



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM184835

**ANALISA PENGARUH *YOUNG'S MODULUS* DAN
VISKOELASTISITAS ADHESIVE TERHADAP
DISTRIBUSI TEGANGAN DAN SERAPAN ENERGI
PADA *HYBRID DOUBLE LAP JOINT: RIVET-
BONDING* YANG MENERIMA BEBAN *IMPACT
TENSILE* MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT
METHOD***

Muhammad Viqiansyah Dwiputra
02111740000154

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Yohanes, S. T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2022



TUGAS AKHIR - TM184835

**ANALISA PENGARUH *YOUNG'S MODULUS* DAN
VISKOELASTISITAS ADHESIVE TERHADAP
DISTRIBUSI TEGANGAN DAN SERAPAN ENERGI
PADA *HYBRID DOUBLE LAP JOINT: RIVET-
BONDING* YANG MENERIMA BEBAN *IMPACT
TENSILE* MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT
METHOD***

Muhammad Viqiansyah Dwiputra
02111740000154

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Yohanes, S. T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2022



FINAL PROJECT - TM184835

**ANALYSIS OF EFFECT YOUNG'S MODULUS
AND ADHESIVE VISCEOLASTICITY ON STRESS
DISTRIBUTION AND ENERGY ABSORPTION IN
HYBRID DOUBLE LAP JOINT: RIVET-BONDING
UNDER IMPACT TENSILE LOAD USING FINITE
ELEMENT METHOD**

Muhammad Viqiansyah Dwiputra
02111740000154

Advisor Lecture
Dr. Eng. Yohanes, S. T., M.Sc.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEM ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2022

**ANALISA PENGARUH YOUNG'S MODULUS DAN VISKOELASTISITAS
ADHESIVE TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN DAN SERAPAN
ENERGI PADA HYBRID DOUBLE LAP JOINT: RIVET-BONDING YANG
MENERIMA BEBAN IMPACT TENSILE MENGGUNAKAN FINITE
ELEMENT METHOD**

TUGAS AKHIR

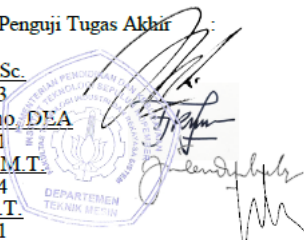
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Muhammad Vigiandsyah Dwiputra

NRP. 0211174000154

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.Eng. Yohanes, S.T., M.Sc. (Pembimbing)
NIP. 198006272012121003
 2. Dr.Ir. Agus Sigit Pramono, D.T.A (Penguji I)
NIP. 196508101991021001
 3. Ir. Julendra B Ariatedja, M.T. (Penguji II)
NIP. 196807061999031004
 4. Dr.Eng. Sutikno, S.T, M.T. (Penguji III)
NIP. 197407032000031001
- 

SURABAYA

FEBRUARI, 2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISA PENGARUH *YOUNG'S MODULUS* DAN
VISKOELASTISITAS *ADHESIVE* TERHADAP
DISTRIBUSI TEGANGAN DAN SERAPAN
ENERGI PADA *HYBRID DOUBLE LAP JOINT*:
RIVET-BONDING YANG MENERIMA BEBAN
IMPACT TENSILE MENGGUNAKAN *FINITE
ELEMENT METHOD***

Nama Mahasiswa : Muhammad Viqiansyah Dwi Putra
NRP : 02111740000154
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Yohanes, S. T., M.Sc.

ABSTRAK

Pada sambungan adhesive, geometri sambungan merupakan faktor yang mempengaruhi kekuatan sambungan, double-lap joint adalah salah satu geometri sambungan yang dapat mengurangi tegangan pada sambungan khususnya tegangan peel. Pada sambungan adhesive kerusakan yang paling umum terjadi dikarenakan oleh tegangan shear dan peel, sehingga untuk mencegah terjadi kerusakan akibat tegangan shear dan peel dapat dilakukan penerapan hybrid joint dimana dihasilkan dari kombinasi sambungan mekanis seperti rivet, bolt, dan welding dengan material adhesive. Sambungan ini memiliki minat teknologi yang besar karena sambungan hybrid dalam beberapa kasus dapat meningkatkan efek individu dari setiap jenis sambungan.

Pada tugas akhir ini, akan dilakukan penelitian tentang pengaruh jenis material adhesive berdasarkan dari nilai Young's Modulus dan viskoelastisitas adhesive terhadap hybrid joint: rivet-bonding yang menerima beban impact tensile dengan spesimen double lap joint. Penelitian ini mengamati distribusi tegangan dan serapan energi pada hybrid double lap joint: rivet-bonding dan melakukan variasi material adhesive. Adapun metode penelitian

yang dilakukan ini mengacu pada penelitian Izumi Higuchi pada tahun 2002, dengan mengganti spesimen menjadi hybrid double lap joint. Pengujian impact tensile dilakukan dengan cara mencekam bagian atas sambungan sedangkan pada bagian bawah dipasangkan guide bar yang diberi beban seberat 0.93 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 10 mm, dengan kecepatan beban saat menumbuk guide bar sebesar 442.9 mm/s. Untuk variasi material adhesive menggunakan Epoxy Resin 5320-1EO, Polyurethane, dan Epoxy Resin. Hasil dari penelitian ini akan sangat berguna untuk mengetahui pengaruh dari jenis material dan viskoelastisitas adhesive terhadap performa hybrid double lap joint: rivet-bonding.

Hasil yang didapatkan dari pengujian hybrid double lap joint: rivet bonding ini menunjukkan bahwa penambahan rivet pada sambungan adhesive dapat mengurangi nilai tegangan maksimum peel lebih besar jika dibandingkan shear, sehingga menambah kualitas dari suatu sambungan. Pada jenis sambungan double lap joint distribusi tegangan tertinggi yaitu pada posisi ujung adhesive kearah pembebanan yang diberikan pada adherend tengah, dan pada ujung lainnya nilai tegangannya lebih rendah yaitu meunuju kearah adherend samping. Selain dari geometri sambungan jenis material adhesive juga mempengaruhi kekuatan sambungan didapatkan dengan menggunakan adhesive terlunak yaitu Epoxy Resin dengan nilai Young's Modulus 700 Mpa dapat meningkatkan nilai serapan energi dan mengurangi tegangan shear dan peel lebih besar jika dibandingkan dengan material adhesive Epoxy Resin 5320-1EO dan Polyurethane dengan nilai Young's Modulus yang lebih kaku sebesar 3809 Mpa dan 1500 Mpa.

Kata kunci: Double lap joint, Finite element, Hybrid joint, Impact tensile, Viskoelastisitas Adhesive, Young's Modulus

***ANALYSIS OF EFFECT YOUNG'S MODULUS AND
ADHESIVE VISCEOLASTICITY ON STRESS
DISTRIBUTION AND ENERGY ABSORPTION IN
HYBRID DOUBLE LAP JOINT: RIVET-BONDING
UNDER IMPACT TENSILE LOAD USING FINITE
ELEMENT METHOD***

Student Name : Muhammad Viqiansyah Dwiputra
NRP : 02111740000154
Department : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Advisory Lecturer : Dr. Eng. Yohanes, S. T., M.Sc.

ABSTRACT

The geometry of the adhesive joint is a factor that affects the strength of adhesive joint, double lap joint is one of the joint geometries that can reduce stress at the joint, especially peel stress. In joints the most common damage is caused by shear stress and peeling stress, so to prevent damage due to shear stress and peeling, hybrid joints can be applied which are produced from a combination of mechanical connections such as rivets, bolt, and welding with adhesive materials. This type of joint is great technological interest because hybrid joint can in some cases enhance the individual effects of each type of joint.

In this final project, research will be conducted on the effect of adhesive material based on the value of Young's Modulus and adhesive viscoelasticity on a hybrid joint: rivet-bonding that receives impact tensile loads with a double lap joint specimen. This study observes the distribution of stress and energy absorption in the hybrid double lap joint: rivet-bonding and varies the adhesive material. The research method used refers to the research of Izumi Higuchi in 2002, by changing the specimen to a hybrid double lap joint. Tensile impact testing is carried out by gripping the top of

the connection, while at the bottom a guide bar is attached with a load of 0.93 kg which will be applied from a height of 10 mm, with a load speed of 442.9 mm/s when hitting the guide bar. For variations of adhesive materials using Epoxy Resin 5320-1EO, Polyurethane, and Epoxy Resin. The results of this study will be very useful to determine the effect of the type of material and the viscoelasticity of the adhesive performance of the hybrid double lap joint: rivet-bonding.

The comparison results from the hybrid double lap joint: rivet bonding test showed that the addition of a rivet to the adhesive joint could reduce the maximum peel stress value then the shear stress, thereby improving the quality of the joint. In the type of double lap joint, the highest stress distribution is at the position of the adhesive end in the direction of the load given to the adherent in the middle, and at the other end having a lower stress value, towards the side adherend. Apart from the geometry of the connection, the type of adhesive material also affects the connection strength. The maximum stress obtained using the softest adhesive, namely Epoxy Resin with a Young's Modulus value of 700 Mpa, increases the energy absorption value and can reduce shear stress and peeling stress when compared to Epoxy Resin 5320-1EO and Polyurethane adhesive materials with the stiffer Young's Modulus values are 3809 MPa and 1500 MPa.

Keywords: Double lap joint, Finite element, Hybrid joint, Impact tensile, Viskoelastisitas Adhesive, Young's Modulus

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanallahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad shallallahu 'alaihi wa sallam beserta keluarga, para sahabat, dan para pengikutnya seluruh umat islam.

Selama penulisan tugas akhir ini, penulis mengalami banyak kendala dan hambatan. Namun, atas izin Allah Subhanallahu Wa Ta'ala melalui bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, satu per satu masalah yang penulis hadapi dapat terselesaikan dengan baik. Penulis juga banyak mengucapkan terimakasih kepada kedua orang tua, Bapak Muchammad Rifqi Isnanda dan Ibu Novita Eriyantari yang selalu memberikan dukungan semangat selama penulisan laporan tugas akhir.

Selanjutnya, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penulisan laporan tugas akhir ini, diantaranya :

1. Bapak Dr. Eng. Yohanes, S. T., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang telah memberikan banyak masukan dan membimbing penulis dalam proses penulisan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Julendra B. Ariatedja, M.T., Bapak Dr. Ir. Agus Sigit Pramono, DEA, dan Bapak Dr. Eng. Sutikno, S.T., M.T. selaku dosen penguji pada seminar proposal dan sidang tugas akhir, atas kritik, saran serta wawasan yang telah diberikan dalam penyempurnaan penulisan tugas akhir ini.
3. Keluarga besar yang telah memberikan dukungan berupa motivasi dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
4. Teman teman angkatan M60.
5. Sahabat discord yang selalu menemani dalam pengerjaan tugas akhir ini.

6. Rafli Ali Noorsyarif teman berdiskusi dalam tugas akhir saya

7. Teman bermain saya selama di Surabaya Farhan, Fauzie, Rivan, Varian, Naufal, Raja, Alfien, Azis dan Rayfritz.

8. Syifani Zakiyya Rahmat yang selalu memberikan semangat selama penulisan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, 10 Februari 2022

Penulis

Muhaammad Viqiansyah Dwiputra

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II.....	5
2.1 <i>Adhesive</i>	5
2.2 Sambungan <i>Adhesive</i>	5
2.2.1 Klasifikasi Sambungan <i>Adhesive</i> :.....	8
2.2.2.1 Jenis sambungan <i>adhesive</i> menurut bahan yang digunakan.....	8
2.2.2.2 Jenis sambungan <i>adhesive</i> menurut metode yang digunakan.....	8
2.2.2.3 Tipe Kegagalan yang Terjadi pada Sambungan <i>Adhesive</i>	9
2.2.2 Kekuatan Dalam Sambungan <i>Adhesive</i>	10
2.3 Sambungan <i>Adhesive Double Lap Joint</i>	13
2.4 Sambungan Rivet.....	17

2.5 Sambungan <i>Hybrid</i>	19
2.6 Kurva Tegangan-Regangan	21
2.7 Metode Elemen Hingga.....	23
2.8 Material Viscoelastic	25
2.9 Penelitian Terdahulu.....	27
2.9.1 Experimental Investigations and Numerical Modelling of Steel Adhesive Joints Reinforced by rivets	27
2.9.2 Three-Dimensional Finite Element Analysis of Single- Lap Adhesive Joint Under Impact Loads.....	29
BAB III	33
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	33
3.2 Studi Literatur	34
3.3 Perumusan Masalah dan Penetapan Tujuan.....	34
3.4 Penentuan Data Awal dan Pemodelan	35
3.4.1 Penentuan Geometri Komponen Uji.....	35
3.4.2 Penentuan Material Komponen Uji	36
3.5 Proses Desain	37
3.6 Simulasi Model Penelitian Terdahulu oleh Izumi Higuchi (2002).....	42
3.7 Validasi	50
3.8 Simulasi FEM (Ansys: <i>Explicit Dynamics</i>) dengan Model Spesimen <i>Double Lap Joint</i> terhadap beban <i>Impact Tensile</i> ..	52
3.8.1 Boundary Condition	52
3.8.2 Proses Meshing pada Simulasi Model <i>Double Lap Joint</i>	54

3.8.3 Hasil Simulasi Model <i>Double Lap Joint</i>	56
3.8.3.1 <i>Adhesive Joint</i>	57
3.8.3.2 <i>Rivet Joint</i>	58
3.8.3.3 <i>Hybrid Double Lap Joint</i>	58
BAB IV	61
4.1 Hasil Pengujian	61
4.1.1 <i>Adhesive Joint</i>	64
4.1.1.1 Distribusi Tegangan pada <i>Adhesive Joint</i>	64
4.1.1.2 Serapan Energi pada <i>Adhesive Joint</i>	67
4.1.2 <i>Rivet Joint</i>	67
4.1.2.1 Tegangan pada <i>Rivet Joint</i>	68
4.1.3 <i>Hybrid Joint</i>	69
4.1.3.1 Distribusi Tegangan pada <i>Hybrid Joint</i>	70
4.1.3.2 Serapan Energi pada <i>Hybrid Joint</i>	76
4.2 Pembahasan.....	77
4.2.1 Hubungan antara tegangan dan regangan pada sambungan <i>adhesive joint</i> dan <i>hybrid joint</i>	77
4.2.2 Perbandingan nilai tegangan maksimum dan serapan energi dengan variasi material <i>adhesive</i> pada <i>Adhesive Joint</i> dan <i>Hybrid Joint</i>	79
a.) Pada bagian <i>adhesive</i>	80
b.) Pada bagian <i>rivet</i>	84
BAB V	87
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	87

DAFTAR PUSTAKA	88
BIODATA PENULIS	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis Sambungan Adhesive	9
Gambar 2.2 Kegagalan Sambungan (Aris,2006).....	9
Gambar 2.3 Jenis tegangan yang umum ditemukan pada sambungan adhesive (a) kompresi (b) tensile (c) shear (d) peel (e) cleavage (Messler, 2004).....	11
Gambar 2.4 Model geometri Double-Lap Joint	13
Gambar 2.5 Model geometri pada bagian overlap	14
Gambar 2.6 Free body diagram sambungan double lap joint	14
Gambar 2.7 Distribusi tegangan pada sambungan double lap joint	15
Gambar 2.8 Model analitis dari sambungan double lap joint	16
Gambar 2.9 (a) Solid, dan (b) Tubular rivet dalam sambungan, sebelum dan setelah upsetting.	18
Gambar 2.10 Tipe-tipe <i>rivet head</i>	18
Gambar 2.11 Ukuran ASTM untuk rivet	19
Gambar 2.12 Ilustrasi Hybrid joint pada spesimen double lap joint.	20
Gambar 2.13 Perbandingan load dengan displacement dari adhesive joint, rivet joint, dan hybrid joint; rivet-bonding (F. Moroni and A. Pirondi, 2010)	21
Gambar 2.14 Grafik tegangan regangan (Callister, 2010).....	22
Gambar 2.15 Meshing pada sebuah plat (A First Course in Finite Elements. Jacob Fish & Ted Belytschko, 2007).	24
Gambar 2.16 Ilustrasi dari model Maxwell.....	26
Gambar 2.17 Geometri dan dimensi spesimen eksperimen oleh T. Sadowski, M.Knec´, dan P.Golewski	27
Gambar 2.18 Grafik <i>load-displacement</i> dari hasil eksperimen oleh T. Sadowski, M. Knec, dan P.Golewski	28
Gambar 2.19 (a) Dimensi spesimen dan penempatan strain gauges (b) Ilustrasi dari setup eksperimen (Izumi Higuchi, 2002).	30

Gambar 2.20 Perbandingan nilai respon regangan dari hasil FEM dan eksperimental pada titik strain gauges 1 dan 2.....	31
Gambar 3.1 Flowchart Penelitian.....	34
Gambar 3. 2 Adherend.....	38
Gambar 3. 3 Adhesive	38
Gambar 3. 4 Rivet.....	39
Gambar 3. 5 Guider dan beban tumbuk.	39
Gambar 3. 6 Model Geometri Izumi Higuchi (2002).....	40
Gambar 3. 7 Geometri adhesvie double lap joint.	41
Gambar 3. 8 Geometri rivet double lap joint.....	41
Gambar 3. 9 Geometri hybrid double lap joint.....	42
Gambar 3. 10 Pemodelan simulasi FEM oleh Izumi Higuchi (2002).....	43
Gambar 3. 11 Tampilan desain setelah assign material.....	44
Gambar 3. 12 Penempatan strain gauges 1 dan strain gauges 2 pada simulasi ANSYS.....	45
Gambar 3.13 Material setelah proses meshing (a) Keseluruhan (b) adhesive (c) adherend bagian overlap.....	47
Gambar 3. 14 Boundary condition pada simulasi	49
Gambar 3. 15 Hasil strain response.....	50
Gambar 3.16 Perbandingan hasil strain responses (a) Simulasi pada ANSYS (b) Hasil komparasi oleh Izumi Higuchi	51
Gambar 3.17 Free body diagram model geometri Double Lap Joint.....	53
Gambar 3.18 Model double lap joint pada simulasi ANSYS	53
Gambar 3.19 Contact antara rivet dengan adherend.....	54
Gambar 3.20 Geometri setelah proses meshing (a) Adhesive Joint (b) Rivet Joint (c) Hybrid Joint	56
Gambar 3.21 Geometri setelah proses meshing pada bagian (a) adhesive (pada adhesive joint) (b) adhesive (pada rivet dan hybrid joint) (c) rivet	56

Gambar 3. 22 Tegangan Maksimum di bagian adhesive pada adhesive joint uji impact tensile. (a) Grafik Terhadap Waktu (b) Distribusi tegangan dalam satuan panjang (x/L).....	57
Gambar 3.23 Tegangan Maksimum di bagian rivet pada rivet joint uji impact tensile.	58
Gambar 3.24 Tegangan Maksimum di bagian adhesive pada hybrid joint uji impact tensile. (a) Grafik Terhadap Waktu (b) Distribusi tegangan dalam satuan panjang (x/L).....	59
Gambar 3.25 Tegangan Maksimum di bagian rivet pada hybrid joint uji impact tensile.	59
Gambar 4.1 Daerah distribusi tegangan dan serapan energi yang diamati	62
Gambar 4. 2 Ilustrasi fitur path pada ANSYS.....	63
Gambar 4.3 Hasil dari simulasi adhesive joint pada bagian adhesive (a) Shear Stress (b) Peel Stress	64
Gambar 4.4 Pengaruh variasi jenis material adhesive terhadap distribusi shear stress pada adhesive joint	65
Gambar 4.5 Pengaruh variasi jenis material adhesive terhadap distribusi peel stress pada adhesive joint	66
Gambar 4.6 Grafik serapan energi pada adhesive joint	67
Gambar 4.7 Shear Stress pada bagian rivet.....	68
Gambar 4.8 Peel stress pada bagian rivet.....	68
Gambar 4. 9 Hasil dari simulasi hybrid joint pada bagian adhesive (a) Shear Stress (b) Peel Stress	70
Gambar 4.10 Pengaruh variasi jenis material adhesive terhadap distribusi shear stress pada hybrid joint: rivet bonding.....	70
Gambar 4.11 Pengaruh variasi jenis material adhesive terhadap distribusi peel stress pada hybrid joint: rivet bonding	71
Gambar 4.12 Shear stress yang terjadi di bagian rivet pada hybrid joint (a) Epoxy Resin 5320-1EO (b) Polyurethane (c) Epoxy Resin	73

Gambar 4.13 Shear stress yang terjadi di bagian rivet pada hybrid joint (a) Epoxy Resin 5320-1EO (b) Polyurethane (c) Epoxy Resin	75
Gambar 4.14 Serapan energi pada hybrid joint bagian adhesive	76
Gambar 4.15 Perbandingan grafik tegangan dan regangan pada adhesive joint (a) Regangan di bagian adherend pada interface (b) Distribusi tegangan pada adhesive	77
Gambar 4.16 Perbandingan grafik tegangan dan pada hybrid joint (a) Regangan di bagian adherend pada interface (b) Distribusi tegangan pada adhesive	78
Gambar 4.17 Nilai maksimum shear stress di bagian adhesive pada hybrid joint dan adhesive joint	80
Gambar 4.18 Nilai maksimum peel stress di bagian adhesive pada hybrid joint dan adhesive joint	81
Gambar 4.19 Nilai serapan energi di bagian adhesive pada hybrid joint dan adhesive joint	83
Gambar 4.20 Pengaruh variasi material adhesive terhadap nilai tegangan maksimum di bagian rivet pada hybrid joint (a) Shear Stress (b) Peel stress	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Adhesive Joint	7
Tabel 2.2 Material spesimen eksperimen oleh T. Sadowski, M.Knec', dan P.Golewski	28
Tabel 2.3 Energy absorption dari masing-masing sambungan dari hasil eksperimen oleh T. Sadowski, M.Knec', dan P.Golewski.	29
Tabel 3.1 Dimensi Komponen Impact Tensile Test	35
Tabel 3.2 Material Properties.....	36
Tabel 3.3 Prony Series	37
Tabel 3.4 Material properties pada paper.....	43
Tabel 3.5 Metode Proses Meshing dengan Metrics Spectrum ...	46
Tabel 3.6 Ukuran Meshing simulasi model Izumi Higuchi.....	46
Tabel 3.7 Ukuran meshing dan Mesh Metrics pada Geometri Adhesive Joint.....	55
Tabel 3.8 Ukuran meshing dan Mesh Metrics pada Geometri Rivet Joint.....	55
Tabel 3.9 Ukuran meshing dan Mesh Metrics pada Geometri Hybrid Joint	55

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sambungan *adhesive* merupakan salah satu metode penyambungan material dengan menggunakan *adhesive* yang dioleskan pada permukaan yang ingin direkatkan. Aplikasi sambungan *adhesive* telah banyak diterapkan pada berbagai industri dan terus dikembangkan seperti pada industri otomotif dan penerbangan. *Adhesive* digunakan sebagai salah satu perekat sambungan karena sifatnya yang mampu menyerap energi tumbukan pada struktur agar tidak membahayakan penumpang karena *adhesive* memiliki perilaku viskoelastik yang besar diakibatkan oleh sifat polimernya, maka dari itu struktur sambungan *adhesive* ini harus mampu untuk menahan pembebanan statis dan juga pembebanan dinamis. Kerusakan yang terjadi pada sambungan *adhesive* disebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Secara umum, jenis tegangan yang dapat ditemukan pada sambungan *adhesive* ada lima yaitu; tegangan kompresi, tegangan tarik, tegangan geser, *cleavage*, dan *peel* atau normal (Messler, 2004). Untuk mengetahui daya tahan sambungan *adhesive* ini diperlukan analisa tegangan pada sambungan ini, metode yang dapat dilakukan yaitu menggunakan elemen hingga, uji eksperimen, dan hitungan teoritis.

