

TUGAS AKHIR

KAJIAN EXPERIMEN DEFORMASI TEKAN PADA STRUKTUR SARANG LEBAH DENGAN VARIASI UKURAN HEXAGONAL YANG DIUJI SECARA DINAMIS

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

Disusun Oleh:

RIZKI MAULANA ROSANDI
1407230262



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

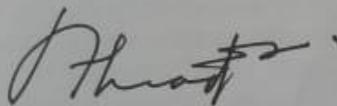
Nama : Rizki Maulana Rosandi
NPM : 1407230262
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Kajian Experimen Deformasi Tekan Pada Struktur Sarang
Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara
Dinamis
Bidang ilmu : Konstruksi Manufaktur

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

Medan, 04 Maret 2019

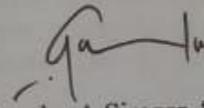
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



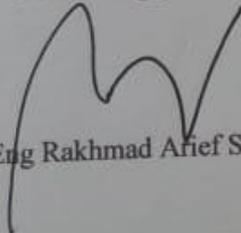
Ahmad Marabdi Siregar, S.T.,M.T

Dosen Penguji II



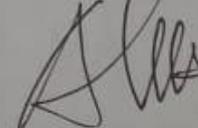
Chandra A Siregar, S.T.,M.T

Dosen Penguji III



Dr. Eng Rakhmad Arief Siregar

Dosen Penguji IV



Sudirman Lubis, S.T.,M.T



Program Studi Teknik Mesin
Ketua

Affandi, S.T.,M.T

HALAMAN PENGESAHAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rizki Maulana Rosandi
Tempat / Tanggal Lahir: Binjai Baru, 06 Mei 1995
NPM : 1407230262
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Kajian Experimen Deformasi Tekan Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Dinamis”,

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

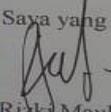
Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

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

Medan, 15 Maret 2019



Saya yang menyatakan,


Rizki Maulana Rosandi

ABSTRAK

Kekuatan impak suatu material menunjukkan kemampuan dari material untuk menyerap dan menghilangkan energi pada saat menerima benturan atau beban kejut. Menentukan kekuatan pembebanan dengan spesimen yang bervariasi, yaitu ukuran 2 mm, ukuran 4 mm, dan ukuran 6 mm, yang dilakukan pada saat pengujian impak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa lendutan yang terjadi pada bahan Aluminium terhadap kekuatan impak dengan spesimen yang berbeda. Sebelum melakukan pengujian maka terlebih dahulu melakukan pembuatan spesimen yang terbuat dari bahan aluminium sarang lebah. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan alat uji split hopkinson pressure bar dengan metode impak. Adapun hasil dari pengujian impak yang telah dilakukan adalah mendapatkan hasil dari impak, deformasi dan lendutan yang terjadi, dari semua percobaan yang telah dilakukan pengujian dengan spesimen ukuran yang berbeda. Dari perbandingan deformasi yang di dapat maka dapat di simpulkan semakin besar tekana bar yang di berikan maka semakin besar pula deformasi yang terjadi dan semakin kecil ukuran hexagonal spesimen maka semakin besar pula deformasi yang terjadi..

Kata kunci : *Aluminium, Struktur Sarang Lebah, Split Hopkinson Pressure Bar.*

ABSTRACT

The impact strength or material shows the ability of the material to absorb and eliminate energy when receiving shock or shock loads. Determine the loading force with varying specimens, namely 2 mm in size, 4 mm in size, and 6 mm in size, which is carried out during impact testing. This study aims to analyze the deflection that occurs in Aluminum materials with impact strength with different specimens. Before carrying out testing, first make specimens made of aluminum honeycomb. Then the test was carried out using a split hopkinson pressure bar test with the impact method. The results of the impact testing that have been done are to get the results of impact, deformation and slime that occur, from all experiments that have been tested with different size specimens. From the deformation comparison obtained, it can be concluded that the greater the pressure bar that is given, the greater the deformation that occurs and the smaller the hexagonal size of the specimen, the greater the deformation that occurs ..

Key words: Aluminum, Honeycomb Structure, Split Hopkinson Pressure Bar.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Kajian Experimen Deformasi Tekan Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Dinamis” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

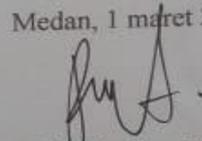
Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Dr. Eng, Rakhmad Arief Siregar Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Sudirman Lubis S.T., M.T, selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T, Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal Selaku Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T, Selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T, Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Edi Surya dan Rosilawati Dalimunthe, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.

9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Citra Aprilia, Iqbal Yamin, Alfi Syahrin, Nolan Syah Priatindo, Rizki Akbar, Reza Septiawan, Azhar Waditiayasmoro, Sandi Irawan dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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

Medan, 1 maret 2019



Rizki Maulana Rosandi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Peneliti	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2. Komposit	4
2.1.1 Kelebihan Komposit	4
2.1.2 Kekurangan Komposit	5
2.1.3 Klasifikasi Komposit	5
2.2 Komposit <i>sandwich</i>	6
2.3 Sarang Lebah (<i>Honeycomb</i>)	7
2.3.1 Struktur Sarang Lebah (<i>Honeycomb</i>)	7
2.3.2 Fenomena Struktur Sarang Lebah	10
2.4 Aluminium	11
2.4.1 Klasifikasi Aluminium	11
2.5 Lendutan	12
2.6 Deformasi	14
2.6.1 Tegangan	16
2.6.2 Regangan	16
2.6.3 Sensor Strain Gauge	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian	19
3.1.1 Tempat Penelitian	19
3.1.2 Waktu Penelitian	19
3.2 Bahan dan Alat	19
3.2.1 Bahan	19
3.2.2 Alat Penelitian	21
3.3 Diagram Alir Penelitian	28
3.3.1 Keterangan Diagram Alir	29
3.4 Proses Pembuatan Sarang Lebah (<i>honeycomb</i>)	30
3.2.3 Alat Uji Impak Hopkinson Vertikal	19

3.5 Prosedur Penelitian	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASA	35
4.1 Hasil Pembuatan Cetakan Spesimen Ukuran 4 mm	35
4.2 Hasil Proses Pembuatan Sarang Lebah	35
4.3 Hasil Pembuatan Spesimen Sarang Lebah	36
4.4 Hasil Pengujian 7 Bar	37
4.4.1 Pengujian Impak Dengan Spesimen 2 mm	37
4.4.2 Pengujian Impak Dengan Spesimen 4 mm	38
4.4.3 Pengujian Impak Dengan Spesimen 6 mm	39
4.5 Pengukuran Lendutan Pada Benda Uji	40
4.5.1 Pengukuran Lendutan Spesimen Ukuran 2 mm	40
4.5.2 Pengukuran Lendutan Spesimen Ukuran 4 mm	40
4.5.3 Pengukuran Lendutan Spesimen Ukuran 6 mm	41
4.6 Hasil Pengujian 6 Bar	41
4.6.1 Pengujian Impak Dengan Spesimen 2 mm	41
4.6.2 Pengujian Impak Dengan Spesimen 4 mm	42
4.6.3 Pengujian Impak Dengan Spesimen 6 mm	43
4.7 Pengukuran Lendutan Pada Benda Uji	44
4.7.1 Pengukuran Lendutan Spesimen Ukuran 2 mm	44
4.7.2 Pengukuran Lendutan Spesimen Ukuran 4 mm	44
4.7.3 Pengukuran Lendutan Spesimen Ukuran 6 mm	45
4.8 Data Pengujian Tegangan Impak	46
4.8.1 Hasil Grafik Tegangan Pengujian 7 Bar	46
4.8.1 Hasil Grafik Tegangan Pengujian 6 Bar	46
4.10 Hasil dan Pembahasan	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat Aluminium	12	
Tabel 2.2	Modulus Elastitas Bahan	17	
Tabel 3.1	Jadwal Waktu Dan Penelitian saat Melakukan Penelitian		19
Tabel 3.2	Sifat Mekanik Bahan Aluminium	20	
Tabel 4.4	Tabel 4.1 Grafik Hasil Percobaan Pada Tekanan Bar	48	
Tabel 4.2	Data Hasil Percobaan Pengujian Impak	48	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentuk Sel Sarang Lebah	9
Gambar 2.2	Struktur Sarang Lebah	10
Gambar 2.3	Balok Sebelum Deformasi	13
Gambar 2.4	Regangan dan Tegangan Deformasi	15
Gambar 3.1	Lembaran Aluminium	20
Gambar 3.2	Lem Fox	20
Gambar 3.3	Penggaris	21
Gambar 3.4	Pisau <i>curter</i>	21
Gambar 3.5	Alat Uji Split Hopkinson Pressure Bar (SPHB)	22
Gambar 3.6	Strain Gauge	22
Gambar 3.7	Picoscope	23
Gambar 3.8	Bridge Box (Wheatstone Bridge)	23
Gambar 3.9	Personal Computer	24
Gambar 3.10	Kompresor (Gas Gun)	24
Gambar 3.11	Solenoid Valve	25
Gambar 3.12	Selang Angin	25
Gambar 3.13	Tombol Switch	26
Gambar 3.14	Cetakan Spesimen Hexagonal Ukuran 6 mm	26
Gambar 3.15	jig	26
Gambar 3.16	Cetakan Spesimen Hexagonal Ukuran 4 mm	27
Gambar 3.17	Cetakan Spesimen Hexagonal Ukuran 2 mm	27
Gambar 3.18	Kertas Milimeter	27
Gambar 3.19	Diagram Alir	28
Gambar 3.20	Sit Up Alat Uji Split Hopkinson Pressure Bar	31
Gambar 3.21	Pemasangan <i>Solenoid</i>	32
Gambar 3.22	Memasang Tombol Switch	32
Gambar 3.23	Mengisi Tekanan Angin	32
Gambar 3.24	Memasang Strain Gages	32
Gambar 3.25	Pemasangan Kabel Strain Gages	33
Gambar 3.26	Pemasangan Bridge Box	33
Gambar 3.27	Pemasangan Oscilloscop	33
Gambar 3.28	pemasangan <i>Autput oscillocoscop</i> pada PC (Leptop)	34
Gambar 3.29	Pemasangan Striker Bar	34
Gambar 3.30	Penyetelan Picoscope	34
Gambar 3.31	Proses Pengujia Spesimen	34
Gambar 4.1	Hasil Pembuatan Cetakan Spesimen Ukuran 4 mm	35
Gambar 4.2	Hasil Memotong Plat Aluminium	35
Gambar 4.3	Hasil Pencetakan/Pembuatan inti(<i>core</i>)	36
Gambar 4.4	Hasil Pengelememan Inti <i>Core</i>	36
Gambar 4.5	Hasil Pembuatan Spesimen Ukuran 2 mm	36
Gambar 4.6	Hasil Pembuatan Spesimen Ukuran 4 mm	37

Gambar 4.9	Spesimen Sesudah Diuji	38
Gambar 4.10	Spesimen Sebelum Diuji	39
Gambar 4.11	Spesimen Sesudah Diuji	39
Gambar 4.12	Spesimen Sebelum Diuji	39
Gambar 4.13	Spesimen Sesudah Diuji	40
Gambar 4/14	Pengukuran Lendutan Spesimen 2 mm	40
Gambar 4.15	Pengukuran Lendutan Spesimen 4 mm	40
Gambar 4.16	Pengukuran Lendutan Spesimen 6 mm	41
Gambar 4.17	Grafik lendutan 7 bar	41
Gambar 4.18	Spesimen Sebelum Diuji	42
Gambar 4.19	Spesimen Sesudah Diuji	42
Gambar 4.20	Spesimen Sebelum Diuji	43
Gambar 4.21	Spesimen Sesudah Diuji	43
Gambar 4.22	Spesimen Sebelum Diuji	43
Gambar 4.23	Spesimen Sesudah Diuji	44
Gambar 4/24	Pengukuran Lendutan Spesimen 2 mm	44
Gambar 4.25	Pengukuran Lendutan Spesimen 4 mm	44
Gambar 4.26	Pengukuran Lendutan Spesimen 6 mm	45
Gambar 4.27	Grafik lendutan 7 bar	45
Gambar 4.28	Grafik Tegangan Tekanan 7 Bar	46
Gambar 4.29	Grafik Tegangan Tekanan 6 Bar	47
Gambar 4.30	Grafik Perbandingan Hasil Lendutan	48

DAFTAR NOTASI

Notasi		Satuan
σ	= Tegangan	(<i>MPa</i>)
E	= Modulus elastisitas	(Mpa)
ϵ_0	= Regangan	
E	= Baterai	(v)
e_0	= Output voltage baterai	(v)
Ks	= Gage factor pada strain gauge)	
ϵ	= Regangan	
δ	= Lendutan	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pada saat ini berkembang sangat pesat seiring dengan berjalannya waktu dan berkembangnya pola pikir manusia. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan manusia akan kemudahan dan efisiensi dalam bidang perindustrian. Dalam perkembangan dunia industri, terutama yang berhubungan dengan penelitian bahan dan penggunaannya.

