

TUGAS AKHIR

KAJIAN EXPERIMEN KEMAMPUAN PENYERAPAN ENERGI PADA STRUKTUR SARANG LEBAH DENGAN VARIASI UKURAN HEXAGONAL YANG DIUJI SECARA STATIS

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

Disusun Oleh:

NOLAN SYAH PRIATINDO
1407230249



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Nolan Syah Priatindo
NPM : 1407230249
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Kajian Experimen Kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Statis
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



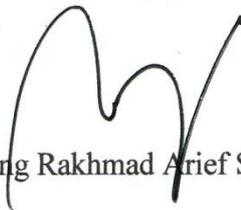
Ahmad Marabdi Siregar, S.T.,M.T

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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Nolan Syah Priatindo
Tempat /Tanggal Lahir : Kisaran, 19 Nopember 1995
NPM : 1407230249
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Kajian Experimen Kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Statis”

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, 04 Maret 2019



Saya yang menyatakan,

Nolan Syah Priatindo

ABSTRAK

Struktur sarang lebah merupakan struktur (material) alami atau buatan manusia yang memiliki geometri sarang lebah, selain ditujukan kepada massa material konstruksi yang ringan, juga didapatkan tingkat fleksibilitas dari pemilihan material tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa kemampuan penyerapan energi pada pengujian tekan statis. Penyerapan energi merupakan suatu metode bagaimana suatu benda melakukan redaman akibat tekanan dari luar. Pengujian penyerapan energi dilakukan dengan uji tekan statis, benda uji berbahan pelat aluminium yang berbentuk struktur sarang lebah dengan variasi ukuran hexagonal yang berbeda. Pada pengujian ini akan membandingkan hasil data tegangan – regangan dan penyerapan energi pada setiap spesimen yang telah diuji untuk melihat mana yang lebih efisien diantara tiga spesimen dengan ukuran hexagonal yang berbeda. Hasil akhir pada pengujian ini akan ditampilkan menggunakan grafik tegangan – regangan posisi horizontal dan vertikal dan kemampuan penyerapan energi dengan posisi pengujian horizontal dan vertikal. Maka dari itu bahwa hasil penyerapan energi terbesar terdapat pada posisi pengujian horizontal dengan ukuran hexagonal 2 mm, dan penyerapan energi terkecil terdapat pada posisi pengujian vertikal dengan ukuran hexagonal 6 mm.

Kata Kunci: Struktur sarang lebah (honeycomb), Penyerapan Energi, Pengujian Tekan Statis, Aluminium.

ABSTRACT

The honeycomb structure is a natural or man-made (material) structure that has a honeycomb geometry, besides being aimed at the mass of lightweight construction material, it also has a degree of flexibility from the selection of the material. The purpose of this study is to analyze the energy absorption ability in static press testing. Energy absorption is a method of how an object damping due to external pressure. Testing of energy absorption is carried out by a static compressive test, an aluminum plate specimen in the form of a honeycomb structure with different hexagonal size variations. This test will compare the results of stress data and energy absorption in each specimen that has been tested to see which is more efficient between three specimens with different hexagonal sizes. The final results of this test will be displayed using a stress-strain graph of horizontal and vertical positions and energy absorption capabilities with horizontal and vertical testing positions. Therefore, the greatest energy absorption results are in the horizontal testing position with 2 mm hexagonal size, and the smallest energy absorption is in the vertical testing position with a 6 mm hexagonal size.

Keywords: Honeycomb Structure, Energy Absorption, Static Press Testing, Aluminum.

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 Kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal yang Diuji Secara Statis” 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, selaku 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 Ahmad Marabdi Siregar, S.T.,M.T, selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Chandra A Siregar, S.T.,M.T, selaku Dosen Pembanding 2 dan penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T.,M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Affandi S.T.,M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesin kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Sudarto dan Suhartini, 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: Siti Dasopang Hasibuan, Alfi Syahrin, Iqbal Yamin, Rizki Maulana Rosandi, Rizki Akbar, Reza Septiawan, Azhar Waditiasmoro, 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

Medan, 01 Maret 2019



Nolan Syah Pratindo

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
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	2
1.5. Manfaat	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Pengertian Komposit	4
2.1.1. Jenis Komposit	4
2.1.2. Kelebihan Komposit	5
2.1.3. Kekurangan Komposit	5
2.1.4. Komposit <i>Sandwich</i>	6
2.2. Sarang Lebah (<i>Honeycomb</i>)	7
2.2.1. Struktur Sarang Lebah (<i>Honeycomb</i>)	8
2.2.2. Fenomena Struktur Pada Sarang Lebah	9
2.3. Aluminium	10
2.3.1. Sifat - Sifat Aluminium	10
2.3.2. Karakteristik Aluminium	12
2.3.3. Kelebihan Aluminium	12
2.3.4. Kekurangan Aluminium	13
2.4. Pengujian Mekanik	13
2.4.1. Uji Tekan (<i>Press Test</i>)	13
2.4.2. Pengujian Tekan Statik	14
2.4.3. Persamaan Tegangan – Regangan	15
2.4.4. Jenis – Jenis Pembebanan	15
2.4.5 Uji Tarik	17
2.5. Penyerapan Energi	17

BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1.	Tempat dan Waktu	20
3.1.1.	Tempat	20
3.1.2.	Waktu Penelitian	20
3.2.	Bahan dan Alat Penelitian	20
3.2.1.	Bahan Penelitian	20
3.2.2.	Alat Penelitian	21
3.3.	Diagram Alir	26
3.4.	Proses Pembuatan Struktur Sarang Lebah (<i>Honeycomb</i>)	28
3.5.	Prosedur Pengujian Spesimen	28
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1	Hasil Pembuatan Cetakan Spesimen	30
4.2	Hasil Pemotongan Pelat Aluminium	30
4.3	Pencetakan/Pembuatan Inti (<i>core</i>) Struktur Sarang Lebah	30
4.4	Pengeleman Inti (<i>core</i>)	31
4.5	Penyatuan Inti (<i>core</i>)	31
4.6	Hasil Pembuatan Spesimen	32
4.7	Hasil Prosedur Pengujian Spesimen	33
4.8	Hasil Pengujian Tekan Statis Posisi Horizontal	34
4.8.1	Pola Kerusakan Pada Spesimen	34
4.8.2	Pembahasan Analisa Data	36
4.8.3	Grafik Tegangan – Regangan	39
4.8.4	Perbandingan Grafik Tegangan dan Regangan	40
4.8.5	Perbandingan Penyerapan Energi	41
4.9	Hasil Pengujian Tekan Statis Posisi Vertikal	42
4.9.1	Pola Kerusakan Pada Spesimen	42
4.9.2	Pembahasan Analisa Data	44
4.9.3	Grafik Tegangan – Regangan	47
4.9.4	Perbandingan Grafik Tegangan dan Regangan	48
4.9.5	Perbandingan Grafik Penyerapan Energi	49
4.10	Grafik Perbandingan Penyerapan Energi	50
4.11	Evaluasi Pola Kerusakan Pada Benda Uji	50
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1.	Kesimpulan	52
5.2.	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA		54
LAMPIRAN		
LEMBAR ASISTENSI		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat fisik aluminium	12
Tabel 2.2 Sifat mekanik aluminium	12
Tabel 3.1 Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian	21
Tabel 3.2 Sifat mekanik aluminium	22

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Sandwitec honeycomb</i>	7
Gambar 2.2	Perubahan benda yang disebabkan oleh tegangan aksial	14
Gambar 2.3	Kurva tegangan – regangan	15
Gambar 2.4	Pembebanan terpusat	16
Gambar 2.5	Pembebanan terbagi merata	16
Gambar 2.6	Pembebanan bervariasi <i>uniform</i>	16
Gambar 2.7	Gambar singkat tentang uji tarik	17
Gambar 3.1	Lembaran pelat aluminium	21
Gambar 3.2	Lem fox	21
Gambar 3.3	Pisau <i>cutter</i>	22
Gambar 3.4	Penggaris	22
Gambar 3.5	Palu	22
Gambar 3.6	Penjepit	23
Gambar 3.7	Cetakan spesimen ukuran hexagonal 2 mm	23
Gambar 3.8	Cetakan spesimen ukuran hexagonal 4 mm	23
Gambar 3.9	Cetakan spesimen ukuran hexagonal 6 mm	24
Gambar 3.10	Alat uji tekan	24
Gambar 3.11	Diagram alir penelitian	26
Gambar 3.12	Dimensi cetakan ukuran 4 mm	27
Gambar 3.13	Dimensi spesimen hexagonal 2 mm	27
Gambar 3.14	Dimensi spesimen hexagonal 4 mm	27
Gambar 3.15	Dimensi spesimen hexagonal 6 mm	28
Gambar 4.1	Cetakan 4 mm	30
Gambar 4.2	Pemotongan Pelat	30
Gambar 4.3	Pembuatan Inti (<i>core</i>)	31
Gambar 4.4	Pengeleman Inti (<i>core</i>)	31
Gambar 4.5	Penyatuan Inti (<i>core</i>)	32
Gambar 4.6	Spesimen ukuran hexagonal 2 mm	32
Gambar 4.7	Spesimen ukuran hexagonal 4 mm	32
Gambar 4.8	Spesimen ukuran hexagonal 6 mm	33
Gambar 4.9	Mengukur dimensi spesimen	33
Gambar 4.10	Memasukkan dimensi benda kerja pada computer	33
Gambar 4.11	Mensetting bend kerja	34
Gambar 4.12	Memindahkan data menggunakan disk	34
Gambar 4.13	(a) Keadaan sebelum dilakukan pengujian, (b) Keadaan sesudah dilakukan pengujian	35
Gambar 4.14	Pola Perubahan Bentuk Spesimen	35
Gambar 4.15	(a) Keadaan sebelum dilakukan pengujian, (b) Keadaan sesudah dilakukan pengujian	35
Gambar 4.16	Pola Perubahan Bentuk Spesimen	36
Gambar 4.17	(a) Keadaan sebelum dilakukan pengujian, (b) Keadaan sesudah dilakukan pengujian	36
Gambar 4.18	Pola Perubahan Bentuk Spesimen	36
Gambar 4.19	Grafik tegangan regangan 2 mm	39

Gambar 4.20 Grafik tegangan regangan 4 mm	40
Gambar 4.21 Grafik tegangan regangan 6 mm	40
Gambar 4.22 Grafik perbandingan tegangan	40
Gambar 4.23 Grafik perbandingan regangan	41
Gambar 4.24 Grafik perbandingan penyerapan energi	41
Gambar 4.25 (a) Keadaan sebelum dilakukan Pengujian, (b) Keadaan sesudah dilakukan Pengujian	42
Gambar 4.26 Perubahan bentuk spesimen	43
Gambar 4.27 (a) Keadaan sebelum dilakukan Pengujian, (b) Keadaan sesudah dilakukan Pengujian	43
Gambar 4.28 Perubahan bentuk spesimen	44
Gambar 4.29 (a) Keadaan sebelum dilakukan Pengujian, (b) Keadaan sesudah dilakukan Pengujian	44
Gambar 4.30 Perubahan bentuk spesimen	44
Gambar 4.31 Grafik tegangan – regangan 2 mm	47
Gambar 4.32 Grafik tegangan – regangan 4 mm	47
Gambar 4.33 Grafik Tegangan – regangan 6 mm	48
Gambar 4.34 Grafik perbandingan tegangan	48
Gambar 4.35 Grafik perbandingan regangan	49
Gambar 4.36 Grafik perbandingan energi	49
Gambar 4.37 Grafik perbandingan posisi pengujian	50
Gambar 4.38 : Kerusakan <i>matriks</i>	51

DAFTAR NOTASI

Notasi		Satuan
A	= Luas Penampang	mm ²
F	= Gaya yang bekerja sebagai penekanan	kgf
L ₀	= Panjang Awal	mm
ΔL	= Perubahan panjang	mm
σ	= tegangan	Mpa
e	= regangan	mm/mm
L	= panjang mula-mula	mm
p	= <i>Panjang</i>	mm
l	= <i>Lebar</i>	mm
K	= Kekakuan	N/m
Δ	= Perpindahan akibat deformasi	m
E	= Modulus elastisitas material	N/m
I	= Momen inersia luasan penampang	m ⁴
U	= Energi	joule
a	= Daerah kurva tegangan – regangan	mm
b	= Daerah kurva tegangan – regangan	mm

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi 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 sarang lebah 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.

Struktur sarang lebah (*Honeycomb*) merupakan struktur (material) alami atau buatan manusia yang memiliki geometri sarang lebah meminimalisasi jumlah material yang digunakan untuk mencapai bobot yang minimal dan biaya yang relatif murah, 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 tersebut. Struktur ini umumnya digunakan pada aplikasi kedirgantaraan, transportasi, perlombaan (F1) dan banyak lagi industri-industri yang lainnya.

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 lapangan.

Dengan latar belakang ini maka penulis akan melakukan penelitian sebagai tugas sarjana dengan judul: “Kajian Experimen Kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran *Hexagonal* Yang Di Uji Secara Statis”.

1.2 Rumusan Masalah

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

- a. Bagaimana menganalisa kemampuan penyerapan energi pada struktur sarang lebah dengan hexagonal yang berbeda pada pengujian tekan statis dengan alat uji tekan (*Universal Testing Machine*) ?
- b. Bagaimana cara mengevaluasi hasil penyerapan energi pada struktur sarang lebah dengan hexagonal yang berbeda pada pengujian tekan statis ?

1.3 Ruang Lingkup

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

- a. Bahan struktur sarang lebah menggunakan pelat aluminium dengan tebal 0,4 mm.
- b. Ukuran hexagonal yang digunakan pada struktur sarang lebah adalah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm dengan bahan plat aluminium.
- c. Pengujian menggunakan alat uji tekan (*Universal Testing Machine*).
- d. Temperatur bahan aluminium sesuai dengan temperature ruangan (30⁰C).

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

- a. Untuk menganalisa pola kerusakan pada setiap spesimen dengan variasi ukuran hexagonal yang berbeda.
- b. Untuk menganalisa kemampuan penyerapan energi pada pengujian tekan statis.
- c. Untuk mengevaluasi hasil pengujian berupa pola kerusakan pada struktur sarang lebah.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh pada penelitian ini adalah :

- a. Menambah pengetahuan tentang pengujian kekuatan menggunakan metode alat uji tekan (*Universal Testing Machine*).
- b. Menambah pengetahuan tentang kemampuan penyerapan energi dari struktur sarang lebah yang di uji tekan statis.

- c. Mengetahui bagaimana proses penyerapan energi pada struktur sarang lebah dengan variasi ukuran hexagonal yang berbeda pada pengujian tekan statis menggunakan alat uji tekan (*Universal Testing Machine*).

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Komposit

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material sehingga dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya.

Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (modulus *Young/density*) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam. Beberapa lamina komposit dapat ditumpuk dengan arah orientasi serat yang berbeda, gabungan lamina ini disebut sebagai laminat, (Dongwei Wang 2009).

1. Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu: Penguat (*reinforcement*), yang mempunyai sifat kurang *ductile* tetapi lebih *rigid* serta lebih kuat, dalam laporan ini penguat komposit yang digunakan yaitu dari serat alam.
2. Matriks, umumnya lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan *rigiditas* yang lebih rendah.

2.1.1 Jenis Komposit

Secara garis besar ada 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakannya, yaitu:

1. *Fibrous Composites* (Komposit Serat). Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu laminat atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat/*fiber*. *Fiber* yang digunakan bisa berupa *glass fibers*, *carbon fibers*, *aramid fibers (poly aramide)*, dan sebagainya. *Fiber* ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.
2. *Laminated Composites* (Komposit Laminat). Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.
3. *Particulate Composites* (Komposit Partikel). Merupakan komposit yang menggunakan partikel/serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.

Sehingga komposit dapat disimpulkan adalah sebagai dua macam atau lebih material yang digabungkan atau dikombinasikan dalam skala makroskopis (dapat terlihat langsung oleh mata) sehingga menjadi material baru yang lebih berguna.

Komposit terdiri dari 2 bagian utama yaitu :

- a. Matriks, berfungsi untuk perekat atau pengikat dan pelindung filler (pengisi) dari kerusakan eksternal. Matriks yang umum digunakan : carbon, glass, kevlar, dll
- b. *Filler* (pengisi) berfungsi sebagai Penguat dari matriks. *Filler* yang umum digunakan: *carbon, glass, aramid*.