Ada beberapa jenis sambungan *adhesive* yaitu *butt joint*, *scarf joint*, *single lap joint*, *double lap joint*, *single strap joint*, dan *double strap joint*. *Single-lap joint (SLJ)* dan *double-lap joint (DLJ)* adalah bentuk sambungan yang paling umum digunakan di berbagai aplikasi industri terutama dalam penggunaan sambungan *adhesive* keduanya memiliki geometri yang sederhana dan memiliki efisiensi struktur yang tinggi. *Double Lap Joint* mereduksi *peel stress* lebih besar dibandingkan *Single Lap Joint* dimana dapat mencegah *adherend* mengalami defleksi, Analisis tegangan *Double Lap Joint* yang paling banyak digunakan adalah solusi klasik Volkersen yang dikembangkan oleh de Bruyne (1944) menggunakan teori *Single Lap Joint* Volkersen (Volkersen, 1938).

Solusi ini adalah pendekatan *shear-lag* berdasarkan pemodelan adherend sebagai batang (tanpa deformasi geser) dan lapisan *adhesive* sebagai pegas geser yang hanya membawa tegangan geser yang diperlukan untuk mentransfer gaya longitudinal dari bagian dalam *adherend* ke bagian luar *adherend*.

Desain sambungan *adhesive* perlu diperhatikan agar didapatkan kekuatan maksimum pada area yang disambungkan. Faktor utama yang mempengaruhi kekuatan sambungan yaitu, properti mekanis *adhesive* dan *adherend*, tegangan internal yang dihasilkan, pembebanan yang diberikan, dan geometri sambungan. Salah satu metode untuk menghasilkan kekuatan sambungan yang tinggi adalah penerapan *hybrid joint* dimana dihasilkan dari kombinasi sambungan mekanik *rivet*, *bold*, dan *welding* dengan *adhesive*. Sambungan ini memiliki minat teknologi yang besar karena sambungan *hybrid* memiliki beberapa kelebihan yaitu ketahanan dalam menerima beban statik dan fatik, kekakuan struktur yang tinggi, meningkatkan efek dari setiap individu sambungan (*adhesive* dan mekanik), dan dapat mencegah korosi.

Penelitian tentang pengujian sambungan *hybrid* ini sudah banyak dilakukan, salah satunya adalah yang dilakukan oleh T. Sadowski, M. Kneć, dan P. Golewski (2009) pada penelitian ini dilakukan eksperimen dengan menggunakan uji tarik pada sambungan *hybrid double-lap: rivet-bonding*. Pengujian dilakukan dengan tiga variasi spesimen yaitu pada sambungan *adhesive*, sambungan *rivet*, dan sambungan *hybrid*. Dari hasil eksperimen didapatkan sambungan *hybrid* mampu menerima beban lebih berat dibandingkan sambungan *adhesive* dan sambungan *rivet*.

Penelitian untuk pengujian beban dinamis pada *hybrid joint* masih jarang dilakukan, sehingga penulis melakukan penelitian tentang analisa distribusi tegangan dan serapan pada *hybrid joint* yang diberi beban *impact tensile*, penelitian mengenai sambungan *adhesive* yang diberikan beban *impact tensile* pernah diteliti oleh Izumi Higuchi (2002) mengenai *Three-dimensional Finite Element Analysis of Single-Lap Joints Under Impact Loads*. Pada penelitian Izumi Higuchi memperhatikan perambatan gelombang tegangan

dan distribusi tegangan yang terjadi pada *single-lap adhesive joint* yang diberi beban *impact tensile* dengan menggunakan *finite element method*. Perbedaan pada penelitian ini yaitu pada spesimen uji dimana pengujian ini menggunakan *hybrid double lap joint: rivet-bonding* dengan menggunakan variasi material *adhesive* dan geometri sambungan yaitu *adhesive joint*, *rivet joint*, dan *hybrid joint* untuk membandingkan kualitas dari ketiga sambungan ini. Hasil penelitian oleh Izumi Higuchi juga akan digunakan untuk validasi hasil simulasi yang akan diuji.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, dirumuskan beberapa permasalahan yang sebagai berikut:

1. Bagaimana distribusi tegangan dan serapan energi yang terjadi pada *adhesive joint*, *rivet joint*, dan *hybrid joint* yang diberikan beban *impact tensile*?
2. Bagaimana pengaruh dari variasi jenis material *adhesive* berdasarkan nilai dari *Young's Modulus* dan viskoelastisitas *adhesive* terhadap distribusi tegangan dan serapan energi *hybrid double lap joint: rivet-bonding* yang diberikan beban *impact tensile*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui distribusi tegangan dan serapan energi yang terjadi pada *adhesive joint*, *rivet joint*, dan *hybrid joint* yang diberikan beban *impact tensile*
2. Mengetahui pengaruh jenis variasi material *adhesive* berdasarkan nilai *Young's Modulus* dan viskoelastisitas *adhesive* terhadap distribusi tegangan dan serapan energi pada *hybrid double lap joint: rivet-bonding* yang dikenakan beban *impact tensile*

1.4 Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini, diberikan beberapa batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Metode dan spesimen pengujian mengacu pada paper “*Three-dimensional finite element analysis of single-lap adhesive joints under impact loads*” yang dilakukan oleh Izumi Higuchi (2002).
2. Jenis sambungan yang digunakan adalah *double lap joint*
3. Sifat viskoelastisitas *adhesive* dimodelkan menggunakan *prony series*
4. Analisa tegangan hanya dilakukan pada sambungan (*adhesive* dan *rivet*).
5. Beban tumbuk pada simulasi ANSYS dianggap *rigid body* dengan berat 0.93 kg.
6. Koefisien gesek statis dan dinamis antara *rivet* dan *adherend* diatur sebesar 0,2 dan 0,1

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini adalah:

1. Sebagai referensi dan literatur untuk penelitian sambungan *adhesive* pada *hybrid double-lap joint* dengan menggunakan uji *impact tensile*.
2. Sebagai dasar pengambilan keputusan untuk menentukan perlu tidaknya sebuah kontrol yang presisi terhadap jenis material *adhesive*.
3. Memberikan peluang rekayasa kekakuan sambungan dengan pengaturan viskoelastisitas *adhesive* pada *hybrid-double lap joint* agar sesuai dengan kebutuhan.
4. Sebagai rujukan informasi bagi pihak yang akan mengaplikasikan sambungan *hybrid double lap-joint* pada struktur ringan kendaraan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Adhesive

Adhesive adalah campuran satu atau dua polimer organik yang bereaksi secara kimia dan menghasilkan polimer baru yang memiliki daya rekat. Dalam industri, *adhesive* dirancang berdasarkan kekuatan yang diperlukan dalam aplikasinya. *Adhesive* berkekuatan rendah digunakan pada kertas dengan sampulnya, sedangkan *adhesive* berkekuatan tinggi digunakan pada struktur mobil dan pesawat terbang. Dibandingkan dengan sambungan mekanis lainnya seperti *bold*, *riveting*, *soldering*, atau *welding*, *Adhesive* memiliki beberapa keunggulan, antara lain:

1. *Adhesive* mampu mendistribusikan beban ke seluruh area sambungan.
2. *Adhesive* memiliki sifat *fatigue* yang baik.
3. Nilai konduktivitas yang rendah pada *adhesive* mengakibatkan korosi *galvanic* antara dua logam yang berbeda menurun.

Dalam menentukan *adhesive* yang akan digunakan perlu diperhatikan beberapa properti, seperti tingkat perawatan, kemampuan mengisi celah, kekakuan, kemampuan menahan beban, ketahanan terhadap suhu, dan *life-time*. (Robert D Adams, 2005)

2.2 Sambungan Adhesive

Sambungan adalah suatu metode penggabungan dua buah material menjadi satu. Ada beberapa jenis penyambungan yaitu sambungan tumpang/*lap joint* dan sambungan lurus/*butt joint*. Sambungan tumpang (*lap joint*) sesuai dengan namanya sambungan ini digunakan untuk menyatukan dua bagian logam/material dimana bagian logam/material yang satu menumpang di atas logam/material lainnya. Jenis sambungan menurut bahan penyambungannya dibagi menjadi dua yaitu

penyambungan mekanik dan penyambungan *adhesive*. Penyambungan mekanik adalah penyambungan menggunakan *bolt, rivet, solder, atau welding* sedangkan penyambungan *adhesive* adalah penyambungan menggunakan perekat dan sejenisnya

Sambungan *adhesive* merupakan teknik penyambungan komponen-komponen (adherend) dari material sejenis dan tidak sejenis menggunakan perekat *adhesive*. Sambungan *adhesive* umumnya tidak dapat dirusak tanpa menghancurkan sambungannya. Dengan teknik ini, semua material mampu disambungkan satu sama lain tanpa dipengaruhi perbedaan material. Sambungan ini menjadi solusi dalam beberapa aplikasi tertentu di bidang industri, misalnya untuk konstruksi struktur kendaraan ringan dengan menggunakan baja, aluminium, komposit, dan plastik. Pada tabel 2.1 dapat dilihat kelebihan dan kekurangan sambungan *adhesive* dibandingkan dengan metode sambungan lainnya.

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan *Adhesive Joint*

Kelebihan	Kekurangan
<i>Adherend</i> tidak dipengaruhi oleh panas	Stabilitas terhadap panas yang terbatas
Distribusi tegangan yang uniform	Dibutuhkan persiapan permukaan <i>adherend</i>
Mampu menyambungkan permukaan yang besar	Dibutuhkan alat penjepit untuk beberapa kasus tertentu
Mampu menyambungkan material yang berbeda	Keterbatasan uji non destruktif untuk beberapa kasus tertentu
Mampu menyambungkan <i>adherend</i> yang sangat tebal	Waktu <i>curing</i> yang cenderung lama
Tidak terjadi korosi kontak	Analisa tegangan yang rumit
Kekuatan dinamis yang tinggi	Sensitif terhadap lingkungan yang ekstrim
Properti <i>damping</i> yang baik	Dibutuhkan proses kontrol yang ketat

Desain sambungan *adhesive* harus diperhatikan untuk menghindari kegagalan fungsi akibat kegagalan menopang tegangan kerja. Sambungan *adhesive* yang bagus harus dapat menerima tegangan secara maksimal pada daerah yang disambung dan memperkecil konsentrasi tegangan. Penentuan desain sambungan *adhesive* bergantung pada biaya produksi dan kebutuhan struktur kendaraan. Untuk menerima tegangan secara maksimal dan memperkecil konsentrasi tegangan, dibutuhkan kekuatan dari *adhesive* itu sendiri. Kekuatan *adhesive* dapat ditentukan dari:

- Sifat mekanik dari *adhesive* dan *adherend*
- *Residual stresses* saat pemrosesan
- Tipe beban yang ditopang oleh sambungan

- Geometri sambungan

2.2.1 Klasifikasi Sambungan *Adhesive*:

2.2.2.1 Jenis sambungan *adhesive* menurut bahan yang digunakan

a. *Solvent adhesive*

Bahan dasar lem jenis ini adalah *nifroceluloce* yang dapat larut dalam larutan kimia organik. Prosesnya setelah sambungan dilem maka akan dilakukan langkah pengepresan dalam waktu yang cukup lama 1-3 hari. Nama pasaran untuk solvent adhesive adalah: uhu, bindulin, pattex, redux.

b. *Mixed adhesive*

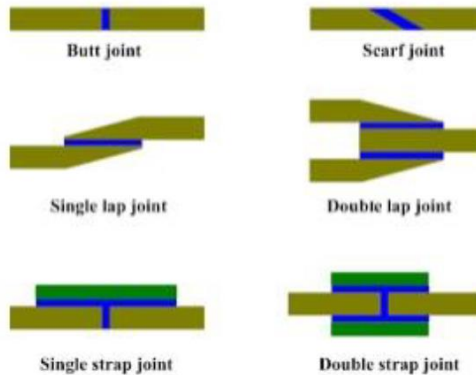
Dalam sambungan ini salah satu komponen yang disambung bercampur dengan bahan lem. Waktu pengerasan dapat dikurangi dengan bantuan katalisator. Pada temperatur kamar, waktu pengerasan memakan beberapa hari, tetapi bila dipanaskan dalam suhu 200°C, pengerasan terjadi hanya beberapa menit. Nama pasar dari mixed adhesive adalah: coctile, araldite, metallon, denacol.

2.2.2.2 Jenis sambungan *adhesive* menurut metode yang digunakan

Ada beberapa jenis sambungan menurut cara penyambungannya seperti pada gambar 2.1 yaitu:

1. *Butt Joint*
2. *Single Lap Joint*
3. *Single Strap Joint*
4. *Double Lap Joint*
5. *Double Strap Joint*
6. *Scarf Joint*

Adhesive joints

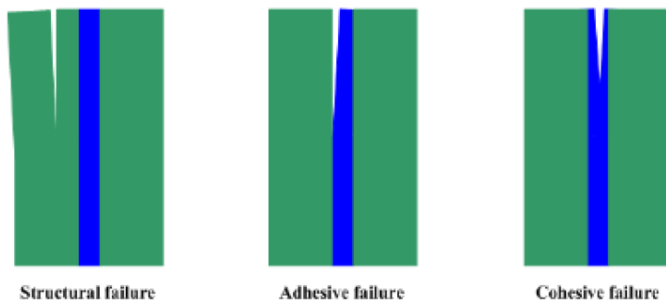


Gambar 2.1 Jenis Sambungan *Adhesive*

2.2.2.3 Tipe Kegagalan yang Terjadi pada Sambungan Adhesive

Terdapat beberapa jenis kegagalan yang terjadi pada sambungan *adhesive* yang dapat dilihat pada gambar 2.2

Failure mechanisms of adhesive bonding

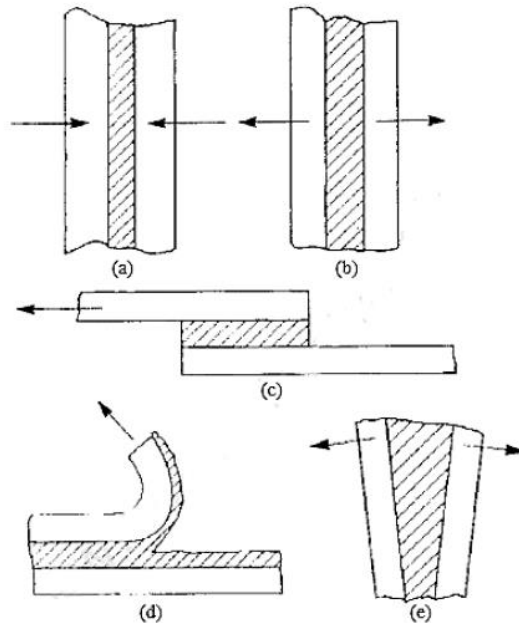


Gambar 2.2 Kegagalan Sambungan (Aris,2006)

- a. Kegagalan *Adhesive*, yaitu kegagalan antar muka antara perekat dan salah satu *adherend*. Kegagalan ini merupakan indikasi dari batas lapisan perekat yang lemah.
- b. Kegagalan *Cohesive*, yaitu kegagalan yang terjadi ketika hasil rekahan pada lapisan perekat tersisa pada kedua permukaan *adherend*
- c. Kegagalan *Fiber-tear*, kegagalan yang terjadi ketika kekuatan perekat merobek *fiber*.
- d. Kegagalan *Stock*, kegagalan yang terjadi jika salah satu *adherend* patah.

2.2.2 Kekuatan Dalam Sambungan *Adhesive*

Tegangan yang ada pada sambungan *adhesive* terdapat dalam beberapa jenis. Secara umum, jenis tegangan yang dapat ditemukan pada sambungan *adhesive* ada lima yaitu; tegangan kompresi, tegangan tarik, tegangan geser, *cleavage*, dan *peel*. Keseluruhan jenis tegangan ini dapat terjadi secara individu atau kombinasi. Gambar tegangan yang ada pada sambungan *adhesive* bisa dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Jenis tegangan yang umum ditemukan pada sambungan *adhesive* (a) kompresi (b) *tensile* (c) *shear* (d) *peel* (e) *cleavage* (Messler, 2004)

Tegangan kompresi terjadi disebabkan beban yang diberikan tegak lurus terhadap bidang sambungan dan menekan sambungan ke arah dalam. Sambungan *adhesive* lebih tahan terhadap tegangan kompresi karena tidak memisahkan sambungan. Meskipun begitu, sambungan akan mengalami kegagalan apabila *adhesive* lebih lemah terhadap kompresi dibandingkan *adherend*, sehingga terlebih dahulu mengalami *compressive fracture* sebelum *adherend*. Pada praktiknya, kasus yang sering ditemukan adalah beban *bending*, *peeling*, atau *cleavage*.

Tegangan *tensile* bekerja tegak lurus terhadap bidang sambungan dan menarik kedua *adherend* ke arah luar. Secara teori, tegangan pada permukaan *adherend* dan di dalam *adhesive* terdistribusi secara merata. Pada kenyataannya, *offsets* pada sambungan, *bending* pada *adherend*, dan komplikasi lainnya diakibatkan distribusi tegangan yang tidak seragam. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya *peel* ataupun *cleavage*. Pada sambungan *adhesive* yang berada dalam kondisi pembebanan tarik, *adherend* harus cukup tebal untuk mencegah terjadinya defleksi atau *bending*.

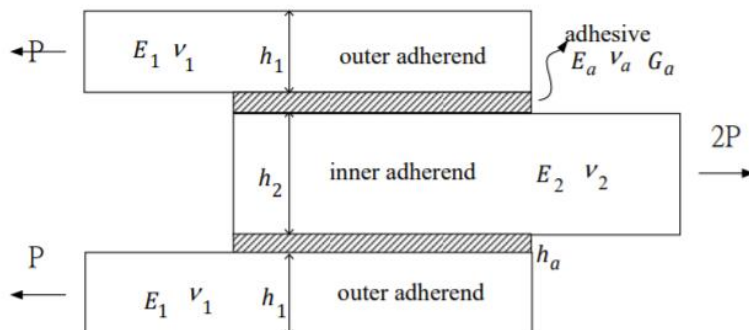
Tegangan shear terjadi apabila beban paralel terhadap bidang sambungan berusaha memisahkan sambungan dengan menggeser elemen sambungan satu terhadap yang lainnya. Tegangan geser terdistribusi merata pada seluruh area sambungan. Sebagian besar beban yang diaplikasikan pada struktur sambungan adhesive akan ditransmisikan melalui sambungan adhesive dalam tegangan geser. Sambungan ini memiliki geometri tumpang tindih. Kekuatan sambungan ini proporsional terhadap panjang overlap, namun berkurang dengan bertambahnya lebar overlap. Kekuatan geser maksimum sambungan adhesive sangat dipengaruhi oleh modulus geser dan ketebalan optimal adhesive.