Pemanfaatan struktur *sandwich* dalam industri telah berkembang pesat. Beberapa industri yang membutuhkan konstruksi ringan, kaku dan kuat telah memanfaatkan struktur ini. Industri yang telah memanfaatkan struktur ini diantaranya industri pesawat terbang, perkapalan, otomotif dan bangunan. Keunggulan yang dimiliki oleh struktur ini diperoleh dari *core* ringan yang terletak diantara dua *skin*.

Struktur *Honeycomb Sandwich* merupakan struktur (material) alami atau buatan manusia yang memiliki geometri sarang lebah (*Honeycomb Sandwich*) untuk meminimalisasi jumlah material yang digunakan untuk mencapai bobot yang minimal dan biaya yang relatif murah, sehingga didapatkan massa yang ringan terhadap konstruksi tersebut.

Maka dalam proses produksinya banyak menggunakan alat-alat atau mesin untuk menguji kualitas suatu material, salah satunya kekuatan dari material tersebut. Penggunaan mesin tersebut banyak digunakan oleh perusahaan besar maupun kecil, mesin mempunyai berbagai jenis klasifikasi yang sesuai dengan kebutuhan dilapangan. Adapun jenis mesin yang digunakan untuk mempertimbangkan faktor-faktor statis dan dinamis untuk menentukan kekuatan suatu material.

Untuk setiap material yang ditumpu akan melendut apabila padanya diberikan beban yang cukup besar, lendutan material untuk setiap titik dapat dihitung dengan menggunakan metode diagram atau cara integral ganda dan untuk mengukur gaya digunakan *load cell*. Lendutan material memegang peranan peralatan rumah tangga, dan bearing. Sedangkan laju korosi tembaga yang rendah

penting dalam konstruksi terutama konstruksi mesin, dimana pada bagian-bagian tertentu lendutan sangat tidak diinginkan.

Dalam pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji Split Hopkinson Bar. Pada dasarnya metode uji Split Hopkinson Pressure Bar merupakan pistol gas yang dibebankan dengan gas angin.

Dengan latar belakang ini maka penulis akan melakukan penelitian sebagai tugas sarjana dengan judul: **“Kajian Eperimen Deformasi Tekan Pada Struktur Sarang lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Dinamis”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah diuraikan maka rumusan masalah di dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menganalisa deformasi tekan dengan ukuran hexagonal yang berbeda pada struktur sarang lebah pada pengujian tekan dinamis dengan metode impak Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB)
2. Bagaimana cara mengevaluasi hasil deformasi tekan dengan ukuran hexagonal yang berbeda pada struktur sarang lebah yang diuji secara dinamis?

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup diperlukan untuk menghindari pembahasan atau pengkajian yang tidak terarah agar dalam pemecahan masalah dapat mudah dilaksanakan. Maka penulis akan membahas masalah yang berkaitan dengan.

1. Ukuran hexagonal pada struktur sarang lebah yang di gunakan adalah diameter 2 mm 4 dan 6 mm, dengan bahan aluminium.
2. Pengujian menggunakan metode impak Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB)
3. Pengujian dilakukan dengan tekanan bar sebesar 6 bar dan 7 bar
4. Jarak streker bar yang digunakan yaitu dengan jarak 1500 mm

agi akademik, penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi tambahan untuk penelitian tentang pengujian tarik tembaga paduan

1. Bagi industri dapat digunakan Sebagai acuan atau pedoman dalam pengujian bahan tembaga

1.4 Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk mengetahui “Deformasi tekan pada struktur sarang lebah dengan variasi ukuran hexagonal yang diuji secara dinamis”.

Adapun tujuan khusus dalam penelitian ini. Diantaranya sebagai berikut:

1. Untuk menganalisa deformasi pada pengujian dinamis.
2. Untuk mengevaluasi hasil pengujian berupa pola kerusakan pada struktur sarang lebah.

1.4 Manfaat penelitian

Adapun manfaat yang dapat diperoleh, diantaranya:

1. Memberikan informasi tentang pengujian kekuatan menggunakan metode Split Hopkinson pressure Bar (SHPB).
2. Memberikan informasi tentang deformasi tekan pada struktur sarang lebah dengan variasi ukuran hexagonal yang diuji secara dinamis.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Komposit

Komposit adalah suatu bahan hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing masing bahan berbeda satu sama lainnya, baik sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut.

Bahan komposit pertama kali digunakan di Pesawat Militer di Indonesia 1960-an dan kemudian diperluas ke Pesawat Sipil pada tahun 1970-an. Tapi, produsen Pesawat terbang lebih lambat memanfaatkan komposit di primer bagian struktural sampai tahun 2000-an. Sebagai produsen pesawat terbang terkemuka, komposit di gunakan tidak hanya untuk sifat strukturalnya, tetapi juga untuk Kelistrikan, Suhu, Tribologikal, dan Lingkungan Aplikasi. Material komposit modern biasanya dioptimalkan untuk mencapai suatu keseimbangan sifat tertentu untuk berbagai aplikasi yang diperlukan. (Xiaochao Jin. 2016)

2.1.1 Kelebihan Komposit

Pada umumnya pemilihan bahan matriks dan serat memainkan peranan penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dan sifat komposit. Kelebihan tersebut pada umumnya dapat dilihat dari beberapa sudut yang penting, seperti sifat-sifat mekanikal dan fisikal. Seperti yang di uraikan dibawah ini:

- a. Bahan komposit mempunyai *density* yang jauh lebih rendah berbanding dengan bahan konvensional. Memberikan implikasi yang penting dalam konteks penggunaan karena komposit akan mempunyai kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi dari bahan konvensional.
- b. Dalam industri angkasa lepas terdapat kecenderungan untuk menggantikan komponen yang di perbuat dari logam dengan komposit karena telah terbukti komposit mempunyai rintangan terhadap *fatigue* yang baik terutamanya komposit yang menggunakan serat karbon.
- c. Bahan komposit juga mempunyai kelebihan dari segi *versatility* (berdaya guna) yaitu produk yang mempunyai gabungan sifat-sifat yang menarik yang dapat dihasilkan dengan mengubah sesuai jenis matriks dan serat yang digunakan.

Contoh dengan menggabungkan lebih dari satu serat dengan matriks untuk menghasilkan komposit.

- d. Massa jenis rendah (ringan).
- e. Lebih kaku (*Stiff*), ulet (*Tough*), tidak getas (*Brittle*), dan lebih ringan.
- f. Perbandingan kekuatan dan berat yang menguntungkan.
- g. Koefisien pemuaian yang rendah.
- h. Tahan terhadap cuaca dan korosi.
- i. Proses manufaktur mudah (dibentuk).

2.1.2. Kekurangan Komposit

Dampak pada struktur komposit umumnya dalam arah melintang (yaitu normal ke bidang serat), yang dengan tidak adanya penguatan *through* ketebalan relatif resistensi kerusakan rendah. Oleh karena itu salah satu kekurangan utama struktur sarang lebah adalah resistensi miskin mereka berdampak. Adapun kekurangan bahan komposit diantaranya sebagai berikut:

- a. Tidak tahan terhadap beban kejut (*shok*) dan tabrak (*crash*).
- b. Kurang elastis.
- c. Lebih sulit dibentuk secara plastis.

Unsur dari pembentuk komposit yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat yang disebut matrik. Secara prinsip, komposit dapat tersusun dari berbagai kombinasi atau lebih bahan.

2.1.3 Klasifikasi Komposit

Serat komposit berdasarkan penguat dapat di kategorikan oleh komposisi Kimia, Morfologi Struktural, dan Komersional Fungsi. Komposit diklasifikasikan dalam dua tingkat yang berbeda. Tingkat pertama yaitu termasuk komposit organik matrik (OMCS), komposit logam matrik (MMC) dan komposit keramik matrik (CMC). Tingkat kedua yaitu komposit polimer matrik (PMC). Fungsi penting matriks dalam komposit yaitu:

- a. Mengikat serat menjadi satu dan mentransfer beban keserat hal ini akan menghasilkan kekakuan dan membentuk struktur komposit.
- b. Mengisolasi serat sehingga serat tunggal dapat berlaku terpisah. Hal ini dapat menghentikan atau memperlambat penyebaran retakan.
- c. Memberikan suatu permukaan yang lebih baik kualitas akhir komposit dan menyokong produksi bagian yang berbentuk benang-benang.

- d. Memberikan perlindungan untuk memprkuat serat terhadap serangan kimia dan kerusakan mekanik karena pemakaian.
- e. Berdasarkan matrik yang di gunakan, karakteristik performansi meliputi kelenturan, kekuatan impak, dan sebagainya juga turut dipengaruhi. Sebuah matrik yang ulet akan meningkatkan ketangguhan struktur komposit.

Berdasarkan strukturnya komposit di bedakan atas tiga bagian yaitu:

- a. *Fibrous Composite Materials* (komposit serat) terdiri dari dua komponen penyusun yaitu matrik dan serat.
- b. *Particulate Composite Materials* (komposit partikel) merupakan jenis komposit yang menggunakan partikel/butiran sebagai *filler* (pengisi), partikel logam atau non logam dapat digunakan sebagai *filler*.
- c. *Structural Composite Materials* (komposit berlapis) minimal terdiri dari dua material yang berbeda yang direkatkan bersama-sama. Proses dilakukan dengan menggabungkan aspek yang terbaik dari setiap masing-masing lapisan untuk memperoleh hasil yang baik.

2.2. Komposit *Sandwich*

Komposit sandwich ini merupakan jenis komposit struktur yang potensial untuk dikembangkan dalam aplikasi manufaktur. Struktur komposit *sandwich* terdiridaridua buah permukaan(*skin*) tipis, kaku dan kuat yang diikat dengan inti (*core*) tebal, ringan dan lemah memakai bahan perekat(*adhesive*). Inti/*core* sebuah komposit *sandwich* dibuat ringan, harganya murah, harus mampu menjamin permukaan yang didukung dan dipisahkan, dapat bekerja sebagai satu kesatuan serta harus tahan terhadap beban geser transversal dan normal transversal. Material *core* yang sering digunakan dalam penelitian antara lain kayu (sengon laut, balsa), *Foam (PVC,PU)*, stuktur *honeycomb* dan lain-lain (Buitrago Brenda L).Adapun bagian dari komposit *sandwich* antara lain: (Xiaochao jin.2016)

a. *Skin*

Merupakan bagian yang berfungsi untuk menahan *tensile* dan *compressive stress*, *skin* biasanya mempunyai rigid atau tingkat kekakuan yang rendah. Material-material konvensional seperti aluminium, baja, stainless steel bisa digunakan untuk bagian ini.

Material-material yang berbentuk plastik yang diperkuat dengan serat gelas dan fiber adalah pilihan yang baik karena bahan ini memiliki keunggulan seperti mudah untuk digabungkan, desain dapat dirancang sesuai dengan kebutuhan, serta bentuk permukaan yang baik.

b. Core

Merupakan bagian yang sangat penting dari *sandwich*, dimana *core* harus memiliki bagian yang cukup yang cukup kaku agar jarak antara permukaan terjaga dengan kekakuan yang dimiliki oleh *core* harus mampu menahan geseran agar tidak terjadi slide antar permukaan. Bahan dengan tingkat kekakuan yang rendah tidak baik untuk *core*, karena kekakuan pada *sandwich* akan berkurang atau hilang. Tidak hanya kuat dan memiliki densitas yang rendah, *core* biasanya memiliki syarat lain, seperti tingkat kadar air, *buckling*, umur yang panjang dan lain sebagainya.

c. Adhesive

Adalah suatu bahan yang akan merekatkan antara *skin* dan *core*, selain untuk merekatkan *adhesive* juga harus mentrasfer gaya geser antara *skin* dan *core* agar kekuatan dari *sandwich* tetap terjaga. *Adhesive* juga harus mampu menjaga regangan dan gaya geser. (J.Wang, 2007)

2.3. Sarang Lebah(*Honeycomb*)

Sarang lebah (*Honeycomb*) adalah struktur buatan manusia yang mempunyai *geometri* yang berbentuk segi enam beraturan dengan panjang dan sisi sudut yang sama. Bentuk ini memungkinkan material memiliki bobot minimal dengan kekakuan dan daya tahan yang tinggi namun tetap memiliki biaya produksi yang rendah. Bentuk ini umumnya digunakan pada aplikasi Kedirgantaraan, Transportasi, Kontruksi Bangunan dan banyak lagi Industri-Industri yang lainnya,

Bentuk sarang lebah (*Honeycomb*) memiliki kelebihan dibanding dengan material konvensional lainnya, antara lain:

1. Ringan
2. Memiliki kekuatan yang baik
3. Tahan lama
4. Mengurangi biaya produksi

2.3.1 Struktur Sarang Lebah (*Honeycomb*)

Struktur *Honeycomb* terdiri dari berbagai macam material dan konfigurasi yang tidak terbatas. Struktur *Honeycomb* umumnya terbuat dari material komposit, sehingga didapatkan massa yang ringan terhadap konstruksi tersebut. Selain ditujukan kepada massa material konstruksi yang ringan, juga didapatkan tingkat fleksibilitas yang cukup besar dari pemilihan material komposit tersebut. Pertimbangan struktural pada sarang lebah (*Honeycomb sandwich*) yaitu:

(Cristelle Combescure.2017)

a. Kekuatan

Inti dari struktur Honeycomb Sandwich ini dan material lapisan yang memiliki sifat mekanik yang baik dapat menghasilkan peningkatan material terhadap kekuatannya. Selain itu perawatan terhadap kerusakan maupun kecacatan material harus selalu diperiksa berjangka untuk memastikan bahwa tidak ada perubahan bentuk atau kelainan lainnya yang dapat membuat konstruksi dari Honeycomb Sandwich tersebut berkurang kekuatannya.

b. Kekakuan

Struktur Honeycomb Sandwich yang sering digunakan untuk mendapatkan kekakuan yang tinggi dan juga bobot yang ringan. Gaya geser yang bekerja pada core relative rendah, namun pemilihan material yang tepat harus tepat untuk memungkinkan tegangan geser yang terjadi. Selain itu factor perekatan lapisan material atas dan bawah terhadap inti (*core*) juga berpengaruh terhadap pertimbangan struktural ini.

c. Temperatur

Pemilihan material yang tepat terhadap Honeycomb Sandwich untuk dapat bekerja secara baik umumnya berkisar pada temperatur -55°C - 170°C .

d. *Flammability*

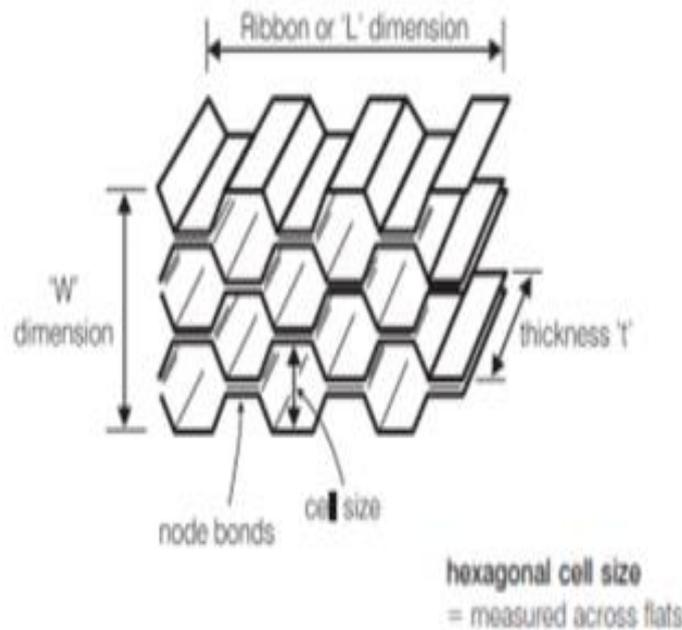
Flammability ini terdiri dari 3 yaitu:

- Tidak terbakar (tahan mula terbakar)
- Dapat mengurangi penyebab peningkatan api ketika terbakar
- Dapat memisahkan terjadinya peningkatan terbakar pada material

e. *Heat Transfer*

Perpindahan panas seperti konduksi, konveksi dan radiasi bergantung kepada pemilihan material tersebut. Akan tetapi struktur Honeycomb Sandwich lebih baik untuk ketiga perpindahan panas tersebut dibandingkan dengan struktur konvensional lainnya.(Wei Huang, 2016)

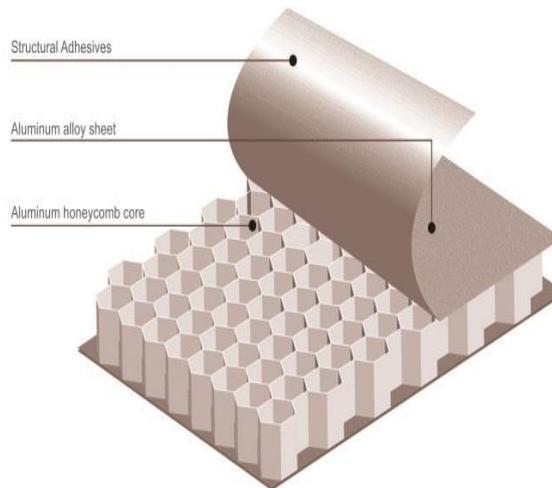
Umumnya bentuk sel pada struktur Honeycomb Sandwich ini berbentuk segi enam dengan ukuran yang berbeda-beda sesuai kebutuhan dan memungkinkan ada pengembangan selanjutnya yang memvariasikan bentuk-bentuk khusus guna mendapatkan karakteristik tertentu dari penggunaan Honeycomb Sandwich ini. spesifikasi pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bentuk Sel Sarang Lebah

Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/honeycombs_strukture

Goldsmith dan Sackman, menemukan bahwa daya tahan sarang lebah oleh lekukan lokal (yaitu oleh *indenters* dengan luas proyeksi yang lebih kecil dari luas permukaan sarang lebah) sekitar 15-18% lebih tinggi dari itu karena menghancurkan piring dengan *cross* daerah penampang sebagai indenter. Seperti gambar 2.2 struktur sarang lebah.



Gambar 2.2 Struktur Sarang Lebah

Sumber : <http://desetyawan.files.wordpress.com/2016/11/b2ee2-picture1.png>

Struktur sarang lebah ini juga akan memberikan karakteristik yang sangat bagus pada konstruksi material, seperti :

- a. Mempunyai kestabilan yang tinggi dan tidak mudah mengalami perubahan bentuk.
- b. Mempunyai kekuatan yang tinggi.
- c. Dapat diproduksi dalam waktu yang tak terhingga, mengingat bahan baku yang mudah didapatkan.
- d. Mempunyai daya tahan yang kuat.
- e. Mudah dirakit.

(Cristelle Combescure.2017)

2.3.2. Fenomena Struktur pada Sarang Lebah

Bentuk-bentuk tertentu yang dapat terguling secara keseluruhan, atau dapat pula komponennya gagal atau berubah bentuk. Berikut kita bahas fenomena tersebut.

- a. Masalah pertama ialah apabila suatu struktur pada sarang lebah mengalami beban horizontal seperti angin dan gempa.
- b. Masalah kedua adalah apabila bagian-bagian struktur tidak tersusun atau terhubung dengan baik.
- c. Masalah ketiga yaitu ada banyak masalah struktur disekitar kekuatan komponen struktur. Kerusakan komponen dapat berupa kerusakan akibat tarik, lentur, geser, torsi, gaya tumpu atau deformasi kelebihan.

1.5 2.4. Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dsb. Material ini digunakan di dalam bidang yang luas bukan hanya untuk peralatan rumah tangga saja tetapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi. Mengolah biji logam menjadi aluminium (Al) memerlukan energi yang besar, sedangkan sumber biji aluminium semakin sedikit. Salah satu usaha untuk mengatasi hal ini adalah dengan melakukan daur ulang. Karena keterbatasan yang ada seperti pada industri kecil (kasus pengecoran pada industri kecil) tidak semua menggunakan bahan baku murni, tetapi memanfaatkan aluminium sekrap ataupun reject material dari peleburan sebelumnya untuk dituang ulang (*remelting*).

(Ines Ivanez.2017)

2.4.1 Klasifikasi Aluminium

a. Aluminium Murni

Aluminium 99% tanpa tambahan logam paduan apapun dan dicetak dalam keadaan biasa, hanya memiliki kekuatan tensil sebesar 90 MPa, terlalu lunak untuk penggunaan yang luas sehingga seringkali aluminium dipadukan dengan logam lain.

b. Aluminium Paduan

Elemen paduan yang umum digunakan pada aluminium adalah silikon, magnesium, tembaga, seng, mangan, dan juga *lithium* sebelum tahun 1970. Secara umum, penambahan logam paduan hingga konsentrasi tertentu akan meningkatkan kekuatan tensil dan kekerasan, serta menurunkan titik lebur.

Jika melebihi konsentrasi tersebut, umumnya titik lebur akan naik disertai meningkatnya kerapuhan akibat terbentuknya senyawa, kristal, atau granula dalam logam. Namun, kekuatan bahan paduan aluminium tidak hanya bergantung pada konsentrasi logam paduannya saja.

c. Kekerasan Aluminium

Kekerasan aluminium dapat didefinisikan sebagai ketahanan logam terhadap indentasi. Nilai kekerasan berkaitan dengan kekuatan luluh logam karena

selama indentasi logam mengalami deformasi plastis. Luluh merupakan proses slip, luncur atau kembaran. Pada proses slip, struktur kisi antara daerah slip dan daerah tanpa slip terdislokasi. Batas antara daerah slip dan daerah tanpa slip disebut garis lokasi. (L.L, Hu 2015)

d. Sifat Aluminium

Sifat-sifat yang dimiliki aluminium antara lain:

1. Ringan, tahan korosi dan tidak beracun maka banyak digunakan untuk alat rumah tangga seperti panci, wajan dan lain-lain
2. *Reflektif*, dalam bentuk aluminium foil digunakan sebagai pembungkus makanan, obat, dan rokok.
3. Daya hantar listrik dua kali lebih besar dari Cu maka Al digunakan sebagai kabel tiang listrik.
4. Paduan Al dengan logam lainnya menghasilkan logam yang kuat seperti *Duralium* (campuran Al, Cu, mg) untuk pembuatan badan pesawat.

Tabel 2.1 Sifat Aluminium

No	Sifat	Keterangan
1	Densitas	2.8 g/cm ² (170 lb/ft ²)
2	Yield Strength	47 to 220 MPa (6.8 to 32 ×10 ³ psi)
3	Modulus Young	69 GPa (10×10 ⁶ psi)
4	Poisson Ratio	0,33

Sumber : <http://www.makeitfrom.com/material-properti/3105-almn0,5mg0,5-3.0505-n31-a93105-aluminium>

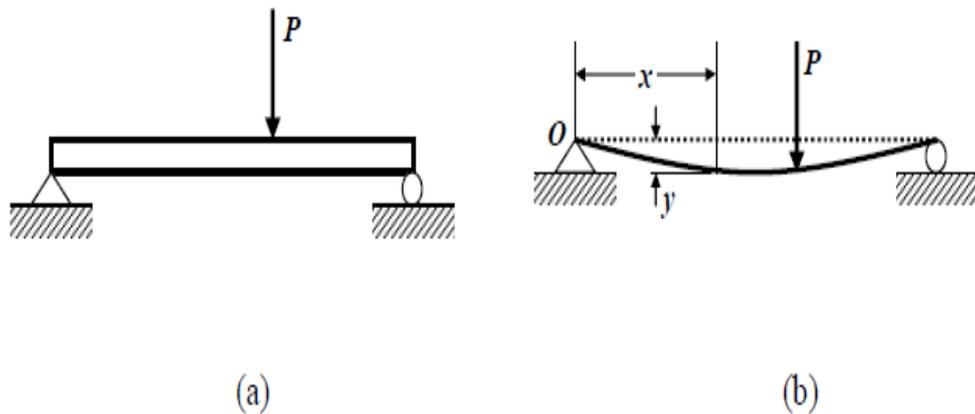
2.5. Lendutan (*Defleksi*)

Untuk setiap batang yang ditumpu akan melendut apabila padanya diberikan beban yang cukup besar, lendutan batang untuk setiap titik dapat dihitung dengan menggunakan metode diagram atau cara integral ganda dan untuk mengukur gaya digunakan *load cell*. Lendutan batang memegang peranan penting dalam konstruksi terutama konstruksi mesin, dimana pada bagian-bagian tertentu seperti pada poros, lendutan sangat tidak diinginkan.

Defleksi adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertical yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara

sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan *defleksi* balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan.

Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok. Gambar 2.3 (a) memperlihatkan balok pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan Gambar 2.3 (b) adalah balok dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan



Gambar 2.3(a) Balok sebelum terjadi deformasi,

(b) Balok dalam Konfigurasi terdeformasi

<http://bambangpurwantana.staff.ugm.ac.id/kekuatanbahan>

Jarak perpindahan y didefinisikan sebagai defleksi balok. Dalam penerapan, kadang kita harus menentukan defleksi pada setiap nilai x disepanjang balok. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan yang sering disebut persamaan defleksi kurva (kurva elastis) dari balok. Sistem struktur yang di letakkan horizontal dan yang terutama diperuntukkan memikul beban lateral, yaitu beban yang bekerja tegak lurus sumbu aksial batang.

Beban semacam ini khususnya muncul sebagai beban gravitasi, seperti misalnya bobot sendiri, beban hidup *vertical*, beban keran (*crane*) dan lain-lain. Contoh sistem balok dapat dikemukakan antara lain, balok lantai gedung, gelangang jembatan, balok penyangga keran, dan sebagainya. Sumbu sebuah batang akan terdeteksi dari kedudukannya semula bila benda dibawah pengaruh gaya terpakai. Dengan kata lain suatu batang akan mengalami pembebanan *transversal* baik itu beban terpusat maupun terbagi merata akan mengalami *defleksi*.

