

TUGAS SARJANA
KONSTRUKSI DAN MANUFAKTUR
ANALISA UKURAN HEKSAGONAL PADA STRUKTUR
SARANG LEBAH YANG DI IMPAK DENGAN SUDUT
MIRING DAN NORMAL MENGGUNAKAN
PROYEKTIL TUMPUL

*Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S.T)
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun oleh :

ARDIANSYAH
1207230148



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018

LEMBAR PENGESAHAN - I
TUGAS SARJANA
KONSTRUKSI DAN MANUFAKTUR

**ANALISA UKURAN HEKSAGONAL PADA STRUKTUR
SARANG LEBAH YANG DI IMPAK DENGAN SUDUT
MIRING DAN NORMAL MENGGUNAKAN
PROYEKTIL TUMPUL**

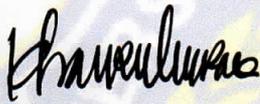
Disusun Oleh :

ARDIANSYAH

1207230148

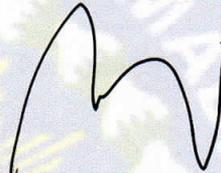
Disetujui Oleh :

Pembimbing - I



(Khairul Umurani, S.T.,MT)

Pembimbing- II



(Dr. Eng Rakhmad Arief Siregar)

Diketahui Oleh :

Ka. Program Studi Teknik Mesin


(Affandi, S.T)

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018**

LEMBAR PENGESAHAN - II
TUGAS SARJANA
KONSTRUKSI DAN MANUFAKTUR

**ANALISA UKURAN HEKSAGONAL PADA STRUKTUR
SARANG LEBAH YANG DI IMPAK DENGAN SUDUT
MIRING DAN NORMAL MENGGUNAKAN
PROYEKTIL TUMPUL**

Disusun Oleh :

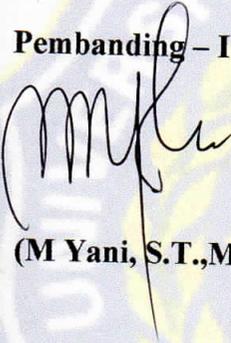
ARDIANSYAH

1207230148

Telah diperiksa dan diperbaiki
pada Seminar Tanggal 10 Maret 2018

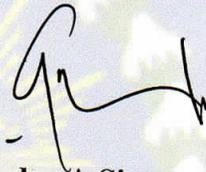
Disetujui Oleh :

Pembanding - I



(M Yani, S.T.,M.T)

Pembanding - II



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

Diketahui Oleh :

Ka. Program Studi Teknik Mesin



(Affandi, S.T)

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Alamat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Telp. (061) 6611233 – 6624567 –
6622400 – 6610450 – 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238
Website : <http://www.umsu.ac.id>

DAFTAR SPESIFIKASI
TUGAS SARJANA

Nama Mahasiswa : **ARDIANSYAH**
NPM : **1207230148**
Semester : **XII (Dua belas)**
Spesifikasi :

ANALISA UKURAN HEKSAGONAL PADA SARANG LEBAH YANG DI
IMPAK DENGAN SUDUT MIRING DAN NORMAL MENGGUNAKAN
PROYEKTIL TUMPUL

Diberikan Tanggal : 21 Juni 2017
Selesai Tanggal :
Asistensi : 1 Kali Dalam Seminggu
Tempat Asistensi : Di Kampus UMSU

Medan, 2018

Diketahui Oleh :

Ka. Program Studi Teknik Mesin

Dosen Pembimbing-I


(Affandi, S.T)


(Khairul Umurani, S.T., M.T)



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

Pusat Administrasi: Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Telp. (061) 6611233 – 6624567 –
6622400 – 6610450 – 6619056 Fax. (061) 6625474 Medan 20238
Website : <http://www.umsu.ac.id>

DAFTAR HADIR ASISTENSI
TUGAS SARJANA

NAMA : Ardiansyah PEMBIMBING I : Khairul Umurani, S.T.M.T.
NPM : 1207230148 PEMBIMBING II : Dr. Eng. Rakhmad Arif Siregar

NO	Hari / Tanggal	Uraian	Paraf
1	Jumat 20-10-2017	Pembinaan spesifik tugas Sarjana	le
2	Sabtu 25-11-2017	Perbincangan tugas penelitian	le
3	Jem. Ad. 8-12-2017	Perbincangan masalah	le
4	Sabtu 30-12-2017	Perbincangan metode penelitian (bahan dan alat)	le
5	Sabtu 30-12-2017	Janjat ke pembimbing	le
6	Rabu 28-2-2018	perbincangan skripsi	le
7	Rabu 28-2-2018	perbincangan skripsi	le
8	Rabu 28-2-2018	perbincangan skripsi	le
9	Rabu 28-2-2018	perbincangan skripsi	le
10	Rabu 28-2-2018	perbincangan skripsi	le

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2017 – 2018**

Peserta Seminar
 Nama : Ardiansyah
 NPM : 1207230148
 Judul Tugas Akhir : Analisa Ukuran Hexagonal Pada Struktur sarang Lebah Yang Di Impak Dengan Sudut Miring Dan Normal Meng Gunakan Proyektil Tumpul.

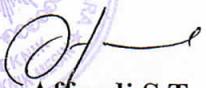
DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Khairul Umurani.S.T.M.T	:
Pembimbing – II : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng	:
Pemanding – I : Rahmatullah.S.T.M.Eng M. Yuni. ST. MT.	: 
Pemanding – II : M. Yuni.S.T.M.T CHANDRA A SIREGAR. ST. MT	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	307230297	ABDUR RAHMAN A. LUBES	
2	1407230090	Fachru Roza	
3	1407230185	Ahmad Hidayat Siregar	
4	1307230247	Amri Suni	
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 21 Jum. Akhir 1439 H
10 Maret 2018 M

Ketua Prodi. T Mesin




Affandi.S.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Ardiansyah
NPM : 1207230148
Judul T.Akhir : Analisa Ukuran Hexagonal Pada Struktur Sarang lebah Yang Di
Impak Dengan Sudut Miring Dan Normal Menggunakan Proyek-
Til Tumpul.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng
Dosen Pemanding - I : Rahmatullah.S.T.M.Sc M. Yani ST.MT.
Dosen Pemanding - II : M.Yani.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 :

Perbaiki sesuai dgn ^{arahan} pada draft skripsi

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 21 Djum.Akhir 1439H
10 Maret 2018 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Dosen Pemanding- I
[Signature]
M. YANI, ST.MT
Rahmatullah.S.T.M.Sc

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Ardiansyah
NPM : 1207230148
Judul Akhir : Analisa Ukuran Hexagonal Pada Struktur Sarang lebah Yang Di
Impak Dengan Sudut Miring Dan Normal Menggunakan Proyek-
Til Tumpul.

Dosen Pembimbing - I : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - II : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng
Dosen Pemanding - I : Rahmatullah.S.T.M.Sc
Dosen Pemanding - II : M.Yani.S.T.M.T

KEPUTUSAN

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

libat dalam pengesaran

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 21 Djum.Akhir 1439H
10 Maret 2018 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Dosen Pemanding- II

[Signature]
CHANDRA A SIREGAR, ST. MT
M. Yani S.T.M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS SARJANA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ardiansyah
Tempat/Tgl Lahir : Perbaungan, 10 Oktober 1993
NPM : 1207230148
Bidang Keahlian : Konstruksi dan Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas sarjana (skripsi) saya ini berjudul :

ANALISA UKURAN HEKSAGONAL PADA STRUKTUR SARANG LEBAH YANG DIIMPAK DENGAN SUDUT MIRING DAN NORMAL MENGGUNAKAN PROYEKTIL TUMPUL

Bukan merupakan plagialisme, pencurian hasil karya milik orang, lain hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena berhubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan yang lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim tim Fakultas yang dibentuk untuk 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, 1 April 2018
Saya yang menyatakan,




ARDIANSYAH

ABSTRAK

Kekuatan impact suatu material menunjukkan kemampuan dari material untuk menyerap dan menghilangkan energi pada saat menerima benturan atau beban kejut. Menentukan kekuatan pembebanan dengan sudut yang bervariasi, yaitu sudut normal, 60 derajat dan sudut miring 45 derajat, yang dilakukan pada saat melakukan pengujian impact melalui grafik hasil pengujian. Secara umum penelitian ini bertujuan untuk menganalisa efek kecepatan pembebanan pada bahan Aluminium terhadap kekuatan impact dengan pembebanan yang berbeda. Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu melakukan pembuatan spesimen yang terbuat dari bahan aluminium sarang lebah. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan pembebanan dinamik pada spesimen tersebut dengan menggunakan alat uji split hopkinson pressure bar dengan metode impact. Adapun hasil yang didapat dari pengujian impact yang telah dilakukan adalah mendapatkan hasil dari impact, deformasi, mendapatkan lendutan yang terjadi, dari semua percobaan yang telah dilakukan pengujian dengan sudut yang bervariasi. Dari perbandingan deformasi yang didapat maka dapat disimpulkan semakin besar sudut yang diberikan maka semakin besar pula deformasi yang terjadi. Sudut impact sangat berpengaruh pada perubahan bentuk benda uji setelah dilakukan pengujian.

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

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT, yang paling utamas sekali penulis sampaikan kepada sang pencipta, yakni Allah SWT Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang. Yang telah memberikan berkah kepada penulis.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjan Teknik (ST) di Program Studi Teknik Mesin Fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun Judul Tugas Sarjana ini adalah “ **ANALISA UKURAN HEKSAGONAL PADA SARANG LEBAH YANG DIIMPAK DENGAN SUDUT MIRING DAN NORMAL MENGGUNAKAN PROYEKTIL TUMPUL** ”

Penulis menyadari sepenuhnya dalam penulisan tugas akhir ini masih banyak sekali ditemukan kekurangan-kekurangan dan masih jauh dari sempurna. Untuk itulah penulis tetap mengharapkan saran dan kritik untuk perbaikan dimasa mendatang.

Penyelesaian Tugas Sarjana ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak, dan sangat berterimah kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kepada Kedua Orang Tua yang tersayang (Suharto dan Turiah) sebagaimana mereka telah memberikan dorongan semangat, nasihat serta doa atas perjuangan untuk menyelesaikan Tugas Sarjana ini.
2. Kepada Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Bapak Dr Agusani MAP. yang telah memberikan fasilitas kampus kepada penulis.
3. Kepada Dekan Fakultas Teknik Bapak Munawar Alfansury ST.MT. yang telah memberikan dorongan semangat kepada penulis.
4. Kepada Kepala Program Studi Teknik Mesin Bapak Affandi ST. yang telah memberi masukan kepada penulis.
5. Kepada Bapak Khairul Umurani S.T,.M.T. selaku dosen pembimbing-I dan wakil Dekan III telah memberikan semangat dan motivasi.
6. Kepada Bapak Dr. Eng Rakhmad Arief Siregar. selaku dosen pembimbing-II yang telah memberikan saran dan dorongan kepada penulis.
7. Kepada Bapak dan Ibu Dosen dan Staff Biro Fakultas Teknik yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis.
8. Kepada seluruh Asisten Laboratorium Teknik Mesin UMSU yang telah membantu dan memberikan arahan kepada penulis.

9. Kepada kekasih tercinta Nurul Wahyu SE. yang telah memberikan dorongan semangat kepada penulis.
10. Kepada rekan seperjuangan kelompok Split Hopkinson Pressure Bar, Bambang Syahputra, Julio Elga Pratama, Ruhdi Iwan Puger dan Maulana Ainul Yaqin Pasaribu yang telah menjadi teman terbaik dalam mencapai Sarjana bersama-sama.
11. Kepada Rekan Seperjuangan Himpunan Mahasiswa Mesin Teknik UMSU Stambuk 2012, Arifin Ilyas S.T, Hardiansyah Pratama S.T, Rian Irawan S.T, Rajali Siregar S.T, Bambang Syahputra S.T, Sabarudin Ritonga S.T, Muhammad Fahri Zendrato S.T, Muhammad Juhri Sipayung S.T, Yongki Simbolon S.T, yang telah memberikan arahan dan masukan kepada penulis.
12. Kepada Abangda, Zainal Arifin S.T, Anugrah Junanda S.T, M Yafis Furqon S.T, Eko Purnomo S.T, Bobby Prasetyo Tamba S.T, Septian Indra Pradana S.T, Rahmad Kurniawan Rambe S.T, yang telah memberikan semangat dan arahan motivasi.
13. Kepada Himpunan Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang menjadi tempat untuk bernaung dalam menyelesaikan Tugas Sarjana ini.

Medan, , 2018

ARDIANSYAH
1207230148

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN-1	
LEMBAR PENGESAHAN-2	
LEMBAR SPESIFIKASI TUGAS SARJANA	
LEMBAR ASITENSI TUGAS SARJANA	
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Teori Komposit	6
2.1.1 Klasifikasi Komposit	6
2.2 Teori Aluminium	8
2.2.1 Paduan Aluminium	9
2.2.2 Sifat Aluminium	9
2.3 Sarang Lebah	11
2.3.1 Kontruksi Sarang Lebah	12
2.3.2 Kegagalan Konstruksi Sarang Lebah	13
2.3.3 Struktur Sarang Lebah	14
2.3.4 Fenomena Struktur pada Sarang Lebah	17
2.4 Split Hopkinson Bar	17
2.4.1 Sejarah Perkembangan Split Hopkinson Bar	17
2.4.2 Teori Split Hopkinson Pressure Bar	18
2.4.3 Prinsip Kerja Split Hopkinson Pressure Bar	19
2.5 Tumbukan (Impak)	21
2.5.1 Kecepatan Rambat Gelombang Impak	22
2.6 Deformasi	24
2.6.1 Tegangan	26
2.6.2 Regangan	26
2.7 Sensor Strain Gauge	27
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.1.1 Tempat Penelitian	31
3.1.2 Waktu Penelitian	31
3.2 Diagram Alir Penelitian	32
3.2.1 Keterangan Diagram Alir Penelitian	33
3.3 Bahan dan Alat	34

3.3.1	Bahan	34
3.3.2	Alat Penelitian	36
3.4	Pembuat Spesimen Aluminium Sarang Lebah	43
3.5	Posedur Pengujian	48
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		53
4.1	Hasil Pembuatan Cetakan Spesimen	55
4.2	Hasil Pembuatan Spesimen	55
4.3	Data Pengujian Impak Ukuran 6 mm	56
4.4	Hasil Pengujian Impak	58
4.4.1	Pengujian Impak Sudut Normal 90 Derajat	58
4.4.2	Pengujian Impak Sudut Miring 60 Derajat	58
4.4.3	Pengujian Impak Sudut Miring 45 Derajat	59
4.5	Mengukur Lendutan pada Benda Uji	60
4.5.1	Pengukuran Lendutan Sudut Normal 90 Derajat	60
4.5.2	Pengukuran Lendutan Sudut Miring 60 Derajat	61
4.5.3	Pengukuran Lendutan Sudut Miring 45 Derajat	61
4.5.4	Grafik Perbandingan Lendutan pada Benda Uji	62
4.6	Data Pengujian Impak Ukuran 2 mm	62
4.7	Hasil Pengujian Impak	64
4.7.1	Pengujian Impak Sudut Normal 90 Derajat	64
4.7.2	Pengujian Impak Sudut Miring 60 Derajat	65
4.7.3	Pengujian Impak Sudut Miring 45 Derajat	66
4.8	Mengukur Lendutan pada Benda Uji	67
4.8.1	Pengukuran Lendutan Sudut Normal 90 Derajat	67
4.8.2	Pengukuran Lendutan Sudut Miring 60 Derajat	67
4.8.3	Pengukuran Lendutan Sudut Miring 45 Derajat	68
4.9	Data Pengujian impak	69
4.9.1	Grafik Hasil Pengujian 7 Bar	69
4.9.2	Grafik Hasil Pengujian 6 Bar	69
4.10	Perhitungan Nilai Strain Impak	70
4.10.1	Perhitungan Nilai Strain Impak Pada 7 Bar	70
4.10.2	Perhitungan Nilai Strain Impak Pada 6 Bar	70
4.11	Perhitungan Tegangan Impak	71
4.11.1	Perhitungan Tegangan Impak Pada 7 Bar	71
4.11.2	Perhitungan Tegangan Impak Pada 6 Bar	71
4.12	Hasil dan Pembahasan	71
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN		74
5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran	75

