

TUGAS SARJANA
KONSTRUKSI DAN MANUFAKTUR
ANALISA NUMERIK TERHADAP KEKUATAN
LENTUR PADA STRUKTUR SARANG LEBAH
DENGAN VARIASI LAJU PEMBEBANAN
D i ajukan S ebagai S yarat U ntuk M emperoleh Gelar S arjana T eknik
(S .T)
P rogram S tudi T eknik M esin F akultas T eknik
U niversitas M uhammadiyah S umatera U tara

D isusun oleh :

DHANY FAJAR LESMANA
130 7230 176



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA
UTARA

**MEDAN
2018**

LEMBAR PENGESAHAN – I

**TUGAS SARJANA
KONSTRUKSI DAN MANUFAKTUR**

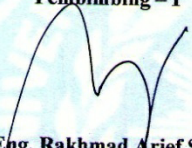
**ANALISA NUMERIK TERHADAP KEKUATAN LENTUR
PADA STRUKTUR SARANG LEBAH DENGAN VARIASI
LAJU PEMBEBANAN**

Disusun Oleh :

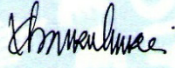
DHANY FAJAR LESMANA
1307230176

Diperiksa dan Disetujui Oleh :

Pembimbing – I


(Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar)

Pembimbing – II


(Khairul Umurani, 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**

LEMBAR PENGESAHAN – II

**TUGAS SARJANA
KONSTRUKSI DAN MANUFAKTUR**

**ANALISA NUMERIK TERHADAP KEKUATAN LENTUR
PADA STRUKTUR SARANG LEBAH DENGAN VARIASI
LAJU PEMBEBANAN**

Disusun Oleh :

DHANY FAJAR LESMANA

1307230176

Telah Diperiksa dan Diperbaiki
Pada Seminar Tanggal 13 juli 2018

Disetujui Oleh :

Pembanding -I



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

Pembanding-II



(H.Muharnif, S.T.,M.Sc)

Diketahui Oleh :

Ka.Program Studi Teknik Mesin



(Affandi, S.T)

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



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>

Bila menjawab surat ini agar disebutkan
Nomor dan tanggalnya

DAFTAR SPESIFIKASI

TUGAS SARJANA

PERIODE SEMESTER GANJIL/GENAP

T.A. 2017 / 2018

Nama Mahasiswa : DHANY FAJAR LESMANA
NPM : 1307230176
Semester : X(Sepuluh)
SPESIPIKASI : Analisa Numerik Terhadap Kekuatan Lentur Pada
Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Laju
Pembebanan

Diberikan Tanggal : 20 juli 2017
Selesai Tanggal : 05 Juni 2018
Asistensi : 1 Kali Dalam Seminggu
Tempat Asistensi : Di Kampus Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
(UMSU)

Medan, 05 Juni 2018

Diketahui Oleh :
Ka. Program Studi Teknik Mesin

(Affandi, S.T)

Dosen Pembimbing - I

(Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar)



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

Ruas 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>

Bila menjawab surat ini agar disebutkan
Nomor dan tanggalnya

DAFTAR HADIR ASISTENSI
TUGAS SARJANA

NAMA : Dhany Fajaer Lesmana PEMBIMBING I : Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar

NPM : 1307230176

PEMBIMBING II : Khairul Umurani, S.T., M.T.

No	Hari / Tanggal	Uraian	Paraf
1.	Sabtu 12/10/17	Perbaiki bab 2	
2	4/11/17	Perbaiki bab 2	
3.	8/2/18	Lanjut bab 2	
4.	17/3/18	Lanjut bab 4	
5.	19/4/18	Revisi bab 4	
6.	26/5/18	Lanjut Rev II	
7	2/6/18	Revisi bab 5	
8	2/6/18	Revisi: penulisan daftar pustaka	
9	2/6/18	kembali ke (revisi) I	
10	5/4/18	All Summer	

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

Peserta Seminar
 Nama : Dhany Fajar Iesmana
 NPM : 1307230176
 Judul Tugas Akhir : Analisa Numerik Terhadap Kekuatan Lentur Pada Struktural Sarang lebah Dengan Variasi Laju Pembebanan.

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng	
Pembimbing – II	: Khairul Umurani.S.T.M.t	
Pemanding – I	: Muhammad Yani.S.T.M.T	
Pemanding – II	: H.Muharnif.S.T.M.Sc	

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1207230024	PILIH IRRAWATI	
2	1207230005	MUBALIS	
3	1307230187	ABDUL RAHMANI	
4	1307230070	EDIGUS TIJAWAN	
5	1307230126	RIZKI ANGGA PRATAMA	
6	1407220246	Ali muwaziz	
7	1407230178	RIZKI RIZKI	
8	1207230012	ROF AHMAD SYAH YENI	
9			
10			

Medan, 28 Syawal 1439 H
 13 Juli 2018 M

Ketua Prodi. T Mesin



Affandi.S.T

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

NAMA : Dhany Fajar Iesmana
NPM : 1307230176
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Terhadap kekuatan Lentur Pada Struktur Sa-
Rang Lebah Dengan Variasi laju Pembebanan.

Dosen Pembimbing - I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng
Dosen Pembimbing - II : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Muhammad Yani.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : H.Muharnif.S.T.M.Sc

KEPUTUSAN

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

.....*diteliti ttt. Alut pada draft*.....
.....*skripsi*.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....

Medan 28 Syawal 1439H
10 Juli 2018 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin

Affandi.S.T

Affandi.S.T

Dosen Pembanding- I
Muhammad Yani
Muhammad Yani.S.T.M.T

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

NAMA : Dhany Fajar Iesmana
NPM : 1307230176
Judul T.Akhir : Analisa Numerik Terhadap kekuatan Lentur Pada Struktur Sa-
Rang Lebah Dengan Variasi laju Pembebanan.

Dosen Pembimbing - I : DR.Rakhmad Arief Srg.M.Eng
Dosen Pembimbing - II : Khairul Umurani.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : Muhammad Yani.S.T.M.T
Dosen Pembanding - II : H.Muharnif.S.T.M.Sc

KEPUTUSAN

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

.....
Lihat buku Skripsi
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :


.....
.....
.....

Medan 28 Syawal 1439H
10 Juli 2018 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin


Affandi.S.T.


Dosen Pembanding- II


H.Muharnif.S.T.M.Sc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS SARJANA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dhany Fajar Lesmana
Tempat/Tgl Lahir : AFD.E. Bah Butong 25 July 1993
NPM : 1307230176
Bidang Keahlian : Konstruksi Dan Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
(UMSU)

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

ANALISA NUMERIK TERHADAP KEKUATAN LENTUR PADA STRUKTUR SARANG LEBAH DENGAN VARIASI LAJU PEMBEBANAN

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan 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 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, Agustus.2018
Saya yang menyatakan



(Dhany Fajar Lesmana)

ABSTRAK

Struktur 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 kekuatan yang sangat besar dengan daya yang tinggi namun tetap memiliki daya produksi yang rendah. Banyak digunakan struktur pesawat bertujuan untuk menganalisa konsentrasi tegangan, dengan 3 ukuran hexagonal yang bervariasi yaitu 2 mm, 4 mm, dan 6 mm dengan panjang (l) 220 mm lebar (b) 55 mm dan tinggi (h) 18 mm. Dengan menggunakan pengujian software ansys. Adapun proses pengujian yang dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian statis dan dinamis dan memiliki 3 metode sudut kemiringan 45° , 60° , dan 90° dari hasil yang telah didapatkan pada pengujian ke 3 spesimen honeycomb dengan ukuran 2 mm dengan menggunakan metode percobaan statis pada kemiringan sudut sebesar 90° menghasilkan lendutan sebesar 1,1938 mm, 4 mm dengan menggunakan metode percobaan statis pada kemiringan sudut sebesar 90° menghasilkan lendutan sebesar 2,009 mm, dan 6 mm dengan menggunakan metode percobaan statis pada kemiringan sudut sebesar 90° menghasilkan lendutan sebesar 2,4599 mm.

Kata kunci: ansys, sarang lebah, variasi laju pembebanan analisa numerik

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Sarjana ini dengan lancar. Tugas Sarjana ini merupakan tugas akhir bagi mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dalam menyelesaikan studinya.

Untuk memenuhi syarat tersebut penulis bimbingan dari pada dosen pembimbing merencanakan sebuah

"ANALISA NUMERIK TERHADAP KEKUATAN LENTUR PADA STRUKTUR SARANG LEBAH DENGAN VARIASI LAJU PEMBEBANAN".

Dalam menyelesaikan tugas ini penulis banyak mengalami hambatan dan rintangan yang disebabkan minimnya pengetahuan dan pengalaman penulis, namun berkat petunjuk Allah SWT yang terus – menerus hadir dan atas kerja keras penulis, dan atas banyaknya bimbingan dari pada dosen pembimbing, serta bantuan moril maupun materil dari berbagai pihak akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana ini.

Untuk itu penulis pada kesempatan ini menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, Ayahanda Wagino dan Ibunda Semi, dimana cinta yang telah membesarkan, mengasuh, mendidik, serta memberikan semangat dan do'a yang tulus, ikhlas, dengan penuh kasih sayang sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T, selaku Dekan

Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T.,M.Sc. selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Eng. Rakhmad Arif Siregar selaku Dosen Pembimbing-I yang telah banyak memberi bimbingan dan arahan serta perhatian sehingga Tugas Sarjana ini dapat selesai dengan baik.
5. Bapak Khairul Umurani, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing-II yang telah banyak memberi bimbingan dan arahan serta perhatian sehingga Tugas Sarjana ini dapat selesai dengan baik.
6. Bapak M. Yani, S.T.,MT selaku pembimbing-I yang telah memberikan bimbingan dan perhatian , sehingga Tugas Sarjana ini dapat di selesaikan dengan baik.
7. Bapak H. Muharnif,S.T.,M.Sc selaku pembimbing-II yang telah memberikan bimbingan dan perhatian sehingga Tugas Sarjana ini dapat di selesaikan dengan baik.
8. Bapak Affandi, S.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

9. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Seluruh Dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan bimbingan dan ilmu pengetahuan selama di bangku kuliah.
11. Seluruh Staff Tata Usaha pada Program Studi Teknik Mesin UMSU.
12. Rekan – rekan Lab. Teknik Mesin, dan teman–temen yang lain yang banyak membantu dan memotivasi penulis.
13. Terimakasih banyak kepada Dinda al anshary SP.d yang banyak membantu dan memotifasi, untuk menyelesaikan tugas akhir saya.
14. Terimakasih banyak juga kepada teman satu perjuangan Handoko S.T, Febri Ramadhan, Haris Faladilah, Budi Ashari S.T, Joko Siswato S.T, Mahmod Rizal S.T, Deni Eka Saputra S.T, Kiki Ramadani, Dycky Zulfandi, Deny Irawaan, Dedy Lestrai, Muhammad Ilham, Kiki dwi panca, seluruh teman – teman stambuk 2013.
15. Terima kasih banyak kepada teman yang setambuk 2012, mukhlas, roy armansyah very, rian irawan.

Penulis menyadari bahwa tugas ini masih jauh dari sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan tugas sarjana ini.


Akhir kata penulis mengharapkan semoga tugas sarjana ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amin Ya Rabbal Alamin.

Bilahi filshabli haq, fastabiqul khairat.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, ... Agustus 2018

Penulis



DHANY FAJAR LESMANA

1307230176

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN-1
LEMBAR PENGESAHAN-2

LEMBAR PENGESAHAN
LEMBAR ASISTENSITUGAS SARJANA
ABSTRAK

i

KATA PENGANTAR

ii

DAFTAR ISI

iv

DATAR TABEL

vii

DAFTAR GAMBAR

viii

DAFTAR NOTASI

x

BAB 1 PENDAHULUAN

1

11	Latar Belakang	
	1	
12	Rumus Masalah	3
13	Batasan Masalah	3
14	Tujuan Penelitian	3
15	Manfaat Penulisan	
	4	
	15.1 Manfaat Teoritis	4
	15.2 Manfaat Praktis	4
16	Sistematika Penulisan	
	4	

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

6

2.1	Hexagonal Honeycomb	
	6	
2.2	Komposit Sandwich	
8		
	2.2.1 Struktur Komposit Sandwich	
9		
2.3	Sarang Lebah Aluminium	11

2.4	Kekuatan Lentur	13
2.5	Simulasi Numeric	14
	2.5.1 Model Elemen Hingga	14
2.6	Respon Bahan Sarang Lebah Untuk Proteksi Dampak	15
2.7	Sifat Sarang Lebah Yang Efektif	16
2.8	Model Ekuivalensi Berdasar Kan Geometri Nonlinier	17
2.9	Deformasi	19
	2.9.1 Tegangan (stress)	20
	2.9.2 Regangan (strain)	21
	2.9.3 Pengujian static	22
2.10	FEM (Finite Elements Method)	22

BAB 3. METODE PENELITIAN

26	3.1 Tempat Dan Waktu	
26		
	3.1.1 Tempat	26
	3.1.2 waktu	
26	3.2 Alat Penelitian	27
27	3.2.1 Work Station	
	3.2.2 Software Catia	
28	3.2.3 Software Ansys	28
29	3.3 Alur Penelitian	29
30	3.4 Keterangan Diagram Alir Penelitian	
31	3.5 Studi Kasus	31
31	3.6 Variasi Sarang Lebah	31
32	3.7 Tahap Menggambar Spesimen Polygon Sarang Lebah	
	3.7.1 Tahap Menggambar Polygon Sarang Lebah	32
	3.7.2 Tahap Pemotongan Sarang Lebah	
32	3.7.3 Tahap Menggambar Plat Sarang Lebah	
32	3.7.4 Tahap Assembly Part	
33	3.8 Tahap Menggunakan Ansys Static Structural Pada	

	S arang L ebah	
33		
	3.8.1 Tahap Awal Pada Ansys Workbench	15
33		
	3.8.2 Menentukan Analisis System	
34		
	3.8.3 Engineering Data	34
	3.8.4 Menentukan Geometry	35
	3.8.5 Tahap Menampilkan Specimen Ke Model	
36		
	3.8.6 Tahap Pada Meshing	
37		
	3.8.7 Tahap Force Dan Fixed Support S arang L ebah	
Ansys		
	Static Struktural	38
	3.8.8 Pemberian Pengujian Yang Sudah Ditentukan	
39		
	Tahap Menggunakan Ansys Explicit Dynamics Pada	
	S arang L ebah	
39		
	3.9.1 tahap awal pada explicit dynamics ansys	
	workbench	39

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

42		
	4.1 Hasil Gambar S arang L ebah	
42		
	4.1.1 Hasil Gambar Case S arang L ebah Sesuai	
Geometri		42
	4.1.2 Konsep Uji Static S arang L ebah	
43		
	4.2 Hasil Pembahasan Simulasi Static Struktural	
		44
	4.2.1 Hasil Pembahasan Total Deformation Dengan	
	Sudut 45 ⁰	44
	4.2.2 Hasil Grafik Total Deformation Pada S arang	
	L ebah	
	2 mm, 4 mm, Dan 6 mm	46
	4.2.3 Hasil Pembahasan Equivalen Stress Static	
Struktural		47
	4.2.4 Hasil Grafik Dari Simulasi Equivalen Stress Pada	
	S arang L ebah 2 mm, 4 mm, Dan 6 mm	
		49
	4.2.5 Hasil Pembahasan Total Deformation Dengan	
	Sudut 60 ⁰	50
	4.2.6 Hasil Grafik Dari Simulasi Total Deformation	

Pada		Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm	51
Struktural	4.2.7	Hasil Pembahasan Ekuivalen Stress Static	52
	4.2.8	Hasil Grafik Dari Simulasi Ekuivalen Stress Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm	54
	4.2.9	Hasil Pembahasan Total Deformation Dengan Sudut 90°	54
	4.2.10	Hasil Grafik Dari Simulasi Total Deformation Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm	56
Struktural	4.2.11	Hasil Pembahasan Ekuivalen Stress Static	57
	4.2.12	Hasil Grafik Dari Simulasi Ekuivalen Stress Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm	59
4.3		Hasil Pembahasan Simulasi Explicit (Dinamis)	60
60	4.3.1	Grafik Setting Waktu	60
60	4.3.2	Hasil Pembahasan Total Deformation Dengan Sudut 45°	60
	4.3.3	Hasil Grafik Dari Simulasi Total Deformation Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm	64
	4.3.4	Hasil Pembahasan Tegangan Ekuivalen Stress Explicit (Dinamis)	64
	4.3.5	Hasil Grafik Dari Simulasi Ekuivalen Stress Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm	68
	4.3.6	Hasil Pembahasan Total Deformation Dengan Sudut 60°	68
	4.3.7	Hasil Grafik Dari Simulasi Total Deformation Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm	72
72	4.3.8	Hasil Pembahasan Tegangan Ekuivalen Stress	72
	4.3.9	Hasil Grafik Dari Simulasi Ekuivalen Stress Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm	76
	4.3.10	Hasil Pembahasan Total Deformation Dengan Sudut 90°	76
	4.3.11	Hasil Grafik Dari Simulasi Total Deformation Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm	80
	4.4.12	Hasil Pembahasan Tegangan Ekuivalen Stress	

80		
	4.4.13	Hasil Grafik Dari Simulasi Ekuivalen Stress Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm
		84
84	4.4	Kekuatan Lentur Terhadap Uji Statis Dan Uji Dinamis
84	4.4.1	Kekuatan Lenturan Terhadap Total Deformation
	4.4.2	Hasil Grafik Kelendutan Dari Uji Statik Dan Uji Dinamis Dengan Sudut 45 ⁰
		87
	4.4.3	Hasil Grafik Kelendutan Dari Uji Statik Dan Uji Dinamis Dengan Sudut 60 ⁰
		88
	4.4.4	Hasil Grafik Kelendutan Dari Uji Statik Dan Uji Dinamis Dengan Sudut 90 ⁰
		88
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN		
90		
	5.1	Kesimpulan
		90
	5.2	Saran
		90
DAFTAR PUSTAKA		
Daftar Riwayat Hidup		

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Timeline Kegiatan	26
Tabel 3.2:	Sudi Kasus Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm	
	31	
Tabel 3.3:	Perbedaan Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm	
	31	
Tabel 4.1	Settingan Waktu	60
Tabel 4.2:	Hasil Tabular Data Sarang Lebah 2 mm	
	61	
Tabel 4.3:	Hasil Tabular Data Sarang Lebah 4 mm	
	62	
Tabel 4.4:	Hasil Tabulet Data Sarang Lebah 6 mm	
	63	

Tabel 4.5:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 2 mm	65
Tabel 4.6:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 4 mm	66
Tabel 4.7:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 6 mm	67
Tabel 4.8:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 2 mm	69
Tabel 4.9:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 4 mm	70
Tabel 4.10:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 6 mm	71
Tabel 4.11:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 2 mm	73
Tabel 4.12:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 4 mm	74
Tabel 4.13:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 6 mm	75
Tabel 4.14:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 2 mm	77
Tabel 4.15:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 4 mm	78
Tabel 4.16:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 6 mm	79
Tabel 4.17:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 2 mm	81
Tabel 4.18:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 4 mm	82
Tabel 4.19:	Hasil Tabular D ata Sarang Lebah 6 mm	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Tandan S truktur S arang L ebah	
7	
Gambar 2.2: S ebuah S pecimen A luminium S arang L ebah	
8	
G amabr 2.3: S truktue K opmposit S andwich	10
Gambar 2.4: S truktur S andwich S arang L ebah D i Alam	
12	
Gambar 2.5: Model S imulasi N umeric	14
Gambar 2.6: S arang L ebah S el B erbentuk	
15	
Gambar 2.7: S truktur S el H exagonal P ada M aterial S arang L ebah	
15	
Gambar 2.8: B lok K antiliver Y ang F leksibel M engalami Gaya Y ang Tidak M engikuti (F)	
18	
Gambar 2.9: S ebuah S cematic Y ang M enggambar Kan S arang L ebah Hexagonal D an S el S atunnya	
18	
Gambar 2.10: M atrik	
24	
Gambar 2.11: K onsep M etode E lemen H ingga	
25	
Gambar 3.1: T ampilan A wal A nsys S tatic S tructural	
33	
G amabr 3.2: J endela Kerja <i>S tatic S tructural</i>	
34	
Gambar 3.3: <i>O utline O f General Materials</i>	
35	
Gambar 3.4: P ropertis M aterial	35
Gambar 3.5: Memilih <i>Geometry</i>	
36	
G amabr 3.6: G eometry S elesai D iimpor	
36	
Gambar 3.7: Model	
37	
Gambar 3.8: Meshing A nsys P ada S tatic S truktural	

37

Gambar 3.9: Meshing Ansys Pada Explicit Dynamics

38

Gambar 3.10: Force dan Fixed Support Pada Sarang Lebah

38

Gambar 3.11: Velocity dan Fixed Support Pada Sarang Lebah

39

Gambar 4.1: Hasil Gambar Sarang Lebah 2 mm

42

Gambar 4.2: Hasil Gambar Sarang Lebah 4 mm

42

Gambar 4.3: Hasil Gambar Sarang Lebah 6 mm

42

Gambar 4.4: Konsep Uji Stic Sarang Lebah

43

Gambar 4.5: Hasil Contoh Pengujian Pada Stic Struktural

43

Gambar 4.6: Hasil Contoh Pengujian Pada Explicit Dynamics

44

Gambar 4.7: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 2 mm

45

Gambar 4.8: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 4 mm

45

Gambar 4.9: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 6 mm

46

Gambar 4.10: Grafik Simulasi Total Deformation

46

Gambar 4.11: Hasil Dari Simulasi Equivalen Stress Sarang Lebah 2 mm

47

Gambar 4.12: Hasil Dari Simulasi Equivalen Stress Sarang Lebah 4 mm

48

Gambar 4.13: Hasil Dari Simulasi Equivalen Stress Sarang Lebah 6 mm

48

Gambar 4.14: Grafik Simulasi Equivalen Stress

49

Gambar 4.15: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 2 mm

50

Gambar 4.16: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 4 mm

50

Gambar 4.17: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 6 mm

51

Gambar 4.18: Grafik Simulasi Total Deformation

51

Gambar 4.19: Hasil Dari Simulasi Equivalen Stress Sarang Lebah 2 mm

52

Gambar 4.20: Hasil Dari Simulasi Equivalen Stress Sarang

Lebah 4 mm	53	
Gambar 4.21:		Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang
Lebah 6 mm	53	
Gambar 4.22:		Grafik Simulasi Ekuivalen Stress
	54	
Gambar 4.23:		Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 2
mm	55	
Gambar 4.24:		Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 4
mm	55	
Gambar 4.25:		Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 6
mm	56	
Gambar 4.26:		Grafik Simulasi Total Deformation
	56	
Gambar 4.27:		Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang
Lebah 2 mm	57	
Gambar 4.28:		Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang
Lebah 4 mm	58	
Gambar 4.29:		Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang
Lebah 6 mm	58	
Gambar 4.30:		Grafik Simulasi Ekuivalen Stress
	59	
Gambar 4.31:		Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 2 mm
	61	
Gambar 4.32:		Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 4
mm	62	
Gambar 4.33:		Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 6
mm	63	
Gambar 4.34:		Grafik Simulasi Total Deformation
	64	
Gambar 4.35:		Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang
Lebah 2 mm	65	
Gambar 4.36:		Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang
Lebah 4 mm	66	
Gambar 4.37:		Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang
Lebah 6 mm	67	
Gambar 4.38:		Grafik Simulasi Ekuivalen Stress
	68	
Gambar 4.39:		Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 2
mm	69	
Gambar 4.40:		Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 4
mm	70	
Gambar 4.41:		Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 6
mm	71	
Gambar 4.42:		Grafik Simulasi Total Deformation
	72	
Gambar 4.43:		Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang

Lebah 2 mm	73
Gambar 4.44:	Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang
Lebah 4 mm	74
Gambar 4.45:	Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang
Lebah 6 mm	75
Gambar 4.46:	Grafik Simulasi Ekuivalen Stress
	76
Gambar 4.47:	Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 2
mm	77
Gambar 4.48:	Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 4
mm	78
Gambar 4.49:	Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 6
mm	79
Gambar 4.50:	Grafik Simulasi Total Deformation
	80
Gambar 4.51:	Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang Lebah 2
mm	81
Gambar 4.52:	Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang
Lebah 4 mm	82
Gambar 4.53:	Hasil Dari Simulasi Ekuivalen Stress Sarang
Lebah 6 mm	83
Gambar 4.54:	Grafik Simulasi Ekuivalen Stress
	84
Gambar 4.55:	Hasil Grafik Dari Kelendutan Uji Statik Dan Uji
Dinamis	87
Gambar 4.56:	Hasil Grafik Dari Kelendutan Uji Statik Dan Uji
Dinamis	88
Gambar 4.57:	Hasil Grafik Dari Kelendutan Uji Statik Dan Uji
Dinamis	88

DAFTAR NOTASI

S imbol	keterangan
ε eng	E gineri ng S train
$\Delta \tau$	P erubahan P anjang
τ_0	P anjang A wal
τ	P anjang S etelah D i B eri Gaya
σ	R egangan / $\Delta \tau / \tau$ (T anpa S udut)
s	T egangan G eser, kg/cm^2
E	M odulus Y oung, kg/cm^2
ΔL	P ertambahan 0 P anjang
σ_b	T egangan B ending
F	F orce (G aya)
b	L ebar
d	T inggi

PENDAHULUAN

11 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang konstruksi manufaktur yang semakin maju pada masa sekarang ini sangat berperan penting dalam menciptakan suatu bahan yang memiliki sifat yang lebih tangguh dari pada bentuk asalnya. Sarang lebah aluminium telah menarik banyak perhatian sebagai bahan seluler khas karena energi mekaniknya yang sangat bagus, lebih ringan dan lebih kuat. Dengan latar belakang itulah saya diharuskan mempunyai kemampuan untuk dapat memahami ilmu tentang bahan aluminium.

Alumunium dan paduan alumunium termasuk logam ringan yang mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Logam paling ringan
2. Tahan korosi
3. Lunak, dan ulet.

Pada jenis bahan komposit struktur dalam komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit yang sangat potensial untuk dikembangkan, selain memiliki ciri khas dalam kekuatannya, komposit struktur berjenis komposit *sandwich* mempunyai ciri khas tertentu dalam kebutuhan penggunaannya. *Honeycomb* atau sarang lebah memiliki kekuatan lebih baik dalam menerima beban secara konstan dan stabil, dan dalam penelitian ini *core* yang digunakan bermaterial

aluminium yang berbentuk struktur sarang lebah.

Berikut ini adalah struktur sarang lebah (*honeycomb*) ini adalah berbentuk hexagonal dan berongga di tengahnya, dengan didesain seperti ini menyebabkan struktur menjadi lebih ringan dan memiliki kekuatan yang lebih baik. Pada struktur sarang lebah ini kita dapat membuat suatu lapisan komposit *sandwich*. Komposit *sandwich* adalah jenis komposit yang dibuat secara berlapis yang terdiri dari 2 *face* (lapisan terluar), *adhesive* (pengikat), dan *core* (inti). *Face* pada struktur komposit *sandwich*, juga terbuat dari material aluminium yang berfungsi sebagai penahan beban dari uji impact. Untuk menciptakan suatu komposit *sandwich* dengan sifat mekanik dengan ketahanan yang baik, selain diperlukan *face* yang kuat dan *core* yang kuat, juga diperlukan suatu *adhesive* yang tepat sehingga dapat menciptakan ikatan yang kuat antara *face* dan *core*, serta menjadi penerus beban yang baik dari *face* menuju *core*. Teknologi konstruksi *sandwich* ini telah banyak diterapkan di industri pesawat terbang, transportasi, furniture, daun pintu, dan lain-lainnya.

Memilih 3 geometri pada struktur sarang lebah, memodelkan 3 geometri dengan variasi ketebalan dan membangun 3 model FEM (Finite Element Method) sarang lebah dengan menggunakan *software Catia* dan menganalisa uji tekan dengan variasi laju pembebanan ketebalannya dan mengevaluasi kekuatan pada sarang lebah dengan variasi ketebalan menggunakan *software Ansys*.

Maka penulis tertarik untuk mengadakan penelitian sebagai

tugas sarjana dengan judul: **Analisa. Numerik Terhadap Kekuatan Lentur Pada Struktur Sarang Lebah dengan/ Variasi Laju Pembebanan.**

12 Rumusan Masalah

- a. Bagaimanakah analisa *numeric* terhadap kekuatan lentur pada struktur sarang lebah dengan variasi laju pembebanan?
- b. Bagaimanakah menguji 3 geometri dan 3 sudut dengan menggunakan *software finite element*(ANSYS)?

13 Batasan Masalah

Karena luasnya jangkauan permasalahan dalam pengujian material specimen sarang lebah dengan variasi ketebalan maka perlu adanya pembatasan masalahn, adapun batasan masalah dari penelitian ini antara lain:

1. Untuk mengetahui analisa *numeric* terhadap kekuatan lentur pada struktur sarang lebah dengan variasi laju pembebanan.
2. Untuk menganalisa 3 geometri dan 3 sudut dengan variasi ketebalan menggunakan *software finite element*(ANSYS).

14 Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk memilih 3 geometri pada struktur sarang lebah yang

akan dianalisa.

2. Untuk menggambar 3 geometri dengan variasi ketebalan menggunakan *software catia*.
3. Untuk menganalisa 3 geometri dan 3 sudut dengan variasi ketebalan menggunakan *software finite element (ANSYS)*.
4. Untuk mengevaluasi kekuatan tekan dengan variasi laju pembebanan.

15 Manfaat penelitian

15.1 Manfaat Teoritis

1. Sebagai penambah pengetahuan bagi penulis dan pembaca tentang simulasi sarang lebah secara laju pembebanan dengan menggunakan *software ANSYS*.
2. sebagai bahan perbandingan simulasi sarang lebah terhadap 3 geometri dan 3 sudut *impact*.

15.2 Manfaat Praktis

1. Mengetahui nilai-nilai evaluasi struktur – struktur sarang lebah sehingga dapat hasil yang akurat.
2. Dapat mendesain sarang lebah dengan menggunakan *software catia*, yang nantinya akan diuji di *software ANSYS*.
3. Mengetahui kekuatan sarang lebah setelah diuji dengan *software ANSYS*.