Tegangan peel merupakan jenis pembebanan di luar bidang sambungan yang berusaha memisahkan sambungan secara tidak merata. Pada umumnya, beban peel akan memisahkan sambungan dari ujung sambungan. Beban peel dapat terjadi apabila salah satu atau kedua *adherend* bersifat fleksibel dan mampu berdefleksi, hal ini mengakibatkan tegangan yang sangat tinggi akan terjadi pada permukaan antara adhesive dan *adherend*. Beban peel

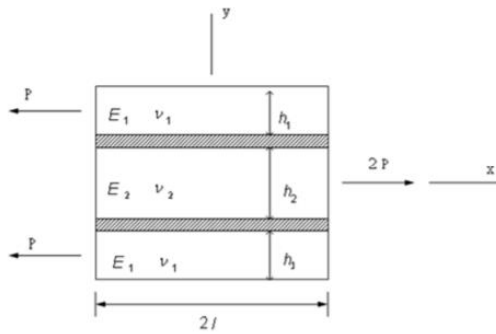
harus dicegah sebisa mungkin. Cleavage merupakan pembebanan yang serupa dengan peel, namun cleavage memberikan gaya pada salah satu ujung struktur sambungan hingga terjadinya perpisahan. Cleavage terjadi apabila gaya atau momen tarik offset diaplikasikan. Hal ini akan menyebabkan tegangan didistribusikan secara tidak merata. Sama seperti peel, cleavage harus dihindari sebisa mungkin.

2.3 Sambungan *Adhesive Double Lap Joint*

Double Lap Joint telah banyak digunakan pada suatu struktur karena nilai tegangan *peel* di bagian *adhesive* lebih rendah jika dibandingkan dengan *single lap joint* dimana penggunaan sambungan *double lap joint* dapat mencegah sambungan untuk mengalami *bending*. Kelemahan dari *double lap joint* yaitu tegangan maksimum berada pada ujung dari kedua *adhesive*, *adhesive* sendiri berfungsi sebagai media untuk mentransfer beban ke sesama *adherent*. Geometri sambungan dapat dilihat pada gambar 2.4 dimana pada sambungan *double lap joint* dipengaruhi oleh *young's modulus*, *poisson ratio*, dan *thickness* dari *adherent* dan *adhesive*

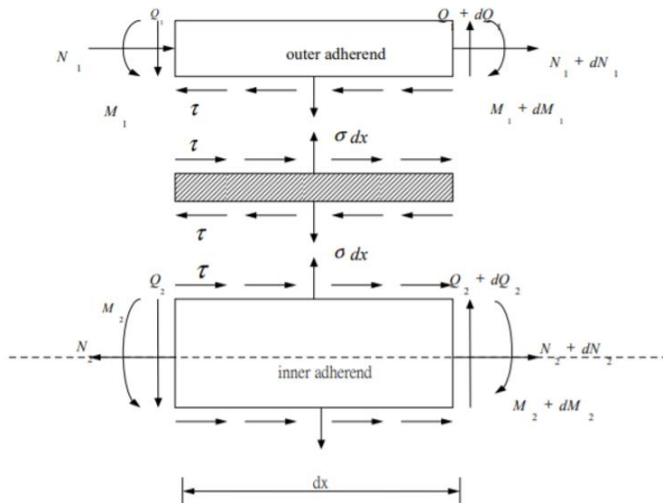


Gambar 2.4 Model geometri *Double-Lap Joint*



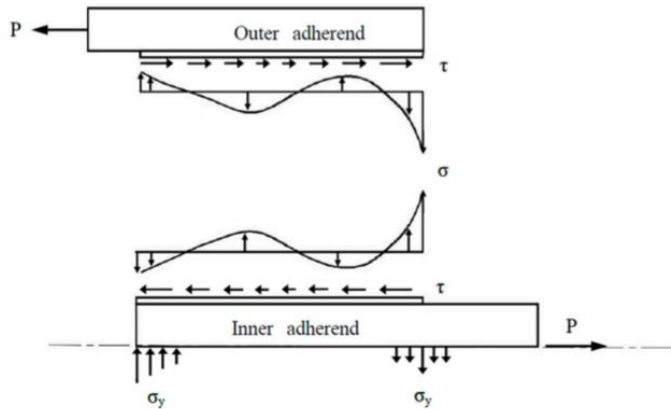
Gambar 2.5 Model geometri pada bagian *overlap*

Pada gambar 2.5 merupakan model geometri pada bagian *overlap* dari sambungan *double lap joint* dimana dapat dilihat pembebanan pada bagian *adherend* tengah lebih besar jika dibandingkan *adherend* atas dan bawah.



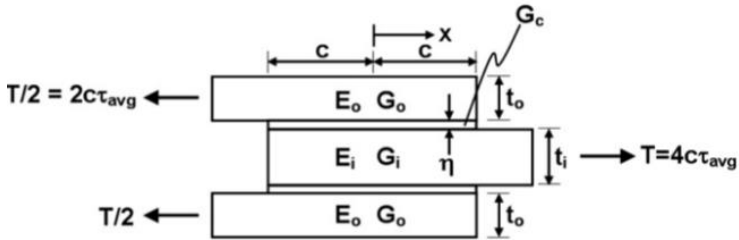
Gambar 2.6 Free body diagram sambungan *double lap joint*

Untuk *free body diagram* pada sambungan *double lap joint* dapat dilihat pada gambar 2.6 dimana N , Q , M menunjukkan *longitudinal force*, *transverse force*, dan *bending moment*



Gambar 2.7 Distribusi tegangan pada sambungan *double lap joint*

Untuk distribusi tegangan pada *double lap joint* dapat dilihat pada gambar 2.7 dapat dilihat tegangan *shear* dan *peel* mengalami kenaikan pada ujung *adhesive* yang dapat membuat kegagalan pada sambungan. Untuk tegangan *peel* arah dari tegangan berubah disepanjang *adhesive* dimana untuk bagian ujung kanan *adhesive* terjadi *tensile peeling stress* dan pada bagian ujung kiri *adhesive* terjadi *compressive peeling stress* sehingga sambungan *double lap joint* dapat mengurangi kegagalan bending yang dapat merusak sambungan.



Gambar 2.8 Model analitis dari sambungan *double lap joint*

Gambar 2.8 merupakan model analitis dari sambungan *double lap joint*, selain dari studi numerikal dan eksperimental tegangan pada sambungan *double lap joint* dapat dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\tau_{0avg} = \frac{1}{2c} \int_{-c}^c \tau_c dx = \frac{T}{4c}$$

Dan untuk mencari tegangan pada *adhesive* menggunakan persamaan

$$\tau_0 = A \sinh(\beta x) + B \cosh(\beta x)$$

dimana

$$B = \frac{\beta C \tau_{avg}}{\sinh(\beta C)}$$

$$A = \frac{\beta C \tau_{avg}}{\cosh(\beta C)} \left[\frac{1 - \frac{E_i t_i}{2E_o t_o}}{1 + \frac{E_i t_i}{2E_o t_o}} \right]$$

dan

$$\beta^2 = \frac{\frac{G_c}{\eta} \left(\frac{2}{E_i t_i} + \frac{1}{E_o t_o} \right)}{\left[1 + \frac{G_c}{\eta} \left(\frac{t_i}{6G_i} + \frac{t_o}{3G_o} \right) \right]}$$

2.4 Sambungan Rivet

Rivet atau paku keling adalah *mechanical fastener* yang tidak memiliki ulir, *rivet* biasanya terbuat dari material yang dapat terdeformasi secara plastis seperti, *metal* atau *thermoplastic*. *Rivet* digunakan untuk menyambung beberapa part dengan menempatkan *shank* (batang) dari *rivet* melalui lubang pada part yang telah disejajarkan.

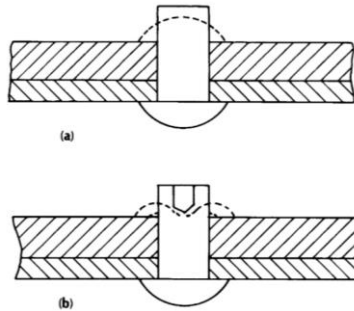
Rivet memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan *mechanical fastener* lainnya. Keuntungannya antara lain:

1. Biaya fabrikasi yang rendah, karena geometrinya yang simple dan dapat diproduksi dalam jumlah yang banyak dengan *high-speed machines*;
2. Biaya pemasangan rendah, karena proses pemasangan dan pengaturan yang cepat dan berulang dan tidak membutuhkan skill operator yang tinggi;
3. Kemampuan untuk menciptakan *permanent joint* yang langsung bisa di inspeksi secara langsung;
4. Dapat menyambungkan material yang berbeda, seperti material polimer dengan logam;
5. Kemampuan untuk menawarkan kontur sambungan yang halus sehingga aerodinamis;
6. Dll.

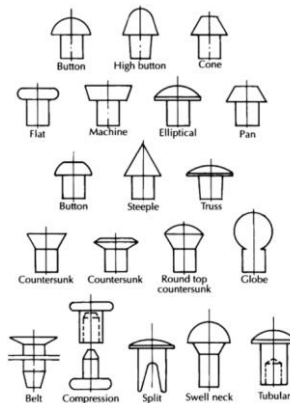
Dari beberapa keuntungan diatas, *rivet* juga memiliki beberapa kekurangan diantaranya, dalam pembebanan tarik statis dan *fatigue*, *rivet* tidak sekuat sambungan *bolt*. Kedua, beban tarik yang tinggi dapat menyebabkan *clinch* atau *upset* terlepas, menyebabkan *rivet* terlepas dari sambungan. Ketiga, vibrasi yang berat dapat melonggarkan sambungan dan proses pengencangan kembali akan

sulit. Keempat, pelepasan untuk pembongkaran sulit dilakukan dibandingkan *fastener* yang memiliki ulir.

Secara garis besar *rivet* dapat dibedakan menjadi 2 kategori, yaitu *solid* dan *tubular*. *Tubular rivet* sendiri dapat diklasifikasikan menjadi *full tubular*, *semitubular*, *compression*, dan *self-piercing*. Ilustrasi *rivet solid* dan *tubular* dapat dilihat pada Gambar 2.9 Fitur yang paling membedakan pada *rivet* adalah bentuk *head* (kepala) *rivet*, yang jumlahnya cukup banyak dapat dilihat pada Gambar 2.10

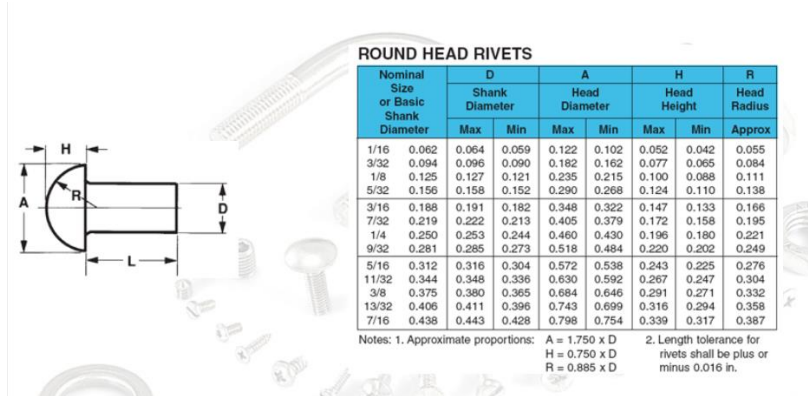


Gambar 2.9 (a) *Solid*, dan (b) *Tubular rivet* dalam sambungan, sebelum dan setelah *upsetting*.



Gambar 2.10 Tipe-tipe *rivet head*.

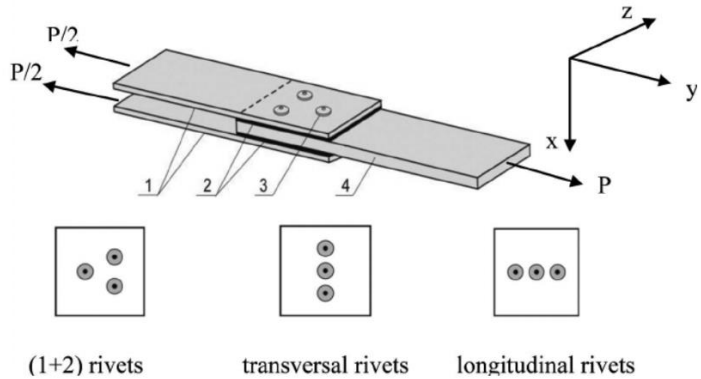
Standar ukuran untuk rivet bisa dilihat pada gambar 2.11 dibawah ini:



Gambar 2.11 Ukuran ASTM untuk rivet

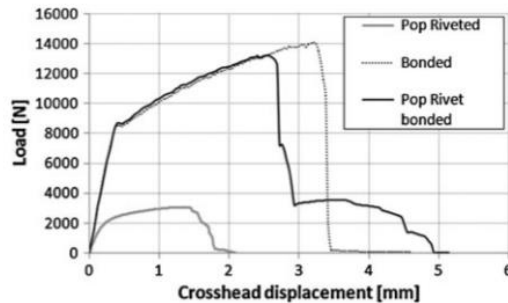
2.5 Sambungan Hybrid

Sambungan *hybrid* dihasilkan dari kombinasi sambungan mekanik (*rivet, screw, etc*) atau las dengan *adhesive*. Sambungan ini memiliki minat teknologi yang besar karena sambungan *hybrid* menggabungkan dan, dalam beberapa kasus meningkatkan efek individu dari setiap jenis sambungan. Properti sambungan ini tidak hanya bergantung pada sifat *adhesive*, tetapi juga pada sambungan mekanik yang digunakan, pada kompatibilitas desain, serta kondisi yang digunakan untuk membuat sambungan *hybrid*. Ilustrasi penggunaan sambungan *hybrid* dapat dilihat pada gambar 2.12



Gambar 2.12 Ilustrasi *Hybrid joint* pada spesimen *double lap joint*.

Rivet-bonding adalah sambungan *hybrid* dari *adhesive* dan sambungan mekanis, *rivet* sebagai penyambung. Sebagai contoh, sambungan *rivet-bonding* telah digunakan dalam manufaktur helikopter, dalam pembebanan cenderung dibebankan kepada *rivet* untuk melindungi *adhesive* dari kegagalan akibat *peel stress*, di sisi lain *adhesive* bertindak sebagai penyebar beban dan mengurangi konsentrasi *stress* yang terjadi di sekitar *rivet*. Kelebihan lainnya adalah untuk meredam vibrasi yang terjadi. Pertimbangan utama dalam pemakaian *rivet-bonding* adalah *self-fixturing* pada sambungan, *rivet* memegang struktur *adhesive* sampai *adhesive* sepenuhnya merekat, dan *adhesive* dapat digunakan sebagai penahan struktur saat proses pemasangan *rivet* sedang berlangsung.

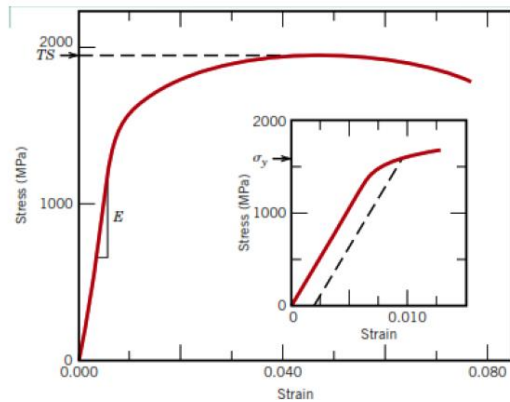


Gambar 2.13 Perbandingan *load* dengan *displacement* dari *adhesive joint*, *rivet joint*, dan *hybrid joint*; *rivet-bonding* (F. Moroni and A. Pirondi, 2010)

Pada gambar 2.13 dapat dilihat hubungan antara pembebanan yang diberikan dengan regangan yang terjadi. Pada *rivet joint* grafik linear hingga beban mencapai sekitar 3000 N setelah itu sambungan mengalami kegagalan dapat dikatakan sambungan ini hanya dapat menerima beban yang lebih rendah jika dibandingkan sambungan lainnya, untuk sambungan *adhesive* mampu menerima beban yang paling besar yaitu disekitar 14000 N tetapi pada sambungan ini jika *adhesive* mengalami kegagalan sambungan bisa dikatakan terdeformasi, berbeda pada *hybrid joint* dimana menerima beban lebih kecil yaitu disekitar 13000 N tetapi saat *adhesive* mengalami kegagalan *rivet* membantu untuk menahan beban sampai terjadinya deformasi sehingga membuat sambungan yang lebih kuat.

2.6 Kurva Tegangan-Regangan

Kurva tegangan regangan (*stress strain curve*) merepresentasikan sifat mekanik sebuah spesimen ketika diberi beban. Secara umum, kurva tegangan regangan memiliki bentuk seperti pada Gambar 2.14



Gambar 2.14 Grafik tegangan regangan (Callister, 2010)

Dari titik 0 (nol), grafik berbentuk garis lurus awal merupakan daerah elastis, dimana tegangan berbanding lurus dengan regangan. Apabila tegangan dilepaskan kembali, maka spesimen akan berbentuk seperti semula. Apabila tegangan terus diberikan hingga melebihi batas elastis maka spesimen memasuki zona plastis, dimana spesimen tidak bisa kembali ke bentuk semula atau bisa disebut dengan deformasi plastis. Kurva tegangan regangan dibuat dari perbandingan beban yang diberikan dan hasil elongasi yang dihasilkan pada spesimen. Tegangan yang diplot pada kurva tegangan regangan akan menjadi tegangan longitudinal rata-rata pada spesimen yaitu, rasio beban berupa terhadap luasan penampang spesimen. Persamaan tegangan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

keterangan:

σ = tegangan

P = beban

A0 = penampang spesimen

Regangan yang telah diplot pada kurva tegangan regangan tersebut adalah regangan rata – rata, dimana nilai tersebut bisa didapatkan dari pembagian elongasi panjang spesimen dengan panjang awal. Persamaan regangan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\delta}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

keterangan:

δ = elongasi

L_0 = panjang awal

ΔL = selisih panjang akhir dengan panjang awal

Karena kedua tegangan regangan yang didapatkan dari pembagian beban dan elongasi dengan faktor yang konstan, maka kurva beban elongasi memiliki bentuk yang sama dengan kurva tegangan regangan (*stress strain curve*).

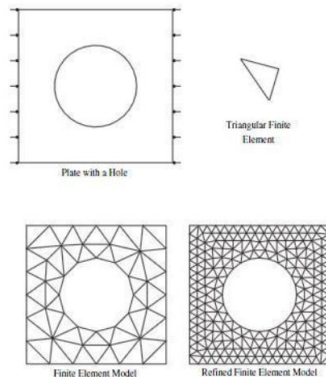
2.7 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga atau *Finite Element Method* adalah sebuah metode yang memiliki ide untuk membagi objek yang kompleks menjadi blok-blok atau elemen sederhana, atau membagi objek yang kompleks menjadi pecahan pecahan kecil yang lebih mudah dikelola yang disebut elemen (J.N. Reddy, 1993).

Finite Element Method (FEM) disebut juga Finite Element Analysis (FEA), adalah sebuah prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa (engineering), seperti analisis nilai tegangan pada struktur, frekuensi pribadi dan mode shape-nya, perpindahan panas, elektromagnetik, dan aliran fluida (S. Moaveni, 1999). Pada dasarnya metode elemen hingga biasanya dapat dilakukan dengan

menganalisa elemen 1D, elemen 2D, atau Elemen 3D. Untuk elemen 1D sebagai contoh adalah elemen spring, trust, beam, pipa, untuk elemen 2D sebagai contoh adalah elemen membrane, pelat, dan shell, untuk elemen 3D dapat berupa elemen solid.

Metode elemen hingga sangat tepat digunakan pada masalah masalah rekayasa dimana exact solution atau analytical solution tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEM adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (finite). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (node). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut meshing. Penggambaran dasar pendekatan FEM ditunjukkan pada gambar 2.15, gambar sebuah plate yang akan dicari nilai distribusi temperaturnya. Bentuk dari geometri plate di *meshing* menjadi bagian-bagian kecil bentuk segitiga untuk mencari solusi yang berupa distribusi temperatur plate. Sebenarnya kasus ini dapat diselesaikan dengan cara langsung yaitu dengan persamaan kesetimbangan panas (heat balance equation). Namun untuk geometri yang rumit seperti engine block diperlukan FEM untuk mencari distribusi temperaturnya.



Gambar 2.15 Meshing pada sebuah plat (*A First Course in Finite Elements. Jacob Fish & Ted Belytschko, 2007*).

2.8 Material Viscoelastic

Viskoelastisitas adalah sifat material yang menunjukkan gabungan karakteristik antara *viscous* dan *elastic* saat mengalami deformasi. Sebagian besar dari material memiliki efek viskoelastik, material polimer, kayu serta logam pada suhu tinggi adalah material-material yang menunjukkan efek viskoelastik yang signifikan. *Adhesive* memiliki perilaku viskoelastik yang besar karena sifat polimernya. Perilaku elastis dapat dimodelkan oleh hukum *Hooke* yang dapat diwakilkan oleh persamaan berikut dalam kasus *tensile stress* dan *shear stress*:

$$\sigma = E\varepsilon$$

$$\tau = G\gamma$$

Sedangkan pada perilaku *viscous* dapat dimodelkan dengan hukum *Newton*:

$$\tau = \eta\dot{\gamma}$$

Keterangan:

σ = *Tensile stress*

E = *Young's Modulus*

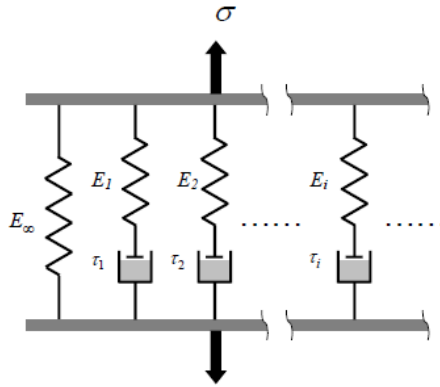
ε = *Tensile strain*

G = *Shear modulus*

γ = *Shear strain*

η = *Viscosity*

$\dot{\gamma}$ = *Strain rate*



Gambar 2.16 Ilustrasi dari model *Maxwell*.

