{4,8 \times 24 \times 6389 \times 2,318 \times 10^6}{(3 \times 1500^2 - 4 \times 500^2) 500} = 596 \text{ N}$$



Gambar 4. 13 *Four Point Bending*

dimana

P_1 = beban aktual (N)

P_2 = beban permodelan (N)

L_1 = bentang aktual (mm)

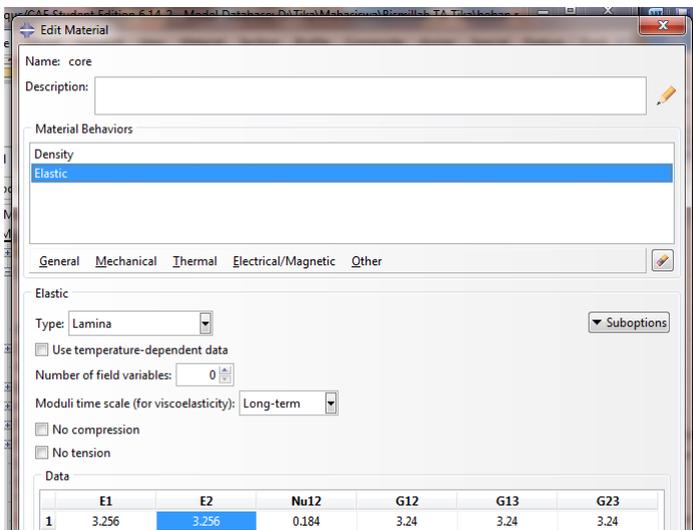
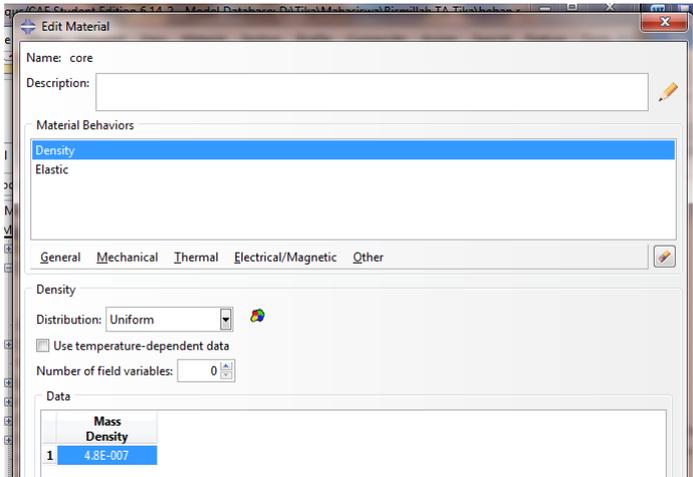
L_2 = bentang model (mm)

I_1 = inersia aktual (mm^4)

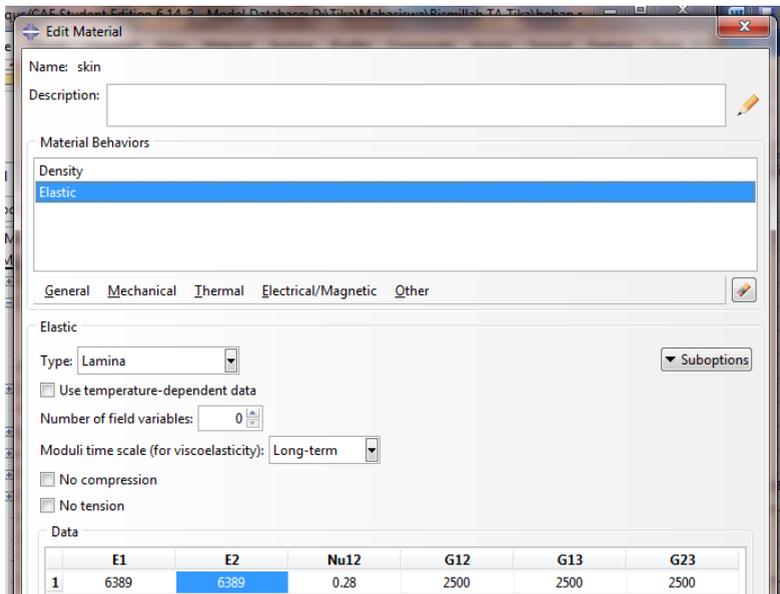
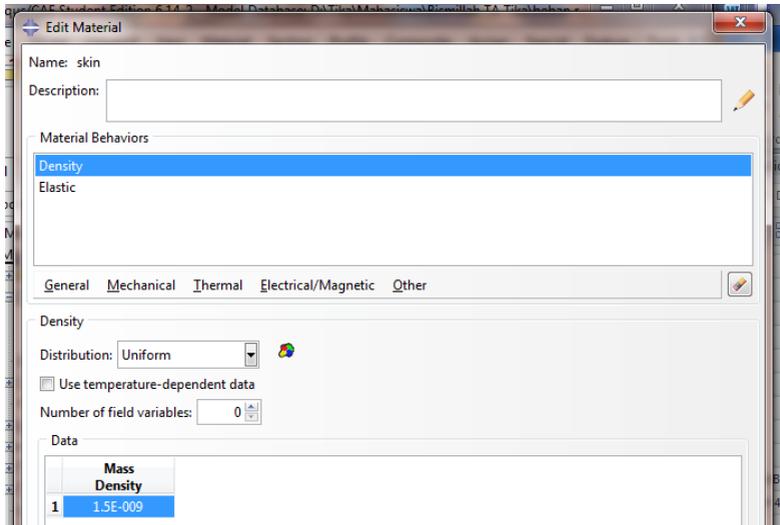
I_2 = inersia model (mm⁴)

Δ_1 = defleksi aktual (mm)

Δ_2 = defleksi model (mm)



Gambar 4. 14 Pendefinisian Material PU Foam

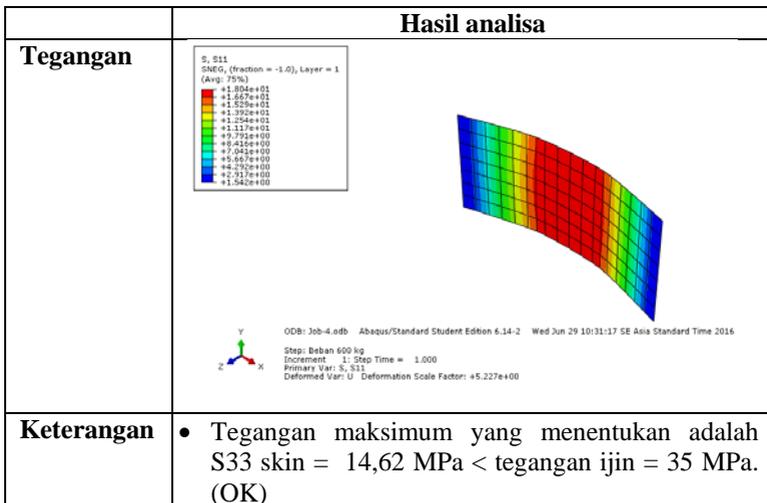


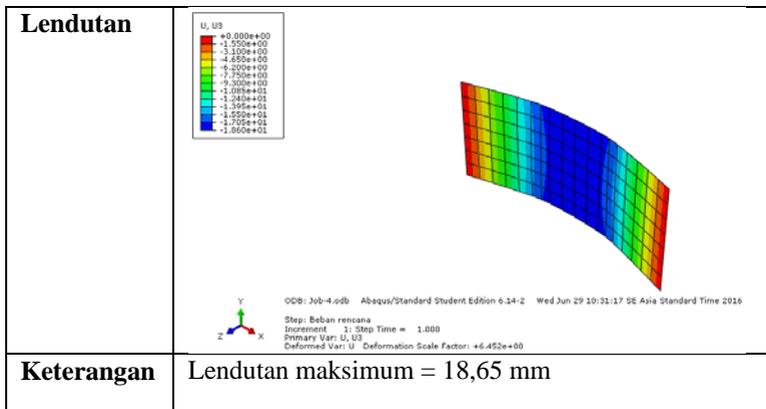
Gambar 4. 15 Pendefinisian material GFRP

4.8. Analisa Ketahanan Pelat Terhadap Beban Gravitasi

Untuk keperluan ini, kombinasi D+L digunakan dalam analisa pelat. Dari analisa didapatkan hasil bahwa tegangan-tegangan di dalam pelat masih lebih rendah dari tegangan-tegangan ijin material-material pelat sehingga dengan dimensi pelat tersebut dinyatakan kuat terhadap beban gravitasi (Tabel 4.8).