Daftar Pustaka

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bentuk Sarang Lebah	12
Gambar 2.2	Konstruksi Sarang Lebah	13
Gambar 2.3	Struktur Sarang Lebah	16
Gambar 2.4	Bagian Utama Split Hopkinson Pressure Bar	19
Gambar 2.5	Skema Split Hopkinson Pressure Bar	20
Gambar 2.6	Regangan yang Terjadi Saat Tumbukan	21
Gambar 2.7	Proses Terjadinya Tumbukan	22
Gambar 2.8	Skema Gelombang Tumbukan Dua Bar	24
Gambar 2.9	Regangan dan Tegangan Deformasi	25
Gambar 2.10	Rangkaian Sensor Strain Gauge	29
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.2	Lembaran Aluminium	34
Gambar 3.3	Lem Kambing	35
Gambar 3.4	Penggaris	35
Gambar 3.5	Pisau <i>Cutter</i>	36
Gambar 3.6	Alat Uji Split Hopkinson Pressure Bar (SPHB)	36
Gambar 3.7	Strain Gauge	37
Gambar 3.8	Oscilloscop	37
Gambar 3.9	Bridge Box	38
Gambar 3.10	Personal Computer (Pc)	38
Gambar 3.11	Kompresor	39
Gambar 3.12	Solenoid	39
Gambar 3.13	Selang Angin	40
Gambar 3.14	Tombol Switch	40
Gambar 3.15	Dudukan Spesimen	41
Gambar 3.16	Mata Input Bar Tumpul	42
Gambar 3.17	Jangka Sorong Digital	42
Gambar 3.18	Penggaris Busur	43
Gambar 3.19	Mengukur Plat Aluminium	43
Gambar 3.20	Memotong Plat Aluminium	44
Gambar 3.21	Memotong Plat untuk <i>Skin</i>	44
Gambar 3.22	Pengeleman <i>Core</i> Ukuran 2 mm	45
Gambar 3.23	Pengeleman <i>Core</i> Ukuran 6 mm	45
Gambar 3.24	Spesimen Sarang Lebah Ukuran 2 mm	46
Gambar 3.25	Spesimen Sarang Lebah Ukuran 6 mm	46
Gambar 3.26	Mengelem Permukaan <i>Skin</i>	46
Gambar 3.27	Pemasangan <i>Skin</i> Ukuran 2 mm	47
Gambar 3.28	Pemasangan <i>Skin</i> Ukuran 6 mm	47
Gambar 3.29	Pengepresan Spesimen Ukuran 2 mm	48
Gambar 3.30	Pengepresan Spesimen Ukuran 6 mm	48
Gambar 3.31	Sit Up Alat Uji Split Hopkinson Pressure Bar	49
Gambar 3.32	Pemasangan Solenoid	50
Gambar 3.33	Tombol Switch	50
Gambar 3.34	Tekanan Angin	51
Gambar 3.35	Spesimen pada Jig	51

Gambar 3.36	Pemasangan Proyektil Tumpul	51
Gambar 3.37	Menyetel Kemiringan pada Spesimen	52
Gambar 3.38	Memasang Strain Gauges	52
Gambar 3.39	Menyambungkan Oscilloscop	52
Gambar 3.40	Memasang Bridge Box	53
Gambar 3.40	Memeriksa Sinyal Gelombang pada PC	53
Gambar 3.41	Memasang Bridge Box	53
Gambar 4.1	Hasil Cetakan Spesimen	55
Gambar 4.2	Hasil Pembuatan Spesimen Ukuran 6 mm	56
Gambar 4.3	Hasil Pembuatan Spesimen Ukuran 2 mm	56
Gambar 4.4	Jarak Striker Bar 900 mm	57
Gambar 4.5	Jarak Striker Bar 900 mm	57
Gambar 4.6	Jarak Striker Bar 900 mm	57
Gambar 4.7	Spesimen Sebelum Diuji	58
Gambar 4.8	Spesimen Sesudah Diuji	58
Gambar 4.9	Spesimen Sebelum Diuji	59
Gambar 4.10	Spesimen Sesudah Diuji	59
Gambar 4.11	Spesimen Sebelum Diuji	60
Gambar 4.12	Spesimen Sesudah Diuji	60
Gambar 4.13	Pengukur Lendutan Sudut Normal 90 Derajat	61
Gambar 4.14	Pengukur Lendutan Sudut Miring 60 Derajat	61
Gambar 4.15	Pengukur Lendutan Sudut Miring 45 Derajat	62
Gambar 4.16	Grafik Lendutan Pengujian	62
Gambar 4.17	Jarak Striker Bar 900 mm	63
Gambar 4.18	Jarak Striker Bar 900mm	63
Gambar 4.19	Jarak Striker Bar 900 mm	63
Gambar 4.20	Spesimen Sebelum Diuji	64
Gambar 4.21	Spesimen Sesudah Diuji	64
Gambar 4.22	Spesimen Sebelum Diuji	65
Gambar 4.23	Spesimen Sesudah Diuji	65
Gambar 4.24	Spesimen Sebelum Diuji	66
Gambar 4.25	Spesimen Sesudah Diuji	66
Gambar 4.26	Pengukur Lendutan Sudut Normal 90 Derajat	67
Gambar 4.27	Pengukur Lendutan Sudut Miring 60 Derajat	67
Gambar 4.28	Pengukur Lendutan Sudut Miring 45 Derajat	68
Gambar 4.29	Grafik Lendutan Pengujian	68
Gambar 4.30	Grafik Tekanan 7 Bar	69
Gambar 4.31	Grafik Tekanan 6 Bar	69
Gambar 4.32	Hasil Perbandingan Lendutan	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Aluminium	11
Tabel 2.2 Modulus Elastitas Bahan	27
Tabel 3.1 Jadwal Waktu dan Penelitian saat Melakukan Penelitian	31
Tabel 3.2 Sifat Mekanik Bahan Aluminium	34
Tabel 3.3 Ukuran <i>Core</i> Spsimen Sarang Lebah	46
Tabel 4.1 Data Percobaan Kasus I	56
Tabel 4.2 Data Percobaan Kasus II	57
Tabel 4.3 Data Percobaan Kasus III	57
Tabel 4.4 Data Percobaan Kasus I	63
Tabel 4.5 Data Percobaan Kasus II	63
Tabel 4.6 Data Percobaan Kasus III	63
Tabel 4.7 Data Hasil Percobaan Pengujian Impak	72
Tabel 4.8 Data Hasil Percobaan pada Tekanan Bar	73

DAFTAR NOTASI

ϵ_{eng}	Engineering Strain
$\Delta\tau$	Perubahan Panjang
τ_0	Panjang Awal
τ	Panjang Setelah diberi Gaya
σ	Regangan, $\Delta\tau/\tau$ (tanpa satuan)
s	Tegangan Geser, kg/cm^2
E	Modulus Young, kg/cm^2
K	Faktor gauge
ΔR	Perubahan tahanan gauge
Δl	Perubahan panjang bahan
R	Tahanan gauge nominal
l	Panjang normal bahan
ρ	Tahanan spesifik dari beban konduktor
l	Panjang konduktor
d	Diameter konduktor

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pada saat ini berkembang sangat pesat seiring dengan berjalannya waktu dan berkembangnya pola pikir manusia. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan manusia akan kemudahan dan efisiensi dalam bidang perindustrian.

Dalam perkembangan dunia industri, terutama yang berhubungan dengan penelitian bahan dan penggunaannya, 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 di lapangan. Adapun jenis mesin yang digunakan untuk mempertimbangkan faktor-faktor statis dan dinamis untuk menentukan kekuatan suatu material.

Beban terhadap aplikasi struktur tidak hanya diperoleh dari beban statis (*statis loading*) tetapi juga dari beban dinamis (*dynamic loading*). Kekuatan impact suatu material menunjukkan kemampuan dari material untuk menyerap dan menghilangkan energi pada saat menerima benturan atau beban kejutan (Mallick, 1998). Pengujian impact *drop weigh* atau uji tumbukan (*crash test*) dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan lentur material aluminium. Pengujian ini biasanya dilakukan pada material untuk aplikasi otomotif, struktur industri dan aerospace. Pada tahun 1980, FIA melakukan pengujian *crash*

box pada proto type CN2. *Cash test* digunakan sebagai acuan seberapa besar material dapat melakukan peredaman tumbukan sehingga mengurangi kerugian yang serius ketika terjadi kecelakaan.

Bentuk dari pada struktur sarang lebah (*honeycomb*) ini adalah berbentuk hexagonal dan berongga di tengahnya, akibat dari bentuk struktur ini yang dapat menyebabkan struktur menjadi sangat ringan.

Dalam penelitian ini penulis ingin membuat suatu bahan material aluminium yang berbentuk struktur *honeycomb* dan melakukan pengujian impak untuk mengamati tegangan dan regangan (*stress and strain*). Pengujian ini dilakukan menggunakan alat uji Split Hopkinson Bar. Pada dasarnya metode uji Split Hopkinson Pressure Bar merupakan pistol gas yang dibebankan dengan gas angin.

Dengan Latar belakang ini maka penulis tertarik untuk mengadakan penelitian sebagai tugas sarjana dengan judul : “Analisa Ukuran Heksagonal Pada Struktur Sarang Lebah yang di Impak dengan Sudut Miring dan Normal Menggunakan Proyektil Tumpul.

1.2 Rumusan Masalah

1. Seberapa besar energi yang di serap beban pada material aluminium yang berbentuk sarang lebah yang dilakukan pada metode impak Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) menggunakan profil proyektil tumpul.
2. Serta bagaimana dengan kekuatan material yang di beri beban dengan pembebanan yang berbeda.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya masalah yang akan diuji, maka penulis akan membahas masalah yang berkaitan dengan pengujian, antara lain :

1. Menentukan kekuatan pembebanan dengan sudut yang bervariasi, yaitu sudut normal 60 derajat dan sudut miring 45 derajat, yang dilakukan pada saat melakukan pengujian impact melalui grafik hasil pengujian.
2. Menentukan jenis input bar pada saat pengujian menggunakan profil proyektil tumpul.

1.4 Tujuan Penelitian

a. Tujuan Umum

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk menganalisa efek kecepatan pembebanan pada bahan Aluminium terhadap kekuatan impact dengan pembebanan yang berbeda.

b. Tujuan Khusus

1. Untuk membangun profil proyektil tumpul.
2. Untuk menyiapkan 2 benda kerja aluminium sarang lebah.
3. Untuk menganalisa tegangan impact pada pengujian.
4. Untuk mengevaluasi hasil pengujian berupa perbandingan deformasi plastik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanis aluminium pada struktur sarang lebah dan bagi peneliti dipergunakan sebagai laporan tugas akhir, dimana menjadi salah satu syarat sarjana Program Studi

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Manfaat penelitian bertujuan agar dapat digunakan sebagai referensi dan bahan pertimbangan dalam penelitian pengembangan analisa kekuatan dinamis pada struktur sarang lebah yang di impak dengan sudut miring dan normal menggunakan proyektil tumpul selanjutnya. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan wawasan baru terhadap material yang memiliki sifat mekanis yang baik dan di aplikasikan dalam dunia industri.

a. Bagi Akademik

Adapun manfaat yang dapat diperoleh oleh mahasiswa, diantaranya :

1. Menambah pengetahuan tentang pengujian kekuatan material aluminium yang di uji dengan sudut miring dan normal dengan menggunakan metode Split Hopkinson Pressure Bar.
2. Menambah pengetahuan tentang pembebanan terhadap kekuatan uji impak pada Aluminium.

b. Bagi Penulis

1. Untuk mengetahui kekuatan uji impak dengan menggunakan metode Split Hopkinson Pressure Bar dengan menggunakan spesimen Aluminium.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini sebagai berikut :

Bab 1: Pendahuluan, berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika pembahasan.

Bab 2: Tinjauan pustaka, landasan teori, berisikan tentang pengertian komposit, sarang lebah, , pengertian aluminium, Split Hopkinson Pressure Bar, dan uji impak.

- Bab 3: Metodologi pengujian, tempat dan waktu, berisi tentang alat dan spesimen serta prosedur pengujianimpak dengan variasi sudut miring dan sudut datar.
- Bab 4: Analisa data, berisi tentang hasil dari pengujian bahanaluminium dengan uji kekuatan impact melalui grafik.
- Bab 5: Kesimpulan dan saran, berisi tentang hasil pengujian yang dilakukan pada spesimen setelah diuji impact.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Komposit

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

Bahan komposit pertama kali digunakan di pesawat militer di Indonesia 1960-an dan kemudian diperluas ke pesawat sipil pada tahun 1970an. Tapi, sipil produsen pesawat terbang lebih lambat memanfaatkan komposit di primerbagian struktural sampai tahun 2000an. Sekarang, sebagai produsen pesawat terbang terkemuka. Komposit di gunakan tidak hanya untuk sifat strukturalnya, tetapi juga untuk kelistrikan, suhu, tribologikal, dan lingkungan aplikasi. Material komposit modern biasanya dioptimalkan untuk mencapai suatu keseimbangan sifat tertentu untuk berbagai aplikasi yang diperlukan.

Cara paling efektif untuk mencapai penurunan berat badan adalah penggunaan alternatif, ringanbahan. Bahan komposit sangat ideal untuk tujuan ini karena spesifikasinya yang tinggi modulus dan kekuatan, serta stabilitas kimia yang baik. Oleh karena itu, penerapan bahan komposit di industri otomotif memiliki sejarah panjang, membantu menghasilkan kendaraan ramah lingkungan dan hemat energi sekaligus mencapai penurunan berat badan.

2.1.1 Klasifikasi Komposit

Serat komposit berdasarkan penguat dapat di kategorikan oleh komposisi kimia, morfologi struktural, dan komersional fungsi. Komposit diklasifikasikan

dalam dua tingkat yang berbeda. Tingkat pertama yaitu termasuk komposit organik matrik (OMCS), komposit logam matrik (MMC) dan komposit keramik matrik (CMC). Tingkat kedua yaitu komposit polimer matrik (PMC). Fungsi penting matriks dalam komposit yaitu:

- a. Mengikat serat menjadi satu dan mentransfer beban keserat hal ini akan menghasilkan kekakuan dan membentuk struktur komposit.
- b. Mengisolasi serat sehingga serat tunggal dapat berlaku terpisah. Hal ini dapat menghentikan atau memperlambat penyebaran retakan.
- c. Memberikan suatu permukaan yang lebih baik kualitas akhir komposit dan menyokong produksi bagian yang berbentuk benang-benang.
- d. Memberikan perlindungan untuk memperkuat serat terhadap serangan kimia dan kerusakan mekanik karena pemakaian.
- e. Berdasarkan matrik yang di gunakan, karakteristik performansi meliputi kelenturan, kekuatan impak, dan sebagainya juga turut dipengaruhi. Sebuah matrik yang ulet akan meningkatkan ketangguhan struktur komposit.

Berdasarkan strukturnya komposit di bedakan atas tiga bagian yaitu:

1. *Fibrous Composite Materials* (komposit serat) terdiri dari dua komponen penyusun yaitu matrik dan serat.
2. *Particulate Composite Materials* (komposit partikel) merupakan jenis komposit yang menggunakan partikel/butiran sebagai *filler* (pengisi). partikel logam atau non logam dapat digunakan sebagai *filler*.
3. *Structural Composite Materials* (komposit berlapis) minimal terdiri dari dua material yang berbeda yang direkatkan bersama-sama. Proses dilakukan

dengan menggabungkan aspek yang terbaik dari setiap masing-masing lapisan untuk memperoleh hasil yang baik.