Dapat dilihat pada Gambar 2.16 merupakan model yang digunakan untuk memprediksi sifat viskoelastik pada material dimana material polimer dimodelkan dengan koneksi paralel dari sebuah *isolated spring* (E_∞) dan beberapa elemen *spring-dashpot* (*Maxwell*). Setiap *spring-dashpot* memiliki *relaxation time* yang berbeda-beda sehingga *relaxation modulus* dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$E(t) = E_\infty + \sum_{i=1}^n E_i \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right)$$

dimana,

$$\tau_i = \frac{\eta_i}{E_i}$$

Keterangan:

- $E(t)$ = *Relaxation modulus*
- E_∞ = *Modulus pada ∞*
- τ_i = *Relaxation time elemen ke i*
- η_i = *Viskositas elemen ke i*

E_i = Modulus elemen ke i

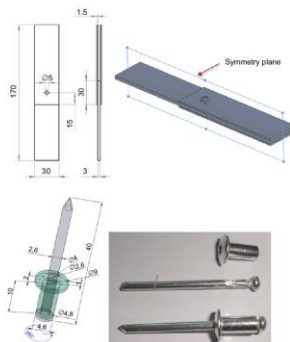
Karakteristik viskoelastik dari sebuah material dapat diwakili oleh *prony series*, atau *relaxation modulus* dalam fungsi waktu. Persamaan diatas juga diketahui sebagai *prony series* dari sebuah material yang dapat digunakan untuk mendeskripsikan sifat viskoelastik pada software *CAE (Computer Aided Engineering)* seperti *ANSYS* yang dimana mengimport nilai τ_i dan E_i .

2.9 Penelitian Terdahulu

2.9.1 Experimental Investigations and Numerical Modelling of Steel Adhesive Joints Reinforced by rivets

Pada tahun 2009 T. Sadowski, M. Kneć, dan P. Golewski melakukan eksperimen uji tarik tentang bagaimana pengaruh sambungan mekanis yaitu *rivet* pada sambungan *adhesive*, sambungan ini dikenal dengan *hybrid joint* jenis sambungan yang digunakan yaitu *double lap joint*. Eksperimen ini menggunakan 3 variasi pengujian yaitu:

1. *Rivet Joint*
2. *Adhesive Joint*
3. *Hybrid Joint: Rivet-Adhesive*

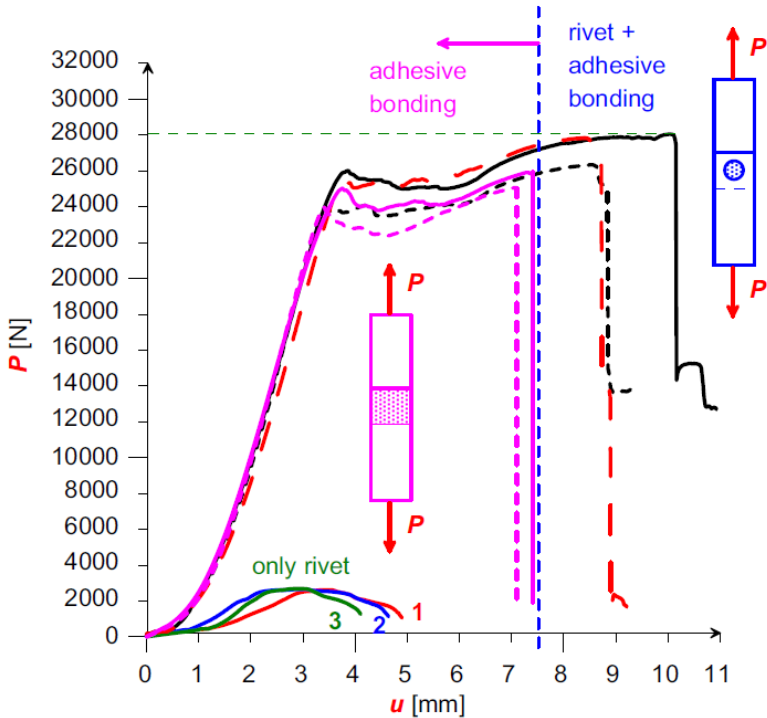


Gambar 2.17 Geometri dan dimensi spesimen eksperimen oleh T. Sadowski, M.Kneć, dan P.Golewski

Tabel 2.2 Material spesimen eksperimen oleh T. Sadowski, M.Knec', dan P.Golewski

Table 2
Mechanical properties of the components of the hybrid joint (DLJ)—own results.

Type of the hybrid joint component	Young's modulus E in [GPa]	Poisson's ratio
Steel adherend	205	0.3
Adhesive	1.75	0.3
Aluminium rivet	70	0.33



Gambar 2.18 Grafik *load-displacement* dari hasil eksperimen oleh T. Sadowski, M. Knec, dan P.Golewski

Tabel 2.3 *Energy absorption* dari masing-masing sambungan dari hasil eksperimen oleh T. Sadowski, M.Knec', dan P.Golewski

Table 1

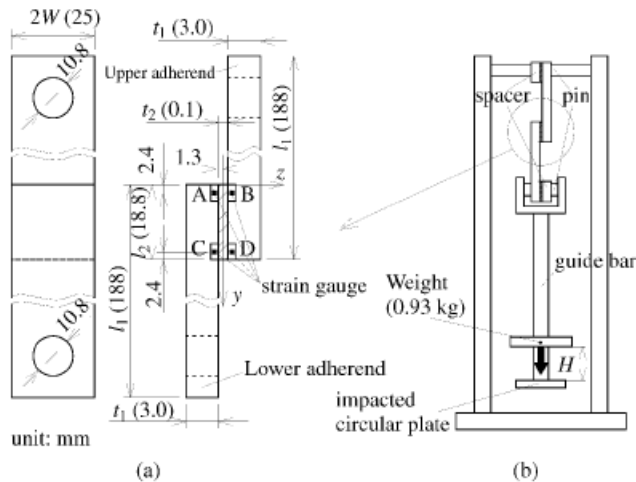
Comparison of energy absorptions of the three types of joints.

Type of joint	Energy absorption (EA) in [J]
Simple riveted joint	7
Simple adhesive joint	122
Hybrid joint	165

Dari hasil eksperimen didapatkan *energy absorption* pada *hybrid joint* naik sebesar 35% dibandingkan dengan *adhesive joint*, penggunaan sambungan dengan *double lap joint* dengan tambahan rivet meningkatkan kekuatan statis pada sambungan. *Stiffening effect* dari sambungan *hybrid* mengakibatkan struktur mekanis yang lebih kuat dan *reliable*.

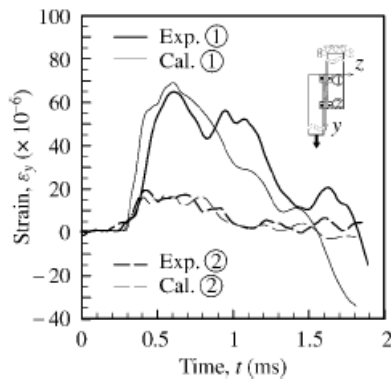
2.9.2 Three-Dimensional Finite Element Analysis of Single-Lap Adhesive Joint Under Impact Loads.

Penelitian ini membahas mengenai studi eksperimental dan *three-dimensional finite-element method* terhadap beban *impact* yang diberikan pada *single-lap adhesive joint* yang dilakukan oleh Izumi Higuchi¹, Toshiyuki Sawa², dan Hidekazu Suga² di *Josai High School*¹ dan *Yamanashi University*² pada tahun 2002. Penelitian ini memperhatikan perambatan gelombang tegangan dan distribusi tegangan yang terjadi pada *single-lap adhesive joint* yang diberi beban *impact*. Perambatan gelombang tegangan dan distribusi tegangan dianalisa menggunakan *elastic three-dimensional finite element method (DYNA3D)*. Beban *impact* diberikan kepada *single-lap adhesive joint* dengan cara menjatuhkan beban, mencekam salah satu bagian *adherend* (bagian atas) dan bagian lain dari *adherend* (bagian bawah) dihubungkan dengan sebuah batang yang diberi *impact* oleh sebuah beban yang dijatuhkan.



Gambar 2.19 (a) Dimensi spesimen dan penempatan *strain gauges* (b) Ilustrasi dari setup eksperimen (Izumi Higuchi, 2002).

Dapat dilihat pada Gambar 2.19 bahwa beban *impact* diberikan dengan menjatuhkan berat $W=0.93$ kg dari ketinggian $H = 10$ mm. Dalam model *FEM*, karena beban dianggap dijatuhkan dari ketinggian $H = 10$ mm, kecepatan awal dari beban W adalah $V = 442.9$ mm/s ($V = \sqrt{2gh}$). Hasil dari simulasi *FEM* dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2.20 Perbandingan nilai respon regangan dari hasil *FEM* dan eksperimental pada titik *strain gauges* 1 dan 2.

Dari hasil penelitian yang didapatkan, peneliti memberikan kesimpulan tentang perambatan gelombang tegangan dan distribusi tegangan, yaitu *maximum principal stress* (σ_1) menjadi maksimum saat berada di dekat ujung sambungan, antarmuka bagian atas *adherend* ($x = 0$ mm, $y = 2.5$ mm, $z = 0.05$ mm). Diketahui juga bahwa komponen tegangan σ_y adalah komponen stress tertinggi dibanding dengan komponen stress lainnya (σ_x , σ_z , dan τ_{yz}). Perbandingan respon regangan pada *strain gauges* 1 dan 2 Gambar 2.20 menunjukkan bahwa hasil dari kedua metode *FEM* dan eksperimental memiliki hasil yang cukup mendekati sehingga bisa disepakati bahwa simulasi yang dilakukan (*FEM*) sudah sesuai.

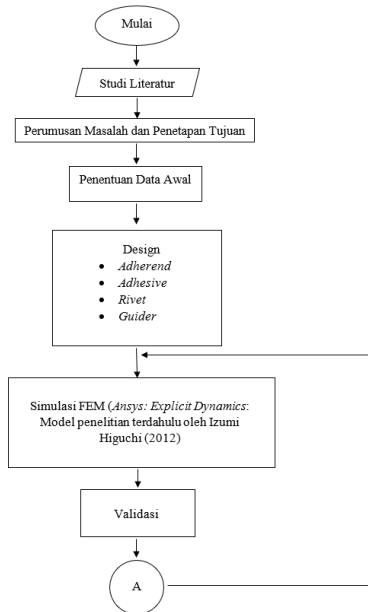
Halaman ini sengaja dikosongkan

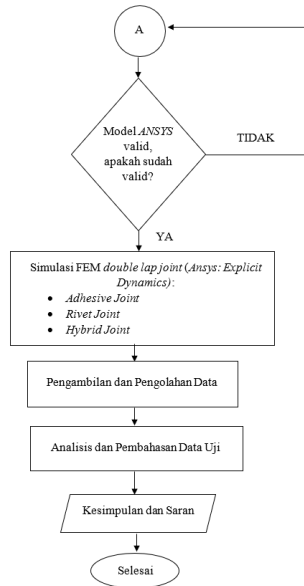
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan simulasi *finite element model* dengan perangkat lunak *ANSYS 2020 Explicit Dynamics*. Penelitian terdahulu oleh *Izumi Higuchi (2002)* digunakan untuk uji validasi *finite element model* dan menentukan *boundary condition* yang digunakan dalam simulasi. Pada bab ini akan dijelaskan tahapan penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian ini.

3.1 Flowchart Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, dilakukan beberapa langkah yang ditunjukkan pada *flowchart* pada gambar 3.1 di bawah ini:





Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

3.2 Studi Literatur

Sebelum penelitian tugas akhir ini dilakukan, maka perlu adanya studi literatur dan mencari referensi yang terkait dengan penelitian ini. Literatur dan referensi tersebut antara lain mengenai sambungan *adhesive*, sambungan *rivet*, sambungan *hybrid*, *double-lap joint*, pengujian *impact tensile*, material *viscoelastic*, *finite element method*. Berbagai sumber tersebut didapatkan dari buku, tugas akhir dan jurnal internasional.

3.3 Perumusan Masalah dan Penetapan Tujuan

Setelah melakukan studi literatur, penulis merumuskan masalah yang sesuai dengan cakupan studi literatur yang dilakukan. Perumusan masalah pada penelitian ini yaitu berfokus pada simulasi dan pemodelan *finite element method* mengenai

hybrid double-lap joint: rivet-bonding yang diberikan beban *impact tensile* dengan *explicit dynamics*. Pada penelitian menganalisa distribusi tegangan dan serapan energi pada sambungan *hybrid* yang diberikan beban *impact tensile*, menggunakan variasi *Young's modulus* dari material *adhesive*. Melalui penelitian ini dapat diketahui distribusi tegangan dan serapan energi dari setiap jenis sambungan dan pengaruh variasi material *adhesive* berdasarkan nilai *Young's modulus*.

3.4 Penentuan Data Awal dan Pemodelan

3.4.1 Penentuan Geometri Komponen Uji

Data awal yang didapatkan untuk penelitian ini adalah data dimensi *adherend*, *adhesive*, dan *rivet*. Geometri spesimen mengacu pada pada paper “*Three-dimensional finite element analysis of single-lap adhesive joints under impact loads*” yang dilakukan oleh Izumi Higuchi (2002). Secara lebih detil, data awal dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini:

Tabel 3.1 Dimensi Komponen *Impact Tensile Test*

Komponen	Parameter	Nilai	Satuan
<i>Adherend</i>	Panjang	188	mm
	Lebar	25	mm
	Tebal	3	mm
<i>Adhesive</i>	Panjang	18.8	mm
	Lebar	25	mm
	Tebal	0.1	mm
<i>Rivet</i>	<i>Shank Diameter</i>	3.9624	mm
	<i>Shank Length</i>	9.2	mm
	<i>Head Diameter</i>	6,9342	mm
	<i>Head Height</i>	2.9718	mm
	<i>Head Radius</i>	3.506724	mm

3.4.2 Penentuan Material Komponen Uji

Pada material *adhesive*, *adherend*, dan *rivet* digunakan material pada umumnya yang telah dilakukan pada penelitian-penelitian sebelumnya dapat dilihat pada tabel 3.2 dan untuk *prony series* dapat dilihat pada tabel 3.3 dibawah ini:

Tabel 3.2 *Material Properties*

<i>Properties</i>	<i>Adherend (Structural Steel)</i>	<i>Rivet (Aluminium Alloy)</i>	<i>Adhesive 1 (Resin Epoxy 5320-1 EO)</i>	<i>Adhesive 2 (Polyurethane)</i>	<i>Adhesive 3 (Epoxy Resin)</i>
<i>Density (Kg/m³)</i>	7850	2770	1200	1100	1810
<i>Young's Modulus (MPa)</i>	200000	71000	3809	1500	700
<i>Poisson's Ratio</i>	0,3	0,33	0,35	0,42	0,3

Material *structural steel* dan *aluminium* yang digunakan dalam simulasi ANSYS menggunakan model material *explicit*, dikarenakan pembebanan yang diberikan yaitu *impact* sehingga perlu adanya sensitifitas regangan agar bentuk deformasi plastis yang terjadi dapat dimodelkan. Untuk *guider* materialnya diasumsikan menggunakan material *structural steel* dan ukurannya sesuai dengan pemodelan yang dibuat oleh penulis karena tidak terdapat pada *paper*, dan untuk beban *impact* diasumsikan *rigid* dengan berat 0,93 kg. Untuk menunjukkan sifat *viscoelastic* dari material *adhesive* maka digunakan properti *prony series* seperti pada tabel 3.3 dimana terdiri dari nilai *shear modulus* dan *relaxation times*.

Tabel 3.3 *Prony Series*

<i>Epoxy Resin 5320-1 EO</i>	<i>Gi (MPa)</i>	<i>Relaxation Times, τ_i (s)</i>
	94,815	$2.56 \times 10^2 s$
	86,296	$5.41 \times 10^3 s$
	87,037	$9.41 \times 10^4 s$
	95,926	$1.47 \times 10^6 s$
	138,148	$1.38 \times 10^7 s$
	217,037	$9.67 \times 10^7 s$
	177,407	$8.05 \times 10^8 s$
	137,037	$5.58 \times 10^9 s$
	174,815	$3.34 \times 10^{10} s$
<i>Polyurethane</i>	<i>Gi (MPa)</i>	<i>Relaxation Times, τ_i (s)</i>
	191,197	6,23E-05
	110,88	38,905
	25,105	302,09
	17,429	394,94
<i>Epoxy Resin</i>	<i>Gi (MPa)</i>	<i>Relaxation Times, τ_i (s)</i>
	76,923	1×10^{-4}
	307,692	1×10^{-3}
	576,923	1×10^{-2}
	384,615	1
	423,0769	10
	1038,461	1×10^2
	1115,384	1×10^3
	961,538	1×10^4
	346,1538	1×10^5

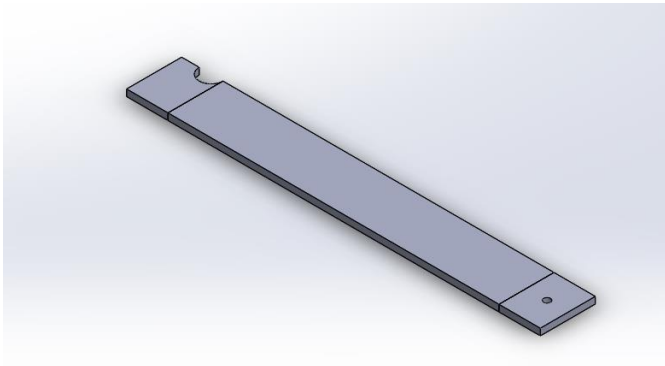
3.5 Proses Desain

Dalam melakukan proses desain, penulis menggunakan *software* SOLIDWORKS 2020. Penulis melakukan proses desain terlebih dahulu, sebelum desain tersebut diinput dan dianalisa

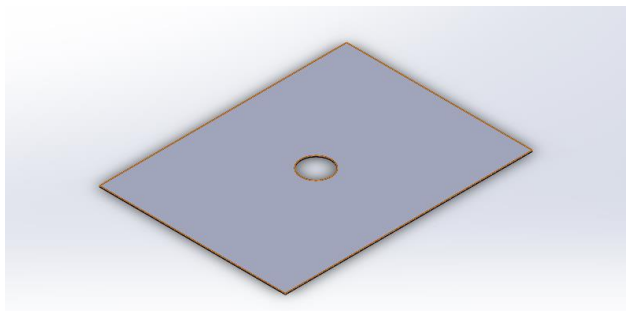
strukturnya menggunakan *software ANSYS 2020*. Langkah-langkah dalam mendesain adalah:

1. Membuat setiap *part* dalam 3D.

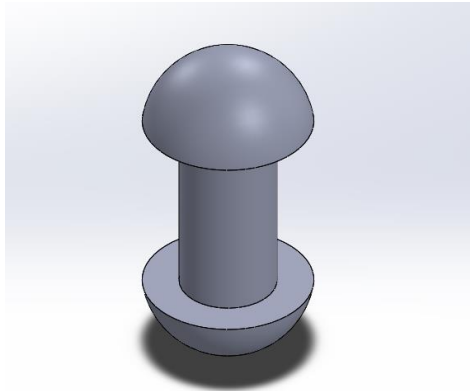
Part atau komponen yang ada dalam pengujian dibuat secara masing-masing. Pembuatan komponen ini juga mengacu pada dimensi yang ada dari penelitian-penelitian terdahulu sesuai dengan penentuan data awal di atas berikut adalah komponen-komponen yang terdapat pada penelitian yang akan dilakukan



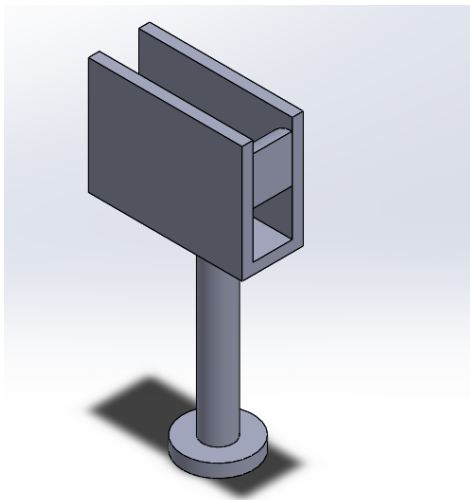
Gambar 3. 2 *Adherend*



Gambar 3. 3 *Adhesive*



Gambar 3. 4 Rivet

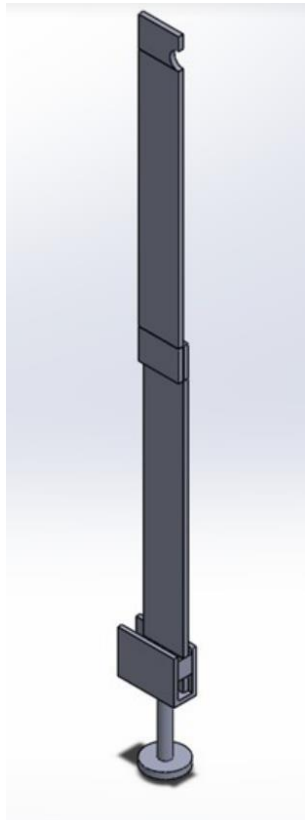


Gambar 3. 5 Guider dan beban tumbuk.