16 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan teori singkat dari penelitian,

BAB 3 METODE LOGI PENELITIAN

Berisikan tentang alat-alat dan bahan serta tahapan pengerjaan yang dilakukan.

BAB 4 ANALISA DATA

Berisikan data dan analisa pada penelitian.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN,

Berisikan secara garis besar hasil penelitian dan saran.

BAB 2

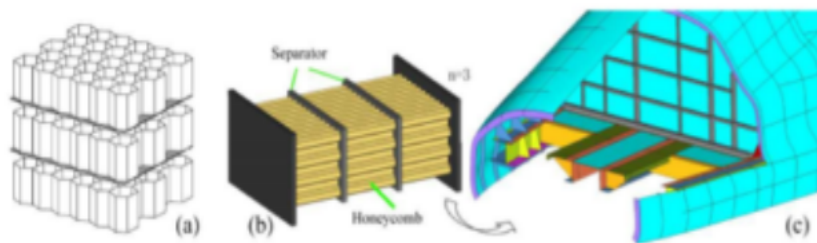
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hexagonal *Honeycomb*

Menurut Qiu Keping, dkk *hexagonal honeycomb* adalah bahan seluler yang banyak diaplikasikan di berbagai bidang, terutama untuk struktur pesawat ringan. Penerapan bahan sarang lebah heksagonal fleksibel. Untuk morphing pesawat terbang, yang perkembangannya telah menjadi perhatian utama dalam beberapa tahun terakhir, sangat relevan, karena kepadatan rendah dan rendah di pesawat dan tinggi *out-of*-pesawat kekakuan. Teknologi morphing akan memungkinkan pesawat untuk mengoperasikan dengan efisien di bawah berbagai kondisi penerbangan yang bervariasi. (Qiu Keping, dkk 2016)

Tandem struktur sarang lebah yang berhubungan menurut Zhonggang Wang dkk pada penelitiannya yang berjudul "*Mechanical behavior of composited structure filled with tandem honeycombs*", perilaku mekanik struktur komposit diisi dengan tandem sarang lebah (terjemahan) menyatakan bahwa yang biasanya digabungkan oleh n segmen. Antara masing-masing segmen, ada pemisah, Tidak hanya digunakan untuk membedakan segmen satu sama lain tapi juga untuk mengantarkan interaksi diantaranya. Gambar 2.1(a) ~ (b) menunjukkan tandem khas di bawah ($n = 3$). Tentu saja, untuk struktur ringan, pemisah umumnya terbuat dari aluminium atau bahan ultra ringan

lainnya. Untuk mempelajari struktur sarang lebah, simulasi numerik dengan detail kecil yang lengkap Shell skala atau balok menjadi metodologi yang populer dan andal. Mengembangkan dan mempelajari kinerja tinggi dan baru Perangkat penyerapan energi ringan adalah topik hangat, terutama untuk rekayasa keselamatan. Tandem struktur sarang lebah telah dipandang sebagai energi yang sangat potensial Perangkat penyerapan Tampaknya sangat penting untuk memiliki tekad yang luas Perilaku mekanis dan karakterisasi penyerapan energi sehingga untuk meramalkan dan melebar penerapan struktur komposit semacam itu. Tidak masuk akal untuk langsung menggunakan tandem *honeycomb* sebagai penyerap energi.

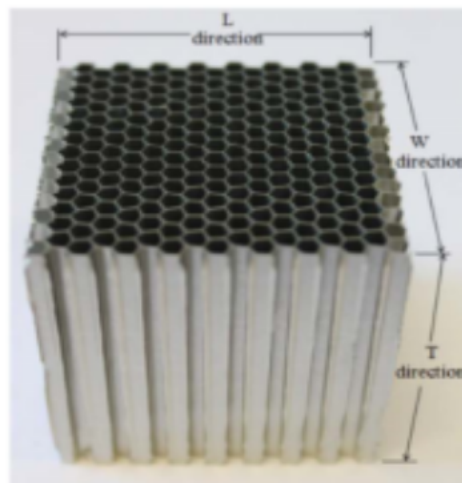


Gambar 2.1 Tandem Struktur Sarang Lebah dan Penerapannya: (a) Skema; (B) Penisi; (C) Kepala Kereta.

(Zhonggang Wang, Jiefu Liu, Zhaijun Lu, David Hui : 2017)

Penelitian lainnya difokuskan untuk respon penghancuran tabung aluminium persegi diisi dengan busa poliuretan dan sarang lebah aluminium. Rafea Dakhil Hussein dan Dong Ruan menemukan bahwa struktur berdinding tipis telah banyak digunakan pada aplikasi semacam itu sebagai *aerospace* dan transportasi. Misalnya, salah satu yang paling bagian struktural yang penting dalam kendaraan adalah

zona *crumple* yang ada biasanya terbuat dari tabung logam berdinding tipis. Struktur berdinding tipis ini lebih disukai di kendaraan karena sangat bagus dan sangat stabil dikenai beban tekan aksial. Sarang lebah aluminium adalah multi-seluler berdinding tipis struktur dengan kekuatan tinggi terhadap rasio berat. Kelalaian sarang lebah metalik telah banyak diteliti. Wierzbicki berasal dari model teoritis untuk memprediksi perilaku yang menghancurkan dan Panjang gelombang lipat dari sarang lebah logam heksagonal dikenakan aksial. Dengan dampak Ia menemukan bahwa kekuatan aksial menghancurkan sarang lebah Tergantung pada tebal dinding sarang lebah ke rasio sisi panjang (t/l) dan tegangan luluh dari logam. (H, R afea D akhil, R uana, D .: 20 17)



Gambar 2.2: Sebuah spesimen Aluminium Sarang Lebah

2.2 Komposit *Sandwich*

Keuntungan utama dari setiap jenis material komposit adalah kemungkinan menyesuaikan sifat mereka menurut aplikasi. Keuntungan

yang sama juga berlaku untuk komposit sandwich. Pilihan tepat untuk *skin* dan *core* membuat *sandwich* komposit adaptif untuk sejumlah besar aplikasi dan kondisi lingkungan. Beberapa karakteristik umum komposit *sandwich* dijelaskan sebagai berikut:

1. **Kepadatan rendah:** Pilihan *core* yang ringan atau struktur diperluas dari bahan *high density* menurunkan densitas keseluruhan dari komposit *sandwich*. Volume *core* jauh lebih tinggi pada komposit *sandwich* dibandingkan dengan volume *skin* sehingga setiap penurunan kepadatan bahan *core* memiliki dampak yang signifikan terhadap kepadatan *sandwich* keseluruhan.
2. **Kekakuan bending:** Properti ini berasal dari bagian *skin sandwich*. Akibat kekakuan spesifik komposit *sandwich* yang lebih tinggi menghasilkan deformasi lateral yang lebih rendah, ketahanan *buckling* yang lebih tinggi dan frekuensi alami lebih tinggi dibandingkan dengan struktur lainnya.
3. **Kerusakan toleransi:** Penggunaan atau bahan busa fleksibel sebagai *core* membuat bahan *sandwich* sangat merusak struktur toleransi. Untuk alasan ini *core* busa atau bahan *sandwich core* menjadi bahan populer dalam aplikasi kemasan.

2.2.1 Struktur Komposit *Sandwich*

a. Kulit (skin)

Berbagai macam bahan yang tersedia untuk digunakan sebagai

skin. Lembaran logam seperti aluminium, titanium dan baja dan plastik yang diperkuat serat adalah beberapa contoh umum dari bahan *skin*. *Skin* diperkuat serat, sifat bahan dapat dikontrol secara terarah dalam rangka untuk menyesuaikan properti dari komposit *sandwich*. Polimer diperkuat serat digunakan secara luas sebagai *skin* karena kepadatan rendah dan kekuatan spesifik yang tinggi. Keuntungan lain yang ditawarkan oleh penggunaan komposit polimer dalam *skin* adalah bahwa polimer dapat digunakan untuk membuat *skin* dan *core*. *Cross-linking* polimer antara *core* dan *skin* akan menyediakan *adhesi* tingkat kekuatan yang sama dengan kekuatan polimer. Ini memberikan kemungkinan untuk membuat *skin* bagian integral dari struktur menghilangkan kebutuhan perekat. Ketika perekat digunakan untuk obligasi *skin* dan *core* bersama - sama, pemilihan perekat menjadi sangat penting, karena mereka harus kompatibel dengan *skin* dan bahan- bahan *core*. *Adhesi* harus memiliki tingkat kekuatan yang diinginkan dan harus tetap tidak terpengaruh oleh lingkungan kerja.

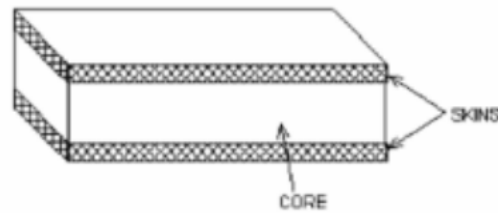
b. Inti (Core)

Bahan inti yang populer dapat dibagi menjadi tiga kelas sebagai berikut:

1. *Low density* bahan padat: Busa sel terbuka dan tertutup terstruktur, dan jenis-jenis kayu.

2. *Expanded high - density* Bahan dalam bentuk seluler: madu, inti *web*.

3. *Expanded high - density* Bahan dalam bentuk bergelombang: lembaran bergelombang, seperti kertas kardus dan lain-lain. Bahan densitas tinggi yang digunakan untuk tujuan pembuatan *core* diperluas mencakup aluminium, titanium dan berbagai polimer.



Gambar 2.3: Struktur Komposit *Sandwich*

Struktur bahan *core* mempengaruhi bidang kontak permukaan antara *skin* dan *core*. Bahan *Expanded* kepadatan tinggi biasanya memberikan bidang kontak jauh lebih kecil dibandingkan dengan material padat kepadatan rendah. Pilihan struktur yang sesuai untuk *core* memberikan parameter tambahan untuk merancang sebuah komposit *sandwich* sesuai spesifikasi yang diberikan atau kondisi layanan.

Penggunaan *core* seperti busa sel tertutup terstruktur memberikan beberapa keuntungan yang berbeda atas busa sel terbuka terstruktur dan *core*. Kekuatan tekan spesifik busa sel dekat terstruktur jauh lebih tinggi. Mereka juga menyerap kelembaban kurang dari busa sel terbuka terstruktur. (Achmad Zainuri : 2011).

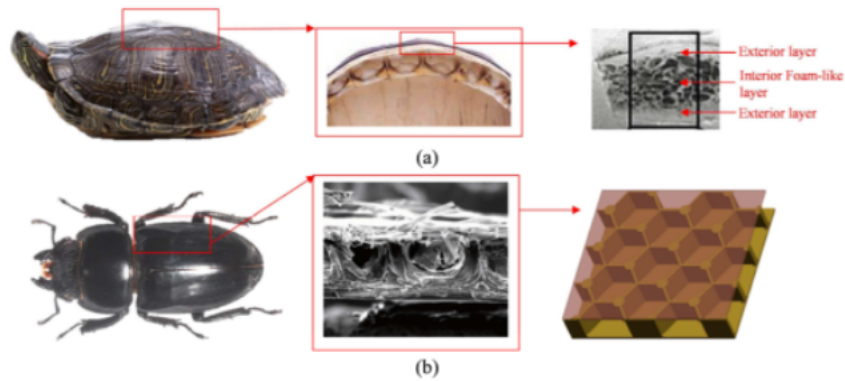
2.3 Sarang Lebah Aluminium

Untuk konfigurasi *sandwich* terinspirasi bio, sarang lebah

aluminium menandakan sebuah yang menjanjikan dari bahan inti ringan meskipun sarang lebah aluminium bisa digabungkan dengan bahan panel yang berbeda secara hipotetis, sebagian besar penelitian yang ada berfokus pada lembaran aluminium untuk kelancaran dalam penelitian. Misalnya, *Goldsmith* dan Sackman menentukan disipasi energi dan karakteristik transmisi tenaga dari aluminium *Sandwich* sarang lebah dengan pelat muka aluminium untuk pemuatan dinamis. P a i k d k k. mengevaluasi kekuatan panel *sandwich* aluminium dengan inti sarang lebah aluminium di Indonesia bending tiga titik kuasi statis, kompresi aksial dan beban penghancuran lateral; dan mereka mengidentifikasi bahwa peningkatan ketebalan inti menunda inisiasi deformasi plastis, menawarkan peningkatan substansial dalam kekuatan akhir dan menghancurkan. C r u p i d k k. menganalisis respon kecelakaan statis dan kecepatan rendah dari dua struktur sandwich wajah sarang lebah aluminium dengan ukuran sel berbeda. Mereka membandingkan respon dampak statis dan kecepatan rendah *sandwich* aluminium *foam* dan sarang lebah. D a n mengungkapkan bahwa jatuhnya sarang lebah *Sandwich* sangat dipengaruhi oleh ukuran sel dalam tes dampak kecepatan rendah. (C r u p i, V : 20 13).

S arang lebah aluminium telah menarik banyak perhatian sebagai bahan seluler khas karena energi mekaniknya yang sangat bagus penyerapan dan rasio kekuatan spesifik terhadap berat. W u dan J i a n g mempelajari tanggapan dari enam jenis sarang lebah aluminium

menyisir struktur seluler di bawah aksial kuasi -statis dan benturan pemuatan. Dan menggambarkan rincian mode kegagalan aluminium sarang madu (Yinghan Wu, E., Jiang WS :2017).



Gambar 2.4: Struktur sandwich sarang Lebah Di Alam: (a) Kulit Kura-Kura Dan (b) Kumbang

Hong menyelidiki pengaruh geser tegas pada perilaku semaksimal quasi-*static* dari sarang lebah aluminium spesimen di bawah kompresi beban gabungan yang dominan, dan menunjukkan bahwa tingkat penyerapan energi bergantung pada rasio dari tegangan geser ke tegangan tekan dan *in-plane* sudut orientasi (Hong ST: 2006). Zhang mempelajari pengaruh sel nomor dan sudut tengah sarang lebah aluminium pada resistansi penghancuran pesawat keluar dari struktur, dan pemindahan beban kurva menunjukkan kecenderungan yang sama. Wang dilakukan Percobaan komprehensif pada tandem heksagonal *honeycomb* struktur dikenakan kompresi aksial, dan menemukan bahwa pengisian tandem sarang lebah ke

dalam tabung multi sel ternyata meningkatkan perilaku mekanis (Zhang X : 2014).

Untuk peredam partikel, efek redaman diperkirakan timbul melalui gesekan dan benturan yang terjadi antara partikel selama getaran dalam beberapa penelitian, efisiensi peredam partikel telah ditunjukkan untuk beberapa aplikasi spesifik. Bajkowski dkk. mengisi balok dengan partikel dengan berbagai bentuk dan menunjukkan bahwa partikel *edgy* lebih disukai bila dibutuhkan redaman tingkat tinggi. Peredam partikel juga telah diselidiki secara numerik, di mana *metode elemen* diskrit. Namun, jumlah aplikasi dunia nyata di mana peredam partikel telah terjadi digunakan secara signifikan lebih rendah. Salah satu contoh penerapan peredam berbasis partikel. (Koch, S. : 2017)

2.4 Kekuatan Lentur

Inti dari struktur *Honeycomb Sandwich* ini dan material lapisan yang memiliki sifat mekanik yang baik dapat menghasilkan peningkatan material terhadap kekuatan lentur. 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.

Menurut Dr. Brent Strong dari Brigham Young University, kekuatan lentur (bending stiffness) sebanding dengan ketebalan core.

Dengan menggandakan ketebalan *core* menghasilkan panel 6 kali dan 12 kali lebih kaku dengan peningkatan sedikit berat pada panel komposit.

Core juga membantu mendistribusikan beban dan tekanan pada kulit sehingga *sandwich* komposit merupakan desain yang sangat baik untuk menyerap tekanan.

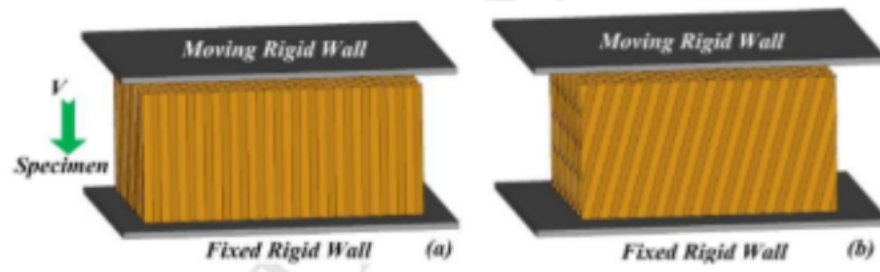
2.5 Simulasi Numerik

2.5.1 Model elemen hingga

Untuk semua sarang lebah heksagonal yang miring, mereka terhubung dengan B reetschko – T say - 4 node. Ukuran mesh masing-masing model elemen hingga dirancang sebesar 0,15 mm setelah studi konvergensi. Spesimen dalam simulasi numerik juga dibagi struktur sarang lebah monolitik dengan jenis sudut kemiringan yang diharapkan. Perbedaan antara model elemen hingga dan eksperimen hanya terletak pada geometris. Tegangan tinggi dinamika dataran tinggi *out-of-plane* nilai menjadi stabil bila jumlah sel tidak kurang dari 8×9 .

Sifat mekanik bahan foil adalah sebagai berikut, kerapatan 2680 kg / m³, Modul Young 69.3 GPa, rasio Poisson 0,33 tegangan hasil 215 MPa. Bahan foil diperlakukan sebagai konstitusi plastik elastis yang ideal model. Spesimen ditempatkan pada pelat kaku statis sebagai batas dan dilumatkan oleh Pelat kaku bergerak lainnya pada 10

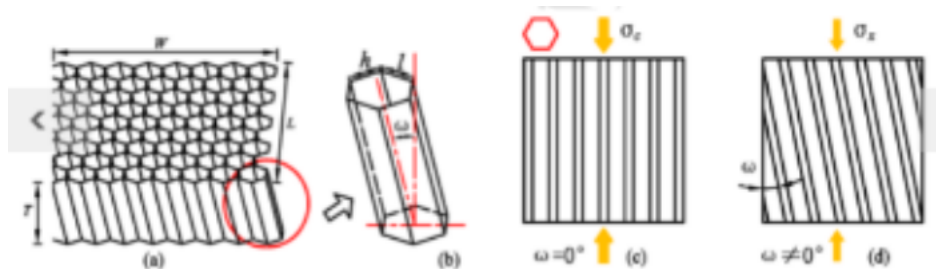
m/s, seperti ditunjukkan pada Gambar 6 (a).



Gambar 2.5: Model Simulasi Numerik: (a) Normal; (b) Cenderung.

Sel condong dengan ω untuk setiap inti sarang lebah Blok, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (d). Oleh karena itu, model elemen hingga numerik yang sesuai dibangun dengan sel miring, seperti ditunjukkan pada Gambar 5 (b).

(Zhong dan Wang, 2016)

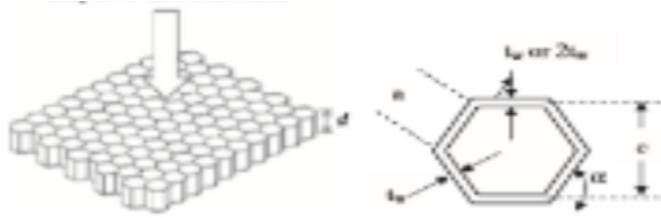


Gambar 2.6: Sarang Lebah Sel Berbentuk: (A) Spesimen; (B) Sel; (C) Normal; (D) Cenderung Sel.

2.6 Respon Bahan Sarang Lebah Untuk Rotasi Dampak

Bahan sarang lebah adalah struktur seluler yang bisa masuk berbagai pola. Salah satu jenis yang paling populer adalah heksagonal. Sarang lebah dengan dinding heksagonal biasa atau dindingnya tidak teratur.

Tujuan Rotasi Dampak



(a) Struktur Sarang Lebah

(b) Geometri Dari Sel Tunggal

Gambar 2.7: Struktur Sel Heksagonal Pada Material Sarang Lebah

Menurut penelitian pada Vincent Caccese yang berjudul "Optimal design of honeycomb material used to mitigate head impact" (Desain optimal bahan sarang lebah digunakan untuk mengurangi dampak *head*. Terjemahan). Saat dibuat dengan menggunakan proses seperti pencetakan, dinding sel biasanya dibuat dengan ketebalan seragam geometri dari sarang lebah biasa adalah dengan ukuran sel rata-rata, c , yang merupakan jarak rata-rata dari dinding ke dinding, jarak kaki rata-rata dinding sel, dinding sel dengan ketebalan, t , dan kedalaman keseluruhan, d . Metode fabrikasi lainnya adalah sebuah proses lipat bergelombang dimana setengah dari pola sarang lebah ditekan menjadi pita atau sepiring material. Pita yang berdekatan adalah ditempatkan dan dinding disatukan dengan cara yang tepat untuk bahan yang dibuat. Proses ini menghasilkan $2/6$ dari dindingnya ketebalan $2t$. (Vincent Caccese, dkk 2013)

2.7 Sifat Sarang Lebah yang Efektif

Pendekatan orde pertama untuk modulasi kuat modulus sarang lebah bisa diperkirakan berdasarkan padatan Modulus bahan dinding sel, E_s , dengan menggunakan hukum campuran. Relasi ini dapat

dinyatakan dalam bentuk rasio padat, SR , yang ditemukan sebagai daerah bahan padat, A_s , dilapisi oleh perimeter sel satuan dibagi dengan luas rata-rata, A_m , tertutup oleh sel. Untuk sebuah Sarang lebah berbentuk heksagonal biasa dengan dinding sel yang sama Ketebalan, luas bahan padat, A_s , dan daerah rata-rata A_m , Dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$A_s = 3 \cdot a \cdot t_w - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot t_w^2 \quad (2.1)$$

$$A_m = \frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot a^2 \quad (2.2)$$

Untuk heksagonal biasa dengan dinding yang sama, rasio padat, SR , bisa kemudian dinyatakan sebagai rasio A_s to A_m dalam hal rasio t_w / a .

$$SR = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{t_w}{a} - \frac{1}{9} \left(\frac{t_w}{a} \right)^2 \quad (2.3)$$

Modulus efektif sarang lebah bisa diekspresikan hukum campuran dalam hal rasio padat dan modulus bahan padat seperti:

$$E_h = SRE_s \quad (2.4)$$

Untuk kasus heksagon biasa dengan dinding ketebalan yang sama tipis dimana istilah kedua di Pers. (4) dapat terbengkalai. Ekspresi D dilaporkan oleh *Fan et al.* untuk kasus ini maka hasilnya dimana:

$$\frac{E_h}{E_s} = 1.155 \frac{t_w}{a} \quad (2.5)$$

kasus struktur *heks* biasa dengan sepertiga dinding sama dengan 2t daerah padat menjadi:

$$A_s = 4 \cdot a \cdot t_w - \frac{(2 + \sqrt{3})}{3} \cdot t_w^2 \quad (2.6)$$

Rasio padat menjadi:

$$SR = \frac{8 \cdot \sqrt{3}}{9} \cdot \frac{t_w}{a} - \frac{(4 \cdot \sqrt{3} + 6)}{27} \cdot \left(\frac{t_w}{a}\right)^2 \quad (2.7)$$

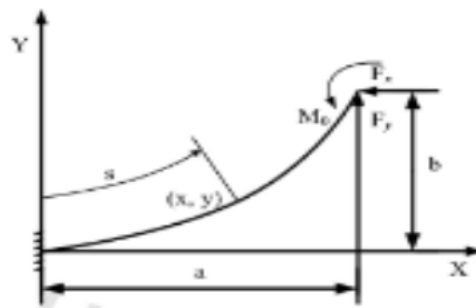
Jika bentuk *hexagonal* sedemikian rupa sehingga dua dari enam dinding tebal dua kali dan dindingnya tipis dibandingkan dengan ukuran sel maka Persamaan (8) hasil dimana:

$$\frac{E_h}{E_s} = 1.140 \cdot \frac{t_w}{a} \quad (2.8)$$

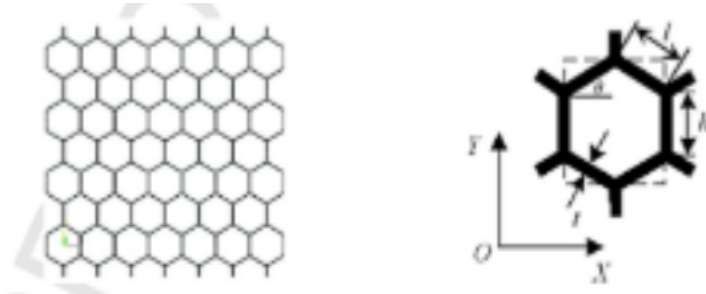
(Vincent Caccese, dkk 2013)

2.8 Model Ekuivalensi Berdasarkan Geometri Nonlinier

Gambar. 2.9 menunjukkan sel satuan (di sebelah kanan) sarang lebah heksagonal (di kiri). Parameter sel satuan adalah panjang l , tinggi h , gambar. 2.8 B alok kantilever yang fleksibel dikenakan gaya non - berikut F . gambar. 2.9 Sebuah skematis yang menggambarkan heksagonal *honeycomb* dan sel satuannya.



Gambar 2.8: Balok K antilever yang fleksibel mengalami gaya yang tidak mengikuti (F)



Gambar 2.9: Sebuah skematis yang menggambarkan struktur lebah heksagonal dan sel-selnya

Sudut sarang lebah θ , ketebalan dinding sel t , dan kedalaman b . Sementara pada tegangan pesawat diterapkan pada struktur heksagonal *honeycomb*, rute utama deformasi dinding sel adalah lentur dan besar deformasi. Dengan demikian, dinding sel diperlakukan sebagai balok yang fleksibel model mikromekanis yang digunakan untuk analisis kesetaraan dua dimensi siku heksagonal fleksibel.

Parameter sel satuan sarang lebah aluminium (dari Gambar 2.9).

Nilai parameter

Panjang (l)	4,619 mm
Tinggi (h)	4,619 mm
Sudut <i>honeycomb</i> (θ)	30°
Tebal (t)	0,25 mm
Kedalaman (b)	10 mm

Akumulasi oleh karena itu, perubahan sifat mekanik yang efektif dengan langkah waktu yang progresif. *Dai et al.* menentukan bahwa

metode untuk mendapatkan sifat mekanik efektif berdasarkan teori lapangan rata-rata adalah hanya berlaku bila ukuran makrostruktur sangat besar dibandingkan dengan heterogenitas material yang dicirikan oleh sel ukuran. Bila faktor skala lebih besar dari 5, Young Modulus mendekati hasil yang diperoleh dari metode *homogeniza* (HM) dan metode meso - mekanika *Gibson - Ashby*. (G-AMM). Oleh karena itu, kami menggunakan array sarang lebah 4×7 sebagai Sampel komputasional, yang mencakup 7 unit sel di arah horizon (x) dan 4 unit sel pada arah vertikal (y). Ini Struktur sarang lebah hampir persegi, dan memastikan bahwa kasus distorsi dari sarang lebah fleksibel dihindari dalam kondisi dari defleksi besar. Hambatan perpindahan yang ditentukan secara respektif diterapkan di sepanjang kedua sisi. Hubungan rata-rata Regangan dan tegangan struktur keseluruhan sarang lebah diperoleh Setelah melakukan analisis numerik *nonlinear* secara *geometris*. (Qu Kemping, 2016)

2.9 Deformasi

Plastisitas adalah sifat yang dimiliki oleh suatu material, yaitu ketika beban yang diberikan suatu beban bentuk kemudian dihilangkan lalu benda tidak bias kembali sepenuhnya 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 derajat reduksi, untuk menghitung derajat reduksi tersebut dinyatakan dalam persamaan (2-8) berikut:

$$100 \times (V_0 - V_1) / A_0 \quad (2.9)$$

Deformasi akan terjadi bila material bahan mengalami gaya, selama deformasi menterap energi, sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang deformasi. Sekecil apa pun gaya yang bekerja, maka benda akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran. Perubahan bentuk secara fisik ini disebut defofmasi, deformasi terbagi dua macam yaitu deformasi *elastic* dan deformasi plastis. Yang dimaksud dengan deformasi *elastic* adalah deformasi yang terjadi akibat adanya beban yang ada beban yang ditiadakan, maka material akan kembali ke ukuran semula. Sedangkan deformasi plastis adalah deformasi plastis adalah deformasi yang sifatnya permanen apa bila beban di lepas.

Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karna pada kondisi ini bahan yang telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan berubah dimana matrial seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) ada pun persamaan 2-9, dan 2-10, regangan tegangan ssebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2-10)$$

Sehingga deformasi dapat diketahui:

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E} \quad (2-11)$$

2.9.1 Tegangan (*stress*)

Tegangan adalah tahanan material material terhadap gaya atau beban, tegangan diukur dalam bentuk gaya per luas. Tegangan normal merupakan tarikan atau tekanan. Satuan aluminium (A1) untuk tegangan normal adalah *Newton* per meter kuadrat (N/m^2) atau pascal (Pa). tegangan dihasilkan dari gaya seperti: tarikan, tekanan atau geseran yang menarik, mendorong, melintir, memotong atau merubah bentuk potongan bahan dengan berbagai cara. Cara lain untuk mendefinisikan tegangan adalah dengan menyatakan bahwa tegangan adalah jumlah gaya dibagi luas permukaan di mana gaya tersebut bereaksi.

Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan dianggap negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*) dengan persamaan (2-11) berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2-12)$$

2.9.2 Regangan (*Strain*)

Regangan didefinisikan sebagai perubahan ukuran bentuk material dari panjang awal sebagian hasil dari gaya yang menarik atau menekan material. Apabila suatu spesimen struktur material. apabila suatu spesimen struktur material diikat pada jepitan mesin pengujian dan beban serta penambahan panjang spesifikasi diamati serempak,

maka dapat digambarkan pengamatan grafik dimana dimana kordinat menyatakan beban dan absis menyatakan pertambahan panjang. B atasamn sifat elastis perbandingan regangan dan tegangan akan linier akan berakhir pada sampai titik mulur. Hubungan tegangan dan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai pada batasan fase sifat plastis. Menurut Marcinak dkk.(2002) regangan dibedakan menjadi dua yaitu: *engerring strain* dan *true strain*. *Eginerring* di bedakan menjadi dua yaitu: *eginering strain* dan *trun stain*. *Eginerring strain* adalah regangan yg di hitung menurut dimensi benda aslinya (panjang awal). S ehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjang dengan panjang semula saeperti persamaan (2-15) di bawah ini.

$$\varepsilon_{eng} = \frac{l - l_0}{l_0} 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad (2-13)$$

Hokum *hooke* menyangkut aspek proporsionalitas antara gaya dan perpindahan, tegangan dan regangan gaya luar dan gaya dalam. Hokum *hooke* merupakan hokum yang sangat penting sangat sentral dalam kaitan gaya dan perpindahan. Tekanan itu kemudian di hubungkan dengan regangan sesuai hokum *hooke* yang berbunyi: modulus elastis adalah rasio tekanan dan regangan. D engan demikian jika modulus elastis aedalah sebuah permukaan benda dan regangan telah di ketahui, maka tekanan bias di tentukan dengan persamman (2-14) di bawah ini:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2-14)$$

2.9.3 pengujian tekan statik

Pengujian ini dilakukan dengan menumpu batang dengan tumpuan sederhana dan kemudian membebani batang tersebut dengan transversal pada bagian tengahnya. Bila materialnya ulet, kegagalan merupakan patahan. Pengujian ini sering disebut pengujian dengan metode *3 poin bending*. Adapun persamaan rumus untuk metode *3 point bending* dapat dilihat sebagai persamaan (2-15)

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \quad (2-15)$$

2.10 FEM (Finite Elements Method)

FEM adalah singkatan dari *Finite Element Method*, dalam bahasa Indonesia disebut *Metode Elemen Hingga*. Konsep paling dasar FEM adalah, menyelesaikan suatu problem dengan cara membagi obyek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisa dan hasilnya digabungkan kembali untuk mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan daerah. Kata "*finite* atau terhingga" digunakan untuk menekankan bahwa bagian-bagian kecil tersebut tidak tak terhingga, seperti yang lazim digunakan pada metode integral analitik.

Membagi bagian analisa menjadi bagian-bagian kecil disebut "*discretizing* atau diskritisasi". Bagian-bagian kecil ini disebut elemen, yang terdiri dari titik-titik sudut (disebut *nodal*, atau *node*) dan daerah elemen yang terbentuk dari titik-titik tersebut. Membagi sebuah object

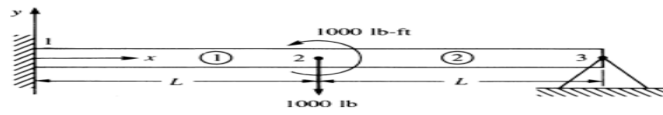
menjadi bagian-bagian kecil secara fisika sebenarnya menuntun kita kepada pembuatan persamaan diferensial. Jadi secara lebih matematis, FEM didefinisikan sebagai teknik numerik untuk menyelesaikan problem yang dinyatakan dalam persamaan diferensial. Namun biasanya definisi FEM secara matematis memberikan kesan yang rumit yang sebenarnya tidak perlu. Oleh karena itu dalam pelajaran kita, pendekatan matematis tidak terlalu ditekankan.

Meski demikian, mengingat pentingnya, ilustrasi persamaan antara FEM dan diferensial-integral (kalkulus) akan kita bahas secara detail pada kesempatan berikutnya.

Secara umum langkah-langkah dalam FEM

Melakukan modelisasi sederhana yang berlaku untuk setiap elemen. Misalnya dimodelkan sebagai pegas, di mana pegas ini sifatnya sederhana, yaitu tegangan berbanding lurus dengan perubahan bentuknya.

Membuat formula sederhana untuk setiap *element* tersebut. Misalnya untuk pegas berlaku hukum $f = k \cdot x$. Di mana k adalah konstanta pegas, dan x adalah pertambahan panjang pegas. Pada langkah ini kita akan memperoleh sebuah persamaan yang disebut "*element stiffness matrix*" atau matriks kekakuan *element*.



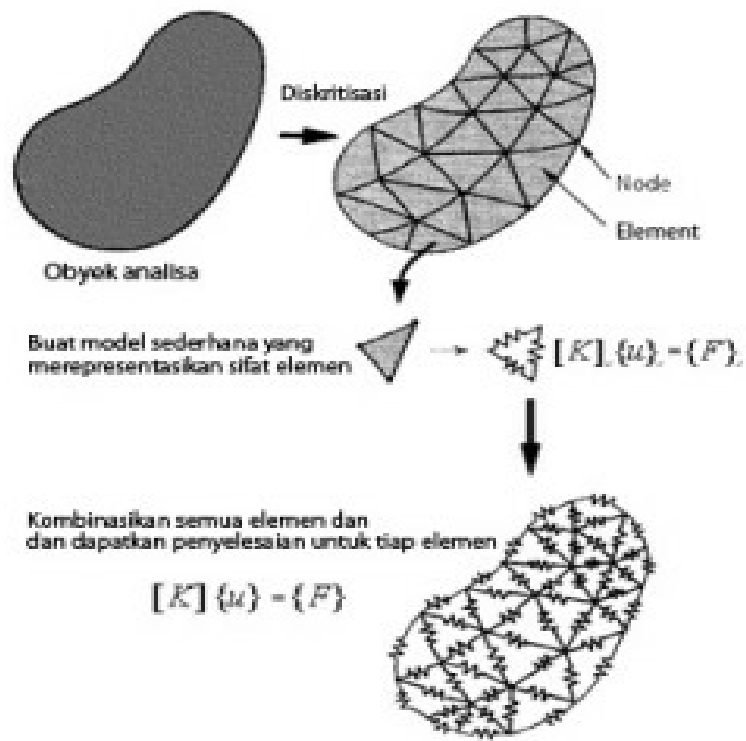
$$\underline{k}^{(1)} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} d_{1y} & \phi_1 & d_{2y} & \phi_2 \\ 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{k}^{(2)} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} d_{2y} & \phi_2 & d_{3y} & \phi_3 \\ 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

Gambar 2.10: Matrix

Mengkombinasikan seluruh elemen dan membuat persamaan simultan yang mencakup semua variabel. Untuk elemen yang dimodelkan dengan pegas, mencakup f , k , dan x dari semua elemen. Biasanya pada langkah ini kita akan memperoleh sebuah persamaan yang disebut "*global stiffness matrix*" atau matriks kekakuan global. (Yongyao Luo, Zhengwei Wang, Guodong Chen, Zujian Lin. (2009)

Langkah-langkah di atas secara singkat digambarkan pada ilustrasi berikut.



Gambar 2.1t K onsep Metode E lement H ingga

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Adapun tempat dilakukannya studi analisis numeric sarang lebah menggunakan *software catia V5R19* dengan menganalisa menggunakan *software ansys 15.0* dilakukan dilaboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu

Pengerjaan dan penyusunan tugas sarjana ini dilaksanakan 16 Mei 2017 dan dinyatakan selesai oleh dosen pembimbing pada tanggal

Tabel 3.1 Timeline Kegiatan

No	Kegiatan	Mei	Ju n	Jul	Ags	Se p	Okt	No v	Des	Jan	Feb	Mar	Apr
1	Studi Literatur												
2	Menentukan 3 Desain Honeycomb												
3	Menggambar Spesimen												
4	Mensimulasi Honeycomb												
5	Menampilkan Gambar												
6	Menentukan Penguji yang akan Di Uji												
7	Penguji Ansys												

8	Penyelesaian Skripsi																	
---	-------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

3.2. Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam studi numerik ini adalah:

3.2.1 Work Station

Spesifikasi work station yang digunakan dalam studi numerik ini adalah sebagai berikut :

Spesifikasi Work Station :

1. Processor : Xeon CPU -E 3-1246-V 3@3.5GHz
2. RAM : 8 GB
3. Operation system : Product ID (Windows 7 Professional 64 bit)
4. Display : NVIDIA Quadro K 620
5. Hardisk : 1TB
6. DVD ROM : LENOVO
7. Monitor : LENOVO L1 2054, 19.5 INCH Resolusi 1440x900
8. Keyboard : LENOVO
9. Mouse : LENOVO

3.2.2 Software Catia

Software catia yang sudah terinstal pada work station adalah Catia V5R19 64 bit yang didalamnya terdapat sketch gambar 3D. Dengan persyaratan system pada komputer adalah sebagai berikut :

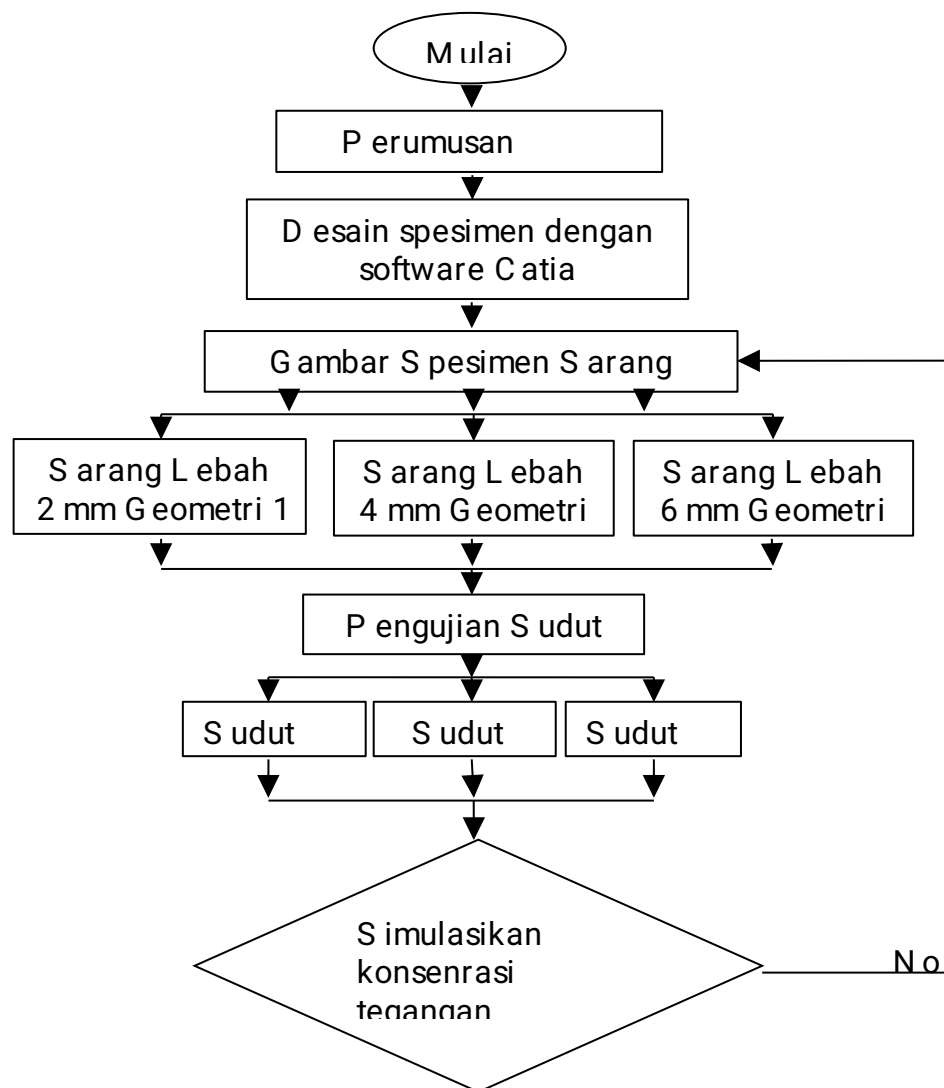
1. Processor : Xeon CPU -E3-1246-V3@3.5GHz
2. RAM : 8GB
3. Disk Space : 5GB or more

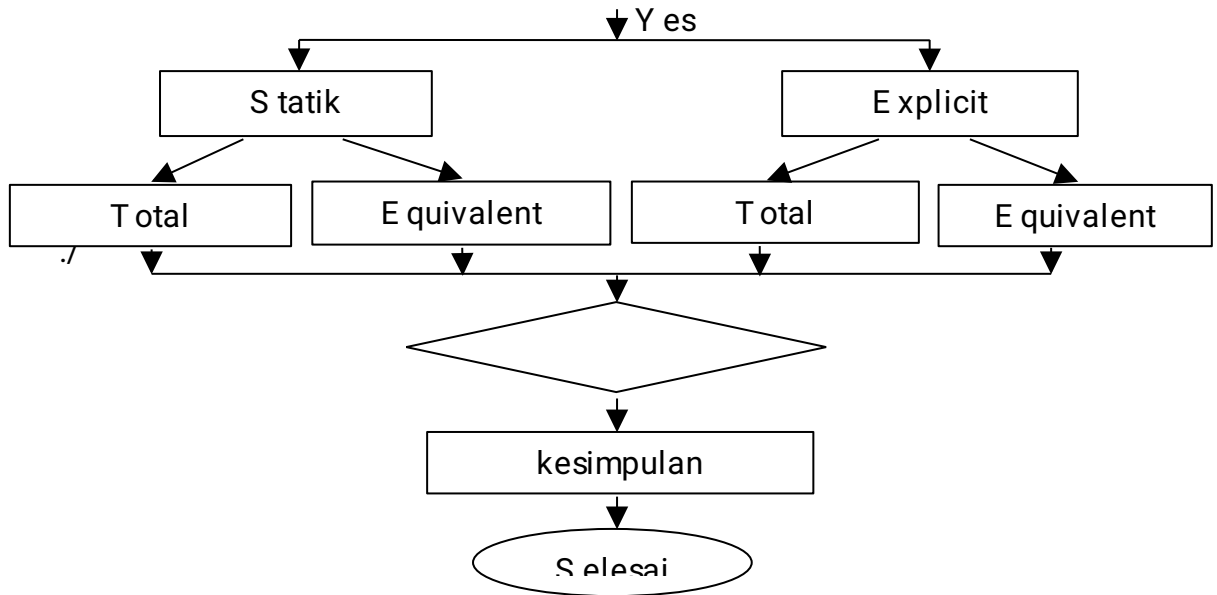
3.2.3 Software Ansys

Software ansys yang sudah terinstal pada work station adalah Ansys 2015 yang didalamnya terdapat *mechanical APDL 2015* dan *Workbench 2015*. Dengan persyaratan system pada komputer adalah sebagai berikut :

1. Processor : Xeon CPU -E3-1246-V3@3.5GHz
2. RAM : 8GB
3. Disk Space : 5GB or more

3.3 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Keterangan Diagram Alir Penelitian

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

1. Dimulai dengan mempersiapkan bahan dan alat penelitian.
2. Selanjutnya mulai menggambar spesimen menggunakan *catia* V5R19.
3. Pembuatan gambar benda uji berbentuk sarang lebah (Hexagonal) dengan ketebalan 17.20 mm dan diameter 2 mm, 4 mm dan 6 mm.
4. Pengujian pada sudut impak yaitu ada 3 sudut yang digunakan 45° , 60° , dan 90°
5. Mensimulasikan konsen terasi tegangan ke *ansys workbench*.
6. Melakukan pengujian terhadap pembebanan 100 N. yaitu dengan spesimen yang berbentuk sarang lebah diameter 2 mm, 4

mm dan 6 mm.

7. Pengujian *static structural* pemberian beban *force* 100 N. dan ditahan dengan *fixed support* menentukan tegangan dengan total *deformation*, dan *equivalen stress*.
8. Pengujian *explicit dynamics* structural pemberian beban *velocity* 100 N. dan ditahan dengan *fixed support*, menentukan tegangan dengan total *deformation*, *equivalen stress*.
9. Menganalisa hasil simulasi yang telah diuji.
10. Kesimpulan dan saran.
11. Selesai.

3.5 Studi Kasus

Table 3.2 Studi Kasus sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm

Simulasi	Kasus pada sarang lebah	Geometri	Sudut impak
Statik	Kasus 1	2mm	45 ⁰
			60 ⁰
			90 ⁰
	Kasus 2	4 mm	45 ⁰
			60 ⁰
			90 ⁰
	Kasus 3	6 mm	45 ⁰
			60 ⁰
			90 ⁰
	Kasus 4	2 mm	45 ⁰
			60 ⁰
			90 ⁰

Explicit	K asus 5	4 mm	45 ⁰
			60 ⁰
			90 ⁰
	K asus 6	6 mm	45 ⁰
			60 ⁰
			90 ⁰

3.6 Variasi Sarang Lebah

Tabel 3.3: Perbedaan Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, 6 mm.

Sarang Lebah	Panjang (L)	Lebar (b)	Kedalaman Hexagon (hc) (mm)	Ketebalan kulit	Ketebalan Sarang Lebah
2 mm	220 mm	55 mm	17.20 mm	0.4 mm	18 mm
4 mm	220 mm	55 mm	17.20 mm	0.4 mm	18 mm
6 mm	220 mm	55 mm	17.20 mm	0.4 mm	18 mm

3.7 Tahap Menggambar Spesimen Polygon Sarang Lebah

3.7.1 Tahap Menggambar Polygon Sarang Lebah

- Langkah pertama buka *software catia* kemudian pilih *file - new - part*
- Kemudian pilih sumbu YZ *plane* - klik *sketch* kemudian pilih *hexagon* klik di titik 0 sumbu
- Buat *hexagon* dengan ukuran yang telah ditetapkan untuk menjadi polygon Sarang Lebah
- Lalu klik pada garis *hexagon* nantinya di *translate*.

5. L alu *translate* menjadi polygon - polygon
6. L alu kemudian line di mikrokan setelah itu garis - garis yang tidak diperlukan di hapus dengan klik *Quicktrim*
7. S etelah itu sarang lebah di buat 3D dengan klik *exit workbench* - lalu *pad definition* sebagai ketebalan sarang lebah

3.7.2 Tahap P emotongan S arang L ebah

1. Klik *sketch* lalu klik Y Z
2. Klik *rectangle* brikan ukuran yang telah di tetap kan
3. Klik *rectangle* di luar sarang leah
4. Kemudian klik *exit workbench* – lalu pilih *pocket definition* sebagai pemotongan pada sarang lebah

3.7.3 Tahap M enggambar P lat S arang L ebah

1. L angkah pertama pilih *file -new -part*
2. P ilih sumbu Y Z- klik *sketch*, kemudian pilih *rectangle* klik di sembarang layar
3. L alu buat persegi panjang ,kemudian beri ukuran yg telah di tetap kan
4. L alu di 3D dan klik *exit workbench*, pilih *pad definition* lalu beri ukuran ketebalan.
5. K emudian *save part*, lalu buat kembali ukuran yang sama.

3.7.4 Tahap A ssembly P art

1. L angkah pertama klik *file - new - part*
2. Klik *mechanical design*-pilih *assembly design* lalu klik *existing*

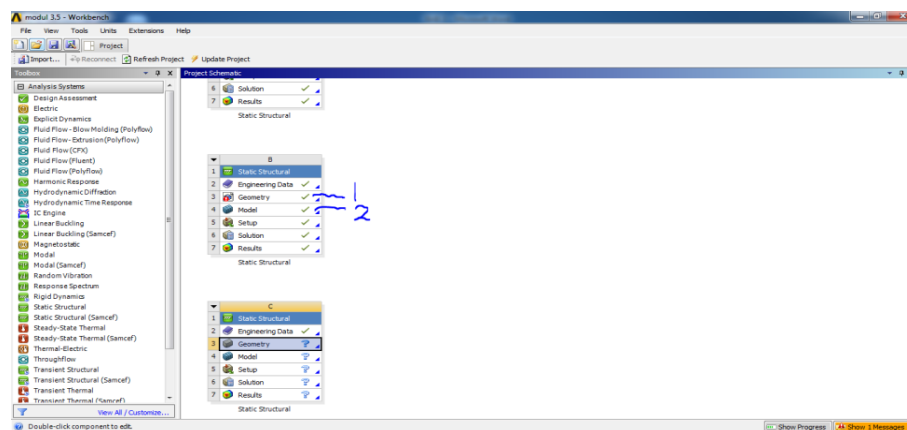
component

3. Lalu pilih *product*, maka muncul *part* yang di *save* tadi, pilih *part* sarang lebah dan *part* plat penutup sarang lebah.
4. Kemudian gabungkan plat dengan sarang lebah, dengan cara klik titik yang ingin di *assembly* lalu pilih – *coincidence*, kemudian pilih titik pada sarang lebah.
5. Kemudian tekan **Ctrl+U** untuk menyatukan plat dengan sarang lebah
6. Setelah menyatuh, buat kembali dengan cara yang sama untuk menyatukan plat yang lain pada sarang lebah.

3.8 Tahapan Menggunakan *static struktural Ansys* Pada Sarang Lebah

3.8.1 Tampilan Awal Pada *Static Structural Ansys Workbench 15*

Pada tampilan ini pilih *static structural* - klik kanan *geometry* - *import geometry* - *file igs* - klik model

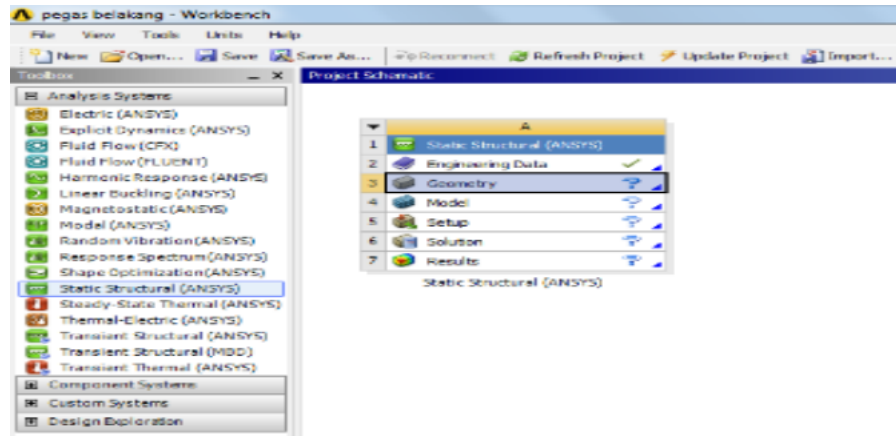


Gambar 3.1 Tampilan Awal *Ansys Workbench 15*

3.8.2 Menentukan *Analisis Sistem*

Seerti yang sudah di jelaskan pada batasan masalah, Simulasi

yang digunakan dalam analisa adalah *static S truktural*. Maka langkah selanjutnya adalah dengan mengklik *S tatic S reuktural* pada *toolbox*.



Gambar 3.2: Jendela Kerja *S tatic S truktural*

3.8.3 *Engineering Data* atau

Engineering Data adalah fitur yg bertujuan untuk menentukan jenis material

Yang digunakan pada objek yang akan dianalisa. Jenis material yang digunakan pada *honeycomb* adalah Aluminium.

Langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah dengan mengklik dua kali pada *Engineering data* → aluminium → *Return to project*. Maka akan muncul *outline*

Outline of Schematic A2: Engineering Data				
	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	ALLUMINIUM 2023-T3	<input type="checkbox"/>	General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	Click here to add a new material			

**Material
Structural**

Gambar 3.3: Outline of General Materials

	A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data		Source	Description
2	Material			
3	ALLUMINIUM 2023-T3		General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5

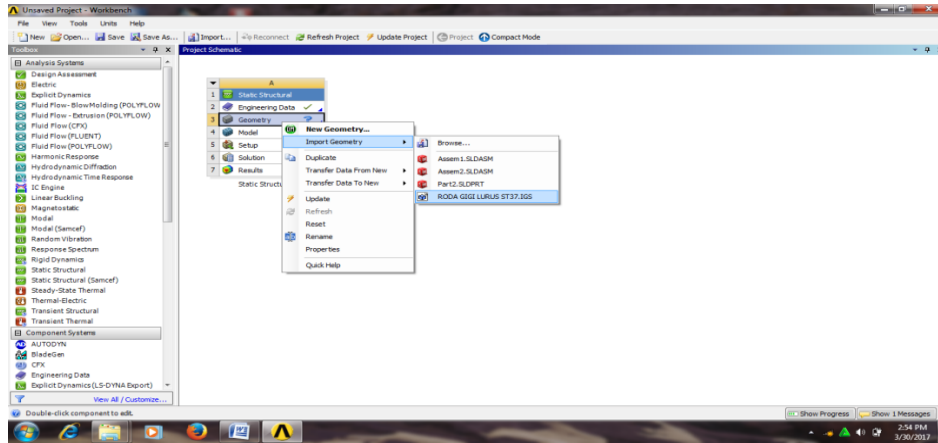
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density	7850	kg m ⁻³	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Isotropic Elasticity			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Derive from	Young'...			
8	Young's Modulus	2E+08	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Poisson's Ratio	0.3		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Bulk Modulus	1.6667E+08	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Shear Modulus	7.6923E+07	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Alternating Stress Mean Stress	Tabular		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	Strain-Life Parameters			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24	Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25	Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26	Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28	Isotropic Thermal Conductivity	60.5	W m ⁻¹ K ⁻¹	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29	Specific Heat	434	J kg ⁻¹ K ⁻¹	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30	Isotropic Relative Permeability	10000		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31	Isotropic Resistivity	1.7E-07	ohm m	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gambar 3.4: Properties Material

3.8.4 Menentukan Geometry

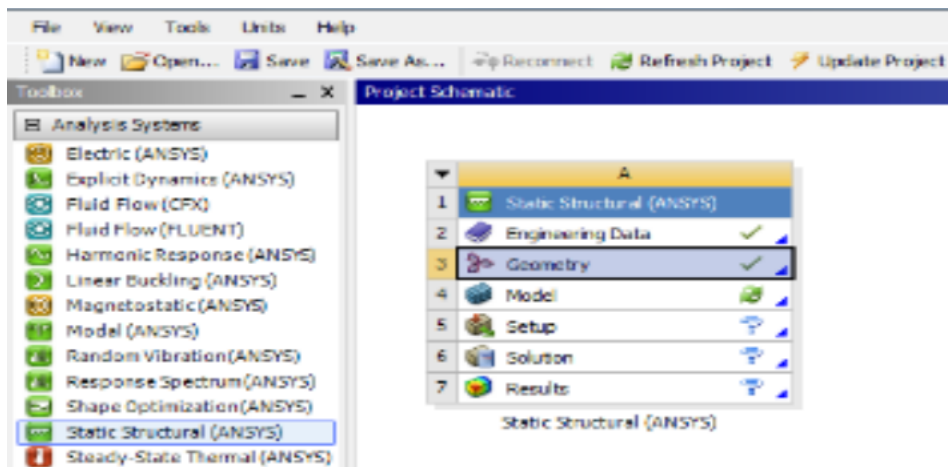
Fitur *Geometry* adalah fasilitas yang diberikan *Ansys Workbench* yang bertujuan untuk mendesign sebuah model yang akan dianalisa. Dalam model ini kasus *design* dengan menggunakan perangkat lunak *catia V5R 19*. Yang digunakan untuk menampilkan hasil pemodelan adalah ;

Mengklik kanan pada *Geometry* → *Import Geomerty* → *B rows* → Pilih *Geometry* yang sudah di *design* menggunakan *catia V5R 19*.



Gambar 3.5: Milih *Geometry*

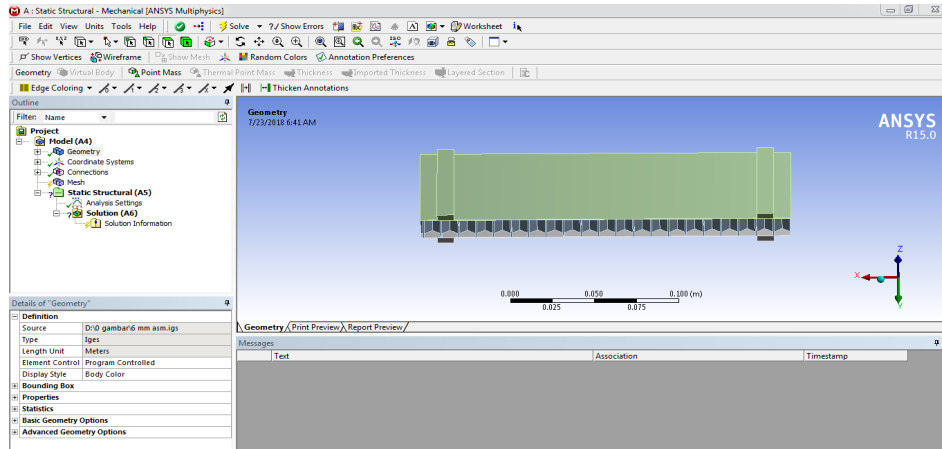
Setelah memilih meng*import geometry* maka pada *geometry* akan muncul tanda ceklis (✓).



Gambar 3.6: *Geometry* selesai Di *import*

3.8.5 Tahap Menampilkan Spesimen Ke Model

Menampilkan *specimen* ke model, proses memasuki analisis sarang lebah model – *mesh – sizing – body/element- generate mesh*.