2.1 Teori Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Logam ini dipergunakan secara luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi dipakai juga untuk keperluan material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, konstruksi dan lain-lain. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dsb.

Mengolah biji logam menjadi aluminium (Al) memerlukan energi yang besar, sedangkan sumber biji aluminium semakin sedikit. Salah satu usaha untuk mengatasi hal ini adalah dengan melakukan daur ulang. Karena keterbatasan yang ada seperti pada industri kecil (kasus pengecoran pada industri kecil) tidak semua menggunakan bahan baku murni, tetapi memanfaatkan aluminium sekrup ataupun reject materials dari peleburan sebelumnya untuk dituang ulang (*remelting*).

Dari hasil pengecoran industri kecil pada saat digunakan mengalami beban berulang dan kadang-kadang beban kejut sehingga peralatan tersebut harus mendapatkan jaminan terhadap kerusakan akibat retak, lelah sehingga aman dalam penggunaan atau bahkan mempunyai usia pakai yang lebih lama.

2.2.1 Paduan Aluminium

Unsur utama aluminium ialah silikon, tembaga dan magnesium. Silikon meningkatkan kekerasan dan ketahanan terhadap korosi, tembaga meningkatkan sifat mekanik dan magnesium menyebabkan benda bertambah ringan selain itu meningkatkan ketahanan terhadap impak (Amstead Phillip, 1993).

2.2.2 Sifat Aluminium

a. Berat Aluminium

Aluminium punya sifat yang ajaib, ia punya densitas yang rendah hanyasepertiga dari kepadatan atau densitas dari logam baja. Densitas logam ini hanya $2,7 \text{ g/cm}^3$ atau kalau dikonversikan ke kg/m^3 menjadi 2.700 kg/m^3 . Kepadatan yang relatif kecil membuatnya ringan tapi sama sekali tidak mengurangi kekuatannya.

b. Kekuatan Aluminium

Berbagai paduan logam aluminium memiliki kekuatan tarik antara 70 hingga 700 mega pascal. Kekuatan yang sangat besar. Sifat aluminium ini unik tidak seperti baja. Pada suhu rendah baja akan cenderung rapuh tapi sebaliknya dengan aluminium. Pada suhu rendah kekuatannya akan meningkat dan pada suhu tinggi malah menurun.

c. Pemuaian Linier

Jika dibandingkan dengan logam lain, aluminium punya koefisien ekspansi linier yang relatif besar.

a. Mesin

Bahan aluminium sangat aplikatif untuk berbagai jenis mesin seperti tipe mesin drilling, potong, keprok, bending, dan sebagainya.

b. Konduktivitas

Sifat konduktivitas panas dan listrik alumunium sangat baik. Luar biasanya lagi konduktor dari alumunium beratnya hanya setengah dari konduktor yang terbuat dari bahan tembaga.

f. Reflektor

Alumunium adalah reflektor cahaya tampak yang baik. Sifat alumunium ini juga berlaku untuk pemancaran panas.

g. Tahan Karat (Korosi)

Alumunium bereaksi dengan oksigen di udara membentuk lapisan oksida tipis yang ampuh melindungi badan logam dari korosi.

h. Non Magnetik

Alumunium adalah bahan nonmagnetik. Karena sifatnya ini maka alumunium sering digunakan sebagai alat dalam perangkat yang menggunakan magnet.

i. Tidak Beracun

Logam alumunium punya sifat tidak beracun sama sekali. Ia berada pada urutan ketiga setelah oksigen dan silikon unsur yang paling banyak di kerak bumi. Beberapa senyawa alumunium juga secara alami terbentuk dalam makanan yang kita konsumsi setiap hari.

Adapun sifat-sifat fisik dan mekanik aluminium dijelaskan pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Sifat Aluminium

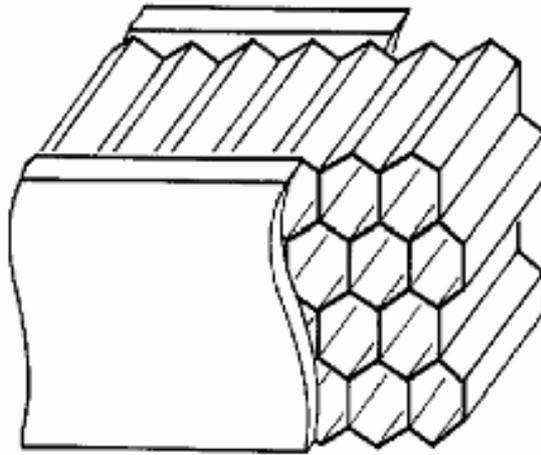
No	Sifat	Keterangan
1.	Densitas	2,8 g/cm ³ (170 lb/ft ³)
2.	Yield Strenght	47 to 220 Mpa (6,8 to 32 × 10 ³ psi)
3.	Modulus Young	69 Gpa (10 × 10 ⁶ psi)
4.	Poisson Ratio	0,33

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

2.3 Sarang Lebah

Sarang lebah 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 sarang lebah memiliki kelebihan dibanding dengan material konvensional lainnya, antara lain:

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



Gambar 2.1 Bentuk Sarang Lebah

Sumber : https://en.wikipedia.org/wiki/Honeycomb_structure

2.3.1 Konstruksi Sarang Lebah

Konstruksi sarang lebah ini merupakan konstruksi berlapis atas lembaran tipis bermodulus tinggi (kulit kuat) dan inti ringan. Permukaan menahan beban, inti membatasi permukaan serta memindahkan gaya-gaya geser, diantaranya agar efektif seputar sumbu bersama.

Semasa perang dunia II konstruksi sarang lebah berdasarkan panel berkulit *plywood* berinti sarang lebah, sekarang polimer lebih banyak digunakan pada bagian sayap dan ekor pesawat terbang (Feldman Dorel dan Hartomo Anton J. 1995).

Selain aplikasi di industri kedirgantaraan, dimasa ini konstruksi sarang lebah telah banyak juga digunakan untuk bagian dari transportasi salah satunya badan mobil F1, alat-alat olahraga, struktur kapal dan industri migas.

Pemakaian secara luas konstruksi sarang lebah ini tidak terlepas dari sifat unggul yang dimiliki seperti, keutuhan struktur, konduktivitas panas rendah, kemampuan menumpuh beban aerodinamik, kemampuan menahan beban lentur, dampak maupun meredam getaran dan suara.



Gambar 2.2 Kontruksi Sarang Lebah

Sumber : <http://javanhavafaza.ir/15273/%D9%84%D8%A7%D9%86%D9%87-%D8%B2%D9%86%D8%A8%D9%88%D8%B1%DB%8C/>

Dirancang untuk ketahanan terhadap ledakan. Studi eksperimental terbaru menunjukkan bahwa kapan terkena dampak proyektil, struktur sandwich bisa menghasilkan lebih besar disipasi energi dari pada pelat monolitik dengan densitas areal yang sama (Xu Ming-ming dkk, 2015).

Kemampuan sarang lebah panel telah diteliti secara eksperimental dan secara numerik. Persamaan batas balistik adalah diperoleh berdasarkan serangkaian hasil eksperimen (.Liu Ping dkk. 2015).

2.3.2 Kegagalan Kontruksi Sarang Lebah

Desain konstruksi dan kerusakan mekanisme kegagalan konstruksi sarang lebah telah dipelajari oleh banyak peneliti. Namun, studi ini masih di tahap awal karena kompleksitas kerusakan baik dari konstruksi maupun kerusakan mekanisme. Tiga modus kegagalan diamati pada kegagalan *core*, kegagalan wajah atas, dan robek (Ebrahimi Hamid dkk. 2015). Banyak model dan metode yang telah dipresentasikan, termasuk teoritis deduksi, pengukuran eksperimental, dan simulasi numerik, namun sebagian besar studi menderita banyak keterbatasan.

2.3.3 Struktur Sarang Lebah

Struktur sarang lebah banyak digunakan sebagai peredam kejut di udara pesawat terbang dan kereta api berkecepatan tinggi karena kekuatan ringan dan tinggi. Energi dampaknya adalah diserap melalui deformasi kompresif besar material dan berubah menjadi energi regangan (Zhang dkk, 2014).

Struktur sarang lebah berbentuk segi enam beraturan dengan sudut 120 derajat. Segi enam ini memiliki 6 simetri garis dan 6 simetri putar. Sudut dari segi enam ini saling berhubungan, dan segi enam ini dapat dikategorikan menjadi segi enam sama sisi. Struktur sarang lebah terdiri dari berbagai macam material dan konfigurasi yang tidak terbatas. Struktur sarang lebah terbuat dari material aluminium dan di padukan dengan bahan komposit, sehingga didapatkan massa yang ringan terhadap konstruksi tersebut.

Struktur sarang lebah tersusun dari tiga lapisan yang terdiri dari flat komposit (*metal sheet*) sebagai kulit permukaan (*skin*) serta material inti (*core*) dibagian tengahnya.

a. Skin

Merupakan bagian yang berfungsi untuk menahan *tensile compressive stress*, *skin* biasanya mempunyai rigid atau tingkat kekakuan yang rendah.

b. Core

Merupakan bagian yang sangat penting dari sarang lebah, dimana *core* harus memiliki bagian yang cukup kaku agar jarak antara permukaan terjaga dengan kekakuan yang dimiliki *core* harus mampu menahan geseran agar tidak terjadi slide antara permukaan.

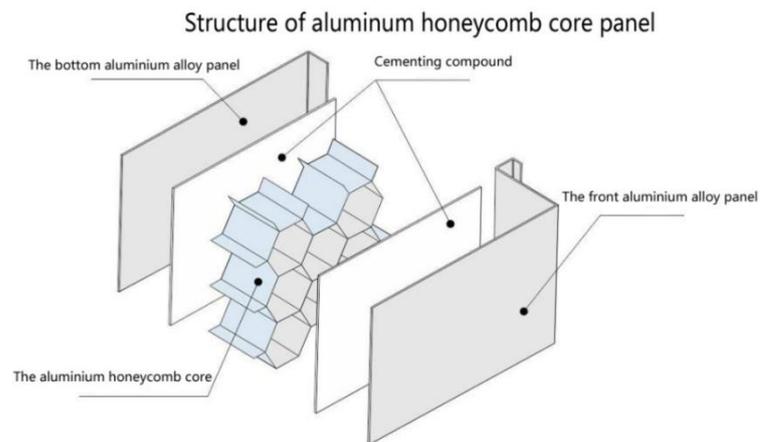
c. Adhesive

Adalah suatu bahan yang merekatkan antara *skin* dan *core*, selain untuk merekatkan *adhesive* juga harus mampu mentransfer gaya geser antara *skin* dan *core* agar kekuatan dari sarang lebah tetap terjaga.

Struktur sarang lebah dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi dan sangat cocok untuk menahan beban lentur, impak, meredam getaran dan suara.

Struktur sarang lebah biasanya digunakan untuk menurunkan berat badan komponen dalam aplikasi rangka bangunan. Yang paling biasa digunakan dari beberapa struktur sarang lebah kedirgantaraan adalah serat karbon dan madu atau sisir inti karena kekakuan dan kekuatan spesifiknya yang tinggi. Selama layanan, struktur ini mungkin menghadapi dampak kecepatan tinggi dari puing-puing berat. Struktur sarang lebah sangat masuk akal beban seperti itu meskipun penelitian ekstensif mengenai struktur sandwich, Perilaku dampaknya masih belum sepenuhnya dipahami (Brenda I dkk, 2009).

Banyak struktur penyerap energi berdinding tipis seperti sarang lebah diselidiki dalam beberapa tahun terakhir. mempelajari struktur sarang lebah bergradasi di bawah kondisi pembebanan in-plane dan out-of-plane. Mereka menemukan bahwa penyerapan energi dari struktur sangat banyak lebih tinggi di luar arah pesawat meskipun energi dampak kinetik dihamburkan melalui arah dalam-pesawat juga (Zhonggang Wang dkk, 2016).



Gambar 2.3 Struktur Sarang Lebah

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

Sel segi enam adalah jauh yang paling umum digunakan untuk struktur sarang lebah. Struktur berbentuk segi 6 yang juga sering digunakan untuk material konstruksi. Secara kekuatan fisik, bentuk segi 6 adalah salah satu yang mempunyai struktur ketahanan paling tinggi, contohnya adalah sarang lebah. Struktur sarang lebah ini juga akan memberikan karakteristik yang sangat bagus pada konstruksi material, seperti :

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

2.3.4 Fenomena Struktur pada Sarang Lebah

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

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

2.4 Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB)

2.4.1 Sejarah Perkembangan Split Hopkinson Pressure Bar

Hopkinson Pressure Bar pertama kali diusulkan oleh Bertram Hopkinson pada tahun 1914 sebagai cara untuk mengukur stres propagasi pulsa di sebuah bar logam. Kemudian, pada tahun 1949 H. Kolsky disempurnakan teknik Hopkinson dengan menggunakan dua batang Hopkinson dalam seri, yang sekarang dikenal sebagai bar slip-Hopkinson, untuk mengukur stres dan ketegangan, yang adanya menggabungkan kemajuan dalam sinar *katoda osiloskop* dalam hubungan dengan unit kondensor listrik untuk merekam perambatan gelombang tekanan di bar tekanan seperti yang di pelopori oleh RM Davies tahun sebelumnya pada tahun 1948. Modifikasi kemudian telah memungkinkan untuk tarik, kompresi dan pengujian torsi.

2.4.2 Teori Split Hopkinson Pressure Bar

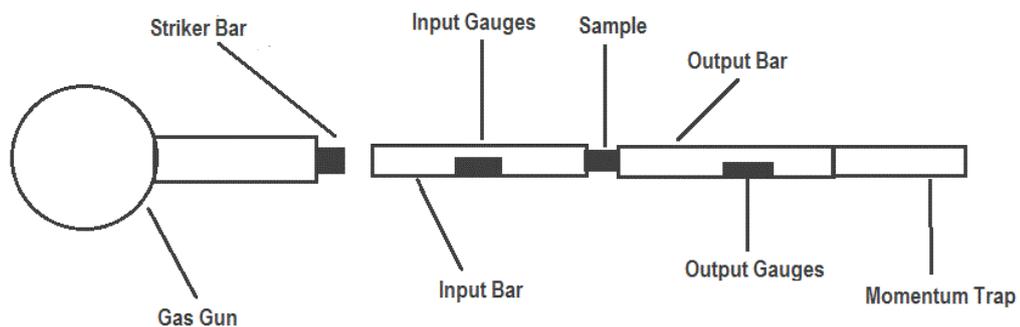
Split Hopkinson Pressure Bar merupakan salah satu metode untuk mengetahui nilai tingkat regangan tinggi pada suatu material. Misalnya, peristiwa kecelakaan, ledakan, ataupun laju sebuah peluru terhadap suatu objek, juga dapat mengakibatkan deformasi pada laju regangan tinggi terhadap objek tersebut (Harding J, Wood, E. D., Campbell, J. D, 1960). Tingkat regangan konvensional lebih besar dari $1s^{-1}$ didefinisikan sebagai pembebanan dinamik meskipun Lindholm menyarankan tingkat regangan $\dot{\epsilon} = 10s^{-1}$ sebagai batas terendah (Lindholm, U. S., 1971). Metode lain yang dikembangkan untuk menguji tingkat regangan tinggi pada suatu material adalah Split Hopkinson Pressure Bar, Taylor Impact, dan Plate Impact. Split Hopkinson Pressure Bar merupakan salah satu metode yang sederhana untuk mengetahui tingkat laju regangan tinggi, yaitu 10^2 hingga $10^4 s^{-1}$.