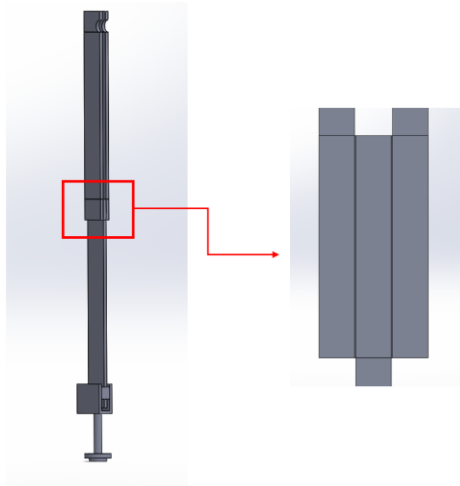
2. Melakukan *Assembly* Komponen.

Setelah membuat komponen-komponen yang ada dalam alat pengujian, maka komponen tersebut digabungkan menjadi satu dengan fitur *assembly part* pada SOLIDWORKS 2020. Selain itu, juga menyatukan

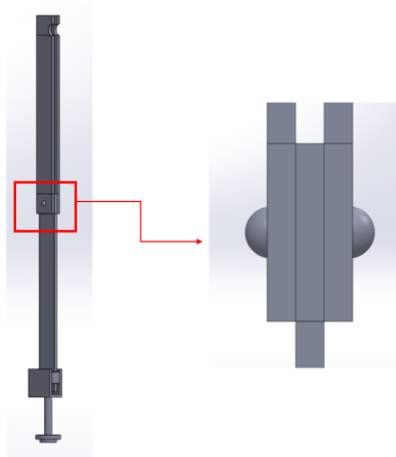
komponen-komponen dengan fitur *mates* dari komponen satu ke komponen lainnya. Desain komponen yang dibuat terdapat dua bagian yaitu model penelitian terdahulu oleh Izumi Higuchi (2002) dan model penelitian yang akan diuji yaitu dengan spesimen *double lap joint* yang terdiri dari 3 jenis sambungan yaitu *adhesive joint*, *rivet joint* dan *hybrid joint*. Berikut adalah hasil *assembly* komponen:



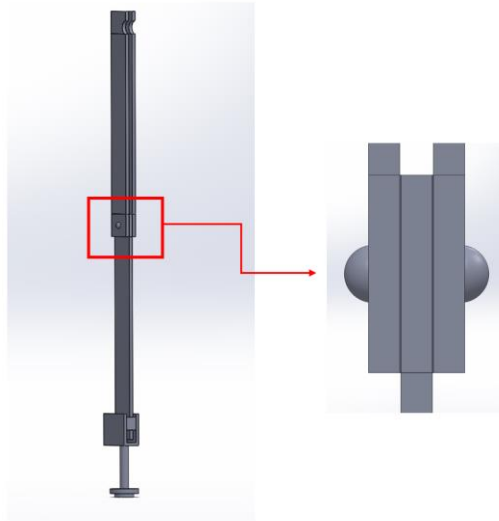
Gambar 3. 6 Model Geometri Izumi Higuchi (2002)



Gambar 3. 7 Geometri adhesvie double lap joint.



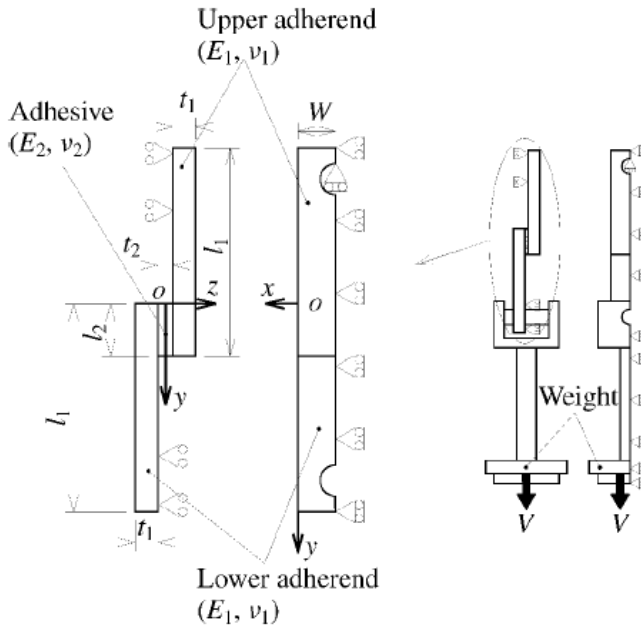
Gambar 3. 8 Geometri rivet double lap joint



Gambar 3. 9 Geometri *hybrid double lap joint*.

3.6 Simulasi Model Penelitian Terdahulu oleh Izumi Higuchi (2002)

Simulasi awal dilakukan untuk proses validasi pemodelan untuk penelitian mengenai *hybrid double lap joint: rivet-bonding*, untuk proses simulasi penelitian ini dilakukan berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh *Izumi Higuchi (2002)*, dengan cara membuat simulasi yang sesuai dengan penelitian tersebut dengan menggunakan *software ANSYS 2020*, setelah simulasi dilakukan maka akan dibandingkan grafik hasil simulasi dengan grafik yang ada di *paper* tersebut. Jika perbandingan grafik sudah sesuai maka bisa dikatakan simulasi yang dilakukan sudah valid, dan bisa digunakan untuk penelitian *hybrid double lap joint* ini, pemodelan simulasi *FEM* oleh *Izumi Higuchi* dapat dilihat pada gambar 3.10



Gambar 3. 10 Pemodelan simulasi *FEM* oleh Izumi Higuchi (2002)

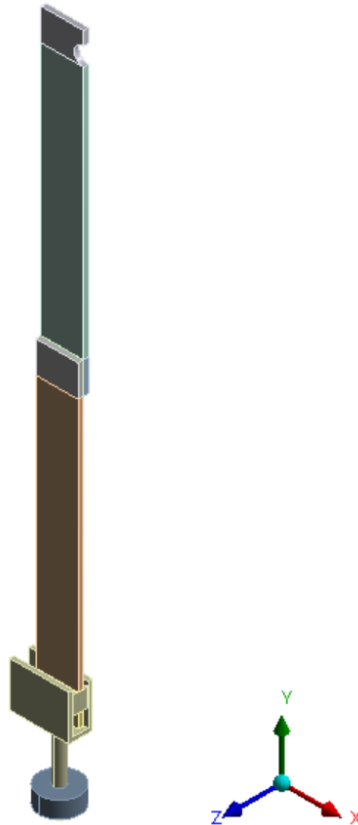
Pada simulasi ini terdapat beberapa komponen dengan material yang berbeda dapat dilihat pada tabel 3.4 di bawah ini

Tabel 3.4 *Material properties pada paper.*

	Adherend SS400	Adhesive EA9430
Young's modulus E (GPa)	200.4	1.770
Poisson's ratio ν	0.291	0.370
Density ρ (g/cm ³)	7.86	1.12

Berikut adalah proses simulasi yang akan dilakukan:

1. *Import* desain dan *assign* material.

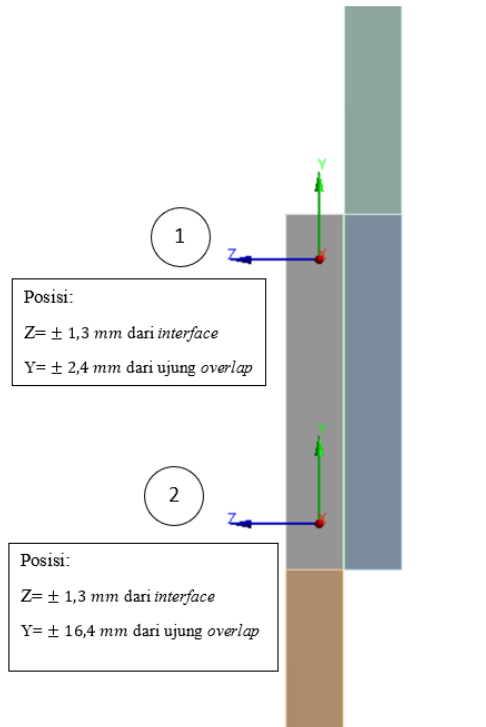


Gambar 3. 11 Tampilan desain setelah *assign* material.

2. *Input Coordinate System*

Penulis akan membandingkan *strain responses* pada *strain gauges* 1 dan *strain gauges* 2 yang telah diletakkan pada posisi yang dapat dilihat pada Gambar

3.12. Perbandingan ini yang nantinya akan menjadi uji validasi dengan hasil oleh Izumi Higuchi (2002).



Gambar 3. 12 Penempatan strain gauges 1 dan strain gauges 2 pada simulasi ANSYS.

3. Proses Meshing

Tahap meshing adalah proses dimana membagi geometri dari komponen uji menjadi elemen-elemen hingga yang jumlahnya terbatas, Semakin kecil ukuran

meshing maka semakin banyak juga jumlah elemennya, dengan begitu nilai yang di dapat dari hasil *meshing* ini semakin akurat. Uji kualitas *meshing* menggunakan *metrics spectrum* pada analisis menggunakan *finite element method* bertujuan untuk mendapatkan hasil yang akurat pada jumlah elemen tertentu. Pada proses dilakukan mengikuti metode dalam tabel 3.5, dimana kualitas mesh dilihat dari nilai *average* dari *skewness* dan *orthogonal quality* dari *metrics spectrum*. Jika nilai dari *skewness* mendekati angka 0 dan nilai *orthogonal quality* mendekati angka 1, maka dapat dikatakan *meshing* sudah akurat.

Tabel 3.5 Metode Proses *Meshing* dengan *Metrics Spectrum*

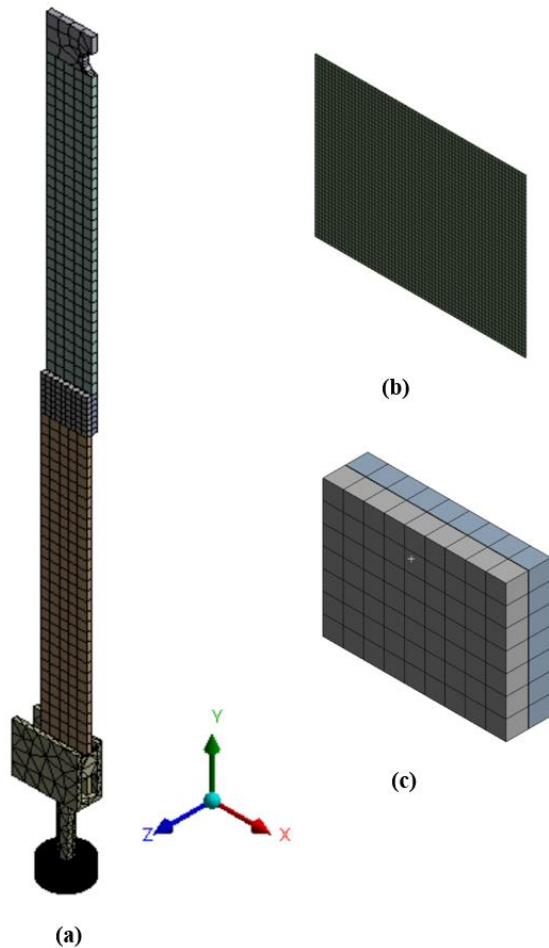
Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Pada simulasi didapatkan hasil dari *mesh metrics* sebagai berikut:

Tabel 3.6 Ukuran *Meshing* simulasi model Izumi Higuchi.

<i>Meshing</i>	<i>Size (mm)</i>	<i>Nodes</i>	<i>Elements</i>	<i>Mesh Metric</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Average</i>
<i>Adhesive</i>	0,4	6144	2961	<i>Orthogonal Quality</i>	0,99	1	0,99
<i>Adherend Overlap</i>	3	160	63	<i>Orthogonal Quality</i>	0,99	0,99	0,99



Gambar 3.13 Material setelah proses *meshing* (a) Keseluruhan (b) *adhesive* (c) *adherend* bagian *overlap*

Untuk proses *meshing* hanya fokus pada bagian *adhesive* dan *adherend overlap* karena bagian tersebut yang akan dianalisa hasilnya, sehingga pada bagian tersebut ukuran dan

bentuk *meshing* harus akurat gambar setelah proses *meshing* dapat dilihat pada gambar 3.13. Proses *meshing* dilakukan dengan menggunakan *body sizing* dengan ukuran 0,4 mm untuk *adhesive*, 3 mm untuk *adherend overlap*, 5 mm untuk *adherend* yang tidak terkena *adhesive*, dan untuk *guder* dengan ukuran 8 mm. Dapat dilihat nilai *average* dari *orthogonal quality mesh* sebesar 0,99 sudah mendekati nilai 1 dari tabel 3.6 terlihat bahwa *meshing* dalam kategori *excellent* maka proses *meshing* dapat dikategorikan sudah baik dan bisa dikatakan akurat.

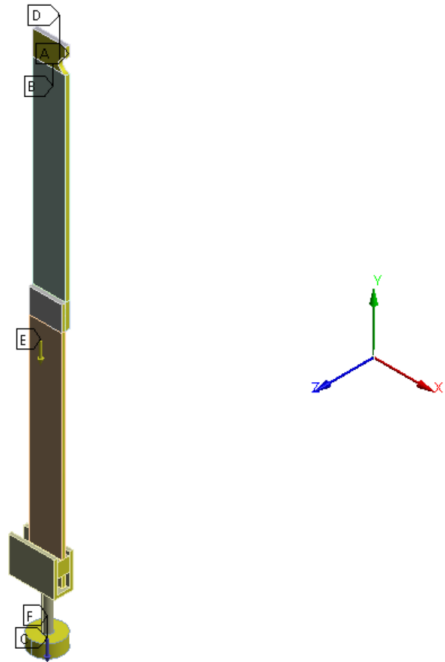
4. Penentuan *Boundary Condition*

Dapat dilihat pada Gambar 3.10 model untuk simulasi FEM yang dilakukan pada *paper*, yang kemudian menjadi *boundary condition* pada simulasi ANSYS. Beban yang diberikan pada simulasi sebesar 0.93 kg yang dijatuhkan dari ketinggian $H = 10$ mm. Pada simulasi ANSYS beban dianggap sudah menumbuk sehingga kecepatannya 442.9 mm/s didapat dari persamaan $V = \sqrt{2gH}$. Kemudian diberikan *standard earth gravity* kearah sumbu Y negatif, dan pemberian *displacement* ke arah sumbu X, Y, dan Z yang sesuai pada *boundary condition* pada *paper*, pada simulasi *boundary condition* dapat dilihat pada gambar 3.14 dibawah ini:

B: Validasi

Displacement 4
Time: 1,5e-003 s
08/02/2022 16:11

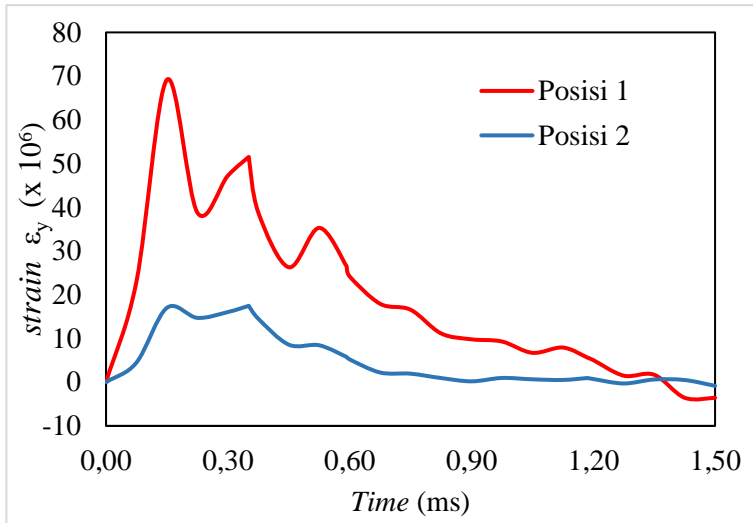
- A** Displacement 2
- B** Displacement
- C** Displacement 3
- D** Displacement 4
- E** Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²
- F** Velocity: 442,9 mm/s



Gambar 3. 14 *Boundary condition* pada simulasi

5. Hasil Simulasi

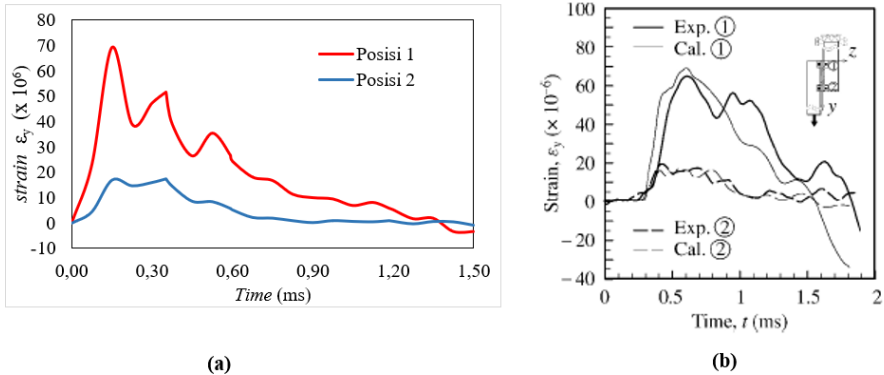
Hasil simulasi yang didapatkan menggunakan *strain gauges* yang diletakkan sesuai pada gambar 3.12 dimana hasil dari *strain responses* dapat dilihat seperti pada gambar 3.15, hasil ini yang akan dibandingkan dengan hasil yang didapatkan oleh Izumi Higuchi dan dijadikan sebagai validasi dari metodologi pada simulasi ANSYS.



Gambar 3. 15 Hasil *strain response*

3.7 Validasi

Proses validasi ini dilakukan dengan cara mensimulasikan penelitian yang dilakukan oleh *Izumi Higuchi (2002)* pada software *ANSYS* dan membandingkan hasil simulasi *ANSYS* dengan hasil eksperimen yang dilakukan, dapat dilihat perbandingan hasil yang didapat seperti pada gambar 3.16 dibawah ini:



Gambar 3.16 Perbandingan hasil *strain responses* (a) Simulasi pada ANSYS (b) Hasil komparasi oleh Izumi Higuchi

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan komparasi antara hasil eksperimen dan *numerical* yang dapat dilihat pada Gambar 3.16 (b). Untuk proses validasi penulis melakukan perbandingan hasil komparasi dan hasil simulasi ANSYS yang telah dilakukan. Hasil yang didapat dapat dilihat pada Gambar 3.16(a), *strain response* langsung mencapai maksimum, karena pada simulasi ANSYS beban langsung menumbuk dengan kecepatan 442,9 mm/s yang didapatkan dari perhitungan kecepatan jatuh bebas dari ketinggian $H=10$ mm. *Strain response* maksimum pada titik 1 hasil simulasi ANSYS didapatkan nilai sebesar $69,175 \times 10^{-6}$ mm/mm, sedangkan *strain response* maksimum pada titik 1 hasil *paper* berada di kisaran 70×10^{-6} mm/mm atau memiliki perbedaan 1,178%. Pada titik 2, *strain response* maksimum hasil simulasi ANSYS sebesar $17,47 \times 10^{-6}$ mm/mm, sedangkan *strain response* maksimum hasil *paper* berada di kisaran 15×10^{-6} mm/mm atau memiliki perbedaan 9.57%. Dilihat bahwa trendline dari kedua grafik memiliki bentuk yang hampir sama, dan perbedaan *strain responses* maksimum di masing-masing titik masih dibawah 10%, dan dapat dilihat proses tumbukan sudah dainggap selesai karena

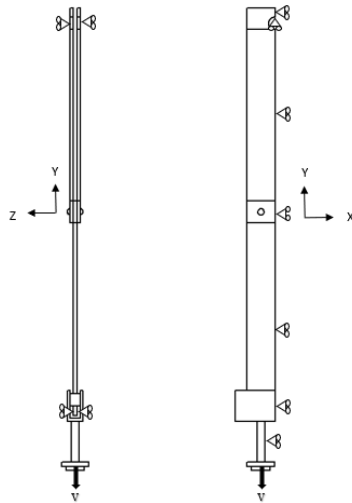
nilai *strain responses* yang menurun sampai di angka 0, maka simulasi pada ANSYS bisa dianggap valid.

3.8 Simulasi FEM (Ansys: *Explicit Dynamics*) dengan Model Spesimen *Double Lap Joint* terhadap beban *Impact Tensile*

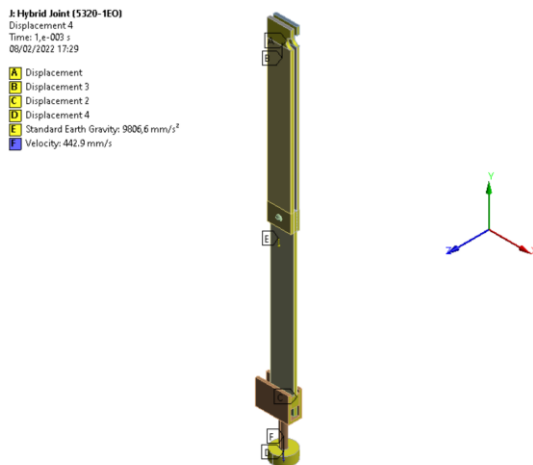
Setelah simulasi model Izumi Higuchi telah valid, selanjutnya dilakukan simulasi dengan metode yang sama dengan mengganti spesimen uji menjadi *double lap lap joint*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 variasi jenis sambungan yaitu *adhesive joint*, *rivet joint*, dan *hybrid joint* dan dengan variasi material *adhesive* seperti pada tabel 3.2.

3.8.1 Boundary Condition

Simulasi *double lap joint* menggunakan *boundary condition* yang sama dengan model Izumi Higuchi, dimana dengan *initial velocity* sebesar 442,9 mm/s yang diberikan pada beban tumbuk seperti pada gambar 3.17 dan pada simulasi seperti pada gambar 3.18.

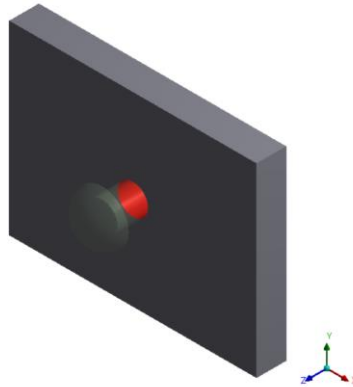


Gambar 3.17 Free body diagram model geometri Double Lap Joint



Gambar 3.18 Model double lap joint pada simulasi ANSYS

Untuk *contact* bagian *adherend* yang menyentuh bagian *rivet* dibuat *frictional* dengan koefisien gesek statis dan dinamis antara diatur sebesar 0,2 dan 0,1 seperti pada gambar 3.19. Dan untuk *contact* bagian yang lainnya dibuat *bonded* dan menghapus *contact* antara *guider* dengan beban tumbuk, ini berlaku untuk semua jenis sambungan.



Gambar 3.19 *Contact* antara *rivet* dengan *adherend*

3.8.2 Proses Meshing pada Simulasi Model *Double Lap Joint*

Ukuran dan kualitas *meshing* pada *adhesive joint*, *rivet joint*, *hybrid joint* pada spesimen *double lap joint* dapat dilihat pada tabel 3.7, 3.8, dan 3.9. Untuk penambahan *rivet* pada *rivet joint* dan *hybrid joint* proses *meshing* menambahkan *method* pada bagian *rivet* dengan menggunakan bentuk *Tetrahedrons* dan untuk ukuran *meshing* pada *guider* sama dengan proses validasi yaitu sebesar 8 mm. Untuk *mesh metrics* pada bagian *adhesive* menggunakan nilai *Orthogonal quality*, dapat dilihat untuk *adhesive* dan *hybrid joint* dengan ukuran *adhesive* sebesar 0,5 mm didapatkan nilai *average* 1 dan 0,99 dengan nilai maksimal dan minimal yang sudah mendekati 1 dan untuk bagian *rivet* menggunakan *Jacobian Ration* dikarenakan *mesh metrics* ini lebih cocok untuk bentuk yang

silindris seperti *rivet*, dimana pada *rivet joint* dan *hybrid joint* menggunakan ukuran *rivet* sebesar 2 mm, didapatkan nilai *average* sebesar 1. Dari hasil *quality* dari *mesh metric* yang nilainya sudah mendekati 1 mengacu pada tabel 3.5, dapat dikatakan proses *meshing* sudah akurat dan dapat digunakan. Untuk gambar *meshing* dapat dilihat secara keseluruhan pada gambar 3.20 dan untuk setiap bagian pada gambar 3.21.

Tabel 3.7 Ukuran *meshing* dan *Mesh Metrics* pada Geometri *Adhesive Joint*

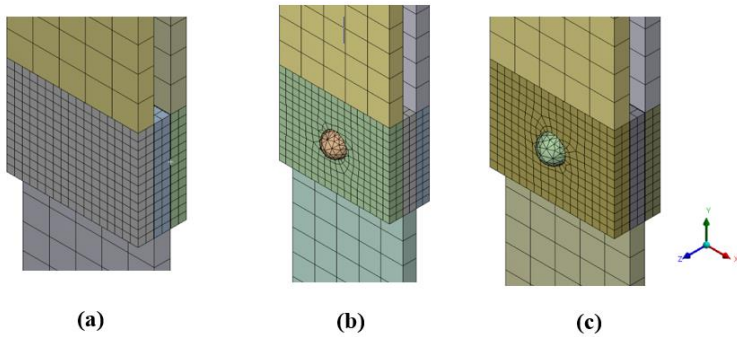
<i>Meshing</i>	<i>Size (mm)</i>	<i>Nodes</i>	<i>Elements</i>	<i>Mesh Metric</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Average</i>
<i>Adhesive</i>	0,5	3978	1900	<i>Orthogonal Quality</i>	1	1	1
<i>Adherend Overlap</i>	1,5	756	442	<i>Orthogonal Quality</i>	0,99	1	0,99

Tabel 3.8 Ukuran *meshing* dan *Mesh Metrics* pada Geometri *Rivet Joint*

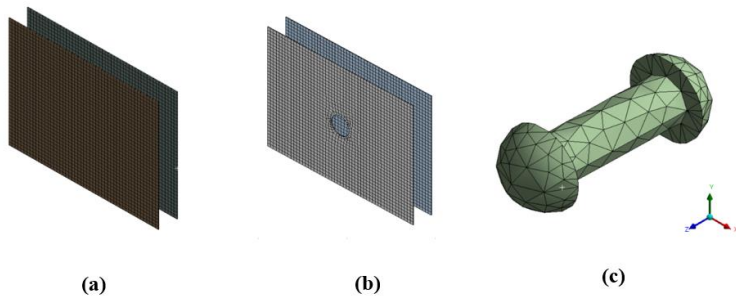
<i>Meshing</i>	<i>Size (mm)</i>	<i>Nodes</i>	<i>Elements</i>	<i>Mesh Metric</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Average</i>
<i>Rivet</i>	2	222	660	<i>Jacobian Ration (Gauss Point)</i>	1	1	1
<i>Adherend Overlap</i>	1,5	912	522	<i>Orthogonal Quality</i>	0,75	1	0,97

Tabel 3.9 Ukuran *meshing* dan *Mesh Metrics* pada Geometri *Hybrid Joint*

<i>Meshing</i>	<i>Size (mm)</i>	<i>Nodes</i>	<i>Elements</i>	<i>Mesh Metric</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Average</i>
<i>Adhesive</i>	0,5	3984	1890	<i>Orthogonal Quality</i>	0,78	1	0,99
<i>Adherend Overlap</i>	1,5	912	522	<i>Orthogonal Quality</i>	0,75	1	0,97
<i>Rivet</i>	2	218	634	<i>Jacobian Ration (Gauss Point)</i>	1	1	1



Gambar 3.20 Geometri setelah proses *meshing* (a) *Adhesive Joint* (b) *Rivet Joint* (c) *Hybrid Joint*



Gambar 3.21 Geometri setelah proses *meshing* pada bagian (a) *adhesive* (pada *adhesive joint*) (b) *adhesive* (pada *rivet* dan *hybrid joint*) (c) *rivet*

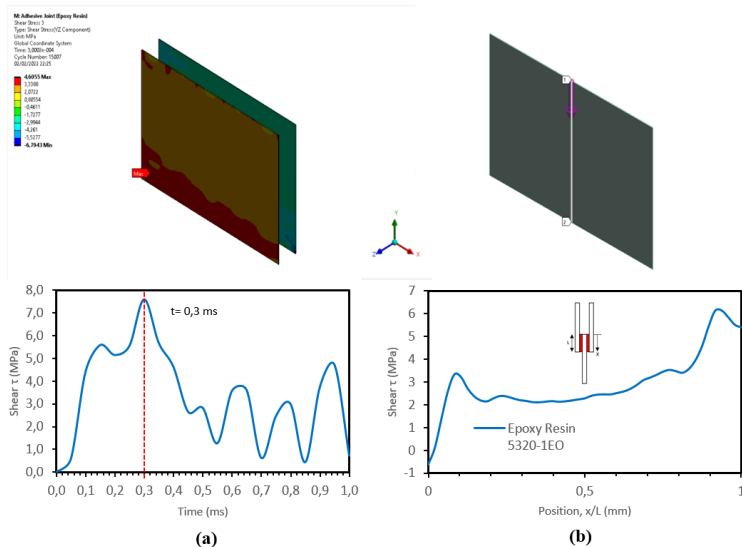
3.8.3 Hasil Simulasi Model *Double Lap Joint*

Setelah menentukan *boundary condition* dan melakukan proses *meshing*, untuk hasil yang dianalisa yaitu pada bagian *adhesive* dan *rivet* saja dimana pada penelitian ini berfokus pada

distribusi tegangan dan serapan energi untuk setiap jenis sambungan, berikut adalah hasil dari simulasi *double lap joint*:

3.8.3.1 Adhesive Joint

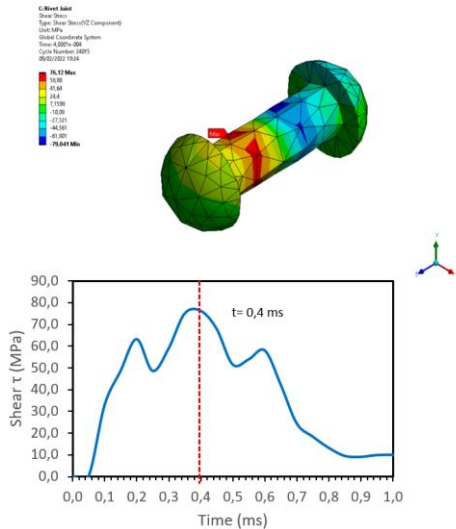
Untuk hasil yang diamati yaitu pada bagian *adhesive*, dalam sambungan *adhesive* tegangan yang diamati pada umumnya yaitu *shear* dan *peel*, dapat dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada bagian *adhesive* didapat pada waktu $t=0,3$ ms yaitu seperti pada gambar 3.22 (a), selanjutnya untuk menganalisa distribusi tegangan digunakan fitur *path* pada ANSYS seperti gambar 3.22 (b) dapat dilihat pada saat tegangan maksimum yaitu pada waktu $t=0,3$ ms distribusi tegangannya didapat seperti pada gambar berikut:



Gambar 3. 22 Tegangan Maksimum di bagian *adhesive* pada *adhesive joint* uji *impact tensile*. (a) Grafik Terhadap Waktu (b) Distribusi tegangan dalam satuan panjang (x/L)

3.8.3.2 Rivet Joint

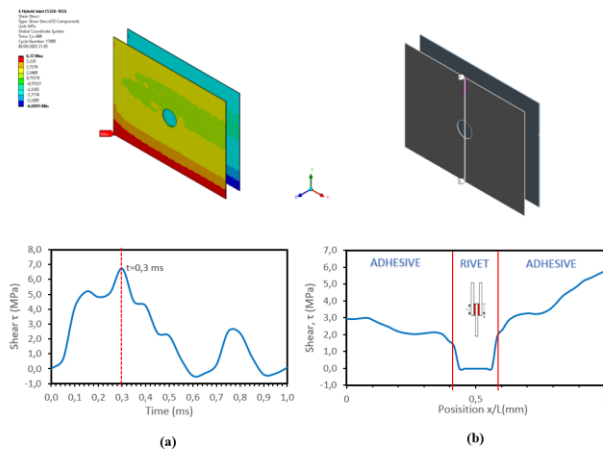
Untuk hasil yang diamati pada *rivet joint* yaitu pada bagian *rivet*, dapat dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada bagian *rivet* didapat pada waktu $t=0,4$ ms yaitu seperti pada gambar 3.22



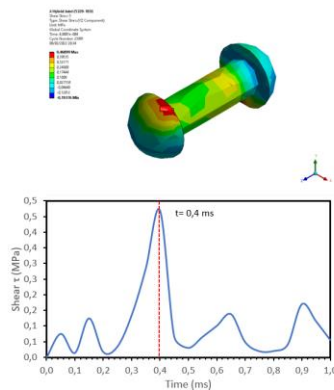
Gambar 3.23 Tegangan Maksimum di bagian *rivet* pada *rivet joint* uji *impact tensile*.

3.8.3.3 Hybrid Double Lap Joint

Untuk hasil yang diamati pada *hybrid joint* yaitu pada bagian *adhesive* dan *rivet*, dapat dilihat tegangan maksimum yang terjadi pada bagian *adhesive* didapat pada waktu $t=0,3$ ms yaitu seperti pada gambar 3.24 (a), selanjutnya untuk menganalisa distribusi tegangan digunakan fitur *path* pada ANSYS seperti gambar 3.24 (b), dan untuk *rivet* tegangan maksimum terjadi pada waktu $t=0,4$ ms seperti pada gambar 3.25.



Gambar 3.24 Tegangan Maksimum di bagian *adhesive* pada *hybrid joint* uji *impact tensile*. (a) Grafik Terhadap Waktu (b) Distribusi tegangan dalam satuan panjang (x/L)



Gambar 3.25 Tegangan Maksimum di bagian *rivet* pada *hybrid joint* uji *impact tensile*.

Setelah semua variasi jenis sambungan telah selesai disimulasikan maka dapat ditetapkan untuk nilai tegangan maksimum *adhesive* didapatkan pada waktu $t=0,3$ ms dan untuk *rivet* pada waktu $t=0,4$ ms.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

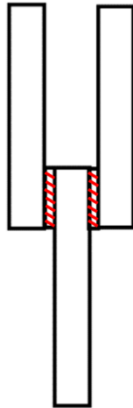
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh sifat viskoelastis *adhesive* dan *Young's Modulus* terhadap distribusi tegangan dan serapan energi pada *hybrid double lap joint: rivet bonding* yang diberikan beban *impact tensile*. Untuk mengetahui pengaruh tersebut dilakukan pengujian dengan metodologi mengacu pada penelitian oleh *Izumi Higuchi (2002)* menggunakan simulasi numerik (*ANSYS Explicit Dynamics*). Pengujian dilakukan menggunakan tiga bentuk sambungan yaitu; *adhesive joint*, *rivet joint*, dan *hybrid joint*. Dan menggunakan tiga variasi material *adhesive* yaitu; Epoxy 5320 1-EO, Polyurethane, dan Epoxy Resin yang memiliki nilai *Young's Modulus* sebesar; 3809 Mpa, 1500 Mpa, dan 700 Mpa.

Tahapan penelitian ini dilakukan dengan mengamati distribusi tegangan dan serapan energi pada setiap sambungan dengan variasi material *adhesive*. Setelah itu akan dibandingkan nilai distribusi tegangan dan serapan energi untuk mengetahui kekuatan sambungan dari setiap bentuk sambungan yaitu; *adhesive joint*, *rivet joint*, dan *hybrid joint*.

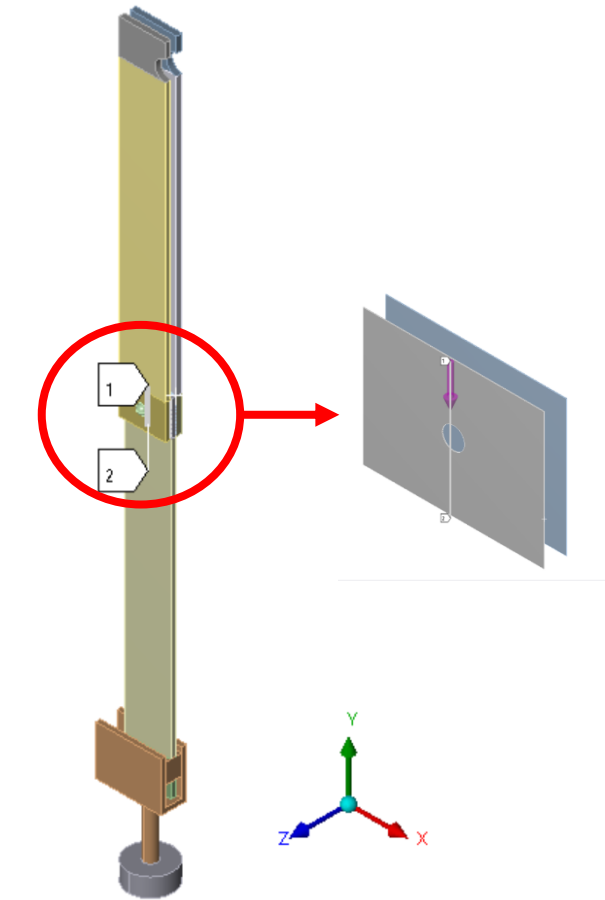
4.1 Hasil Pengujian

Pada subbab ini akan dijelaskan hasil dari distribusi tegangan dan serapan energi dari setiap bentuk sambungan dari simulasi yang telah dilakukan menggunakan metode elemen hingga (*ANSYS Explicit Dynamics*). Pada umumnya tegangan yang terjadi pada *adhesive joint* adalah *shear stress* dan *peel stress*, tegangan ini yang akan menyebabkan kegagalan pada sambungan ini (*Messler, 2004*), sehingga pada pengujian ini akan diamati *shear stress* dan *peel stress* dari setiap bentuk sambungan.

Untuk penelitian ini dilakukan menggunakan bentuk sambungan *double lap joint*, pada sambungan ini nilai *stress* tertinggi berada pada salah satu ujung dari *adhesive*. Dengan menggunakan bentuk sambungan *double lap* dapat menahan beban *peel stress* lebih kuat sehingga sambungan tidak mengalami *bending* yang menyebabkan kegagalan sambungan. Namun untuk nilai *shear stress* masih terbilang besar jika dibandingkan dengan *peel stress* sehingga pada pengujian ini akan dilihat pengaruh dari *hybrid double lap joint*; *rivet bonding* jika dibandingkan dengan *adhesive joint*, dan *rivet joint*.



Gambar 4.1 Daerah distribusi tegangan dan serapan energi yang diamati

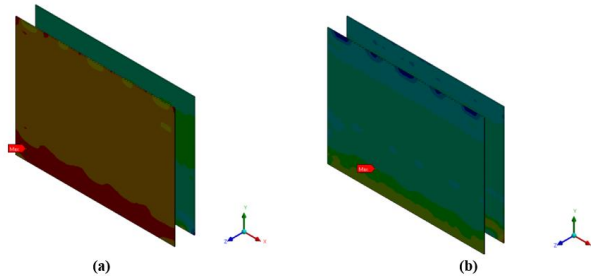


Gambar 4. 2 Ilustrasi fitur *path* pada ANSYS

Daerah yang dianalisa yaitu pada bagian *adhesive* seperti pada gambar 4.1 pada sambungan *double-lap* pengambilan data hanya dilihat dari salah satu *adhesive* saja karena nilai tegangan maksimum dari kedua *adhesive* sama besarnya dan untuk *hybrid joint* dan *rivet joint* akan dianalisa juga pada bagian *rivet* yang terpasang pada sambungan. Pada simulasi digunakan fitur *path*

yang terdapat pada *input construction geometry* seperti pada gambar 4.2 agar dapat melihat distribusi tegangan dan serapan energi yang terjadi di sepanjang *adhesive* dan *rivet*. Berikut adalah hasil yang didapat dari sambungan *adhesive*, *rivet*, dan *hybrid*:

4.1.1 Adhesive Joint

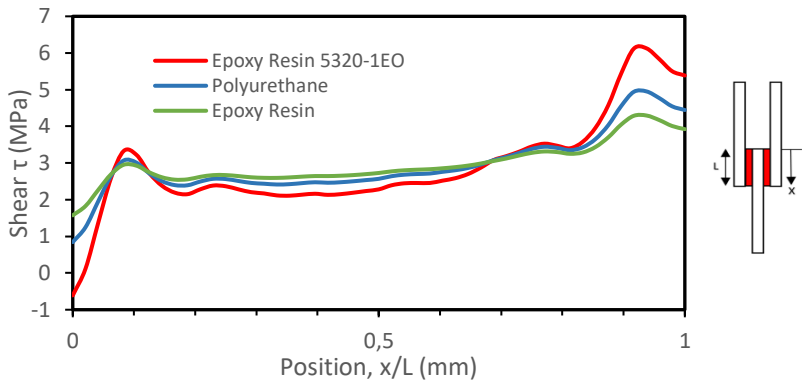


Gambar 4.3 Hasil dari simulasi *adhesive joint* pada bagian *adhesive* (a) *Shear Stress* (b) *Peel Stress*

Dapat dilihat pada gambar 4.3 merupakan hasil dari *shear stress* dan *peel stress* pada *adhesive joint*, nilai maksimum dari kedua tegangan berada pada ujung sambungan dan pada ujung lainnya nilai tegangannya lebih rendah begitu juga pada bagian tengah *adhesive* distribusi ini berlaku disepanjang luasan *adhesive*. Untuk melihat distribusinya digunakan fitur *path* seperti pada gambar 4.2, berikut adalah analisa distribusi tegangan pada *adhesive joint*:

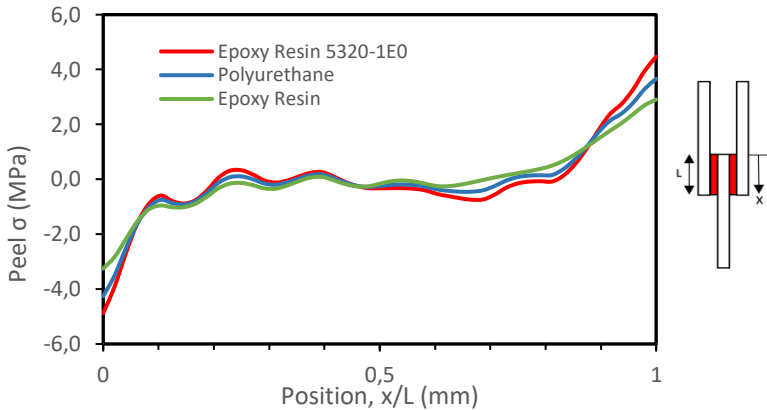
4.1.1.1 Distribusi Tegangan pada *Adhesive Joint*

Daerah yang dianalisa yaitu di sepanjang bagian tengah *adhesive* pada sambungan, dengan menggunakan fitur *path* pada simulasi didapatkan distribusi tegangan sebagai berikut:



Gambar 4.4 Pengaruh variasi jenis material *adhesive* terhadap distribusi *shear stress* pada *adhesive joint*

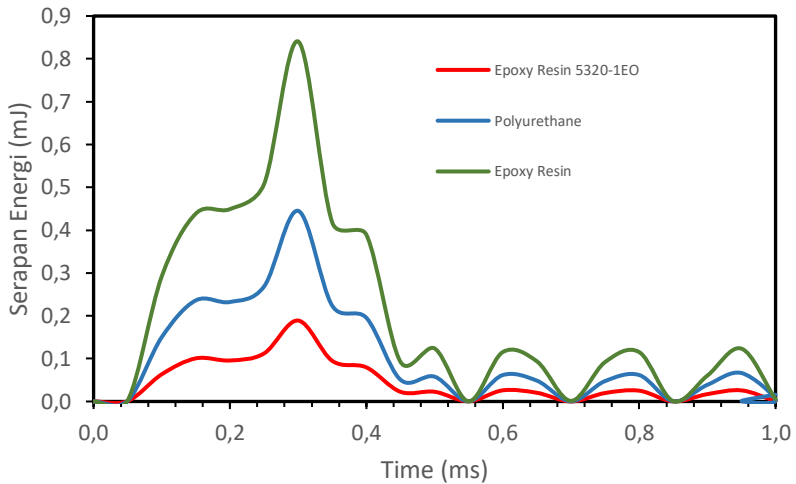
Pada gambar 4.4 terlihat bahwa pada *adhesive double lap joint* dengan semua variasi material *adhesive* nilai *shear stress* tertinggi berada pada posisi $x = 0,9375$ mm yaitu berada pada dekat salah satu ujung sambungan, dan nilai *shear stress* turun pada bagian tengah kemudian naik kembali pada ujung lain dari sambungan. Untuk nilai maksimum *shear stress* pada setiap variasi material *adhesive* memiliki perbedaan dimana nilai tertinggi yaitu pada Epoxy 5320 1-EO sebesar 6,1263 Mpa, untuk Polyurethane sebesar 4,952 Mpa, dan untuk nilai *shear stress* terendah yaitu Epoxy Resin sebesar 4,295 Mpa variasi ini memiliki distribusi tegangan yang lebih merata dibandingkan dengan variasi lainnya dan *Young's Modulus* terendah yaitu sebesar 700 Mpa.



Gambar 4.5 Pengaruh variasi jenis material *adhesive* terhadap distribusi *peel stress* pada *adhesive joint*

Setelah itu pada gambar 4.5 terlihat bahwa pada *adhesive double lap joint* dengan semua variasi material *adhesive* didapat nilai *peel stress* tertinggi berada pada posisi $x = 1$ mm. Untuk nilai *peel stress* pada sambungan *adhesive* memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai *shear stress*. *Peel stress* naik di dekat salah satu ujung sambungan, dan pada bagian tengah dan ujung lainnya distribusi *peel stress* lebih merata. Untuk nilai maksimum *peel stress* pada setiap variasi material *adhesive* memiliki perbedaan dimana nilai tertinggi yaitu pada Epoxy 5320 1-EO sebesar 4,47 Mpa, untuk Polyurethane 3,664 Mpa, dan untuk nilai terendah yaitu Epoxy Resin sebesar 2,906 Mpa. Untuk *peel stress* disepanjang *adhesive* terdapat nilai *positive* dan *negative* ini menandakan adanya perubahan arah gaya *peel* yang membuat tegangan *peel* lebih rendah jika dibandingkan dengan *shear*.

4.1.1.2 Serapan Energi pada *Adhesive Joint*



Gambar 4.6 Grafik serapan energi pada *adhesive joint*

Setelah mengamati distribusi tegangan selanjutnya dilakukan analisa serapan energi, didapatkan hasil dari serapan energi yang diterima oleh bagian *adhesive* pada *adhesive joint* yang terlihat dalam gambar 4.6. Pada grafik diatas dapat dilihat serapan energi tertinggi untuk setiap material *adhesive* yaitu pada waktu 0,3 ms. Nilai serapan energi terbesar yaitu pada Epoxy Resin dengan *Young's Modulus* 700 Mpa dengan nilai serapan 0,84 mJ, untuk Polyurethane didapat nilai serapan energi sebesar 0,44 mJ, dan untuk Epoxy Resin 5320-1EO didapat nilai serapan energi sebesar 0,19 mJ.

4.1.2 Rivet Joint

Setelah melakukan penelitian pada *adhesive joint*, selanjutnya akan dianalisa untuk *rivet joint*. Pada *rivet joint* akan dilihat letak *shear stress* dan *peel stress* maksimum pada bagian *rivet*, berikut adalah hasil dari simulasi yang telah dilakukan:

4.1.2.1 Tegangan pada *Rivet Joint*

C: Rivet Joint

Shear Stress

Type: Shear Stress(YZ Component)

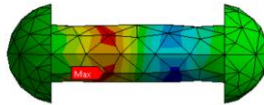
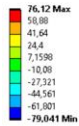
Unit: MPa

Global Coordinate System

Time: 4,0001e-004

Cycle Number: 24015

03/02/2022 8:51



Gambar 4.7 *Shear Stress* pada bagian rivet

C: Rivet Joint

Normal Stress

Type: Normal Stress(Z Axis)

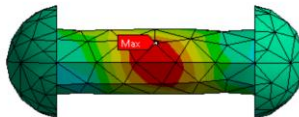
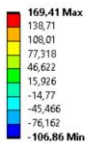
Unit: MPa

Global Coordinate System

Time: 4,0001e-004

Cycle Number: 24015

03/02/2022 8:52

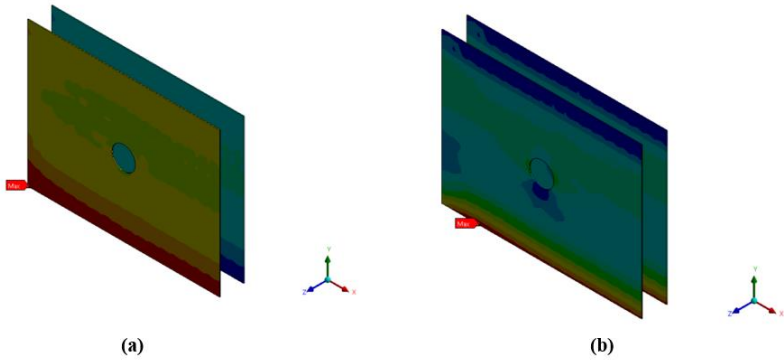


Gambar 4.8 *Peel stress* pada bagian rivet

Dapat dilihat dari gambar 4.7 letak maksimum *shear stress* yaitu pada bagian badan atau *bearing rivet* dengan nilai maksimum sebesar 76,12 Mpa, dan untuk gambar 4.8 dapat dilihat letak maksimum *normal stress* berada sama dengan *shear stress* yaitu pada bagian badan atau *bearing rivet* dengan nilai sebesar 169,41 Mpa. Pada pembahasan *rivet joint* tidak ditampilkan karena nilai tegangannya yang sangat besar dimana kekuatan sambungan ini lebih lemah jika dibandingkan sambungan *adhesive* dan *hybrid* dikarenakan sifat *rivet* sendiri yang tidak bisa mendistribusikan tegangan secara merata sehingga tegangan hanya berpusat pada satu daerah saja, dimana hal ini menyebabkan tegangan pada *rivet* jauh lebih besar jika dibandingkan dengan *adhesive*.

4.1.3 Hybrid Joint

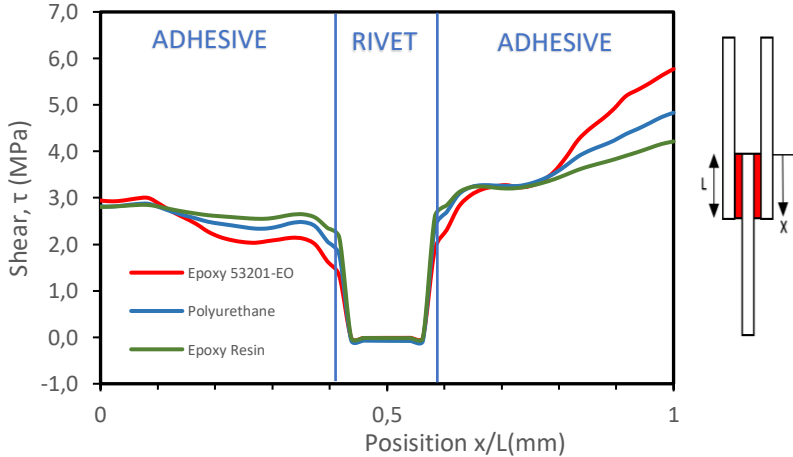
Setelah *adhesive joint* dan *rivet joint* sambungan yang terakhir yaitu *hybrid joint; rivet bonding*, pada sambungan ini akan dianalisa pada dua bagian yaitu *adhesive* dan *rivet*. Analisa yang dilakukan sama halnya dengan *adhesive joint* yaitu melihat distribusi tegangan dan serapan energi pada setiap bagian, Letak *rivet* pada *hybrid joint* berada pada bagian tengah *adhesive* yaitu pada posisi $x = 0,418$ mm sampai dengan posisi $x = 0,582$, pada gambar 4.9 dapat dilihat nilai maksimum dari *shear stress* dan *peel stress* pada *adhesive* berada pada salah satu ujung dari sambungan berikut adalah hasil dari simulasi yang dilakukan:



Gambar 4.9 Hasil dari simulasi *hybrid joint* pada bagian *adhesive* (a) *Shear Stress* (b) *Peel Stress*

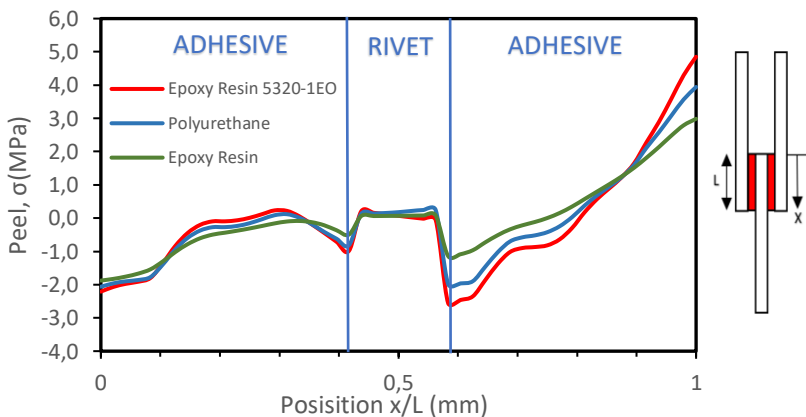
4.1.3.1 Distribusi Tegangan pada *Hybrid Joint*

a. Pada bagian *adhesive*



Gambar 4.10 Pengaruh variasi jenis material *adhesive* terhadap distribusi *shear stress* pada *hybrid joint*: *rivet bonding*

Pada gambar 4.10 diatas dapat dilihat grafik distribusi dari *shear stress* pada *hybrid joint; rivet bonding* dari setiap variasi material *adhesive*. Nilai maksimum *shear stress* untuk setiap variasi material berada pada dekat ujung sambungan pada posisi $x=1$ mm dimana tegangan diterima paling besar oleh *adhesive* jika dibandingkan dengan *rivet* hanya menerima beban tegangan yang jauh lebih kecil hal ini dikarenakan *rivet* baru bekerja saat *adhesive* menerima kegagalan. Pada bagian yang mengenai *rivet* dapat dilihat tegangan menurun dan mendekati angka 0. Untuk nilai *shear stress* tertinggi yaitu pada Epoxy 5320-1EO sebesar 5,772 Mpa, pada Polyurethane memiliki nilai maksimum *shear stress* sebesar 4,831 Mpa, dan untuk nilai maksimum *shear stress* terendah yaitu pada Epoxy Resin dengan *Young's Modulus* 700 Mpa sebesar 4,213 Mpa.

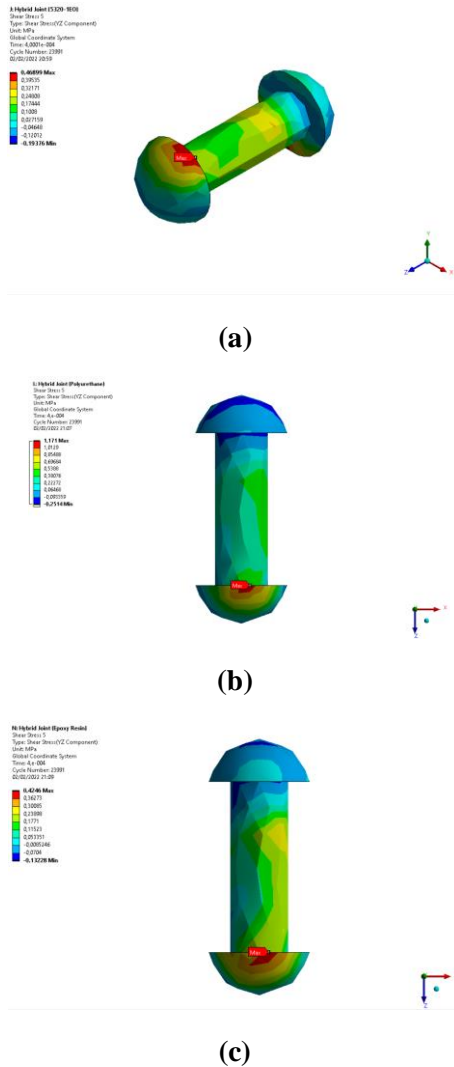


Gambar 4.11 Pengaruh variasi jenis material *adhesive* terhadap distribusi *peel stress* pada *hybrid joint: rivet bonding*

Pada gambar 4.11 diatas dapat dilihat grafik distribusi dari *peel stress* pada *hybrid joint; rivet bonding* dari setiap variasi material *adhesive*. Nilai maksimum *peel stress* untuk setiap variasi material berada pada dekat ujung sambungan pada posisi $x=1$ mm sama halnya dengan *shear stress* pada distribusi *peel stress* tegangan pada bagian *rivet* akan menurun dan menuju angka 0 sehingga penambahan *rivet* dapat mengurangi tegangan. Untuk nilai *peel stress* tertinggi yaitu pada Epoxy 5320-1EO sebesar 4,852 Mpa, pada Polyurethane memiliki nilai maksimum *peel stress* sebesar 3,944 Mpa, dan untuk nilai maksimum *shear stress* terendah yaitu pada Epoxy Resin dengan *Young's Modulus* 700 Mpa sebesar 2,987 Mpa dan dapat dilihat distribusi tegangan pada material ini lebih merata jika dibandingkan dengan yang lainnya.

b. pada bagian Rivet

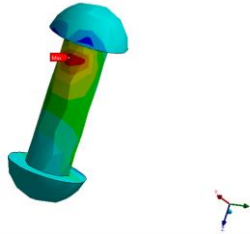
Pada penelitian ini juga membandingkan tegangan yang terjadi di bagian *rivet* pada *hyrbid joint; rivet bonding* untuk nilai dan letak maksimum *shear stress* dan *peel stress* dapat dilihat pada gambar 4.11 dan gambar 4.12 dibawah. Untuk besar nilai kedua tegangan jika dibandingkan dengan bagian *adhesive* sangatlah kecil karena *rivet* baru bekerja secara maksimum saat *adhesive* menerima kegagalan yang dimana pada percobaan ini *adhesive* belum menerima kegagalan atau masih pada batas elastis, nilai maksimum *peel stress* pada *rivet* lebih besar dibandingkan dengan nilai maksimum *shear stress* ini dimana *rivet* lebih besar menerima beban *peel*.



Gambar 4.12 Shear stress yang terjadi di bagian rivet pada hybrid joint (a) Epoxy Resin 5320-1EO (b) Polyurethane (c) Epoxy Resin

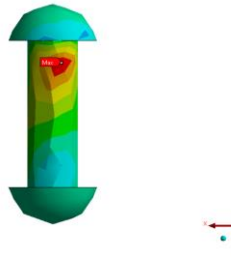
Gambar 4.12 merupakan hasil dari nilai maksimum *shear stress* pada bagian *rivet* pada *hybrid joint* untuk setiap material *adhesive*, dapat dilihat pada bagian *rivet* menggunakan material polyurethane memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 1,171 Mpa, Epoxy Resin memiliki nilai *shear stress* maksimum yaitu 0,42 Mpa, untuk material Epoxy Resin 5320-1EO memiliki nilai sebesar 0,46 Mpa, untuk semua jenis variasi material letak tegangan maksimum berada pada kepala *rivet*.

A Hybrid Joint (Epoxy Resin)
 Element: Shell 4
 Type: Normal Stress (Z, Axis)
 Unit: MPa
 Global Coordinate System
 Time: 4.00E+008
 Cycle Number: 1000
 05/05/1977 17:02



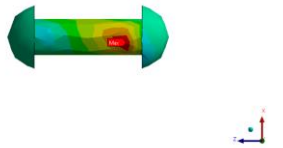
(a)

L Hybrid Joint (Polyurethane)
 Element: Shell 4
 Type: Normal Stress (Z, Axis)
 Unit: MPa
 Global Coordinate System
 Time: 4.00E+008
 Cycle Number: 1000
 05/05/1977 17:06



(b)

H Hybrid Joint (Epoxy Resin)
 Element: Shell 4
 Type: Normal Stress (Z, Axis)
 Unit: MPa
 Global Coordinate System
 Time: 4.00E+008
 Cycle Number: 1000
 05/05/1977 17:06

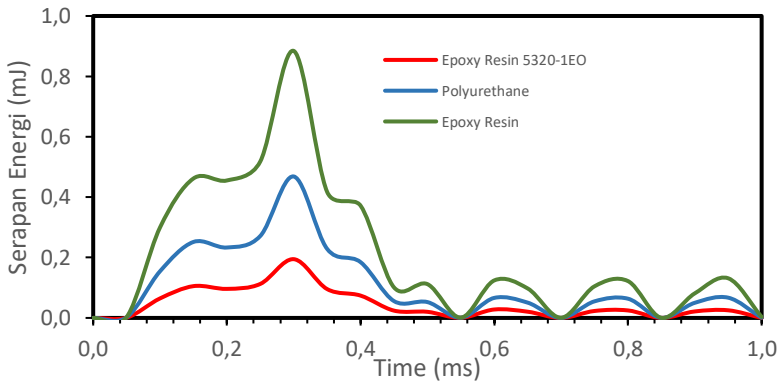


(c)

Gambar 4. 13 *Shear stress* yang terjadi di bagian *rivet* pada *hybrid joint* (a) Epoxy Resin 5320-1EO (b) Polyurethane (c) Epoxy Resin

Gambar 4.13 merupakan hasil dari nilai maksimum *peel stress* pada bagian *rivet* pada *hybrid joint* untuk setiap material *adhesive*, dapat dilihat pada bagian *rivet* menggunakan material polyurethane memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 2,79 Mpa, Epoxy Resin memiliki nilai *shear stress* maksimum yaitu 1,18 Mpa, untuk material Epoxy Resin 5320-1EO memiliki nilai sebesar 2,06 Mpa, untuk semua jenis variasi material letak tegangan maksimum berada pada *bearing* atau badan *rivet*.

4.1.3.2 Serapan Energi pada *Hybrid Joint*



Gambar 4.14 Serapan energi pada *hybrid joint* bagian *adhesive*

Setelah mengamati distribusi tegangan selanjutnya dilakukan analisa serapan energi, didapatkan hasil dari serapan energi yang diterima oleh bagian *adhesive* pada *hybrid joint* yang terlihat dalam gambar 4.14 pada grafik diatas dapat dilihat serapan energi tertinggi untuk setiap material *adhesive* yaitu pada waktu 0,3 ms. Nilai serapan energi terbesar yaitu pada Epoxy Resin dengan *Young's Modulus* 700 Mpa dengan nilai serapan 0,884 mJ, untuk polyurethane didapat nilai serapan energi sebesar 0,468 mJ, dan untuk Epoxy Resin 5320-1EO didapat nilai serapan energi terendah yaitu sebesar 0,195 Mpa. Untuk nilai dengan serapan

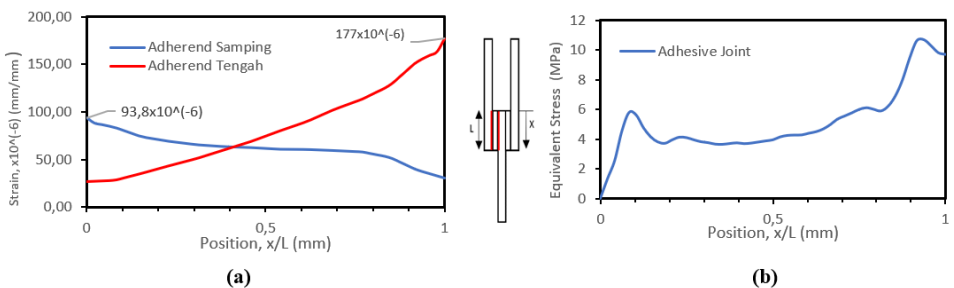
energi tertinggi didapatkan oleh material *adhesive* epoxy resin material ini merupakan *adhesive* yang paling lunak dengan nilai *Young's Modulus* sebesar 700 Mpa.