2.1.2 Kelebihan Komposit

Kelebihan dalam menggunakan komposit antara lain:

- a. Komposit tidak sekadar memiliki sifat yang berbeda dari material penyusunnya, namun komposit dapat menjadi material yang jauh lebih baik dari material penyusunnya.
- b. Komposit dapat dirancang sesuai kebutuhan.
- c. Komposit dapat dirancang menjadi sangat kuat dan kaku dengan berat cukup ringan, bahkan sangat ringan.
- d. Rasio perbandingan kekuatan dengan berat serta kekakuan dengan berat beberapa kali lebih baik dibandingkan dengan baja dan aluminium. Oleh karena itu komposit cocok bila digunakan pada bidang pesawat terbang dan olahraga.
- e. Sifat *fatigue* dan keuletan dari komposit secara umum lebih baik dibandingkan dengan logam teknik.
- f. Komposit dapat dirancang supaya tidak mudah berkarat.
- g. Material komposit memungkinkan kita memperoleh sifat yang tidak dapat dicapai oleh logam, keramik, dan polimer.
- h. Komposit memungkinkan kita merancang material dengan penampilan luar yang menarik.

2.1.3 Kekurangan Komposit

Kelemahan dalam menggunakan komposit antara lain:

- a. Banyak komposit yang bersifat *anisotropic*, dimana terjadi perbedaan sifat yang tergantung pada arah komposit diukur.
- b. Banyak komposit berbasis polimer yang menjadi subjek serangan bahan kimia atau bahan pelarut. *Polimer* rentan terkena serangan.
- c. Secara umum material komposit itu mahal.
- d. Proses pembuatan dan pembentukan material komposit lambat dan mahal.

2.1.4 Komposit *Sandwich*

Komposit sandwich ini merupakan jenis komposit struktur yang potensial untuk dikembangkan dalam aplikasi manufaktur. Struktur komposit *sandwich* terdiri dari dua 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. Adapun bagian dari komposit *sandwich* antara lain:

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.

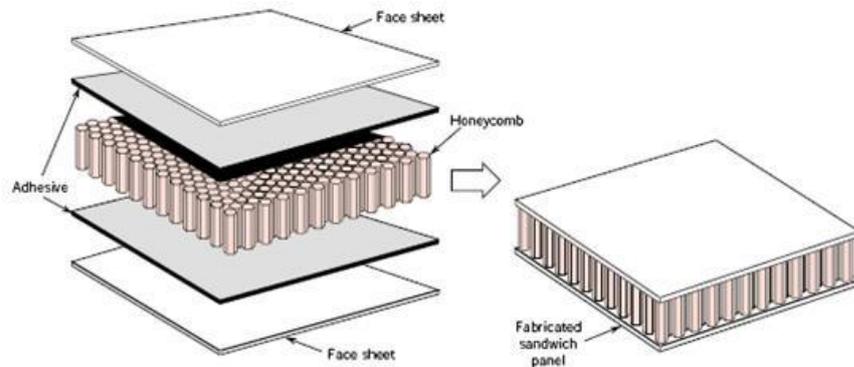
b. *Core*

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

redah, *core* biasanya memiliki syarat lain, seperti tingkat kadar air, *buckling*, umur yang panjang dan lain sebagainya. (Dongwei Wang 2009)

c. *adhesive*

Adalah suatu bahan yang akan merekatkan antara *skin* dan *core*, selain untuk merekatkan *adhesive* juga harus mentransfer gaya geser antara *skin* dan *core* agar kekuatan dari *sandwich* tetap terjaga. *Adhesive* juga harus mampu menjaga regangan dan gaya geser. *Sandwich Honeycomb* seperti Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1: *Sandwich Honeycomb*.

(https://www.globalspec.com/learnmorematerials_chemicals_adhesivescomposite
)

2.2. 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. (D. Mousanezhad R. dkk 2014)

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

2.2.1 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 di dapatkan tingkat fleksibilitas yang cukup besar dari pemilihan material komposit tersebut. Pertimbangan struktural pada sarang lebah (*Honeycomb*) *sandwich* yaitu:

1. 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.

2. 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 faktor perekatan lapisan material atas dan bawah terhadap inti (*core*) juga berpengaruh terhadap pertimbangan struktural ini.

3. Temperatur

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

4. *Flammability*

Flammability ini terdiri dari 3 yaitu:

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

5. *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.(Howard G. Allen. 1969)

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.

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.

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.

2.2.2 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.

1. Masalah pertama ialah apabila suatu struktur pada sarang lebah mengalami beban horizontal seperti angin dan gempa.

2. Masalah kedua adalah apabila bagian-bagian struktur tidak tersusun atau terhubung dengan baik.
3. 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.

2.3 Aluminium

Aluminium adalah logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Aluminium terdapat di kerak bumi sebanyak kira-kira 8,07% hingga 8,23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi, dengan produksi tahunan dunia sekitar 30 juta ton pertahun dalam bentuk bauksit dan bebatuan lain (*corundum*, *gibbsite*, *boehmite*, *diaspore*, dan lain-lain). Sulit menemukan aluminium murni di alam karena aluminium merupakan logam yang cukup reaktif.

Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan luar bervariasi antara keperakan hingga abu-abu, tergantung kekasaran permukaannya.

Aluminium murni 100% tidak memiliki kandungan unsur apapun selain aluminium itu sendiri, namun aluminium murni yang dijual dipasaran tidak pernah mengandung 100% aluminium, melainkan selalu ada pengotor yang terkandung di dalamnya. Pengotor yang mungkin berada di dalam aluminium murni biasanya adalah gelembung gas di dalam yang masuk akibat proses peleburan dan pendinginan/pegecoran yang tidak sempurna.

Material cetakan akibat kualitas cetakan yang tidak baik, atau pengotor lainnya akibat kualitas bahan baku yang tidak baik (misalnya pada proses daur ulang aluminium). Umumnya, aluminium murni yang dijual dipasaran adalah aluminium murni 99%, misalnya aluminium *foil*.

2.3.1 Sifat- Sifat Aluminium

Sifat-sifat penting yang dimiliki aluminium sehingga banyak digunakan sebagai material teknik adalah sebagai berikut:

1. Berat jenisnya ringan (hanya 2,7 gr/cm³, sedangkan besi ± 8,1 gr/cm³)
2. Tahan korosi

Sifat bahan korosi dari aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) pada permukaan aluminium (fenomena pasivasi). Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi. Lapisan ini membuat Al tahan korosi tetapi sekaligus sukar dilas, karena perbedaan *Melting Point* (titik lebur).

3. Penghantar listrik dan panas yang baik

Aluminium juga merupakan konduktor panas dan elektrik yang baik. Jika dibandingkan dengan massanya, aluminium memiliki keunggulan dibandingkan dengan tembaga, yang saat ini logam konduktor panas dan listrik yang cukup baik, namun cukup berat.

4. Mudah difabrikasi/ditempa

Sifat lain yang menguntungkan dari aluminium adalah sangat mudah difabrikasi, dapat dituang (dicor) dengan cara penuangan apapun. Dapat *deforming* dengan cara: *rolling, drawing, forging, extrusi*, dan lain-lain. Dan menjadi bentuk yang rumit sekalipun.

5. Kekuatannya rendah tetapi pepaduan (*alloying*) kekuatannya bisa ditingkatkan

Kekuatan dan kekurangan aluminium tidak begitu tinggi dengan pepaduan dan *heat treatment* dapat ditingkatkan kekuatan dan kekerasannya. Kekuatan mekanik meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn dan Ni. Sifat elastisnya yang sangat rendah, hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan pepaduan maupun dengan *heat treatment*.

Selain sifat yang diatas, aluminium juga memiliki sifat fisika, mekanik yaitu:

a. Sifat Fisika Aluminium, seperti pada Tabel dibawah:

Tabel 2.1 Sifat fisik Aluminium (Surdia,1999)

Sifat – sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Massa Jenis (20°C)	2,6968	2,71
Titik Cair	660,2	653-657
Panas Jenis (cal/g°C)(100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran Listrik (%)	64,94	59

Koefisien Pemuaian (20-100°C)	23,86 x 10 ⁻⁶	23,5 x 10 ⁻⁶
Jenis Kristal, konstanta kisi	<i>fcc</i> , <i>a</i> =4,013 kX	<i>fcc</i> , <i>a</i> =4,04 Kx

Tabel 2.2 Sifat mekanik Aluminium (Surdia,1999)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		>99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%)(kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brimell	17	27	23	44

Tabel 2.1 menunjukkan sifat fisik Al dan Tabel 2.2 menunjukkan sifat mekaniknya. Ketahanan korosi berubah menurut kemurnian, pada umumnya untuk kemurnian 99,0 % atau di atasnya dapat dipergunakan di udara tahan dalam bertahun-tahun. Hantaran listrik Al, kira-kira 65 % dari hantaran listrik tembaga, tetapi masa jenisnya kira-kira sepertiganya sehingga memungkinkan untuk memperluas penampangnya. Oleh karena itu dapat dipergunakan untuk kabel tenaga dan dalam berbagai bentuk umpamanya sebagai lembaran tipis (*foil*). Dalam hal ini dipergunakan Al dengan kemurnian 99,0%. Untuk reflektor yang memerlukan reflektifitas yang tinggi juga untuk kondensator elektronik dipergunakan aluminium dengan kemurnian 99,99%(Surdia,1999).

2.3.2 Karakteristik Alumunium

Aluminium merupakan logam berwarna putih keperakan dengan sifat ringan, kuat, namun mudah dibentuk. Nomor atom aluminium adalah 13 dan diwakili dengan simbol Al. Dalam kerak bumi, aluminium merupakan unsur paling berlimpah ketiga setelah oksigen dan silikon.

Aluminium merupakan konduktor panas dan listrik yang sangat baik, bahkan lebih baik dari tembaga. Logam ini merupakan elemen yang sangat reaktif dan membentuk ikatan kimia yang kuat dengan oksigen. Aluminium akan membentuk lapisan sangat tipis oksida aluminium ketika beraksi dengan udara yang akan melindungi dari karat.

2.3.3 Kelebihan Alumunium

- a. Tahan keropos dan tidak akan dimakan rayap. Bahan aluminium yang lebih tahan lama daripada kayu. Tidak menyusut seperti kayu, dan bentuk tidak akan pernah berubah atau jadi melengkung jika dilanda cuaca ekstrim seperti panas, kemarau, atau dingin di musim penghujan.
- b. Desainnya dapat dibuat sesuai pesanan. Keunggulan aluminium adalah karena materialnya kuat namun bobotnya tetap ringan sehingga mudah dipindahkan. Bahan aluminium juga mudah dirawat.
- c. Ekonomis, dalam pengertian biaya proses pembuatan, pemasangan, dan perawatan. Aluminium lebih murah dan tahan lama.

2.3.4 Kekurangan Aluminium

- a. Mudah tergores
- b. Lemah terhadap benturan.
- c. Kurang fleksibel dalam desain.

2.3 Pengujian Mekanik

2.3.1 Uji Tekan (*Press Test*)

Benda memiliki kekuatan yang tak bisa di terka atau di perkirakan, terkadang ada benda yang memiliki kekuatan yang kuat dan juga ringan. Namun berhati hatilah terhadap benda kuat atau berat yang akan bisa melukai diri kita dan sampai membuat kita meninggal. Namun setelah berkembangnya dunia pada saat sekarang ini kekuatan benda tersebut dapat di ukur atau di ketahui dengan alat uji tekan.

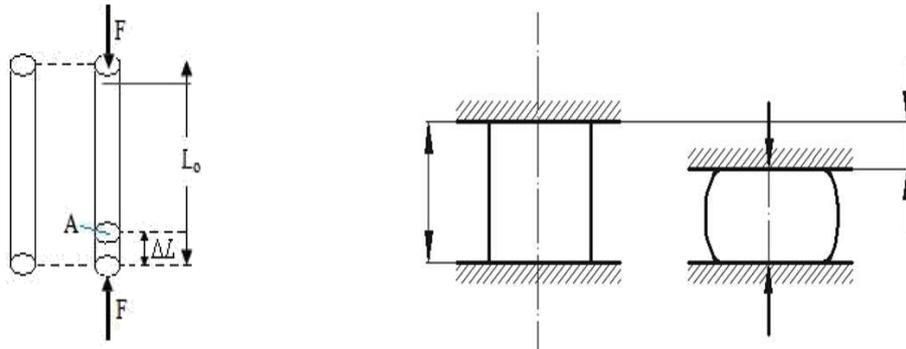
Uji tekan adalah suatu alat uji mekanik yang berguna untuk mengukur dan mengetahui kekuatan benda terhadap gaya tekan. Uji tekan ini memiliki kinerja yang bagus dan berkualitas untuk mengetahui kekuatan benda. Pada umumnya uji tekan ini digunakan pada logam yang bersifat getas, karena alat uji tekan ini memiliki titik hancur yang terlihat jelas di saat melakukan pengujian benda tersebut.

Keragaman fungsi dan dimensional uji tekan ini menjadikan beragam ragam syarat mekanis yang perlu di penuhi karena akan beragam pula gaya dan arah gaya yang akan di uji kekuatan benda tersebut. Pada beberapa alat yang akan di uji yang di buat panjang, dia akan melengkung jika di uji dengan alat uji tekan.

Uji tekan ini memiliki alat yang canggih, berat dan tenaga yang kuat serta kualitas dan kinerja yang menjanjikan untuk para pengguna alat uji tekan tersebut.

2.4.2 Pengujian Tekan Statik

Tegangan tekan berlawanan dengan tegangan tarik. Jika pada tegangan tarik, arah kedua gaya menjauhi ujung benda (kedua gaya saling berjauhan), maka pada tegangan tekan, arah kedua gaya saling mendekati. Dengan kata lain benda tidak ditarik tetapi ditekan (gaya-gaya bekerja di dalam benda). Kekuatan tekan material adalah nilai tegangan tekan uniaksial yang mempunyai modulus kegagalan ketika saat pengujian. Perubahan bentuk benda yang disebabkan oleh tegangan tekan dinamakan mampatan. Misalnya pada tiang-tiang yang menopang beban, seperti tiang bangunan mengalami tegangan tekan. Kekuatan tekan biasanya diperoleh dari percobaan dengan alat pengujian tekan. Ketika dalam pengujian nantinya, spesimen (biasanya silinder) akan menjadi lebih mengecil seperti menyebarkan. Perubahan benda yang disebabkan tegangan tekan dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.2 : Perubahan benda yang disebabkan oleh tegangan tekan aksial.

Keterangan :

A = Luas Penampang

F = Gaya yang bekerja sebagai penekanan

L0 = Panjang Awal

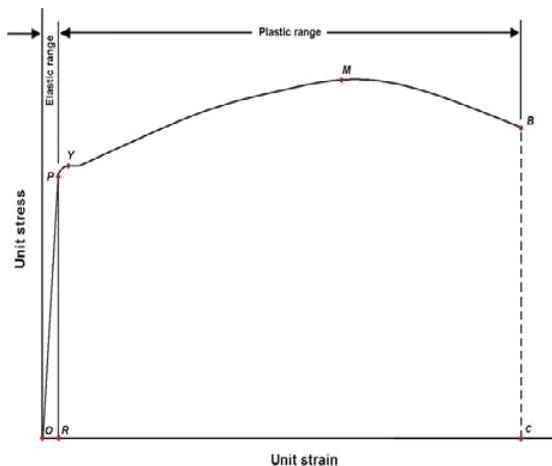
ΔL = Perubahan panjang, dimana : $\Delta L = L_0 - L_1$

Dalam perancangan teknik yang sebenarnya sebagian besar kita bertumpu pada tegangan teknik. Pada kenyataannya, tegangan sebenarnya berbeda dengan tegangan teknik. Oleh sebab itu, material akibat beban tekan dapat dihitung dari

penjelasan persamaan yang diberikan. Hal ini tentu saja karena perubahan luas penampang (A_0) dan fungsi dari luas penampang $A = \phi(F)$.

2.4.3 Persamaan Tegangan – Regangan.

Sebuah batang atau selinder yang dikenai beban tekan akan mengalami perubahan panjang yang disertai pengurangan luas penampang pada daerah elastis material. Adapun kurva tegangan – regangan akibat beban tekan dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.2: Kurva tegangan – regangan.