Mekanisme yang mendasar pada metode Split Hopkinson Pressure Bar adalah menggunakan rambatan gelombang sepanjang bar yang panjang saat mengalami tumbukan (*impact*). Meskipun ada berbagai setup dan teknik yang sedang digunakan untuk tekanan bar split hopkinson, prinsip-prinsip yang mendasari untuk pengujian dan pengukuran yang sama. Spesimen ditempatkan diantara ujung dua bar lurus, disebut insiden bar dan bar ditransmisikan. Pada akhir insiden bar (agak jauh dari spesimen, biasanya diujung). Sebuah gelombang stres adalah suatu perbuatan yang menyebarkan melalui bar menuju spesimen. Gelombang ini disebut sebagai gelombang insiden, dan setelah mencapai spesimen, terbagi menjadi dua gelombang yang lebih kecil.

Beberapa pekerjaan sebelumnya mengusulkan pengujian multiaxial dinamis metode menggunakan berat atau mesin kecepatan tinggi, namun keakuratannya tidak optimal tingkat pemuatan yang lebih tinggi. Untuk meningkatkan pengukuran, Kami mengusulkan dalam Bagian I dari studi ini sebuah metode pengujian baru menggunakan batang Hopkinson berdiameter besar dengan ujung miring untuk tampil uji kompresi geser gabungan di bawah pemuatan benturan. Ini mengizinkan untuk mendapatkan keseluruhan tekanan/*crush curve* yang menarik namun tidak bisa memberi perilaku geser normal dan murni yang terpisah.

2.4.3 Prinsip Kerja Split Hopkinson Pressure Bar

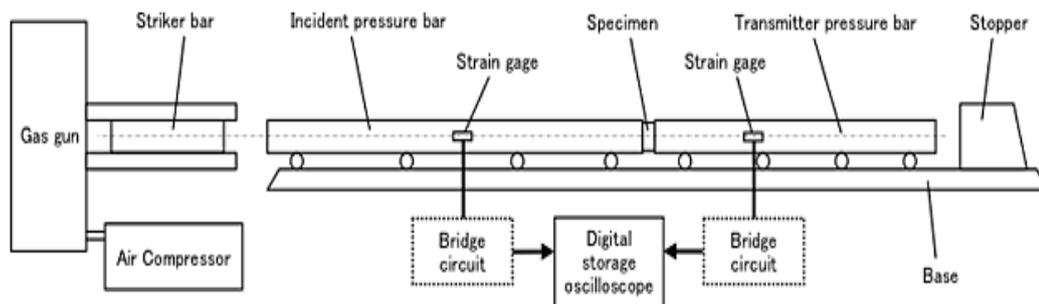
Pada dasarnya Split Hopkinson Pressure Bar, terdiri dari 3 bar, *striker bar*, *input bar*, dan *output bar* dapat dilihat pada (Gambar 2.4) Striker bar meluncur pada input bar pada kecepatan tertentu. Prinsip kerja Split Hopkinson Pressure Bar berdasarkan rambatan gelombang. Bagian-bagian utamanya berupa tembakan gas (*gas gun*), *striker bar*, *input bar (incident bar)*, dan *output bar (transmitted bar)*, dan *strain gauges*



Gambar 2.4 Bagian Utama Split Hopkinson Pressure Bar

Sumber : https://www.researchgate.net/figure/222688609_fig1_Fig-1-schematic-of-splithopkinson-pressure-bar-SHPB-experimental-set-up

Untuk mengetahui tegangan, regangan, serta tingkat regangan (*strain rate*) dengan menggunakan metode *Split Hopkinson Pressure Bar* yang menggunakan spesimen dijepit diantara dua bar, yaitu input dan output bar dapat dilihat pada (Gambar 2.5) dimana striker bar akan bergerak melalui tembakan angin (*gas gun*) menuju input bar (*incident bar*) dan output bar (*transmitted bar*) yang akan mengalami impak. Pada saat mengalami impak, rambatan gelombang tekan akan meneruskan gelombangnya ke output bar dan kembali memantul menuju input bar dan menghasilkan nilai laju regangan tinggi (*high strain rate*) berupa rambatan gelombang dengan menggunakan strain gauges yang melekat pada input dan output bar. Dan perekam sinyal gelombang dirangkai dalam bentuk *Wheatstone Bridge* yang fungsinya untuk menangkap sinyal tegangan dan regangan beserta waktu pada saat mengalami impak.

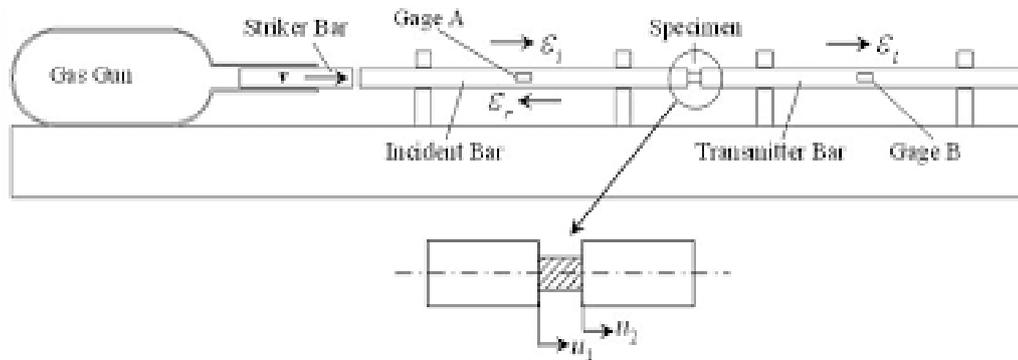


Gambar 2.5 Skema Split Hopkinson Pressure Bar

Sumber : <http://www.lm-foundation.or.jp/english/abstract-vol44/abstract/67.html>

Sifat tegangan dan regangan (ϵ) pada spesimen dapat ditentukan dengan menjepit spesimen diantara input dan output bar. Seperti yang dijelaskan pada (Gambar 2.6) saat mengalami tumbukan (*impact*), gelombang regangan ϵ_i akan merambat atau mentransmisikan gelombangnya melalui panjang spesimen L_0 dan diteruskan ke output bar (ϵ_t), dan ϵ_t akan memantul kembali sehingga didapat

gelombang pantulan (ϵ_r) yang disebut *reflected pulse* terhadap spesimen yang diuji.



Gambar 2.6 Regangan yang Terjadi Saat Tumbukan

Sumber : <http://www.berkelab.com/research.html>

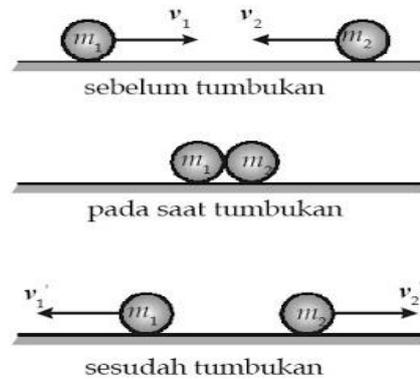
2.5 Tumbukan (Impak)

Pengujian impak bertujuan untuk mengukur berapa energi yang dapat diserap suatu material sampai material tersebut patah. Pengujian impak merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba (beban impak). Dalam pengujian impak terdiri dari dua teknik pengujian standar yaitu Charpy dan Izod, namun dalam pengujian struktur sarang lebah ini menggunakan alat uji Split Pressure Hopkinson Bar.

Spesimen uji impak berbentuk plat sandwich dengan penampang lintang persegi panjang. Beban didapatkan dari tumbukan oleh proyektil yang diberikan tekanan angin sebesar 7 bar. Spesimen di posisikan pada pencekam dengan posisi horizontal yang akan ditumbuk menggunakan proyektil dan meremukkan spesimen pada titik konsentrasi tegangan untuk pukulan impak kecepatan tinggi.

Dua benda bergerak saling mendekat dengan kecepatan v_1 dan v_2 seperti tampak pada gambar dibawah ini. Kedua benda bertumbukan sehingga setelah

tumbukan benda A akan berbalik arah ke kiri dengan kecepatan v_1' dan benda B akan berbalik arah ke kanan dengan kecepatan v_2' .



Gambar 2.7 Proses Terjadinya Tumbukan

Sumber : <http://raraphysics.blogspot.co.id/2015/11/hukum-kekekalan-momentum.html?m=1>

Pada Split Hopkinson Pressure Bar, dua bar bergerak saling mendekat dengan kecepatan v_1 dan v_2 . Kedua bar bertumbukan atau berbenturan sehingga setelah bertumbukan, input bar (*incident bar*) akan memantul kearah kiri dengan kecepatan v_1' dan output bar (*transmitted bar*) akan memantul kearah kanan dengan kecepatan v_2' .

Dari persamaan diatas disebut dengan hukum kekekalan momentum. Dalam hal ini hukum kekekalan momentum menyatakan jumlah momentum benda sebelum tumbukan sama dengan jumlah tumbukan momentum benda setelah tumbukan.

2.5.1 Kecepatan Rambat Gelombang Impak

Tumbukan antara input dan striker bar meneruskan dorongan tekanan pada kedua bar. Sebuah Gambaran dimana dorongan diteruskan oleh tumbukan longitudinal antara dua bar tersebut yang dijelaskan pada (Gambar2.6)

Gelombang tekan bergerak dari striker bar menuju input bar dengan kecepatan C_0 . Gelombang ini akan mendekati arah ujung kiri striker bar yang dipantulkan sebagai dorongan tarik (c, d) dan bergerak maju ke permukaan bar. Saat dorongan tarik mendekati permukaan bar, striker bar berpisah dari input bar dan gelombang tekan yang berada pada input bar berhenti. Panjang gelombang tekan menjadikan input bar mengalami dua kali panjang striker bar. Maka, dapat dirumuskan menjadi Pers.2.1 dan Pers.2.2 seperti dibawah ini :

$$L_0 = 2 \cdot L_{SB} \quad (2.1)$$

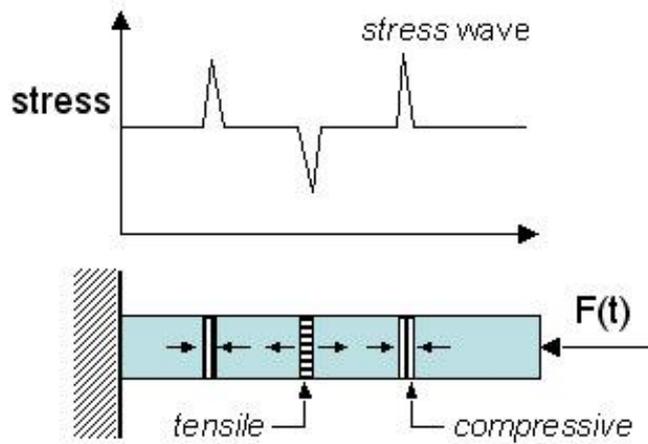
Persamaan panjang sinyal gelombang pada (Gambar 2.9) dapat diketahui dan dihitung dalam Pers. 2.1 berikut.

$$t_0 = \frac{2 \cdot L_{SB}}{C_0} \quad (2.2)$$

Dimana L_{SB} merupakan panjang striker bar. Sedangkan persamaan waktu rambatan sinyal gelombang saat bertumbukan (*wave velocity*) dapat dihitung dengan Pers.2.2.

Impak faktor adalah nilai perbandingan anatar energi kinetik (E_k) pada saat proyektil bertumbukan dengan batas energi kinetiknya ($E_{k \text{ lim}}$), impak faktor dapat dihitung.

$$IF = \frac{E_k}{E_{k \text{ lim}}} \quad (2.3)$$



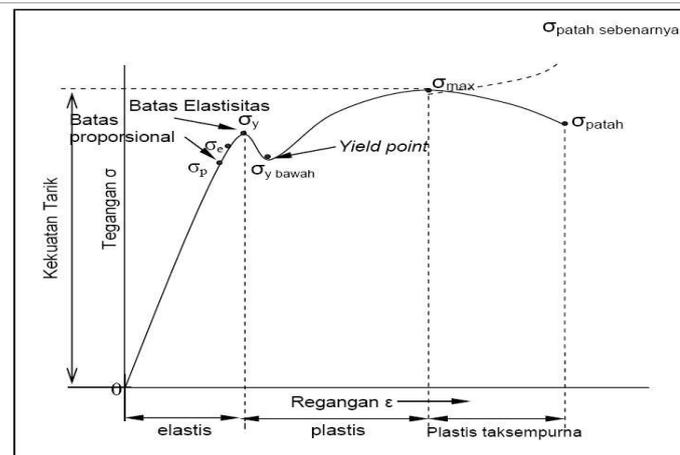
Gambar 2.8 Skema Gelombang Tumbukan Dua Bar

Sumber: https://www.google.co.id/search?q=skema+gelombang+tumbukan+du+bar&rlz=1cdgoyi_enid782id782&hl=id&prmd=inmv&tbn=isch&sa=x&ved=0ahukewj468bntdbzahujmy8khu5zbseq_auicigb&biw=320&bih=404#imgrc=q3ij5ggqnbk3tm:

2.6 Deformasi

Plastisitas adalah sifat yang dimiliki oleh suatu material, yaitu ketika beban yang diberikan kepada suatu benda atau material hingga mengalami perubahan bentuk kemudian dihilangkan lalu benda tidak bisa kembali sepenuhnya ke bentuk semula. Peningkatan pembebanan yang melebihi kekuatan luluh (*Yield Strength*) yang dimiliki plat mengakibatkan aliran deformasi permanen yang disebut plastisitas. Menurut Mondelson (1983), besarnya deformasi yang telah dialami oleh suatu material dinyatakan dengan perubahan luas area penampang, dan dinyatakan dengan derajat reduksi, untuk menghitung derajat reduksi tersebut dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$100 \times (V_0 - V_1) / A_0 \quad (2.4)$$



Gambar 2.9 Regangan dan Tegangan Deformasi

Sumber : <https://xsinau.wordpress.com/2016/09/02/plastis-fisika-mudah/>

Deformasi akan terjadi bila material bahan mengalami gaya, selama deformasi bahan menyerap energi, sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi. Sekecil apapun gaya yang bekerja, maka benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. perubahan bentuk secara fisik ini disebut deformasi, deformasi terbagi dua macam yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Yang dimaksud dengan deformasi elastis adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang jika beban ditiadakan, maka material akan kembali ke ukuran semula. sedangkan deformasi plastis adalah deformasi yang sifatnya permanen apabila beban dilepas, (edi jasmani 2001).

Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan yang telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (strain hardening), adapun persamaan regangan tegangan sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.5)$$

Sehingga deformasi dapat diketahui :

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E} \quad (2.6)$$

2.6.1 Tegangan (Stress)

Tegangan adalah tahanan material terhadap gaya atau beban. Tegangan diukur dalam bentuk gaya per luas. Tegangan normal adalah tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan dimana tegangan tersebut diterapkan. Tegangan normal berupa tarikan atau tekanan. Satuan SI untuk tegangan normal adalah Newton per meter kuadrat (N/m^2) atau pascal (Pa). Tegangan dihasilkan dari gaya seperti : tarikan, tekanan atau geseran yang mebarik, mendorong, melintir, memotong atau mengubah bentuk potongan bahan dengan berbagai cara. Perubahan bentuk yang terjadi sering sangat kecil dan hanya *testing machine* adalah contoh peralatan yang dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan bentuk yang kecil dari bahan yang dikenai beban. Cara lain untuk mendefinisikan tegangan adalah dengan menyatakan bahwa tegangan adalah jumlah gaya dibagi luas permukaan dimana gaya tersebut bereaksi. Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*).

$$\delta = \frac{F}{A} \quad (2.7)$$

2.6.2 Regangan (Strain)

Regangan didefenisikan sebagai perubahan ukuran bentuk material dari panjang awal sebagai hasil dari gaya yang menarik atau menekan pada material. Apabila suatu spesimen struktur material diikat pada jepitan mesin penguji dan beban serta penambahan panjang spesifikasi diamati serempak, maka dapat digambarkan pengamatan grafik dimana ordinat menyatakan beban dan

absis menyatakan pertambahan panjang. Batasan sifat elastis perbandingan regangan dan tegangan akan linier akan berakhir sampai pada titik mulur.