Unsur-unsur dari mesin haruslah cukup tegar untuk mencegah ketidak barisan dan mempertahankan ketelitian terhadap pengaruh beban dalam gedung-gedung, balok lantai tidak dapat melentur secara berlebihan untuk meniadakan pengaruh psikologis yang tidak diinginkan para penghuni dan untuk memperkecil atau mencegah dengan bahan-bahan jadi yang rapuh.

Begitu pun kekuatan mengenai karakteristik deformasi dari bangunan struktur adalah paling penting untuk mempelajari getaran mesin seperti juga bangunan-bangunan stasioner dan penerbangan, dalam menjalankan fungsinya, balok meneruskan pengaruh bebangravitasi keperletakan terutama dengan mengandalkan aksi lentur, yang berkaitan dengan gaya berupa momen lentur dan geser walaupun timbul aksinormal, itu terutama ditimbulkan oleh beban luar yang relative kecil, misalnya akibat gaya gesek rem kendaraan pada gelagar jembatan, atau misalnya akibat perletakan yang dibuat miring.(L.L.Hu. 2010)

Hal-hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu :

- Kekakuan batang.
- Semakin kaku suatu batang maka lendutan batang yang akan terjadi pada batang akan semakin kecil.
- Besarnya kecil gaya yang diberikan.
- Besar-kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi.

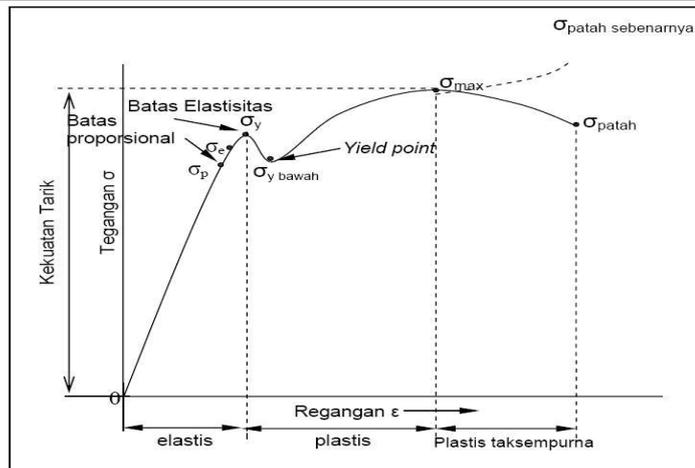
Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadi pun semakin kecil.

1.6 2.6. Deformasi

Plastisitas adalah sifat yang dimiliki oleh suatu material, yaitu ketika beban yang diberikan kepada suatu benda atau material hingga mengalami perubahan bentuk kemudian dihilangkan lalu benda tidak bisa kembali sepenuhnya ke bentuk semula.

Peningkatan pembebanan yang melebihi kekuatan luluh (*Yield Strength*) yang dimiliki plat mengakibatkan aliran deformasi permanen yang disebut plastisitas. Menurut Mondelson (1983), besarnya deformasi yang telah dialami oleh suatu material dinyatakan dengan perubahan luas area penampang, dan dinyatakan dengan derajat reduksi, untuk menghitung derajat reduksi tersebut dinyatakan dalam persamaan (2-1) berikut:

$$100 \times (V_0 - V_1) / A_0 \quad (2-1)$$



Gambar 2.4 Regangan dan tegangan deformasi

Sumber : <http://xsinaw.wardprees.com/2016/09/02/plastis-fisika-mudad/>

Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan yang telah mengalami deformasi total. Jika beban Deformasi akan terjadi bila material bahan mengalami gaya, selama deformasi bahan menyerap energi, sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi. Sekecil apapun gaya yang bekerja, maka benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. perubahan bentuk secara fisik ini disebut deformasi, deformasi terbagi dua macam yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Yang dimaksud dengan deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban ditiadakan, maka material akan kembali ke ukuran semula. sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang sifatnya permanen apabila beban dilepas.

Tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*), adapun persamaan 2-1 dan 2-2, regangan tegangan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2-2)$$

Sehingga deformasi dapat diketahui:

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E} \quad (2-3)$$

1.6.1 2.6.1. Tegangan (*Stress*)

Tegangan adalah tahanan material terhadap gaya atau beban, tegangan diukur dalam bentuk gaya per luas. Tegangan normal adalah tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan dimana tegangan tersebut diterapkan. Tegangan normal berupa tarikan atau tekanan. Satuan aluminium (Al) untuk tegangan normal adalah Newton per meter kuadrat (N/m^2) atau pascal (Pa). Tegangan dihasilkan dari gaya seperti: tarikan, tekanan atau geseran yang menarik, mendorong, melintir, memotong atau mengubah bentuk potongan bahan dengan berbagai cara. Cara lain untuk mendefinisikan tegangan adalah dengan menyatakan bahwa tegangan adalah jumlah gaya dibagi luas permukaan dimana gaya tersebut bereaksi.

Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*) dengan persamaan (2-4) berikut.

$$\sigma = E / A \tag{2-4}$$

1.6.2 2.6.2. Regangan (*Strain*)

Regangan didefinisikan sebagai perubahan ukuran bentuk material dari panjang awal sebagai hasil dari gaya yang menarik atau menekan pada material. Apabila suatu spesimen struktur material diikat pada jepitan mesin penguji dan beban serta penambahan panjang spesifikasi diamati serempak, maka dapat digambarkan pengamatan grafik dimana ordinat menyatakan beban dan absis menyatakan pertambahan panjang. Batasan sifat elastis perbandingan regangan dan tegangan akan linier akan berakhir sampai pada titik mulur. Hubungan tegangan dan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai pada batasan fase sifat plastis. Menurut Marciniak dkk (2002), regangan dibedakan menjadi dua yaitu: *engineering strain* dan *true strain*. *engineering strain* adalah regangan yang dihitung menurut dimensi benda aslinya (panjang awal). Sehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang semula seperti persamaan 2-5 dibawah ini.

$$\mathcal{E}_{eng} = \frac{l - l_0}{l_0} 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \tag{2-5}$$

Tabel 2.2 Modulus Elastis Bahan

Bahan	Modulus Young (Pa)
-------	-----------------------

Aluminium	7×10^{10}
Baja	20×10^{10}
Besi	21×10^{10}
Karet	0,05
Kuningan	9×10^{10}
Nikel	21×10^{10}
Tembaga	11×10^{10}
Timah	$1,6 \times 10^{10}$
Beton	$2,3 \times 10^{10}$
Kaca	$5,5 \times 10^{10}$
Wolfram	41×10^{10}

Hukum Hooke menyangkut aspek proporsionalitas antar gaya dan perpindahan, tegangan dan regangan, gaya luar dan gaya dalam. hukum hooke merupakan hukum yang sangat penting dan sentral dalam kaitan hubungan antara gaya dan perpindahan. Tekanan itu kemudian dihubungkan dengan regangan sesuai dengan hukum Hooke yang berbunyi: *Modulus elastis* adalah *rasio* tekanan dan regangan. Dengan demikian jika *modulus elastis* adalah sebuah permukaan benda dan regangan telah diketahui, maka tekanan bisa ditentukan dengan persamaan (2-6) yaitu:

$$e = \Delta L / L \quad (2-6)$$

2.6.4 Jembatan Wheatstone Strain Gauge

Adapun rumus dari jembatan wheatstone yang digunakan pada pengujian ini

$$\epsilon O = \frac{4.eo}{E.Ks}$$

2.6.5 Sensor Strain Gauge

Strain gauge adalah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan maupun regangan setelah streker bar menekan spesimen. Strain gauge diletakan pada

input bar yang akan menekan spesimen. Sensor strain gauge ini akan dimasukkan kedalam rangkaian jembatan wheatstone yang kemudian akan diketahui berapa besar tahanan pada strain gauge. Tegangan keluar dari jembatan wheatstone merupakan sebuah ukuran regangan yang terjadi akibat tekanan dari setiap elemen pengindra spesimen.

Degradasi kinerja struktural seringkali disebabkan oleh material, geometri cacat / kerusakan dalam struktur, yang dapat di cerminkan oleh respon vibrasi terukur. Untuk secara memadai dan akurat melaksanakan evaluasi kinerja, sistem akuisi data perlu disiapkan secara tepat tujuan mengupulkan informasi yang bermanfaat (Zhou K., Wu Z.Y.2016)

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Kekuatan Material Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, JL. Kapten Muchtar Basri, No.3 Medan.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dan kegiatan pengujian dilakukan sejangka usulan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara seperti yang tertera pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel; 3.1 Jadwal Waktu dan Penelitian Saat Melakukan Penelitian

No	Kegiatan	Waktu									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Studi literature	■	■	■	■						
2	Penyempurnaan Alat		■	■	■						
3	Pembuatan Specimen			■	■	■					
4	Pelaksanaan Pengujian				■	■	■				
5	Penyusunan T.A					■	■	■			
6	Penyelesaian T.A							■	■	■	■

3.2 Bahan dan Alat

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, sebagai berikut;

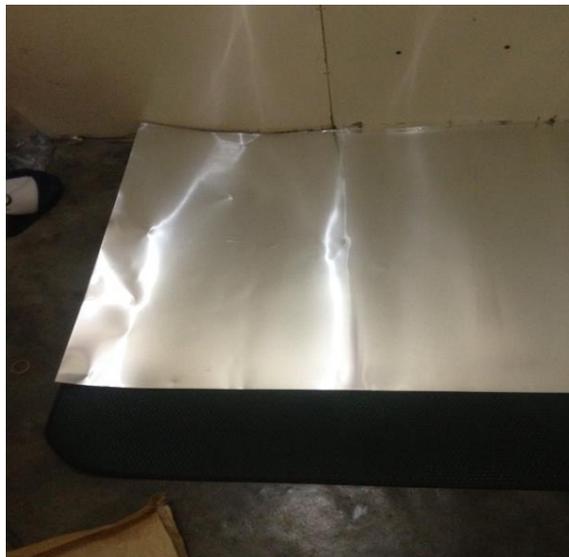
3.2.1 Bahan

- a. Lembaran Aluminium

Lembaran aluminium 0,4 mm yang digunakan untuk membuat care struktur sarang lebah yang dibentuk menggunakan alat pencetak core, lembaran aluminium 0,4 mm digunakan sebagai kulit ata *skin sandwich* sarang lebah adapun sifat fisik dari plat aluminium tersebut ada pada tabel 3.2 dibawah ini

Tabel 3.2 Sifat Mekanik Bahan Aluminium

N o	Sifat	Keterangan
1	Densitas	2.8 g/cm ² (170 lb/ft ²)
.	Yield Strenght	47 to 220 MPa (6.8 to 32 ×10 ³ psi)
2	Modulus Young	69 GPa (10×10 ⁶ psi)
.	Poison Ratio	0,33
3		
.		
4		
.		



Gambar 3.1 Lembaran Aluminium

b. Lem Serbaguna

Lemini digunakan karena mempunyai karakteristik yang baik, dan lem ini berfungsi digunakan untuk menyatukan *core* dan *skin* pada struktur sarang lebah.



Gambar 3.2 Lem fox

c. Penggaris

Berfungsi sebagai alat ukur yang digunakan untuk mengukur plat aluminium yang akan digunakan.



Gambar3.3Penggaris

d. Pisau *Cutter*

Kegunaan dari pisau *cutter* ini yaitu untuk memotong plat aluminium yang sudah di ukur.