Gambar 3.7: model

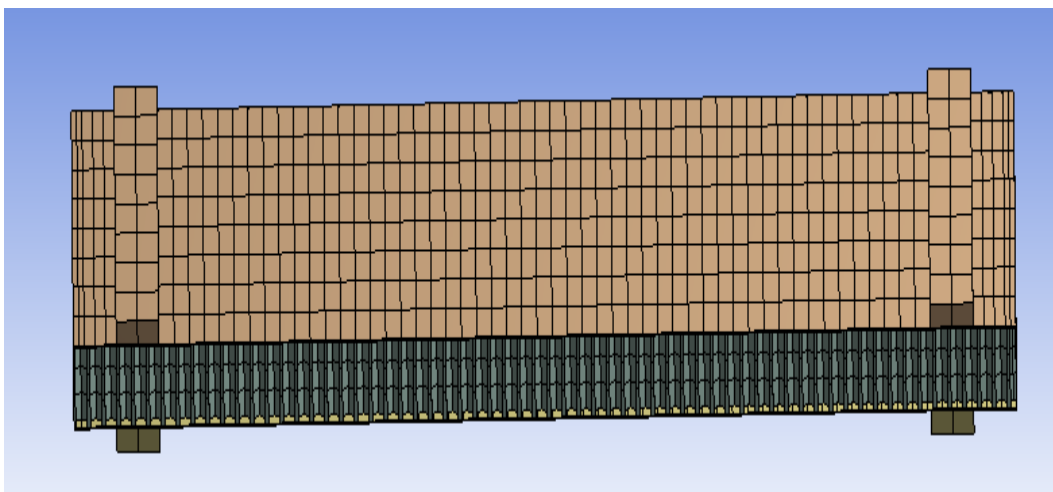
3.8.6 Tahap *Meshing* *Static* *Struktural*

Meshing merupakan bagian integral dari simulasi rekayasa dibantu proses komputer. *Meshing* mempengaruhi akurasi, dan kecepatan konvergensi dari solusi. Pemberian *Meshing* pada benda kerja dilakukan dengan cara :

Klik *Mesh* → pilih *elemen size* → lalu beri ukuran *mesh* → *Generate Meshing*

1. Gambar Pada *Meshing* *Static* *Struktural*

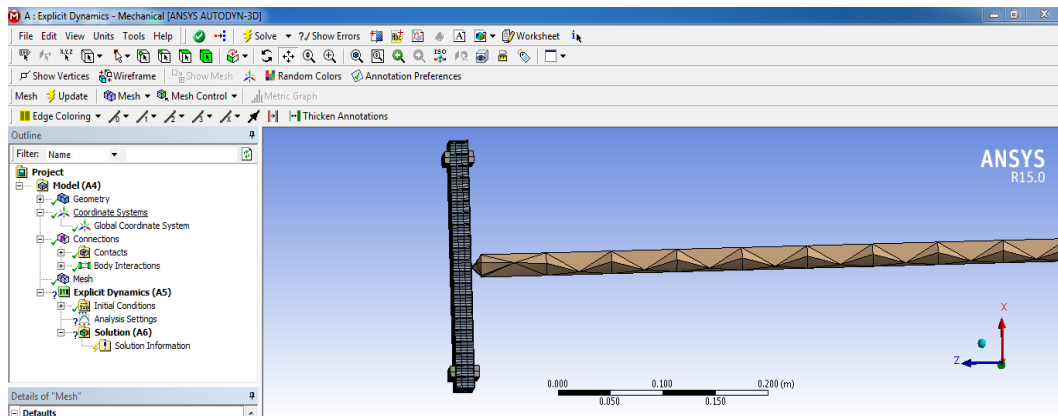
Nodes: 114513, *Elements*: 17328



Gambar 3.8: *Meshing Ansys Static Struktural*

2. Gambar pada *meshing explicit dynamics*

Nodes: 32482, Elements: 17169

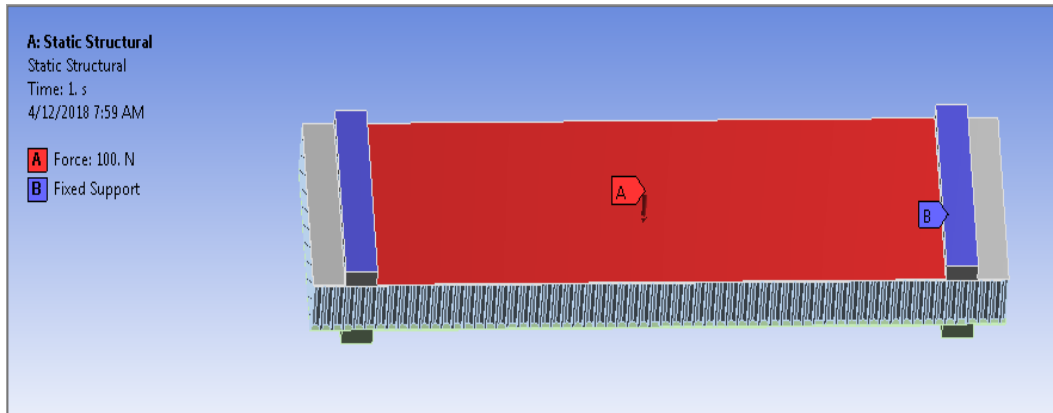


Gambar 3.9: *Meshing Ansys Explicit Dynamics*

3.8.7 Tahap *Force* dan *Fixed Support* Sarang Lebah 2 mm Ansys *Static Struktural*

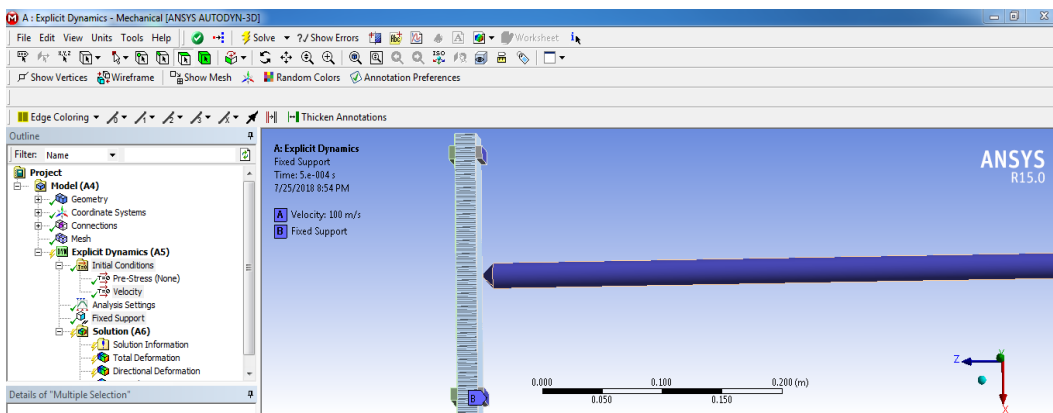
Force merupakan tempat letak beban di *ansys* yang mana *force* dapat di letakkan di bagian tengah pada spesimen pada sarang lebah. *Force* pada sarang lebah 2 mm adalah 100 N, sarang lebah 4 mm adalah 100 N, dan sarang lebah 6 mm adalah 100 N. Tahap *force* adalah dengan cara : *klik statik struktural klik kanan-pilih force - kemudian pilih component*. Tahap memulai *fixed support* klik *Static Struktural-klik kanan-pilih fixed support*.

1. Gambar Pada *Force* dan *Fixed Support*



Gambar 3.10: Force dan Fixed Support pada sarang lebah

2. Tahap Velocity dan Fixed Support Sarang Lebah Ansys Explicit Dynamics



Gambar 3.11: Velocity dan Fixed Support pada Sarang Lebah

3.8.8 Pemberian Pengujian Yang Sudah Ditentukan

klik kanan pada *solution* → pilih *insert* → pilih *directional deformation* → *orientation* → Z Axis → klik kanan kembali *solution* → *insert* → pilih *stress* → *equivalent* (von → mises) setelah selesai klik *solve*.

3.9 Tahapan Menggunakan *explicit dynamics Ansys* pada Sarang Lebah

3.9.1 Tahap Awal Pada *Explicit Dynamics Ansys Workbench 15*

Pada tampilan ini pilih *explicit dynamics* → klik kanan → pilih *geometry* → *import geometry* → *file igs* → klik pada model

1. Menentukan *Analysis System*

Seperti yang sudah dijelaskan pada batasan masalah simulasi yang digunakan dalam analisa adalah *explicit dynamics* maka selanjutnya dengan mengklik *explicit dynamics* pada *tool box*.

2. *Engineering Data*

Engineering data adalah fitur yang bertujuan untuk menentukan jenis material. Yang digunakan pada objek yang akan di analisa jenis material yang digunakan pada sarang lebah adalah aluminium. langkah yang dilakukan pada Tahap ini adalah:

Explicit dynamics → *return to project* → maka akan muncul *outline*

3. Menentukan *Geometry*

Fitur geometry adalah fasilitas yang diberikan *ansys workbench* yang bertujuan untuk mendesign sebuah model yang akan di analisa. Dalam model ini khusus *design* dengan menggunakan perangkat lunak *catia V 5R 19*. Yang digunakan untuk menampilkan hasil pemodelan adalah:

Klik kanan pada *geometry* → *import geometry* → *browse* → pilih *geometry* yang sudah didesign menggunakan *catia V 15R 19*.

Setelah memilih mengimport maka pada *geometry* akan muncul tanda (✓).

4. Langkah Memasukkan Bahan Pada *Geometry*

Klik *geometry part 1* → klik *assignment* klik kanan pada *structural steel* dan ganti dengan aluminium/material yang digunakan maka selanjutnya juga pada *part2*, *part3*, dan *part4*.

5. Langkah membuat kontak pada gambar

Klik *connections* → lalu klik *contacts* klik kanan pilih *rename based on definition*.

6. Cara *Meshing Explicit Dynamics*

Meshing merupakan merupakan bagian *integral* dari simulasi rekayasa dibantu proses komputer. *Meshing* mempengaruhi akurasi, dan kecepatan *konvergensi* dari solusi, pemberian *meshing* pada benda kerja dilakukan dengan cara:

Klik *mesh* → pilih *element size* → lalu beri ukuran 100 pada *mesh* → *generate meshing*.

7. Pemberian Beban Pada Sarang Lebah

Klik kanan pada *initial conditions* → pilih *insert* → klik *velocity* klik pada mata penumpu → *geometry* → klik *apply* → klik *before by* → klik *vector* → pilih *components* → klik *Z components* 100 m/s

8. Pemberian Penahanan Pada Sarang Lebah

Klik *explicit dynamics* → pilih *insert* → pilih *fixed support* klik ctrl klik pada plat penahan pada sarang lebah keempatnya lalu → klik pada *geometry* pilih *apply*.

9. Tahap *Analysis Setting*

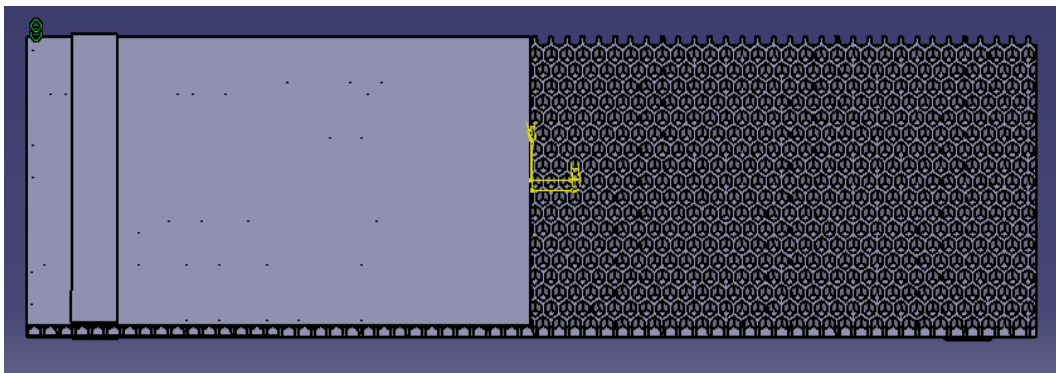
Klik *analysis setting* → klik *and time* 0.0005 klik kanan pada solution (A 6) → klik *insert* total pilih *directional deformation* → pilih *orientation Z Axis* → klik kanan pada *solution (A 6)* *insert* pilih *stress* → klik *equivalen (Von-mises)* setelah di program maka pilih *solve*.

BAB 4

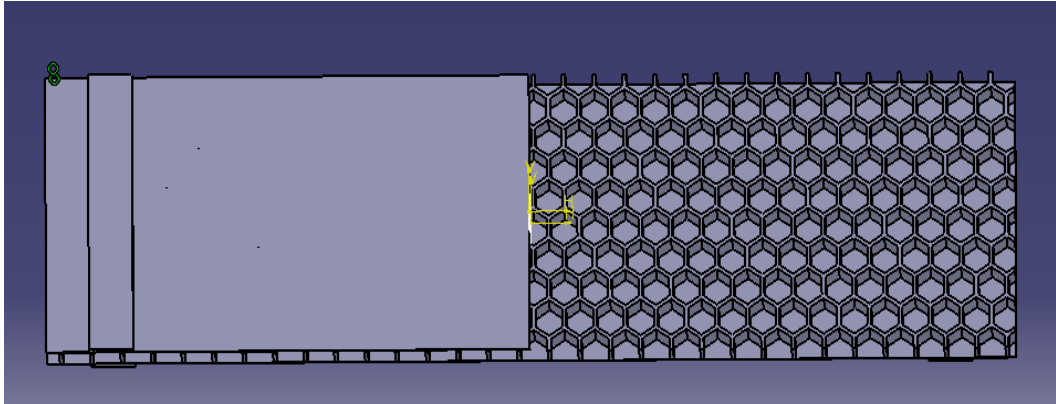
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Gambar S arang L ebah

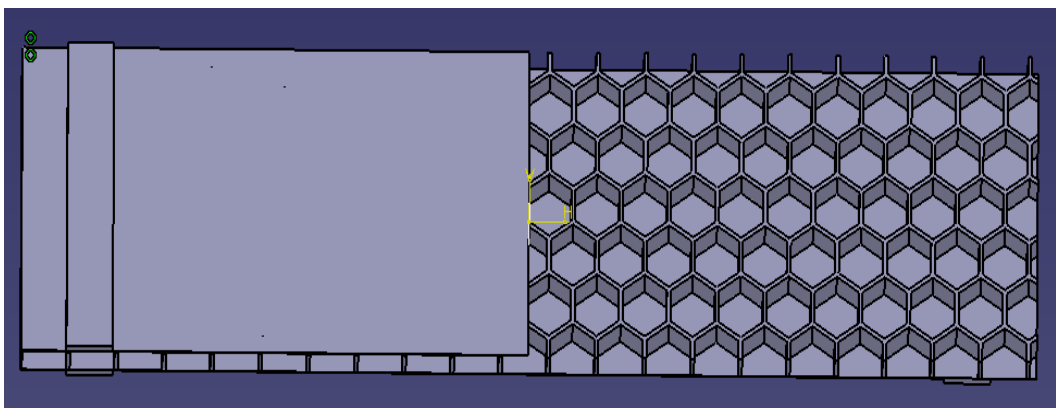
4.1.1 Hasil Gambar *Case* S arang L ebah S esuai Geometri



Gambar 4.1 Hasil Gambar S arang L ebah 2 mm.



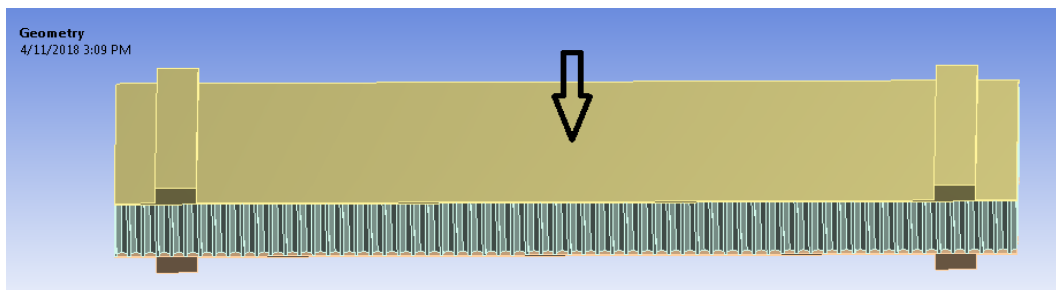
Gambar 4.2: Hasil Gambar Sarang Lebah 4 mm.



Gambar 4.3: Hasil Gambar Sarang Lebah 6 mm.

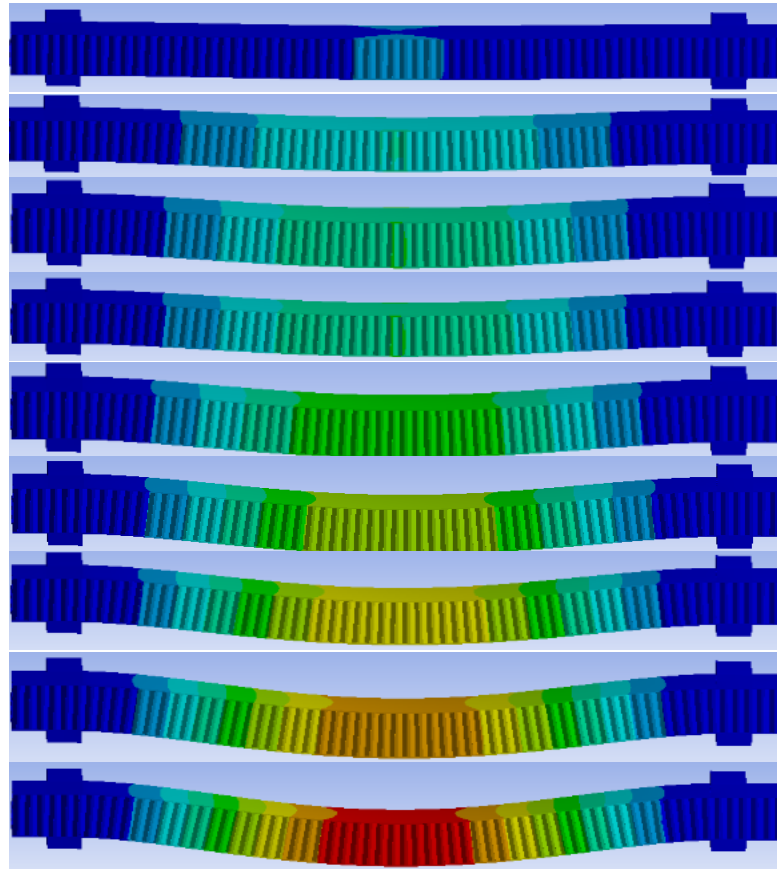
4.12 Konsep Uji *Static* Sarang Lebah

Konsep uji *static* untuk mencari titik max tegangan, dan mendapatkan gambaran tentang sifat – sifat dan keadan dari suatu aluminium dengan gaya di berikan pada sarang lebah sebesar 100 N, dan mendapatkan kelendutan pada sarang lebah.



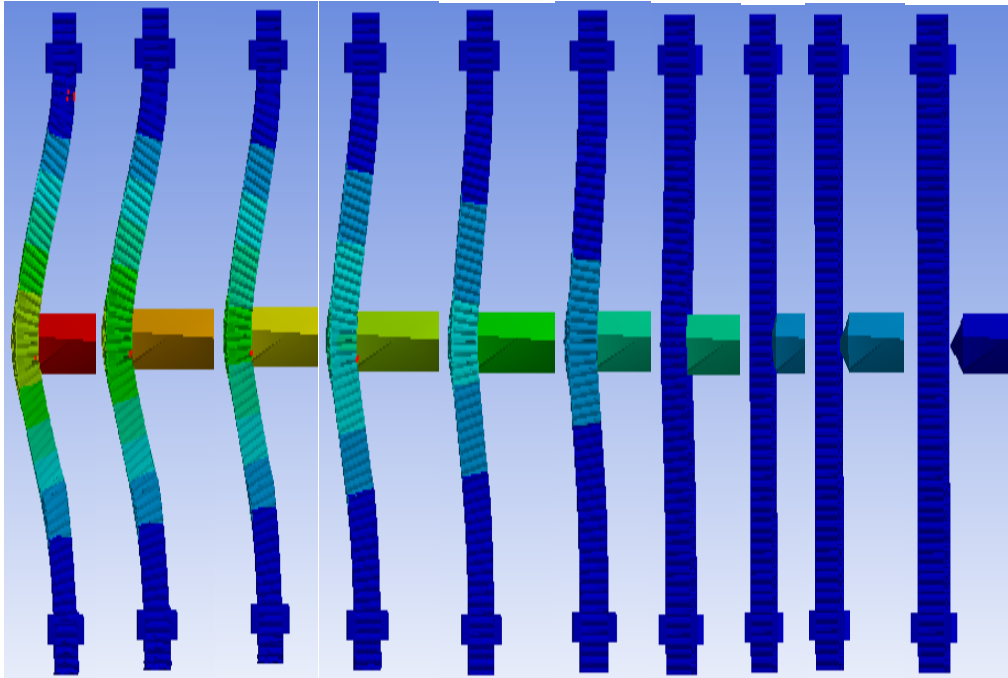
Gambar 4.4: Konsep Uji *Static*

1. Hasil Contoh Gambar P engujian P ada *Static Struktural*



Gambar 4.5: Hasil Contoh P engujian *Static Struktural*

2. Hasil Contoh Gambar pengujian P ada *Explicit Dynamics*



Gambar 4.6: Hasil Contoh P engujian *Explicit Dynamics*

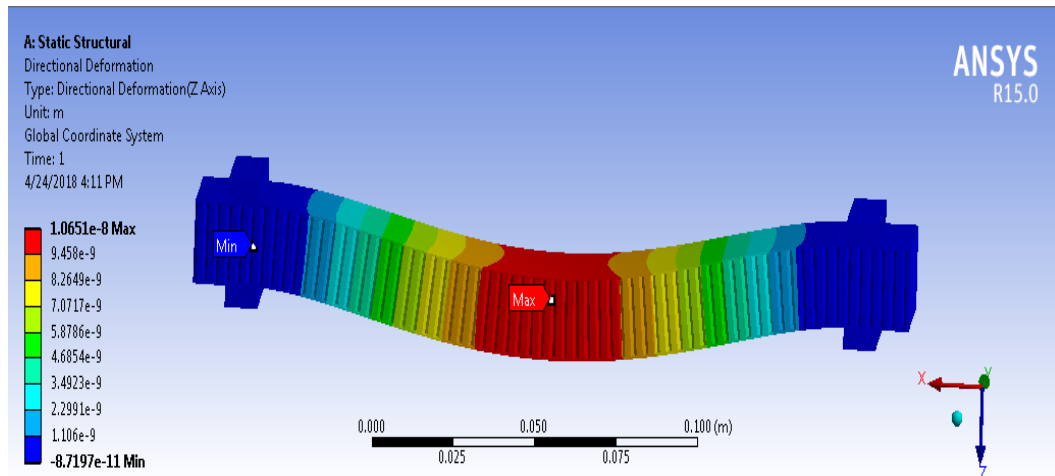
4.2 Hasil Pembahasan Simulasi *Static*

4.2.1 Hasil Pembahasan Total *Deformation* Dengan Sudut 45°

1. Geometri Sarang Lebah 2 mm

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki panjang sarang lebah 220 mm dengan lebar 55 mm, kedalaman *hexagon* 17,20 mm, ketebalan plat (kulit) 0,4 mm, dan tebal saran lebahnya 18 mm.

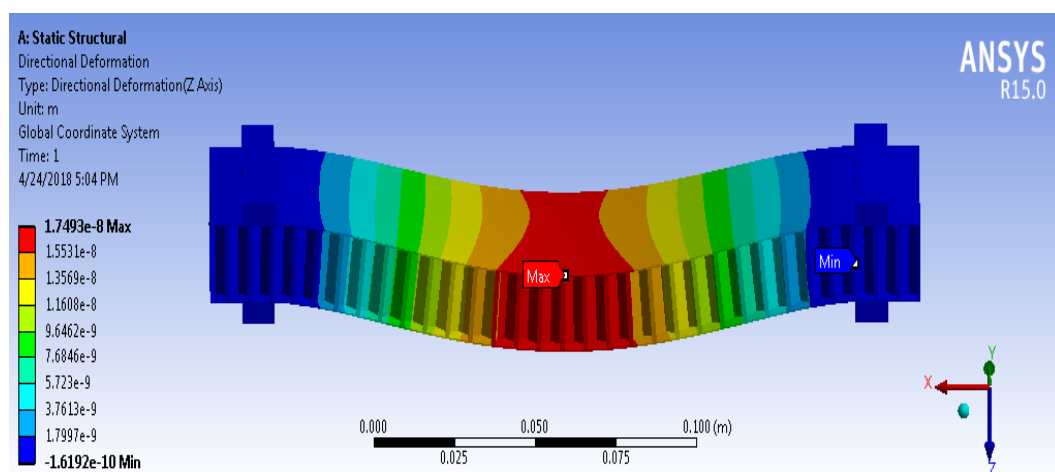
Bahwa hasil total *deformation* pada sarang lebah 2 mm yaitu lendutan maksimumnya terletak pada sarang lebah dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.7 di halaman selanjutnya dapat dihasilkan lendutan maksimumnya 10651 mm.



Gambar 4.7: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 2 mm

2. Geometri Sarang Lebah 4 mm

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 4 mm yaitu lendutan maksimumnya terletak di bagian plat (kulit) sarang lebah yang memperlihatkan sarang lebah 4 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.8 di bawah ini dapat di hasilkan lendutan maksimum 1,7493 mm.



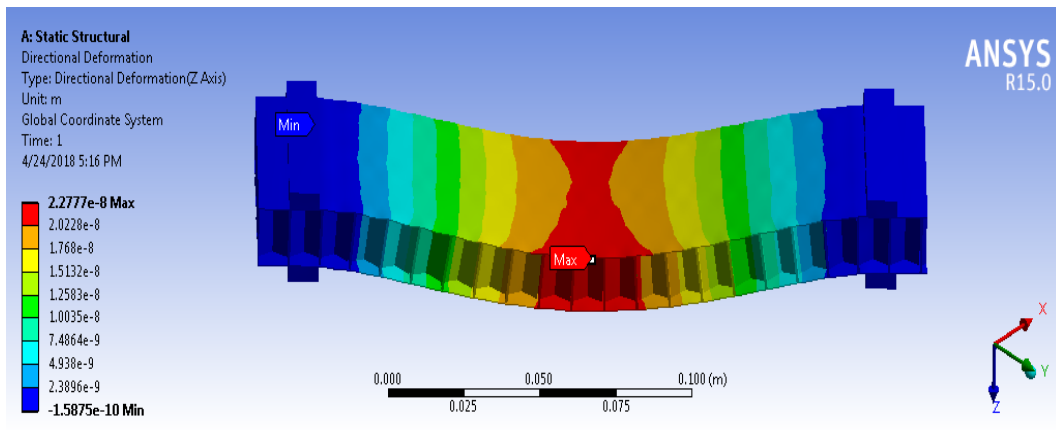
Gambar 4.8: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 4 mm

3. Geometri Sarang Lebah 6 mm

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 6 mm,

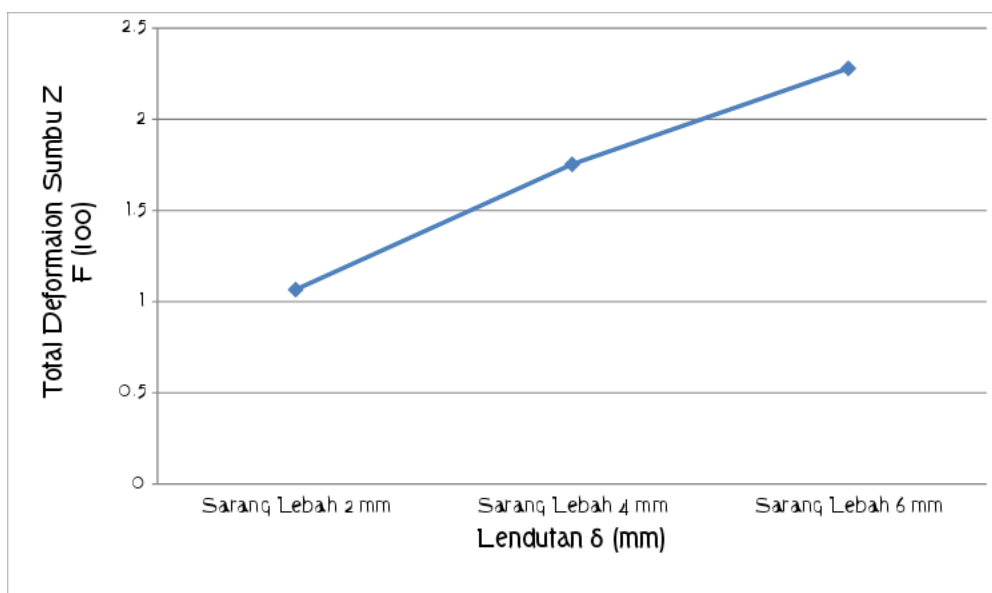
yaitu lendutan maximumnya terletak pada plat yang memperlihatkan kan sarang lebah

6 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.9 di bawah ini dapat dihasilkan lendutan maximum 2,2777 mm.



Gambar 4.9: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 6 mm.

4.2.2 Hasil Grafik Dari Simulasi Total Deformation Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, Dan 6 mm



Gambar 4.10: Grafik Simulasi Total *Deformation*

Dengan pembebanan total *deformation* sarang lebah dengan pembebanan daya 100 N adalah:

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm pada lendutan titik max pengujian tekan mengalami perubahan bentuk saang lebah, pada S rang lebah

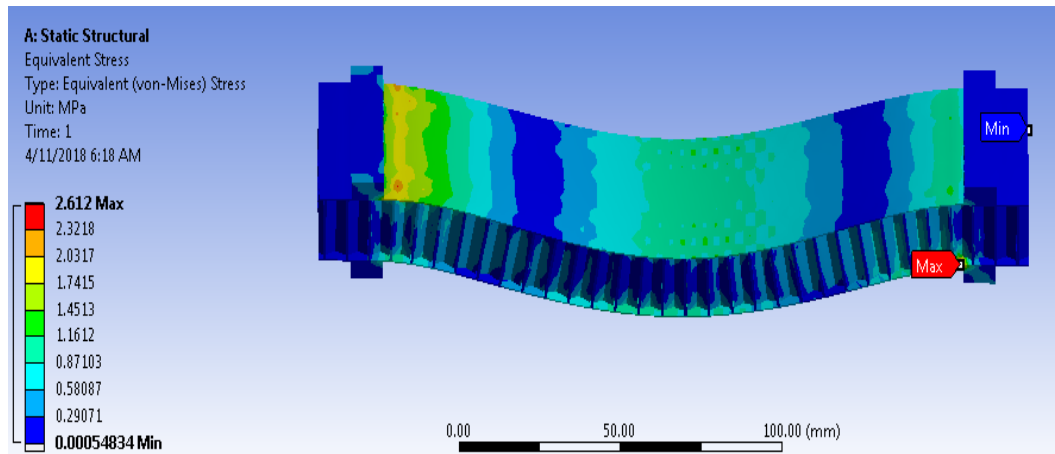
2 mm, memiliki Indutan maximum 1,0651mm, pada sarang lebah 4 mm, mengalami kenaikan, memiliki lendutan mximum 1,7493 mm, dan pada sarang lebah 6 mm mengalami kenaikan memiliki lendutan maximum 2,2777 mm. Dan dijelaskan dalam grafik titik lendutan yang paling rendah terletak pada sarang lebah 2 mm dikarenakan diameter *hexagon* 2 mm. lebih kecil dan jumlah *hexagon* yang paling banyak di banding yang lain sehingga lebih rapat dan lebih kuat.