Hubungan tegangan dan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai pada batasan fase sifat plastis. Menurut Marciniak dkk, (2002) regangan dibedakan menjadi dua yaitu : *engineering strain* dan *true strain*. *engineering strain* adalah regangan yang dihitung menurut dimensi benda aslinya (panjang awal). Sehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang semula.

$$\varepsilon_{eng} = \frac{l-l_0}{l_0} 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad (2.8)$$

Tabel 2.2 Modulus Elastis Bahan

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

2.7 Sensor Strain Gage

Strain gage (*Strain Gauge*) adalah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan maupun regangan setelah striker bar menumbuk spesimen. *Strain gauge* dilekatkan pada input bar yang akan menghantam spesimen. Dengan

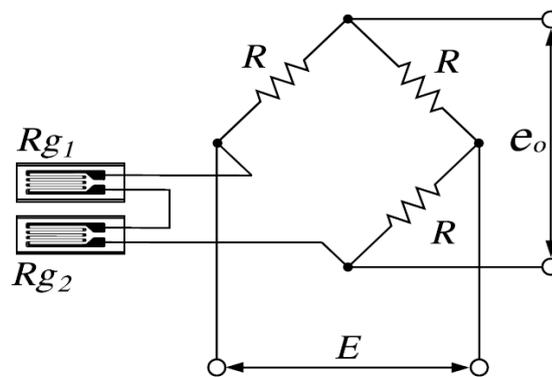
menempelkan *strain gauge* tersebut pada suatu benda uji (spesimen) menggunakan suatu perekat yang isolatif terhadap arus listrik, maka material tadi akan menghasilkan adanya perubahan resistansi yang nilainya sebanding terhadap deformasi bentuknya. *Strain gauge* ini dibuat dari sehelai kertas logam resistif yang dikikis tipis (*etched-foil*) dan berbentuk kisi (*grid*) sebagai elemen utama (sensor) serta dilapisi dengan sepasang selaput sebagai pelindung sekaligus isolator. Kemudian *strain gauge* ditambahkan sepasang kawat timah (*lead-gauge*) yang terhubung pada kedua ujung elemen sensor. Sensor *strain gauge* ini akan dimasukkan ke dalam rangkaian jembatan *wheatstone* yang kemudian akan diketahui berapa besar tahanan pada *strain gauge*. Tegangan keluar dari jembatan *wheatstone* merupakan sebuah ukuran regangan yang terjadi akibat tekanan dari setiap elemen pengindera *strain gauge*.

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

Kebanyakan setup modern *strain gages* di bar untuk mengukur strain yang disebabkan oleh gelombang. *Strain gauges* yang merupakan alat ukur regangan pada Split Hopkinson Pressure Bar untuk mengukur perpindahan bar saat terjadinya tumbukan (*impact*) dan menggunakan perangkat perekam data gelombang saat terjadinya tumbukan, yang disebut *oscilloscopes* (Hauser, 1966).

Sebagian dari metode merekam data, Kaiser pada tahun 1998, mengembangkan kurva perbandingan antara tekanan dan waktu dengan kurva regangan dan waktu, sebagai kurva perbandingan yang standar digunakan .

N. Tasneem mempelajari cara untuk membentuk dorongan tekanan yang melaju melalui tekanan bar. Banyak juga peneliti yang menerapkan pengujian Split Hopkinson Pressure Bar ini, untuk menguji elastisitas suatu bahan sebagai penelitian mereka (N. Tasneem, 2002).



Gambar 2.10 Rangkaian Sensor Strain Gauge

Hukum Hooke menyangkut aspek proporsionalitas antar gaya dan perpindahan, tegangan dan regangan, gaya luar dan gaya dalam. hukum hooke merupakan hukum yang sangat penting dan sentral dalam kaitan hubungan antara gaya dan perpindahan (binsar, 1996)

Tekanan itu kemudian dihubungkan dengan regangan sesuai dengan hukum Hooke yang berbunyi : *Modulus elastis* adalah *rasio* tekanan dan regangan. Dengan demikian jika *modulus elastis* adalah sebuah permukaan benda dan regangan telah diketahui, maka tekanan bisa ditentukan. Hukum Hook ditulis sebagai :

$$\sigma=Es \tag{2.9}$$

Bila dua *gauge* atau lebih digunakan, maka tekanan pada pelacakan arah setiap *gauge* bisa ditentukan dengan menggunakan perhitungan. Namun demikian persamaanya memiliki tingkat kompleksitas yang berbeda tergantung pada kombinasi dan orientasi *gauge* tersebut. Kepekaan sebuah *strain gauge* disebut dengan faktor *gauge* dan perbandingan antara unit resistansi dengan perubahan unit panjang adalah :

$$\text{faktor gauge } K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} \quad (2.10)$$

Perubahan tahanan ΔR pada sebuah konduktor yang panjangnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan bagi tahanan dari sebuah konduktor yang penampangnya serba sama, yaitu :

$$R = \rho \frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}} + \frac{\rho \times l}{\frac{\pi}{4} d^2} \quad (2.11)$$

BAB 3

METOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

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

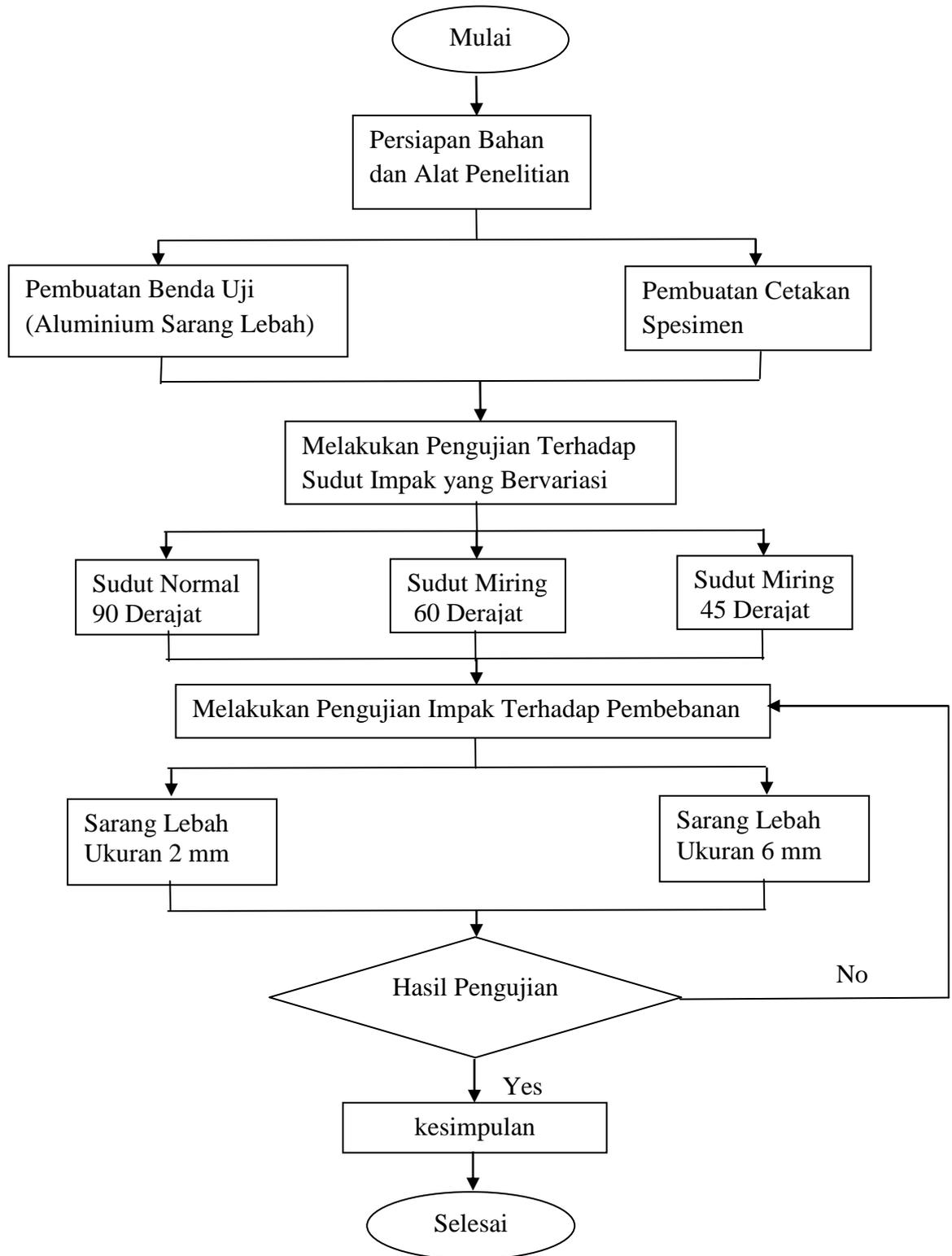
3.1.2 Waktu Penelitian

Adapun waktu pelaksanaan penelitian pengujian data impak ini dapat dilihat pada tabel 3.1 dan langkah-langkah penelitian yang dilakukan dibawah ini.

Tabel 3.1 Jadwal Waktu dan Penelitian saat Melakukan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan (Tahun 2017-2018)							
		Juni	Juli	Agustus	Sep-Okt	Nov-Des	Januari	Februari	Maret
1.	Pengajuan Judul								
2.	Studi Literature								
3.	Perancangan Cetakan Spesimen								
4.	Pembuatan Spesimen								
5.	Pelaksanaan Pengujian								
6.	Penyelesaian Skripsi								

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2.1 Keterangan Diagram Alir Penelitian

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

1. Dimulai dengan mempersiapkan bahan dan alat penelitian.
2. Selanjutnya proses pembuatan cetakan spesimen.
3. Pembuatan benda uji berbentuk sarang lebah yang terbuat dari plat aluminium dengan ketebalan 0,4 mm dan ukuran 2 mm dan 6 mm.
4. Selanjutnya melakukan pengujian terhadap sudut impak yang bervariasi. Dan sudut impak yang digunakan yaitu sudut 90 derajat dan 60 derajat.
5. Melakukan pengujian impak terhadap pembebanan dengan tekanan angin 7 bar dan dengan spesimen berbentuk sarang lebah ukuran 2 mm dan ukuran 6 mm.
6. Proyektil yang digunakan yaitu proyektil barmata tumpul.
7. Menganalisa hasil pengujian.
8. Kesimpulan.
9. Selesai.

3.3 Bahan dan Alat

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

3.3.1 Bahan

a. Lembaran Aluminium

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

Tabel 3.2 Sifat Mekanik Bahan Aluminium

No	Sifat	Keterangan
1.	Densitas	$2,8 \text{ g/cm}^3 (170 \text{ lb/ft}^3)$
2.	Yield Strenght	$47 \text{ to } 220 \text{ Mpa } (6,8 \text{ to } 32 \times 10^3 \text{ psi})$
3.	Modulus Young	$69 \text{ Gpa } (10 \times 10^6 \text{ psi})$
4.	Poisson Ratio	0,33



Gambar 3.2 Lembaran Aluminium

b. Lem Serbaguna

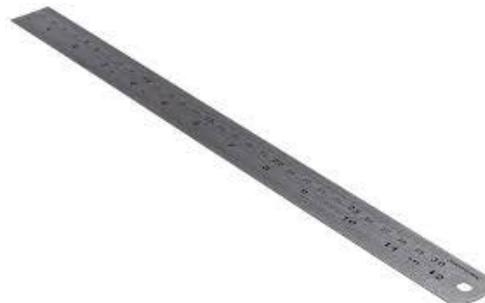
Lem ini digunakan karena mempunyai karakteristik yang baik, dan lem ini berfungsi digunakan untuk menyatukan *core* dan *skin* pada struktur sarang lebah.



Gambar 3.3 Lem Kambing

c. Penggaris

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



Gambar 3.4 Penggaris

d. Pisau *Cutter*

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



Gambar 3.5 Pisau *Cutter*

3.3.2 Alat Penelitian

a. Alat uji Split Hopkinson Pressure Bar

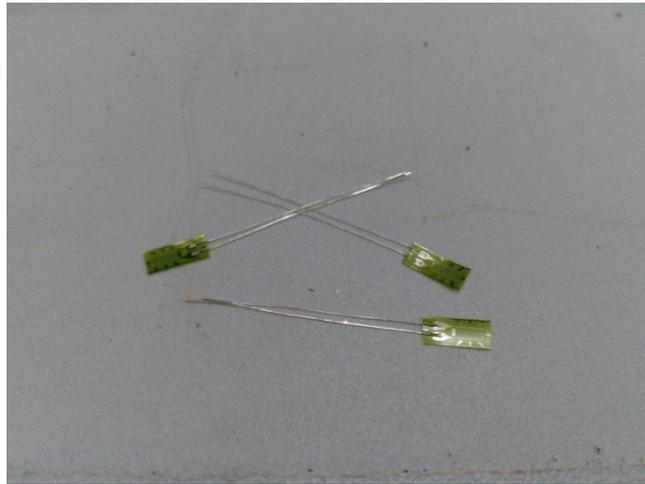
Alat Uji SHPB adalah alat uji yang akan digunakan untuk mengetahui sifat suatu material. Fungsinya adalah untuk mengetahui sifat material yang diberikan tekanan dorongan udara oleh kompresoryang akan menghasilkan gelombang sinyal, dapat dilihat pada gambar 3.6



Gambar 3.6 Alat Uji Split Hopkinson Pressure Bar (SPHB)

b. *Strain Gauges*

Strain Gauges berfungsi untuk mengukur nilai tekanan tumbukan yang terjadi pada saat input bar meneruskan dorongan ke arah output bar. Strain gauges terbuat dari lembaran logam yang tipis dan halus, dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Strain Gauges

c. *Oscilloscope*

Oscilloscope berfungsi untuk mengukur gelombang tumbukan (*impact*) yang terjadi antara input dan output bar. Gelombang sinyal akan muncul ketika tumbukan terjadi. Pada peristiwa ini, input bar akan menunjukkan gelombang sinyal saat menghantam output bar, dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Oscilloscope

d. Bridge Box (Wheatstone Bridge)

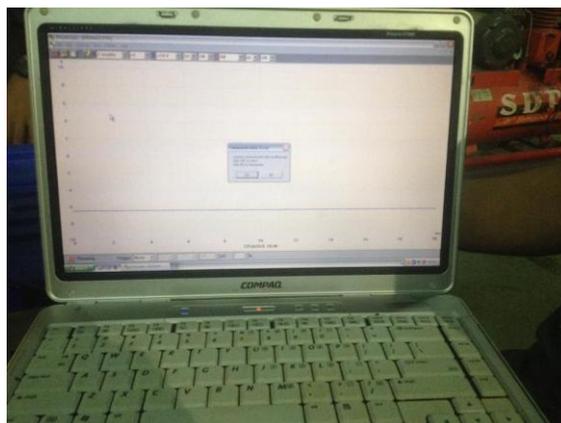
Berdasarkan gambar 3.9 *Bridge box* berfungsi sebagai alat yang dapat mengetahui besaran hambatan pada sensor *strain gages* yang merupakan resistansi yang dapat berubah nilainya ketika diberi beban impak..



Gambar 3.9 *Wheatstone Bridge (Bridge Box)*

e. Personal Computer (PC)

Komputer dihubungkan dengan Oscilloscope yang akan menampilkan hasil gelombang sinyal tekanan yang terjadi pada saat pengujian, dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Personal Computer

f. Kompresor (Gas Gun)

Berdasarkan gambar 3.11 Kompresor digunakan sebagai tekanan berupa gas atau udara. Pada pengujian Split Hopkinson Pressure Bar ini, kompresor berfungsi

untuk meningkatkan tekanan pada saat melepaskan tembakan pada *striker bar*. Yang kemudian akan mendorong ke arah input bar (*incident bar*) dan diteruskan ke arah output bar (*transmitted bar*).