Gambar 4. 16 Hasil Analisa Abaqus





Tabel 4.9. Kontrol Tegangan Pelat Terhadap Beban Gravitasi

Tipe Rumah	Tegangan		Tegangan Ijin (Mpa)			Teg. Aktual (Mpa)	Kontrol
			Safety Factor (SF)	Tegangan Batas (Mpa)	Tegangan Ijin Korelasi (Mpa)		
2 Lantai	Tension	S11	2	216	108	15	OK
	Comp.	S11	2	70	35	1.25E+00	OK
	Shear	S12	2	3.02	1.51	1.54E-01	OK

Dari analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pelat dengan dimensi 1000 mm x 3000 mm dengan tebal *skin* 3,6 mm (4 lapis *fiberglass*) dan tebal *core* 132,8 mm kuat menahan beban gravitasi dan vibrasi pada rumah tinggal 2 lantai dengan konfigurasi rumah sesuai rencana. Pelat dengan ukuran ini selanjutnya akan dijadikan acuan untuk pengetesan FPB di laboratorium, untuk mengetahui kemampuan pelat sebenarnya.

4.9. Pabrikasi Pelat

Pelat dipabrikasi dengan teknik cor langsung, dimana dua lembar *fiberglass* ditempelkan pada bagian tepi-tepi bekisting sebagai *skin* kemudian dituangi campuran RPU A dan B sebagai *core*, dibiarkan mengeras selama 1 x 24 jam sebelum mengeras menjadi satu kesatuan pelat *sandwich*. Bagian *excessive* RPU *foam* kemudian dipotong dan dirapikan sesuai ukuran pelat yang akan diuji yaitu 50 cm x 150 cm sebagaimana Gambar 4.17.

Langkah-langkah pabrikasi pelat secara sistematis dijelaskan menurut:

Pabrikasi Panel

Skala 1: 2 = 500 mm x 1500 mm

→ optimasi material



1

Bekisting panel, bongkar - pasang



2

Skin fiberglass direkatkan di kedua sisi bekisting



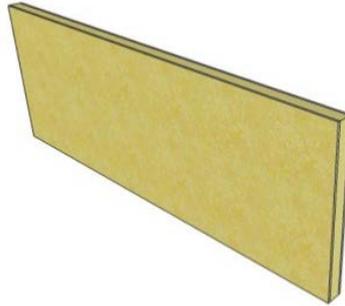
3 Bekisting disatukan



4 Pemasangan baut untuk pengikat



5 Rongga pada bekisting, diantara skin dituangi campuran RPUF



6 Panel sandwich yang telah dilepas dari bekisting dan dicuring selama 24 jam dan dirapikan bagian tepinya

Gambar 4. 17 Skema Pabrikasi Pelat



(a)



(b)

Gambar 4. 18 Perlengkapan Pabrikasi Pelat (a) Bekisting, (b) RPUF Cair A dan B



Gambar 4. 19 Pelat Sandwich yang Telah Dirapihkan Bagian Tepinya

4.10. Pengujian Gravity Load (Four Point Bending)

4.10.1. Persiapan Pengujian

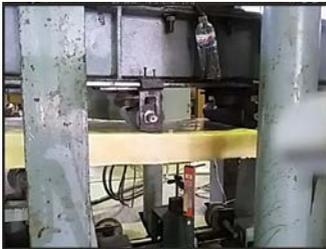
Pengujian ini dilakukan untuk mensimulasi perilaku lantai ketika menerima beban yang berada di atasnya. Ukuran pelat yang diuji adalah 70 mm x 500 mm x 1500 mm, yang mewakili ukuran actual pelat (140 mm x 1000 mm x 3000 mm) dengan faktor skala 1 :2. Untuk mendistribusikan beban sesuai prosedur pengujian, baja silinder padat ditempatkan pada 1/3 bentang dan 2/3 bentang di sisi atas pelat sebagaimana Gambar 4.20. Satu buah LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*) dipasang untuk mengukur defleksi pada setengah bentang pelat. Sementara untuk mendapatkan informasi tentang kondisi *skin* selama pengujian, satu buah *strain gauge* pada arah sumbu X diletakkan pada permukaan pelat, juga pada posisi tengah setengah bentang pelat tersebut.



Gambar 4. 20 Setting Alat Pengujian Pemasangan LVDT dan Pemasangan *Strain Gauge*

4.10.2. Analisa Hasil Pengujian

Dari pengujian, diketahui bahwa kegagalan pelat terjadi pada daerah tengah pelat, diindikasikan oleh adanya delaminasi *skin* dan keretakan *foam*. Pelat mengubah beban aksial menjadi momen sekunder, menyebabkan salah satu *skin* dalam keadaan tekan sementara *skin* yang lain dalam keadaan tarik. *Skin* tidak bisa menahan beban kompresi lagi pada saat $P = 570$ kg yang diindikasikan dengan adanya delaminasi atau tekukan kecil dan keretakan foam pada lokasi tertentu Gambar 4.21.



(a)

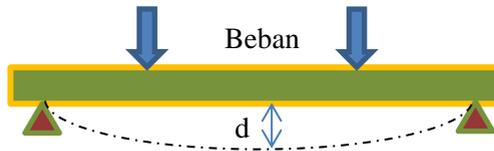


(b)

Gambar 4. 21 Step-step Menuju Kegagalan Pelat yang Diuji (a) Kondisi Pelat Saat Muncul Delaminasi, (b) Pelat yang Telah Diuji

a) Hubungan Beban dengan Lendutan Pada Pelat Sandwich

Perilaku defleksi akibat pembebanan pada pelat lantai sandwich dengan pembebanan hingga terjadi keruntuhan pada struktur diilustrasikan seperti pada Gambar 4.23. Terlihat bahwa pelat lantai sandwich berlaku daktail namun dengan fase plastis yang relative pendek. Hasil pengujian lendutan dapat dilihat pada Tabel 4.10. dan Tabel 4.11.