4.2.3 Hasil Pembahasan *Equivalent Stress Static Struktural*

1. Geometri Sarang Lebah 2 mm

Pada saran lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki panjang 220 mm, lebar 55 mm dan kedalaman *hexagon* 17,20 mm ,ketebalan plat (kulit) 0,4 mm dan ketebalan sarang lebah 18 mm.

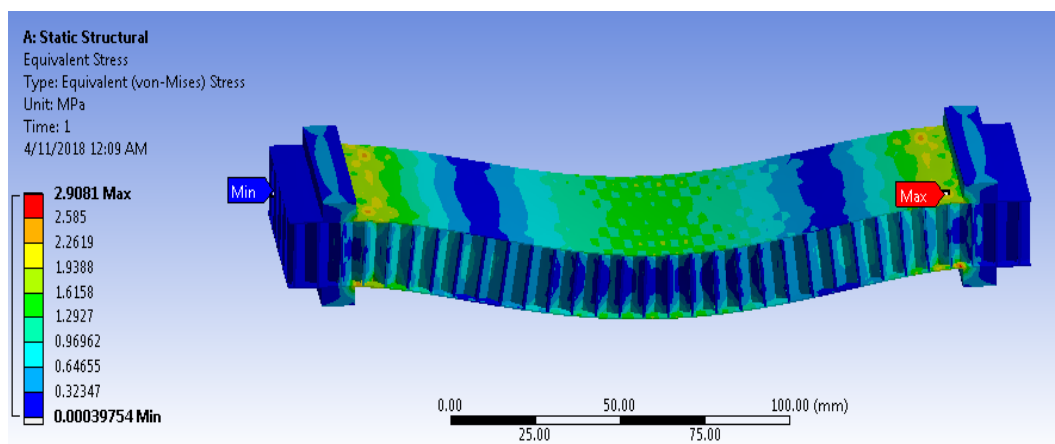
Bahwa hasil simulasi *equivalent stress* pada sarang lebah 2 mm yaitu tegangan maximumnya terletak di bawah kulit hexagon pada sarang lebah dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dari hasil gambar 4.11 di halaman selajudnya dapat dihasil kan tegangan maksimum 2,612 MP a.



Gambar 4.11: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 2 mm.

2. Geometri Sarang Lebah 4 mm

Bahwa hasil simulasi pada sarang lebah 4 mm yaitu tegangan maksimumnya terletak di bagian atas plat pada sarang lebah yang memperlihatkan sarang lebah 4 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dari hasil gambar 4.12 di bawah ini dapat dihasilkan tegangan maximum 2,9081 MPa.

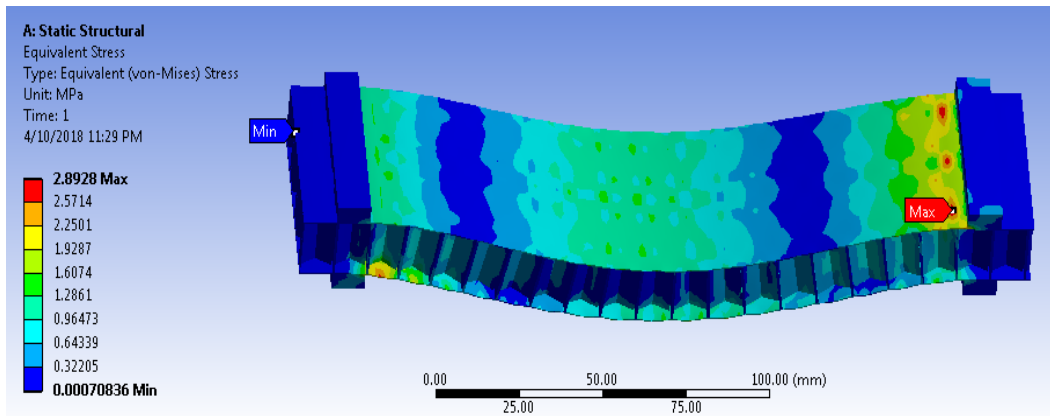


Gambar 4.12: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 4 mm.

3. Geometri Sarang Lebah 6 mm

Bahwa hasil simulasi pada sarang lebah 6 mm yaitu tegangan

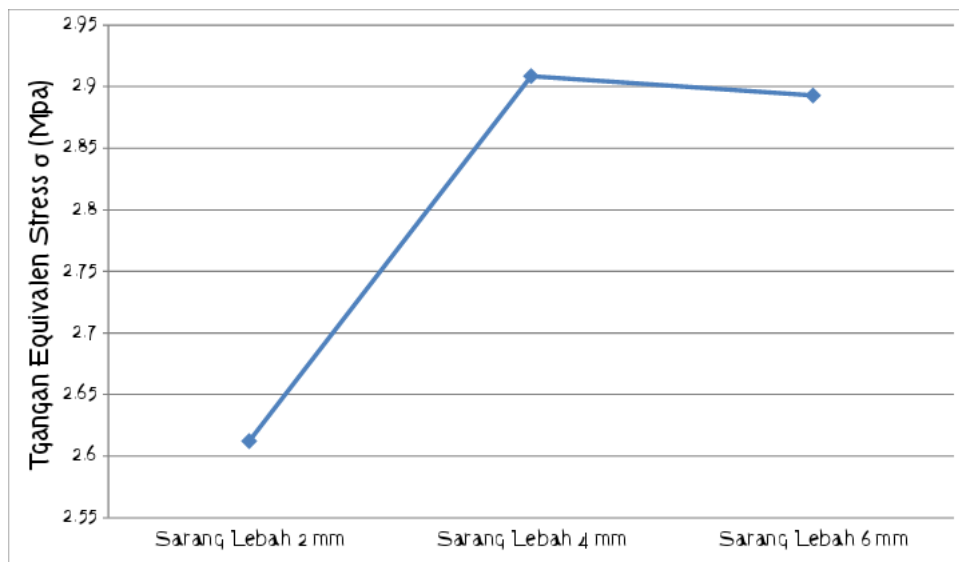
maximum terletak di bagian atas plat yang memperlihatkan sarang lebah 6 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dan hasil gambar 4.13 di bawah ini dapat dihasil kan tegangan maksimum 2,8928 MP a.



Gambar 4.13: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 6 mm

4.2.4 Hasil Grafik Dari Simulasi *Equivalent Stress* Pada Sarang Lebah 2 mm,

4 mm, Dan 6 mm



Gambar 4.14: Grafik Simulasi *Equivalent Stress*

Dengan sarang lebah *equivalent stress* dengan pembebanan

daya pada sarang lebah 100 N.

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm pada titik max pengujian *static* mengalami perubahan bentuk pada sarang lebah 2 mm memiliki tegangan maximum 2,612 MPa, Pada sarang lebah 4 mm, memiliki tegangan maximum 2,9081 MPa, pada sarang lebah 6 mm, memiliki tegangan maximum 2,8928 MPa.

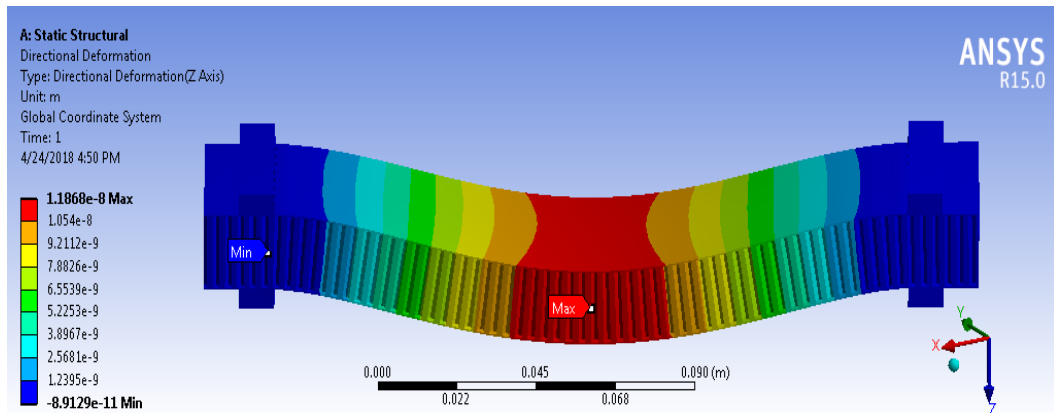
Dan dijelaskan dalam grafik titik tegangan yang paling rendah terletak pada sarang lebah 2 mm dikarenakan diameter *hexagon* 2 mm. lebih kecil dan jumlah *hexagon* yang paling banyak di banding yang lain dan menjadi lebih kuat.

4.2.5 Hasil Pembahasan Total *Deformation* Dengan Sudut 60°

1. Geometri Sarang Lebah 2 mm

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki panjang sarang lebah 220 mm dengan lebar 55 mm, kedalaman *hexagon* 17,20 mm, ketebalan plat luar 0,4 mm, dan tebal sarang lebah 18 mm.

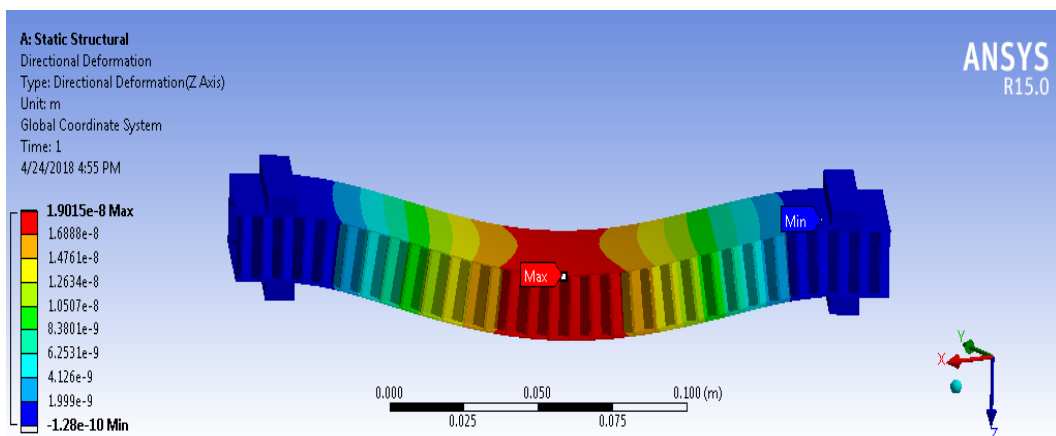
Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 2 mm, yaitu lendutan maximumnya terletak di *hexagon* sarang lebah dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.15 di bawah ini dapat dihasilkan lendutan maksimumnya 1,1868 mm.



Gambar 4.15 Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 2 mm

2. Geometri Sarang Lebah 4 mm

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 4 mm yaitu lendutan maximumnya terletak di bagian plat saan lebah yang memperlihatkan sarang lebah 4 mm, dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.16 dibawah ini dapat dihasilkan lendutan maksimum 1,9015mm.

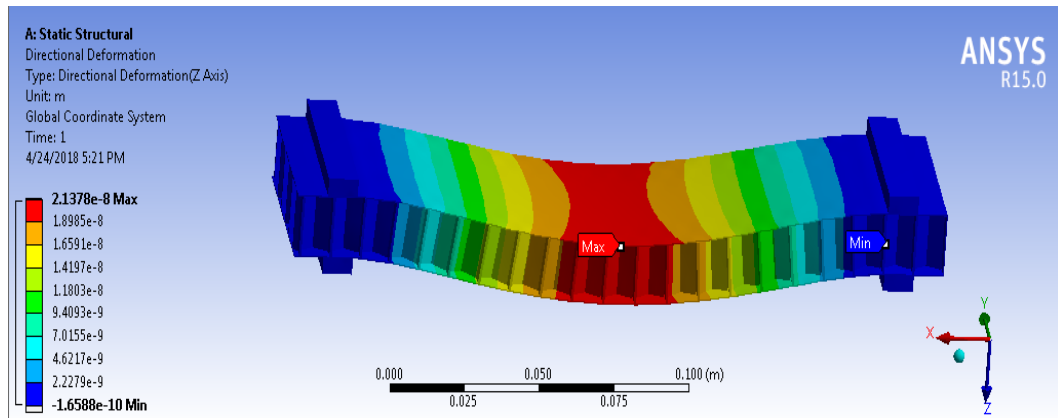


Gambar 4.16: Hasil Simulasi Total Deformation sarang lebah 4 mm.

3. Geometri Sarang Lebah 6 mm

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 6 mm yaitu lendutan maximumnya terletak plat yang memperlihatkan sarang

lebah 6 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.17 di bawah ini dapat dihasilkan lendutan maximum 2,1378

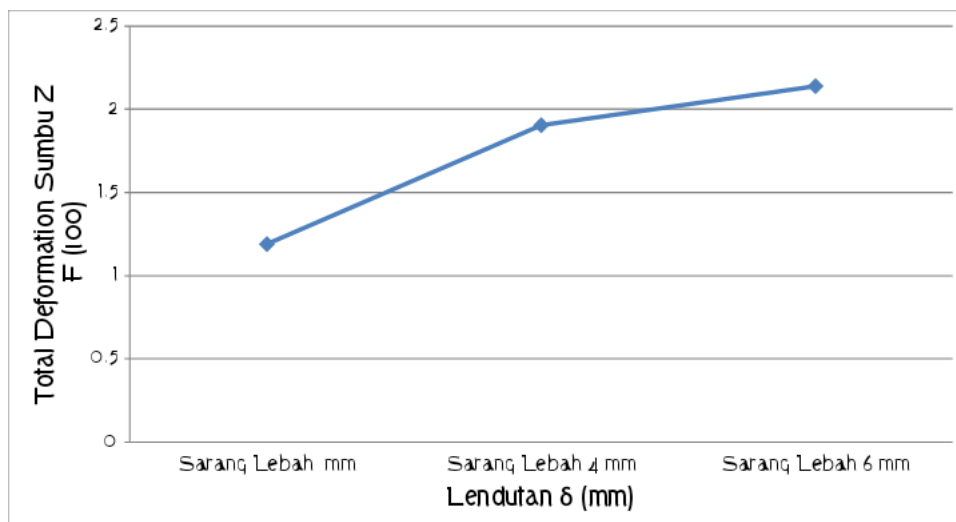


Gambar 4.17: Hasil Simulasi Total *Deformation* Sarang Lebah 6 mm.

4.2.6 Hasil Grafik Dari Simulasi Total *Deformation* Pada Sarang

Lebah 2 mm,

4 mm, Dan 6 mm



Gambar 4.18: Grafik Simulasi Total *Deformation*

Dengan pembebanan total *deformation* sarang lebah dengan pembebanan daya 100 N adalah:

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm pada titik max pengujian *static* mengalami perubahan bentuk sarang lebah pada sarang lebah 2 mm, memiliki lendutan maximum 1,1868 mm, pada sarang lebah 4 mm, mengalami kenaikan, memiliki lendutan mximum 1,9015 mm, dan pada saang lebah 6 mm, mengalami kenaikan memiliki lendutan maximum 2,1378 mm.

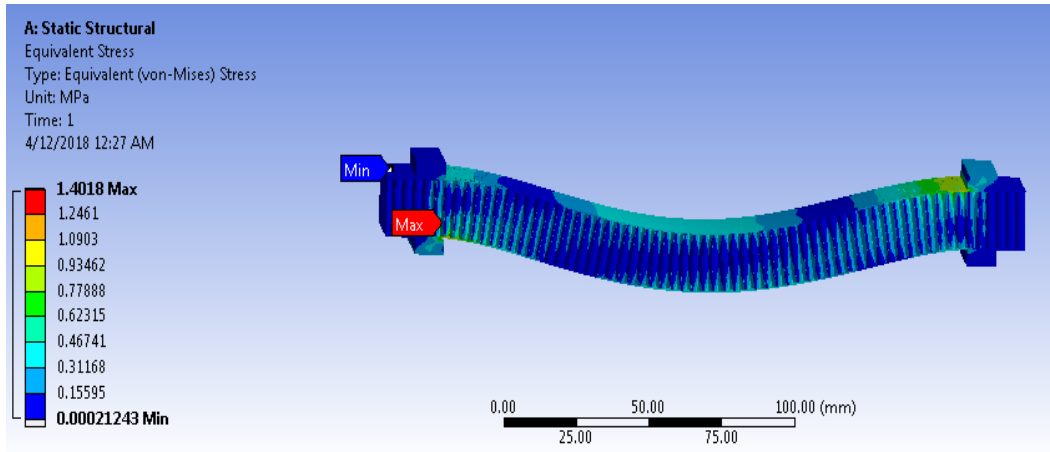
Dan dijelaskan dalam grafik titik lendutan yang paling rendah terletak pada sarang lebah 2 mm, dikarenakan diameter *hexagon* 2 mm, lebih kecil dan jumlah *hexagon* yg paling banyak di banding yang lain dan lebih kuat.

4.2.7 Hasil Pembahasan *Equivalent Stress Static Struktural*

1. Geometri Sarang Lebah 2 mm

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki panjang 220 mm, lebar 55 mm dan kedalaman *hexagon* 17,20 mm, ketebalan plat (kulit) 0,4 mm dan ketebalan sarang lebah 18 mm.

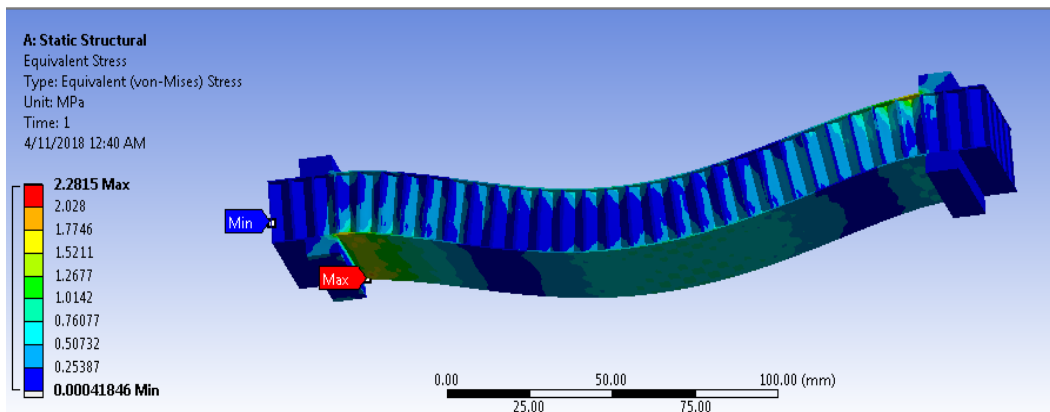
Bahwa hasil simulasi *equivalent stress* pada sarang lebah 2 mm yaitu tegangan maximumnya terletak di *hexagon* sarang lebah dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dari hasil gambar 4.19 di halaman selanjutnya dapat dihasilkan tegangan maksimum 140,18 MPa.



Gambar 4.19: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 2 mm.

2. Geometri Sarang Lebah 4 mm.

Bahwa hasil simulasi pada sarang lebah 4 mm yaitu tegangan maximumnya di bagian samping pada plat pada sarang lebah yang memperlihatkan sarang lebah 4 mm, dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dari hasil gambar 4.20 di halaman selanjutnya dapat dihasilkan tegangan maximum 2,2815 MPa.

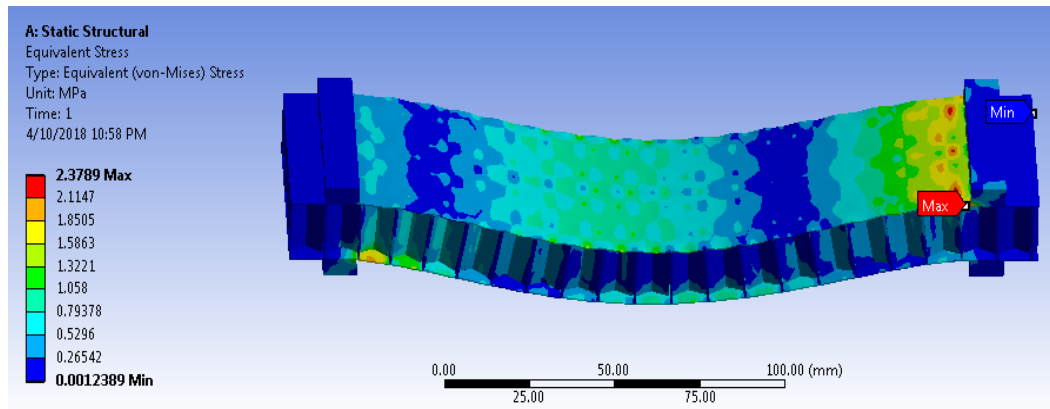


Gambar 4.20: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 4 mm.

3. Geometri Sarang Lebah 6 mm.

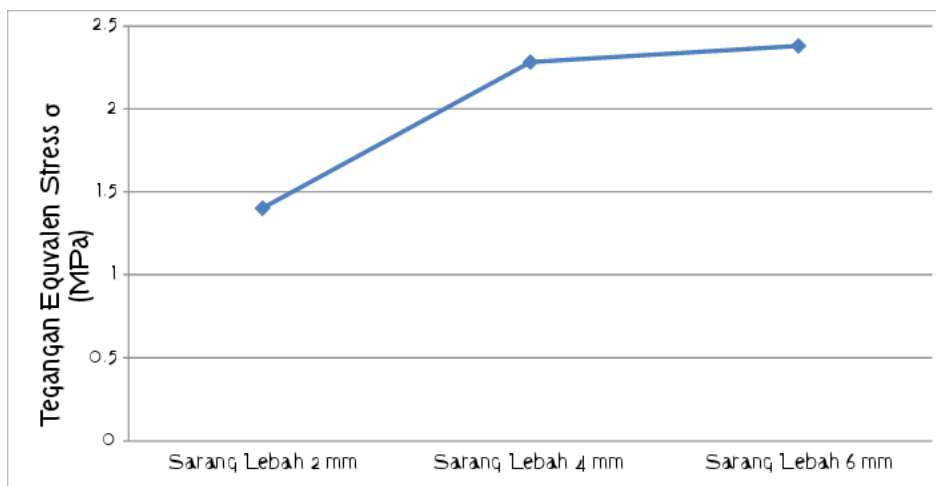
Bahwa hasil simulasi pada sarang lebah 6 mm yaitu tegangan maximum terletak di bagian atas plat yang memperlihatkan sarang

lebah 6 mm, dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dan hasil gambar 4.21 di bawah ini dapat dihasil kan tegangan maksimum 2,3789 MP a.



Gambar 4.21 Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 6 mm

12.8 Hasil Grafik Dari Simulasi *Equivalent Stress* Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, Dan 6 mm



Gambar 4.22 Grafik Simulasi *Equivalent Stress*

Dengan sarang lebah *equivalent stress* dengan pembebanan daya sarang lebah 100 N.

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm pada titik max

pengujian tekan mengalami perubahan bentuk sarang lebah 2 mm, memiliki tegangan maximum 1,4018 MPa, pada sarang lebah 4 mm, memiliki tegangan maximum 2,2815 MPa, pada sarang lebah 6 mm memiliki tegangan maximum 2,3789 MPa.

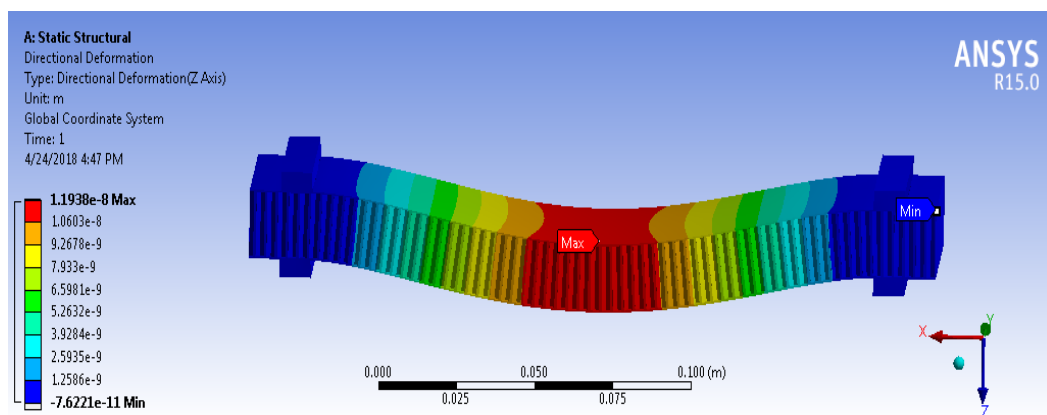
Dan dijelaskan dalam grafik titik tegangan yang paling rendah terletak pada sarang lebah 2 mm dikarenakan diameter *hexagon* 2 mm lebih kecil dan jumlah *hexagon* yang paling banyak dibanding yang lain lebih rapat dan lebih kuat.

4.2.9. Hasil Pembahasan Total Deformation Dengan Sudut 90°

1. Geometri Sarang Lebah 2 mm.

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki panjang sarang lebah 220 mm dengan lebar 55 mm, kedalaman *hexagon* 17,20 mm, ketebalan plat luar 0,4 mm, dan tebal sarang lebahnya 18 mm.

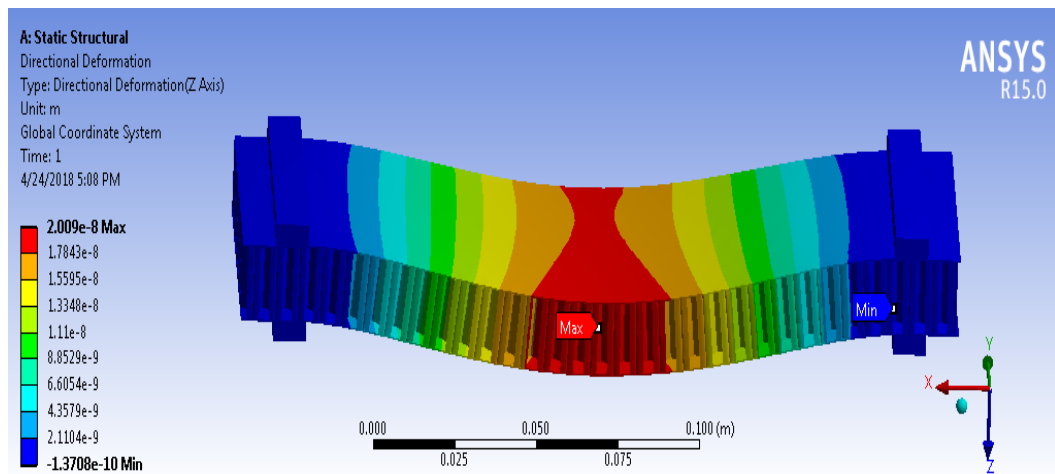
Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 2 mm, yaitu lendutan maximumnya terletak di kulit sarang lebah dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.23 di bawah ini dapat dihasilkan lendutan maximumnya 1,1938 mm.



Gambar 4.23: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 2 mm.

2. Geometri sarang lebah 4 mm.

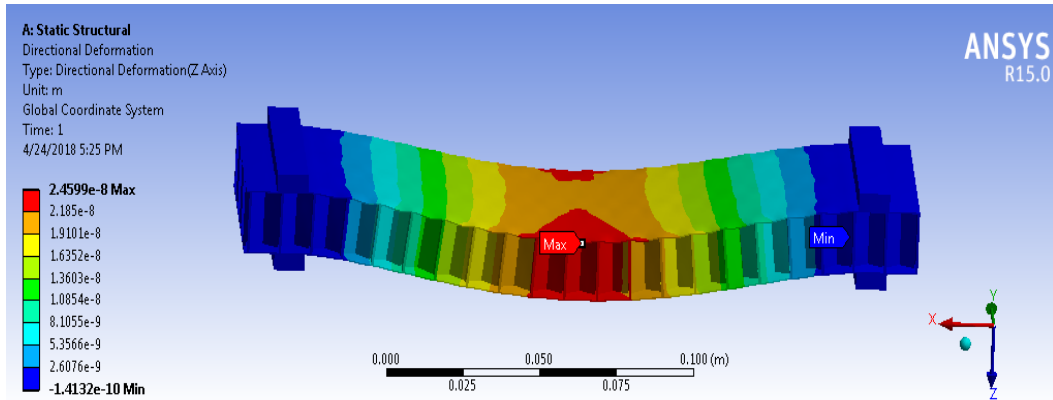
Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 4 mm yaitu lendutan maximumnya terletak di bagian hexagon sarang lebah yang memperlihatkan sarang lebah 4 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.24 di halaman selanjutnya dapat dihasilkan lendutan maksimum 2,009 mm.



Gambar 4.24: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 4 mm

3. Geometri Sarang Lebah 6 mm

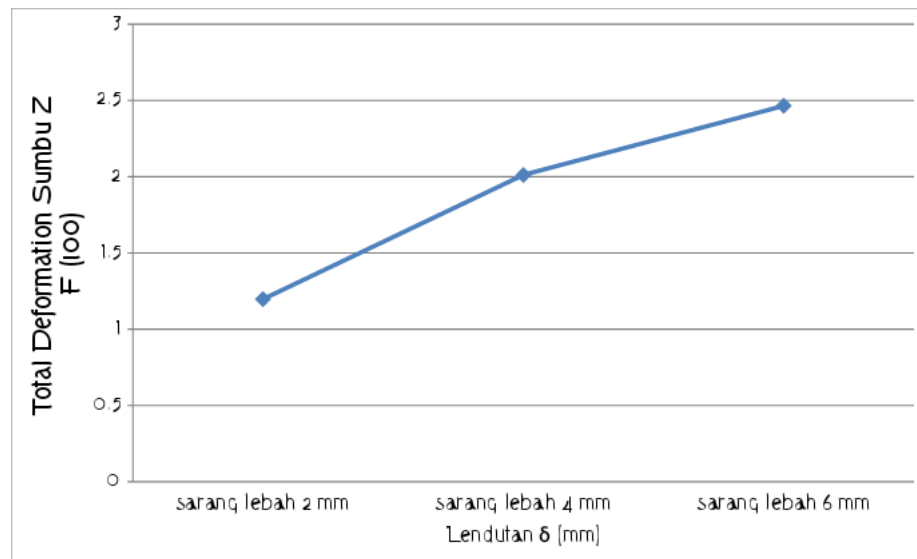
Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 6 mm yaitu lendutan maximumnya terletak plat yang memperlihatkan sarang lebah 6 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.25 di bawah ini dapat dihasilkan lendutan maximum 2,4599 mm.