Dalam penelitian ini terdapat bahan yang mengalami deformasi plastis jika terus diberikan tegangan dan bahan ini tidak akan berubah kebentuk semula. Biasanya material teknik terjadi pada daerah elastis yang hampir berimpitan dengan batas maksimal.

a. Tegangan (Stress)

Tegangan adalah kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda. Tegangan (stress) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang, benda. Secara matematis dituliskan :

$$\sigma = F/A \quad (2.1)$$

b. Regangan (Strain)

Regangan didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang material dari panjang awal sebagai hasil dari gaya yang menarik atau yang menekan pada material dinyatakan :

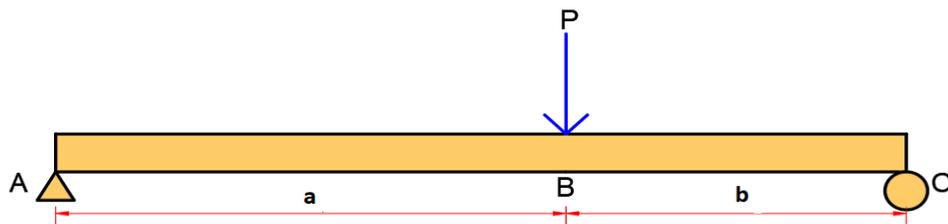
$$e = \Delta L / L \quad (2.2)$$

2.4.4 Jenis Jenis Pembenanan

Salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya defleksi pada batang adalah jenis beban yang diberikan kepadanya. Adapun jenis pembebanan adalah sebagai berikut:

a. Beban Terpusat

Titik kerja pada batang dapat dianggap berupa titik karena luas kontaknya kecil, dapat dilihat pada Gambar 2.5.

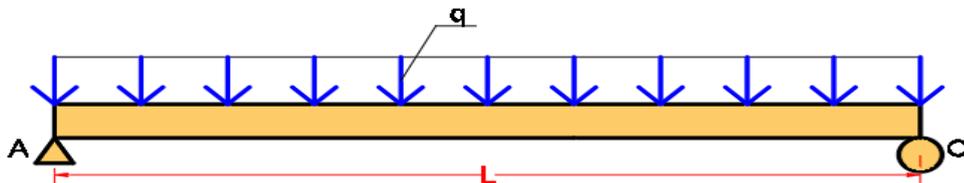


Gambar 2.4: Pembebanan terpusat

(<https://mekanikateknikcom.wordpress.com/category/beban-terpusat/>)

b. Beban terbagi merata

Disebut beban terbagi merata karena merata sepanjang batang dinyatakan dalam qm (kg/m atau KN/m), dapat dilihat pada gambar 2.6. dibawah ini.

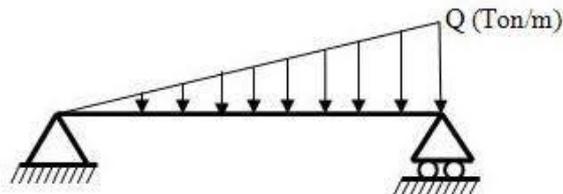


Gambar 2.5: Pembebanan terbagi merata

(<https://mekanikateknikcom.wordpress.com/category/beban-merata/>)

c. Beban bervariasi *uniform*

Disebut beban bervariasi uniform karena beban sepanjang batang besarnya tidak merata, seperti gambar 2.7. dibawah ini.



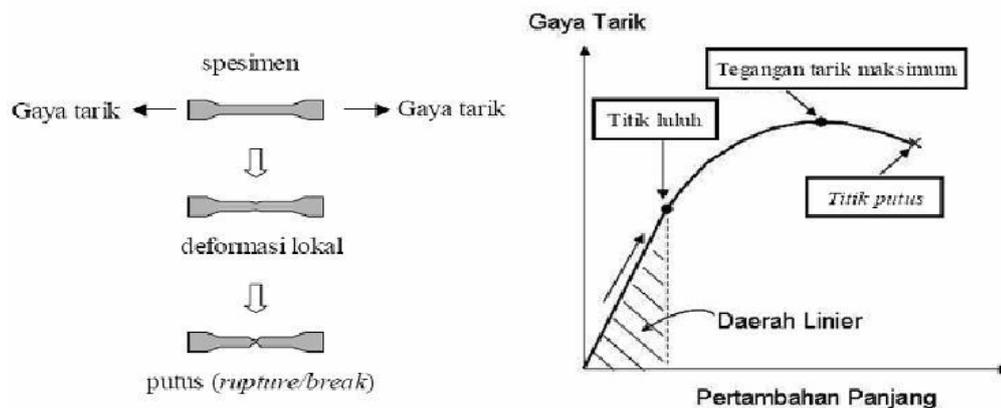
Gambar 2.6: Pembebanan bervariasi *uniform*

2.4.5 Uji Tarik

Uji tarik adalah sebuah pemberian gaya tarik atau tegangan tarik terhadap material untuk mengetahui kekuatan dari suatu material. Uji tarik dilakukan dengan cara memberikan gaya tarik secara terus menerus terhadap material, sehingga material tersebut mengalami perpanjangan yang meningkat dan teratur sampai putus, dengan tujuan untuk menentukan nilai tarik material tersebut. Untuk mengetahui kekuatan tarik dari suatu material dalam pembebanan tarik, garis gaya harus berhimpit dengan garis sumbu bahan sehingga pembebanan yang terjadi beban tarik lurus. Tetapi jika gaya tarik sudut berhimpit maka yang terjadi adalah gaya lentur.

Hasil uji tarik tersebut mencatat adanya hubungan tegangan-regangan selama proses uji tarik dilakukan. Uji tarik sering digunakan dalam kegiatan engineering untuk mengetahui sifat-sifat mekanik suatu material.

Uji tarik sering dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu material dan sebagai data tambahan spesifikasi bahan. Pada uji tarik benda yang diuji diberi gaya tarik sesumbu yang bertambah secara kontiniu, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan terhadap perpanjangan yang dialami benda uji (Robert Denti Salindeho,2013).



Gambar. 2.7 Gambar singkat tentang uji tarik(Robert Denti Salindeho,2013)

2.5 Penyerapan Energi

Energy absorbtion materials (EAMs) secara optimal dirancang untuk menyerap energi kinetik, static, deformasi plastik, maupun mekanisme lainnya. Bahan penyerap energi digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti contoh

dalam bodi pesawat, mobil, perangkat elektronik, peralatan pelindung diri, peredam gelombang kejut, mengurangi getaran, maupun untuk mendistribusikan tekanan pada suatu benda. Pesatnya kemajuan teknologi ini telah memicu minat (EAMs) dengan kapasitas penyerapan yang lebih besar yaitu *energy absorbtion capacity* (EAC).

Karena tingginya deformasi statik pada logam, ketangguhan yang sangat baik pada komposit, dan sebagainya. Bahan-bahan ini sudah banyak digunakan dalam struktur penyerapan energi, karena respon tegangan-regangan nya sangat tinggi pada benda yang digunakan. (Lijun Yi, dkk 2017).

Dalam hal penyerapan energi pada benda mau pun material dapat dipengaruhi oleh luas penampang.

Luas penampang pada permukaan benda kerja sangat berpengaruh pada proses penyerapan energi ketika pada saat di uji tekan statik karena semakin besar luasan permukaan pada benda maka semakin besar pula kemampuan penyerapan energi yang dihasilkan pada benda begitu pulak sebaliknya.

Rumus persamaan luas permukaan:

$$Luas (L) = (p \times l) + (p \times l) + (p \times l) \dots \dots \quad (2.3)$$

Keterangan:

$$k = \frac{3EI}{L^3} \quad (2.4)$$

Rumus tersebut merupakan rumus kekakuan yang dapat disimpulkan bahwa semakin besar momen inersia luasan penampang maka kekakuan semakin meningkat. Hal ini sesuai peningkatan energi yang diserap seiring bertambahnya momen inersia.(Shengyu Duan 2017).

Dalam kasus ini kemampuan penyerapan energi pada sebuah benda dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$U = \int_0^e \sigma \cdot d\varepsilon \quad (2.5)$$

Keterangan :

Pada dasar nya energi terbagi atas beberapa pembagian seperti pada contoh dibawah ini:

a. Energi Mekanis

Energi mekanis adalah energy yang terdiri dari energikinetik dan energy potensi perpindahan

1. Energi potensial

Energi potensial adalah suatu bentuk energi yang dimiliki oleh benda karena perubahan kedudukannya terhadap bumi.

2. Energi kinetik

Energi kinetik merupakan suatu bentuk energi yang dimiliki oleh benda yang sedang bergerak.

b. Energi kimia

Energi kimia adalah energi yang disimpan di dalam makanan, minuman atau bahan bakar. Energi kimia akan dilepaskan ketika suatu bahan bereaksi terhadap bahan lain, misal pada pembakaran pada bensin yang melepaskan energi kimianya pada saat dibakar dan bias menggerakkan mesin mobil.

Dalam hal ini energi sangat banyak terdapat di kehidupan kita, dan masih banyak lagi contoh-contoh energi lainnya.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Tempat pelaksanaan penelitian dilakukan 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 sejak tanggal usulan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara seperti yang tertera pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1: Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	6	7	8	9	10	11	12	1	2
1.	Study literatur									
2.	Penyempurnaan Alat									
3.	Pembuatan Spesimen									
4.	Pelaksanaan Pengujian									
5.	Penyusunan Tugas Akhir									
6.	Penyelesaian Tugas Akhir									

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

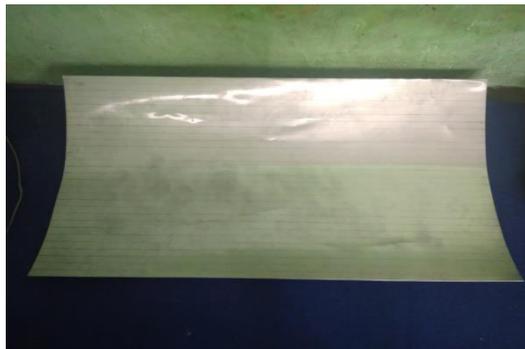
3.2.1 Bahan Penelitian

a. Lembaran Pelat Aluminium

Lembaran aluminium yang digunakan dengan tebal 0,4 mm untuk membuat core struktur sarang lebah yang dibentuk menggunakan alat pencetak *core*, adapun sifat fisik dari plat aluminium tersebut ada pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Sifat mekanik bahan aluminium

No	Sifat	Keteranagn
1	Densitas	2.8 g/cm ² (170 lb/ft ²)
2	Yield Strenght	47 to 220 MPa (6.8 to 32 x 10 ³ psi)
3	Modulus Young	69 GPa (10x10 ⁶ psi)
4	Poison Ratio	0,33



Gambar 3.1: Lembaran pelat aluminium

b. Lem Fox

Lem ini digunakan karena mempunyai karakteristik yang baik, dan lem ini berfungsi digunakan untuk menyatukan *core* dan *skin* pada struktur sarang lebah, seperti gambar 3.2 dibawah ini:



Gambar 3.2: Lem Fox

3.2.2 Alat Penelitian

a. Pisau *Cutter*

Kegunaan dari pisau *cutter* ini adalah untuk memotong pelat aluminium sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan seperti pada gambar 3.3 dibawah ini:



Gambar 3.3 : Pisau *cutter*

b. Penggaris

Penggaris ini digunakan untuk mengukur pelat aluminium serta mengukur panjang spesimen yang akan digunakan seperti gambar 3.4 dibawah ini:



Gambar 3.4: Penggaris

c. Palu

Palu ini digunakan untuk memukul pelat aluminium ketika pada saat proses pembuatan inti (*core*) pada sarang lebah seperti pada gambar 3.5 dibawah ini:



Gambar 3.5: Palu

d. Penjepit

Alat ini digunakan untuk menjepit pelat aluminium pada saat proses pembutan *core* pada cetakan seperti pada gambar 3.6 dibawah ini:



Gambar 3.6: Penjepit

e. Cetakan specimen ukuran hexagonal 2 mm

Cetakan spesimen untuk membut inti (*core*) pada struktur sarang lebah dapat dilihat pada gambar 3.7 dibawah ini:



Gambar 3.7: Cetakan spesimen ukuran hexagonal 2 mm

f. Cetakan specimen ukuran hexagonal 4 mm

Cetakan spesimen untuk membut inti (*core*) pada struktur sarang lebah dapat dilihat pada gambar 3.8 dibawah ini:



Gambar 3.8: Cetakan spesimen ukuran hexagonal 4 mm

g. Cetakan specimen ukuran hexagonal 6 mm

Cetakan spesimen untuk membuat inti (*core*) pada struktur sarang lebah dapat dilihat pada gambar 3.9 dibawah ini:

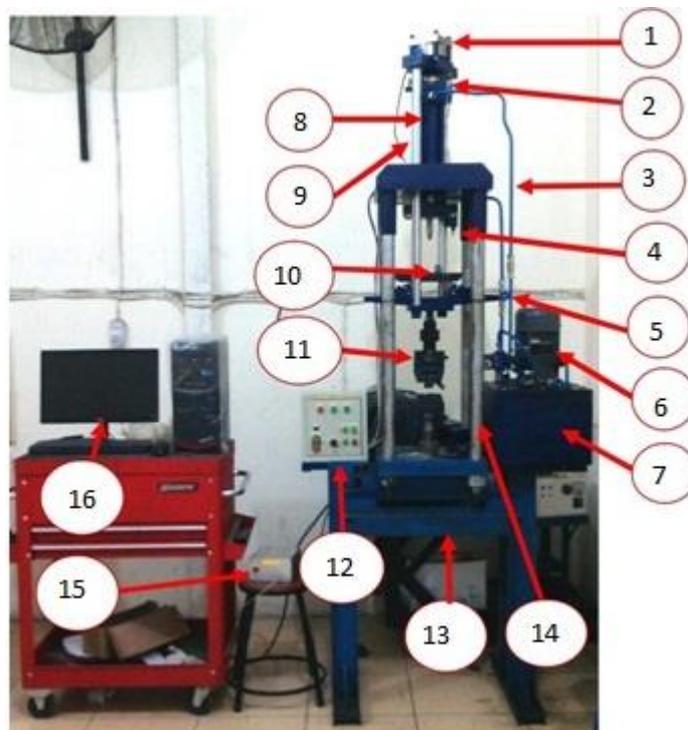


Gambar 3.9: Cetakan specimen ukuran hexagonal 6 mm

h. Alat Uji Tekan

Alat uji tekan digunakan untuk menguji spesimen hingga mengalami deformasi akibat gaya tekan sampai batas normalnya, dengan demikian penyerapan energi dapat diketahui.

Pengujian tekan dilakukan untuk mencari kemampuan penyerapan energi akibat dari gaya tekan.