Gambar 4. 22 Defleksi pada Pelat Sandwich

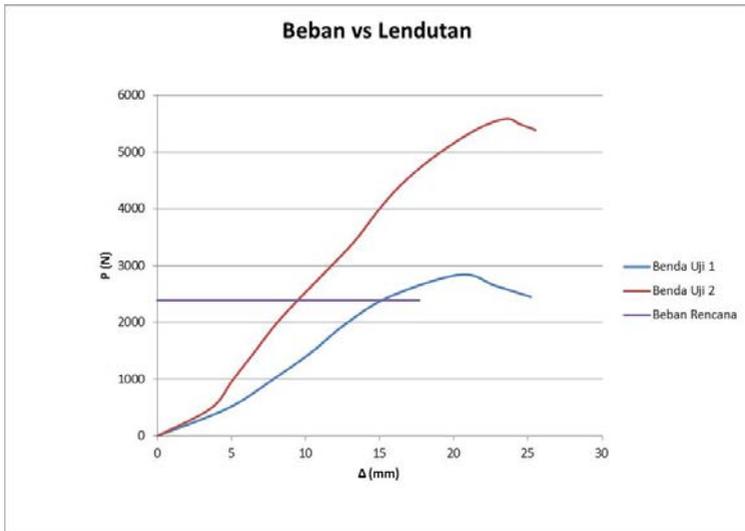
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Lendutan Pelat Lantai 1 (BU1)

Beban (N)	Lendutan (mm)
0	0
490.5	4.76
981	7.695
1471.5	10.365
1962	12.625
2452.5	15.63
2844.9	20.41

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Lendutan Pelat Lantai 2 (BU2)

Beban (N)	Lendutan (mm)
0	0
490.5	3.62
981	5.06
1471.5	6.52
1962	7.96
2452.5	9.68
2943	11.52
3433.5	13.3

3924	14.74
4414.5	16.38
4905	18.58
5395.5	21.46
5591.7	23.48

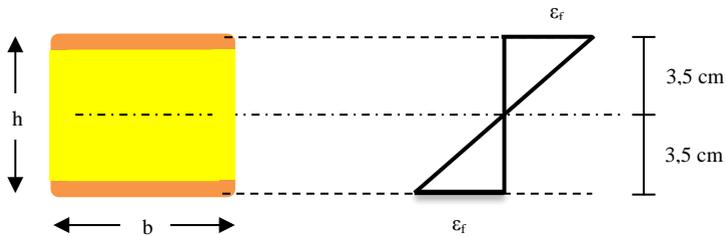


Gambar 4. 23 Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan

Hingga beban mencapai 5000 N (benda uji 1) dan 2000 N (benda uji 2) hubungan beban (P) dengan lendutan (Δ) masih linear. Di atas beban 5000 N (benda uji 1) dan 2000 N (benda uji 2) grafik lendutan mulai menurun, dimana telah terjadi kegagalan pada struktur pelat lantai sandwich yang ditandai dengan delaminasi *skin* dan retaknya *foam*.

b) Hubungan Tegangan dengan Regangan pada Pelat Sandwich

Regangan pada pelat lantai sandwich diukur dengan menggunakan *strain gauge*. Posisi pengukuran diambil pada tengah bentang yang diletakkan pada sisi *skin* atas pelat dan *skin* bawah pelat. Grafik regangan pada pelat sandwich ditunjukkan pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23. Penampang Melintang Pelat

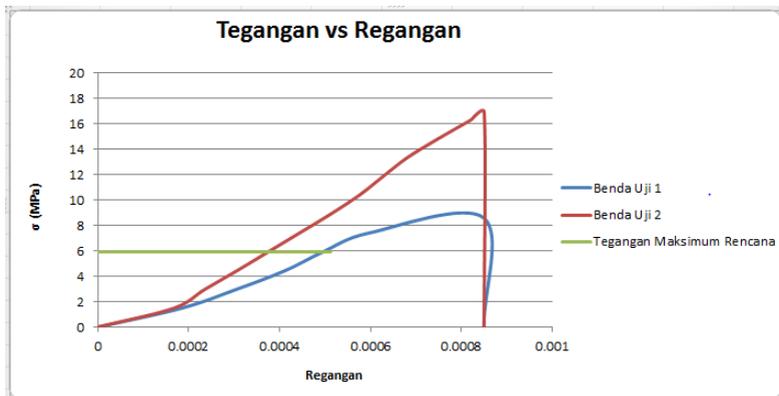
Tabel 4.12. Hasil Pengujian Regangan Pelat 1

Beban (N)	Regangan		σ (Mpa)
	Atas	bawah	
0	0		0
490.5	0.00011429	0.00018381	1.481507207
981	0.00018857	0.00030476	2.963014414
1471.5	0.00025524	0.00041238	4.44452162
1962	0.00030857	0.00049619	5.926028827
2452.5	0.00036667	0.00059714	7.407536034
2844.9	0.0002581	0.00084952	8.592741799

Tabel 4.13. Hasil Pengujian Regangan Pelat 2

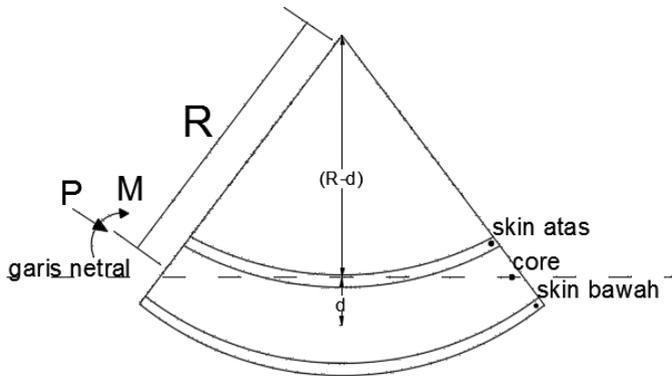
Beban (N)	Regangan		σ (Mpa)
	atas	bawah	
0	0	0	0

490.5	0.00009429	0.00016667	1.481507207
981	0.00014762	0.00023524	2.963014414
1471.5	0.00020286	0.00030667	4.44452162
1962	0.00024571	0.00037524	5.926028827
2452.5	0.00028762	0.00044381	7.407536034
2943	0.00033619	0.00051238	8.889043241
3433.5	0.00038476	0.00057524	10.37055045
3924	0.00041429	0.00062762	11.85205765
4414.5	0.00044381	0.00068095	13.33356486
4905	0.00046476	0.00074857	14.81507207
5395.5	0.00049905	0.00082095	16.29657927
5591.7	0.0005619	0.00085048	16.88918216



Gambar 4. 24 Grafik Hubungan Tegangan vs Regangan

c) Hubungan Momen dengan Kurvatur pada Pelat Sandwich



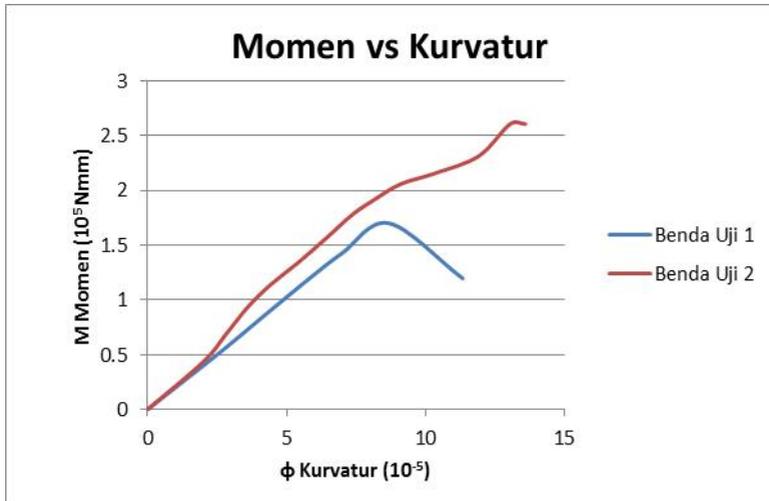
Gambar 4. 25 Hubungan Momen-Kurvatur pada Pelat

Pada Gambar 4.25. di atas dapat diketahui bahwa kurvatur pada pelat dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R^2 = (R - d)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2$$

$$R = \frac{\left[d^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2 \right]}{2d}$$

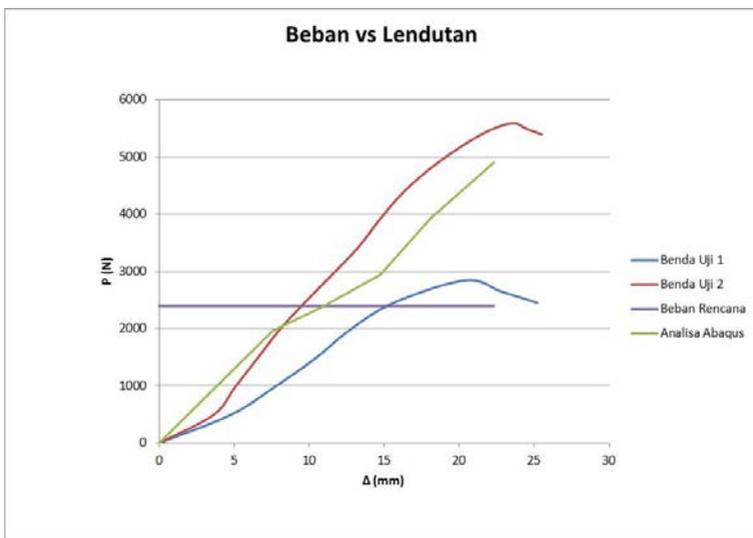
Dimana \$d\$ = defleksi pada pelat, \$R\$ = jari-jari kelengkungan, \$L\$ = panjang bentang pelat.