Gambar 4.25 Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 6 mm.

4.2.10 Hasil Grafik Dari Simulasi Total Deformation Pada Sarang Lebah 2 mm,

4 mm, Dan 6 mm



Gambar 4.26: Grafik Simulasi Total Deformation

Dengan pembebanan total deformation sarang lebah dengan pembebanan daya 100 N adalah :

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm pada titik max pengujian tekan mengalami perubahan bentuk sarang lebah pada sarang lebah 2 mm, memiliki lendutan maximum 1,1938 mm, pada sarang

lebah 4 mm mengalami kenaikan, memiliki lendutan maximum 2,009 mm, dan pada saang lebah 6 mm, mengalami kenaikan memiliki lendutan maximum 2,4599 mm.

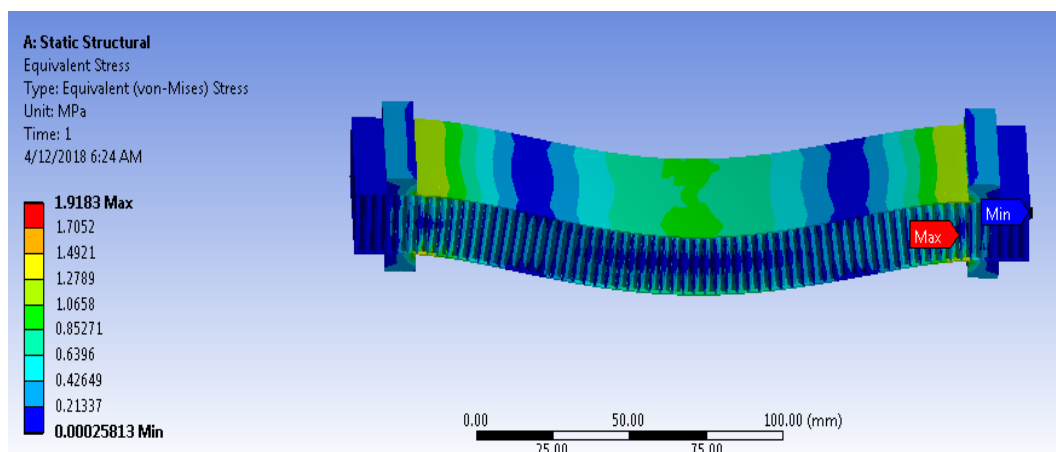
D an dijelas kan dalam gerafik titik lendutan yang paling rendah terletak pada saang lebah dikarenakan diameter *hexagon* sarang lebah 2 mm. lebih kecil dan jumlah *hexagon* yang paling banyak di banding yang lain dan lebih kuat.

4.2.11 Hasil Pembahasan *Equivalent Stress* *Struktural*

1. Geometri Sarang Lebah 2 mm

P ada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki panjang 220 mm, lebar 55 mm dan kedalaman *hexagon* 17,20 mm ,ketebalan plat (kulit) 0,4 mm dan ketebalan sarang lebah 18 mm.

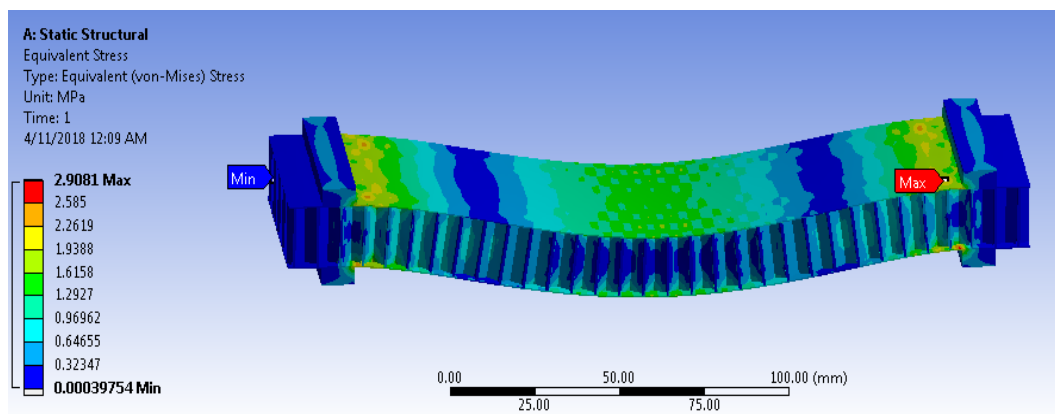
B ahwa hasil simulasi *equivalent stress* pada sarang lebah 2 mm yaitu tegangan maximumnya terletak di *hexagon* dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dari hasil gambar 4.27 di bawah ini dapat dihasilkan tegangan maksimum 1,9183 MP a.



Gambar 4.27: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 2 mm

2. Geometri Sarang Lebah 4 mm

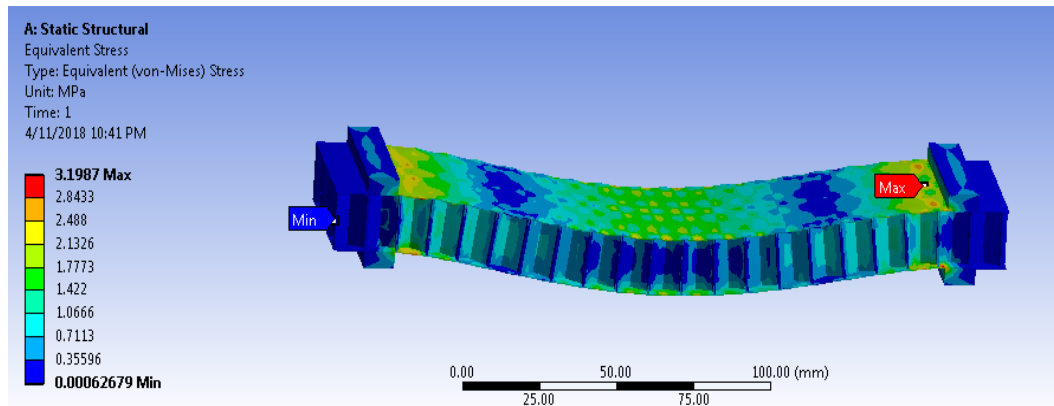
Bahwa hasil simulasi pada sarang lebah 4 mm yaitu tegangan maximumnya di bagian samping pada plat pada sarang lebah yang memperlihatkan sarang lebah 4 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dari hasil gambar 4.28 di halaman selanjutnya dapat dihasilkan tegangan maximum 2,9081 MPa.



Gambar 4.28: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 4 mm.

3. Geometri Sarang Lebah 6 mm

Bahwa hasil simulasi pada sarang lebah 6 mm yaitu tegangan maximumnya terletak di bagian atas plat yang memperlihatkan sarang lebah 6 mm, dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dan hasil gambar 4.29 di bawah ini dapat dihasilkan tegangan maximum 3,1987 MPa.

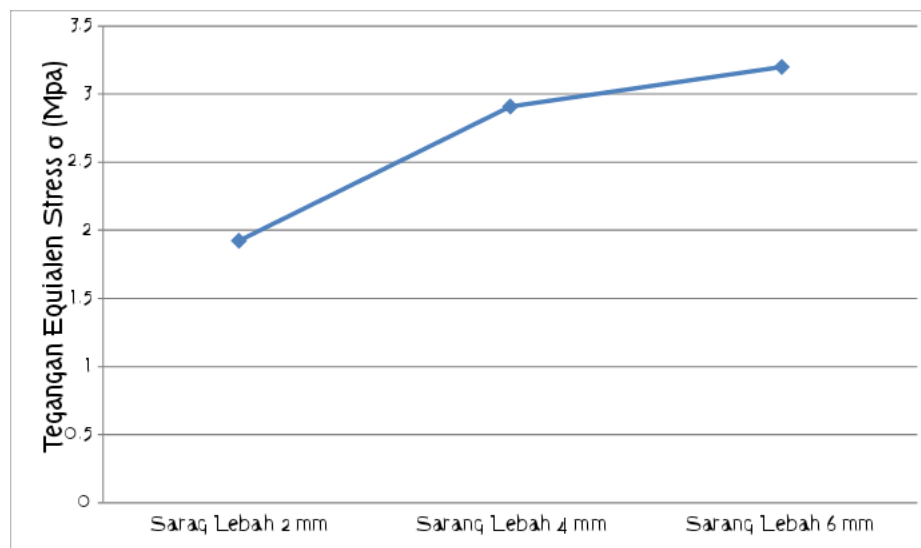


Gambar 4.29 Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 6 mm.

4.2.12 Hasil Grafik Dari Simulasi *Equivalent Stress* Pada Sarang

Lebah 2 mm,

4 mm, dan 6 mm



Gambar 4.30: Grafik Simulasi *Equivalent Stress*

Dengan sarang lebah *equivalent stress* dengan pembebanan daya sarang lebah 100 N adalah ;

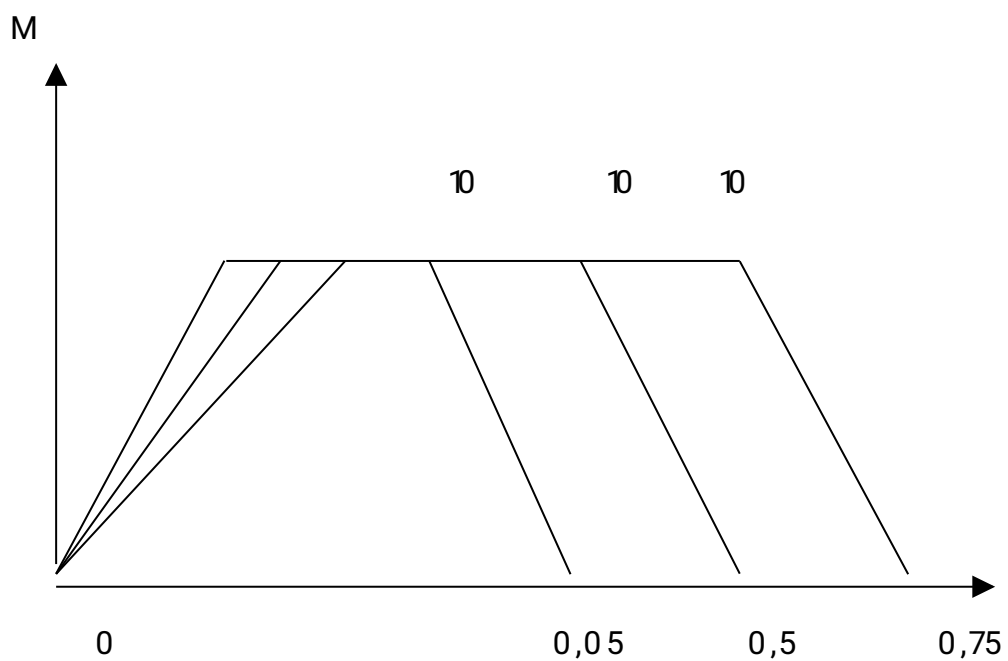
Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm pada titik max pengujian tekan mengalami perubahan bentuk sarang lebah 2 mm, memiliki tegangan maximum 1,9183 MPa, Pada sarang lebah 4 mm,

memiliki tegangan maximum 2,9081 MP a, pada sarang lebah 6 mm memiliki tegangan maximum 3,1987 MP a.

Dan dijelaskan dalam grafik titik tegangan yang paling rendah terletak pada saang lebah 2 mm dikarenakan diameter *hexagon* 2 mm. lebih kecil, jumlah *hexagon* yang paling banyak di banding yang lain lebih kuat.

4.3 Hasil Pembahasan *Explicit* (Dinamis)

4.3.1 Grafik Setingan Waktu



t

Tabel 4.1 Settingan Waktu

Time (s)	Momen N/mm
0	0
0,05	10
0,5	10
0,75	10

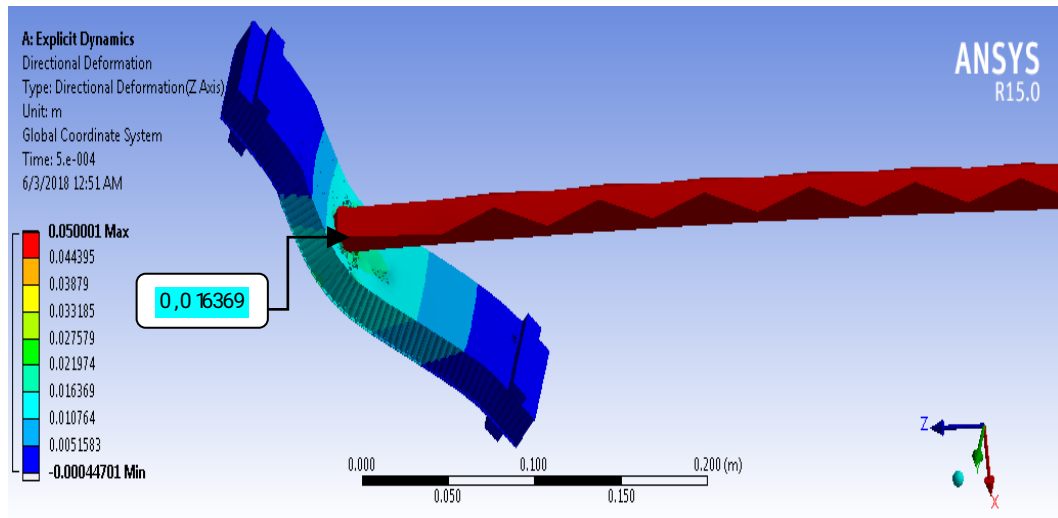
4.3.2 Hasil Pembahasan Total *Deformation* Dengan Sudut 45°

1. Geometri Sarang Lebah 2 mm

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki panjang sarang lebah 220 mm dengan lebar 55 mm, kedalaman *hexagon* 17,20 mm, ketebalan plat (kulit) 0,4 mm, dan tebal sarang lebahnya 18 mm.

Untuk total *deformation step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10.

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 2 mm yaitu lendutan maksimumnya terletak pada *hexagon* sarang lebah dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.31 di bawah ini dapat dihasilkan lendutan maksimumnya 0,016369 mm.



Gambar 4.31: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 2 mm

Table 4.2: Hasil Tabular Data Sarang Lebah 2 mm

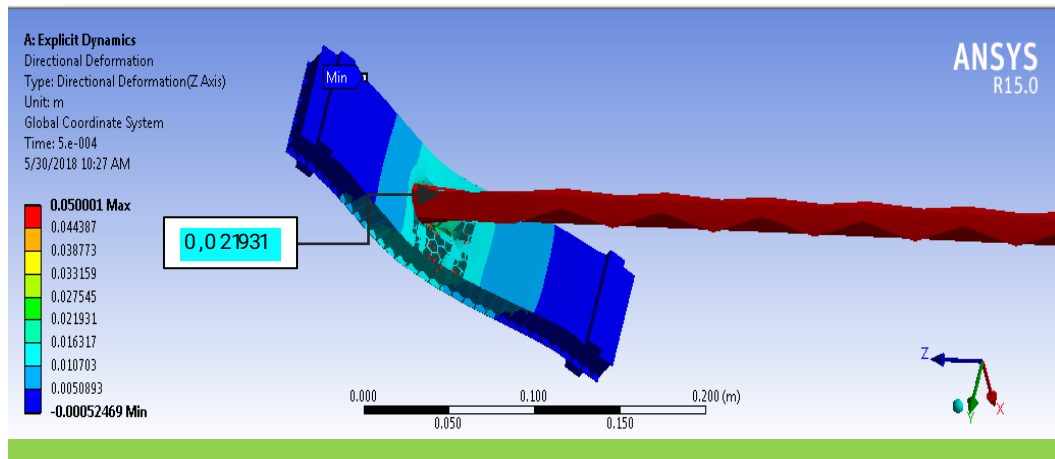
No	Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1	1,1755e-038	0	0
2	2,5e-005	-8,203e-006	2,5002e-003
3	5,0001e-005	-5,7015e-005	5,0001e-003
4	7,5001e-005	-2,9644e-005	7,5001e-003
5	1e-004	-2,982e-005	1e-002
6	1,25e-004	-3,6363e-005	1,2e-002
7	1,5e-004	-6,7486e-005	1,5e-002
8	1,75e-004	-9,1079e-005	1,75e-002
9	2,e-004	-7,0226e-004	2,e-002
10	2,25e-004	-1,226e-004	2,25e-002

2. Geometri Sarang Lebah 4 mm

Untuk total *deformation step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10.

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 4 mm yaitu lendutan maksimumnya terletak di bagian hexagon sarang lebah

yang memperlihatkan sarang lebah 4 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.32 di bawah ini dapat di hasilkan lendutan maksimum 0.02193 mm.



Gambar 4.32: Hasil Simulasi Total *Deformation* Sarang Lebah 4 mm

Tabel 4.3: Hasil Tabular Data Sarang Lebah 4 mm

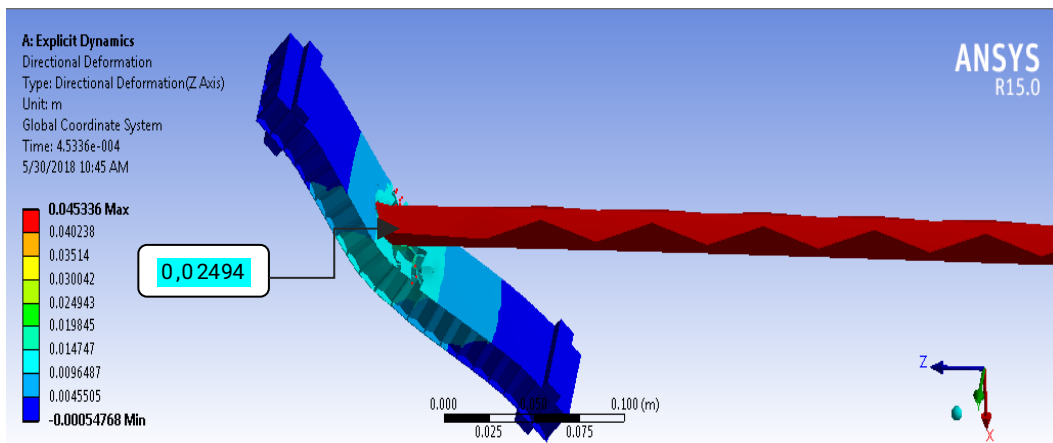
No	Time (s)	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1	1.1755e-038	0	0
2	2.5008e-005	0	2.5008e-003
3	5.0007e-005	-2.1419e-005	3.0012e-003
4	7.5006e-005	-1.0688e-044	7.5007e-003
5	1.0001e-004	-6.143e-005	1.0001e-002
6	1.25e-004	-4.5684e-005	1.2501e-002
7	1.5e-004	-3.8112e-005	1.50001e-002
8	1.75e-004	-4.819e-005	1.75e-002
9	2.001e-004	-7.2869e-005	2.0001e-002
10	2.2501e-004	-8.4623e-005	2.2501e-002

3. Geometri Sarang Lebah 6 mm

Untuk total *deformation step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 6 mm,

yaitu lendutan maximumnya terletak pada *hexagon* yang memperlihatkan sarang lebah 6 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.33 dibawah ini dapat dihasilkan lendutan maximum 0,024943 mm.



Gambar 4.33: Hasil Simulasi Total *Deformation* Sarang Lebah 6 mm.

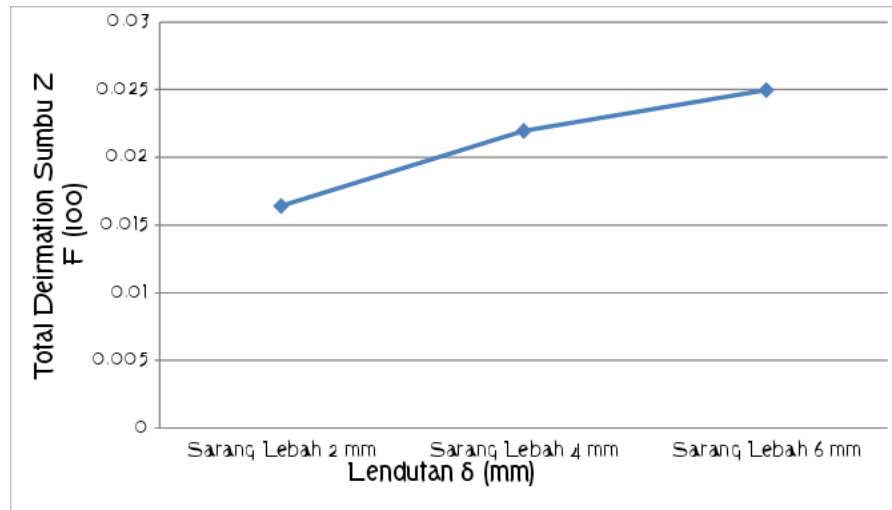
Tabel 4.4: Hasil Tubuler Data Dari Sarang Lebah 6 mm

N 0	Time (s)	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1	1.1755e-038	0	0
2	2.5012e-005	0	2.5012e-003
3	5.0008e-005	-6379e-005	5.0009e-003
4	7.5003e-005	-17337e-005	7.5003e-003
5	1.0001e-004	-39502e-005	1.0001e-002
6	1.2501e-004	-3.9647e-005	1.2501e-002
7	1.5e-004	-4.664e-005	1.5e-002
8	1.7501e-004	-7.9877e-005	1.7501e-002
9	2.0001e-004	-9.5583e-005	2.0001e-002
10	2.25e-004	-11022e-004	2.25e-002

4.3.3 Hasil Grafik Dari Simulasi Total *Deformation* Pada Sarang

Lebah 2 mm,

4 mm, dan 6 mm



Gambar 4.34: Grafik Simulasi Total *Deformation*

Dengan pembebanan total *deformation* dengan pembebanan daya 100 N adalah:

Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm pada titik max pengujian tekan mengalami perubahan bentuk sarang lebah, pada sarang lebah 2 mm, memiliki lendutan maximum 0,016369 mm, pada sarang lebah 4 mm, mengalami kenaikan, memiliki lendutan maximum 0,021931 mm, dan pada sarang lebah 6 mm mengalami kenaikan memiliki lendutan maximum 0,024945 mm.

Dan dijelaskan dalam grafik titik lendutan yang paling rendah terletak pada sarang lebah 2 mm dikarenakan diameter *hexagon* 2 mm lebih kecil dan jumlah *hexagon* yang paling banyak di banding yang lain sehingga lebih rapat dan lebih kuat.

4.3.4 Hasil Pembahasan *Equivalent Stress Explicit* (dinamis)

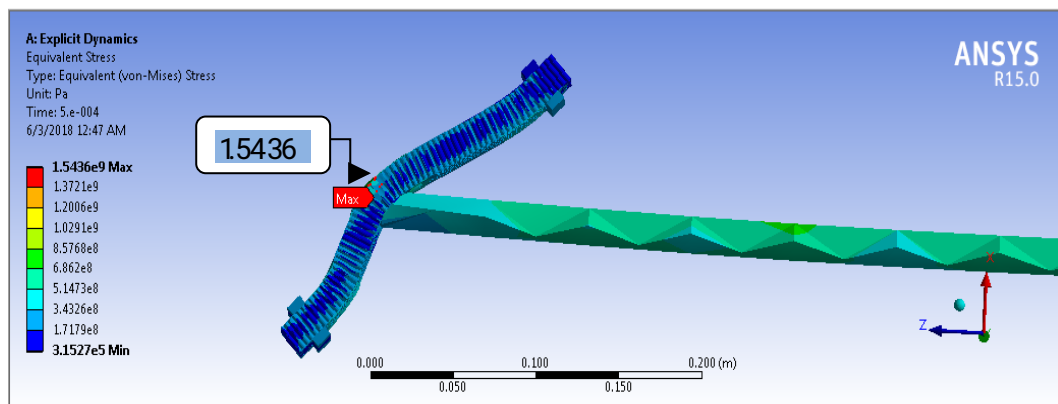
1. Geometri Sarang Lebah 2 mm

Pada Sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki panjang

220 mm, lebar 55 mm dan kedalaman *hexagon* 17.20 mm ,ketebalan plat (kulit) 0.4 mm dan ketebalan saran lebah 18 mm.

U ntuk *equivalen stress step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10 , *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

B ahwa hasil simulasi *equivalent stress* pada sarang lebah 2 mm yaitu tegangan maximumnya terletak di bawah kulit *hexagon* dengan simulasi pembebanan 100 N . akibat *equivalent stress* dari hasil gambar 4.35 dibawah ini dapat dihasil kan tegangan maksimum 1,5436 MP a.



G ambar 4.35: H asil S imulasi *E quivqlent S tress*S arang L ebah 2 mm.

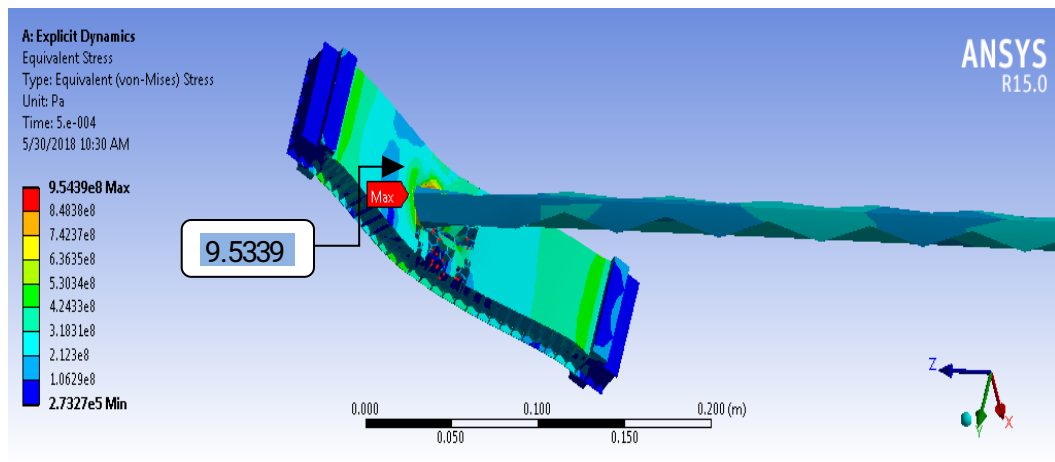
T abel 4.5: H asil T abular D ata D ari S arang L ebah 2 mm

No	Time [s]	Minimum [MP a]	Maximum [M P A]
1	11755e-038	0	0
2	2,5e-005	0	2.7777e+008
3	5,0001e-005	0	3.6201e+008
4	7,5001e-005	0	5,3988e+008
5	1e-004	0	4,4765e+008
6	1,25e-004	0	4,7845e+008
7	1,5e-004	0	8.8191e+008
8	1,75e-004	0	8,8712e+008
9	2,e-004	0	8,5113e+008
10	2,25e-005	0	7,9551e+008

2. Geometri S arang L ebah 4 mm

Untuk *equivalen stress step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi pada sarang lebah 4 mm yaitu tegangan maximumnya terletak di bagian atas plat pada sarang lebah, yang memperlihatkan sarang lebah 4 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalen stress* dari hasil gambar 4.36 di bawah ini dapat dihasilkan tegangan maximum 9,5339 MPa.



Gambar 4.36: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 4 mm.

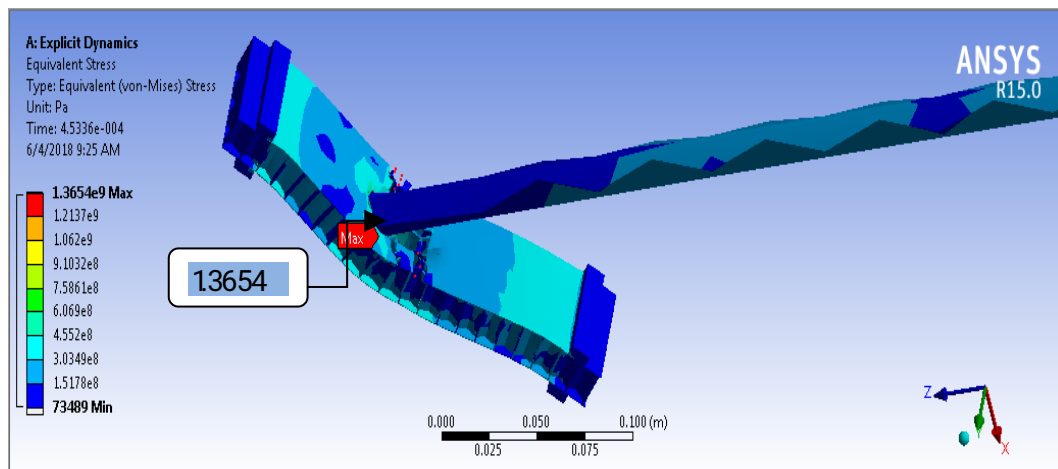
Tabel 4.6: Hasil Tabular Data dari Sarang Lebah 4 mm

No	Time (s)	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1	1.1755e-038	0	0
2	2.5008e-005	0	0
3	5.0007e-005	0	2.8357e+008
4	7.5006e-005	0	8.2079e+008
5	1.0001e-004	0	4.4272e+008
6	1.25e-004	0	6.0895e+008
7	1.5e-004	0	5.369e+008
8	1.75e-004	0	6.7922e+008
9	2.0001e-004	0	6.7757e+008
10	2.2501e-004	0	7.252e+008

3. Geometri Sarang Lebah 6 mm

Untuk *equivalent stress step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi pada sarang lebah 6 mm yaitu tegangan maximum terletak di bagian atas plat yang memperlihatkan sarang lebah 6 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dan hasil gambar 4.37 di bawah ini dapat dihasil kan tegangan maximum 13654 MP a.