Gambar 3.4Pisau *Curtter*

3.2.2 Alat Penelitian

a. Alat uji Split Hopkinson Pressure Bar

Alat Uji SHPB adalah alat uji yang akan digunakan untuk mengetahui sifat suatu material. Fungsinya adalah untuk mengetahui sifat material yang diberikan tekanan dorong udara oleh kompresor yang akan menghasilkan gelombang sinyal, dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Alat Uji Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB)

b. Strain Gages

Strain Gages sebagai alat pengukur tegangan regangan yang terjadi, pada spesimen setelah pengujian, strain gages bermerek SKU14480 ini memiliki nilai resistansi $350 \pm 0,1$ ohm, dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Strain Gages

c. Picoscope

Picoscope merupakan alat *oscilloscope* yang dapat disambungkan dengan laptop atau PC Desktop yang dipergunakan untuk membaca nilai voltase yang dihasilkan V_{out} dari *Bridge box*. Dengan menggunakan picoscope ini dapat mempermudah dalam memperoleh

data saat melakukan percobaan pengujian. *Output* dari picoscope ini dapat langsung dilihat dengan menggunakan *personal computer* (PC) yang telah terhubung langsung dan memiliki aplikasi picoscope, dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Picoscope

d. Bridge Box

Bridge Box terdiri dari papan sirkuit cetak, 3 resistor dengan nilai hambatan 700 ohm (Ω), konektor BNC, Sambungan kabel mur, batrai 9 volt dapat di lihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Bridge Box (Wheatstone Bridge)

e. Personal Computer (PC)

Komputer di hubungkan dengan Oscilloscope yang akan menampilkan hasil gelombang sinyal tekanan yang terjadi pada saat pengujian, dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Personal Computer

f. Kompresor (Gas Gun)

Berdasarkan gambar 3.10 Kompresor digunakan sebagai tekanan berupa gas atau udara. Pada pengujian Split Hopkinson Pressure Bar ini, kompresor berfungsi untuk meningkatkan tekanan pada saat melepaskan tembakan pada striker bar. Yang kemudian akan mendorong ke arah input bar (Incident Bar) dan diteruskan ke arah output bar (transmitted bar)



Gambar 3.10 Kompresor (Gas Gun)

g. Selenoid Valve

Selenoid berfungsi untuk mengontrol saluran udara yang dikeluarkan oleh kompresor (gas gun). Selenoid ini memiliki 2 lubang, yaitu lubang inlet dan outlet yang dapat menutup dan membuka saluran udara pada saat yang kita inginkan, dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Selenoid Valve

h. Selang Angin

Merupakan bagian dari bahan yang digunakan untuk melakukan penguian. Selain angin dipasang pada ujung mulut kompresor dan ujung striker bar yang ditengah pada keduanya aka dipasang selenoid, dapat di lihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Selang Angin

i. Tombol Switch

Tombol ini dipasang pada selenoid yang berfungsi untuk membuka saluran angin (inlet) agar udara pada kompresor dapat mengalir, dapat dilihat pada



Gambar 3.13 Tombol Switch

- j. Cetakan specimen ukuran hexagonal 6 mm

Cetakan spesimen untuk membuat inti (*core*) pada struktur sarang lebah dapat dilihat pada gambar 3.14 dibawah ini:



Gambar 3.14 Cetakan specimen ukuran hexagonal 6 mm

- k. Jig

Jix berfungsi untuk meletakkan spesimen yang akan diuji



Gambar 3.15 Jig

- k. Cetakan specimen ukuran hexagonal 4 mm

Cetakan spesimen untuk membuat inti (*core*) pada struktur sarang lebah dapat dilihat pada gambar 3.16 dibawah ini:



Gambar 3.16 Cetakan specimen ukuran hexagonal 4 mm

l. Cetakan specimen ukuran hexagonal 2 mm

Cetakan spesimen untuk membuat inti (*core*) pada struktur sarang lebah dapat dilihat pada gambar 3.17 dibawah ini:



Gambar 3.17 Cetakan specimen ukuran hexagonal 2 mm

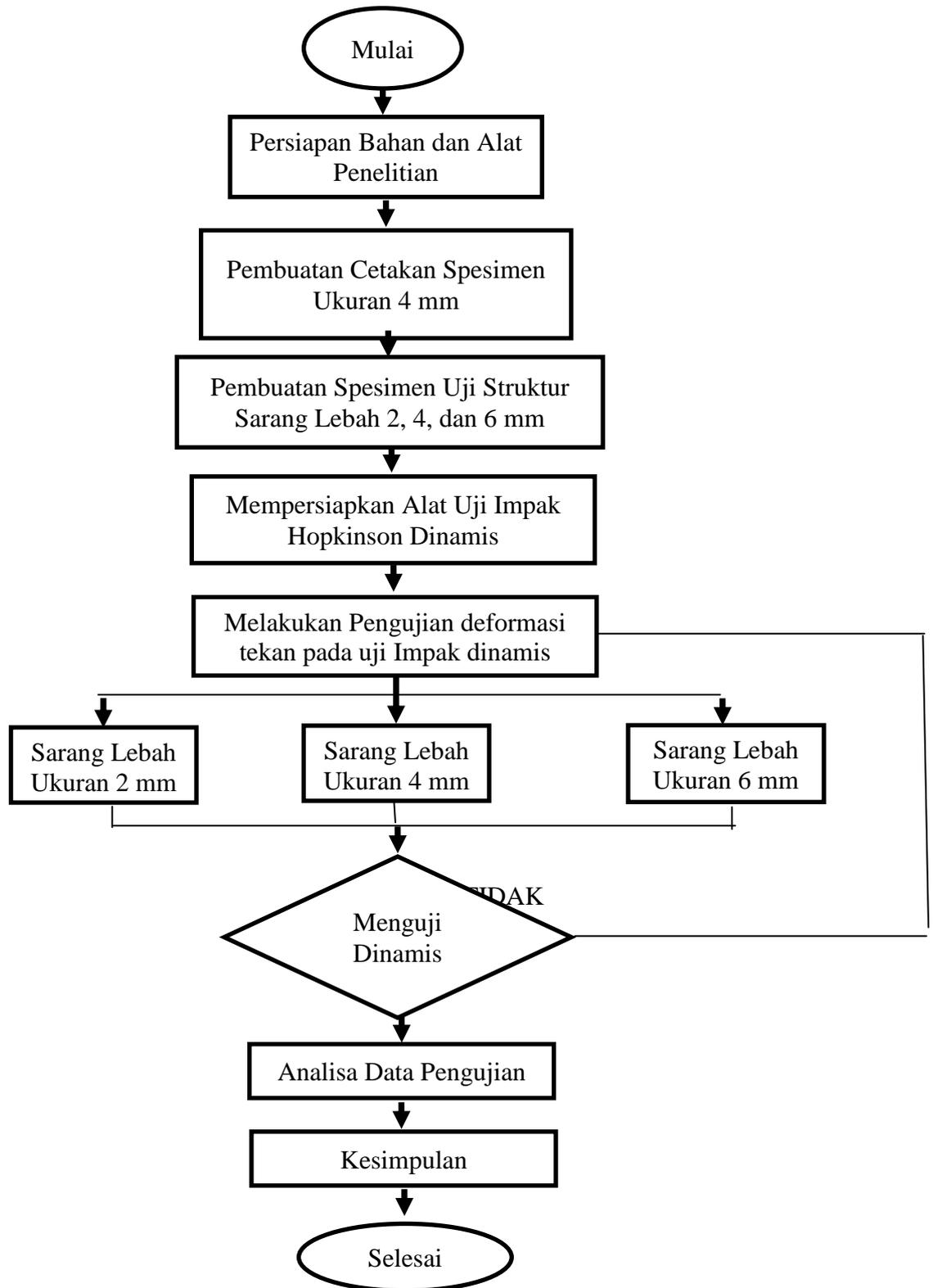
m. Kertas Milimeter

Kertas milimeter ini berfungsi untuk mengetahui posisi awal dan posisi akhir spesimen yg diuji.



Gambar 3.18 Kertas Milimeter

3.3 Diagram Alir Penelitian



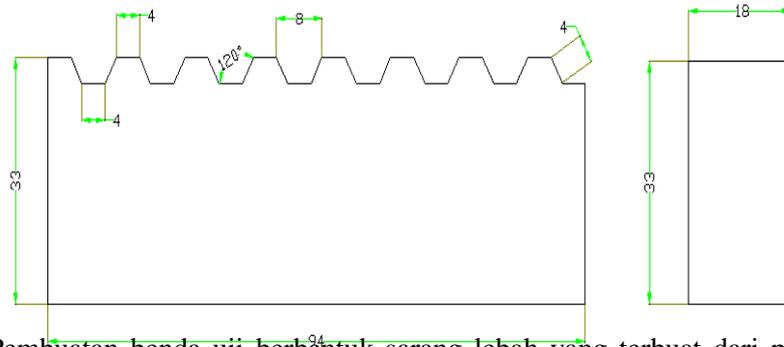
Gambar 3.19: Diagram Alir

3.3.1 Keterangan Diagram Alir Penelitian

Diagram alir percobaan penelitian adalah untuk melakukan sebuah langkah-langkah penelitian dan dapat dilihat di bawah ini.

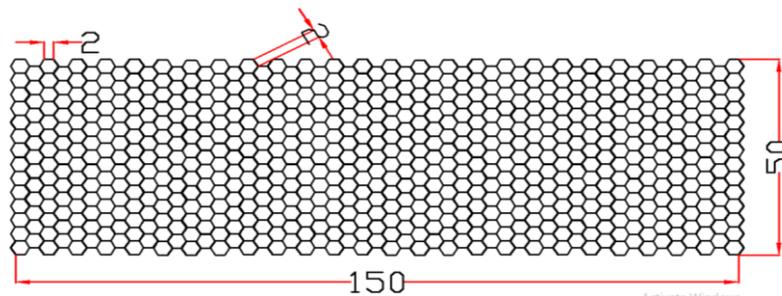
1. Mempersiapkan bahan dan alat yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Membuat cetakan spesimen yang berbentuk struktur sarang lebah dengan ukuran hexagonal 4 mm

Dimensi cetakan spesimen ukuran 4 mm

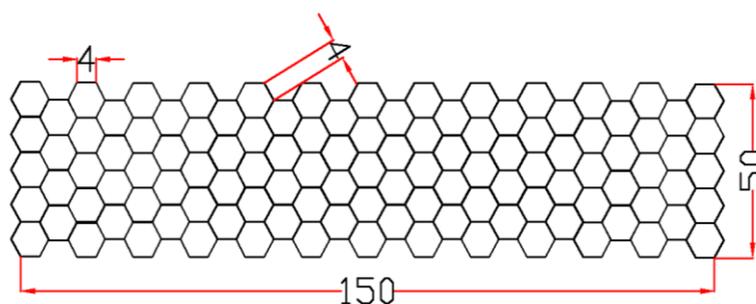


3. Pembuatan benda uji berbentuk sarang lebah yang terbuat dari plat aluminium dengan ketebalan 0,4 mm dan ukuran 2 mm, 4 mm dan 6 mm.

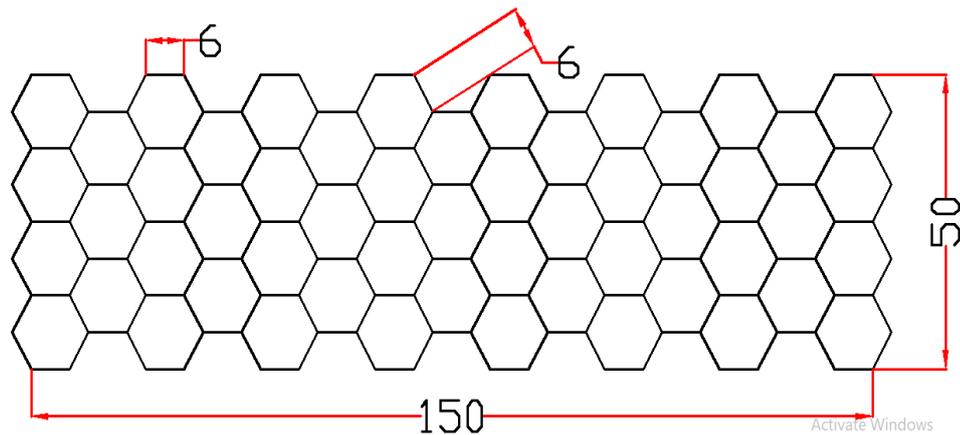
Dimensi ukuran 2mm.



Dimensi ukuran 4 mm



Dimensi ukuran 6 mm



4. Melakukan pengujian pada struktur sarang lebah yang diuji secara dinamis.
5. Mencatat hasil pengujian yang telah dilakukan.
6. Menganalisa hasil nilai pengujian dan pola kerusakan pada spesimen. Selesai.