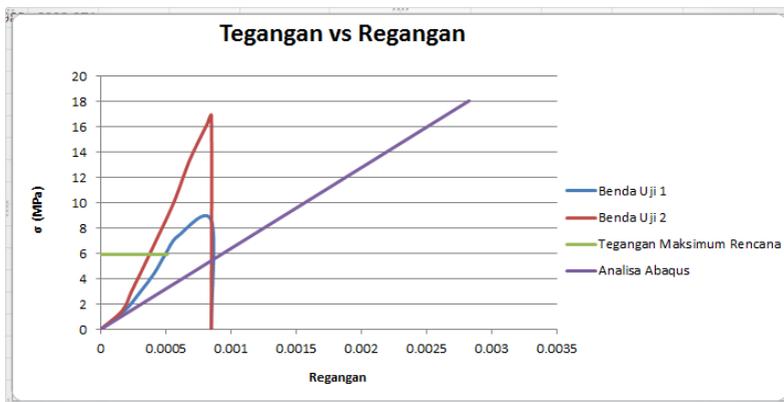
Gambar 4. 26 Grafik Hubungan Momen vs Kurvatur

Dari Gambar 4.27 dapat diketahui bahwa hubungan momen kurvatur pada pelat lantai sandwich menunjukkan bahwa lapisan *skin* pada pelat sandwich berlaku sebagai tulangan yang dipasang sepanjang lebar pelat. Berbeda dengan perilaku pelat beton bertulang, tulangan pada pelat lantai sandwich mengalami kegagalan (runtuh) satu per satu dalam jumlah yang banyak sehingga grafik kurvatur yang ditunjukkan memiliki perubahan jari-jari kelengkungan yang relatif lebih kecil setiap penambahan beban pada pelat.

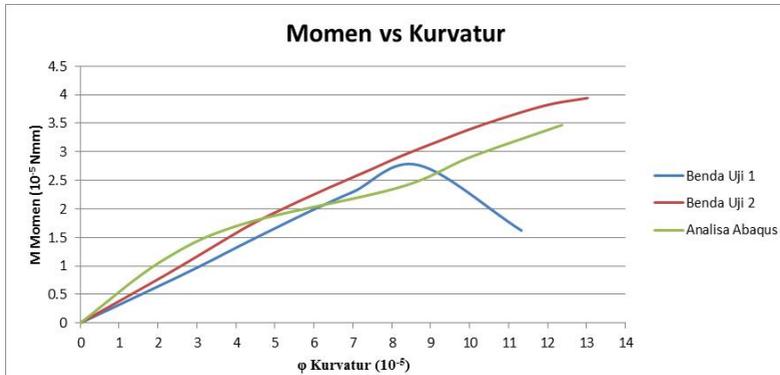
d) Perbandingan Analisa Abaqus dengan Hasil Pengujian



Gambar 4. 27 Grafik Beban vs Lendutan Pengujian dan Abaqus



Gambar 4. 28 Grafik Tegangan vs Regangan Pengujian dan Abaqus



Gambar 4. 29 Grafik Momen vs Kurvatur Pengujian dan Abaqus

Melalui analisa menggunakan software diperkirakan akan terjadi kegagalan geser, hal ini terbukti pada saat pengujian ternyata kegagalan yang dialami terlebih dahulu adalah gagal geser. Gagal geser ini ditandai dengan terlepasnya core dan skin. Kegagalan geser yang terjadi di benda uji 2 lebih parah dan lebih cepat terjadi dibandingkan dengan benda uji 1. Hal ini diperkirakan karena terjadi kelalaian pada proses pembuatannya.

4.11. Pengujian Konduktivitas Thermal

4.11.1. Persiapan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku perpindahan panas secara konduksi serta parameter-parameter yang mempengaruhinya. Selain itu pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui kelayakan panel sandwich sebagai bahan bangunan.

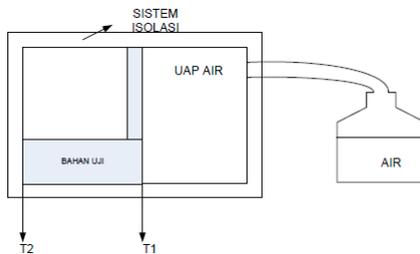
Tabel 4. 10 Peralatan yang Diperlukan Beserta Fungsinya

Nama	Gambar	Fungsi
------	--------	--------

<i>Heater</i>		<p>Heater berfungsi sebagai pemanas air. Dalam percobaan ini, heater berfungsi sebagai sumber panas yang akan digunakan untuk mendidihkan air hingga bersuhu 100°C.</p>
Kaleng bekas		<p>Sebagai tempat penampung uap air dengan mengasumsikan uap air dalam wadah ini bersuhu 100°C.</p>
Thermometer inframerah		<p>Sebagai pengukur suhu. Thermometer inframerah dipilih karena kemampuannya untuk mendeteksi temperature secara optik – selama objek diamati, radiasi energi sinar inframerah diukur, dan disajikan sebagai suhu.</p>
Selotip		<p>Untuk merekatkan aluminium foil yang nantinya akan berfungsi sebagai isolator.</p>

Aluminium foil		Bahan isolator panas yang digunakan untuk menutup permukaan kaleng sebagai ruang isolasi
Pipa		Sebagai tempat mengalirnya uap air dari heater ke wadah isolasi.
Sealant		Sebagai bahan perekat dan penambal bagian bagian yang berongga.

Gambar 4.31 menyajikan skema sederhana dari pengujian konduktivitas thermal bahan serta langkah pengujian yang diterangkan pada Tabel 4.15.