Gambar 4.37: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 6 mm

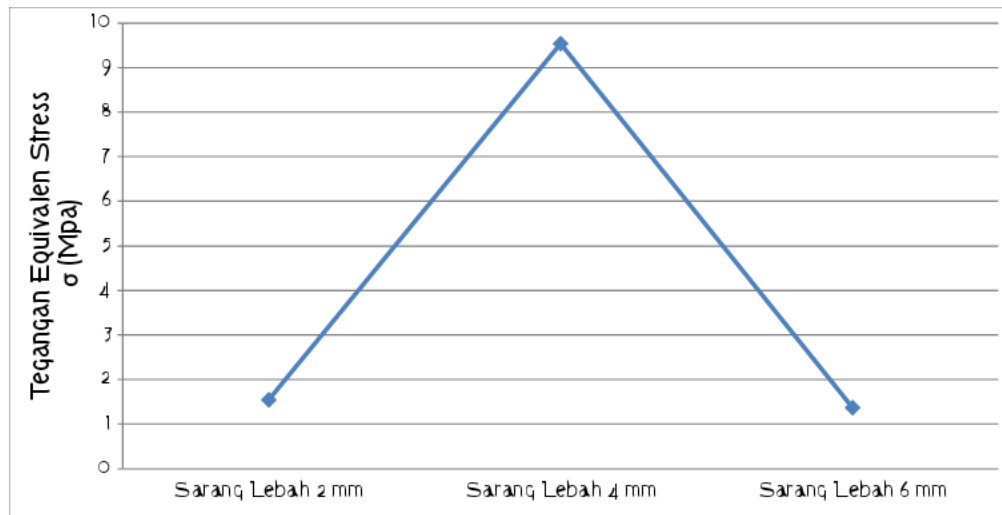
Table 4.7: Hasil Tabular Data dari Sarang Lebah 6 mm

No	Time (s)	Minimum [MP a]	Maximum [MP a]
1	1.1755e-038	0	0
2	2.5012e-005	0	0
3	5.0008e-005	0	2.7738e+008
4	7.5003e-005	0	3.4896e+008
5	1.0001e-004	0	4.00087e+008
6	1.2501e-004	0	4.6169e+008
7	1.5e-004	0	4.4505e+008
8	1.7501e-004	0	5.001e+008
9	2.0001e-004	0	6.058e+008

10	2.25e-004	0	7.2859e+008
----	-----------	---	-------------

4.3.5 Hasil Grafik Dari Simulasi *Equivalent Stress* Pada sarang lebah 2 mm,

4 mm, dan 6 mm



Gambar 4.38: Grafik Simulasi *Equivalent Stress*

Dengan sarang lebah *equivalent stress* dengan pembebanan daya sarang lebah 100 N.

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm pada titik max pengujian mengalami perubahan bentuk sarang lebah, 2 mm memiliki tegangan maximum 1,5436 MPa, Pada sarang lebah 4 mm, memiliki tegangan maximum 9,5339 MPa, pada sarang lebah 6 mm, memiliki tegangan maximum 1,3654 MPa.

Dan dijelaskan dalam grafik titik tegangan yang paling rendah terletak pada sarang lebah 2 mm dikarenakan diameter *hexagon* 2 mm. lebih kecil dan jumlah *hexagon* yang paling banyak di banding yang lain dan menjadi lebih kuat.

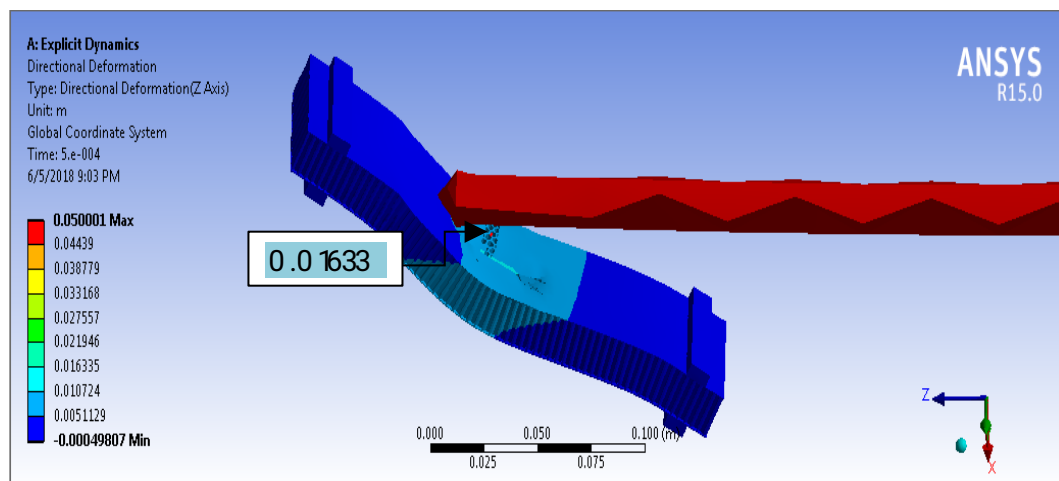
4.3.6 Hasil Pembahasan Total Deformation Dengan Sudut 60°

1. Geometri Sarang Lebah 2 mm

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki panjang sarang lebah 220 mm dengan lebar 55 mm, kedalaman *hexagon* 17.20 mm, ketebalan plat luar 0.4 mm, dan tebal saang lebah 18 mm.

Untuk total *deformation step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 2 mm, yaitu ledutan maksimumnya terletak di *hexagon* sarang lebah dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.39 dibawah ini dapat dihasilkan lendutan maksimumnya 0,016335 mm.



Gambar 4.39: Hasil Simulasi Total Deformation Sarang Lebah 2 mm

Tabel 4.8: Hasil Tabular Data dari Sarang Lebah 2 mm

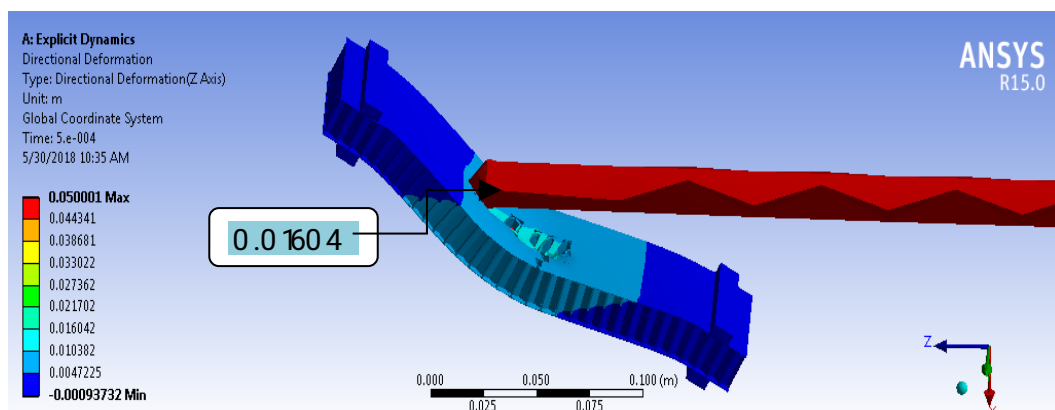
No	Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1	1,1755e-038	0	0,

2	2,5008e-005	0	2,5008e-003
3	5,007e-005	-2,1419e-005	5,0012e-003
4	7,5006e-005	-1,0688e-004	7,5007e-003
5	1,0001e-004	-6,1443e-005	1,0001e-002
6	1,25e-004	-4,5684e-005	1,2501e-002
7	1,5e-004	-3,812e-005	1,5001e-002
8	1,75e-004	-4,819e-005	1,75e-002
9	2,001e-004	-7,2869e-005	2,001e-002
10	2,2501e-004	-8,4623e-005	2,2501e-002

2. Geometri Sarang Lebah 4 mm

Untuk total *deformation step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 4 mm yaitu tegangan maximumnya terletak di bagian plat Sarang Lebah yang memperlihatkan sarang lebah 4 mm, dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.40 di bawah ini dapat di hasilkan lendutan maksimum 0,016042 mm



Gambar 4.40: Hasil Simulasi Total *Deformation* Sarang Lebah 4 mm.

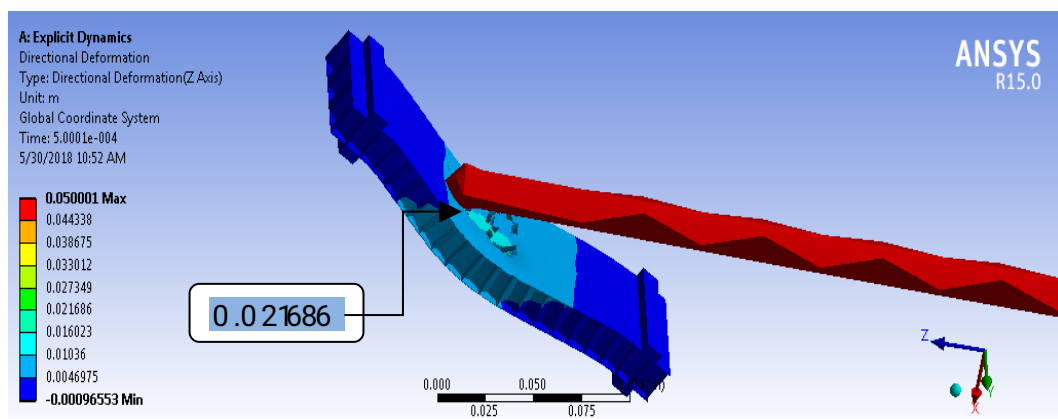
Table 4.9: Hasil Tabular Data dari Sarang Lebah 4 mm

No	Time (s)	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1	1.1755e-038	0	0
2	2.5008e-005	0	2.5009e-003
3	5.0008e-005	0	5.0008e-003
4	7.0008e-005	0	7.5007e-003
5	1.0001e-004	0	1.0001e-002
6	1.25e-004	0	1.2501e-002
7	1.5e-004	0	1.5001e-002
8	1.75e-004	0	1.7501e-002
9	2.e-004	0	2.e-002
10	2.2501e-004	0	2.2501e-002

3. Geometri Sarang Lebah 6 mm

Untuk total *deformation step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 6 mm yaitu lendutan maximumnya terletak plat yang memperlihatkan sarang lebah 6 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.41 dibawah ini dapat dihasilkan lendutan maximum 0,021686 mm.

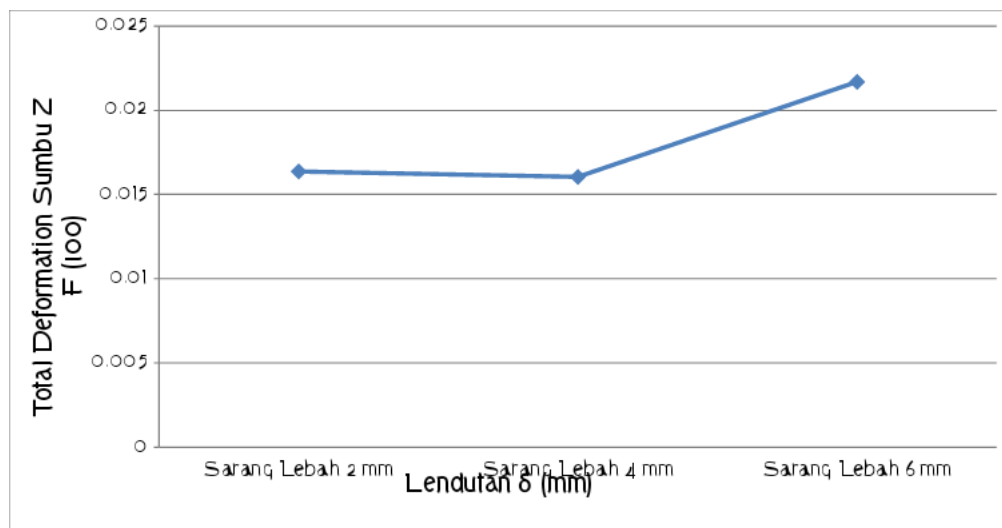


Gambar 4.41: Hasil Simulasi Total *Deformation* Sarang Lebah 6 mm.

Table 4.10: Hasil Tabular Data dari Sarang Lebah 6 mm

No	Time [s]	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1.	1.1755e-038	0	0
2.	2.5013e-005	-2.7191e-010	2.5013e-003
3.	5.0008e-005	-2.9222e-006	5.001e-003
4.	7.5004e-005	-1.2721e-005	7.5004e-003
5.	10.001e-004	-1.6315e-005	10.001e-002
6.	1.2501e-004	-2.3578e-055	1.5001e-002
7.	1.5e-004	-1.721e-005	1.5001e-002
8.	1.7501e004	-3.9247e-005	1.7501e-002
9.	2.0001e-004	-7.0593e-005	2.0001e-002
10.	2.25e-004	-9.8307e-005	2.25e-002

4.3.7 Hasil Grafik Simulasi Dari Total Deformation Pada Sarang Lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm



Gambar 4.42: Grafik Simulasi Total Deformation

Dengan pembebanan total deformation sarang lebah dengan pembebanan daya 100 N adalah:

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm titik max pengujian

mengalami perubahan bentuk sarang lebah, pada sarang lebah 2 mm, memiliki lendutan maximum 0,016042 mm, pada 4 mm, sarang lebah mengalami kenaikan, memiliki lendutan maximum 0,016042 mm, dan pada sarang lebah 6 mm, mengalami kenaikan memiliki lendutan maximum 0,021686 mm.

Dan dijelaskan dalam grafik titik lendutan yang paling rendah terletak pada sarang lebah 2 mm, dikarenakan diameter *hexagon* 2 mm, lebih kecil dan jumlah *hexagon* yang paling banyak di banding yang lain dan lebih kuat.

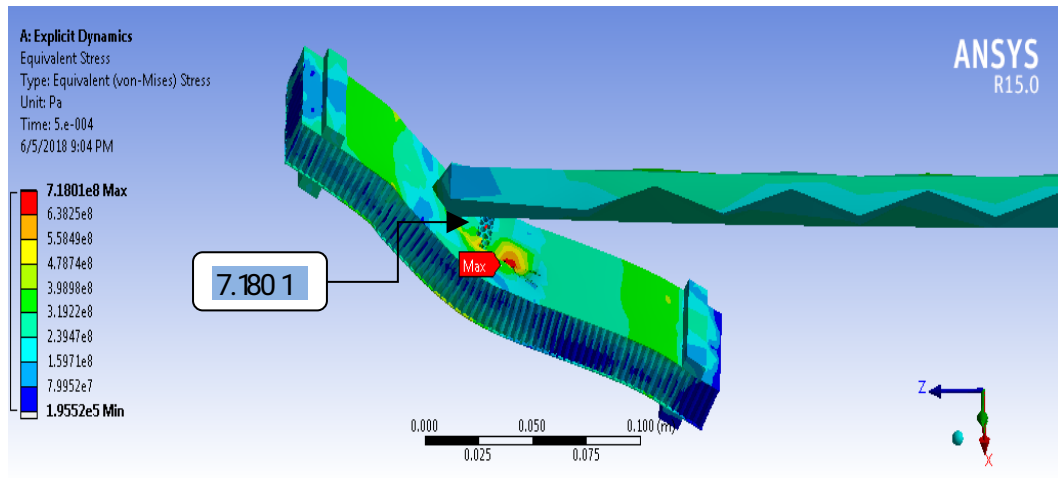
4.3.8 Hasil Pembahasan *Equivalent Stress Explicit* (Dinamis)

1. Geometri Sarang Lebah 2 mm.

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki panjang 220 mm, lebar 55 mm dan kedalaman *hexagon* 17.2 mm, ketebalan plat (kulit) 0.4 mm dan ketebalan sarang lebah 18 mm.

Untuk *equivalent stress step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi *equivalent stress* pada sarang lebah 2 mm yaitu tegangan maximumnya terletak di *hexagon* dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dari hasil gambar 4.43 dibawah ini dapat dihasilkan tegangan maksimum 7,1801 MPa.



Gambar 4.43: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 2 mm.

Tabel 4.11: Hasil Tabular Data dari Sarang Lebah 2 mm

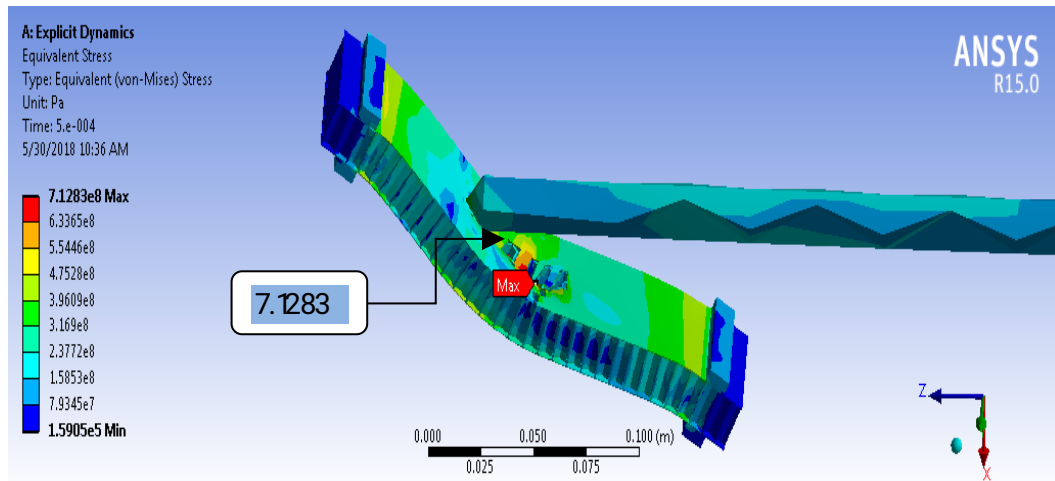
No	Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1	1,1755e-0,38	0	0
2	2,5008e-005	0	0
3	5,0007e-005	0	2,5008e+008
4	7,5006e-005	0	8,2079e+008
5	1,0001e-004	0	4,4272e+008
6	1,25e-004	0	6,0895e+008
7	1,5e-004	0	5,1369e+008
8	1,75e-004	0	6,7922e+008
9	2,0001e-004	0	6,7757e+008
10	2,25e-004	0	7,252e+008

2. Geometri Sarang Lebah 4 mm

Untuk *equivalen stress step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi pada sarang lebah 4 mm yaitu tegangan maximumnya di bagian samping plat pada saang lebah, yang

memperlihatkan sarang lebah 4 mm, dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dari hasil gambar 4.44 di bawah ini dapat dihasilkan tegangan maximum 7,1283 MPa.



Gambar 4.44: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 4 mm.

Table 4.12: Hasil Tabular Data Dari Sarang Lebah 4 mm

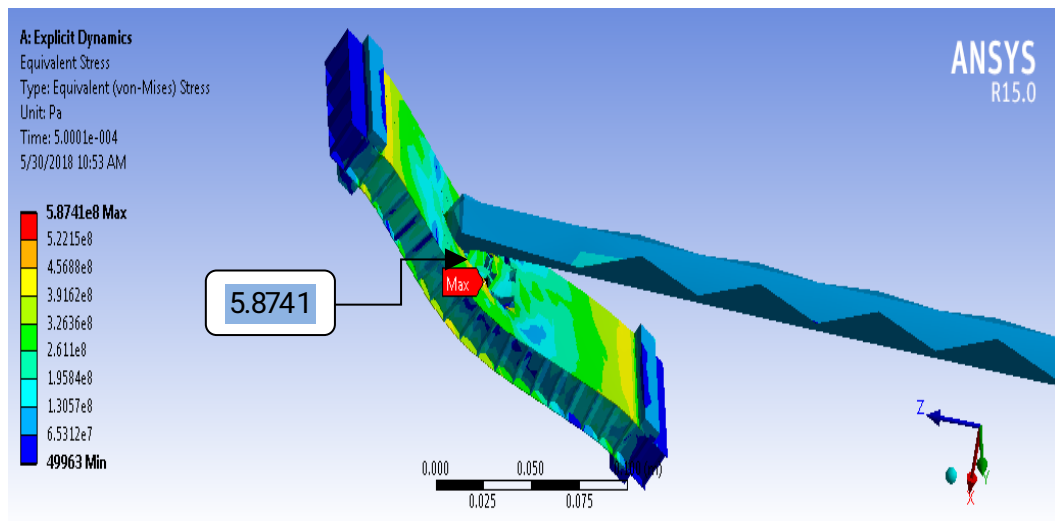
No	Time (s)	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1	1.7755e-038	0	0
2	2.5008e-005	0	1.9873e+008
3	5.0008e-005	0	2.3014e+008
4	7.5007e-005	0	4.2172e+008
5	1.0001e-004	0	5.8268e+008
6	1.25e-004	0	6.1354e+008
7	1.5e-004	0	6.8945e+008
8	1.75e-004	0	7.2577e+008
9	2.e-004	0	9.1014e+008
10	2.2501e-004	0	7.8309e+008

3. Geometri Sarang Lebah 6 mm.

Untuk *equivalent stress step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi pada sarang lebah 6 mm yaitu tegangan

maximum terletak di bagian atas plat yang memperlihatkan sarang lebah 6 mm, dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dan hasil gambar 4.45 di bawah ini dapat dihasilkan tegangan maksimum 5,8741 MPa.



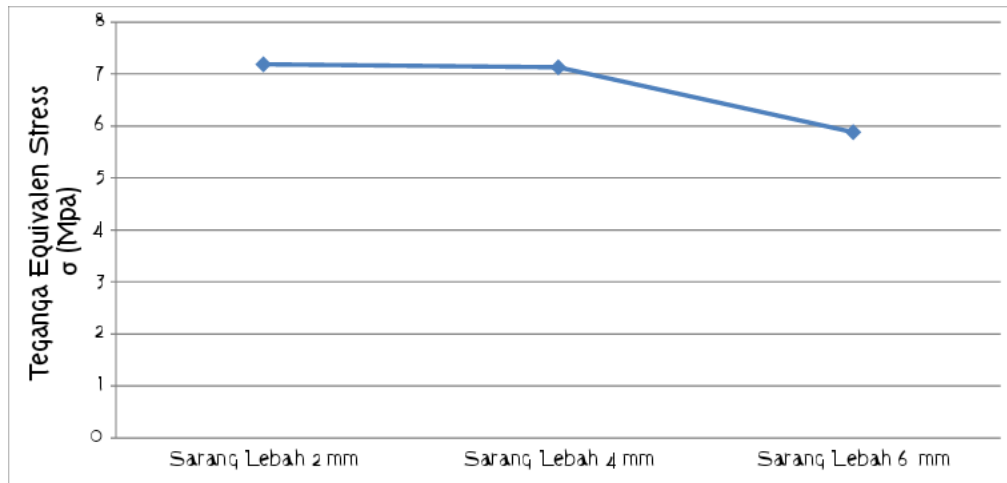
Gambar 4.45: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 6 mm

Table 4.13: Hasil Tabular Data dari Sarang Lebah 6 mm

No	Time (s)	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1	1.1755e-038	0	0
2	2.5013e-005	0	26722
3	5.0008e-005	0	2.7709e+008
4	7.5004e-005	0	2.8147e+008
5	1.0001e-004	0	3.007e+008
6	1.2501e-004	0	4.9184e+008
7	1.5e-004	0	4.1954e+008
8	1.7501e-004	0	6.4053e+008
9	2.0001e-004	0	6.2426e+008
10	2.25e-004	0	7.3229e+008

4.3.9 Hasil Grafik dari Simulasi *Equivalent Stress* pada Sarang Lebah 2 mm,

4 mm, dan 6 mm



Gambar 4.46: Grafik Simulasi *Equivalent Stress*

Dengan sarang lebah *equivalent stress* dengan pembebanan daya sarang lebah 100 N.

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm pada titik max pengujian tekan mengalami perubahan bentuk sarang lebah 2 mm, memiliki tegangan maximum 6,4157 MPa, Pada sarang lebah 4 mm, memiliki tegangan maximum 7,1283 MPa, pada sarang lebah 6 mm memiliki tegangan maximum 5,8741 MPa.

Dan dijelaskan dalam grafik titik tegangan yang paling rendah terletak pada sarang lebah 2 mm dikarenakan diameter *hexagon* 2 mm. lebih kecil dan jumlah *hexagon* yang paling banyak di banding yang lain lebih rapat dan lebih kuat.

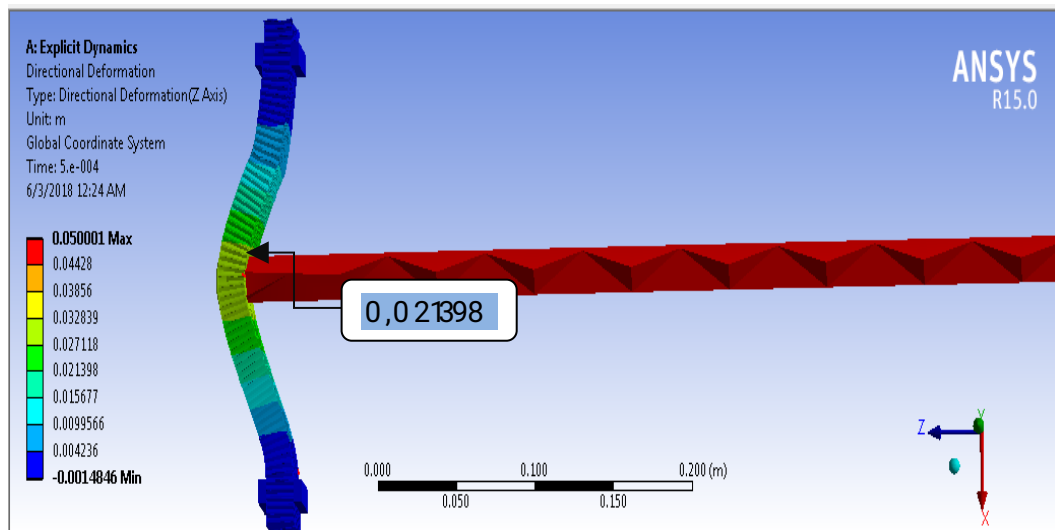
4.3.10. Hasil Pembahasan Total *Deformation* Dengan Sudut 90°

1. Geometri Sarang Lebah 2 mm.

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki panjang sarang lebah 220 mm dengan lebar 55 mm, kedalaman *hexagon* 17,20 mm, ketebalan plat luar 0,4 mm, dan tebal sarang lebah 18 mm.

Untuk total *deformation step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 2 mm, yaitu lendutan maksimumnya terletak di kulit saang lebah dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.47 di bawah ini dapat dihasilkan lendutan maksimumnya 0,021398 mm.



Gambar 4.47: Hasil Simulasi Total *Deformation* Sarang Lebah 2 mm.

Table 4.14: Hasil Tabuler Data Dari Sarang Lebah 2 mm

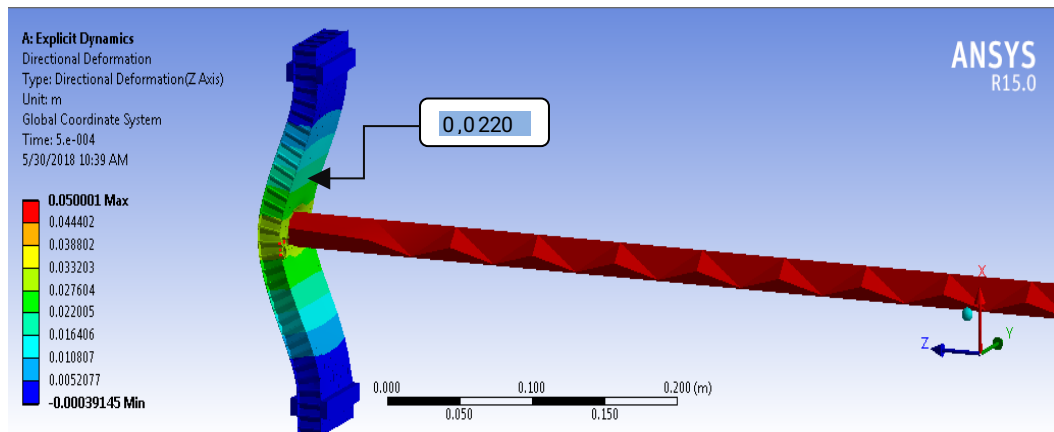
N	Time [s]	Minimum [mm]	M maksimum [mm]
0			
1	1.755e-038	0	0
2	2.5e-005	0	2.5e-003
3	5.e-005	-1.6677e-004	35.e-003
4	7.5e-005	-9.7453e-005	7.5-003
5	1e-004	-3.3361e-006	1e-002
6	1.25e-004	-8.3832e-006	1.25e-002
7	1.5e-004	-2.9041e-005	1.5e002

8	175e-004	-2.4004e-005	175e-002
9	2.e-004	-5.6735e-005	2e-002
10	2.25e-005	-8.0165e-005	2.2501e-002

2. Geometri Sarang Lebah 4 mm.

Untuk total *deformation step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 4 yaitu lendutan maksimumnya terletak di bagian hexagon sarang lebah yang memperlihatkan saran lebah 4 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.48 di bawah ini dapat di hasilkan lendutan maksimum 0,022005 mm.



Gambar 4.48: Hasil Simulasi Total *Deformation* Sarang Lebah 4 mm

Table 4.15: Hasil Tabulat Data Dari sarang lebah 4 mm

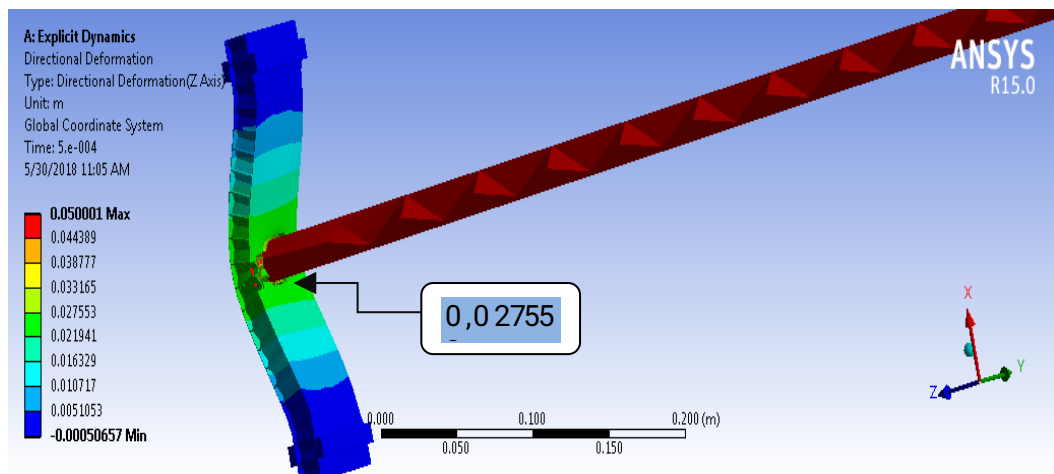
No	Time (s)	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1	1.755e-038	0	0
2	2.5008e-005	0	2.5008e-003
3	5.0007e-005	0	5.0007e-003
4	7.5006e-005	-6.239e-005	7.5006e-003

5	1e-004	-2.834e-005	1e-002
6	125e-004	-1.652e-005	125e-002
7	15e-004	-4.2525e-006	15e-002
8	175e-004	-2.1903e-005	175e-002
9	2.0001e-004	-4.381e-005	2.0001e-002
10	2.2501e-004	-6.3454e-005	2.2501e-002

3. Geometri Sarang Lebah 6 mm

Untuk total *deformation step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi total *deformation* pada sarang lebah 6 mm yaitu lendutan maximumnya terletak plat yang memperlihatkan sarang lebah 6 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat total *deformation* dari hasil gambar 4.49 di bawah ini hasilkan lendutan maximum 0,027553 mm.