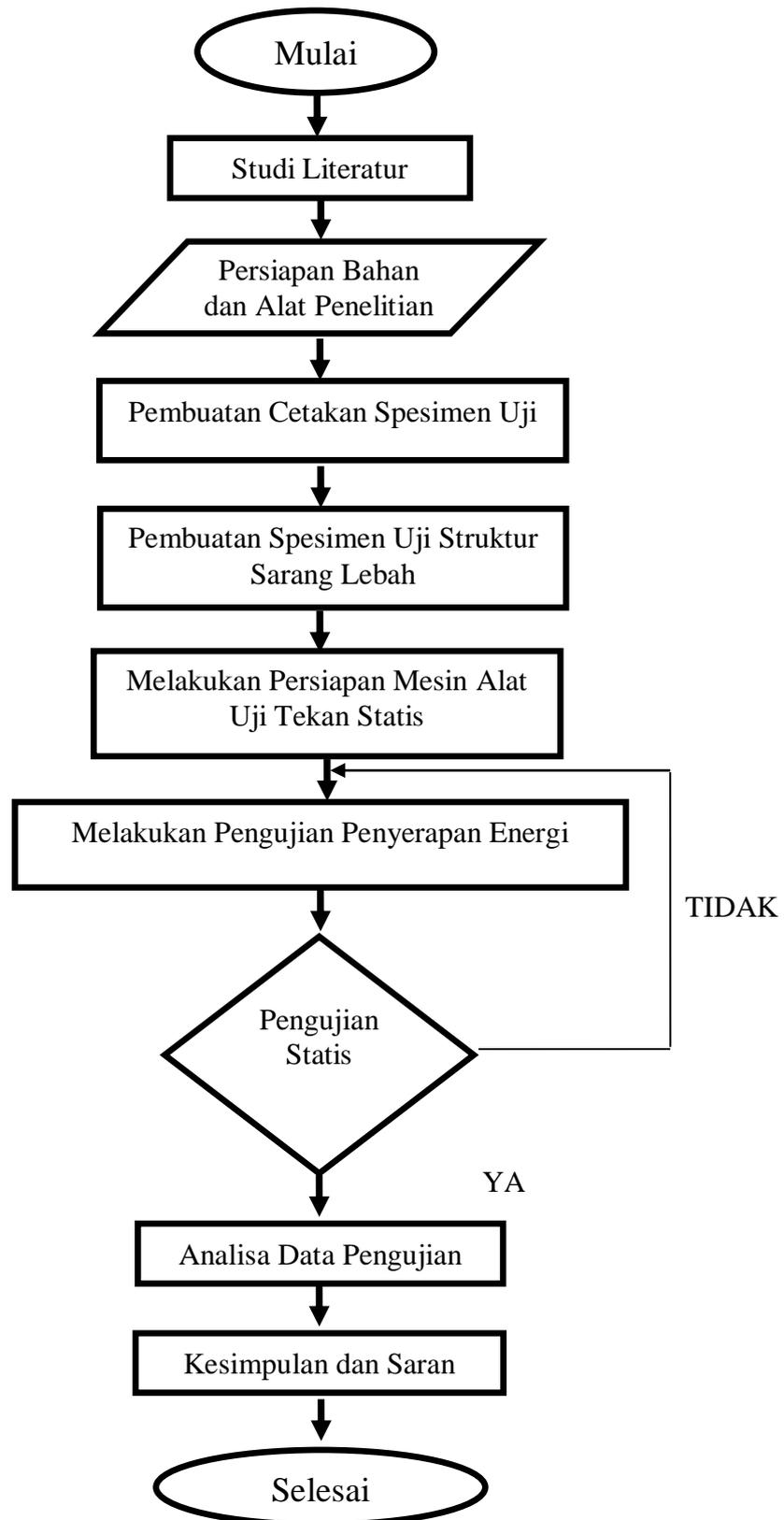


Gambar 3.10: Alat uji tekan

Keterangan gambar :

1. Pemberi beban tekan
2. Sensor atas
3. Selang *hidraulic*
3. Sensor bawah
4. Alat ukur tekanan
5. Motor
6. Tanki oli *hidraulic*
7. Tabung *hidraulic*
8. Rangka atas
9. Cekam atas
10. Cekam bawah
11. Control panel
12. Meja
13. Rangka bawah
14. Lab *jack*
15. PC (Personal computer)
16. Monitor

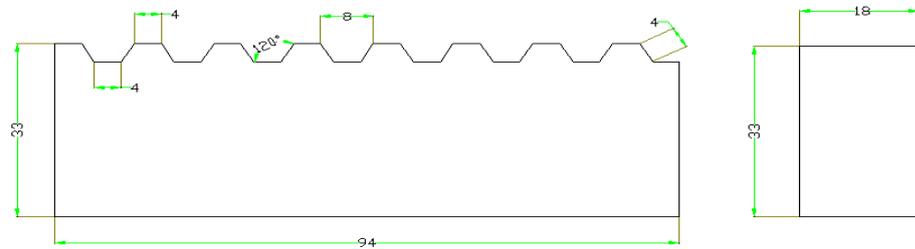
3.3 Diagram Alir



Gambar 3.11: Diagram Alir Penelitian

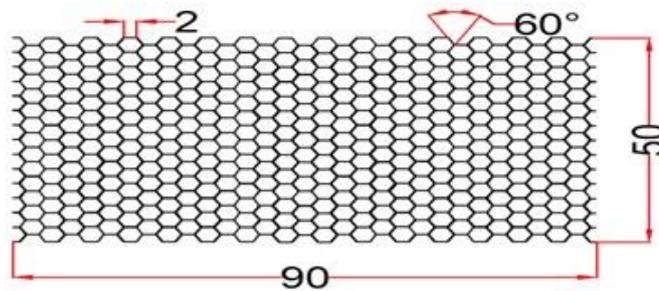
Dilihat dari gambar 3.11. diagram alir penelitian yaitu sebagai berikut :

1. Mempersiapkan bahan dan alat yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Membuat cetakan spesimen yang berbentuk struktur sarang lebah dengan dimensi ukuran 4 mm seperti pada gambar dibawah ini:



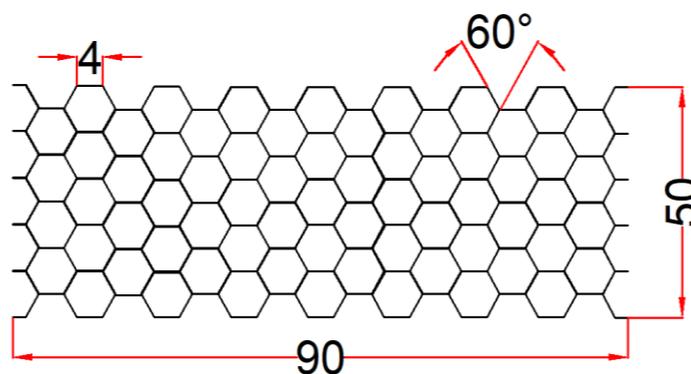
Gambar 3.12 : Dimensi cetakan ukuran 4 mm

3. Membuat spesimen yang berbentuk struktur sarang lebah dengan dimensi ukuran hexagonal 2 mm, 4 mm, dan 6 mm seperti pada gambar dibawah ini
 - a. Dimensi spesimen hexagonal 2 mm



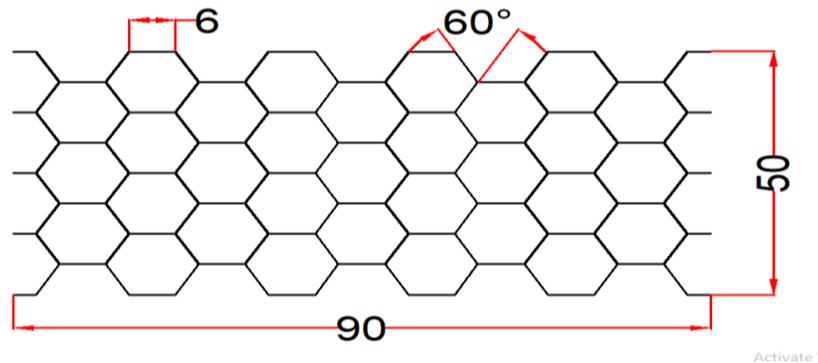
Gambar 3.13 : Dimensi spesimen hexagonal 2 mm

- b. Dimensi spesimen hexagonal 4 mm



Gambar 3.14 : Dimensi spesimen hexagonal 4 mm

c. Dimensi spesimen hexagonal 6 mm



Gambar 3.15 : Dimensi spesimen hexagonal 6 mm

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

3.4 Proses Pembuatan Struktur Sarang Lebah (*Honeycomb*)

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

a. Pemotongan pelat aluminium

Proses ini dilakukan untuk memotong pelat aluminium sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan yaitu dengan lebar 19 mm

b. Pencetakan/pembuatan inti (*core*) struktur sarang lebah

Pembuatan inti (*core*) struktur sarang lebah melakukan metode pengerjaan manual dengan cara menekan pelat aluminium pada cetakan.

c. Pengeleman inti (*core*)

Pengeleman pada inti (*core*) menggunakan lem *fox* dengan cara mengoleskannya pada permukaan aluminium yang telah dibentuk

3.5 Prosedur Pengujian Spesimen

Adapun prosedur pengujian spesimen menggunakan alat uji tekan statis dapat dilihat sebagai berikut :

1. Menyiapkan CPU dan PC
2. Menghubungkan sensor ke CPU seperti pada gambar berikut:
3. Menghidupkan mesin dengan menekan tombol ON pada panel

4. Mengukur dimensi benda kerja seperti pada gambar dibawah
5. Memasukkan data dimensi benda kerja pada komputer seperti pada gambar dibawah ini:
6. Memasang mensetting benda kerja (spesimen) agar tidak memiliki *space* pada saat pengujian dan mengencangkan baut pengunci seperti pada gambar dibawah ini:
7. Putar *switch setting > testing*
8. Tekan tombol start
9. Setelah benda kerja mengalami perubahan bentuk, simpan data pada computer
10. Tekan tombol *OFF* seperti pada gambar dibawah ini:
11. Pindahkan data menggunakan disk seperti pada gambar dibawah ini:
12. Matikan alat uji dan bersihkan alat yang digunakan.

Mesin uji tekan ini berjalan secara manual, sehingga meskipun spesimen uji tekan mencapai batas optimal hingga berubah bentuk, alat ini akan terus berjalan. Karena itu diperlukan operator yang selalu berada disisi mesin untuk mengontrol proses pengujian tekan statis.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembuatan Cetakan Spesimen

Pembuatan cetakan spesimen ini dilakukan untuk membandingkan tiga ukuran spesimen yang berbeda. Pada gambar 4.1 dibawah ini adalah cetakan spesimen dengan ukuran 4 mm.



Gambar 4.1 : Cetakan 4 mm

Cetakan spesimen ini dibuat menggunakan bahan baja lunak ST37 dengan tinggi 33 mm, tebal 18 mm, panjang 210 mm dan sudut kemiringan 60 derajat.

4.2 Hasil Pemotongan Pelat Aluminium

Pemotongan pelat aluminium dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini:



Gambar 4.2 : Pemotongan pelat

4.3 Pencetakan/Pembuatan inti (*core*) Struktur Sarang Lebah

Pencetakan dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini:



Gambar 4.3 : Pembuatan inti (*core*)

4.4 Pengeleman inti (*core*)

Pengeleman inti (*core*) dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini:



Gambar 4.4 : Pengeleman inti (*core*)

4.5 Penyatuan inti (*core*)

Penyatuan inti (*core*) setelah pengeleman dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini:



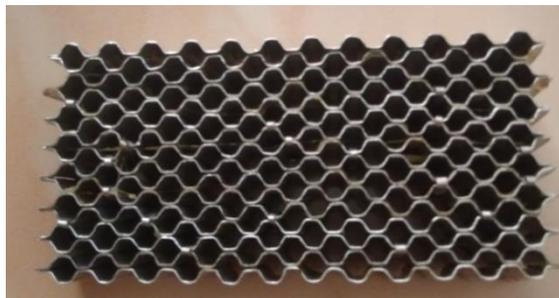
Gambar 4.5 : Penyatuan inti (*core*)

4.6 Hasil Pembuatan Spesimen

Dilihat dari proses penelitian selama ini maka didapat hasil pembuatan spesimen yang terlihat pada gambar dibawah ini:

- a. Spesimen dengan ukuran hexagonal 2 mm

Spesimen dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah ini :



Gambar 4.6 : Spesimen ukuran hexagonal 2 mm

- b. Spesimen dengan ukuran hexagonal 4 mm

Spesimen dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah ini :



Gambar 4.7: Spesimen ukuran hexagonal 4 mm

- c. Spesimen dengan ukuran hexagonal 6 mm
Spesimen dapat dilihat pada gambar 4.8 dibawah ini :



Gambar 4.8: Spesimen ukuran hexagonal 6 mm

4.7 Hasil Prosedur Pengujian Spesimen

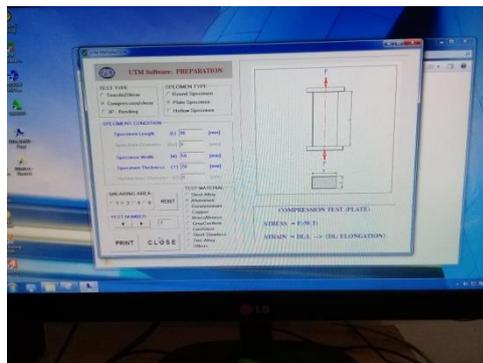
Prosedur pengujian spesimen dapat dilihat sebagai berikut:

- a. Mengukur dimensi benda kerja seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.9 : Mengukur dimensi spesimen

- b. Memasukkan data dimensi benda kerja pada computer seperti pada gambar dibawah ini:



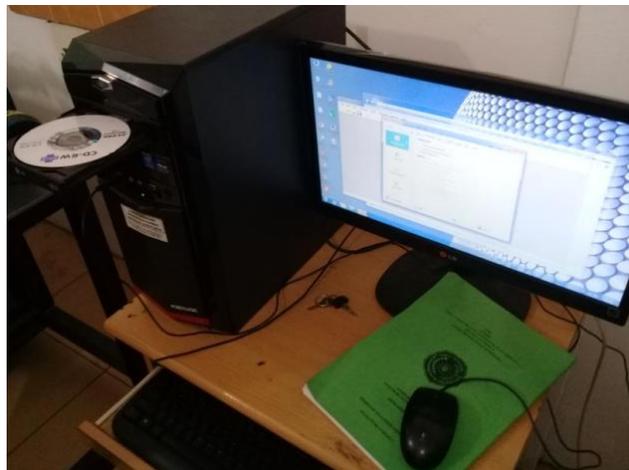
Gambar 4.10 : Memasukkan dimensi benda kerja pada computer

- c. Memasang dan *mensetting* benda kerja (spesimen) agar tidak memiliki *space* pada saat pengujian dan mengencangkan baut pengunci seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.11 : *Mensetting* bend kerja

- d. Memindahkan data menggunakan disk pada computer seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4.12 : Memindahkan data menggunakan disk

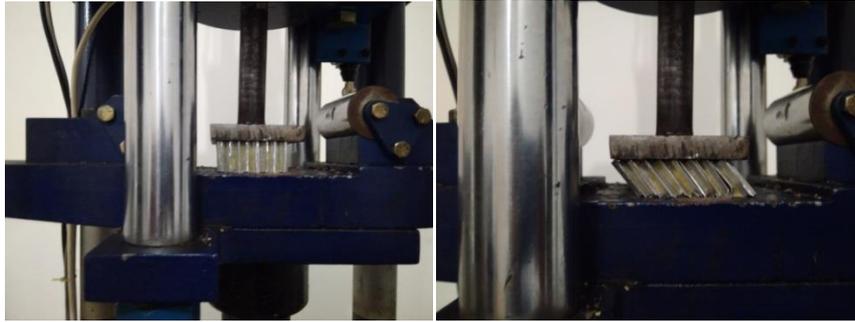
4.8 Hasil Pengujian Tekan Statis Posisi Horizontal

Hasil pengujian tekan statis dapat dilihat sebagai berikut:

4.8.1 Pola Kerusakan Pada Spesimen

- a. Pengujian Spesimen Hexagonal 2 mm

Berdasarkan hasil pengujian spesimen maka didapat hasil pengujian berupa pola berubah bentuk pada spesimen sebagai berikut:



(a)

(b)

Gambar 4.13 : (a) Keadaan sebelum dilakukan pengujian, (b) Keadaan sesudah dilakukan pengujian

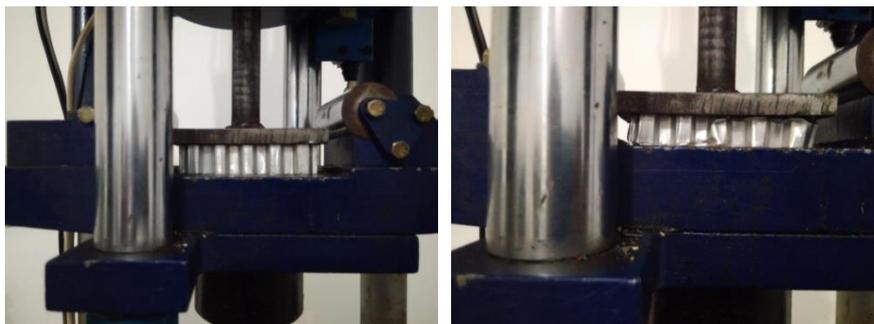
Dari gambar proses pengujian tekan statis diatas maka didapat pola perubahan bentuk pada spesimen terlihat seperti gambar 4.14 dibawah ini:



Gambar 4.14 : Pola perubahan bentuk spesimen

b. Pengujian Spesimen Hexagonal 4 mm

Berdasarkan hasil pengujian spesimen maka didapat hasil pengujian berupa pola berubah bentuk pada spesimen sebagai berikut:



(a)

(b)

Gambar 4.15 : (a) Keadaan sebelum dilakukan Pengujian, (b) Keadaan sesudah dilakukan Pengujian

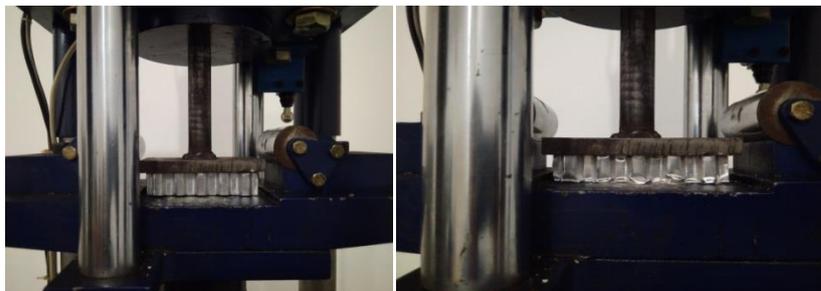
Dari gambar proses pengujian tekan statis diatas maka didapat pola perubahan bentuk pada spesimen terlihat seperti gambar 4.15 dibawah ini:



Gambar 4.16 : Pola perubahan bentuk spesimen

c. Pengujian Spesimen Hexagonal 6 mm

Berdasarkan hasil pengujian spesimen maka didapat hasil pengujian berupa pola berubah bentuk pada spesimen sebagai berikut:



(a)

(b)

Gambar 4.17 : (a) Keadaan sebelum dilakukan Pengujian, (b) Keadaan sesudah dilakukan Pengujian

Dari gambar proses pengujian tekan statis diatas maka didapat pola perubahan bentuk pada spesimen terlihat seperti gambar 4.18 dibawah ini:



Gambar 4.18 : Pola perubahan bentuk spesimen

4.8.2 Pembahasan Analisa Data

Dari data pengujian tekan statis posisi horizontal maka dari itu didapat perhitungan sebagai berikut:

1. Spesimen 1 ukuran (hexagonal 2 mm)

a. Perhitungan regangan

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$$= \frac{2,255}{20}$$

$$= 0,11275 \text{ mm/mm}$$

b. Perhitungan tegangan

$$F = 4070,61 \text{ kgf}$$

$$= 4070,61 \text{ kgf} \times 9,8 \text{ N} = 39891,978 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{39891,978}{691,2}$$

$$= 57,71408 \text{ Mpa}$$

c. Perhitungan penyerapan energi

$$\begin{aligned} U &= \int_0^\varepsilon f(\sigma) \cdot d\varepsilon = \left[\frac{f(a)+f(b)}{2} \right] \times (b - a) \\ &= \left[\frac{0+57,71408}{2} \right] \times (0,11275 - 0) \\ &= 28,85704 \times (0,11275) \\ &= 3,25363 \text{ Joule} \end{aligned}$$

2. Spesimen 2 ukuran (hexagonal 4 mm)

a. Perhitungan regangan

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$$= \frac{1,364}{20}$$

$$= 0,0682 \text{ mm/mm}$$

b. Perhitungan tegangan

$$F = 3988,36 \text{ kgf}$$

$$= 3988,36 \text{ kgf} \times 9,8 \text{ N} = 39085,928 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{39085,928}{544} \\ &= 71,84913 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

c. Perhitungan penyerapan energi

$$\begin{aligned}U &= \int_0^\varepsilon f(\sigma) \cdot d\varepsilon = \left[\frac{f(a)+f(b)}{2} \right] \times (b - a) \\ &= \left[\frac{0 + 71,84913}{2} \right] \times (0,0682 - 0) \\ &= 35,92456 \times (0,0682) \\ &= 2,45005 \text{ Joule}\end{aligned}$$

3. Spesimen 3 ukuran (hexagonal 6 mm)

a. Perhitungan regangan

$$\begin{aligned}\Delta l &= \varepsilon \cdot l \\ \varepsilon &= \frac{\Delta l}{l} \\ &= \frac{2,017}{20} \\ &= 0,10085 \text{ mm/mm}\end{aligned}$$

b. Perhitungan tegangan

$$\begin{aligned}F &= 2720,12 \text{ kgf} \\ &= 2720,12 \text{ kgf} \times 9,8 \text{ N} = 26657,176 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{26657,176}{384} \\ &= 69,06004 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

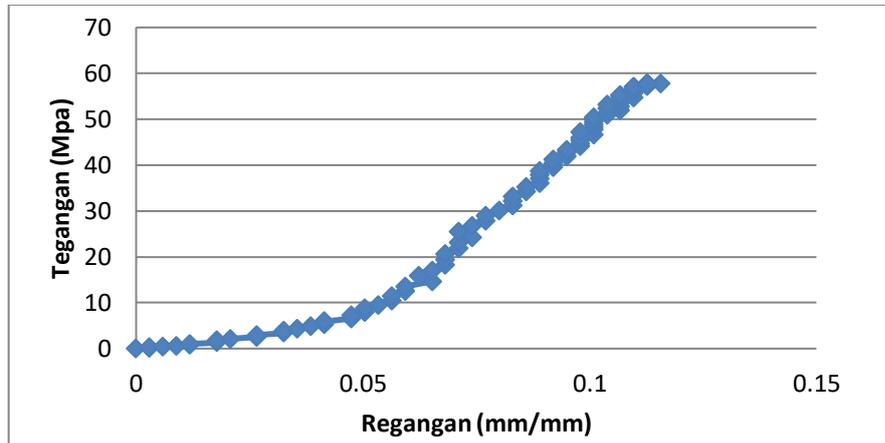
c. Perhitungan penyerapan energi

$$\begin{aligned}U &= \int_0^\varepsilon f(\sigma) \cdot d\varepsilon = \left[\frac{f(a)+f(b)}{2} \right] \times (b - a) \\ &= \left[\frac{0 + 69,06004}{2} \right] \times (0,0682 - 0) \\ &= 24,53002 \times (0,0682) \\ &= 2,35494 \text{ Joule}\end{aligned}$$

4.8.3 Grafik Tegangan – Regangan

a. Grafik tegangan regangan spesimen 1 ukuran (hexagonal 2 mm)

Dari perhitungan diatas maka didapat grafik tegangan regangan sebagai berikut ini:

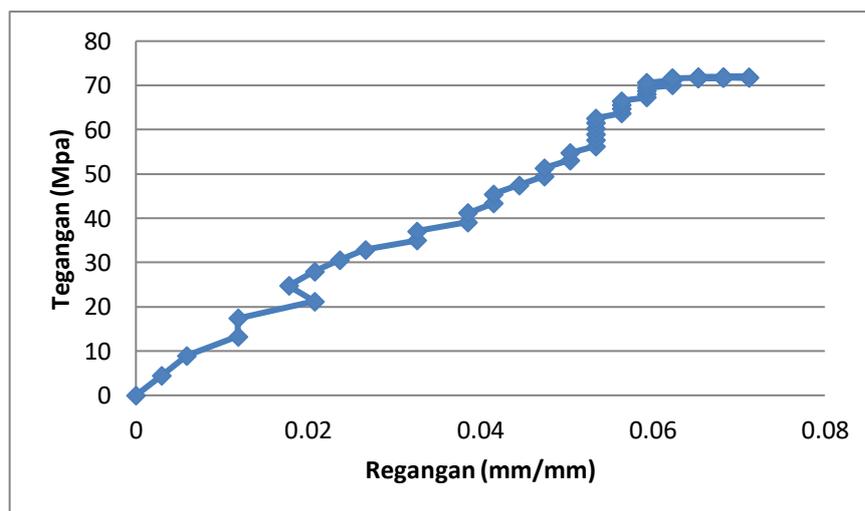


Gambar 4.19 : Grafik tegangan regangan 2 mm

Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa nilai tegangan puncak sebesar 57,71408 Mpa, dan nilai regangan sebesar 0,11275 mm/mm.

b. Grafik tegangan regangan spesimen 2 ukuran (hexagonal 4 mm)

Dari perhitungan diatas maka didapat grafik tegangan regangan sebagai berikut ini:

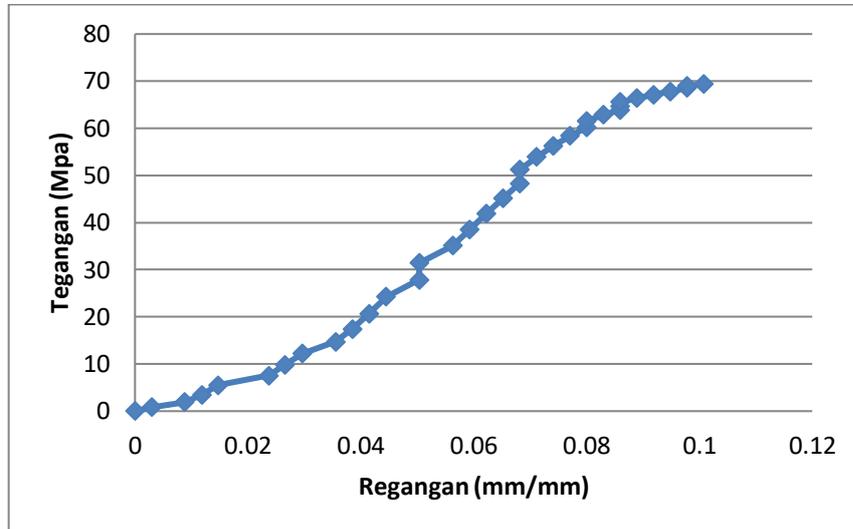


Gambar 4.20 : Grafik tegangan regangan 4 mm

Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa nilai tegangan puncak sebesar 71,84913 Mpa, dan nilai regangan sebesar 0,0682 mm/mm.

c. Grafik tegangan regangan spesimen 3 ukuran (hexagonal 6 mm)

Dari perhitungan diatas maka didapat grafik tegangan regangan sebagai berikut ini:



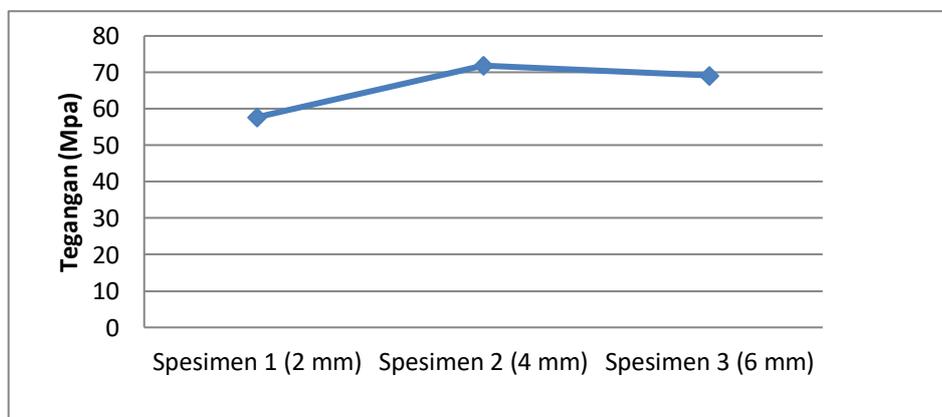
Gambar 4.21 : Grafik tegangan regangan 6 mm

Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa nilai tegangan puncak sebesar 69,06004 Mpa, dan nilai regangan sebesar 0,10085 mm/mm.

4.8.4 Perbandingan Grafik Tegangan dan Regangan

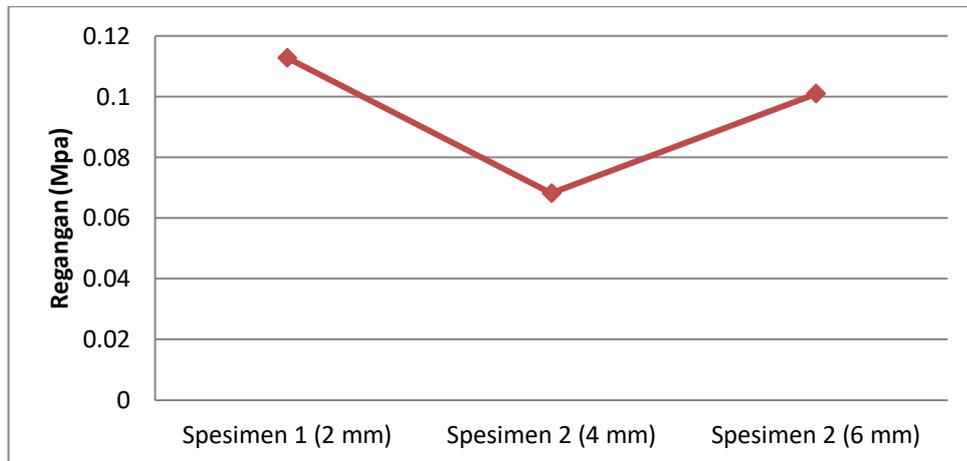
Dari data yang diperoleh maka dari itu dapat dilakukan perbandingan grafik tegangan dan regangan dari spesimen 1 ukuran (hexagonal 2 mm), spesimen 2 ukuran (hexagonal 4 mm), dan spesimen 3 ukuran (hexagonal 6 mm) seperti pada gambar dibawah ini:

a. Grafik perbandingan tegangan



Gambar 4.22 : Grafik perbandingan tegangan

b. Grafik perbandingan regangan



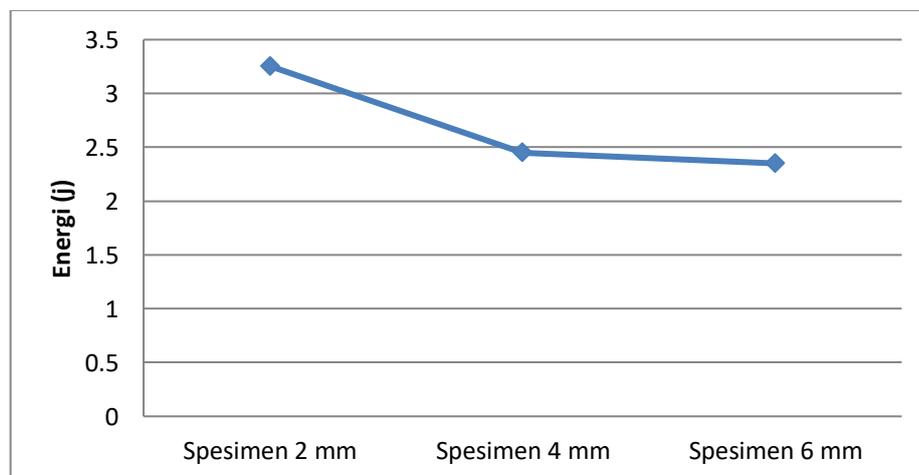
Gambar 4.23 : Grafik perbandingan regangan

Dapat disimpulkan bahwa dari grafik perbandingan tegangan dan regangan didapat bahwa pada perbandingan tegangan pada spesimen 1, 2, dan 3 didapat tegangan terbesar terdapat pada spesimen 2 dengan ukuran (hexagonal 4 mm) sebesar 71,84913 Mpa, dan tegangan terendah terdapat pada spesimen 1 dengan ukuran (hexagonal 2 mm) sebesar 57,71408 Mpa.

Regangan terbesar terdapat pada spesimen 1 dengan ukuran (hexagonal 2 mm) sebesar 0,11275 mm/mm, dan regangan terendah terdapat pada spesimen 2 dengan ukuran (hexagonal 4 mm) sebesar 0,0682 mm/mm.

4.8.5 Perbandingan Grafik Penyerapan Energi

Grafik perbandingan penyerapan energi dapat dilihat seperti padagambar dibawah ini:



Gambar 4.24 : Grafik perbandingan penyerapan energi

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa penyerapan energi terbesar terdapat pada spesimen 1 dengan ukuran (hexagonal 2 mm) sebesar 2,25363 joule, dan penyerapan energi terendah terdapat pada spesimen 3 dengan ukuran (hexagonal 6 mm) sebesar 2,35494 joule.

Hal ini bisa diakibatkan oleh beberapa faktor salah satunya yaitu karena perbedaan luas penampang pada permukaan benda kerja, semakin besar permukaan benda maka semakin besar pula penyerapan energi yang terjadi pada benda seperti pada penelitian ini dimana luas penampang pada spesimen pertama adalah sebesar 691,2 mm, sedangkan pada spesimen ketiga luas penampangnya adalah sebesar 384 mm. Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin besar luas penampang pada benda maka semakin besar pula kemampuan penyerapan energi pada benda akibat beban statis.

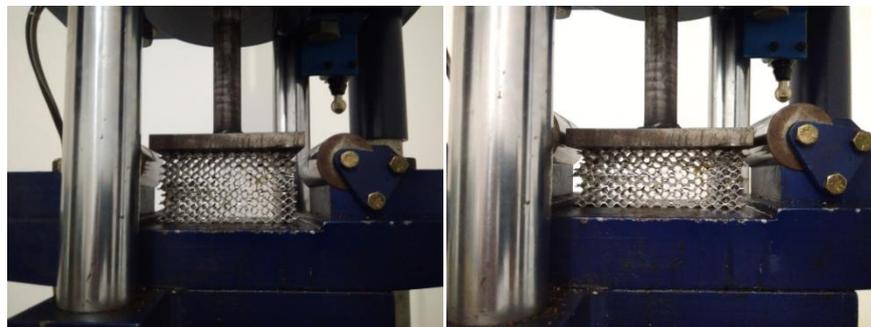
4.9 Hasil Pengujian Tekan Statis Posisi Horizontal

Hasil pengujian tekan statis dapat dilihat sebagai berikut:

4.9.1 Pola Kerusakan Pada Spesimen

a. Pengujian Spesimen Hexagonal 2 mm

Berdasarkan hasil pengujian spesimen maka didapat hasil pengujian berupa pola perubahan bentuk pada spesimen sebagai berikut:

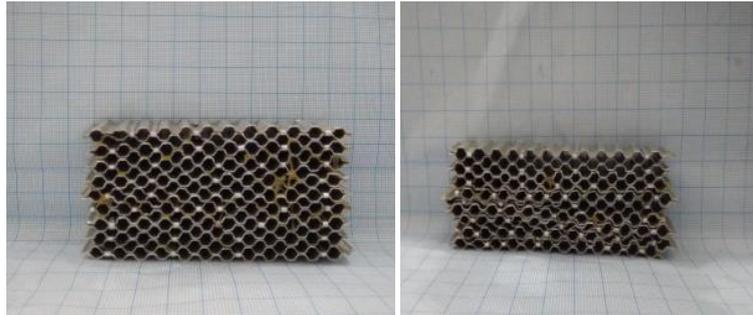


(a)

(b)

Gambar 4.25 : (a) Keadaan sebelum dilakukan Pengujian, (b) Keadaan sesudah dilakukan Pengujian

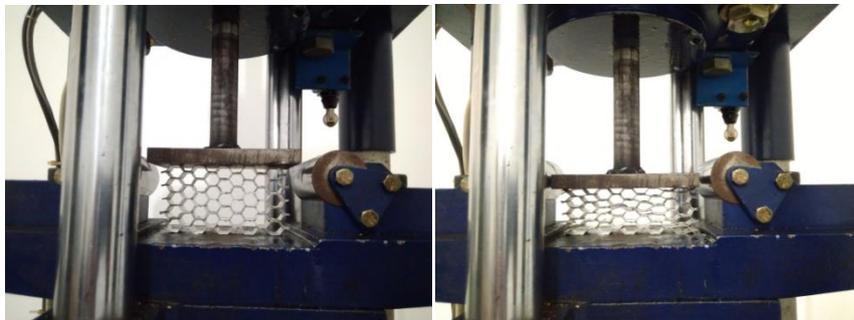
Dari gambar proses pengujian tekan statis diatas maka didapat pola perubahan bentuk pada spesimen terlihat seperti gambar 4.27 dibawah ini:



Gambar 4.26 : Perubahan bentuk spesimen

b. Pengujian Spesimen Hexagonal 4 mm

Berdasarkan hasil pengujian spesimen maka didapat hasil pengujian berupa pola berubah bentuk pada spesimen sebagai berikut:

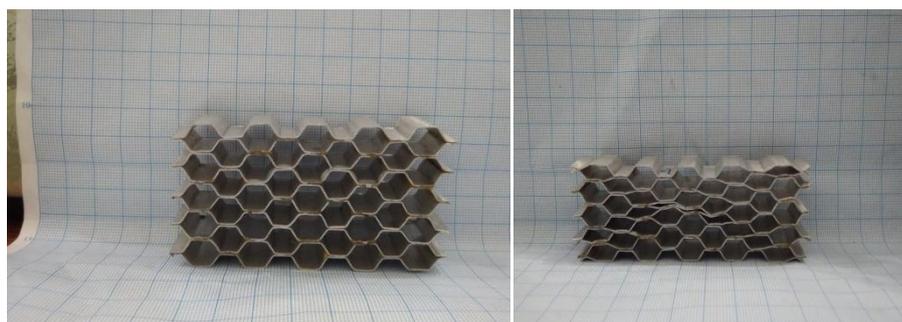


(a)

(b)

Gambar 4.27 : (a) Keadaan sebelum dilakukan Pengujian, (b) Keadaan sesudah dilakukan Pengujian

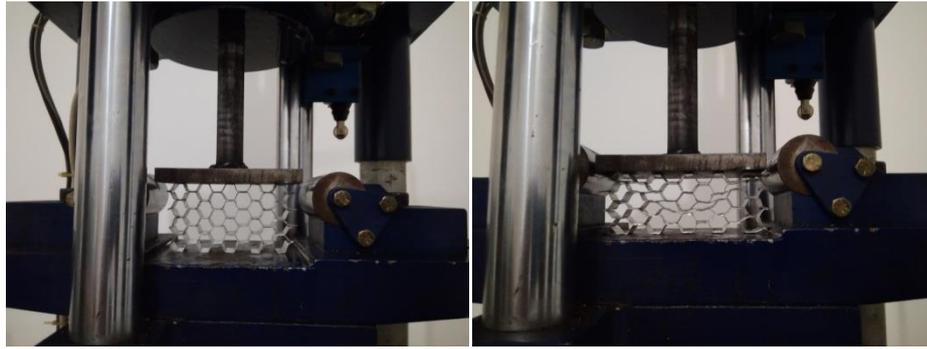
Dari gambar proses pengujian tekan statis diatas maka didapat pola perubahan bentuk pada spesimen terlihat seperti gambar 4.29 dibawah ini:



Gambar 4.28 : Perubahan bentuk spesimen

c. Pengujian Spesimen Hexagonal 6 mm

Berdasarkan hasil pengujian spesimen maka didapat hasil pengujian berupa pola berubah bentuk pada spesimen sebagai berikut:

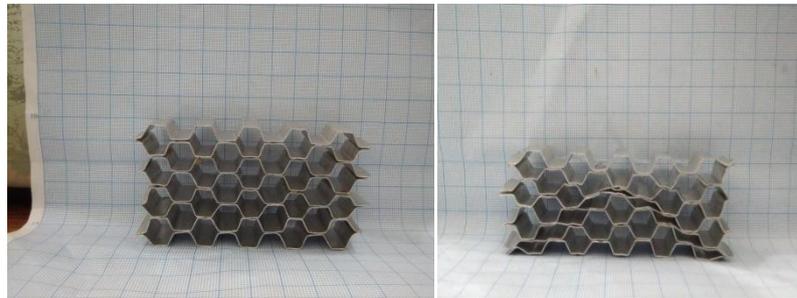


(a)

(b)

Gambar 4.29 : (a) Keadaan sebelum dilakukan Pengujian, (b) Keadaan sesudah dilakukan Pengujian

Dari gambar proses pengujian tekan statis diatas maka didapat pola perubahan bentuk pada spesimen terlihat seperti gambar 4.30 dibawah ini:



Gambar 4.30 : Perubahan bentuk spesimen

4.9.2 Pembahasan Analisa Data

Dari data pengujian tekan statis posisi horizontal maka dari itu didapat perhitungan sebagai berikut:

1. Spesimen 1 ukuran (hexagonal 2 mm)

a. Perhitungan regangan

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$$= \frac{7,952}{50}$$

$$= 0,15904 \text{ mm/mm}$$

b. Perhitungan tegangan

$$F = 234,06 \text{ kgf}$$

$$= 234,06 \text{ kgf} \times 9,8 \text{ N} = 2293,788 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{2293,788}{480}$$

$$= 4,7787 \text{ Mpa}$$

c. Perhitungan penyerapan energi

$$\begin{aligned} U &= \int_0^\varepsilon f(\sigma) \cdot d\varepsilon = \left[\frac{f(a)+f(b)}{2} \right] \times (b - a) \\ &= \left[\frac{0+4,7787}{2} \right] \times (0,15904 - 0) \\ &= 2,38935 \times (0,15904) \\ &= 0,38 \text{ Joule} \end{aligned}$$

2. Spesimen 2 ukuran (hexagonal 4 mm)

a. Perhitungan regangan

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$$= \frac{9,198}{50}$$

$$= 0,18396 \text{ mm/mm}$$

b. Perhitungan tegangan

$$F = 48,33 \text{ kgf}$$

$$= 48,33 \text{ kgf} \times 9,8 \text{ N} = 473,634 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{473,634}{560}$$

$$= 0,84577 \text{ Mpa}$$

c. Perhitungan penyerapan energi

$$\begin{aligned} U &= \int_0^\varepsilon f(\sigma) \cdot d\varepsilon = \left[\frac{f(a)+f(b)}{2} \right] \times (b - a) \\ &= \left[\frac{0+0,84577}{2} \right] \times (0,18396 - 0) \\ &= 0,42288 \times (0,18396) \\ &= 0,07779 \text{ Joule} \end{aligned}$$

3. Spesimen 3 ukuran (hexagonal 6 mm)

a. Perhitungan regangan

$$\Delta l = \varepsilon \cdot l$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

$$= \frac{9,376}{50}$$

$$= 0,18752 \text{ mm/mm}$$

b. Perhitungan tegangan

$$F = 39,05 \text{ kgf}$$

$$= 39,05 \text{ kgf} \times 9,8 \text{ N} = 382,69 \text{ N}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{382,69}{600}$$

$$= 0,63781 \text{ Mpa}$$

c. Perhitungan penyerapan energi

$$U = \int_0^{\epsilon} f(\sigma) \cdot d\epsilon = \left[\frac{f(a)+f(b)}{2} \right] \times (b - a)$$

$$= \left[\frac{0+0,63781}{2} \right] \times (0,18752 - 0)$$

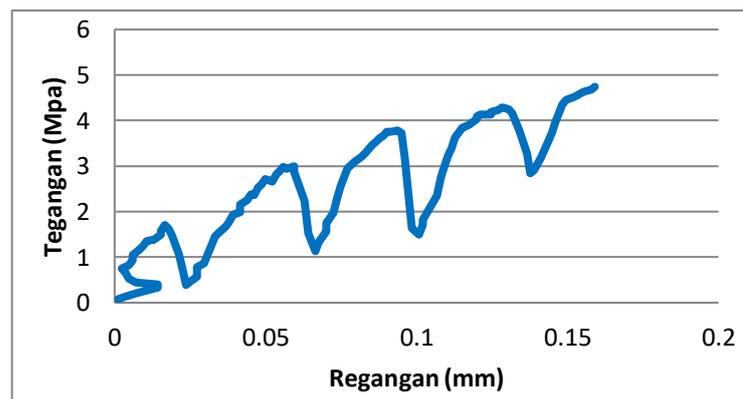
$$= 0,3189 \times (0,18752)$$

$$= 0,0598 \text{ Joule}$$

4.9.3 Grafik Tegangan – Regangan

a. Grafik tegangan regangan spesimen 1 ukuran (hexagonal 2 mm)

Dari perhitungan diatas maka didapat grafik tegangan regangan sebagai berikut ini:

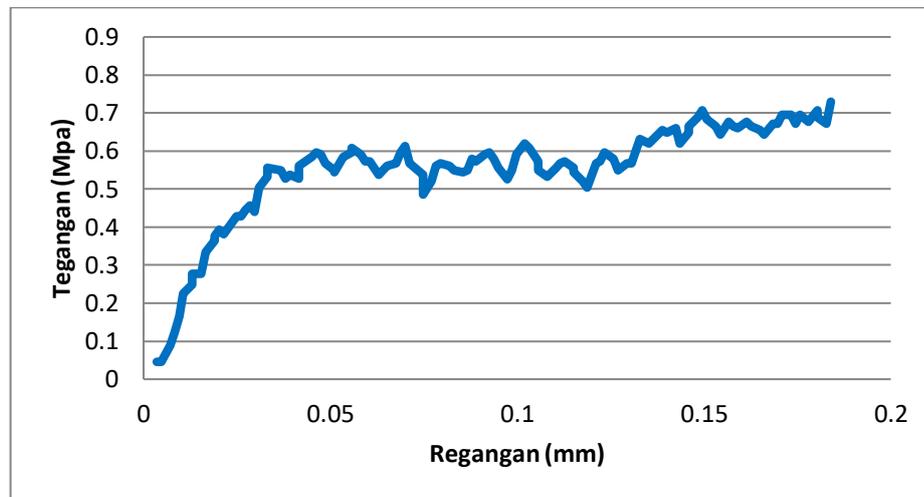


Gambar 4.31 : Grafik tegangan – regangan 2 mm

Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa nilai tegangan puncak sebesar 4,7787 Mpa, dan nilai regangan sebesar 0,15904 mm/mm.

b. Grafik tegangan regangan spesimen 2 ukuran (hexagonal 4 mm)

Dari perhitungan diatas maka didapat grafik tegangan regangan sebagai berikut ini:

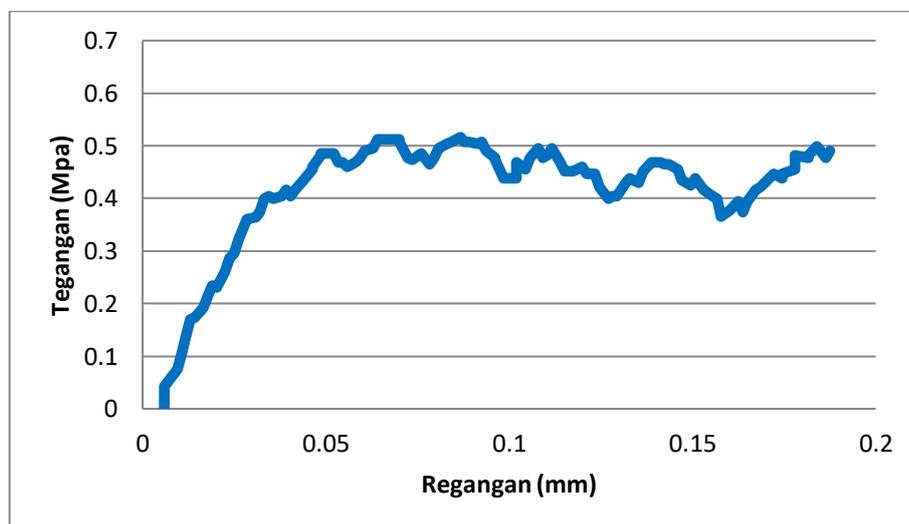


Gambar 4.32 : Grafik tegangan – regangan 4 mm

Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa nilai tegangan puncak sebesar 0,84577 Mpa, dan nilai regangan sebesar 0,18396 mm/mm.

b. Grafik tegangan regangan spesimen 3 ukuran (hexagonal 6 mm)

Dari perhitungan diatas maka didapat grafik tegangan regangan sebagai berikut ini:



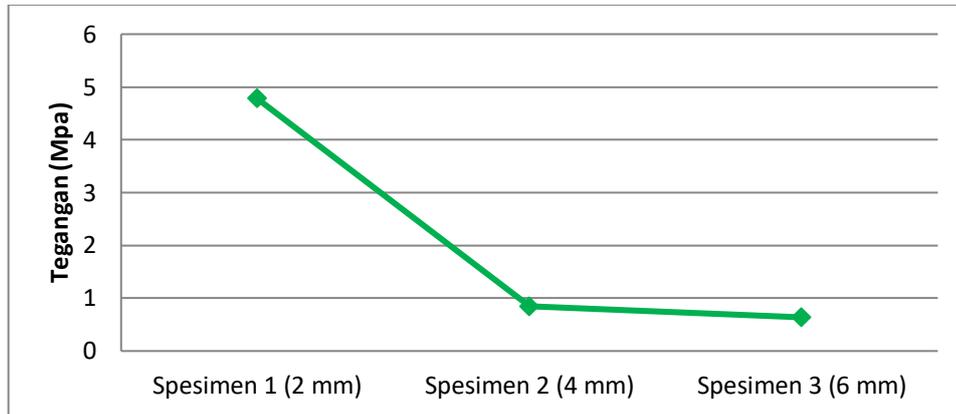
Gambar 4.33 : Grafik Tegangan – regangan 6 mm

Dari grafik diatas dapat kita lihat bahwa nilai tegangan puncak sebesar 0,63781 Mpa, dan nilai regangan sebesar 0,18752 mm/mm.

4.9.4 Perbandingan Grafik Tegangan dan Regangan

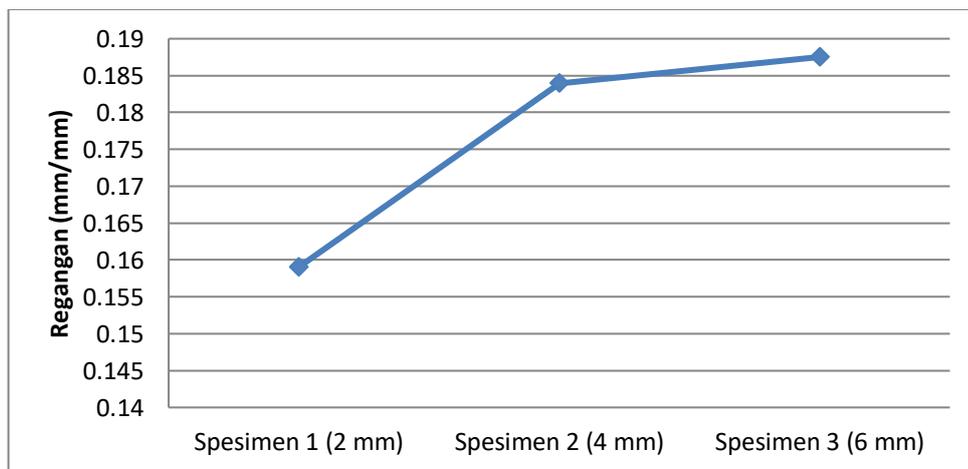
Dari data yang diperoleh maka dari itu dapat dilakukan perbandingan grafik tegangan dan regangan dari spesimen 1 ukuran (hexagonal 2 mm), spesimen 2 ukuran (hexagonal 4 mm), dan spesimen 3 ukuran (hexagonal 6 mm) seperti pada gambar dibawah ini:

a. Grafik perbandingan tegangan



Gambar 4.34 : Grafik perbandingan tegangan

b. Grafik perbandingan regangan



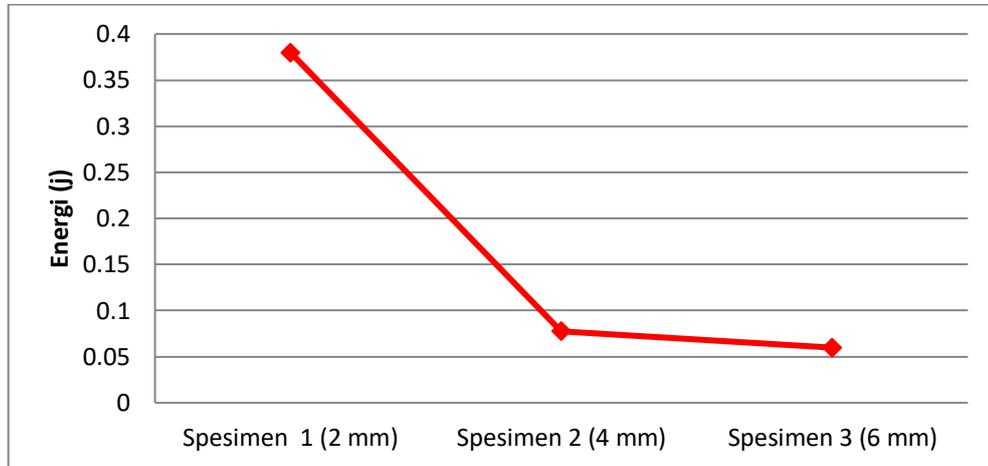
Gambar 4.35 : Grafik perbandingan regangan

Dapat disimpulkan bahwa dari grafik perbandingan tegangan dan regangan didapat bahwa pada perbandingan tegangan pada spesimen 1, 2, dan 3 didapat tegangan terbesar terdapat pada spesimen 1 dengan ukuran (hexagonal 2 mm) sebesar 4,7787 Mpa, dan tegangan terendah terdapat pada spesimen 3 dengan ukuran (hexagonal 6 mm) sebesar 0,63781 Mpa.

Regangan terbesar terdapat pada spesimen 3 dengan ukuran (hexagonal 6 mm) sebesar 0,18752 mm/mm, dan regangan terendah terdapat pada spesimen 1 dengan ukuran (hexagonal 2 mm) sebesar 0,15904 mm/mm.

4.9.5 Perbandingan Grafik Penyerapan Energi

Grafik perbandingan penyerapan energi dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini:

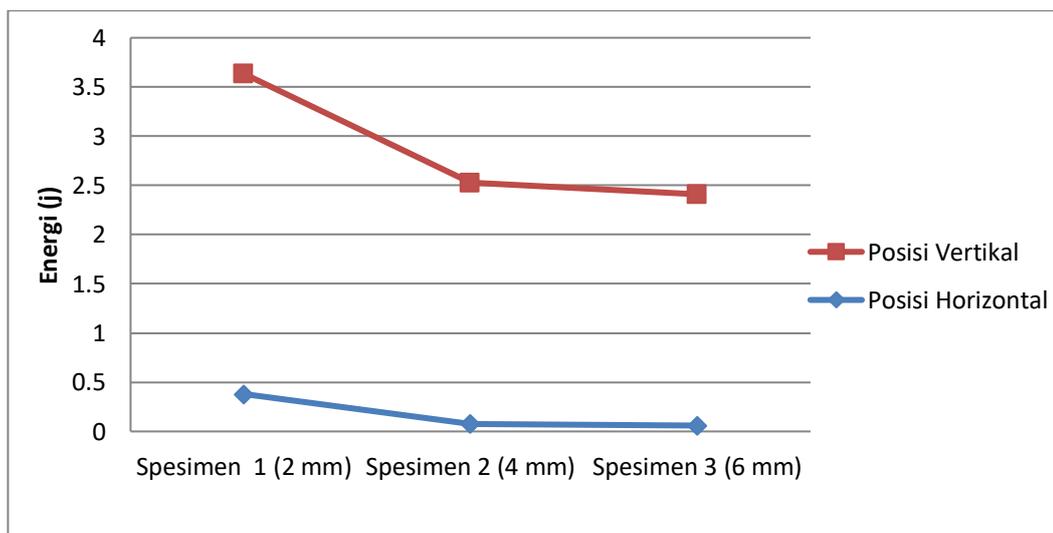


Gambar 4.36 : Grafik perbandingan energi

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa penyerapan energi terbesar terdapat pada spesimen 1 dengan ukuran (hexagonal 2 mm) sebesar 0,38 joule, dan penyerapan energi terendah terdapat pada spesimen 3 dengan ukuran (hexagonal 6 mm) sebesar 0,0598 joule.

4.10 Grafik Perbandingan Penyerapan Energi

Dari hasil pengujian spesimen dengan perbedaan posisi pengujian diatas yaitu posisi horizontal dan posisi vertikal maka disini akan membandingkan grafik pada pengujian sebagai berikut:



Gambar 4.37 : Grafik perbandingan posisi pengujian

Dapat disimpulkan bahwa kemampuan penyerapan energi terbesar terdapat pada pengujian dengan posisi spesimen horizontal, hal ini bisa diakibatkan karena terdapatnya rongga hexagonal pada posisi pengujian vertical, sedangkan pada pengujian posisi horizontal tidak terdapat rongga hexagonal pada sisi dinding spesimen.

4.11 Evaluasi pola kerusakan pada benda uji

Disini dapat dilihat beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan pada benda uji pada saat melakukan pengujian tekan statis. Hal yang dapat mempengaruhi kekuatan bahan pada penelitian ini diantaranya sebagai berikut:

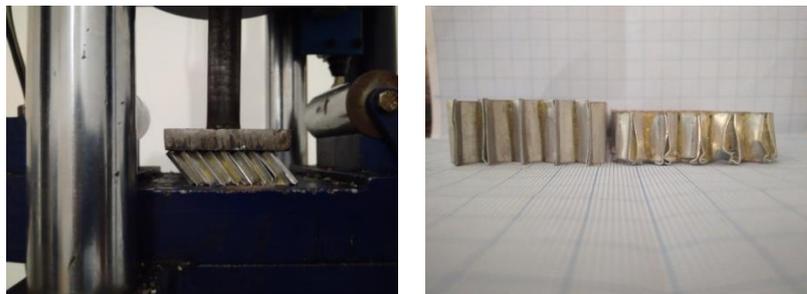
a. Faktor pengikat atau matriks

Pengikat atau matriks pada penelitian ini sangat berperan penting karena jika tidak kuat untuk menahan gaya geser maka hasil pengujian tidak akan maksimal.

b. Faktor alat uji

Tidak bisa dipungkiri jika alat uji tidak mendukung pada penelitian ini maka pengujian pada penelitian ini tidak bisa dilakukan secara maksimal untuk mendapatkan data yang diinginkan.

Dibawah ini terdapat bentuk pola kerusakan benda setelah mengalami perlakuan yaitu tekan statis.



Gambar 4.38 : Kerusakan *matriks*

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada pengujian penyerapan energi pada struktur sarang lebah yang diuji secara statis ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil pengujian tekan statis pada posisi horizontal didapat tegangan maksimum pada masing – masing spesimen yaitu spesimen 1 (ukuran hexagonal 2 mm) adalah 57,71408 Mpa, spesimen 2 (ukuran hexagonal 4 mm) adalah 71,84913 Mpa, spesimen 3 (ukuran 6 mm) adalah 69,06004 Mpa. Dan hasil pengujian tekan statis pada posisi vertikal didapat tegangan maksimum pada masing – masing spesimen yaitu spesimen 1 (ukuran hexagonal 2 mm) adalah 4,7787 Mpa, spesimen 2 (ukuran hexagonal 4 mm) adalah 0,84577 Mpa, spesimen 3 (ukuran 6 mm) adalah 0,63781 Mpa.
2. Pada pengujian tekan statis pada posisi horizontal didapat regangan maksimal spesimen 1 (ukuran 2 mm) adalah 0,11275 mm, spesimen 2 (ukuran 4 mm) adalah 0,0682 mm, dan spesimen 3 (ukuran 6 mm) adalah 0,10085 mm. Dan pada pengujian tekan statis pada posisi vertikal didapat regangan maksimal spesimen 1 (ukuran 2 mm) adalah 0,1504 mm, spesimen 2 (ukuran 4 mm) adalah 0,18396 mm, dan spesimen 3 (ukuran 6 mm) adalah 0,18752 mm.
3. Hasil penyerapan energi terbesar pada posisi horizontal terdapat pada spesimen 1 (ukuran hexagonal 2 mm) sebesar 3,25363 joule, sedangkan penyerapan energi terkecil terdapat pada spesimen 3 (ukuran hexagonal 6 mm) sebesar 2,35494 joule. Dan hasil penyerapan energi terbesar pada posisi vertikal terdapat pada spesimen 1 (ukuran hexagonal 2 mm) sebesar 0,38 joule, sedangkan penyerapan energi terkecil terdapat pada spesimen 3 (ukuran hexagonal 6 mm) sebesar 0,0598 joule.
4. Semakin besar luas penampang pada suatu benda maka semakin besar pula kemampuan penyerapan energi pada suatu benda, begitu juga sebaliknya.
5. Kekuatan perekat atau matriks pada inti (*core*) sangat berperan penting terhadap kekuatan tegangan geser pada spesimen.

5.2 Saran

1. Pada pembuatan spesimen lebih dikembangkan lagi menggunakan metode yang baik dan benar.
2. Pengujian struktur sarang lebah untuk kedepannya menggunakan bahan yang berbeda guna perbandingan jenis bahan.
3. Pengujian penyerapan energi dengan variasi bentuk dan ukuran yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin Ajdari, Hamid Nayeb-Hashemi, Askhan Vaziri. (2011). *Dynamic crushing and energy absorption of regular, irregular and functionally graded cellular structures*. International Journal of solid and structures 48 (2011) 506-516.
- Dongwei Wang. (2009). *Impact behavior and energy absorption of paper honeycomb sandwich panel*. International Journal of Impact Engineering 38 (2009) 110-114.
- D. Mousanezhad, R. Ghosh, A. Ajdari, A.M.S. Hamouda, H.Nayeb-Hashemi, A.Vaziri. (2014). *Impact resistance and energy absorption of regular and functionally hexagonal honeycombs with cell wall material strain hardening*. International Journal of mechanical Science 89 (2014) 413-422
- Howard G. Allen. (1969) " *Analysis And Design Of Struktural Sandwich Panels*. First Edition.
- Hualin Fan, Yonghao Luo, Fan Yang, Weiwei Li. (2018). *Approaching perfect energy absorption through structural hierarchy*. International Journal of Engineering Science 130 (2018) 506-516.
- Jones Norman. (2010). *Energy-absorption effectiveness factor*. International Journal of impact Engineering 37 (2010) 754-765.
- Lijun Yi, Tienchong Chang, Xi-Qiao Feng, Yingyan Zhang, Ji Wang, Bin Huang. (2017). *Giant energy absorption capacity of grapheme-based carbon honeycombs*. Department of Engineering Mechanics, Tsinghua University Beijing.
- Sheng Duan, Yong Tao, hongshuai Lei, Weibin Wen, Jun Liang, Daining Fang. (2017). *Enhanced out-plane compressive strength and energy absorption of 3D printed square and hexagonal honeycombs with variable-thickness cell edge*. Extream Mechanics Letter (2017).
- Prof. Ir. Tata Surdia (1999). *Pengujian tekan static*. Buku Pengetahuan bahan Bahan Teknik. Vol. 134.
- Zhibin Li, Jilin Yu, Liuwei Guo. (2012). *Deformation and energy absorption of aluminum foam-filled tubes subjected to oblique loading*. International Journal of Mechanical Science 54 (2012) 48-56.
- Shuai Xie, Zhijiang Ji, Yang Yang, Guoyan Hou, Jing Wang. (2016). *Electromagnetic wave absorption properties of honeycomb structured plasterboards in S and C bands*. Journal of Building Engineering 7 (2016) 217-223.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Data uji Spesimen 1 (hexagonal 2 mm)

NO.	STROKE[mm]	FORCE[kGf]	Regangan (mm/mm)	Tegangan (Mpa)
1	0	0	0	0
2	0.059	12.51	0.00295	0.177369792
3	0.059	19.15	0.00295	0.27151331
4	0.118	27.11	0.0059	0.384372106
5	0.177	41.7	0.00885	0.591232639
6	0.237	54.97	0.01185	0.779377894
7	0.237	69.56	0.01185	0.986238426
8	0.355	93.44	0.01775	1.324814815
9	0.355	121.3	0.01775	1.719820602
10	0.415	147.83	0.02075	2.095969329
11	0.533	177.01	0.02665	2.509690394
12	0.533	207.53	0.02665	2.942410301
13	0.652	240.69	0.0326	3.412560764
14	0.652	271.2	0.0326	3.845138889
15	0.712	303.04	0.0356	4.296574074
16	0.771	338.86	0.03855	4.804438657
17	0.83	374.68	0.0415	5.312303241
18	0.83	419.78	0.0415	5.951741898
19	0.949	463.56	0.04745	6.572465278
20	0.949	508.67	0.04745	7.212045718
21	1.008	561.73	0.0504	7.964343171
22	1.008	613.47	0.0504	8.697925347
23	1.068	667.86	0.0534	9.469079861
24	1.127	731.54	0.05635	10.37195023
25	1.127	800.52	0.05635	11.34996528
26	1.186	878.79	0.0593	12.45969618
27	1.186	954.41	0.0593	13.53185475
28	1.305	1032.68	0.06525	14.64158565
29	1.246	1114.93	0.0623	15.80774595
30	1.305	1197.18	0.06525	16.97390625
31	1.364	1279.43	0.0682	18.14006655
32	1.364	1365.66	0.0682	19.36265625
33	1.364	1454.54	0.0682	20.62281829
34	1.424	1542.09	0.0712	21.86412326
35	1.424	1624.34	0.0712	23.03028356
36	1.483	1710.57	0.07415	24.25287326
37	1.424	1795.48	0.0712	25.45674769
38	1.483	1879.05	0.07415	26.64162326

39	1.542	1958.65	0.0771	27.77021123
40	1.542	2038.25	0.0771	28.89879919
41	1.602	2116.52	0.0801	30.00853009
42	1.661	2192.13	0.08305	31.08054688
43	1.661	2266.42	0.08305	32.13384838
44	1.661	2338.06	0.08305	33.14957755
45	1.72	2409.7	0.086	34.16530671
46	1.72	2480.01	0.086	35.16217882
47	1.78	2543.69	0.089	36.06504919
48	1.78	2608.69	0.089	36.98663484
49	1.78	2669.71	0.089	37.85179109
50	1.78	2730.74	0.089	38.71708912
51	1.839	2790.43	0.09195	39.56338831
52	1.839	2843.5	0.09195	40.31582755
53	1.839	2901.87	0.09195	41.14341146
54	1.898	2954.93	0.0949	41.89570891
55	1.898	3009.33	0.0949	42.66700521
56	1.898	3054.43	0.0949	43.30644387
57	1.958	3107.49	0.0979	44.05874132
58	1.958	3153.93	0.0979	44.71717882
59	1.958	3196.38	0.0979	45.31904514
60	1.958	3241.48	0.0979	45.9584838
61	2.017	3285.26	0.10085	46.57920718
62	1.958	3327.71	0.0979	47.1810735
63	2.017	3366.18	0.10085	47.72651042
64	2.017	3405.98	0.10085	48.2908044
65	2.017	3445.78	0.10085	48.85509838
66	2.017	3481.6	0.10085	49.36296296
67	2.017	3517.42	0.10085	49.87082755
68	2.017	3554.56	0.10085	50.39740741
69	2.077	3590.38	0.10385	50.90527199
70	2.077	3623.55	0.10385	51.37556424
71	2.136	3655.38	0.1068	51.82685764
72	2.077	3688.55	0.10385	52.29714988
73	2.136	3719.06	0.1068	52.72972801
74	2.077	3748.25	0.10385	53.14359086
75	2.136	3777.43	0.1068	53.55731192
76	2.136	3803.96	0.1068	53.93346065
77	2.136	3827.84	0.1068	54.27203704
78	2.195	3854.38	0.10975	54.64832755
79	2.136	3878.25	0.1068	54.98676215
80	2.136	3899.48	0.1068	55.2877662
81	2.195	3922.03	0.10975	55.60748553

82	2.195	3944.58	0.10975	55.92720486
83	2.195	3961.83	0.10975	56.17177951
84	2.195	3979.08	0.10975	56.41635417
85	2.195	3996.32	0.10975	56.66078704
86	2.195	4012.24	0.10975	56.88650463
87	2.195	4025.51	0.10975	57.07464988
88	2.255	4036.12	0.11275	57.22508102
89	2.255	4048.06	0.11275	57.39436921
90	2.255	4056.02	0.11275	57.50722801
91	2.255	4065.31	0.11275	57.63894387
92	2.314	4070.61	0.1157	57.71408854
93	2.255	4070.61	0.11275	57.71408854
94	2.255	4070.61	0.11275	57.71408854
95	2.255	4069.29	0.11275	57.69537326
96	2.314	4063.98	0.1157	57.62008681
97	2.314	4056.02	0.1157	57.50722801
98	2.314	4044.08	0.1157	57.33793981
99	2.373	4025.51	0.11865	57.07464988
100	2.373	4001.63	0.11865	56.7360735
101	2.433	3971.12	0.12165	56.30349537
102	2.373	3936.63	0.11865	55.81448785
103	2.433	3907.44	0.12165	55.400625
104	2.433	3882.23	0.12165	55.04319155
105	2.433	3855.7	0.12165	54.66704282
106	2.433	3810.6	0.12165	54.02760417
107	2.492	3758.86	0.1246	53.29402199
108	2.492	3644.77	0.1246	51.6764265
109	2.551	3232.2	0.12755	45.82690972
110	2.611	2985.45	0.13055	42.32842882
111	2.729	2826.25	0.13645	40.07125289
112	2.729	2652.47	0.13645	37.60735822
113	2.848	2424.29	0.1424	34.37216725
114	2.848	2234.59	0.1424	31.68255498
115	2.967	2144.38	0.14835	30.40353588
116	2.907	2112.54	0.14535	29.95210069
117	2.967	2079.37	0.14835	29.48180845
118	2.967	2031.61	0.14835	28.80465567
119	3.085	1945.38	0.15425	27.58206597
120	3.085	1539.44	0.15425	21.82655093

Lampiran 2

Data Uji Spesimen 2 (hexagonal 4 mm)

STROKE[mm]	FORCE[kGf]	Regangan(mm/mm)	Tegangan (Mpa)
0	0	0	0
0.059	247.32	0.00295	4.455397059
0.118	499.38	0.0059	8.996183824
0.237	736.84	0.01185	13.27395588
0.237	965.02	0.01185	17.38455147
0.415	1177.28	0.02075	21.20835294
0.355	1374.94	0.01775	24.76913971
0.415	1552.71	0.02075	27.97161397
0.474	1697.31	0.0237	30.57654044
0.533	1824.66	0.02665	32.87071324
0.652	1942.73	0.0326	34.99770956
0.652	2056.82	0.0326	37.05300735
0.771	2169.58	0.03855	39.08434559
0.771	2287.65	0.03855	41.21134191
0.83	2405.72	0.0415	43.33833824
0.83	2523.79	0.0415	45.46533456
0.89	2636.55	0.0445	47.49667279
0.949	2745.33	0.04745	49.4563125
0.949	2851.46	0.04745	51.36821324
1.008	2948.3	0.0504	53.11275735
1.008	3041.16	0.0504	54.78560294
1.068	3123.41	0.0534	56.2673125
1.068	3201.68	0.0534	57.67732353
1.068	3277.3	0.0534	59.03959559
1.068	3348.94	0.0534	60.33016912
1.068	3417.92	0.0534	61.57282353
1.068	3477.62	0.0534	62.64830147
1.127	3534.66	0.05635	63.67586029
1.127	3591.71	0.05635	64.70359926
1.127	3642.12	0.05635	65.61172059
1.127	3689.88	0.05635	66.47210294
1.186	3736.31	0.0593	67.30852574
1.186	3777.43	0.0593	68.04929044
1.186	3817.23	0.0593	68.76627574
1.186	3854.38	0.0593	69.43552206
1.246	3887.54	0.0623	70.03288971
1.186	3919.38	0.0593	70.60647794

1.246	3948.56	0.0623	71.13214706
1.246	3964.48	0.0623	71.41894118
1.246	3972.44	0.0623	71.56233824
1.246	3975.1	0.0623	71.61025735
1.246	3977.75	0.0623	71.65799632
1.305	3979.08	0.06525	71.68195588
1.305	3979.08	0.06525	71.68195588
1.305	3981.73	0.06525	71.72969485
1.305	3981.73	0.06525	71.72969485
1.305	3983.06	0.06525	71.75365441
1.305	3984.38	0.06525	71.77743382
1.305	3984.38	0.06525	71.77743382
1.305	3985.71	0.06525	71.80139338
1.364	3985.71	0.0682	71.80139338
1.305	3985.71	0.06525	71.80139338
1.305	3985.71	0.06525	71.80139338
1.364	3985.71	0.0682	71.80139338
1.364	3987.04	0.0682	71.82535294
1.364	3985.71	0.0682	71.80139338
1.424	3985.71	0.0712	71.80139338
1.364	3987.04	0.0682	71.82535294
1.305	3987.04	0.06525	71.82535294
1.364	3987.04	0.0682	71.82535294
1.364	3987.04	0.0682	71.82535294
1.364	3987.04	0.0682	71.82535294
1.424	3987.04	0.0712	71.82535294
1.424	3987.04	0.0712	71.82535294
1.364	3987.04	0.0682	71.82535294
1.424	3987.04	0.0712	71.82535294
1.364	3988.36	0.0682	71.84913235
1.424	3987.04	0.0712	71.82535294
1.364	3987.04	0.0682	71.82535294
1.424	3987.04	0.0712	71.82535294
1.424	3988.36	0.0712	71.84913235
1.424	3987.04	0.0712	71.82535294
1.483	3987.04	0.07415	71.82535294
1.483	3988.36	0.07415	71.84913235
1.542	3987.04	0.0771	71.82535294
1.483	3987.04	0.07415	71.82535294
1.483	3987.04	0.07415	71.82535294
1.542	3988.36	0.0771	71.84913235

1.483	3987.04	0.07415	71.82535294
1.483	3985.71	0.07415	71.80139338
1.483	3985.71	0.07415	71.80139338
1.542	3985.71	0.0771	71.80139338
1.542	3987.04	0.0771	71.82535294
1.542	3985.71	0.0771	71.80139338
1.542	3985.71	0.0771	71.80139338
1.542	3984.38	0.0771	71.77743382
1.602	3983.06	0.0801	71.75365441
1.542	3983.06	0.0771	71.75365441
1.602	3980.4	0.0801	71.70573529
1.542	3976.42	0.0771	71.63403676
1.602	3959.18	0.0801	71.32346324
1.602	3851.72	0.0801	69.38760294
1.661	3675.28	0.08305	66.20908824
1.72	3443.13	0.086	62.02697426
1.78	3238.83	0.089	58.34656985
1.78	3082.29	0.089	55.52654779
1.839	2968.2	0.09195	53.47125
1.898	2881.97	0.0949	51.91784191
1.958	2809.01	0.0979	50.60348897
1.958	2746.66	0.0979	49.48027206
2.017	2696.25	0.10085	48.57215074
2.077	2656.45	0.10385	47.85516544
2.077	2621.96	0.10385	47.23383824
2.195	2588.79	0.10975	46.63629044
2.195	2563.58	0.10975	46.18213971
2.255	2545.01	0.11275	45.84760662
2.314	2529.09	0.1157	45.5608125
2.373	2517.15	0.11865	45.34571691
2.433	2511.85	0.12165	45.25023897
2.492	2513.17	0.1246	45.27401838
2.551	2514.5	0.12755	45.29797794
2.551	2517.15	0.12755	45.34571691
2.67	2526.44	0.1335	45.51307353
2.67	2538.38	0.1335	45.72816912
2.67	2550.32	0.1335	45.94326471
2.729	2560.93	0.13645	46.13440074
2.789	2571.54	0.13945	46.32553676
2.848	2588.79	0.1424	46.63629044
2.848	2608.69	0.1424	46.99478309

2.907	2628.59	0.14535	47.35327574
3.026	2648.49	0.1513	47.71176838
2.967	2665.73	0.14835	48.02234191
3.026	2686.96	0.1513	48.40479412
3.085	2704.2	0.15425	48.71536765
3.085	2722.78	0.15425	49.05008088
3.085	2744	0.15425	49.43235294
3.145	2762.58	0.15725	49.76706618
3.204	2774.52	0.1602	49.98216176

Lampiran 3

Data Uji Spesimen 3 (hexagonal 6 mm)

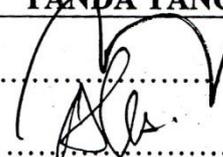
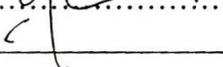
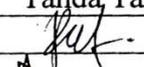
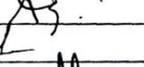
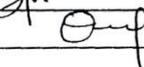
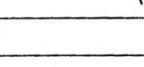
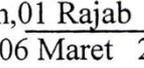
STROKE[mm]	FORCE[kGf]	Regangan (mm/mm)	Teganga (Mpa)
0	0	0	0
0.059	32.41	0.00295	0.827130208
0.177	76.19	0.00885	1.944432292
0.237	137.22	0.01185	3.50196875
0.296	215.49	0.0148	5.499484375
0.474	295.08	0.0237	7.5306875
0.533	386.62	0.02665	9.866864583
0.593	478.15	0.02965	12.20278646
0.712	577.65	0.0356	14.74210938
0.771	683.78	0.03855	17.45063542
0.83	811.13	0.0415	20.70071354
0.89	951.75	0.0445	24.28945313
1.008	1092.37	0.0504	27.87819271
1.008	1232.99	0.0504	31.46693229
1.127	1374.94	0.05635	35.08961458
1.186	1508.93	0.0593	38.50915104
1.246	1642.92	0.0623	41.9286875
1.305	1770.27	0.06525	45.17876563
1.364	1892.32	0.0682	48.29358333
1.364	2007.73	0.0682	51.23894271
1.424	2113.86	0.0712	53.94746875
1.483	2205.4	0.07415	56.28364583
1.542	2287.65	0.0771	58.38273438
1.602	2359.29	0.0801	60.21104688
1.602	2413.68	0.0801	61.599125
1.661	2462.76	0.08305	62.8516875
1.72	2502.56	0.086	63.86741667
1.72	2533.07	0.086	64.64605729
1.72	2568.89	0.086	65.56021354
1.78	2602.06	0.089	66.40673958
1.839	2631.24	0.09195	67.1514375
1.898	2657.77	0.0949	67.82850521
1.958	2685.63	0.0979	68.53951563
1.958	2702.88	0.0979	68.97975
2.017	2720.12	0.10085	69.41972917
2.077	2710.84	0.10385	69.18289583
2.077	2663.08	0.10385	67.96402083
2.136	2582.16	0.1068	65.898875

2.255	2489.29	0.11275	63.52875521
2.255	2411.02	0.11275	61.53123958
2.314	2338.06	0.1157	59.66923958
2.373	2279.69	0.11865	58.17958854
2.433	2233.26	0.12165	56.99465625
2.492	2194.79	0.1246	56.01286979
2.611	2157.64	0.13055	55.06477083
2.611	2123.15	0.13055	54.18455729
2.729	2083.35	0.13645	53.16882813
2.729	2050.19	0.13645	52.32255729
2.848	2021	0.1424	51.57760417
2.907	1995.8	0.14535	50.93447917
3.026	1977.22	0.1513	50.46030208
3.026	1963.96	0.1513	50.12189583
3.085	1950.69	0.15425	49.78323438
3.145	1934.77	0.15725	49.37694271
3.263	1922.83	0.16315	49.07222396
3.323	1920.18	0.16615	49.00459375
3.382	1916.2	0.1691	48.90302083
3.501	1916.2	0.17505	48.90302083
3.56	1924.16	0.178	49.10616667
3.62	1933.44	0.181	49.343
3.679	1946.71	0.18395	49.68166146
3.679	1958.65	0.18395	49.98638021
3.798	1977.22	0.1899	50.46030208
3.857	1994.47	0.19285	50.90053646
3.916	2015.69	0.1958	51.44208854
4.035	2042.23	0.20175	52.11941146
4.035	2070.09	0.20175	52.83042188
4.094	2092.64	0.2047	53.40591667
4.154	2119.17	0.2077	54.08298438
4.213	2143.05	0.21065	54.69242188
4.272	2166.93	0.2136	55.30185938
4.332	2157.64	0.2166	55.06477083

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

Peserta seminar

Nama : Nolan Syah Priatindo
 NPM : 1407230249
 Judul Tugas Akhir : Kajian Eksperimen kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang lebah Dengan Variasi Ukuran Haxegonal Yang Diuji Secara Statis.

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	1407230262	Rizki Maulana Roswadi	
2	1407230227	ALFI SYAHRIN	
3	1407230035	Sandi Irawan	
4	1407230203	REZA SEPTIACUAN HSB	
5	1407230199	Azhar Wadihasmoro	
6	1407230241	RIZKI AKBAR	
7	1307230140	Satria Yudha Setiawan	
8	1407230226	IQBAL Yamin	
9			
10			

Medan, 01 Rajab 1440 H
06 Maret 2019M

Ketua Prodi T. Mesin




Affandi.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Nolan Syah Priatindo
NPM : 1407230249
Judul T.Akhir : Kajian Eksperimen kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang lebah Dengan Variasi Ukuran Haxegonal Yang Di Uji Secara Statis.

Dosen Pembimbing - I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lbs.S.T.M.T
Dosen pembeding - I : Ahmad Marabdi Srg.S.T.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 ST.M.T


Dosen Pembeding - I

Ahmad Marabdi Srg.S.T.M.T

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Nolan Syah Priatindo
NPM : 1407230249
Judul T.Akhir : Kajian Eksperimen kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang lebah Dengan Variasi Ukuran Haxegonal Yang Di-Uji Secara Statis.

Dosen Pembimbing - I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lbs.S.T.M.T
Dosen pembeding - I : Ahmad Marabdi Srg.S.T.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 :
..... *Librat* *Bulan Ngas* *Albir*
.....
.....
- 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

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Kajian Experimen Kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang di Uji Secara Statis

Nama : Nolan Syah Priatindo
NPM : 1407230249

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

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
	15 Sept	Perbaiki bab 1 & bab 2	
	19 Sept	Perbaiki bab 2 lanjut 3	
	12 Jan	Perbaiki bab 3	
	15 Jan	lanjut bab 4.	
		lanjut bab 4	
		Perbaiki span	Sh
		Perbaiki grate	Sh
		tabukan data pasok	Sh

All Semu

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

1. Nama : NOLAN SYAH PRIATINDO
2. Jenis Kelamin : Laki – Laki
3. Tempat, Tanggal Lahir : KISARAN, 19 – 11 – 1995
4. Kewarganegaraan : Indonesia
5. Status : Belum Kawin
6. Agama : Islam
7. Alamat : Siborna Bunut, Kec. Sosa, Kab. PALAS
8. No. Hp : 081362179193
9. Email : nolansyah7@gmail.com

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

NO	PENDIDIKAN FORMAL	TAHUN
1	SD NEGERI 10080 BULUSONIK	2002 - 2008
2	SPM NEGERI 1 BARUMUN	2008 - 2011
3	SMK NEGERI 1 BARUMUN	2011– 2014
4	TEKNIK MESIN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA	2014 - 2019