4.2 Pembahasan

Setelah melakukan pengambilan data dari simulasi *hybrid double lap joint*, pada subbab ini akan dilakukan pembahasan mengenai distribusi dan serapan energi pada sambungan *adhesive joint* dan *hybrid joint* berikut adalah pembahasannya dari penelitian yang dilakukan:

4.2.1 Hubungan antara tegangan dan regangan pada sambungan *adhesive joint* dan *hybrid joint*

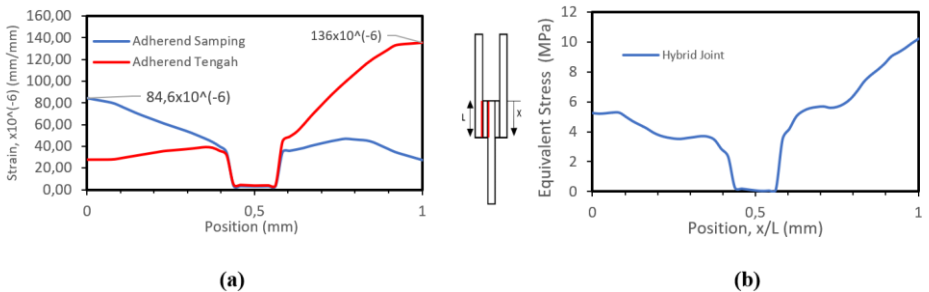
Setelah mendapatkan grafik distribusi tegangan akan dibandingkan dengan regangan pada bagian *interface adherend* yang mengenai bagian *adhesive*, untuk nilai regangan pada bagian *adherend* samping sama besar dengan bagian *adherend* samping lainnya sehingga akan dibandingkan satu sisi *adherend* saja.



Gambar 4.15 Perbandingan grafik tegangan dan regangan pada *adhesive joint* (a) Regangan di bagian adherend pada *interface* (b) Distribusi tegangan pada *adhesive*

Dari gambar 4.15 (a) regangan dianalisa menjadi dua bagian yaitu *adhered* samping dan *adherend* tengah dapat dilihat untuk

nilai regangan maksimum pada bagian *adherend* tengah nilai regangannya lebih besar yaitu sebesar $177 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$ jika dibandingkan dengan *adherend* samping yaitu sebesar $93,8 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$ hal ini terjadi karena pada *adherend* tengah beban yang diterima hanya didapatkan oleh satu *adherend* saja, tetapi untuk *adherend* samping beban yang diterima dibagi dua pembebanannya dengan *adherend* samping lainnya, dapat dilihat pada gambar 4.15 (b) tegangan maksimum pada *adhesive* tertinggi pada posisi $x=0,916 \text{ mm}$ dimana tegangan tersebut menyebabkan kerusakan pada bagian *adherend* tengah, karena pada posisi yang sama regangan juga mengalami nilai maksimum. Untuk posisi awal tegangan memiliki nilai lebih rendah dimana tegangan ini mengakibatkan kerusakan pada *adherend* samping, karena pada posisi awal regangan maksimum terjadi pada bagian *adherend* samping yang dapat dilihat pada gambar 4.15 (a), sehingga grafik distribusi tegangan pada *adhesive* mengalami kenaikan pada posisi akhir bagian ujung dan posisi awal bagian ujung tegangannya lebih rendah.

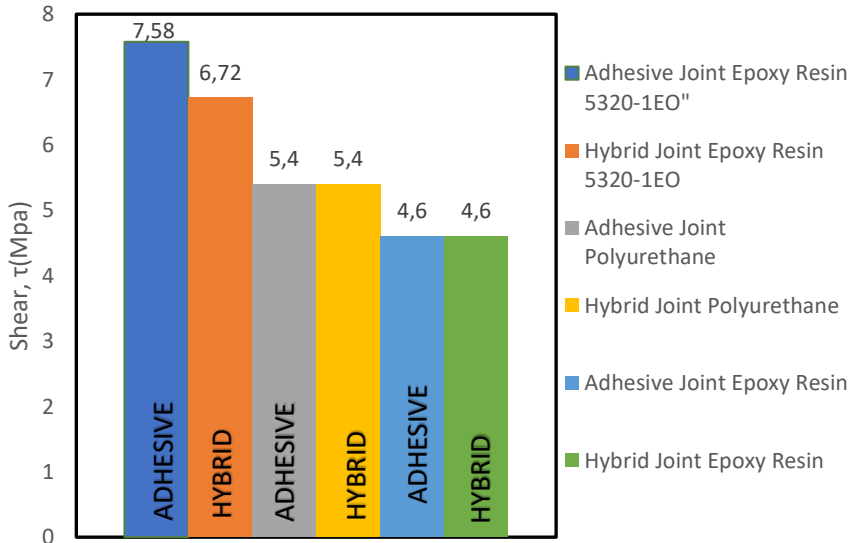


Gambar 4.16 Perbandingan grafik tegangan dan pada *hybrid joint* (a) Regangan di bagian *adherend* pada *interface* (b) Distribusi tegangan pada *adhesive*

Untuk gambar 4.16 merupakan perbandingan tegangan dan regangan pada *hybrid joint*, sama halnya dengan *adhesive joint* distribusi tegangan mengalami kenaikan pada posisi akhir bagian *adhesive*. Dengan penambahan *rivet* distribusi tegangan pada bagian tengah *adhesive* mengalami penurunan. Untuk distribusi tegangan sama dengan *adhesive joint* dimana kenaikan tegangan pada posisi akhir *adhesive* merupakan pembebanan pada *adherend* tengah dan pada posisi awal tegangan merupakan pembebanan pada kedua *adherend* samping. Dapat dilihat pada gambar 4.16 (a) nilai regangan pada *adherend* tengah lebih besar yaitu $136 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$ dan untuk *adherend* samping sebesar $84,6 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$. Dapat dilihat regangan yang terjadi pada *hybrid joint* lebih rendah jika dibandingkan regangan yang terjadi pada *adhesive joint*, dapat disimpulkan penambahan *rivet* mampu mengurangi regangan yang terjadi pada *adherend*.

4.2.2 Perbandingan nilai tegangan maksimum dan serapan energi dengan variasi material *adhesive* pada *Adhesive Joint* dan *Hybrid Joint*

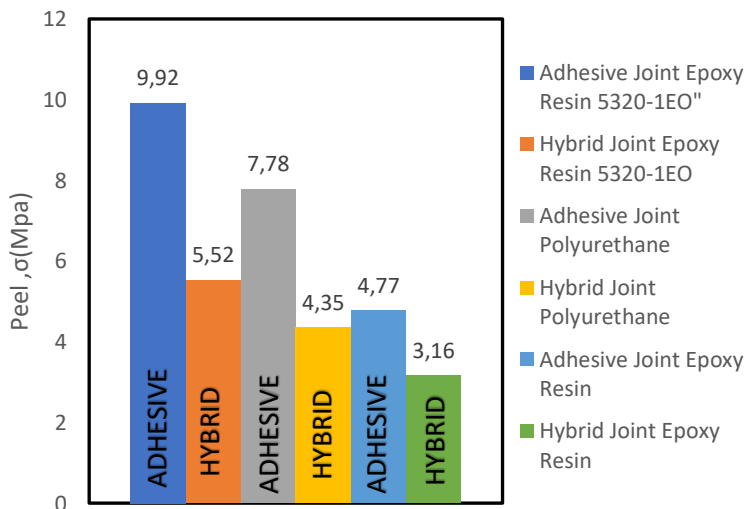
a.) Pada bagian *adhesive*



Gambar 4. 17 Nilai maksimum *shear stress* di bagian *adhesive* pada *hybrid joint* dan *adhesive joint*

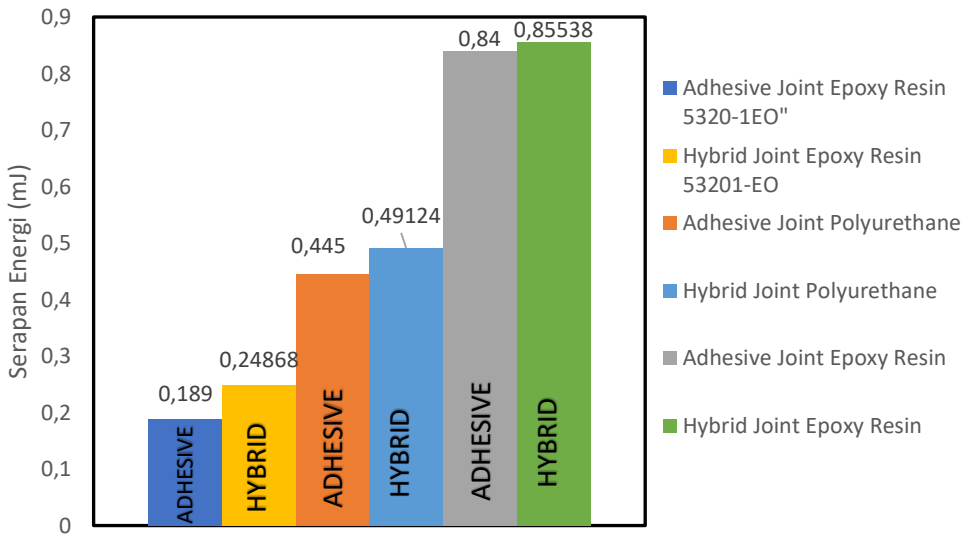
Dari gambar 4.17 dapat dilihat nilai maksimum *shear stress* dibagian *adhesive* pada masing-masing sambungan dan variasi material *adhesive*, dapat dilihat nilai *shear stress hybrid joint* mengalami sedikit penurunan jika dibandingkan *adhesive joint* untuk setiap jenis variasi material *adhesive*. Dengan penambahan *rivet* pembagian beban diterima oleh dua jenis sambungan yaitu *adhesive* dan *rivet*, *rivet* bekerja setelah *adhesive* mengalami kegagalan (F. Moroni and A. Pirondi, 2010) untuk pembebanan *shear rivet* tidak seberapa berpengaruh. Selain dari geometri sambungan nilai tegangan juga dipengaruhi oleh jenis material *adhesive*, dalam penelitian ini menggunakan tiga material *adhesive* dilihat dari nilai *Young's Modulus*. Dari gambar 4.17 dapat dilihat

nilai maksimum *shear stress* juga dipengaruhi oleh jenis material *adhesive*, material epoxy resin merupakan *adhesive* yang paling lunak dengan nilai *Young's Modulus* 700 Mpa didapatkan nilai *shear stress* maksimumnya sebesar 4,6 Mpa untuk *adhesive joint* dan 4,6 Mpa untuk *hybrid joint*, untuk polyurethane dengan *Young's Modulus* 1500 Mpa didapatkan nilai sebesar 5,4 Mpa untuk *adhesive joint* dan 5,4 Mpa untuk *hybrid joint*, dan untuk material epoxy resin 5320-1EO dengan *Young's Modulus* 3809 Mpa nilai maksimum *shear stress* terbesar yaitu 7,58 Mpa untuk *adhesive joint* dan 6,72 Mpa untuk *hybrid joint*. Dari data yang didapat nilai maksimum *shear stress* akan lebih rendah jika sambungan tersebut menggunakan material *adhesive* yang lebih lunak karena pada material *adhesive* ini distribusi *shear stress* akan lebih merata dapat dilihat pada gambar 4.4. Ini berlaku untuk kedua sambungan yaitu *hybrid* dan *adhesive joint*.



Gambar 4.18 Nilai maksimum *peel stress* di bagian *adhesive* pada *hybrid joint* dan *adhesive joint*

Selain *shear stress* dilihat juga nilai tertinggi dari *peel stress* seperti pada gambar 4.18 sama halnya dengan *shear stress*, nilai tegangan maksimum *peel stress* dipengaruhi oleh geometri sambungan dan jenis material *adhesive* yang digunakan. Berbeda dengan *shear stress*, nilai maksimum *peel stress* pada *hybrid joint* lebih rendah jika dibandingkan *adhesive joint* untuk setiap jenis variasi material *adhesive*, dapat diketahui penambahan *rivet* mampu mengurangi pembebanan *peel* lebih besar jika dibandingkan *shear*. Selain dari geometri sambungan nilai tegangan juga dipengaruhi oleh jenis material *adhesive*, untuk material epoxy resin merupakan *adhesive* yang paling lunak dengan nilai *Young's Modulus* 700 Mpa didapatkan nilai *peel stress* maksimumnya sebesar 4,77 Mpa untuk *adhesive joint* dan 3,16 Mpa untuk *hybrid joint*, untuk polyurethane dengan *Young's Modulus* 1500 Mpa didapatkan nilai maksimum *peel stress* sebesar 7,78 Mpa untuk *adhesive joint* dan 4,35 Mpa untuk *hybrid joint*, dan untuk material epoxy resin 5320-1EO dengan *Young's Modulus* 3809 Mpa nilai maksimum *peel stress* sebesar 9,92 Mpa untuk *adhesive joint* dan 5,52 Mpa untuk *hybrid joint*. Sama halnya dengan *shear stress* nilai maksimum *peel stress* akan lebih rendah jika sambungan tersebut menggunakan material *adhesive* yang lebih lunak karena pada material *adhesive* ini distribusi tegangan akan lebih merata dapat dilihat seperti pada gambar 4.5. Dari gambar 4.18 dan 4.19 untuk sambungan *double lap joint* diketahui penambahan *rivet* bekerja lebih besar untuk mengurangi beban *peel stress*.



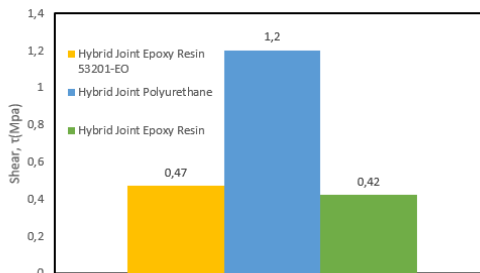
Gambar 4.19 Nilai serapan energi di bagian *adhesive* pada *hybrid joint* dan *adhesive joint*

Pada penelitian ini juga membandingkan nilai serapan energi tertinggi pada setiap sambungan dan jenis material *adhesive* seperti pada gambar 4.20 nilai serapan energi *adhesive* pada *hybrid joint* dan *adhesive joint* memiliki nilai yang tidak jauh berbeda itu membuktikan bahwa geometri tidak mempengaruhi serapan energi dari *adhesive*, tetapi untuk setiap jenis variasi dari material *adhesive* memiliki perbedaan yang cukup jauh ini dimana serapan energi dipengaruhi oleh jenis dari material *adhesive*. Pada gambar 4.19 dapat dilihat jenis material *adhesive* memiliki pengaruh yang tinggi dari nilai dari serapan energi, semakin lunak *adhesive* maka serapan energinya semakin tinggi, seperti pada epoxy resin dengan *Young's Modulus* 700 Mpa didapatkan sebesar 0,8 mJ untuk sambungan *hybrid* dan *adhesive*, untuk material *adhesive* polyurethane dengan *Young's Modulus* 1500 Mpa sebesar 0,4 mJ

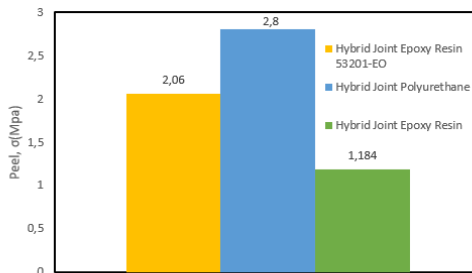
dan serapan energi terendah didapatkan oleh material *adhesive* epoxy resin 5320-1EO dengan *Young's Modulus* 3809 Mpa yaitu sebesar 0,2 mJ.

b.) Pada bagian rivet

Selain pada bagian *adhesive* dilihat juga pengaruh dari penambahan *rivet* pada *hybrid joint* dimana dilihat dari nilai tegangan maksimum dan serapan energi di bagian *rivet*.



(a)



(b)

Gambar 4.20 Pengaruh variasi material *adhesive* terhadap nilai tegangan maksimum di bagian *rivet* pada *hybrid joint* (a) *Shear Stress* (b) *Peel stress*

Penambahan *rivet* pada *hybrid joint* mempengaruhi kekuatan dari sambungan, ini terlihat pada nilai tegangan maksimum bagian *adhesive* berkurang pada pembebanan *peel* jika ada penambahan *rivet* seperti pada gambar 4.18 dan 4.19 jika dibandingkan dengan *adhesive joint*. Gambar 4.20 merupakan perbandingan nilai tegangan maksimum di bagian *rivet* pada *hybrid joint*, dapat dilihat pada bagian *rivet* menerima lebih besar beban tegangan *peel* jika dibandingkan dengan *shear*, hal ini membuktikan bahwa *rivet* dapat mengurangi beban *peel* lebih baik dibandingkan dengan *shear stress*. Untuk variasi material *adhesive* yang paling besar menerima beban *shear* dan *peel* pada bagian *rivet* yaitu dengan material polyurethane.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi pengujian *hybrid double lap joint* yang diberikan beban *impact* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Untuk sambungan *adhesive* dan *hybrid* tegangan maksimum berada pada bagian *adhesive* di posisi ujung dari *adhesive* hal ini dikarenakan regangan terbesar terjadi pada *adherend* tengah yang menerima pembebanan lebih besar dibandingkan dengan kedua *adherend* samping yang pembebanannya dibagi sama besar sesama *adherend*. Untuk *rivet joint* nilai tegangan maksimumnya jauh lebih besar jika dibandingkan dengan *adhesive* dan *hybrid joint* karena pembebanannya hanya di bagian *rivet* saja.
2. Penambahan *rivet* pada *hybrid double lap joint* dapat mengurangi tegangan *peel* lebih besar jika dibandingkan dengan tegangan *shear*. Sehingga *hybrid joint* memiliki kekuatan sambungan yang lebih besar jika dibandingkan *adhesive joint* dan *rivet joint*.
3. Material *adhesive* dengan nilai *Young's Modulus* terlunak yaitu epoxy resin dengan nilai 700 Mpa, mampu menurunkan tegangan dan menyerap energi lebih besar jika dibandingkan dengan material *adhesive* dengan nilai *Young's Modulus* yang lebih kaku yaitu polyurethane dan epoxy resin 5320-1EO sebesar 1500 dan 3809 Mpa.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari pengujian ini dapat diberi saran antara lain:

1. Mengganti material *adherend* bagian tengah agar pembebanan lebih merata.
2. Mengubah jumlah dan letak *rivet* pada *hybrid joint* untuk meningkatkan kualitas sambungan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Adams., Robert D. 2005. **Adhesive Bonding_ Science, Technology and Applications**. New York: CRC Press
- Banea, MD., da silva, LFM. 2009. **Adhesively Bonded Joint in Composite Materials: An Overview. J. Materials: Design and Application**
- Budynas, Richard G., Nisbett, J Keith. 2015. **Shigley's Mechanical Engineering Design – Tenth Edition**. New York: McGraw-Hill Education.
- Da Silva, Lucas F. M., O'chsner, Andreas., Adams, Robert D. 2011. **Introduction to Adhesive Bonding Technology**. Portugal: University of Porto. Malaysia: University of Malaysia. Australia: The University of Newcastle
- Her, Shiuh-Chuan. **Stress Analysis of Adhesively-Bonded Lap Joints**. Taiwan: Yuan-ze University.
- Higuchi, Izumi., Sawa, Toshiyuki., Suga, Hidekazu. 2002. **Three-Dimensional Finite Element Analysis of Single-Lap Adhesive Joints Under Impact Load**. Japan: Yamanashi University.
- Jr, Robert W. Messler. 2004. **Joining of Materials and Structures: From Pragmatic Process to Enabling Technology**. Massachusetts: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Jr, William D. Callister., Rethwisch, David G. Rethwisch. 2010. **Material Science and Engineering an Introduction**. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- M. Y. Tsai. 1997. **Improved Theoretical Solution for Adhesive Lap Joint**
- Moroni, Fabrizio., Pirondi, Alessandtro. 2010. **Technology of Rivet: Adhesive Joints**. Italy: Parma University.
- Shiuh-Chuan Her * and Cheng-Feng Chan. 2019. **Interfacial Stress Analysis of Adhesively Bonded Lap Joint**

T. Sadowski, M. Kneć, dan P. Golewski. 2009. **Experimental Investigations and Numerical Modelling of Steel Adhesive Joints Reinforced by rivets**

BIODATA PENULIS



Muhammad Viqiansyah Dwiputra merupakan anak kedua dari empat bersaudara kelahiran Jakarta, 23 November 1998. Penulis memulai pendidikan jenjang sekolah dasar di SD Al-Azhar 01 kemudian melanjutkan jenjang sekolah menengah pertama di SMP Al-Azhar 01 serta jenjang sekolah menengah atas di SMA Al-Azhar 01. Setelah menyelesaikan dua belas tahun di pendidikan dasar, kemudian penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2017. Di Departemen Teknik Mesin ini Penulis mengambil Bidang Studi Desain. Sehubungan dengan hasil penelitian yang dilakukan, untuk kritik dan saran dapat disampaikan kepada penulis melalui alamat surel viqiansyah@hotmail.com.