Gambar 4.49: Hasil Simulasi Total *Deformation* Sarang Lebah 6 mm

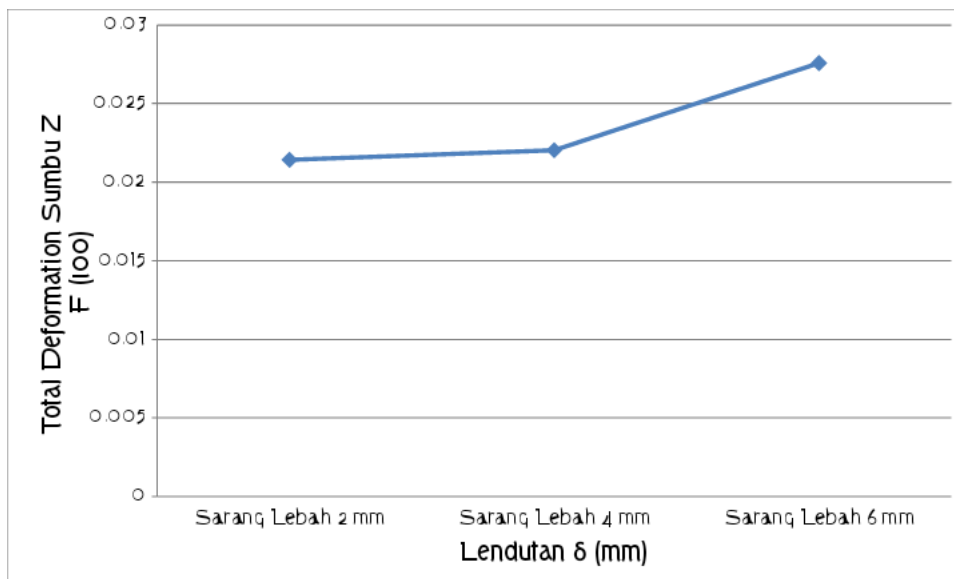
Table 3.16: Hasil Tabular Data dari Sarang Lebah 6 mm

No	Time (s)	Minimum [mm]	Maximum [mm]
1	1.755e-030	0	0

2	2.5012e-005	-5.0415e-005	2.5014e-003
3	5.0008e-005	-2.608e-005	50008e-003
4	7.5003e-004	-3.1087e-005	7.5003e-003
5	10001e-004	-6.4047e-006	10001e-002
6	12501e-004	-1.6032e-005	12501e-002
7	15e004	-4.2216e-005	15e-002
8	17501e-004	-4.0663e-005	17501e-002
9	2.e-004	-7.4222e-005	2.e-002
10	2.2501e-004	-9.4573e-005	2.2501e-002

4.3.11 Hasil Grafik Dari Simulasi Total *Deformation* Pada Sarang Lebah 2 mm,

4 mm, dan 6 mm



Gambar 4.50: Grafik Simulasi Total *Deformation*

Dengan pembebanan total *deformation* dengan pembebanan daya 100 N adalah :

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm pada titik max pengujian tekan mengalami perubahan bentuk sarang lebah pada sarang lebah 2 mm, memiliki lendutan maximum 0.021398 mm, pada sarang lebah 4 mm mengalami kenaikan, memiliki lendutan mximum

0,022005mm, dan pada sarang lebah 6 mm, mengalami kenaikan memiliki lendutan maximum 0,02718 mm.

Dan dijelaskan dalam grafik titik tegangan yang paling rendah terletak pada sarang lebah 2 mm dikarenakan diameter *hexagon* 2 mm. lebih kecil dan jumlah *hexagon* yang paling banyak di banding yang lain dan lebih kuat .

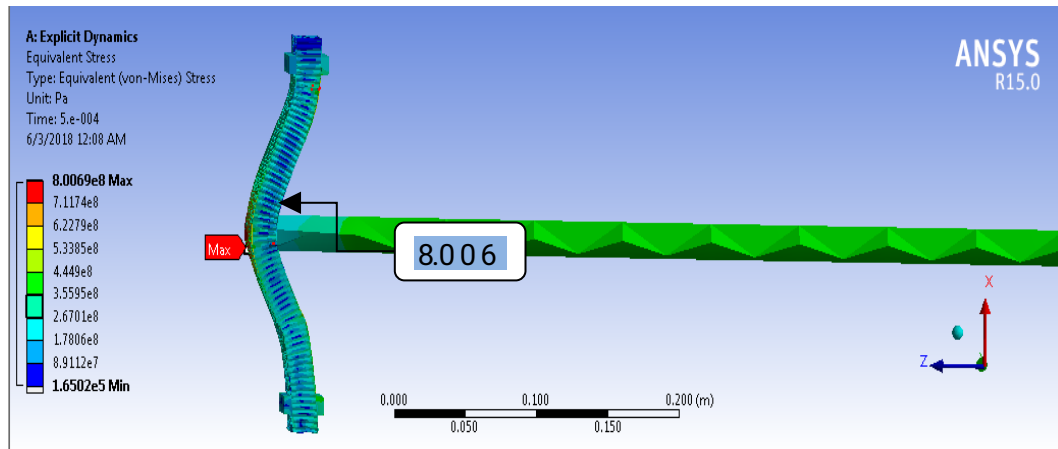
4.3.12 Hasil Pembahasan *Equivalent Stress Explicit* (Dinamis)

1. Geometri Sarang Lebah 2 mm.

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm memiliki panjang 220 mm, lebar 55 mm dan kedalaman *hexagon* 17,20 mm, ketebalan plat (kulit) 0,4 mm dan ketebalan saang lebah 18 mm.

Untuk *equivalent stress step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi *equivalent stress* pada sarang lebah 2 mm yaitu tegangan maximumnya terletak di *hexagon* dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalent stress* dari hasil gambar 4.51 di halaman selanjutnya ini dapat dihasilkan tegangan maksimum 8,0069 MPa.



Gambar 4.51 Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 2 mm

Tabel 3.17: Hasil Tabular Data dari Sarang Lebah 2 mm

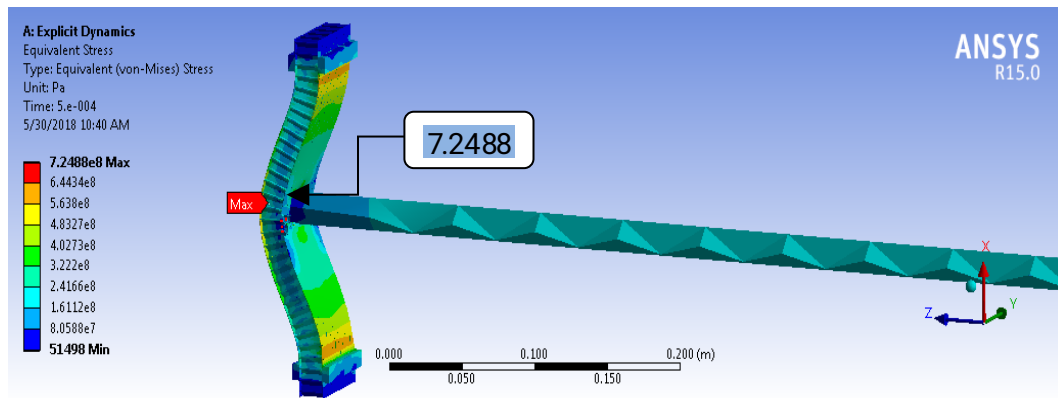
No	Time [s]	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1	1.755e-003	0	0
2	2.5e-005	0	0
3	3.e-005	0	5.4299e+008
4	7.5e-005	0	5.284e+008
5	1e-004	0	5.8609e+008
6	1.25e-004	0	7.6337e+008
7	1.5e-004	0	8.0734e+008
8	1.75e-004	0	6.6631e+008
9	2.e-004	0	6.6946e+008
10	2.25e-004	0	6.511e+008

2. Geometri Sarang Lebah 4 mm

Untuk *equivalen stress step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepsnya* 10, *minimum substepsnya* 1, *maximum substepsnya* 10

Bahwa hasil simulasi pada sarang lebah 4 mm yaitu tegangan maximumnya di bagian samping pada plat sarang lebah, yang memperlihatkan kan sarang lebah 4 mm dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalen stress* dari hasil gambar 4.52 di bawah ini dapat

dihasil kan tegangan maxsimum 7,2488 M P a.



Gambar 4.52: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 4 mm

Table 3.18: Hasil Tabular Data dari Sarang Lebah 4 mm

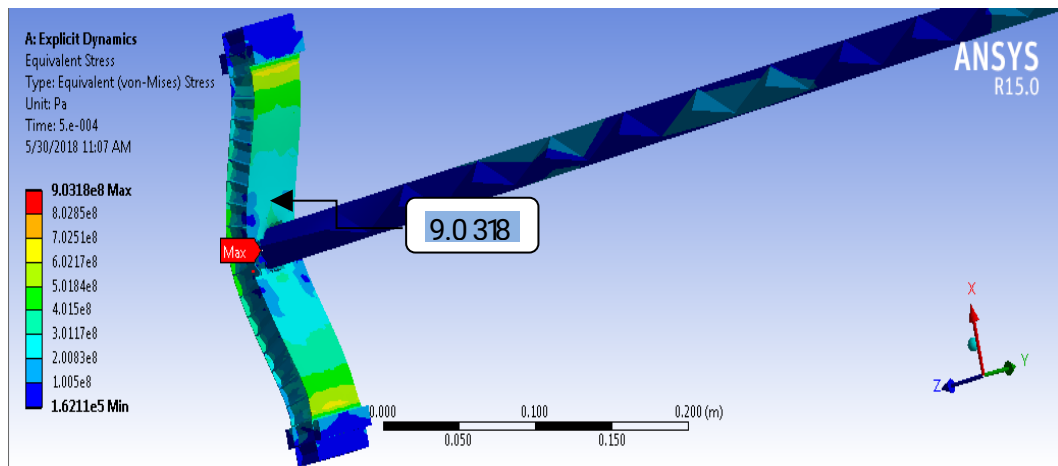
No	Time (s)	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1	1.1755e-003	0	0
2	2.5008e-005	0	0
3	5.0007e-005	0	0
4	7.5006e-005	0	3.7359e+008
5	1e-004	0	3.9903e+008
6	1.25e-004	0	5.5447e+008
7	1.5e-004	0	6.5256e+008
8	1.755e-004	0	6.2182e+008
9	2.0001e-004	0	5.6414e+008
10	2.2501e-004	0	5.7886e+008

3. Geometri Sarang Lebah 6 mm

Untuk *equivalen stress step controls*nya adalah *number of stepnya* 0,05, *current step number* 0,5, *step end timenya* 0,75 s, *initial substepnya* 10, *minimum substepnya* 1, *maximum substepnya* 10

Bahwa hasil simulasi pada sarang lebah 6 mm yaitu tegangan maximum terletak di bagian atas plat yang memperlihatkan sarang lebah 6 mm, dengan simulasi pembebanan 100 N. akibat *equivalen*

stress dan hasil gambar 4.53 di bawah ini dapat dihasil kan tegangan maksimum 9,0318 MP a.



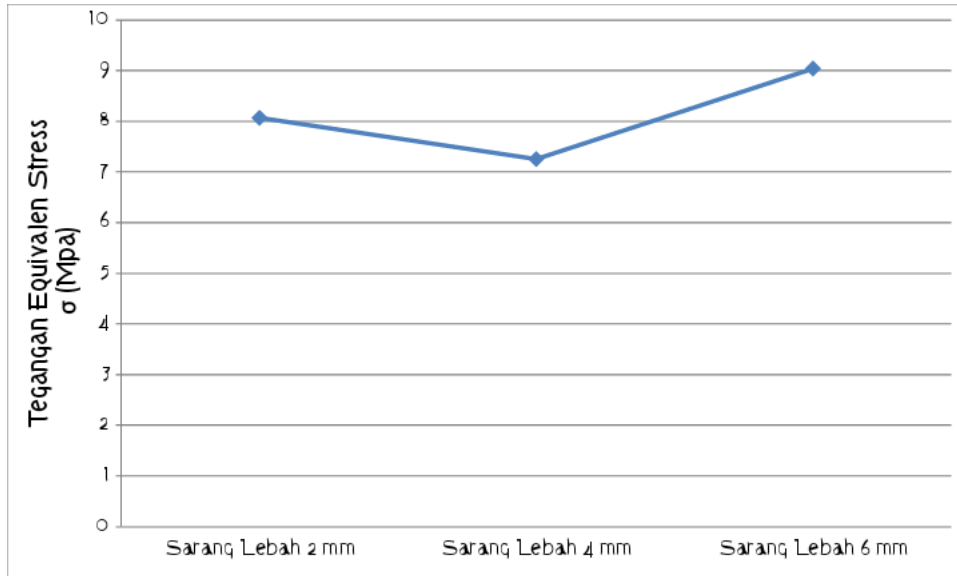
Gambar 4.53: Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Sarang Lebah 6 mm

Table 3.19: Dari Tabular Data Dari Sarang Lebah 6 mm

No	Time (s)	Minimum [MPa]	Maximum [MPa]
1	1.1755e-038	0	0
2	2.5012e-005	0	3.0587e+008
3	5.0008e-005	0	2.5775e+008
4	7.5003e-004	0	4.7727e+008
5	1.0001e-004	0	5.02156e+008
6	1.2501e-004	0	7.68e+008
7	1.5e-004	0	5.7894e+008
8	1.7501e-004	0	4.6307e+008
9	2.e-004	0	4.7922e+008
10	2.2501e-004	0	5.623e+008

4.3.13 Hasil Grafik Dari Simulasi *Equivalent Stress* Pada sarang lebah 2 mm,

4 mm, dan 6 mm



Gambar 4.54: Grafik Simulasi *Equivalent Stress*

Dengan geometri *equivalent stress* dengan pembebanan daya sarang lebah 100 N adalah ;

Pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm pada titik max pengujian tekan mengalami perubahan bentuk sarang lebah 2 mm, memiliki tegangan maximum 8,0069 MPa, Pada sarang lebah 4 mm, memiliki tegangan maximum 7,2488 MPa, pada sarang lebah 6 mm memiliki tegangan maximum 9,0318 MPa.

Dan dijelaskan dalam grafik titik tegangan yang paling rendah terletak pada sarang lebah 2 mm dikarenakan diameter *hexagon* lebih kecil, jumlah *hexagon* yang paling banyak di banding yang lain lebih kuat.

4.4 Kekuatan Lendutan Terhadap Uji Statis Dan Uji Dinamis

4.4.1 Kekuatan Lendutan Terhadap Total *Deformation*

Kekuatan lendutan total deformation terhadap uji statis dan uji

dinamis pada sarang lebah 2 mm, 4 mm, dan 6 mm yang terjadi berubah bentuk

1. Statik dengan sudut 45^0

a. Sarang lebah 2 mm

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 + L_2 \\ &= 220 + 10651 \\ &= 2210651 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} = \frac{3 \cdot (100 \cdot 2210651 \text{ N/mm})}{2 \cdot 55 \text{ mm} \cdot 18^2 \text{ mm}^2} = 1,860 \text{ N/mm}$$

b. Sarang lebah 4 mm

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 + L_2 \\ &= 220 + 17493 \\ &= 2217493 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} = \frac{3 \cdot (100 \cdot 2217493 \text{ N/mm})}{2 \cdot 55 \text{ mm} \cdot 18^2 \text{ mm}^2} = 1,866 \text{ N/mm}$$

c. Sarang lebah 6 mm

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 + L_2 \\ &= 220 + 22777 \\ &= 2222777 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} = \frac{3 \cdot (100 \cdot 2222777 \text{ N/mm})}{2 \cdot 55 \text{ mm} \cdot 18^2 \text{ mm}^2} = 1,871 \text{ N/mm}$$

2. statik dengan sudut 60^0

a. Sarang lebah 2 mm

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 + L_2 \\ &= 220 + 1,1868 \\ &= 221,1868 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} = \frac{3 \cdot (100 \cdot 221,1868 \text{ N/mm})}{2 \cdot 55 \text{ mm} \cdot 18 \text{ mm}^2} = 1,861 \text{ N/mm}$$

b. S arang lebah 4 mm

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 + L_2 \\ &= 220 + 1,9015 \\ &= 221,9015 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} = \frac{3 \cdot (100 \cdot 221,9015 \text{ N/mm})}{2 \cdot 55 \text{ mm} \cdot 18 \text{ mm}^2} = 1,876 \text{ N/mm}$$

c. S arang lebah 6 mm

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 + L_2 \\ &= 220 + 2,1378 \\ &= 222,1378 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} = \frac{3 \cdot (100 \cdot 222,1378 \text{ N/mm})}{2 \cdot 55 \text{ mm} \cdot 18 \text{ mm}^2} = 1,869 \text{ N/mm}$$

3. statik dengan sudut 90°

a. S arang lebah 2 mm

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 + L_2 \\ &= 220 + 1,1938 \\ &= 221,1938 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} = \frac{3 \cdot (100 \cdot 221,1938 \text{ N/mm})}{2 \cdot 55 \text{ mm} \cdot 18 \text{ mm}^2} = 1,861 \text{ N/mm}$$

b. Sarang lebah 4 mm

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 + L_2 \\ &= 220 + 2,609 \\ &= 222,609 \text{ mm}\end{aligned}$$

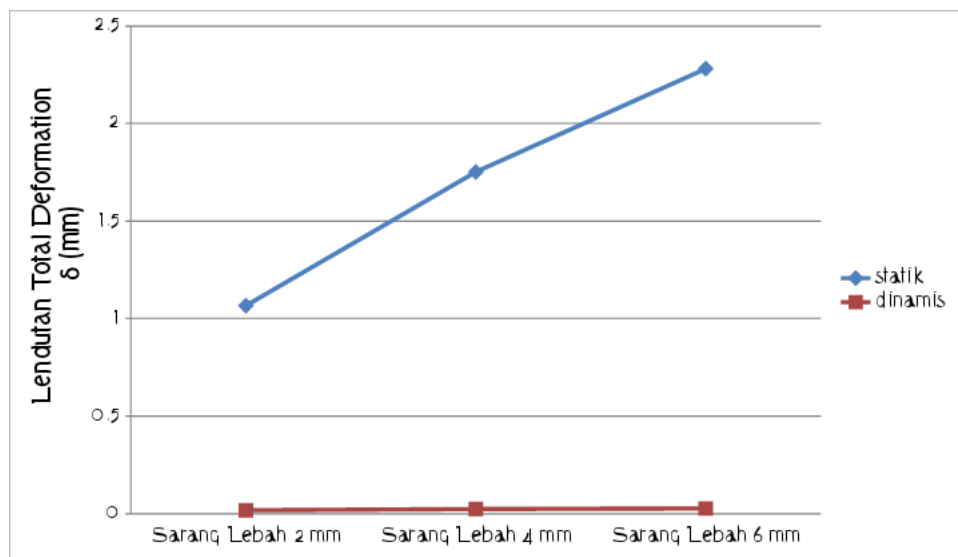
$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} = \frac{3 \cdot (100 \cdot 222,609 \text{ N/mm})}{2 \cdot 55 \text{ mm} \cdot 18 \text{ mm}^2} = 1,873 \text{ N/mm}$$

d. Sarang lebah 6 mm

$$\begin{aligned}\Delta L &= L_1 + L_2 \\ &= 220 + 2,4599 \\ &= 222,4599 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} = \frac{3 \cdot (100 \cdot 222,4599 \text{ N/mm})}{2 \cdot 55 \text{ mm} \cdot 18 \text{ mm}^2} = 1,872 \text{ N/mm}$$

4.4.2 Hasil grafik dari kelendutan terhadap uji statik dan uji dinamis dengan sudut 45°



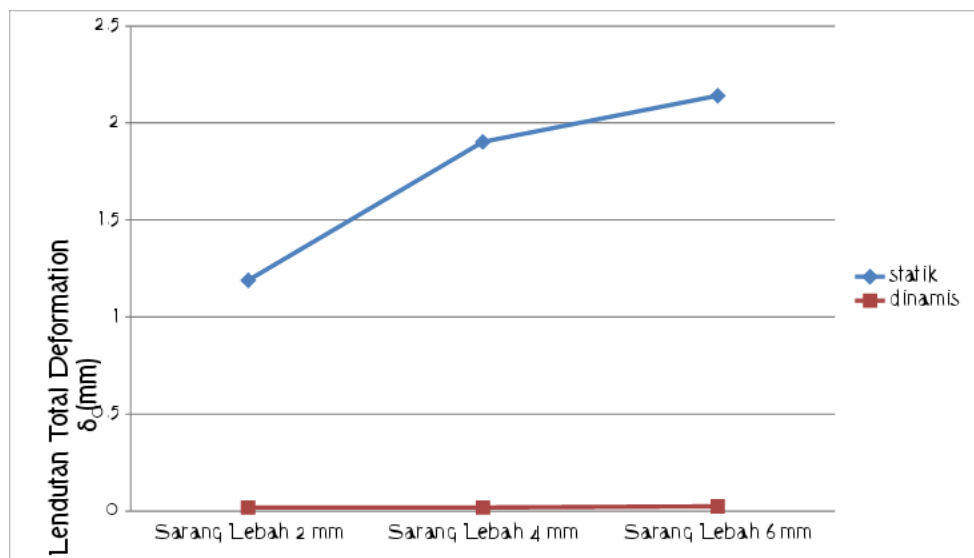
Gambar 4.55: Hasil Grafik Dari Kelendutan Pada Uji Statis Dan

Dinamis

Hasil dari lendutan terhadap uji statis dan uji dinamis untuk uji statis yg paling rendah pada sarang lebah 2 mm 1,0651mm sedangkan dinamis yang paling tinggi pada sarang lebah 6 mm dengan kelendutan 0,016369 mm

4.4.3 Hasil Grafik Dari Kelendutan Uji Statik Dan Uji Dinamis Dengan

Sudut 60°



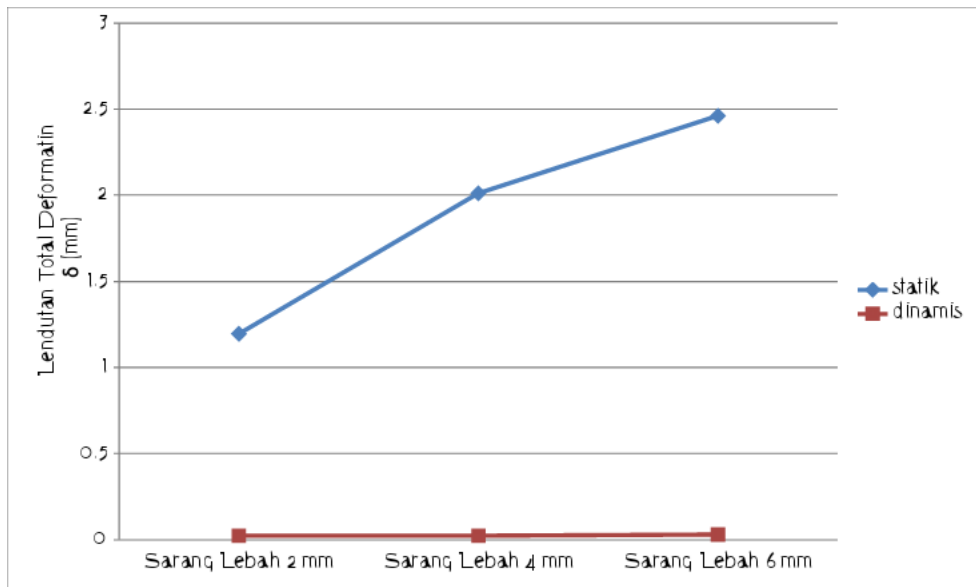
Gambar 4.56: Hasil Grafik Dari Kelendutan Pada Uji Statik Dan

Dinamis

Hasil dari uji statis dan uji dinamis untuk statis yang paling rendah kelendutan nya pada sarang lebah 2 mm, 1,1868 mm. sedangkan uji dinamis yang paling tinggi kelendutan nya sarang lebah 6 mm 0,021686 mm.

4.4.4 Hasil Grafik Dari Kelendutan Uji Statik Dan Uji Dinamis Dengan

Sudut 90°



Gambar 4.57: Hasil Grafik Kelendutan Pada Uji Statik Dan Dinamis

Hasil uji statik dan dinamis, untuk statik yang paling rendah pada sarang lebah 2 mm 1,1938 mm dan untuk dinamis yang paling tinggi kelendutannya pada sarang lebah 6 mm 0,02718 mm.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian sarang lebah dengan variasi laju pembebanan ini didapatkan beberapa kesimpulan ya itu:

1. membuat gambar 3 geometri dengan ukuran ketebalan sarang lebah berbeda yaitu 2 mm, 4 mm, dan 6 mm. dengan menguinaklan softwere catia.

2. pada hasil pengujian dari 3 sarang lebah dari ukuran 2 mm, 4 mm, dan 6 mm kekuatan dan kekerasan yang paling baik adalah pada sarang lebah 2 mm karena dengan ukuran yang lebih kecil, semakin rapat maka semakin kuat sarang lebahnya.
3. Pada pengujian ini dapat dihasilkan bahwa memiliki kemiringan pada sudut berpengaruh pada tekanan 100 N sudut 45° kelendutannya 1,0651 mm. pada sudut 60° kelendutannya 1,1868 mm, dan pada sudut 90° kelendutannya 1,1938 mm. maka ketahanan sarang lebah semakin berkurang akan lebih mudah hancur.
4. Pada hasil pengujian static dan dinamis untuk yang setatik yang paling rendah pada sarang lebah 2 mm 1,1938 mm dan untuk dinamis yang paling tinggi kelendutannya pada sarang lebah 6 mm 0.02718.

5.2 Saran

1. perlu dilakukan untuk mempelajari dalam menggunakan *software catia* dalam menggambar *honeycomb* atau pun spesimen lainnya, dan menganalisa menggunakan *software ansys* yang lebih dalam dan lebih baik lagi.
2. perlu melakukan percobaan yang baru dengan menggunakan material yang lain agar bisa menjadi perbandingan dan material

yang cocok dan lebih kuat lagi.

DAFTAR PUSTAKA

Caccese, V., (2013) "Optimal Design of Honeycomb used to mitigate head impact". Journal of Mechanical Engineering. hal. 405-

406.

- Husseina, R D akhil, R uana, D ., (20 17) C rushing response of square aluminium tubes filled with polyurethane foam and aluminium honeycomb. Jurnal Teknik hal 140-141
- Kepeng, Q ., Z hi, W ., Weihong, Z ., (20 16) "The E ffective E lastic Properties of flexible hexagonal Honeycomb Cores with Consideration for geometric nonlinearity". Journal of Mechanical E ngineering. hal 2.
- Koch, S ., D uvigneau, F ., O rszulik, R . (20 17) P artial F illing of a Honeycomb structure by Granula Materials F or Vibration and Noise R eduction. Journal of Mechanical E ngineering. Hal 2.
- L iu, Q ., X u, X ., Ma, J ingbo., W ang, J ., S hi, Y u., H ui, D . (20 17) "L ateral C rushing and B ending resposes of CFR P S quare Tube filled with Aluminium Honeycomb". Journal of Mechanical E ngineering. hal. 105.
- W u, Y ., L iu, Q ., F u, J . (20 17) D ynamic crash responses of bio-inspired aluminum honeycomb sandwich structures with CFR P panels. Jurnal Teknik Mesin. H al. 8.
- W ang, Z ., L iu, J ., H ui, D . (20 16) M echanical behaviors of inclined cell honeycomb structure subjected to compression. Jurnal Teknik, hal 8-9.
- W ang, Z ., L iu, J ., H ui, D . (20 17) M echanical behavior of composited structure filled with tandem honeycombs. Jurnal Teknik, hal 3-5.
- Y ongyau L ou, Z hengwei W ang, G uodong C hen, Z ujian L in. (20 09) elimination of upper resonance in extremely high head francis hydro-generators. E ngineering failure A nalysis, V ol. 16, hal. 119-127.
- Zainuri, A. (20 11) "Kekakuan B ending E ksperimen Komposit Sandwich Serat Sabut Kelapa Matrik P olyester D engan Core Kertas Kardus". Jurnal Teknik Mesin. V ol.7 hal 31-32.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : D hany F ajar L esmana
N P M : 130 7230 176
Tempat/ Tanggal Lahir : Afd. E . B ah B utong, 25 Juli 1993
Jenis Kelamin : L aki-laki
Agama : Islam
S tatus : B elum Menikah
Alamat : Jl. K apten M uslim Gg. M asjid N o. 9B
Nomor HP : 0 81362517275
E mail : dhanyfajar@gmail.com
Nama O rang T ua
Ayah : W agino
Ibu : S emi

P E N D I D I K A N F O R M A L

1999-2007 : S D S W A S T A I M P R E S S A I D B O R N O
P E M A T A N G
S I D A M A N I K S I M A L U N G U N
2007-2010 : S M P S W A S T A M T S D A R M A P E R T I W I B A H
B U T O N G
2010-2013 : S M K S W A S T A P A N C A B U D I 1 M E D A N
2013-2018 : M e n g i k u t i P e n d i d i k a n S I P r o g r a m S t u d i T e k n i k M e s i n
F a k u l t a s
T e k n i k U n i v e r s i t a s M u h a m m a d i y a h S u m a t e r a U t a r a