Gambar 3.11 Kompresor (*Gas Gun*)

g. Solenoid Valve

Solenoid berfungsi untuk mengontrol saluran udara yang dikeluarkan oleh kompresor (*gas gun*). Solenoid ini memiliki 2 lubang, yaitu lubang inlet dan outlet yang dapat menutup dan membuka saluran udara pada saat yang kita inginkan, dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Solenoid Valve

h. Selang Angin

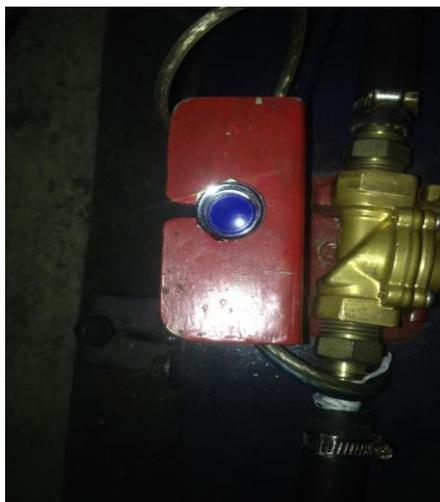
Merupakan bagian dari bahan yang digunakan untuk melakukan pengujian. Selang angin dipasang pada ujung mulut kompresor dan ujung striker bar yang ditengah pada keduanya akan dipasang solenoid, dapat di lihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Selang Angin

i. Tombol Switch

Tombol ini dipasang pada solenoid yang berfungsi untuk membuka saluran angin (*inlet*) agar udara pada kompresor dapat mengalir, dapat di lihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Tombol Switch

j. Jig

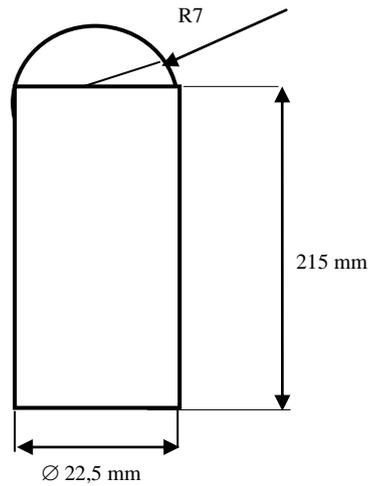
Jig digunakan sebagai tempat meletakkan spesimen yang akan di uji, dalam hal ini spesimen yang di uji yaitu aluminium sarang lebah, jig juga dapat mengatur sudut peletakan benda uji yang diinginkan, sehingga pada saat terjadi tumbukan benda uji tetap berada di posisi tersebut.



Gambar 3.15 Dudukan Spesimen

k. Mata Input Bar Tumpul

Mata input bar tumpul digunakan sebagai alat untuk memberikan variasi tumbukan dan pembebanan pada saat input bar menabrak benda uji aluminium sarang lebah dengan memanfaatkan tekanan dinamik dari atas Split Hopkinson Pressure bar.



Gambar 3.16 Mata Input Bar Tumpul

l. Jangka Sorong Digital

Kegunaannya untuk mengukur lebar dan kedalaman spesimen setelah di uji impak, jika menggunakan jangka sorong digital ini makanya ukuran yang didapat lebih akurat dibandingkan dengan jangka sorong biasa.



Gambar 3.17 Jangka Sorong Digital

m. Penggaris Busur

Digunakan sebagai untuk mengukur kemiringan spesimen yang akan di uji dan kemiringan dapat disesuaikan dengan keinginan kita sendiri.

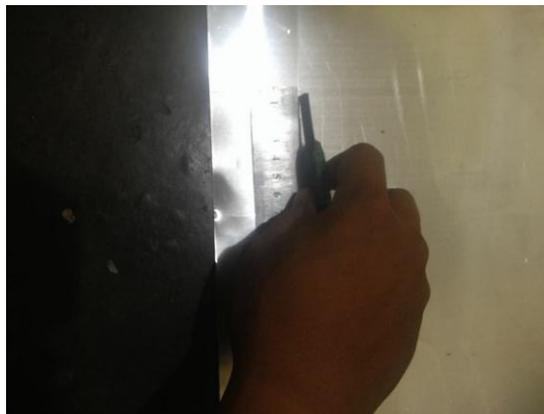


Gambar 3.18 Penggaris Busur

3.4 Pembuatan Spesimen Aluminium Sarang Lebah

Adapun tahapan dalam pembuatan spesimen uji impak diantaranya dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Mengukur lembaran aluminium yang akan di buat menjadi core, dengan panjang 205 mm dan lebar 18 mm.



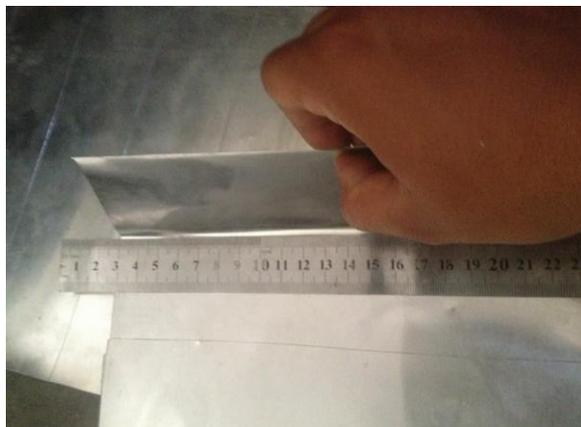
Gambar 3.19 Mengukur Plat Aluminium

- b. Memotong lembaran aluminium yang telah diukur dengan pisau *cutter* yang diukur menggunakan penggaris.



Gambar 3.20 Memotong Plat Aluminium

- c. Melakukan pencetakan *core* aluminium dengan plat yang sudah di potong, dengan menggunakan cetakan spesimen dengan cara mengepres plat aluminium.
- d. Memotong plat aluminium dengan ukuran 210 mm x 50 mm untuk *skin* sarang lebah.



Gambar 3.21 Memotong Plat untuk *Skin*

- e. Menyusun *core* yang telah dicetak, lalu menyatukan satu per satu *core*, lalu direkatkan dengan menggunakan lem kambing



Gambar 3.22 Pengeleman *Core* Ukuran 2 mm

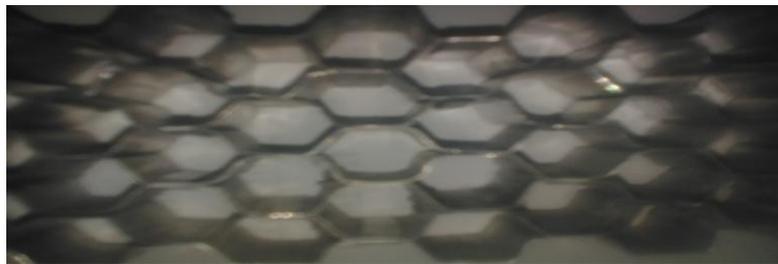


Gambar 3.23 Pengeleman *Core* Ukuran 6 mm

f. Spesimen yang sudah dilakukan pengeleman *core*



Gambar 3.24 Spesimen Sarang Lebah Ukuran 2 mm



Gambar 3.25 Spesimen Sarang Lebah Ukuran 6 mm

Tabel 3.3 Ukuran *Core* Spsimen Sarang Lebah

Lengt (L)	Width (b)	Depth (hc) (mm)	Core thickness (tc) (mm)	Skin thickness (tskin) (mm)
205	45	18	0,4	0,4

g. Mengelem Permukaan *Skin*

Mengelem permukaan *skin* dengan menggunakan lem kambing hingga merata, pastikan permukaan *skin* terkena lem secara merata.



Gambar 3.26 Mengelem Permukaan *Skin*

- h. Memasang *skin* bagian atas dan bawah *core* yang sudah dilem dengan menekan *skin* ke *core*.



Gambar 3.27 Pemasangan *Skin* Ukuran 2 mm



Gambar 3.28 Pemasangan *Skin* Ukuran 6 mm

- i. Setelah *core* dan *skin* direkatkan spesimen di press dan di keringkan di bawah sinar matahari agar lebih kuat.



Gambar 3.29 Pengepresan Spesimen Ukuran 2 mm

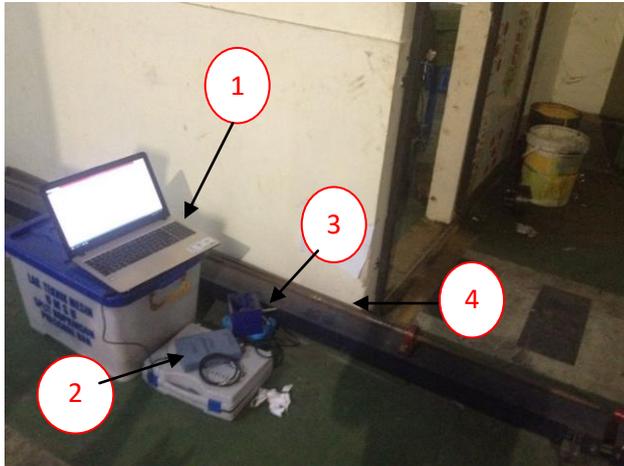


Gambar 3.30 Pengepresan Spesimen Ukuran 6 mm

3.5 Prosedur Pengujian

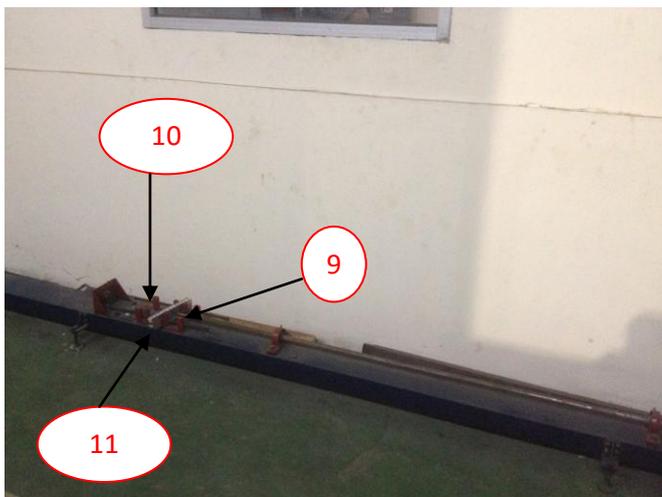
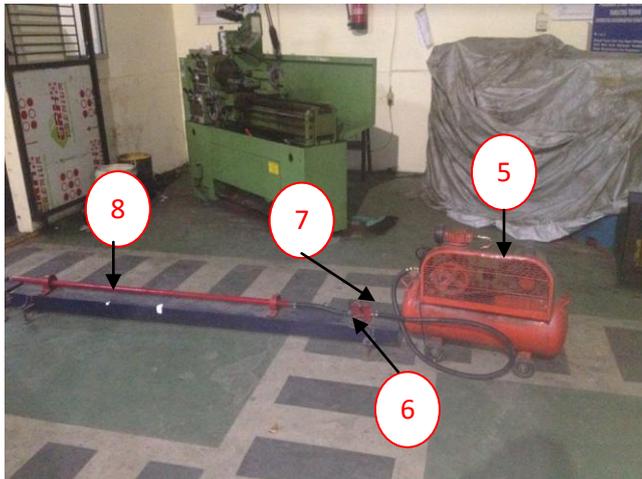
Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu melakukan pembuatan spesimen yang terbuat dari bahan aluminium sarang lebah. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan pembebanan dinamik pada spesimen tersebut dengan menggunakan alat uji split hopkinson pressure bar dengan metode impact, dengan cara sebagai berikut :

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



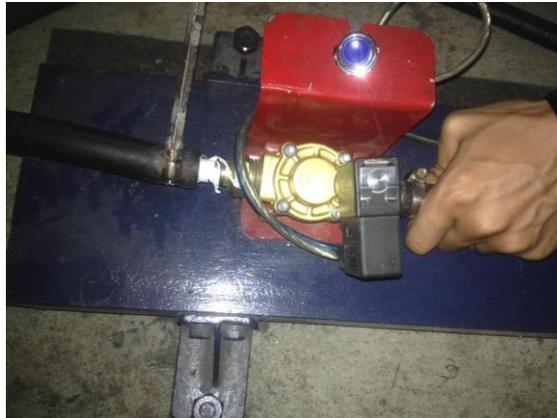
Keterangan :

1. Laptop
2. Piscooscop
3. Bridges box
4. Strain Gauge
5. Kompresor
6. Tombol Switch
7. Selenoid
8. Striker Bar
9. Mata Input
10. Jig
11. Spesimen



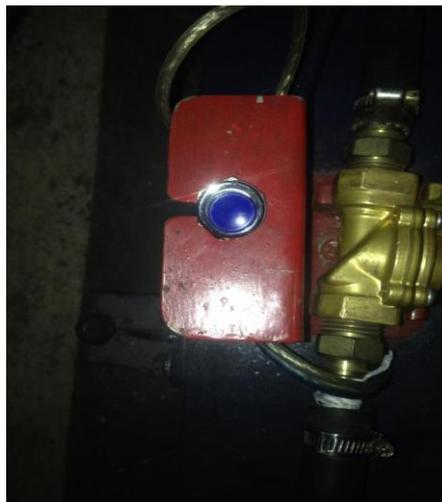
Gambar 3.31 Sit Up Alat Uji Split Hopkinson Pressure Bar

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



Gambar 3.32 Pemasangan *Solenoid*

3. Memasang tombol *switch*.



Gambar 3.33 Tombol *Switch*

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



Gambar 3.34 Tekanan Angin

5. Memasang benda uji impact dengan meletakkan spesimen pada jig mengunci.



Gambar 3.35 Spesimen pada Jig

6. Memasang proyektil tumpul pada ujung input bar.



Gambar 3.36 Proyektil Tumpul

7. Kemudian menyatel dudukan spesimen dengan sudut kemiringan yang diinginkan dengan menggunakan rol busur.



Gambar 3.37 Menyetel Kemiringan Spesimen

8. Memasang *strain gauges* pada input bar.



Gambar 3.38 Memasang *Strain Gauge*

9. Menghubungkan komputer dengan *oscilloscope*, dan memastikan *strain gauges* terpasang pada input bar.



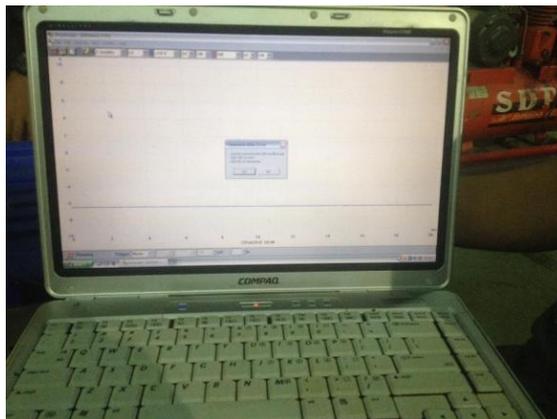
Gambar 3.39 Menghubungkan *Oscilloscop*

10. Memasang Bridge Box (*Wheatstone Bridge*)



Gambar 3.40 *Wheatstone Bridge (Bridge Box)*

11. Memeriksa sinyal gelombang pada *strain gauges* yang terhubung pada layar perangkat komputer, seimbang (berada pada titik 0 mV).



Gambar 3.41 Memeriksa sinyal gelombang

12. Mengatur tingkat *trigger* dalam data program pada perangkat komputer.
13. Membuka keran udara untuk mengalirkan udara dari kompresor yang sudah berisikan udara.
14. Menekan tombol *swieth* untuk membuka saluran udara dari kompresor mengalir untuk memberikan sebuah tekanan ataupun dorongan menuju saluran selang stiker bar.