3.4 Proses Pembuatan Struktur Sarang Lebah (*Honeycomb*)

Adapun proses pembuatan struktur sarang lebah (*Honeycomb*) dapat dilihat seperti dibawah ini:

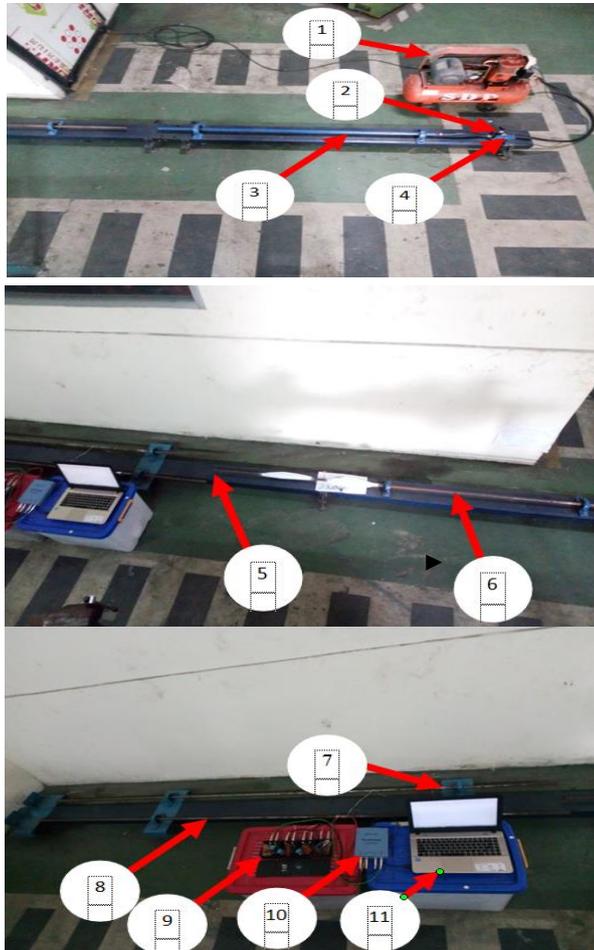
1. Mengukur lembaran aluminium yang akan di buat menjadi core dengan panjang 150 mm dan lebar 20.
2. Memotong lembaran aluminium yang telah di ukur dengan pisau *cutter* yang di ukur menggunakan penggaris
3. Melakukan pencetakan *core* aluminium dengan plat yang sudah dipotong, dengan menggunakan cetakan spesimen dengan cara mengepres plat aluminium.
4. Memotong plat aluminium dengan ukuran 305 mm x 55 mm untuk *skin* sarang lebah.
5. Pencetakan/pembutan inti (*core*) struktur sarang lebah
6. Menyusun *core* yang telah dicetak, lalu menyatukan satu per satu *core*, lalu di rekatkan dengan menggunakan lem fox
7. Penyatuan *skin* dengan *core*

3.5 Prosedur Pengujian

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu melakukan pembuatan spesimen yang terbuat dari bahan aluminium sarang lebah. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan

menggunakan pembebanan dinamik pada spesimen tersebut dengan menggunakan alat uji split hopkinson pressure bar dengan metode impac, dengan cara seperti berikut :

1. Mempersiapkan alat uji serta bahan-bahan yang akan digunakan untuk melakukan pengujian.



Keterangan :

1. Kompresor
2. Selenoid
3. Striker Bar
4. Tombol *Swict*
5. Dudukan Spesimen
6. Out Put Bar
7. *Strain Gauge*
8. *Bridges Box*
9. Piscoscope
10. Laptop

Gambar 3.20 Sit Up Alat Uji Split Hopkinson Pressure Bar

2. Memasang *selenoid* ditengah-tengah antara ujung selang kompresor dan ujung selang striker bar.



Gambar 3.21 Pemasangan *Selenoid*

3. Memasang tombol *switch*



Gambar 3.22 Memasang tombol *Switch*

4. Mengisi tekanan angin pada kompresor sesuai tekanan bar yang dibutuhkan pada saat pengujian.



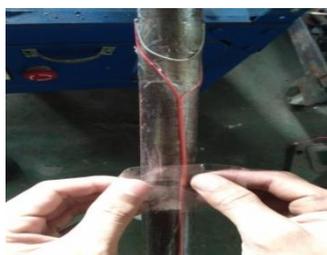
Gambar 3.23 Mengisi Tekanan Angin

5. Memasang strain gages pada besi baja karbon menggunakan lem perekat, dengan jarak 600 mm diukur dari ujung pengecam spesimen, strain gages yang digunakan berjumlah 4, berada pada sisi depan dan belakang, dapat dilihat pada gambar 3.24



Gambar 3.24 Pemasangan Strain Gages

6. Memasang kabel strain gages pada besi baja karbon menggunakan lem lakban, dapat dilihat pada gambar 3.25.



Gambar 3.25 Pemasangan Kabel Strain Gages

7. Menghubungkan kabel strain gages pada input bridge box, dapat dilihat pada gambar 3.26.



Gambar 3.26 Pemasangan Bridge Box

8. Menghubungkan kabel *bridge box* pada *input oscilloscope*, dapat dilihat pada gambar 3.27.



Gambar 3.27 Pemasangan *Oscilloscope*

9. Menghubungkan output oscilloscope pada PC (laptop) menggunakan kabel usb, dapat dilihat pada gambar 3.28.



Gambar 3.28 Pemasangan *Output Oscilloscope* Pada PC (laptop)

10. Pemasangan Striker bar. Dapat dilihat pada gambar 3.29



Gambar 3.29 Pemasangan Striker Bar

11. .Klikduaklipadaikon desktop picoscopeuntukmembukak program gambar 3.30.



Gambar3.30Penyetelanpicoscope

12. Proses pengujian spesimen, dapat dilihat pada gambar 3.31



Gambar 3.31 Proses Pengujian Spesimen

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembuatan Cetakan Spesimen Ukuran 4 mm

Pembuatan cetakan spesimen aluminium sarang lebah dilakukan dengan mencari studi literatur yang di kumpulkan dari berbagai sumber. Adapun gambar dari hasil pembuatan cetakan spesimen dapat di lihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Hasil Cetakan Speimen Ukuran 4 mm

Cetakan spesimen sarang lebah ini terbuat dari besi baja yang di bentuk dengan roda gigi, ukuran yang dibuat untuk cetakan spesimen ini ialah ukuran 4 mm. Ukuran lebar dari cetakan ini ialah 45 mm engan ketebelan 18 mm dan dengan panjang 210 mm.

4.2 Hasil Proeses Pembuatan Sarang Lebah

1. Hasil Memotong Plat Aluminium



Gambar 4.2 Memotong Plat Aluminium

2. Hasil Pencetakan/Pembuatan inti (*core*)



Gambar 4.3 Pencetakan/Pembuatan inti(*core*)

3. Hasil Pengeleman Inti *Core* yang Telah Dicitak



Gambar 4.4Pengeleman *Care* yang Telah Dicitak

4.3 Hasil Pembuatan Spesimen Sarang Lebah

Setelah melakukan beberapa tahap proses yang cukup panjang maka di dapatkanlah hasil dari pembuatan spesimen sarang lebah seperti gamabar di bawah ini



Gambar 4.5 Hasil Pembuatan Spesimen Ukuran 2 mm



Gambar 4.6 Hasil Pembuatan Spesimen Ukuran 4 mm

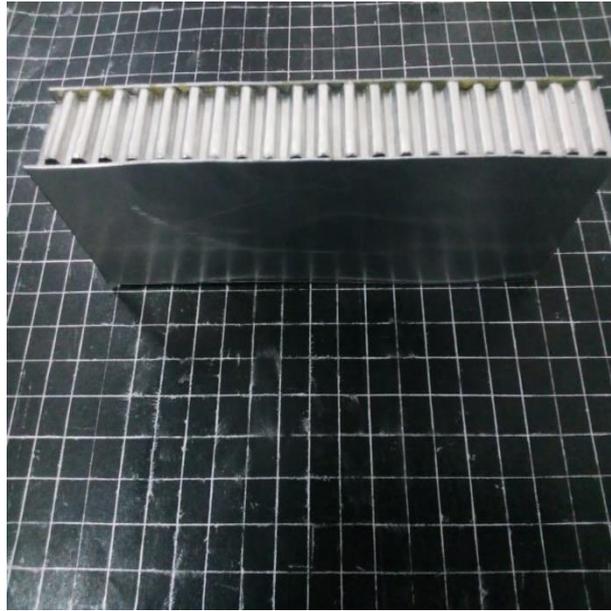


Gambar 4.7 Hasil Pembuatan Spesimen Ukuran 6 mm

4.4 Hasil Pengujian 7 Bar

4.4.1 Hasil Pengujian Impak Dengan spesimen 2 mm

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dimana pengujian di lakukan dengan menggunakan tekanan sebesar 7 bar, yang didudukan pada sudut 90° .



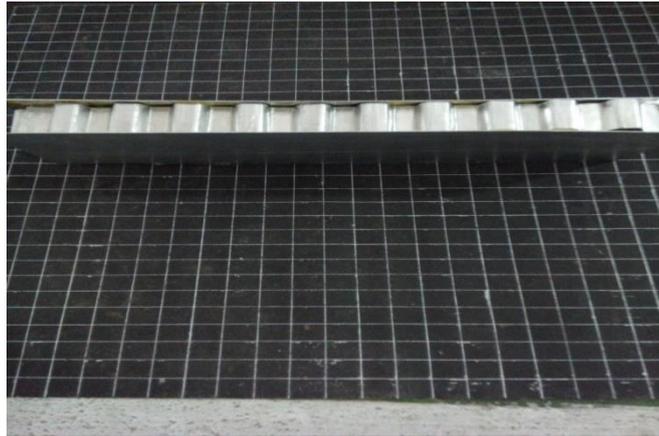
Gambar 4.8 Spesimen Sebelum Diuji



Gambar 4.9 Spesimen Sesudah Diuji

4.4.2 Hasil Pengujian Impak dengan Spesimen 4 mm

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dimana pengujian di lakukan dengan menggunakan tekanan sebesar 7 bar, yang didudukan pada sudut 90° .



Gambar 4.10 Spesimen Sebelum Diuji



Gambar 4.11 Spesimen Sesudah Diuji

4.4.3 Hasil Pengujian Impak Dengan Spesimen 6 mm

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dimana pengujian di lakukan dengan menggunakan tekanan sebesar 7 bar, yang didudukan pada sudut 90° .



Gambar 4.12 Spesimen Sebelum Diuji

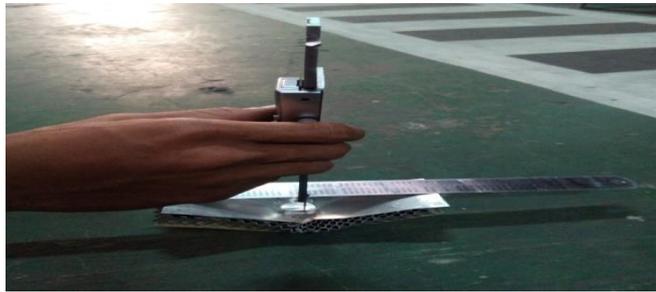


Gambar 4.13 Spesimen Sesudah diuji

4.5 Mengukur Lendutan Pada Benda Uji

4.5.1 Pengukuran Lendutan Spesimen Ukuran 2 mm

Pada pengujian ini benda uji di impak dengan besaran 7 bar dengan sudut 90° sehingga terjadi lendutan sebesar 46,3 mm.



Gambar 4.14 Pengukuran Lendutan Spesimen 2 mm

4.5.2 Pengukuran Lendutan Spesimen Ukuran 4 mm

Pada pengujian ini benda uji di impak dengan besaran 7 bar dengan sudut 90° sehingga terjadi lendutan sebesar 40,5 mm



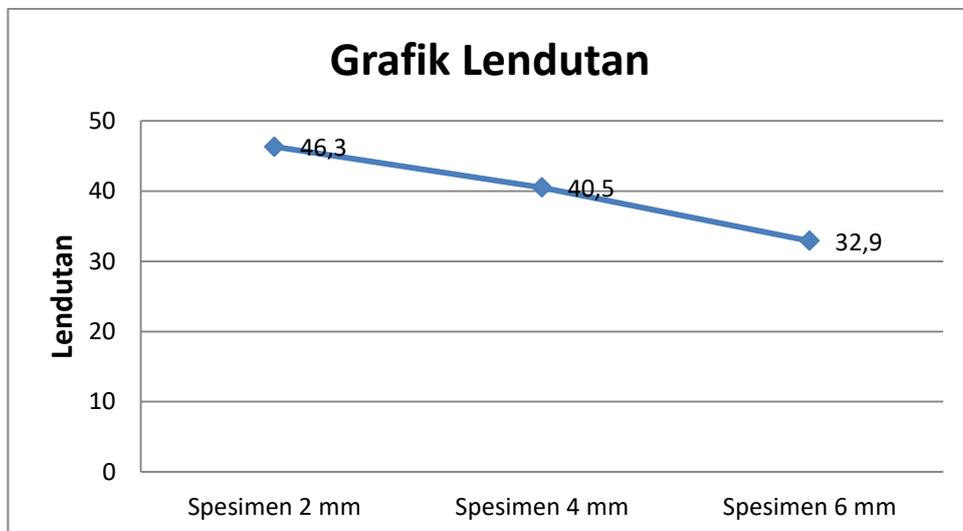
Gambar 4.15 Pengukuran Lendutan Spesimen 4 mm

4.5.3 Pengukuran Lendutan Spesimen Ukuran 6 mm

Pada pengujian ini benda uji di impak dengan besaran 7 bar dengan sudut 90 ° sehingga terjadi lendutan sebesar 32,9 mm



Gambar 4.16 Pengukuran Lendutan Spesimen 6 mm

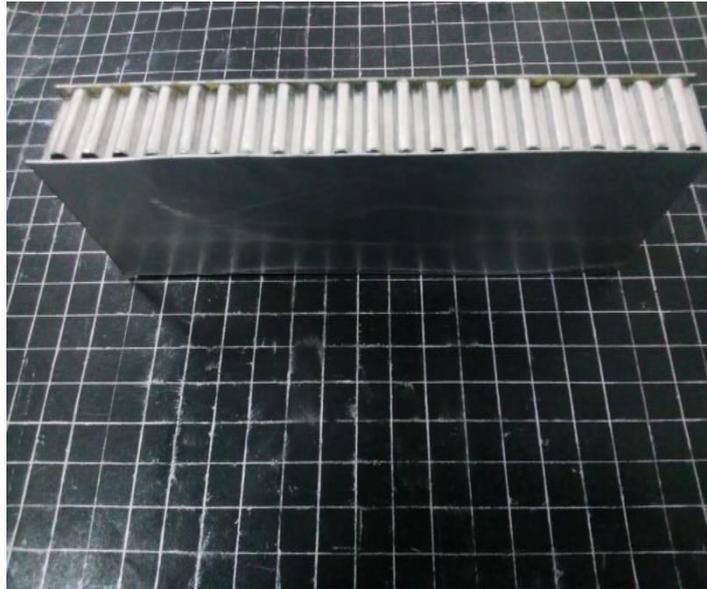


Gambar 4.17 Grafik Lendutan 7 Bar

4.6 Hasil Pengujian Impak 6 Bar

4.6.1 Hasil Pengujian Impak Dengan spesimen 2 mm

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dimana pengujian di lakukan dengan menggunakan tekanan sebesar 6 bar, yang didudukan pada sudut 90°.



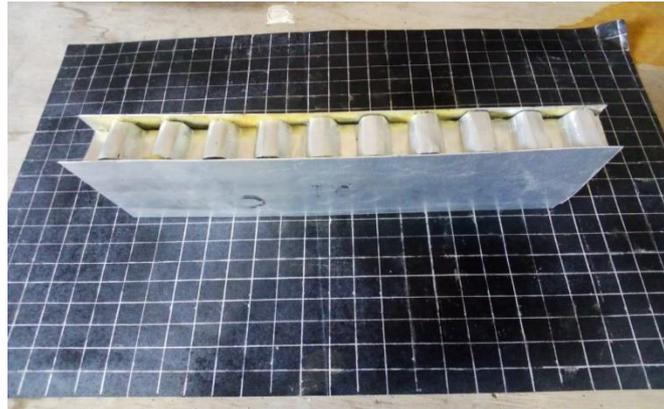
Gambar 4.18 Spesimen Sebelum Diuji



Gambar 4.19 Spesimen sesudah Diuji

4.6.2 Hasil Pengujian Impak Dengan Spesimen 4 mm

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada spesimen dengan tekanan 6 bar dengan sudut 90° , adapun hasil dari pengujian impak tersebut antara lain.



Gambar 4.20 Spesimen Sebelum Diuji



Gambar 4.21 Spesimen Sesudah Diuji

4.6.3 Hasil Pengujian Impak Dengan Spesimen 6 mm

Dari hasil yang dilakukan maka didapatkanlah hasil dari pengujian tekanan 6 bar dengan sudut 90° , dapat di lihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.22 Spesimen Sebelum Diuji

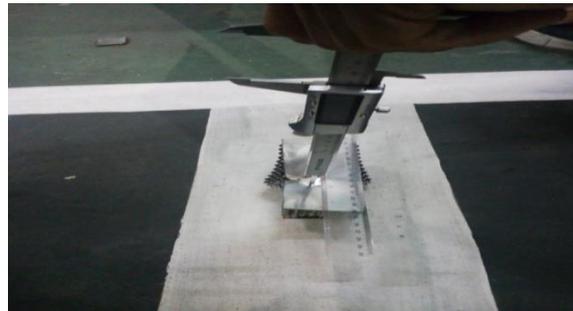


Gambar 4.23 Spesimen Sesudah Diuji

4.7 Mengukur Lendutan Pada Benda Uji

4.7.1 Pengukuran Lendutan Spesimen Ukuran 2 mm

Pada pengujian ini benda uji di impak dengan besaran 6 bar dengan sudut 90° sehingga terjadi lendutan sebesar 43,3 mm.



Gambar 4.24 Pengukuran Lendutan Spesimen 2 mm

4.7.2 Pengukuran Lendutan Spesimen 4mm

Pada pengujian ini benda uji di impak dengan besaran 6 bar dengan sudut 90° sehingga terjadi lendutan sebesar 33,6 mm.



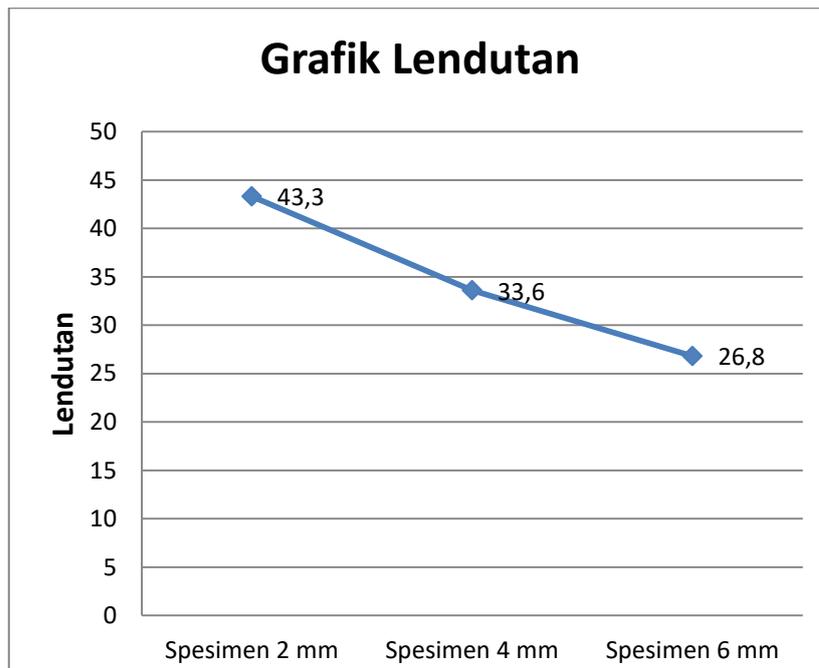
Gambar 4.25 Pengukuran Lendutan Spesimen 4 mm

4.7.3 Pengukuran Lendutan Spesimen 6 mm

Pada pengujian ini benda uji di impak dengan besaran 6 bar dengan sudut 90° sehingga terjadi lendutan sebesar 26.8 mm



Gambar 4.27 Pengukuran Lendutan Spesimen 6 mm

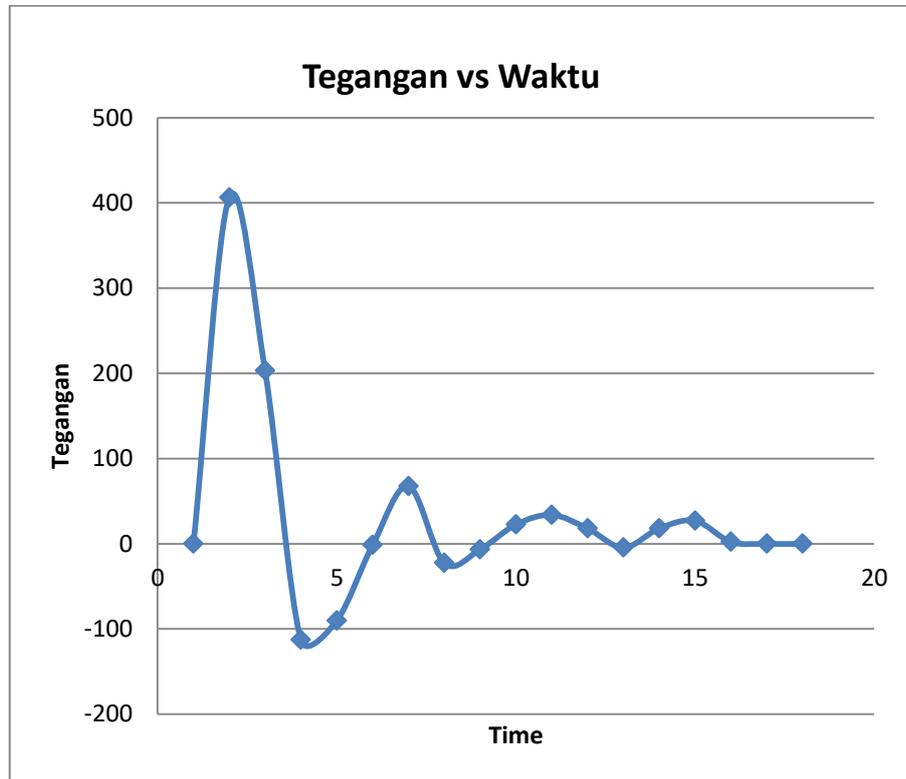


Gambar 4.27 Grafik Lendutan 6 Bar

4.8 Grafik Pengujian Tegangan Impak

4.8.1 Hasil Garfik Tegangan Pengujian 7 Bar

Dari hasil yang di peroleh dengan pengujian tekanan bar sebesar 7 bar maka didapatkanlah hasil grafik sebagai berikut.



Gambar 4.28 Grafik Tegangan Tekanan 7 Bar

Dari grafik diatas maka dapat hasil tegangan sebesar 406,22 Mpa dari penjabaran dibawah ini

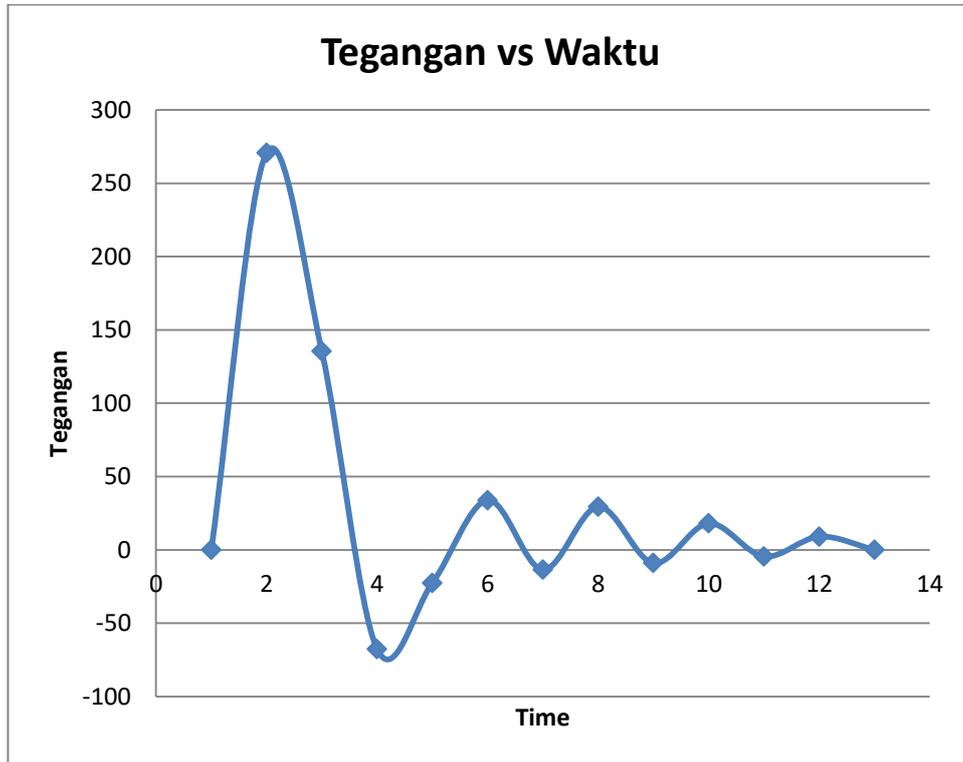
$$\begin{aligned}\epsilon_o &= \frac{4 \cdot e_o}{E \cdot K_s} \\ &= \frac{4 \cdot 18}{8,4 \cdot 2,11} \\ &= 4,06 \text{ mm/mm}\end{aligned}$$

Modulus besi E = 200 Gpa $\rightarrow 200 \times 1000 = 200000$ Mpa

$$\begin{aligned}\sigma &= E \cdot \epsilon \\ &= 200.000 \text{ Mpa} \cdot 4,06 \text{ mm/mm} \\ &= 406,22 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

4.8.2 Hasil Garfik Tegangan Pengujian 6 Bar

Dari hasil yang di peroleh dengan pengujian tekanan bar sebesar 6 bar maka didapatkan hasil grafik sebagai berikut.



Gambar 4.29 Grafik Tegangan Tekanan 6 Bar

Dari grafik diatas maka dapat hasil tegangan sebesar 270,81 Mpa dari penjabaran dibawah ini

$$\epsilon_o = \frac{4 \cdot e_o}{E \cdot Ks}$$

$$= \frac{4 \cdot 12}{8,4 \cdot 2,11}$$

$$= 2,70 \text{ mm/mm}$$

Modulus besi E = 200 Gpa $\rightarrow 200 \times 1000 = 200000 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned} \sigma &= E \cdot \epsilon \\ &= 200.000 \text{ Mpa} \cdot 2,70 \text{ mm/mm} \\ &= 270,81 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

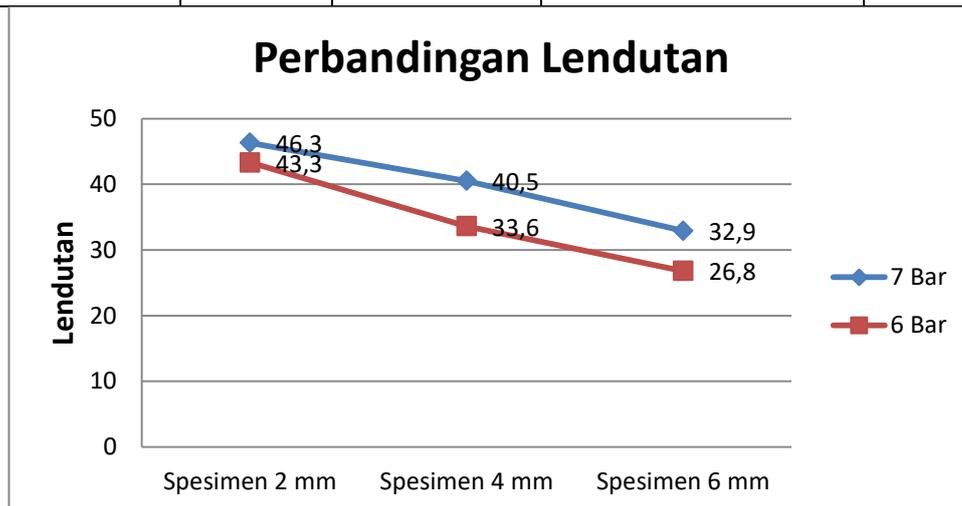
4.9 Hasil dan Pembahasan

Adapun hasil yang di dapat dari pengujian impak yang telah dilakukan adalah mendapatkan Tegangan dan lendutan yang terjadi, dari semua percobaan

yang telah dilakukan pengujian dengan Tekanan 7 bar dan 6 bar dan dengan spesimen ukuran 2 mm, 4 mm, 6 mm, adapun hasil yang didapat sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data Hasil Percobaan Pengujian Impak

Spesimen	Tekanan (Bar)	Jarak Striker Bar (mm)	Gambar Letak Striker	Sudut	Lendutan (δ)
Spesimen 2 mm	7	1500		90°	46,3
Spesimen 4 mm	7	1500		90°	40,5
Spesimen 6 mm	7	1500		90°	32,9
Spesimen 2 mm	6	1500		90°	43,3
Spesimen 4 mm	6	1500		90°	33,6
Spesimen 6 mm	6	1500		90°	26,8



Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Hasil Lendutan

Dari hasil perbandingan tekanan 7 bar dan 6 bar maka menunjukkan bahwa semakin besar tekanan yang di beri maka deformasi yang terjadi semakin besar, dan semakin kecil ukuran hexagonal spesimen maka semakin besar pula lendutan yang terjadidan semakin besar ukuran hexagonalnya maka lendutan yang terjadi semakin kecil.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil lendutan yang di dapat dari pengujian Split Hopkinson Pressure Bar dengan tekanan 7 Bar dengan ukuran Spesimen 2 mm 4 mm dan 6 mm sebagai berikut:
 - a. Spesimen 2 mm hasil lendutan yang di dapat 46,3 mm.
 - b. Spesimen 4 mm hasil lendutan yang di dapat 40,5 mm.
 - c. Spesimen 6 mm hasil lendutan yang di dapat 32,9 mm.
2. Hasil lendutan yang di dapat dari pengujian Split Hopkinson Pressure Bar dengan tekanan 6 Bar dengan ukuran Spesimen 2 mm 4 mm dan 6 mm sebagai berikut:
 - a. Spesimen 2 mm hasil lendutan yang di dapat 43,3 mm.
 - b. Spesimen 4 mm hasil lendutan yang di dapat 33,6 mm.
 - c. Spesimen 6 mm hasil lendutan yang di dapat 26,8 mm.
3. Dari perbandingan deformasi yang di dapat maka disimpulkan bahwa semakin besar tekanan bar yang digunakan maka semakin besar pula deformasinya, dan hexagonalnya semakin kecil maka deformasi yang terjadi semakin besar.

5.2 Saran

1. Pengujian selanjutnya hendaknya di beri dudukan pada Split Hopkinson Pressure Bar

DAFTAR PUSTAKA

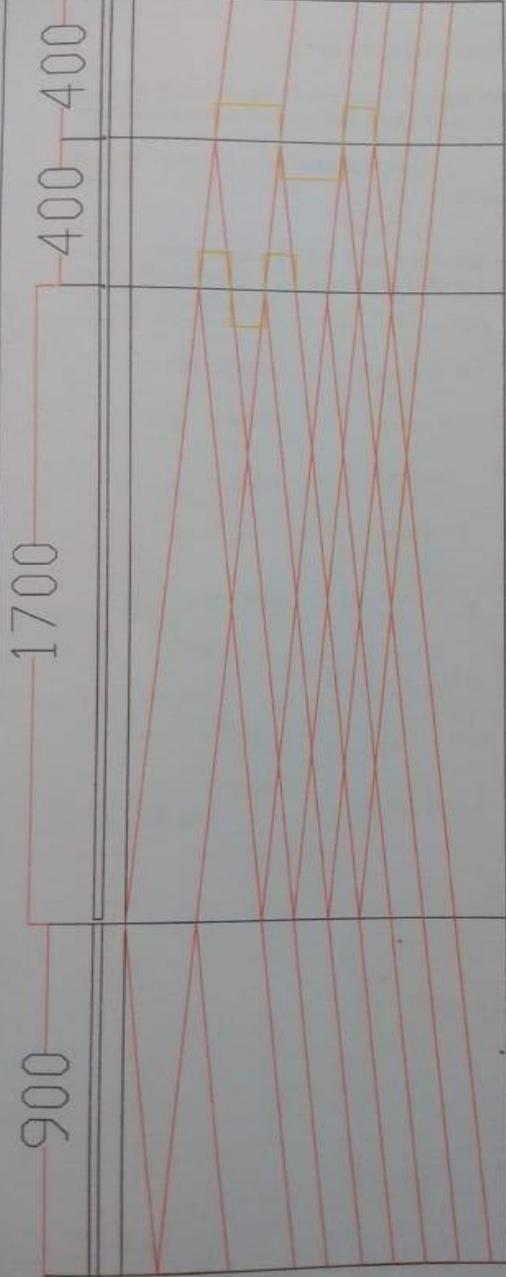
- K. Li, X.-L. Gao, J. Wang. (2007). Dynamic crushing behavior of honeycomb structures with irregular cell shapes and non-uniform cell wall thickness. *International Journal of Solids and Structures* 44(2007) 5003-5026.
- L.L. Hu, T.X. Yu. (2010). Dynamic crushing strength of hexagonal honeycombs. *International Journal of Impact Engineering* 37 (2010) 467-474.
- L.L. Hu, X.L. He, G.P. Wu, T.X. Yu. (2015). Dynamic crushing of the circular-celled honeycombs under out-of-plane impact. *International Journal of Impact Engineering* 75 (2015) 150-161.
- Yuwu Zhang, Taom Liu, Huan Ren, Ian Maskery, Ian Ashcroft. (2018). Dynamic compressive response of additively manufactured AlSi10Mg alloy hierarchical structure. *Composite Structures* 195 (2018) 45-59.
- L. Boldrin, S. Hummel, F. Scarpa, D. Di Maio, C. Lira, M. Ruzzene, C.D.L. Remilat, T.C. Lim, R. Rajasekaran, S. Patsias. Dynamic behaviour of auxetic gradient composite hexagonal honeycombs. *Composite Structures* (2006).
- Xiaochao Jin, Zhihua Wang, Jianguo Ning, Gesheng Xiao, Erqiang Liu, Xuefeng Shu. Dynamic response of sandwich structures with graded auxetic honeycombs cores under blast loading. *Composite Part B* (2016).
- Cristelle Combescure, Ryan S. Elliott. Hierarchical honeycombs material design and optimization: Beyond linearized behavior. *International Journal of Solids and Structures* (2017).
- Ines Ivanez, Lorena M. Fernandes-Canadas, Sonia Sanchez-saez. Compressive deformation and energy-absorption capability of aluminium honeycombs core. *Composite Structures* (2017).

Wang Zhonggang, Liu Jiefu, Lu Zhaijun , Hui David. (2016). Mechanical Behavior of Composited Struktur Fillet With Tandem Honeycombs. Composites Part B. Vol.0 (2016), pp.1-25

Zhou K., Wu Z.Y. (2016). Strain Gauge Placement Optimization for Struktural Performance Assessment. Engineering Struktres. Vol.141 (2017),pp.184-197.

Wei Huang, Wei Zhang, Dacheng Li, Nan Ye, Wenbo Xie, Peng Ren. (2016). Failure Of Honeycomb-core Sandwich Struktres Subjektet To Underwater Impulsive Loads

LAMPIRAN



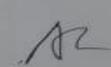
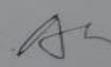
	Skala	1:1	Digambari Team Hanycomb	Keterangan
	Satuan ukuran	mm	Di Lihat: Pen 1 dan Pen II	
	Tanggal	2 Maret	Di periksa: Pen 1 dan Pen II	
	Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara			No
	Lagrange Diagram For Dynamic			A4

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Kajian Experimen Deformasi Tekan Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Dinamis

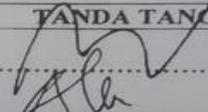
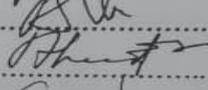
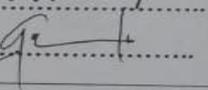
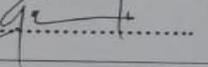
Nama : Rizki Maulana Rosandi
NPM : 1407230262

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng, Rakhmad Arief Siregar
Dosen Pembimbing 2 : Sudirman Lubis, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
	15 Sep	perbaiki b-6 1	
	2 okt	lanjut b-6 2	
	2 Des	lanjut b-6 3	
	12 Jn	perbaiki tes 2	
	15 Jan	lengkap Memb II	
	2 Feb	Perbaikan posisi dan data prosed	
	10 Feb	Jumlahkan grafik	
		All Seminar	

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

Peserta seminar
 Nama : Rizki Maulana Rosandi
 NPM : 1407230262
 Judul Tugas Akhir : Kajian Eksperimen Deformasi Tekan Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Haxegonal Yang Diuji Secara Dinamis .

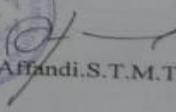
DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng :	
Pembimbing – II : Sudirman Lubis.S.T.M.T :	
Pembanding – I : Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T :	
Pembanding – II : Chandra A Siregar,S.T.M.T :	

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1407230227	ALFI SYAHRIAN	
2	1407230035	Sandi Irawan	
3	1407230203	REZA SEPTIANAN HSB	
4	1407230291	RIZKI SUKSES	
5	1407230197	Ashar Waditwasromo	
6	1307230140	Satria Widha Setiawan	
7	1407230226	IBAL YAMIN	
8	1307210133	Zulpamam	
9	1307210287	MAKIF	
10			

Medan, 04 Rajab 1440 H
06 P Maret 2019 M

Ketua Prodi. T Mesin




Affandi.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Rizki Maulana Rosandi
NPM : 1407230262
Judul T.Akhir : Kajian Eksprimen Deformasi Tekan Pada Struktursarang Lebah
Dengan Variasi Ukuran Haxegonan yang Secara Dinams

Dosen Pembimbing - I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lbs.S.T.M.T
Dosen pembeding - I : Ahmd Marabdj Srg.M.T
Dosen Pembeding - II : Chandra A siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

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

Medan, 01 Rajab 1440 H
06 Maret 2019 M

Diketahui :
Ketua Jurusan T. Mesin

Affandi .S>T.M.T

Dosen Pembeding - II

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

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Rizki Maulana Rosandi
NPM : 1407230262
Judul T.Akhir : Kajian Eksprimen Deformasi Tekan Pada Struktursarang Lebah
Dengan Variasi Ukuran Haxegonan yang Secara Dinams

Dosen Pembimbing - I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lbs.S.T.M.T
Dosen pembanding - I : Ahmd Marabdj Srg.M.T
Dosen Pembanding - II : Chandra A siregar.S.T.M.T

KEPUTUSAN

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

Ceklist Gue Ngga Melahir

- 3 Harus mengikuti seminar kembali
- Perbaikan :

Medan, 01 Rajab 1440 H
06 Maret 2019 M

Diketahui :
Ketua Jurusan T. Mesin

Affandi
Affandi .S>T.M.T



Dosen Pembanding - II

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

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

1. Nama : Rizki Maulana Rosandi
2. Jenis Kelamin : Laki – Laki
3. Tempat, Tanggal Lahir : Binjai Baru, 06-Mei-1995
4. Kewarganegaraan : Indonesia
5. Status : Belum Kawin
6. Agama : Islam
7. Alamat : Dusun V Merbo Kanan Desa.Karang
Baru,Kec. Talawi, Kab. Batu Bara
8. No. Hp : 081269883185
9. Email : Rizkimaulanarosandi@gmail.com

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

NO	PENDIDIKAN FORMAL	TAHUN
1	SD 017116	2001 – 2007
2	SMP DAERAH SEI BEJANGKAR	2007 – 2010
3	SMK 2 SEI BEJANGKAR	2010– 2013
4	TEKNIK MESIN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA	2014 - 2019