Gambar 4. 30 Mekanisme Pengujian Konduktivitas Thermal

Tabel 4. 11 Langkah Pengujian Konduktivitas Thermal

No	Kegiatan	Perlengkapan
----	----------	--------------

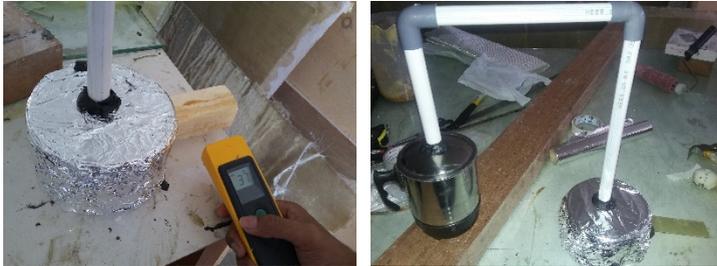
1	Menimbang massa bahan	Timbangan digital
2	Mengukur luas penampang dan tebal bahan uji	Penggaris
3	Meletakkan bahan uji di statip percobaan dan mencatat suhu ruangan T_2 (suhu kamar)	GFRP, PU Foam, alat uji
4	Mengisi heater dengan air sampai volumennya $2/3$ dari volume total kemudian sambungkan dengan aliran listrik.	Air, heater, kabel rol, sumber listrik
5	Menunggu hingga air mendidih. Uap air akan mengalir melalui pipa ke ketel uap yang berhubungan dengan sisi depan bahan uji.	-
6	Mencatat suhu sisi depan benda uji sebagai T_1	Alat tulis, thermometer
7	Mencatat waktu t , T_1 , T_2	Alat tulis, thermometer



(a)

(b)

Gambar 4. 31 Benda Uji (a) PU Foam (b) GFRP



Gambar 4. 32 Pengukuran Konduktivitas Thermal

Tabel 4. 12 Spesifikasi Benda Uji

Benda Uji	Dimensi (cm)			Massa (gram)	Kalor Jenis (J/kg K)
	p	l	t		
GFRP BU-1	20	4	0.2	14.8	840
GFRP BU-2	20	4	0.2	12.6	840
GFRP BU-3	20	4	0.2	15.4	840
PU Foam BU-1	20	4	4	21	1400
PU Foam BU-2	20	4	4	21.8	1400
PU Foam BU-3	20	4	4	20.6	1400

Tabel 4. 13 Perhitungan Konduktivitas Thermal GFRP BU-1

Waktu (menit)	Suhu (K)	m (kg)	c (J/kg K)	delta T (K)	H (joule)	A (m ²)	T ₁ -T ₂ (K)	x (m)	K (W/m K)
0	302.6	0.021	840	0.7	12.348	0.008	70.4	0.05	1.0962358
30	302.7	0.021	840	0.1	1.764	0.008	70.3	0.05	0.15682788
60	302.8	0.021	840	0.1	1.764	0.008	70.2	0.05	0.15705128
90	303.6	0.021	840	0.8	14.112	0.008	69.4	0.05	1.27089337

120	304.4	0.021	840	0.8	14.112	0.008	68.6	0.05	1.28571429
150	304.5	0.021	840	0.1	1.764	0.008	68.5	0.05	0.16094891
180	304.6	0.021	840	0.1	1.764	0.008	68.4	0.05	0.16118421
210	306.4	0.021	840	1.8	31.752	0.008	66.6	0.05	2.97972973
240	306.8	0.021	840	0.4	7.056	0.008	66.2	0.05	0.66616314
270	308.8	0.021	840	2	35.28	0.008	64.2	0.05	0.34345794
300	309.8	0.021	840	1	17.64	0.008	63.2	0.05	1.74446203
330	310.4	0.021	840	0.6	10.584	0.008	62.6	0.05	1.05670927
360	312.6	0.021	840	2.2	38.808	0.008	60.4	0.05	4.01572848
390	315.4	0.021	840	2.8	49.392	0.008	57.6	0.05	0.5359375
420	319.6	0.021	840	4.2	74.088	0.008	53.4	0.05	0.86713483
450	319.9	0.021	840	0.3	5.292	0.008	53.1	0.05	0.62288136
480	321.2	0.021	840	1.3	22.932	0.008	51.8	0.05	2.76689189
510	321.8	0.021	840	0.6	10.584	0.008	51.2	0.05	1.29199219
540	323.8	0.021	840	2	35.28	0.008	49.2	0.05	4.48170732
570	325.4	0.021	840	1.6	28.224	0.008	47.6	0.05	3.70588235
600	326.4	0.021	840	1	17.64	0.008	46.6	0.05	2.36587983
630	329.6	0.021	840	3.2	56.448	0.008	43.4	0.05	0.81290323
660	332.9	0.021	840	3.3	58.212	0.008	40.1	0.05	0.90729426
690	334.4	0.021	840	1.5	26.46	0.008	38.6	0.05	0.42843264
720	341.8	0.021	840	7.4	130.54	0.008	31.2	0.05	2.61490385

Tabel 4. 14 Perhitungan Konduktivitas Thermal GFRP BU-2

Waktu (m)	Suhu (K)	m (kg)	c (J/kg K)	delta T (K)	H (joule)	A (m ²)	T1-T2 (K)	x (m)	K (W/m K)
0	304	0.021	840	2.1	37.044	0.008	69	0.05	0.33554348
30	305	0.021	840	1	17.64	0.008	68	0.05	1.62132353

60	306	0.021	840	1	17.64	0.008	67	0.05	1.64552239
90	307.2	0.021	840	1.2	21.168	0.008	65.8	0.05	2.0106383
120	308.4	0.021	840	1.2	21.168	0.008	64.6	0.05	2.04798762
150	309.6	0.021	840	1.2	21.168	0.008	63.4	0.05	2.08675079
180	310.6	0.021	840	1	17.64	0.008	62.4	0.05	1.76682692
210	311	0.021	840	0.4	7.056	0.008	62	0.05	0.71129032
240	312.2	0.021	840	1.2	21.168	0.008	60.8	0.05	2.17598684
270	313.2	0.021	840	1	17.64	0.008	59.8	0.05	1.84364548
300	314.4	0.021	840	1.2	21.168	0.008	58.6	0.05	2.25767918
330	315.8	0.021	840	1.4	24.696	0.008	57.2	0.05	2.69842657
360	316	0.021	840	0.2	3.528	0.008	57	0.05	0.38684211
390	317.4	0.021	840	1.4	24.696	0.008	55.6	0.05	2.77607914
420	318.4	0.021	840	1	17.64	0.008	54.6	0.05	2.01923077
450	319.6	0.021	840	1.2	21.168	0.008	53.4	0.05	2.47752809
480	320.2	0.021	840	0.6	10.584	0.008	52.8	0.05	1.25284091
510	321.4	0.021	840	1.2	21.168	0.008	51.6	0.05	0.25639535
540	327.6	0.021	840	6.2	109.37	0.008	45.4	0.05	1.50561674
570	333.2	0.021	840	5.6	98.784	0.008	39.8	0.05	1.55125628
600	338.2	0.021	840	5	88.2	0.008	34.8	0.05	1.58405172
630	341.4	0.021	840	3.2	56.448	0.008	31.6	0.05	1.1164557
660	344.4	0.021	840	3	52.92	0.008	28.6	0.05	1.15646853
690	344.8	0.021	840	0.4	7.056	0.008	28.2	0.05	1.56382979
720	345	0.021	840	0.2	3.528	0.008	28	0.05	0.7875

Tabel 4. 15 Perhitungan Konduktivitas Thermal GFRP BU-3

Waktu (m)	Suhu (K)	m (kg)	c (J/kg K)	delta T (K)	H (joule)	A (m ²)	T1-T2 (K)	x (m)	K (W/m K)
-----------	----------	--------	------------	-------------	-----------	---------------------	-----------	-------	-----------

0	303	0.021	840	1.1	19.404	0.008	70	0.05	1.7325
30	303.6	0.021	840	0.6	10.584	0.008	69.4	0.05	0.95317003
60	304	0.021	840	0.4	7.056	0.008	69	0.05	0.63913043
90	305.6	0.021	840	1.6	28.224	0.008	67.4	0.05	2.61721068
120	306.2	0.021	840	0.6	10.584	0.008	66.8	0.05	0.99026946
150	306.6	0.021	840	0.4	7.056	0.008	66.4	0.05	0.66415663
180	307.2	0.021	840	0.6	10.584	0.008	65.8	0.05	1.00531915
210	308.6	0.021	840	1.4	24.696	0.008	64.4	0.05	2.39673913
240	310.4	0.021	840	1.8	31.752	0.008	62.6	0.05	3.1701278
270	311.4	0.021	840	1	17.64	0.008	61.6	0.05	1.78977273
300	312.4	0.021	840	1	17.64	0.008	60.6	0.05	1.81930693
330	314	0.021	840	1.6	28.224	0.008	59	0.05	2.98983051
360	314.2	0.021	840	0.2	3.528	0.008	58.8	0.05	0.375
390	318.2	0.021	840	4	70.56	0.008	54.8	0.05	0.80474453
420	318.4	0.021	840	0.2	3.528	0.008	54.6	0.05	0.40384615
450	318.9	0.021	840	0.5	8.82	0.008	54.1	0.05	1.0189464
480	319.4	0.021	840	0.5	8.82	0.008	53.6	0.05	1.02845149
510	319.8	0.021	840	0.4	7.056	0.008	53.2	0.05	0.82894737
540	323.8	0.021	840	4	70.56	0.008	49.2	0.05	0.89634146
570	325.8	0.021	840	2	35.28	0.008	47.2	0.05	0.46716102
600	327.2	0.021	840	1.4	24.696	0.008	45.8	0.05	0.33700873
630	329.2	0.021	840	2	35.28	0.008	43.8	0.05	0.50342466
660	330	0.021	840	0.8	14.112	0.008	43	0.05	0.20511628
690	330.6	0.021	840	0.6	10.584	0.008	42.4	0.05	1.56014151
720	334	0.021	840	3.4	59.976	0.008	39	0.05	0.96115385

Tabel 4. 16 Perhitungan Konduktivitas Thermal PU Foam BU-1

Waktu (menit)	Suhu (K)	m (kg)	c (J/kg K)	delta T (K)	H (joule)	A (m ²)	T1-T2 (K)	x (m)	K (W/m K)
0	305	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68	0.05	0.00952206
30	305	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	67.998	0.05	0.01904468
60	305	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	67.997	0.05	0.00952248
90	305	0.015	1400	0.003	0.0622	0.002	67.994	0.05	0.0285687
120	305	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	67.992	0.05	0.01904636
150	305	0.015	1400	0.003	0.0622	0.002	67.989	0.05	0.0285708
180	305	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	67.988	0.05	0.00952374
210	305	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	67.986	0.05	0.01904804
240	305	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	67.984	0.05	0.0190486
270	305	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	67.983	0.05	0.00952444
300	305	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	67.982	0.05	0.00952458
330	305	0.015	1400	0.004	0.0829	0.002	67.978	0.05	0.03810056
360	305	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	67.976	0.05	0.01905084
390	305	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	67.974	0.05	0.0190514
420	305	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	67.972	0.05	0.01905196
450	305	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	67.97	0.05	0.01905252
480	305	0.015	1400	0.003	0.0622	0.002	67.967	0.05	0.02858005
510	305	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	67.966	0.05	0.00952682
540	305	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	67.965	0.05	0.00952696
570	305	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	67.964	0.05	0.0095271
600	305	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	67.963	0.05	0.00952724
630	305	0.015	1400	0.005	0.1036	0.002	67.958	0.05	0.04763972
660	305	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	67.956	0.05	0.01905645
690	305	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	67.954	0.05	0.01905701
720	305	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	67.952	0.05	0.01905757

Tabel 4. 17 Perhitungan Konduktivitas Thermal PU Foam BU-2

Waktu (m)	Suhu (K)	m (kg)	c (J/kg K)	delta T (K)	H (joule)	A (m ²)	T1-T2 (K)	x (m)	K (W/m K)
0	304.4	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.6	0.05	0.01887755
30	304.4	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.598	0.05	0.0188781
60	304.4	0.015	1400	0.003	0.0622	0.002	68.595	0.05	0.02831839
90	304.4	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.593	0.05	0.01887948
120	304.4	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.592	0.05	0.00943988
150	304.4	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.591	0.05	0.00944001
180	304.4	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.589	0.05	0.01888058
210	304.4	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.587	0.05	0.01888113
240	304.4	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.586	0.05	0.0094407
270	304.4	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.584	0.05	0.01888195
300	304.4	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.583	0.05	0.00944112
330	304.4	0.015	1400	0.003	0.0622	0.002	68.58	0.05	0.02832458
360	304.4	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.578	0.05	0.01888361
390	304.4	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.577	0.05	0.00944194
420	304.4	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.575	0.05	0.01888443
450	304.4	0.015	1400	0.003	0.0622	0.002	68.572	0.05	0.02832789
480	304.4	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.571	0.05	0.00944277
510	304.4	0.015	1400	0.004	0.0829	0.002	68.567	0.05	0.03777327
540	304.4	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.565	0.05	0.01888719
570	304.4	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.564	0.05	0.00944373
600	304.4	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.563	0.05	0.00944387
630	304.4	0.015	1400	0.003	0.0622	0.002	68.56	0.05	0.02833285
660	304.4	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.558	0.05	0.01888912
690	304.4	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.557	0.05	0.0094447

720	304.4	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.555	0.05	0.01888994
-----	-------	-------	------	-------	--------	-------	--------	------	------------

Tabel 4. 18 Perhitungan Konduktivitas Thermal PU Foam BU-3

Waktu (m)	Suhu (K)	m (kg)	c (J/kg K)	delta T (K)	H (joule)	A (m ²)	T1-T2 (K)	x (m)	K (W/m K)
0	304.8	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.2	0.05	0.00949413
30	304.8	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.198	0.05	0.01898883
60	304.8	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.197	0.05	0.00949455
90	304.8	0.015	1400	0.003	0.0622	0.002	68.194	0.05	0.02848491
120	304.8	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.192	0.05	0.0189905
150	304.8	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.19	0.05	0.01899105
180	304.8	0.015	1400	0.003	0.0622	0.002	68.187	0.05	0.02848783
210	304.8	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.186	0.05	0.00949608
240	304.8	0.015	1400	0.004	0.0829	0.002	68.182	0.05	0.03798657
270	304.8	0.015	1400	0.006	0.1243	0.002	68.176	0.05	0.05698486
300	304.8	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.175	0.05	0.00949762
330	304.8	0.015	1400	0.009	0.1865	0.002	68.166	0.05	0.08548983
360	304.8	0.015	1400	0.006	0.1243	0.002	68.16	0.05	0.05699824
390	304.8	0.015	1400	0.007	0.145	0.002	68.153	0.05	0.06650478
420	304.8	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.151	0.05	0.01900192
450	304.9	0.015	1400	0.003	0.0622	0.002	68.148	0.05	0.02850414
480	304.9	0.015	1400	0.005	0.1036	0.002	68.143	0.05	0.04751038
510	304.9	0.015	1400	0.007	0.145	0.002	68.136	0.05	0.06652137
540	304.9	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.134	0.05	0.01900666
570	304.9	0.015	1400	0.001	0.0207	0.002	68.133	0.05	0.00950347
600	304.9	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.131	0.05	0.0190075
630	304.9	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.129	0.05	0.01900806

660	304.9	0.015	1400	0.006	0.1243	0.002	68.123	0.05	0.0570292
690	304.9	0.015	1400	0.008	0.1658	0.002	68.115	0.05	0.07604786
720	304.9	0.015	1400	0.002	0.0414	0.002	68.113	0.05	0.01901252

Tabel 4. 19 Rekapitulasi Perhitungan Konduktivitas Thermal PU Foam

Benda Uji	PU Foam BU-1	PU Foam BU-2	PU Foam BU-3
Konduktivitas thermal (W/m K)	0.018670027	0.017750751	0.033441715
Rata - rata	0.023287498		
Literatur	0.025		

Tabel 4. 20 Rekapitulasi Perhitungan Konduktivitas Thermal GFRP

Benda Uji	GFRP BU-1	GFRP BU-2	GFRP BU-3
Konduktivitas thermal (W/m K)	1.411751821	1.585428662	1.206312677
Rata - rata	1.401164387		
Literatur	1.1		

Tabel 4. 21 Perbandingan Konduktivitas Thermal Berbagai Zat

Zat	Konduktivitas Thermal (W/m K)	Sumber
GFRP	1.401164387	Pengujian
PU Foam	0.023287498	Pengujian
Batu Bata	1.05	(Rika dkk, 2012)

Baja	51.5	(Sucipto dkk, 2013)
Kayu	0.105	(Prasojo dkk, 2012)

LAMPIRAN

Lampiran 1

Lokasi Praktikum:

1. Laboratorium Bahan dan Beton, Teknik Sipil ITS

Jurusan Teknik Sipil ITS, Sukolilo 60111, Surabaya

Telp : (031) 5931223

2. Workshop Struktur, Teknik Sipil ITS

Jurusan Teknik Sipil ITS, Sukolilo 60111, Surabaya

Telp : (031) 5997252

Lampiran 2

TML

TML Pam E-101S

Precise & Flexible

Strain Gauges

- A** asphalt
- M** metal
- M** mortar
- C** concrete
- R** rock
- G** glass
- C** ceramic
- W** wood
- G** gypsum
- P** plastic
- C** composite
- B** bulk

TML Tokyo Sekki Kenkyujo Co., Ltd.

COMPOSITE STRAIN GAUGE series "UBF"



Compatible adhesive & Operational temperature
 CN : -30~+120°C ES-3 : -30~+150°C

Operational temperature : -30~+150°C
 Temperature compensation range : -

COMPOSITE MATERIALS USE

Gauge pattern	Type	Gauge size L W	Backing L W	Resistance in Ω
<p>The UBF gauge is designed for measurement on composite materials. It has a specially designed grid configuration to reduce the tightening effect of the gauge to the specimen. Developing soft carrier backing, this series feature advanced characteristics of thermal cycle examination and gauge creep.</p> <p>●Single element</p>  <p>UBFLA-03 (X3)</p>  <p>UBFLA-01 (X3)</p> <p>Each package contains 10 gauges. Leadwire-integral service is available on request.</p>		L : length W : width (Unit : mm)		
		Static measurement : -30~+100°C Dynamic measurement : -30~+100°C		
	UBFLA-03	0.3 1.9	3.4 2.5	120
	UBFLA-1	1 1.3	4.5 2	120
	Point	<p>Composite materials such as GFRP (glass fibers), CFRP(carbon fibers), or AFRP(aramid fibers) for reinforced plastics have different elastic modulus and linear thermal expansion coefficient depending on their fiber orientation. For strain measurement, consideration of materials property and fiber orientation should be taken.</p>		

COMPOSITE STRAIN GAUGE series "BF"



Compatible adhesive & Operational temperature
 CN : -25~+120°C NF-60 : -20~+200°C
 ES-2 : -20~+150°C

Operational temperature : -20~+200°C
 Temperature compensation range : +10~+150°C

COMPOSITE MATERIALS USE

Gauge pattern	Type	Gauge size L W	Backing L W	Resistance in Ω	
<p>This gauge is designed for measurement on composite materials. It has a specially designed grid configuration to reduce the tightening effect of the gauge to the specimen. As the temperature compensation is available for material with thermal expansion coefficient of 3, 5 or approx/°C, this series is recommendable for ceramic, carbon, and composite materials.</p> <p>●Single-element</p>  <p>BFLLA-2-3</p> <p>●90° 2-element Cross Plane type</p>  <p>BFCA-2-3</p> <p>●45°/90° 3-element Rosette Plane type</p>  <p>BFRA-2-3</p> <p>Each package contains 10 gauges. Leadwire-integral service is available on request.</p>		L : length W : width (Unit : mm)			
		Single-element	BFLLA-2 -3 -5 -8	2 0.9 5 1.5	7.6 2.5 12.3 3.3
	90° 2-element Cross Plane type	BFCA-2 -3 -5 -8	2 1.3 5 1.5	8 8 11.5 11.5	120 120
	45°/90° 3-element Rosette Plane type	BFRA-2 -3 -5 -8	2 1.3 5 1.5	8 8 11.5 11.5	120 120
	Point	<p>Composite materials such as GFRP (glass fibers), CFRP(carbon fibers), or AFRP(aramid fibers) for reinforced plastics have different elastic modulus and linear thermal expansion coefficient depending on their fiber orientation. For strain measurement, consideration of materials property and fiber orientation should be taken.</p>			

STRAIN GAUGE ADHESIVES

TYPE		Contents	Component	Applicable specimen	Operational temperature	Curing temperature and time
CN	Single component Room-temperature-curing	Single 2g×5	Cyanoacrylate	Metal, Plastics, Composite	-196~+120°C	Room temperature 20sec. -1 min. (thumb pressure)
CN-E	Single component Room-temperature-curing	Single 2g×5	Cyanoacrylate	Formic, Concrete, Mortar, Wood	-30~+120°C	Room temperature 40sec. -2 min. (thumb pressure)
CN-R	Single component Room-temperature-curing	Single 2g×5	Cyanoacrylate	Metal, Plastics, Composite	-30~+120°C	Room temperature 10-30 sec. (thumb pressure)
CN-Y	Single component Room-temperature-curing	Single 2g×5	Cyanoacrylate	Metal, Plastics, Composite	-30~+80°C	Room temperature 20sec. -1 min. (thumb pressure)
P-2	Two component Room-temperature-curing (Mixing ratio: 1-3%)	A:100g B:10g	Polyester	Metal	-30~+180°C	Room temperature Pressure 50-300kPa 2-3 hrs.
RP-2	Two component Room-temperature-curing (Mixing ratio: 2-4%)	A:100g B:10g	Polyester	Concrete, Mortar	-30~+180°C	Room temperature Pressure 50-300kPa 2-3 hrs.
PS	Two component Room-temperature-curing (Mixing ratio: 2-4%)	A:200g B:20g	Polyester	Concrete, Mortar	-30~+100°C	Room temperature 2-3 hrs.
NP-50	Two component Room-temperature-curing (Mixing ratio: 2-4%)	A:50g B:10g	Polyester	Metal, Composite	-30~+300°C	Room temperature Pressure 50-300kPa 2-3 hrs.
C-1	Single component Heat-curing	Single 50g	Phenol	Metal	-269~+200°C	130°C: 1hr. pressed 200°C: 1hr.
EA-2A	Two component Room-temp.-or heat curing (Mixing ratio: 2-1)	A:50g B:25g	Epoxy	Metal, Concrete, Composite	-269~+150°C	Room temp. 1 day or heating 50°C: 2hrs. Pressure 50-300kPa
EB-2	Two component Room-temperature-curing (Mixing ratio: 10:3)	A:10g×3 B:3g×3	Epoxy	Metal, Composite	-30~+150°C	Room temperature Pressure 50-300kPa 1 day
A-2	Two component Heat-curing (Mixing ratio: 10:1)	A:50g B:5g	Epoxy	Bolt	-30~+100°C	Room temperature 12 hrs. and 140°C: 3 hrs.

N.B.:

Shelf life Effective storing duration while the adhesive is properly kept in a cool, dry and dark place such as a refrigerator (+5~+10°C, do not store in a freezer).

Thumb pressure 100~300kPa

●For two-component adhesive, use the supplied mixing vessels.

Mixing vessels: Polyethylene make
75mm-diameter, 10mm depth

Point

- In general, curing condition of room-temperature-curing type adhesives varies with an ambient temperature and humidity. Taking consideration of standard application described in operation manual, test curing should be recommendable in site before measurement.
- CN Adhesive (Cyanoacrylate component) use minute quantities of moisture in the air or on the surface of the specimen to quickly polymerize and generate adhesive strength. A certain amount of moisture is required for the adhesive to harden.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Material yang dipakai pada pelat sandwich adalah *fiberglass* sebagai *skin* dan *foam* sebagai *core*.
2. Pembuatan pelat sandwich menggunakan metode *vacuum infusion*.
3. Dimensi pelat yang dihasilkan dari penelitian ini adalah 3 m x 1 m x 0,14 m. Dimensi ini dapat menahan beban rencana dan memenuhi persyaratan vibrasi.
4. Pengujian *gravity load* menunjukkan beban maksimum yang dapat ditahan mencapai 570 kg dengan beban rencana sebesar 240 kg.
5. Pengujian konduktivitas thermal bahan menghasilkan nilai 1,401 W/m K untuk GFRP dan 0,023 W/m K untuk PU Foam. Hal ini menunjukkan kelayakan bahan untuk dijadikan bahan bangunan karena nilai konduktivitasnya yang mendekati konduktivitas bahan bangunan yang umum digunakan.

5.2. Saran

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan penelitian ini sehingga data hasil penelitian lebih akurat, antara lain :

1. Semua alat sebelum digunakan harus dalam kondisi yang baik dan bersih.
2. Pada pelaksanaan percobaan, harus teliti dalam membaca alat-alat ukur.
3. Untuk setiap percobaan sebaiknya dilakukan lebih dari satu kali agar diperoleh hasil yang lebih akurat.
4. Pada saat pembuatan campuran harus lebih teliti dalam melihat timbangan untuk menentukan takarannya.
5. Waktu pengetesan FPB, benda uji diletakkan tepat pada sumbu tengah agar lebih akurat.
6. Pada saat pembuatan PU foam sebaiknya wadah pencampuran dibersihkan terlebih dahulu hingga sangat bersih agar tidak ada sisa campuran sebelumnya yang menggumpal dan mempengaruhi kualitas campuran berikutnya.
7. Waktu pengetesan *Four Point Bending* sebaiknya menggunakan alat tes yang dapat mencatat proses keruntuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akovali. 2001. *Handbook of Composite Fabrication*. Rapra Technology Limited. Exester.
- Alberto Corigliano, Egidio Rizzi, Enrico Papa. 2000. *Experimental Characterization and Numerical Simulations of Syntactic-Foam/Glass-Fibre Composite Sandwich*. Composites Science and Technology. Italy.
- Allen, Howard G. 1969. *Analysis and Design of Structural Sandwich Panels: The Commonwealth and International Library Structures and Solid Body Mechanics Division*. Pergamon Press. Oxford.
- ASTM International, 1999. *Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids by Means of the Guarded-Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique (ASTM E1225 – 99)*.
- ASTM International, 2006. *Standard Practice for Determining Sandwich Beam Flexural and Shear Stiffness (D7250/D7250M – 06)*.
- ASTM International, 2012. *Standard Practice for Gravity Load Testing of Floors and Low Slope Roofs (ASTM E196-06)*.
- Badan Pusat Statistik. 2013. *Persentase Rumah Tangga menurut Provinsi, Tipe Daerah dan Lantai Terluas bukan Tanah, 2009-2013*.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). *SNI Gempa (SNI 03-1726-2012)*.
- BNPB. 2009. *Peta Jumlah Kerusakan Fasilitas Umum Akibat Gempa Di Provinsi Sumatera Barat*. 5 Oktober.
- Build Change .2007. *Observasi Gempa 12 dan 13 September 2007, Sumatra, Indonesia*. 15 Oktober.
- Dedecker, Kristof. 2006. *Sandwich Panels Supporting Growth with an Established and Proven Technology*. Belgium.
- Feldmann, M. dkk. 2009. *JRC Scientific and Technical Reports: Design of Floor Structures for Human Induced Vibrations*.

- European Union and European Convention for Constructional Steelworks. Italy.
- Hamm Patricia, Antje Richter, Stefan Winter. 2010. *Floor Vibrations – New Results*. World Conference for Timber Engineering. Germany.
- Herakovich, Carl T. 1998. *Mechanics of Fibrous Composites*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Jackson, K.P., J.M. Allwood, M. Landert. 2007. *Incremental Forming of Sandwich Panels*. Journal of Materials Processing Technology 204 (2008) 290-303.
- Jurusan Teknik Fisika. 2014. *Petunjuk Praktikum Fisika Rekayasa I*. Surabaya
- Karami, Peyman, Nadia Al-Ayish, Kjartan Gudmundsson. 2015. *A Comparative Study of the Environmental Impact of Swedish Residential Buildings with Vacuum Insulation Panels*. Journal of Materials Processing Technology 109 (2015) 183-194.
- Kaynak. 2001. *Constituent Material*. Rapra Technology Limited. Exeter UK.
- Mathieson, Hall, Amir Fam. 2014. *High Cycle Fatigue Under Reversed Bending of Sandwich Panels with GFRP skins and Polyurethane Foam Core*. Journal of Materials Processing Technology 113 (2014) 31-39.
- Malhotra, S.K., B.J.C. Babu. 1983. *A Study on GRP Skin/Foam Core Sandwich Structures*. FRP Research Centre, Indian Institute of Technology.
- M. Styles, P. Compston, S. Kalyanasundaram. 2008. *Finite Element Modelling of Core Thickness Effects in Aluminium Foam/Composite Sandwich Structures Under Flexural Loading*. Composite Structures 86 (2008) 227–232.
- OCHA. 2010 . *Humanitarian Impact Map*. 11 November.
- PUSDALOPS BNPB. 2009. *Peta Jumlah Kerusakan Rumah Akibat Gempa Di Provinsi Sumatera Barat*. 4 Oktober.
- Sika.com, 2014. *Sandwich Panels – Building for the Future*. 17 Desember.

- Smith, William F., Javad Hasemi. 2010. *Foundation of Materials Science and Engineering 5th Edition*. McGraw-Hill. Boston.
- Sucipto, Tabah Priangkoso, Darmanto. 2013. *Analisa Konduktivitas Thermal Baja ST – 37 dan Kuningan. Momentum, April 2013*. Semarang.
- Suryanita, Reni, Alfian Kamaldi, 2002. Analisis Kekuatan Nominal Balok Lentur Baja dengan Metode Desain Faktor Beban dan tahanan (LRFD) dan Metode Desain Tegangan Ijin (ASD). *Jurnal Natur Indonesia* 5(2): 157-161 (2003) 157-161.
- Uyanik. 2001. *Introduction of Composite Material*. Rapra Technology Limited. Exester UK
- WHO Indonesia. 2009. *Earthquake and Tsunami in Mentawai District, West Sumatera Province, Republic of Indonesia*. Emergency Situation Report. 5 November.
- Wiyono, Puput. 2016. *Studi Eksperimen Panel Sandwich Fiber Glass – Foam untuk Dinding STruktural Rumah Tinggal*. Surabaya.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Samarinda pada tanggal 10 Maret 1994, dengan nama lengkap Brilliantika Fusi Nur Rahmasari. Telah menempuh pendidikan formal yaitu SD Negeri 007 Samarinda (2000-2006), SMP Negeri 1 Samarinda (2006-2009), SMA Negeri 1 Samarinda (2009-2012). Menempuh pendidikan S1 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2012 dengan NRP 3112100076.

Penulis juga aktif berorganisasi di organisasi kampus Civil ITS Tradisi Juara (CITRA). Penulis juga beberapa kali menjuarai kompetisi ketekniksipilan nasional, seperti Juara 2 Lomba Desain Perumahan Unila 2015 dan Juara 2 Desain Rumah Susun Civil Expo 2016.

Penulis sangat berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta bagi penulis sendiri. Apabila pembaca ingin berkorespondensi dengan penulis, dapat melalui email: brilliantikafusi@gmail.com.