15. Setelah melakukan pengujian, menganalisa hasil pengujian benda uji berupa data yang dapat dilihat di perangkat komputer berupa bentuk kurva ataupun sinyal gelombang akibat tumbukan antara input bar dan benda uji sarang lebah.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembuatan Cetakan Spesimen

Pembuatan spesimen aluminium sarang lebah dilakukan dengan mencari studi literature yang dikumpulkan dari berbagai sumber. Adapun gambar dari hasil pembuatan cetakan spesimen dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Cetakan Spesimen

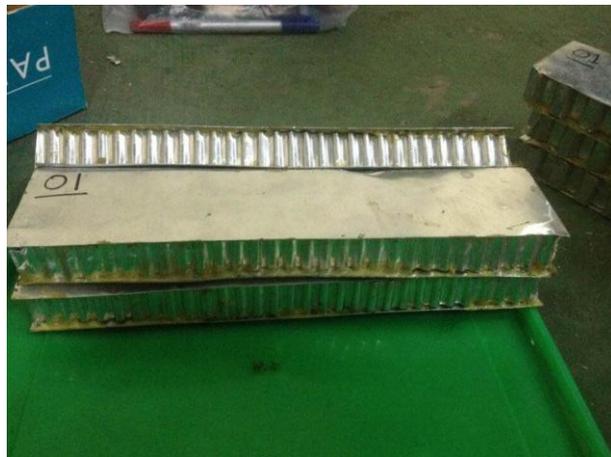
Cetakan spesimen sarang lebah ini terbuat dari besi baja yang di bentuk dengan roda gigi, ukuran yang dibuat untuk cetakan spesimen ini ialah ukuran 2 mm dan 6 mm. Ukuran lebar dari cetakan ini ialah 45 mm dengan ketebalan 18 mm dan dengan panjang 210 mm.

4.2 Hasil Pembuatan Spesimen Sarang Lebah

Setelah melakukan beberapa tahap proses yang cukup panjang maka di dapatlah hasil dari pembuatan spesimen sarang lebah seperti dibawah ini.



Gambar 4.2 Hasil Pembuatan Spesimen Ukuran 6 mm



Gambar 4.3 Hasil Pembuatan Spesimen Ukuran 2 mm

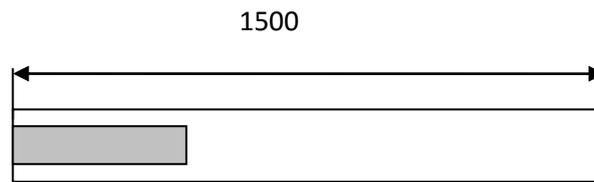
4.3 Data Pengujian Impak pada Ukuran 6 mm

Dari percobaan yang akan dilakukan dari pengujian impak maka data pengujian impak tersebut sebagai berikut.

a. Kasus Percobaan I

Tabel 4.1 Data Percobaan Kasus I

Percobaan	Tekanan (bar)	Jarak Striker bar (mm)	Sudut ($^{\circ}$)
Spesimen 1	7	1500	90

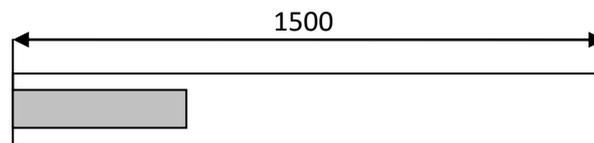


Gambar 4.4 Jarak Striker Bar 1500 mm

b. Kasus Percobaan II

Tabel 4.2 Data Percobaan Kasus II

Percobaan	Tekanan (bar)	Jarak Striker bar (mm)	Sudut ($^{\circ}$)
Spesimen 2	7	1500	60

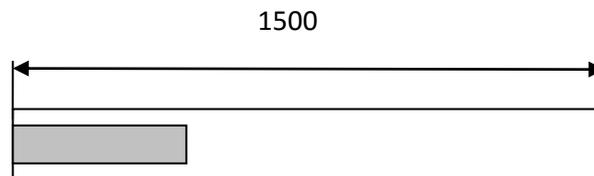


Gambar 4.5 Jarak Striker Bar 1500 mm

c. Kasus Percobaan III

Tabel 4.3 Data Percobaan Kasus III

Percobaan	Tekanan (bar)	Jarak Striker bar (mm)	Sudut ($^{\circ}$)
Spesimen 3	7	1500	45



Gambar 4.6 Jarak Striker Bar 1500 mm

4.4 Hasil Pengujian Impak

4.4.1 Pengujian Impak Sudut Normal 90 Derajat

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dimana pengujian dilakukan dengan menggunakan mata input bar tumpul yang ditekan dengan tekanan sebesar 7 bar, yang didudukan pada sudut 90 derajat, berikut hasil pengujian sudut 90 derajat.



Gambar 4.7 Spesimen Sebelum Diuji



Gambar 4.8 Spesimen Sesudah Diuji

4.4.2 Pengujian Impak Sudut Miring 60 Derajat

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada spesimen sudut 60 derajat ini dengan tekanan 7 bar adapun hasil dari pengujian impak sebagai berikut.



Gambar 4.9 Spesimen Sebelum Diuji



Gambar 4. 10 Spesimen Sesudah Diuji

4.4.3 Pengujian Impak Sudut Miring 45 Derajat

Dari hasil yang dilakukan maka didapatkanlah hasil dari pengujian spesimen sudut 45 derajat dengan menggunakan tekanan 7 bar menggunakan proyektil tumpul, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.11 Spesimen Sebelum Diuji



Gambar 4.12 Spesimen Sesudah Diuji

4.5 Mengukur Lendutan pada Benda Uji

4.5.1 Pengukuran Lendutan Sudut Normal 90 Derajat

Pada pengujian ini benda uji diimpak dengan besaran 7 bar dengan sudut 90 derajat sehingga terjadi lendutan sebesar 34,6 mm.



Gambar 4.13 Pengukur Lendutan Sudut 90 Derajat

4.5.2 Pengukuran Lendutan Sudut Miring 60 Derajat

Pada pengujian ini benda uji diimpak dengan kekuatan 7 bar dengan sudut 60 derajat sehingga terjadi lendutan sebesar 40,3 mm.



Gambar 4.14 Pengukur Lendutan Sudut 60 Derajat

4.5.3 Pengukuran Lendutan Sudut Miring 45 Derajat

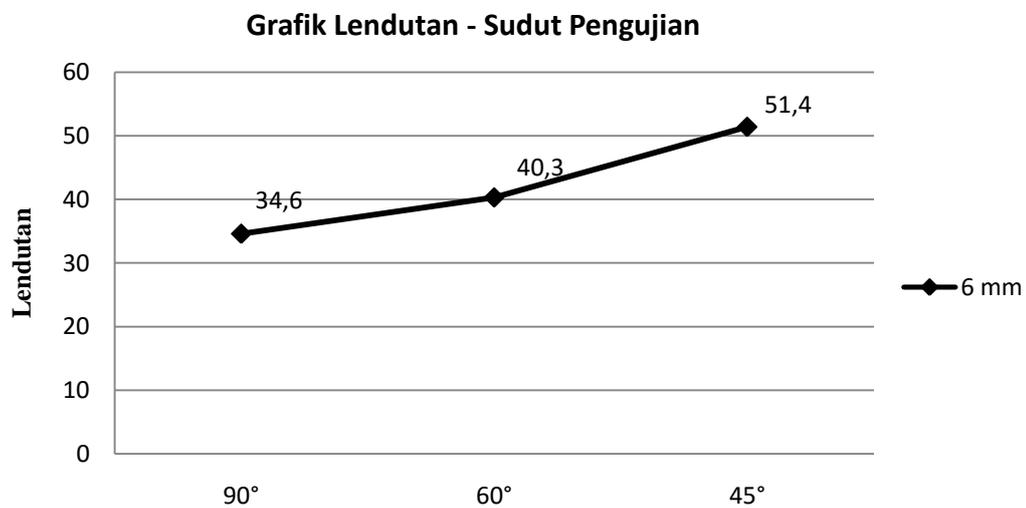
Pada pengujian ini benda uji diimpak dengan kekuatan 7 bar dengan sudut 45 derajat sehingga terjadi lendutan sebesar 51,4 mm.



Gambar 4.15 Pengukur Lendutan Sudut 45 Derajat

4.5.4 Grafik Perbandingan Lendutan pada Benda Uji

Dari pengukuran yang telah dilakukan maka di dapat perbedaan hasil lendutan yang terjadi berdasarkan uji impak maka didapatkan hasil garafik sebagai berikut.



Gambar 4.16 Grafik Lendutan Pengujian

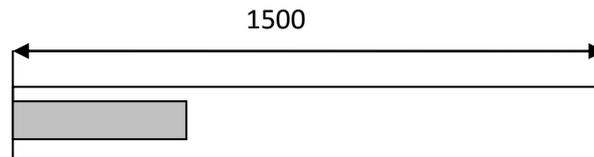
4.6 Data Pengujian Impak pada Ukuran 2 mm

Dari percobaan yang akan dilakukan dari pengujian impak, maka data pengujian impak tersebut sebagai berikut.

a. Kasus Percobaan I

Tabel 4.4 Data Percobaan Kasus I

Percobaan	Tekanan (bar)	Jarak Striker bar (mm)	Sudut ($^{\circ}$)
Spsimen 1	7	1500	90

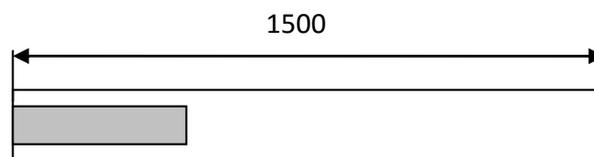


Gambar 4.17 Jarak Striker Bar 1500 mm

b. Kasus Percobaan II

Tabel 4.5 Data Percobaan Kasus II

Percobaan	Tekanan (bar)	Jarak Striker bar (mm)	Sudut ($^{\circ}$)
Spesimen 2	7	1500	60

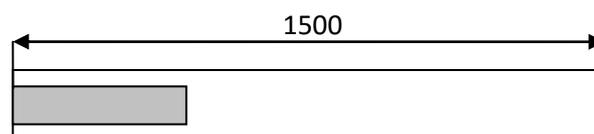


Gambar 4.18 Jarak Striker Bar 1500 mm

c. Kasus Percobaan III

Tabel 4.6 Data Percobaan Kasus III

Percobaan	Tekanan (bar)	Jarak Striker bar (mm)	Sudut ($^{\circ}$)
Spesimen 3	7	1500	45



Gambar 4.19 Jarak Striker Bar 1500 mm

4.7 Hasil Pengujian Impak

4.7.1 Pengujian Impak Sudut Normal 90 Derajat

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dimana pengujian dilakukan dengan menggunakan mata input bar tumpul yang ditekan dengan tekanan sebesar 7 bar, yang didudukan pada sudut 90 derajat, berikut hasil pengujian sudut 90 derajat.



Gambar 4.20 Spesimen Sebelum Diuji



Gambar 4.21 Spesimen Sesudah Diuji

4.7.2 Pengujian Impak Sudut Miring 60 Derajat

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada spesimen sudut 60 derajat ini dengan tekanan 7 bar adapun hasil dari pengujian impak sebagai berikut.



Gambar 4.22 Spesimen Sebelum Diuji



Gambar 4.23 Spesimen Sesudah Diuji

4.7.3 Pengujian Impak Sudut Miring 45 Derajat

Dari hasil yang dilakukan maka didapatkan hasil dari pengujian spesimen sudut 45 derajat dengan menggunakan tekanan 7 bar menggunakan proyektil tumpul, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.24 Spesimen Sebelum Diuji



Gambar 4.25 Spesimen Sesudah Diuji

4.8 Mengukur Lendutan pada Benda Uji

4.8.1 Pengukuran Lendutan Sudut Normal 90 Derajat

Pada pengujian ini benda uji diimpak dengan besaran 7 bar dengan sudut 90 derajat sehingga terjadi lendutan sebesar 56,7 mm.



Gambar 4.26 Pengukuran Lendutan Sudut 90 Derajat

4.8.2 Pengukuran Lendutan Sudut Mirig 60 Derajat

Pada pengujian ini benda uji diimpak dengan kekuatan 7 bar dengan sudut 60 derajat sehingga terjadi lendutan sebesar 66,2 mm.



Gambar 4.27 Pengukuran Lendutan Sudut 60 Derajat

4.8.3 Pengukuran Lendutan Sudut Miring 45 Derajat

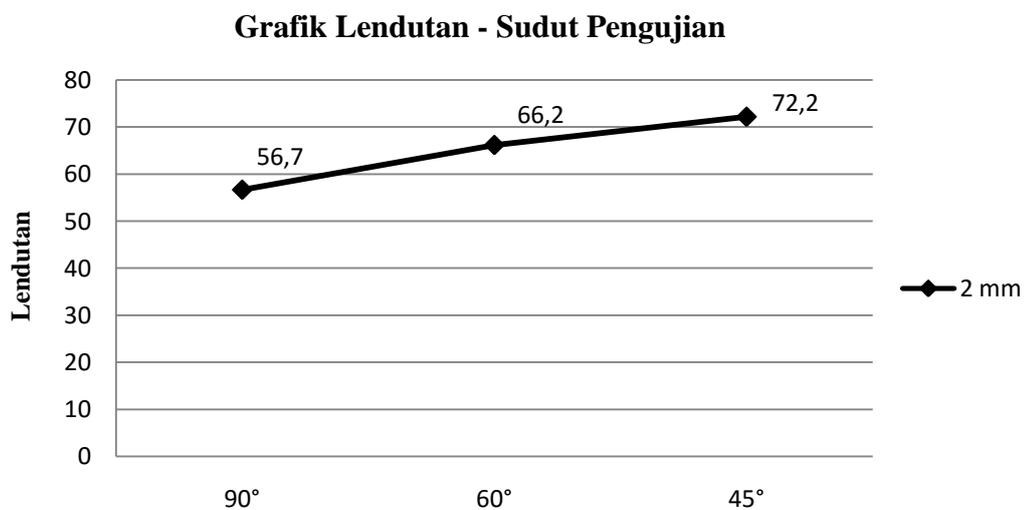
Pada pengujian ini benda uji diimpak dengan kekuatan 7 bar dengan sudut 45 derajat sehingga terjadi lendutan sebesar 72,2 mm.



Gambar 4.28 Pengukuran Lendutan Sudut 45 Derajat

4.8.4 Grafik Perbandingan Lendutan pada Benda Uji

Dari pengukuran yang telah dilakukan maka di dapat perbedaan hasil lendutan yang terjadi berdasarkan uji impact maka didapatkanlah hasil garafik sebagai berikut.

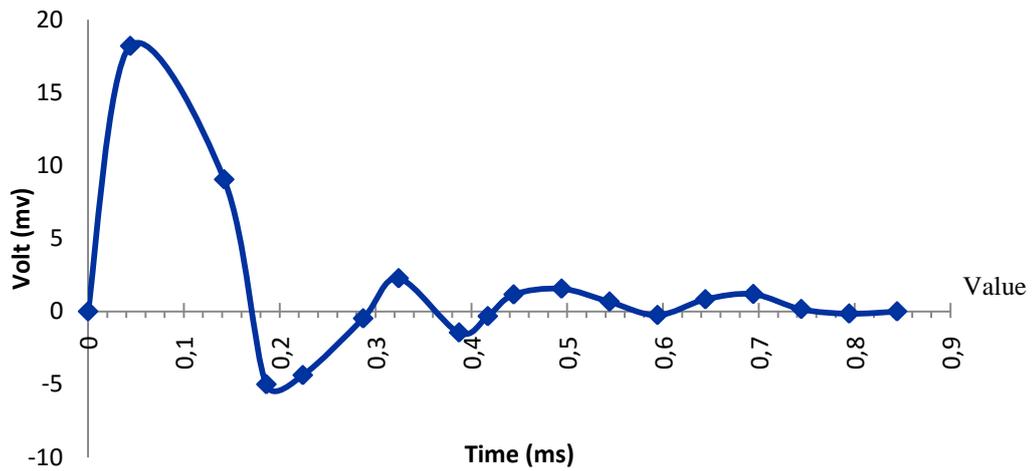


Gambar 4.29 Grafik Lendutan Pengujian

4.9 Data Pengujian *Strain* Impak

4.9.1 Grafik Hasil Pengujian 7 Bar

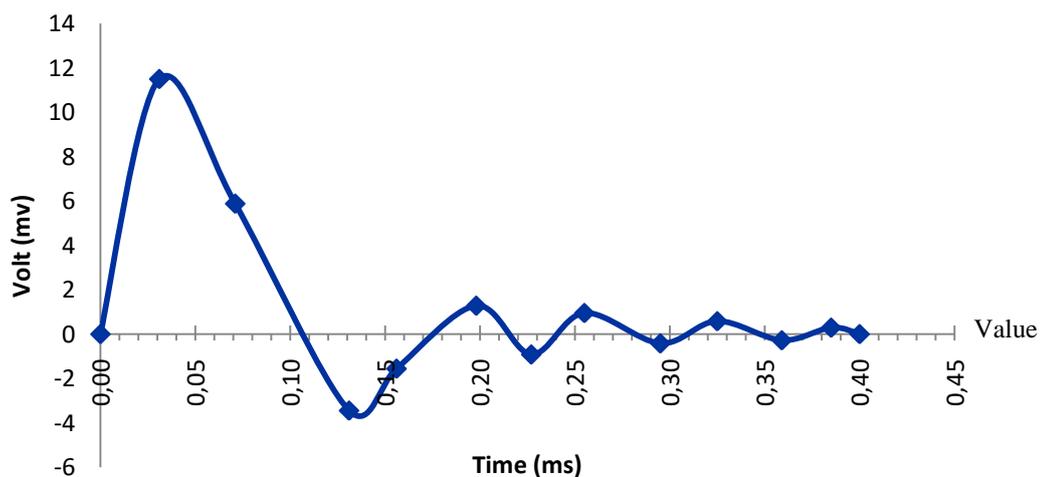
Dari hasil yang diperoleh dari pengujian tekanan angin sebesar 7 bar maka didapatkan hasil dari grafik sebagai berikut.



Gambar 4.30 Grafik Tekanan 7 Bar

4.9.2 Grafik Hasil Pengujian 6 Bar

Dari hasil yang diperoleh dari pengujian tekanan angin sebesar 6 bar maka didapatkan hasil dari grafik sebagai berikut.



Gambar 4.31 Grafik Tekanan 6 bar

4.10 Perhitungan Nilai Strain Impak

e_0 = Output Voltage

k_s = Gage Faktor

ϵ_0 = Strain

E = Bridge Voltage

Rg = Gauge Resistance

R = Fixed Resistance

ϵ_s = Strain Faktor

4.10.1 Perhitungan Nilai Strain pada Pengujian 7 Bar

$$e_0 = \frac{E}{4} K_s \cdot E_0$$

$$e_0 = \frac{9}{4} \cdot 2,08 \cdot 18,20 = 85,1 \text{ Mpa}$$

$$4 e_0 = \frac{E}{4} K_s = E_0$$

$$4 e_0 = \frac{9}{4} 2,08 = 18,20$$

$$\epsilon_s = \frac{4 \cdot e_0}{E \cdot K_s}$$

$$\epsilon_s = \frac{4 \cdot 18,20}{9 \cdot 2,08} = 3,8 \text{ Mpa}$$

4.10.2 Perhitungan Nilai Strain pada Pengujian 6 Bar

$$e_0 = \frac{E}{4} K_s \cdot E_0$$

$$e_0 = \frac{9}{4} \cdot 2,08 \cdot 11,50 = 53,8 \text{ Mpa}$$

$$4 e_0 = \frac{E}{4} K_s = E_0$$

$$4 e_0 = \frac{9}{4} 2,08 = 11,50$$

$$\epsilon_s = \frac{4 \cdot \delta_0}{E \cdot K_s}$$

$$\epsilon_s = \frac{4 \cdot 11,50}{9 \cdot 2,08} = 2,4 \text{ Mpa}$$

4.11 Perhitungan Tegangan Impak

$$\sigma = E \cdot \epsilon_s$$

Dimana :

σ = Tegangan Impak

E = Modulus Elastis Aluminium (7×10^{10})

ϵ_s = Strain Faktor

4.11.1 Perhitungan Tegangan Impak 7 Bar

$$\sigma = E \cdot \epsilon_s$$

$$\begin{aligned}\sigma &= 700 \cdot 3,8 \\ &= 2,66 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

4.11.1 Perhitungan Tegangan Impak 6 Bar

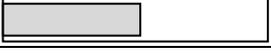
$$\sigma = E \cdot \epsilon_s$$

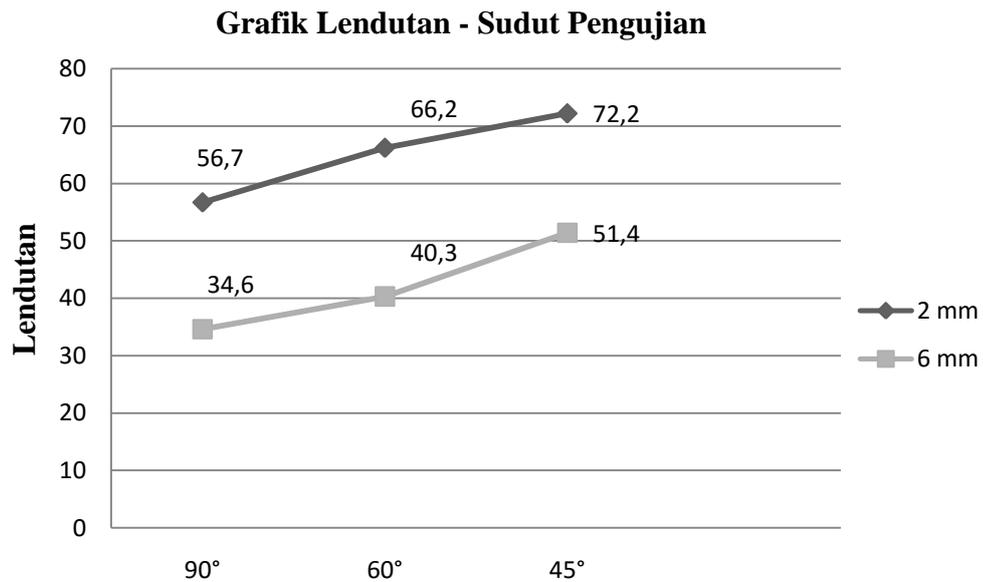
$$\begin{aligned}\sigma &= 700 \cdot 2,4 \\ &= 1,68 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

4.12 Hasil dan Pembahasan

Adapun hasil yang didapat dari pengujian impak yang telah dilakukakn adalah mendapatkan hasil dari impak, deformasi, mendapatkan lendutan yang terjadi, dari semua percobaan yang telah dilakukakn pengujian dengan sudut yang bervariasi, adapun hasil yang didapat sebagai berikut.

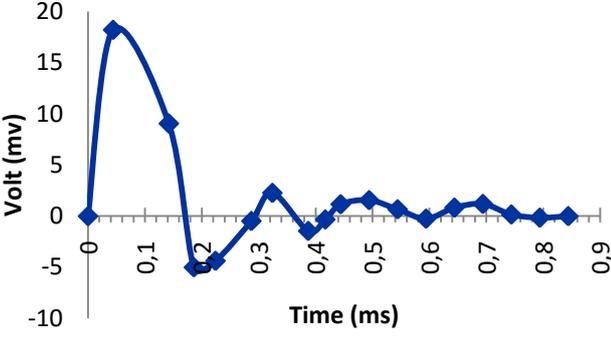
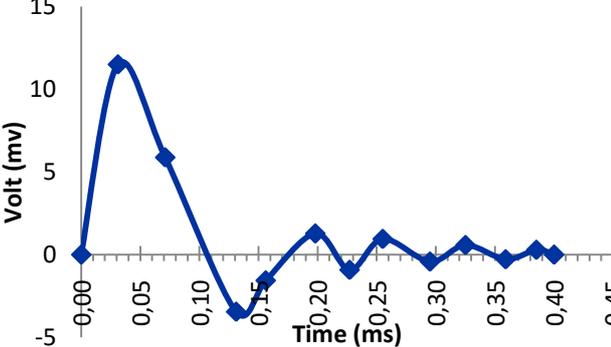
Tabel 4.7 Data Hasil Percobaan Pengujian Impak

Spesimen	Jarak Striker Bar (mm)	Gambar Letak Striker	Tekanan (Bar)	Lendutan (δ)	Ukuran
Spesimen 1	1500		7	34,6	6
Spesimen 2	1500		7	40,3	6
Spesimen 3	1500		7	51,4	6
Spesimen 1	1500		7	56,7	2
Spesimen 2	1500		7	66,2	2
Spesimen 3	1500		7	72,2	2



Gambar 4.32 Grafik Perbandingan Hasil

Tabel 4.8 Data Hasil Percobaan pada Tekanan Bar

Tekanan Bar	Grafik	Tegangan (σ)
7 Bar		2,66 Mpa
6 Bar		1,68 Mpa

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Spesimen yang digunakan yaitu aluminium yang berbentuk sarang lebah dengan ukuran 2 mm dan 6 mm.
2. Ukuran *Core* spesimen sarang lebah yang digunakan ini yaitu, panjang 205 mm, lebar 45 mm dan tinggi 18 mm.
3. Ukuran *Skin* dari spesimen sarang lebah yaitu dengan panjang 210 mm dan lebar 50 mm.
4. Ukuran aluminium yang digunakan yaitu ketebalan untuk *core* 0,4 mm dan ketebalan skin 0,4 mm.
5. Setelah dilakukan pengujian dampak dengan alat uji Split Hopkinson Pressure Bar maka didapatkan hasil sesuai dengan tekanan bar dan sudut yang bervariasi.
6. Hasil Lendutan yang didapat dari pengujian Split Hopkinson Pressure Bar berbentuk sarang lebah dengan ukuran 2 mm yang diimpak dengan sudut yang bervariasi sebagai berikut :
 - a. Sudut Normal 90 derajat hasil yang lendutan yang didapat 56,7 mm.
 - b. Sudut Miring 60 derajat hasil yang lendutan yang didapat 66,2 mm.
 - c. Sudut Miring 45 derajat hasil yang lendutan yang didapat 72,2 mm.
7. Hasil Lendutan yang didapat dari pengujian Split Hopkinson Pressure Bar berbentuk sarang lebah dengan ukuran 6 mm yang diimpak dengan sudut yang bervariasi sebagai berikut :
 - a. Sudut Normal 90 derajat hasil yang lendutan yang didapat 34,6 mm.
 - b. Sudut Miring 60 derajat hasil yang lendutan yang didapat 40,3 mm.
 - c. Sudut Miring 45 derajat hasil yang lendutan yang didapat 51,4 mm.
8. Pengujian dilakukan dengan tekanan bar sebesar 7 bar.
9. Jarak Striker bar yang digunakan yaitu dengan jarak 1500 mm.
10. proyektil yang digunakan yaitu proyektil tumpul berdiameter 22,5 mm.
11. Dari perbandingan deformasi yang didapat maka dapat disimpulkan semakin besar sudut yang diberikan maka semakin besar pula deformasi yang terjadi.
12. Sudut dampak sangat berpengaruh pada perubahan bentuk benda uji setelah dilakukan pengujian.

5.2 Saran

1. Pengujian material aluminium sarang lebah agar dilakukan dengan pengujian material yang lain.
2. Pengujian Selanjutnya hendaknya dilakukan dengan simulasi
3. Instrumentasi hopkinson pressure bar hendaknya diperbaiki lagi agar bisa mendapatkan data yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Balci Onur, Coban Onur, Akagundus Eyup, Yalcin Enver Bulent. (2016). Experimental Investigation of Single and Repeated Impact for Repaired Honeycomb Sandwich Structures. *Materials Science and Engineering A*. Vol.682 (2017), pp.23-30.
- Buitrago Brenda L., Santiuste Carlos, Saez Sonia Sanchez, Barbero Enrique, Navarro Carlos. (2009). Modelling of Composite Sandwich Structures with Honeycomb Core Subjected to High-Velocity Impact. *Composite Structures*. Vol.92 (2010), pp.2090-2096.
- Ebrahimi Hamid, Ghosh Ranajay, Mahdi Elsadig, Hashemi Hamid Nayeb. (2015). Honeycomb Sandwich Panel Subjected to Combined Shock and Projectile Impact. *Internasional Journal of Impact Engineering*. Vol.95 (2016), pp.1-11.
- Galehdari S.A., Kadkhodayan M., Hadidi-Moud S. (2015). Low Velocity Impact and Quasi-static In-plane Loading on a Graded Honeycomb Structure: Experimental, Analytical and Numerical Study. *Aerospace Science and Technology*. Vol.47 (2015), pp.425-433.
- Hau B., Pattofatto S., Li Y.L., Zhao H. (2010). Impact Behavior of Honeycomb Under Combined Shear-Compression. Part II: Analysis. *Internasional Jurnal of Solids and Structures*. Vol.48 (2011), pp.698-705.
- Liu Ping, Liu Yan, Zhang Xiong. (2015). Improved Shielding Structure with Double Honeycomb Cores Forhyper-velocity Impact. *Mechanics Research Communications*. Vol.3 (2015), pp.1-10
- Nguyen Khac-Ha, Kim Hee Cheol, Shin Hyunho, Yo0 Yo-Han, Kim Jong-Bong. (2016). Numerical Investigation Into the Stress Wave Transmitting Characteristics of Threads in the Split Hoopkinson Bar Test. *International Journal of Impact Engineering*. Vol.1 (2016), pp.1-29.
- Qi Chang, Remennikov Alex, Pei Lian-Zhang, Yang Shu, Yu Zhi-Hang, Ngo Tuah D. (2017). Impact and Close-in Blast Responseof Auxetic Honeycomb-cored Sandwich Panel: Experimental Test and Numerical Simulations. *Composites Structure*. Vol.180 (2017), pp.161-178.
- Wang Zhonggang, Liu Jiefu, Lu Zhaijun, Hui David. (2016). Mechanical Behavior of Composited Structure Filled with Tandem Honeycombs. *Composites Part B*. Vol.0 (2016), pp.1-25.
- Zhang Kai, Deng Zichen, Meng Junmiao, Xu Xiaojion, Wong Yan. (2014). Symplectic Analysis of Dinamic Properties of Hexagonal Honeycomb Sandwich Tubes with Plateau Borders. *Jurnal of Sound and Vibration*. Vol.351 (2015), pp.177-188.

- Zhou K., Wu Z.Y. (2016). Strain Gauge Placement Optimization for Structural Performance Assessment. *Engineering Structures*. Vol.141 (2017), pp.184-197.
- Angus J. Macdonald. (2002) *Struktur dan Arsitektur*. Jakarta: Erlangga.
- B.H. Amstead Phillip F. Ostwaid Myron L. Begeman. (1993) *Teknologi Mekanik*. Jakarta: Erlangga
- Daniel L. Schodek. (1999) *Struktur*. Jakarta: Erlangga.
- Dorel Feldman Dan Hartomo Anton J. (1995) *Bahan Polimer Kontruksi Bangunan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Ir. Binsar Hariandja, M.Eng. Ph.D. (1996). *Analisis Lanjut Sistem Struktur Berbentuk Rangka*. Jakarta: Erlangga.
- NIIT. (2004) *Properties and Applications of Engineering Materials,(Metals, Alloys, Polymers, Ceramics and Composites)*. New Delhi: Prentice-Hal of India Private Limited.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama Lengkap : ARDIANSYAH
Npm : 1207230148
Tempat/Tgl Lahir : Perbaungan, 10 Oktober 1993
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat : Link, V Kel Tualang
 Kel/Desa : Kel Tualang
 Kecamatan : Perbaungan
 Kabupaten : Serdang Bedagai
 Provinsi : Sumatera Utara
Kewarga Negara : Indonesia
Agama : Islam
Status Nikah : Belum Menikah
No. Hp : 085830866993
Email : Ardie10101993@gmail.com
Nama Orang Tua
 Ayah : Suharto
 Ibu : Turiah

PENDIDIKAN FORMAL

2000-2006 : SDN 105373 Tualang
2006-2009 : MTs Alwashliyah 16 Perbaungan
2009-2012 : Smk Swasta Musda Perbaungan
2012-2018 : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara