TUGAS AKHIR – TM184835

ANALISA PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP RESPON TEGANGAN-REGANGAN *ADHESIVE SCARF JOINT* PADA PEMBEBANAN LAJU REGANGAN TINGGI MENGGUNAKAN UJI *SPLIT HOPKINSON PRESSURE BAR*

EMY FADLILLAH SABBILLY ROBBY
NRP 021 1 16 4000 0046

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Yohanes, ST. MSc.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekaya Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya – 2020

TUGAS AKHIR – TM184835

ANALISA PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP RESPON TEGANGAN-REGANGAN *ADHESIVE SCARF JOINT* PADA PEMBEBANAN LAJU REGANGAN TINGGI MENGGUNAKAN UJI *SPLIT HOPKINSON PRESSURE BAR*

EMY FADLILLAH SABBILLY ROBBY
NRP 021 1 16 4000 0046

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Yohanes, ST. MSc.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekaya Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya – 2020

FINAL PROJECT – TM184835

EFFECT OF TEMPERATURE ANALYZES ON THE STRESS-STRAIN RESPONSE OF SCARF ADHESIVE JOINT AT HIGH STRAIN RATE USING SPLIT HOPKINSON PRESSURE BAR

EMY FADLILLAH SABBILLY ROBBY
NRP 021 1 16 4000 0046

Advisory Lecturer
Dr. Eng. Yohanes, ST. MSc.

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya – 2020

ANALISA PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP RESPON TEGANGAN-REGANGAN *ADHESIVE SCARF JOINT* PADA PEMBEBANAN LAJU REGANGAN TINGGI MENGGUNAKAN UJI *SPLIT HOPKINSON PRESSURE BAR*

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:
EMY FADLILLAH SABBILLY ROBBY
Nrp. 021 1 16 4000 0046

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Eng Yohanes, S.T., M.Sc. (Pembimbing)
   NIP. 198006272012121003
2. Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, S.T., M.Eng.Sc. (Penguji I)
   NIP. 197805102001121001
3. Prof. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D. (Penguji II)
   NIP. 195106051978031002
4. Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T. (Penguji III)
   NIP. 198604012015041001

SURABAYA
AGUSTUS, 2020

ANALISA PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP RESPON TEGANGAN-REGANGAN *ADHESIVE SCARF JOINT* PADA PEMBEBANAN LAJU REGANGAN TINGGI MENGGUNAKAN UJI *SPLIT HOPKINSON PRESSURE BAR*

Nama Mahasiswa	**: Emy Fadlillah Sabbilyl Robby**
NRP	**: 021 1 16 4000 0046**
Departemen	**: Teknik Mesin FTIRS-ITS**
Dosen Pembimbing	**: Dr. Eng. Yohanes, ST. MSc.**

ABSTRAK

Pemilihan sambungan untuk merancang struktur otomotif yang ringan dan aman merupakan faktor yang penting untuk diperhatikan. Adhesive termasuk jenis sambungan yang dipertimbangkan untuk struktur ringan karena memiliki beberapa kelebihan. Distribusi tegangan yang merata dan kemampuan sambungan adhesive untuk menyerap energi saat terjadi pembebanan dinilai lebih baik dibandingkan sambungan konvensional. Adhesive merupakan polimer yang sifat mekaniknya sensitif terhadap temperatur. Pada temperatur lingkungan yang tinggi secara signifikan dapat mempengaruhi sifat mekanik sambungan adhesive seperti kekakuan, kekuatan dan umur pemakaian. Sensitifitas sambungan adhesive terhadap temperature dipengaruhi oleh glass transition temperature (Tg) atau bisa pada temperature lebih tinggi. Disisi lain, sifat mekanik adhesive juga sensitive terhadap laju regangan atau deformasi tinggi yang disebabkan oleh beban tumbukan. Sedangkan, belum banyak literatur yang membahas pengaruh gabungan dari dua factor tersebut pada sambungan adhesive. Oleh karena itu penting untuk mempelajari sifat mekanik sambungan adhesive pada temperatur tinggi.

Penelitian ini menganalisa pengaruh temperature pada sambungan scarf adhesive bersudut 45°. Jenis sambungan ini bila diberikan pembebanan eksternal mampu menjaga beban sesumbu

dengan sambungan. Tipe sambungan scarf memiliki dua jenis tegangan yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Dengan begitu, pemilihan scarf sebagai jenis sambungan dapat meminimalisir konsentrasi tegangan. Sambungan ini memiliki efisiensi tinggi pada aplikasi pembebanan kritis yang bisa ditemukan pada industri aeronautical dan aerospace. Selain itu, material adherend yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium AISI 6061.

Pengamatan respon sambungan scarf adhesive terhadap temperature kerja dilakukan menggunakan alat uji Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB). Alat uji SHPB digunakan untuk mengetahui sifat mekanis sambungan scarf adhesive pada pembebanan dinamik. Respon tegangan-regangan hasil pengujian tersebut untuk mengamati nilai young's modulus. Pengamatan akan dilakukan pada temperature ruang (RT), 40 ℃, 50 ℃ dan 60 ℃ dengan laju regangan yang dijaga konstan yaitu 856±69 s^{-1}. Sedangkan pada temperatur 70 ℃ dilakukan pada laju regangan 1078±55 s^{-1}. Lima spesimen akan diuji pada setiap variasi temperatur. Selanjutnya, young's modulus hasil pengujian tersebut akan diuji validasi menggunakan metode statisik paired t-test.

Pengujian sambungan scarf adhesive ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis material yaitu kekakuan terhadap pengaruh temperatur tinggi. Nilai young's modulus didapatkan dari menarik slope grafik tegangan-regangan dari titik nol hingga strain 0,04. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya temperatur, kekakuan sambungan menurun. Penurunan signifikan terjadi pada temperature ruang (RT) hingga 40 ℃. Diharapkan hasil penelitian ini berguna kedepannya sebagai referensi pengamatan lebih lanjut maupun sebagai keputusan untuk pelaku industri dalam merancang suatu sambungan adhesive.

Kata kunci: Adhesive, Scarf adhesive joint, Young's modulus, Temperatur, Split hopkinson pressure bar.

EFFECT OF TEMPERATURE ANALYZES ON THE STRESS-STRAIN RESPONSE OF SCARF ADHESIVE JOINT AT HIGH STRAIN RATE USING SPLIT HOPKINSON PRESSURE BAR TEST

Student Name	**: Emy Fadlillah Sabbilyl Robby**
NRP	**: 021 1 16 4000 0046**
Departement	**: Mechanical Engineering**
Advisory Lecturer	**: Dr. Eng. Yohanes, ST. MSc.**

ABSTRACT

Joints determination for lightweight and safe automotive structure design is an important factor to observed. The adhesive is one of the considered joints for lightweight structure because it has several advantages. Constant stress distribution and the ability of the adhesive joints to absorb energy during loading are better than conventional joints. The mechanical properties of an adhesive are sensitive to temperature. At high ambient temperature, it significantly affects the mechanical properties of the adhesive joints such as stiffness, strength, and lifetime. The sensitivity of the adhesive joint to temperature is influenced by the glass transition temperature (Tg) or it can be at higher temperatures. On the other hand, the mechanical properties of the adhesive are also sensitive to high strain rate or high deformation caused by impact loads. Meanwhile, there is not much literature discussing the effect of the combination of these two factors on adhesive joints. Therefore it is important to study the mechanical properties of adhesive joints at high temperatures.

This study analyzes the effect of temperature on a 45° scarf adhesive joint. This type of joint, when external loaded, capable to keep the axis of loading aligned with the joint. The type of scarf joint has two types of stress, namely normal stress, and shear stress. That way, choosing a scarf as a type of connection can minimize stress concentrations. These joints have high efficiency in

critical loading applications that can be found in the aeronautical and aerospace industries. Besides, the adherend material used in this study is aluminum alloy AISI 6061.

Observation of the response of the adhesive scarf joint to working temperature was carried out using the Split Hopkinson Pressure Bar (SHPB) test instrument. The SHPB test tool is used to determine the mechanical properties of the scarf adhesive connection in dynamic loading. The stress-strain response of the test results is to observe the value of young's modulus. Observations will be made at room temperature (RT), 40 ℃, 50 ℃, and 60 ℃ with a strain rate that is kept constant, 856 ±69 s^{-1}. Whereas at a temperature of 70 ℃ it is carried out at a strain rate of 1078±55 s^{-1}. Five specimens will be tested at each temperature variation. Furthermore, young's modulus of the test results will be tested for validation using the paired t-test static method.

This adhesive scarf joint test was conducted to determine the mechanical properties of the material, namely the stiffness to the influence of high temperatures. The value of young's modulus is obtained from pulling the slope of the stress-strain graph from zero to 0.04 of strain. The results obtained show that as the temperature increases, the stiffness of adhesive decreases. A significant decrease occurred at room temperature (RT) up to 40 ℃. It is hoped that the results of this research will be useful in the future as a reference for further observations and as a decision for industry players in designing an adhesive joint.

Keywords: Adhesive, Scarf adhesive joint, Young's modulus, temperatur, Split hopkinson pressure bar.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung dalam proses penyusunan tugas akhir ini, antara lain:

1. Allah SWT, atas restu dan ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan tepat waktu.
2. Dr. Eng. Yohanes, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan ilmu, dukungan dan bimbingan hingga akhir proses penyusunan tugas akhir.
3. Prof Tantra, Pak Unggul dan Pak Ari Kurniawan selaku dosen penguji, karena telah memberikan saran yang bermanfaat untuk kelancaran tugas akhir penulis.
4. Bapak Mat Kholil, Ibu Syafaah selaku orang tua penulis, Ariny Purnama dan Ellis Grace selaku saudara kandung karena telah memberikan dukungan secara moriil dan materiil yang tiada habisnya.
5. Karin, Nindi, Bella, Echa, Sita, Vega dan Tatya sebagai wanita kuat dan sahabat penulis yang sediakala menemani belajar, makan, tidur, senang-senang ataupun menumpahkan kesedihan selama berkuliah.
6. Anugerah D.P selaku seseorang yang sering penulis repotkan untuk menemani belajar, berdiskusi tentang banyak hal, dll.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menghadapkan masukan maupun saran dari berbagai pihak. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK v
ABSTRACT vii
KATA PENGANTAR ix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II DASAR TEORI 5
2.1 *Adhesive Bonding* 5
2.2 Sambungan *Scarf* dan Gaya-Gaya yang Bekerja 7
2.3 Pengaruh Temperatur pada *Adhesive Joint* 8
2.4 Material 11
2.5 *Split Hopkinson Pressure Bar* 12
2.6 Perambatan Gelombang pada *Split hopkinson pressure bar* (SHPB) 15
2.7 Kurva Tegangan Regangan 18
2.8 Kekakuan 19
2.9 Penelitian Terdahulu 20
2.9.1 Studi Eksperimen dan Analisa Pengaruh Ketebalan *Adhesive* Terhadap Kekakuan *Scarf Adhesive Joint* pada Laju Regangan Tinggi 20

2.9.2 *Mechanical Properties of an Epoxy-Based Adhesive Under High Strain Rate Loading at Low Temperatur Environment* 22
2.9.3 *Effect of Temperatur on the Mechanical Properties of Adhesively Bonded Basalt FPR-Aluminium alloy Joins in the Automotive Industry* 25
BAB III METODOLOGI 29
3.1 *Flowchart* Penelitian 29
3.2 *Setup* alat uji *Split hopkinson pressure bar* 32
3.3 Kalibrasi Cepat Rambat Gelombang Regangan pada *Split hopkinson pressure bar* 35
3.4 Parameter Pengukuran 37
3.5 Eksperimen 37
3.5.1 *Flowchart* Eksperimen 38
3.5.2 Campuran *Epoxy* dan *Hardener* 39
3.5.3 Penyambungan Spesimen 40
3.6 Pengambilan Data 41
3.7 Pengolahan Data Eksperimen 43
3.8 Proses Perhitungan Data Hasil Eksperimen 46
3.9 Uji Statistik *Paired t-test* 48
3.10 Penarikan Kesimpulan dan Saran 50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 51
4.1 Hasil Percobaan 51
4.1.1. Perbandingan Laju Regangan Setiap Spesimen pada Temperature Ruang 51

4.1.2 Perbandingan Laju Regangan Setiap Spesimen pada Temperatur Kerja 40℃ 52
4.1.2. Perbandingan Laju Regangan Setiap Spesimen pada Temperatur Kerja 50℃ 53
4.1.3. Perbandingan Laju Regangan Setiap Spesimen pada Temperatur Kerja 60℃ 54
4.1.5 Perbandingan Laju Regangan Setiap Spesimen pada Temperatur Kerja 70℃ 55
4.1.4 Perbandingan Laju Regangan Setiap Temperatur Kerja 56
4.1.2 Perbandingan Kurva Strain-Stress tiap Temperatur Kerja 57
4.2 Pembahasan 59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 63
5.1 Kesimpulan 63
5.2 Saran 64
DAFTAR PUSTAKA 65
Lampiran 1 67
BIODATA PENULIS 68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis tegangan pada *adhesive joint* (a) Kompresi (b) Tarik (c) Geser (d) *Peel* (e) *Cleavage* 5

Gambar 2.2 Gaya yang bekerja pada *scarf adhesive joint* akibat pembebanan (a) Tarik Kompresi (b) Pure bending... 7

Gambar 2.3 *Dynamic mechanical analysis result for the epoxy adhesive* XN1244..... 9

Gambar 2.4 Perilaku log modulus (E) terhadap plot temperatur untuk amorfus polimer (*solid line*), semi-kristaline polimer (*dashed line*) dan sampel *crosslinked* pada polimer amorfus (*dotted line*) 10

Gambar 2.5 Hasil Tg *epoxy* menggunakan DSC Scan 11

Gambar 2.6 Ilustrasi Desain *Kolsky bar* (Chen & Song, 2011). 12

Gambar 2.7 Alat uji umum *Kolsky compression bar*..... 13

Gambar 2.8 *Static load type of Kolsky compression bar* 14

Gambar 2.9 Perbandingan pencatatan *oscilloscope* dengan perbedaan *filter* (Chen & Song, 2011)..... 15

Gambar 2.10 Diagram posisi (x) terhadap waktu (t) perambatan gelombang pada *Split hopkinson pressure bar* 15

Gambar 2.13 Rancangan *Scarf Adhesive joint*..... 20

Gambar 2.14 Laju regangan pengujian *scarf adhesive* 20

Gambar 2.15 Kurva Tegangan-Regangan Pengujian *Scarf Adhesive joint* (Juan, 2019)..... 21

Gambar 2.16 Pengaruh ketebalan *adhesive* terhadap kekakuan *scarf adhesive joint* (Juan, 2019) 22

Gambar 2.17 Geometri dari spesimen *dog-bone* (a) untuk kondisi *quasi-static* (b) untuk kondisi pengujian laju regangan tinggi (unit: mm) (Zhemin, dkk.2016) 23

Gambar 2.18 *Tensile properties of epoxy-based Adhesive at different temperaturs*. (Zhemin, dkk.2016)..... 24

Gambar 2.18 Geometri dari *bulk* spesimens..... 26

Gambar 2.19 Representasi kurva *tensile stress-strain* pada temperatur yang berbeda..... 26

Gambar 2.20 (a) *Young's modulus* (b) *tensile stenght* dan (c) *tensile strain* dari Araldite 2015 sebagai fungsi temperatur..... 27

Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian..... 30

Gambar 3.3 Skema alat uji SHPB yang digunakan pada penelitian..... 33

Gambar 3.2 *Skema Alat Uji Split hopkinson pressure bar* 33

Gambar 3.4 Diagram *Lagrangian* pada alat uji *Split hopkinson pressure bar*..... 34

Gambar 3.5 Sinyal pengujian *split hopkinson pressure bar* (SHPB) tanpa spesimen..... 35

Gambar 3.6 *Flowchart* Eksperimen..... 38

Gambar 3.7 Komposisi *epoxy dan hardener* yang digunakan... 40

Gambar 3.8 Rancangan *scarf adhesive joint* 41

Gambar 3.9 Tampilan *scarf adhesive* yang telah disambung 41

Gambar 3.10 Skema pengaturan *hotgun* selama eksperimen 41

Gambar 3.11 Tampilan grafik setelah proses *Scanning*..... 42

Gambar 3.12 Grafik hasil pengujian..... 43

Gambar 3.13 Hasil grafik strain-time yang telah dipotong..... 44

Gambar 3.14 Grafik hasil trim..... 44

Gambar 3.15 Grafik P1 dan P2..... 45

Gambar 3.16 Grafik *strainrate* pada *room temperature*..... 45

Gambar 3.17 Grafik *strain-stress* pada *room temperature* 46
Gambar 3.18 *slope* kurva tegangan-regangan untuk mendapatkan nilai *young's modulus* 47
Gambar 3.19 Data young's modulus yang akan diuji dengan *paired t-test* 48
Gambar 3.20 Tampilan menu minitab untuk memilih metode *paired t-test* 49
Gambar 3.21 Tampilan menu pengujian statistik *paired t-test* ... 49
Gambar 3.22 Hasil *paired t-test* pada sampel *room temperatur* dengan sampel temperatur 40°C 50
Gambar 4.1 Laju regangan setiap spesimen uji pada temperatur ruangan 51
Gambar 4.2 Laju regangan tiap spesimen uji pada temperatur kerja 40°C 52
Gambar 4.3 Laju regangan setiap spesimen uji pada temperatur kerja 50°C 53
Gambar 4.4 Laju regangan setiap spesimen uji pada temperatur kerja 60°C 54
Gambar 4.5 Laju Regangan setiap spesimen uji pada temperatur kerja 70°C 55
Gambar 4.7 Kurva Tegangan-Regangan pada tiap Temperatur Kerja 57
Gambar 4.8 Pengaruh Temperatur Kerja terhadap *Young's Modulus* 59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 *Material Properties Aluminium* AISI 6061 11
Tabel 2.2 *Mechanical properties of the Adhesive* 12
Tabel 2.3 *Tensile Properties of Adhesive* 24
Tabel 4.1 Pengujian *paired t-test* tiap variasi temperatur 61

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan struktur ringan dinilai sebagai solusi krisis energi dan polusi lingkungan. Oleh sebab itu, berbagai riset dilakukan untuk mengembangkan struktur yang ringan, kaku, kuat dan awet. Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan struktur adalah pemilihan jenis sambungan. Pemilihan *adhesive* lebih tepat untuk mendukung pengembangan struktur ringan dibandingkan sambungan konvensional. Kelebihan dari *adhesive* adalah tidak memerlukan lubang-lubang pada penyambungan seperti *rivet* dan *bolted*, dapat mencegah kontak langsung pada dua material yang disambungkan dan memberikan berat yang lebih ringan. Sifat mekanik tersebut berguna untuk merancang sambungan yang aman untuk menjamin keselamatan pengguna. Oleh karena itu, dibutuhkan kajian lebih lanjut terkait sifat mekanik sambungan *adhesive*.

Sensitifitas sifat mekanik polimer *adhesive* terhadap temperatur dan laju regangan perlu dipertimbangkan untuk merancang sambungan. Pada umumnya operasi temperature lingkungan otomotif berada pada rentang -40℃ hingga 125℃. Sedangkan pada struktur ringan pesawat terbang memiliki ketahanan jangka panjang terhadap terhadap *fatigue, creep* dan degradasi lingkungan pada rentang temperatur 100℃ hingga 200℃ untuk badan pesawat. Untuk mengetahui pengaruh pembebanan dinamis, maka dibutuhkan pengetahuan tentang dampak laju regangan tinggi terhadap sambungan *adhesive*. (Banea dkk, 2011)

Banyak jenis metode untuk menguji sifat mekanik material salah satunya yaitu *Split Hopkinson Pressure Bar* (SHPB). Metode tersebut digunakan untuk mempelajari sifat mekanik material pada laju regangan tinggi akibat beban tumbuk. Sehingga dengan menggunakan alat uji tersebut, akan mewakili pengamatan *adhesive joint* pada *dynamic respond* menggunakan variasi

temperatur kerja. Aplikasi tersebut akan berguna untuk menganalisa sambungan *adhesive* pada struktur otomotif yang mengalami kegagalan akibat beban tumbuk.

Pada penelitian ini, spesimen *scarf adhesive joint* diuji dengan SHPB pada temperature ruang (RT), 40℃, 50℃, 60℃ dan 70℃. Temperatur tersebut dipilih berdasarkan studi yang dilakukan oleh Jinxin Na dkk, dimana kekuatan ikatan menurun drastis dari temperature 50℃ hingga 100℃ seiring melebihi nilai *glass transition temperature* (Tg). Sehingga dipilih tempatur ± 50℃ sebagai penelitian. Nilai Tg penting untuk diketahui, karena pada seiring meningkatnya temperature tersebut akan terjadi perubahan sifat mekanik dari *glassy* menjadi *rubbery*. Nilai Tg akan meningkat seiring bertambahnya *cross-linked density*.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, ditunjukkan penurunan nilai *young's modulus* secara drastis pada temperatur ruang hingga 70℃. Selain itu, pada temperature tinggi akan mempengaruhi pada laju regangan. Seiring meningkatnya temperatur, laju regangan akan meningkat. *Adhesive* yang terpapar temperatur tinggi akan semakin lunak dan akan menyerap energi akibat pembebanan lebih besar sehingga nilai laju regangan akan semakin tinggi. Hal tersebut telah sesuai dengan teori *glass transition temperature*.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini, dirumuskan beberapa permasalahan yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana respon kurva tegangan-regangan dari *scarf adhesive joint* pada uji SHPB dengan variasi temperature?
2. Bagaimana pengaruh temperature terhadap respon nilai modulus dan serapan energi pada *scarf adhesive joint* hasil pengujian?
3. Bagaimana pengaruh temperatur terdapat modulus dan serapan energi pada *scarf adhesive joint* pada laju regangan tinggi?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Ketebalan *Adhesive* diatur konstan sebesar 2 mm.
2. Sambungan antara spesimen aluminium menggunakan tipe *scarf joint.*
3. Gelombang yang merambat dalam rangkaian *pressure bar* tidak terdispersi.
4. Komposisi campuran *epoxy dan hardener* konstan 1:1
5. *Misalignment* pada *pressure bar* diabaikan.
6. Gaya gesek pada tumpuan dengan *bar components* diabaikan.
7. *Strain rate* yang diukur pada *pressure bar* sama dengan *strain rate* yang diukur pada material, dengan mengabaikan *wave distortion.*

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan kurva tegangan-regangan dari *scarf adhesive joint* pada laju regangan tinggi dan temperature kerja yang divariasikan pada pembebanan dinamik.
2. Mengetahui nilai modulus *scarf adhesive joint* dari kurva tegangan-regangan yang diperoleh.
3. Mengetahui pengaruh temperatur kerja terhadap respon tegangan-regangan dan modulus dari *scarf adhesive joint* pada laju regangan tinggi pembebanan dinamik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Sebagai referensi dan literature untuk penelitian sambungan *adhesive* pada *scarf adhesive joint* dengan menggunakan alat *Split hopkinson pressure bar*.
2. Sebagai dasar pengambilan keputusan menentukan temperatur yang tepat pada *scarf adhesive joint* pada konstruksi.

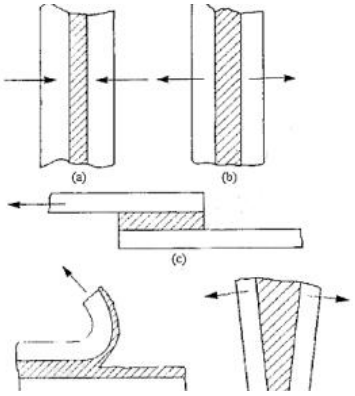
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II
DASAR TEORI

2.1 *Adhesive Bonding*

Adhesive bonding merupakan proses untuk merekatkan dua permukaan menjadi satu dengan bantuan *adhesive*, sedangkan material yang disambung disebut dengan *adherend*. Beberapa kelebihan dari *adhesive bonding* yaitu mampu untuk menyambung material yang berbeda, mendistribusikan pembebanan secara merata, peredam yang baik, mencegah *fatigue* dan menghasilkan sambungan yang lebih ringan. Sedangkan kelemahan pada *Adhesive bonding* seperti rentan terhadap temperatur ekstrem, kelembapan dan radiasi ultraviolet. (Messler, 2004)

Desain dari *adhesive joint* perlu diperhatikan untuk meminimalisir konsentrasi tegangan dan memaksimalkan area yang disambungkan. Pada dunia industri desain *adhesive joint* dipilih sesuai dengan kebutuhan produksi dan biaya yang dikeluarkan. Jenis tegangan yang umum ditemukan pada *Adhesive joint* antara lain tegangan kompresi, geser, tarik, *cleavage* dan *peel* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Jenis tegangan pada *adhesive joint* (a) Kompresi (b) Tarik (c) Geser (d) *Peel* (e) *Cleavage* (Messler,2004)

Tegangan kompresi seperti pada Gambar 2.1(a) terjadi apabila beban yang diberikan tegak lurus terhadap bidang sambungan dan menekan sambungan kearah dalam. *Adhesive joint* memiliki ketahanan terhadap tegangan kompresi karena jenis tegangan ini tidak memisahkan sambungan *adhesive*. Sedangkan untuk tegangan tarik bekerja secara tegak lurus terhadap bidang sambungan dan menarik *adherend* kearah luar seperti pada Gambar 2.1(b). Secara teori, *adhesive* akan mendistribusikan tegangan kerja secara merata pada permukaan sambungan. Kenyataanya, terdapat *offset* pada sambungan, *bending* pada *adherend* dan komplikasi lainnya yang menyebabkan tegangan tidak terdistribusi secara merata. Tegangan yang tidak terdistribusi secara merata akan menyebabkan *peel* atau *cleavage*. Pada tegangan tarik, ketebalan *adhesive* perlu diperhatikan dan dibuat cukup tebal untuk mencegah terjadinya *offset* atau *bending*. Selanjutnya, pada tegangan geser seperti pada Gambar 2.1(c) adalah jenis tegangan yang sering dijumpai pada sambungan *Adhesive.* Tegangan geser bekerja secara *parallel* terhadap permukaan sambungan. Tegangan geser memiliki kemampuan untuk memisahkan sambungan dengan cara menggeser sambungan spesimen satu dengan yang lainnya. Sedangkan pada tegangan *peel* seperti Gambar 2.1(d) bersifat memisahkan sambungan dengan gaya *nonuniformly*. Pada umumnya, *peel* terjadi apabila satu atau kedua adherend memiliki fleksibilitas yang kecil dan mudah berdefleksi yang akan menyebabkan tegangan tinggi pada permukaan antara *adhesive* dan *adherend*. Jenis tegangan ini perlu dihindari pada sambungan *adhesive*. Dan tegangan *cleavage* seperti pada Gambar 2.1(e) memiliki kemiripan dengan tegangan *peel*. Tegangan cleavage terjadi pada sambungan yang rigid. (Messler, 2004)

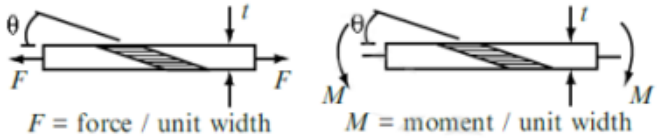
Penggunaan *adhesive bonding*, terutama dalam indutri diasumsikan telah berdampak besar dalam merugikan metode sambungan konvensional seperti *riveting, bolting, brazing* dan *welding*. Kekuatan dan perilaku dari sambungan *adhesive* bergantung pada beberapa faktor seperti jenis *adhesive*, material

adherend, konfigurasi sambungan dan faktor dimensi seperti Panjang overlap dan ketebalan *adhesive*.

2.2 Sambungan *Scarf* dan Gaya-Gaya yang Bekerja

Salah satu faktor yang mempengaruhi *adhesive bonding* adalah geometri sambungan. Terdapat beberapa jenis geometri sambungan *adhesive*, namun yang sering dijumpai adalah *single-lap joints*, *double-lap joints* dan *scarf joints*. *Scarf* merupakan sambungan dengan ujung yang di *chamfer*. Tipe sambungan ini, bila menerima beban eksternal, mampu menjaga beban tetap sesumbu dengan sambungannya. Tidak seperti sambungan *single-lap*, *scarf* joint tidak menyebabkan *bending* pada *adherend*. Disamping itu, sambungan *scarf* mampu mendistribusikan tegangan secara merata dengan mengoptimasi nilai θ. Oleh karena itu, sambungan *scarf* semakin banyak digunakan dalam aplikasi industri (Campilho dkk, 2018).

Ada dua tegangan yang bekerja pada sambungan *scarf* yaitu, tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal bekerja pada arah tegak lurus secara normal terhadap permukaan *adherend* dan tegangan geser bekerja pada arah sejajar terhadap permukaan *adherend*. Hal tersebut dapat mengurangi konsentrasi tegangan akibat pembebanan pada sambungan. Penelitian oleh Campilho,dkk dilakukan menggunakan spesimen aluminium dengan tipe sambungan *scarf joint* dengan kemiringan 45°. Sambungan *scarf* menunjukkan kombinasi antara *shear stress* dan *normal stress*. Gaya-gaya yang bekerja pada *scarf adhesive joint* dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Gaya yang bekerja pada *scarf adhesive joint* akibat pembebanan (a) Tarik Kompresi (b) Pure bending (Messler, 2004)

Dengan asumsi bahwa kedua *adherend* yang digunakan menggunakan material yang sama dan isotropik, tegangan yang terjadi akibat pembebanan tarik atau kompresi yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\tau = \frac{F}{t} sin\theta cos\theta \quad (2.1)$$

$$\sigma = \frac{F}{t} sin^2\theta \quad (2.2)$$

Dengan asumsi yang sama, tegangan yang terjadi akibat *bending* sempurna dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\tau = \frac{6M}{t^2} \sin\theta \cos\theta \quad (2.3)$$

$$\sigma = \frac{6M}{t^2} sin^2\theta \quad (2.4)$$

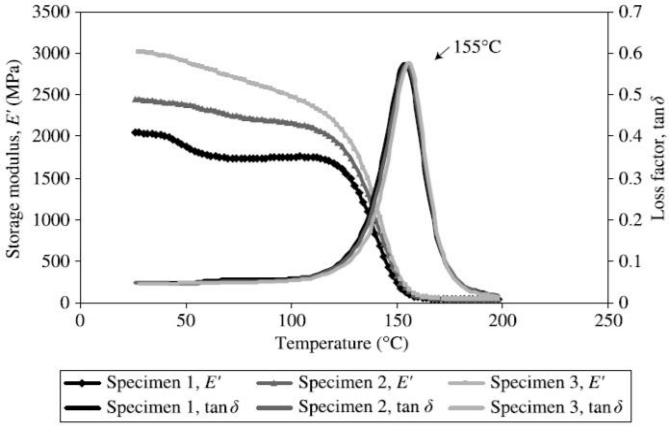
dimana τ adalah tegangan geser, σ adalah tegangan normal, F adalah gaya, t ketebalan dan M adalah momen.

2.3 Pengaruh Temperatur pada *Adhesive Joint*

Perubahan sifat mekanis *adhesive* terhadap temperature dan *strain rate* merupakan salah satu faktor yang penting untuk diperhatikan dalam merancang ikatan sambungan menggunakan polimer *Adhesive*. Diketahui bahwa kekuatan *adhesive* secara umum pengaruh terhadap perubahan temperatur. (Banea, M.D.,dkk, 2011)

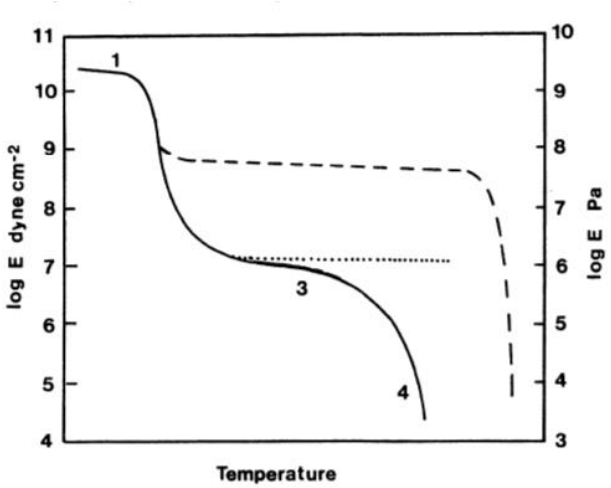
Banyak penelitian mempelajari tentang pengaruh temperatur pada sambungan *adhesive*. Banea dan Da silva mempelajari pengaruh *young's modulus* dari *epoxy adhesive* terhadap temperature kerja. Mereka menguji tarik menggunakan *adhesive bulk spesimen* dengan ketebalan 2 mm pada kecepatan tarikan dan temperature yang divariasikan (RT, 100, 125 dan 150℃). Mereka mengamati bahwa nilai *storage modulus* mengecil dengan bertambahnya temperatur. Penurunan drastis terjadi pada temperature 155°C yang kemudian diketahui sebagai *glass*

transition temperature (Tg). Karakteristik tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. (Banea, M.D.,dkk. 2011).



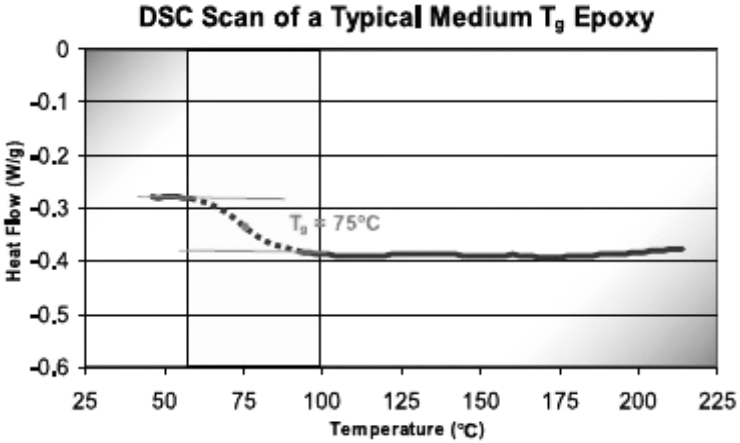
Gambar 2.3 *Dynamic mechanical analysis result for the epoxy adhesive* XN1244
(Banea, M.D., dkk. 2011)

Glass transition temperatur (Tg) adalah *thermal properties* penting pada *epoxy. Glass transition temperatur* (Tg) merupakan temperatur transisi dimana pada awalnya material dalam keadaan kaku seperti kaca kemudian menjadi lunak seperti karet yang lebih fleksibel. Besar nilai Tg dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti : struktur kimia dari *epoxy* resin, tipe hardener dan *degree cure* (Ricardo dkk, 2014). Menurut D.J Hurtson, fenomena modulus polimer *Adhesive* berubah bersamaan dengan meningkatnya temperature mengindikasikan pengaruh *crystallinity* dan *crosslinking* modulus. Pengaruh tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Perilaku log modulus (E) terhadap plot temperatur untuk amorfus polimer (*solid line*), semi-kristaline polimer (*dashed line*) dan sampel *crosslinked* pada polimer amorfus (*dotted line*).

Gambar 2.4 menunjukkan bahwa daerah bernomor 1 merupakan daerah *glassy*, daerah 2 merupakan transisi *glass*, daerah 3 adalah daerah *rubbery* dan daerah 4 adalah daerah leleh. Menurut D.J Hurston nilai Tg hanya berada pada satu titik dan pengambilan nilai Tg secara konvensioal dapat dilakukan dengan mengambil titik tengah penurunan drastis nilai modulus. Namun berdasarkan standart ASTM E1356, nilai Tg diukur menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Hasil Tg *epoxy* menggunakan DSC Scan (Epoxy Techology, 2012)

Untuk menentukan nilai Tg pada *single temperature* dapat dilakukan dengan mengambil nilai tengah suatu rentang temperature yang dibatasi oleh dua garis datar pada kurva heat flow. Untuk material *epoxy* diatas yang ditunjukkan Gambar 2.5 nilai Tg tersebut adalah 75°C.

2.4 Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah *aluminium alloy* AISI 6061. *Aluminium alloy* AISI 6061 dipilih sebagai *adherend* pada *adhesive joint* dikarenakan. Sifat mekanik pada *adherend* dan *bar* ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 *Material Properties Aluminium* AISI 6061 (Material Properties Database, 2009)

Properties	
Young's Modulus, E (GPa)	69
Shear Modulus (GPa)	26
Ultimate Tensile Strength (MPa)	310
Yield Tensile Strength (MPa)	270
Density (g/cm^3)	2,7

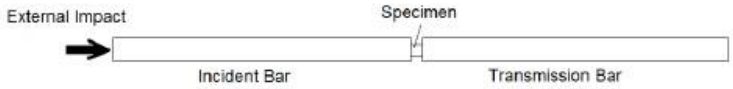
Sedangkan untuk sifat *adhesive*, digunakan referensi dari penelitian yang dilakukan oleh Sassi S, dkk. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengamati perilaku mekanik sambungan *adhesive* terhadap laju regangan menggunakan metode kompresi dinamik *Hopkinson Bar*. Sifat mekanik *adhesive* yang digunakan oleh peneliti Sassi ditampilkan pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 *Mechanical properties of the Adhesive* (Sassi dkk, 2018)

Properties	
Density (kg/m^3)	1960
Young's Modulus, E (MPa)	3100
Poisson's ratio (v)	0.3
Stregth at final failure (MPa)	51.25

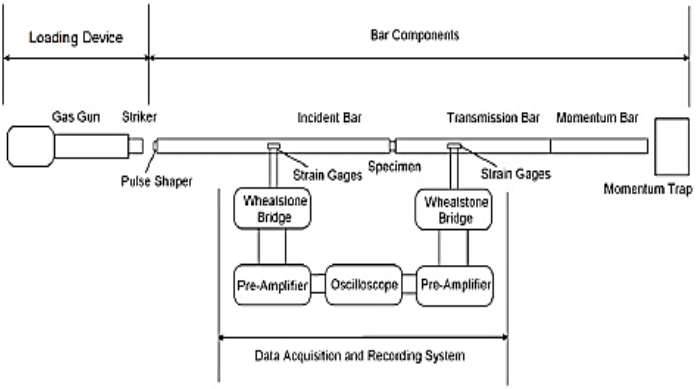
2.5 *Split Hopkinson Pressure Bar*

Kolsky bar atau yang dikenal dengan *Split Hopkinson Pressure Bar* (SHPB) pertama kali dikembangkan oleh kolsky (1949) untuk menyelesaikan permasalah cara mengamati *dynamic response* pada material. Konsep pengujian *direct impact* dilakukan dengan meletakkan spesimen pengujian diantara kedua *rod* dan salah satu *rod* terhubung dengan penumbuk.



Gambar 2.6 Ilustrasi Desain *Kolsky bar* (Chen & Song, 2011)

Gambar 2.6 merupakan ilustrasi desain *kolsky bar* ketika pertama kali dikembangkan. Selama *kolsky bar* petama kali dikembangkan, tegangan pada *bar* diukur menggunakan *microphones*. Pada 1954, Krfft dkk mengaplikasikan teknik *strain gage* untuk mengukur gelombang tegangan pada *kolsky bar* yang mana terdiri dari tiga komponen utama seperti pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Alat uji umum *Kolsky compression bar* (Chen & Song, 2011)

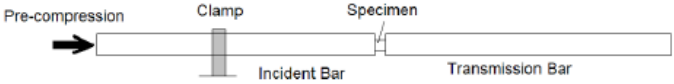
Gambar 2.7 merupakan skema alat uji secara umum pada *kolsky compression bar* yang memiliki beberapa komponen utama yang paling penting yaitu antara lain:

1. *Loading device*: Percobaan pada *kolsky bar*, *loading* diharuskan dapat terkendali, stabil dan berulang. Pada umumnya metode *loading* dapat digunakan berjenis statis dan dinamis. Untuk *Kolsky compression bar* dengan tipe statis dapat dilihat pada skema Gambar 2.8

2. *Bar Components*: Tipe *kolsky bar* terdiri dari *incident bar, transmission bar, optional extension bar* dan *momentum trap device* pada akhir. Secara khusus, semua bar dibuat dari material yang sama dan memiliki diameter yang sama. Pada hal ini, *incident bar* setidaknya harus memiliki dua kalinya panjang *striker* untuk menghindari *overlapping* antara pulsa *incident* dan *reflected.*

3. *Data acquisition and recording system: strain gages* menjadi teknik standart untuk mengukur *strain bar* pada percobaan SPHB. Dua *strain gages* biasanya digunakan secara simetris pada permukaan yang melalui diameter bar. Secara umum, respon

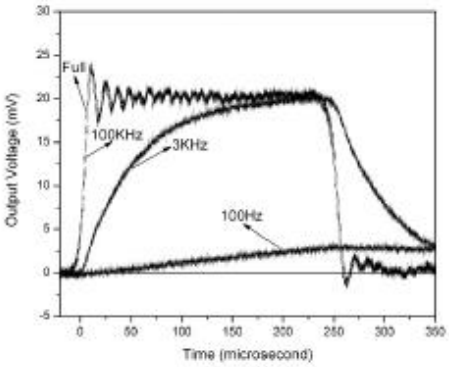
frekuensi minimum pada semua sistem perolehan data harus 100 Khz. Informasi perbandingan pembacaan *oscilloscope* ditunjukkan pada Gambar 2.9



Gambar 2.8 *Static load type of Kolsky compression bar* (Chen & Song)

Gambar 2.8 energi yang tersimpan karena *pre-compression* tersebut akan melepaskan bagian yang tidak bertegangan awal menuju bagian *incident bar* ketika klem tiba-tiba dilepaskan. Sedangkan pada tipe *dynamic loading* yang digunakan oleh Kolsky (1949) adalah metode tumbukan. Dengan demikian, metode untuk *dynamic loading* yang sering digunakan adalah dengan meluncurkan *striker impacting* pada *incident bar*. Mekanisme peluncuran *striker* menghasilkan *impact* yang berulang dan terkendali pada *incident bar*. Kecepatan peluncur dapat dengan mudah diatur dengan mengubah-ubah tekanan yang diberikan pada *striker*. Durasi *loading* proposional dengan panjang dari *striker*. (Chen&Song, 2011)

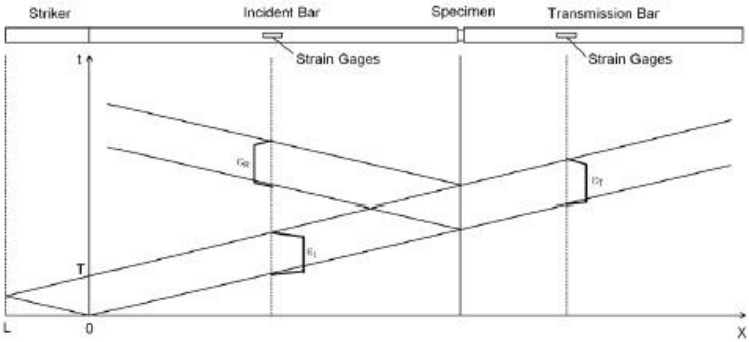
Gambar 2.9 menunjukkan perbandingan pembacaan *oscilloscope* dengan *low pass filter* yang berbeda (*no filter or full*, 100 KHz, 3 KHz dan 100 Hz) pada *pre-amplifier*. Prosedur yang sama diterapkan disetiap eksperimen tersebut dengan menggunakan alat uji *kolsky-bar*.



Gambar 2.9 Perbandingan pencatatan *oscilloscope* dengan perbedaan *filter* (Chen & Song, 2011)

2.6 Perambatan Gelombang pada *Split hopkinson pressure bar* (SHPB)

Tumbukan yang diberikan oleh *striker* akan menghasilkan gelombang kompresi yang mana gelombang akan di pantulkan kembali sebagai gelombang tegangan seperti yang ditunjukan pada Gambar 2.10



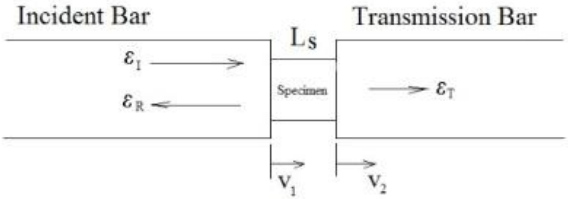
Gambar 2.10 Diagram posisi (x) terhadap waktu (t) perambatan gelombang pada *Split hopkinson pressure bar* (Chen & Song, 2011)

Pada kasus dimana *striker* memiliki material dan diameter yang sama seperti *incident bar*, *amplitude stress* atau *strain* pada *amplitude* σ_I atau ε_I yang dihasilkan oleh *striker impact* tergantung dari kecepatan penumbukan (v_{st}) yang dapat didekati dengan persamaan seperti berikut:

$$\sigma_I = \frac{1}{2}\rho_B C_B v_{st} \tag{2.5}$$

$$\varepsilon_I = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_{st}}{C_B} \tag{2.6}$$

dimana ρ_B merupakan masa jenis material bar dan C_B merupakan kecepatan gelombang material bar. Gelombang pada *incident* dan *reflected* akan diukur menggunakan *strain gage* pada *incident bar*, sedangkan gelombang *transmitted* diukur oleh *strain gage* pada *transmission bar*. Hubungan pada persamaan 2.6 sering digunakan sebagai kalibrasi pada SHPB sebelum melakukan eksperiment secara mekanik.



Gambar 2.11 Bagian percobaan pada SHPB (Chen & Song, 2011)

Dengan mengasumsikan bahwa spesimen mengalami kesetimbangan tegangan dapat dinyatakan sebagai persamaan berikut :

$$\sigma_1 = \sigma_2 \tag{2.7}$$

Maka diperoleh:

$$\varepsilon_I + \varepsilon_R = \varepsilon_T \tag{2.8}$$

Melalui persamaan tegangan (2.5) dan regangan (2.6) setelah didefinisikan dapat disederhanakan menjadi persamaan berikut:

$$\dot{\varepsilon} = -2\frac{C_B}{L_s}\varepsilon_R \tag{2.9}$$

$$\varepsilon = -2\frac{C_B}{L_s}\int_0^t \varepsilon_R \, dt \tag{2.10}$$

$$\sigma = \frac{A_B}{A_s} E_B \varepsilon_T \tag{2.11}$$

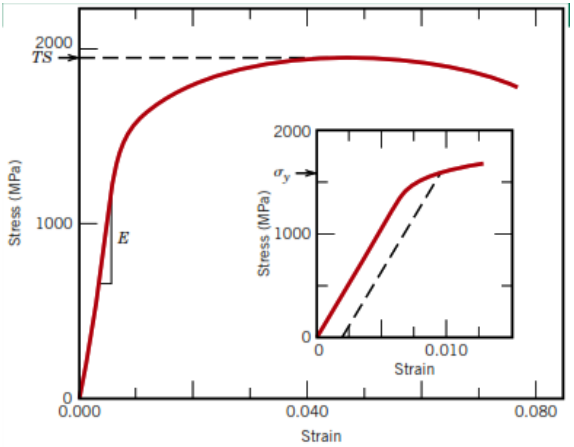
Ketika tegangan pada spesimen tidak mencapai kesetimbangkan sempurna, tegangan spesimen dapat dihitung menggunakan nilai rata-rata tegangan pada kedua ujung spesimen seperti pada persamaan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{A_B}{A_s} \cdot E_B(\varepsilon_I + \varepsilon_R + \varepsilon_T) \tag{2.12}$$

Ketika tegangan atau regangan pada spesimen *drastic non-uniformity* persamaan 2.12 tidak tepat untuk pengukuran tegangan. Semua persamaan diatas merupakan penurunan dari persamaan masa dan momentum dengan asumsi perambatan gelombang satu dimensi.

2.7 Kurva Tegangan Regangan

Kurva tegangan regangan merupakan salah satu representasi dari sifat mekanik suatu material ketika diberikan suatu pembebanan. Kurva tersebut akan selalu meningkat hingga batas maksimalnya sebelum mengalami patah. Secara umum kurva tegangan-regangan memiliki bentuk seperti pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Grafik Tegangan Regangan (Callister, 2010)

Pada gambar diatas, garis yang linear menunjukan daerah elastis dimana tegangan sebanding lurus dengan regangan. Pada daerah tersebut bila tegangan dilepaskan spesimen akan kembali kebentuk semula. Tegangan yang terus diberikan setelah melampaui daerah elastis, spesimen akan berada pada daerah plastis dimana tidak bisa kembali kebentuk semula atau sering disebut dengan deformasi plastis. Salah satu metode untuk mendapatkan grafik seperti gambar diatas dilakukan dengan menggunakan *tensile test*. Untuk mendapatkan besar tegangan pada spesimen uji dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \tag{2.13}$$

dimana σ merupakan tegangan, P adalah beban dan A_0 penampang spesimen. Sedangkan untuk nilai regangan pada material uji didapat dengan membagi besar nilai elongasi yang terjadi dengan panjang spesimen mula-mula. Persamaan untuk mendapatkan nilai regangan adalah sebagai berikut:

$$\frac{\delta}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \tag{2.14}$$

dimana δ adalah elongasi, L_0 panjang awal spesimen dan ΔL selisih panjang akhir dengan panjang awal spesimen uji.

2.8 Kekakuan

Kekakuan merupakan kemampuan material untuk meneriman pembebanan atau tegangan yang diberikan tanpa menyebabkan material tersebut mengalami defleksi maupun deformasi. Nilai dari kekakuan suatu material diukur dengan *slope* nya yang merepresentasikan nilai modulus elastisitasnya. Modulus elastisitas atau *young's modulus* merupakan *slope* dari garis lurus pada bagian elastis kurvas tegangan-regangan. Persamaan *young's modulus* adalah sebagai berikut:

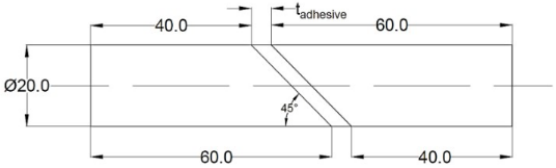
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \tag{2.15}$$

dimana pada persamaan tersebut E merupakan *young's modulus* yang menunjukkan nilai kekakuan suatu material.

2.9 Penelitian Terdahulu

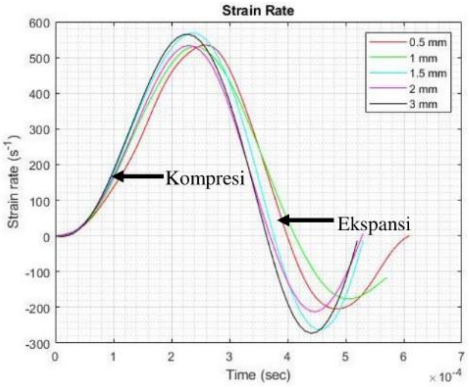
2.9.1 Studi Eksperimen dan Analisa Pengaruh Ketebalan *Adhesive* Terhadap Kekakuan *Scarf Adhesive Joint* pada Laju Regangan Tinggi

Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan alat uji *split hopkinson pressure bar*. Spesimen yang digunakan memiliki geometri berupa sambungan scarf seperti pada Gambar 2.13



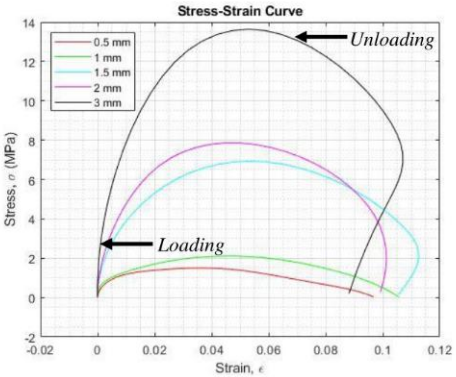
Gambar 2.13 Rancangan *Scarf Adhesive joint* (dalam satuan mm) (Juan, 2019)

Setelah dilakukan pengujian menggunakan variasi ketebalan *Adhesive* 0.5, 1, 1.5, 2 dan 3 mm pada temperatur ruangan dengan memberikan laju regangan tinggi didapatkan hasil seperti pada grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 2.14



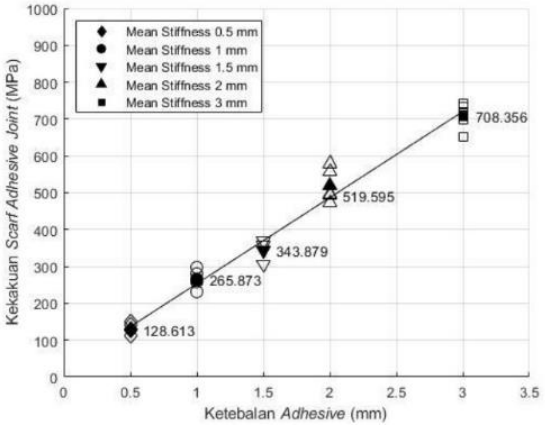
Gambar 2.14 Laju regangan pengujian *scarf adhesive* (Juan, 2019)

Gambar 2.14 menjelaskan bahwa pengujian *scarf adhesive joint* dilakukan pada laju rengan yang konsisten, yaitu $550 \pm 30\ s^{-1}$, sehingga hasil yang diperoleh pada penelitian ini memang dipengaruhi oleh perbedaan ketebalan *adhesive*. Selain itu, Gambar 2.14 menjelaskan bahwa spesimen *scarf adhesive joint* yang diuji mengalami kompresi dan ekspansi. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh ketebalan pada *scarf adhesive joint* dapat lebih jelas dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Kurva Tegangan-Regangan Pengujian *Scarf Adhesive joint* (Juan, 2019)

Gambar 2.15 menjelaskan bahwa pengujian dilakukan pada daerah elastis, sehingga sambungan *scarf adhesive* tidak mengalami deformasi plastis seperti yang ditunjukkan pada grafik laju regangan. Pada awal kurva tegangan-regangan (*fase loading*) *scarf Adhesive joint* mengalami deformasi elastis dimana tegangan memiliki nilai yang proposional dengan nilai regangan. Setelah mencapai nilai tegangan maksimal, *scarf Adhesive joint* mengalami fase unloading dimana nilai tegangan akan berkurang hingga mencapai nilai tegangan 0 MPa. Pada gambar diatas memberikan informasi bahwa tegangan meningkat seiring dengan bertambahanya ketebalan *adhesive*. Sedangan nilai kekakuan yang didapatkan dari hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.15.



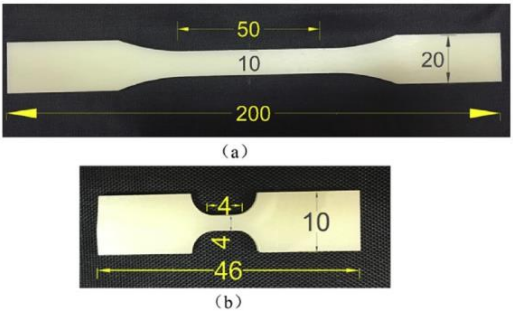
Gambar 2.16 Pengaruh ketebalan *adhesive* terhadap kekakuan *scarf adhesive joint*
(Juan, 2019)

Gambar 2.16 menunjukkan nilai kekakuan pada *scarf adhesive joint* meningkat seiring dengan bertambahnya ketebalan. Pengujian dengan variasi ketebalan 2 mm pada temperatur ruangan memiliki rata-rata nilai kekakuan sebesar 519.595 MPa. (Juan Carlos,2019)

2.9.2 *Mechanical Properties of an Epoxy-Based Adhesive Under High Strain Rate Loading at Low Temperatur Environment*

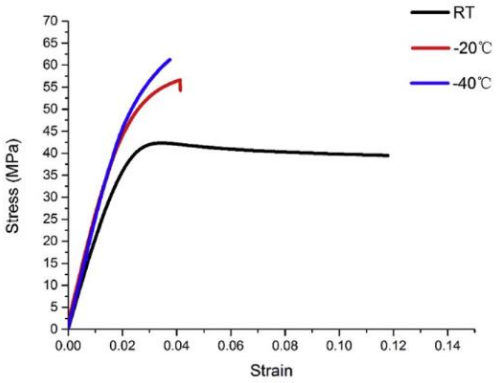
Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari sifat tarikan pada perekat berbasis *epoxy* yang dipengaruhi oleh laju regangan tinggi pada suhu lingkungan yang rendah. Pengujian ini menggunakan metode *quasi-static tensile test* dan *tensile split Hopkinson bar* untuk menguji pada laju regangan tinggi. (Zhemin, dkk.2016)

Material *adhesive* yang digunakan pada penelitian ini dipasok dari *Shanghai Kangda Company* yang banyak digunakan pada *wind power*. Digunakan cetakan logam dengan standart NF T76-142 untuk membuat lembaran *adhesive*. Untuk pengujian *quasi-static* pada variasi temperatur, lembaran *adhesive* dipotong dengan ketebalan 2 mm menjadi spesimen *dog-bone* sesuai dengan kriteria GB-T2567-2008. Pengujian untuk laju regangan tinggi pada temperatur yang berbeda, spesimen *dog-bone* yang lebih kecil cocok untuk *tensile Hopkinson bar* dengan ketebalan 3,5 mm seperti pada Gambar 2.17



Gambar 2.17 Geometri dari spesimen *dog-bone* (a) untuk kondisi *quasi-static* (b) untuk kondisi pengujian laju regangan tinggi (unit: mm) (Zhemin, dkk.2016)

Spesimen *epoxy adhesive* pada penelitian yang dilakukan Zhemin dkk diuji dikondisi *quasi-static* dengan temperatur yang berbeda (RT, -20℃ dan -40℃) dan hasil pengujian pada setiap temperatur ditunjukkan pada kurva seperti pada Gambar 2.18



Gambar 2.18 *Tensile properties of epoxy-based Adhesive at different temperatur*s. (Zhemin, dkk.2016)

Gambar 2.18 menunjukkan bahwa kekuatan dari *epoxy-based adhesive* meningkat seiring dengan penurunan temperatur, seperti halnya *young's modulus* pada *adhesive*. Sedangkan peningkatan kekakuan pada temperatur rendah tidak terjadi secara signifikan, terutama ketika temperatur menurun dari -20℃ hingga -40℃. Sedangkan, pada pengujian menggunakan laju regangan tinggi yang dipengaruhi oleh temperatur dirangkum kedalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 *Tensile Properties of Adhesive*

Strain rate (s^{-1})	Temperature (℃)	Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Strain to failure	Fracture Energy ($10^6 J/m^3$)
Quasi-static (10^{-4})	RT	40	2106	0.11	4.36
	-20	56	2456	0.04	1.61
	-40	61	2520	0.037	1.44
1000	RT	56	3265	0.069	3.21
	-20	57	2296	0.067	3.58
	-40	64	2646	0.034	1.60

2000	RT	67	5482	0.074	3.887
	-20	63	2196	0.084	4.16
	-40	65	2778	0.032	1.41

2.9.3 *Effect of Temperatur on the Mechanical Properties of Adhesively Bonded Basalt FPR-Aluminium alloy Joins in the Automotive Industry*

Untuk mempelajari pengaruh temperatur pada sifat mekanik suatu ikatan sambungan *basalt FPR-aluminium alloy* dengan *adhesive* (*BFPR-Al joints*), dua kompenen *epoxy adhesive Araldite 2015* dipilih untuk membuat spesimen *bulk tensile*, sambungan *butt* (BJs), sambungan *scarf* (SJs) dengan sudut 45° dan *thick adherend shear joints* (TASJs) yang diuji pada temperatur -40℃, -10℃, RT (25℃), 50℃ dan 80℃ mengunakan mesin pengujian yang umum. (Jinxin,dkk. 2018)

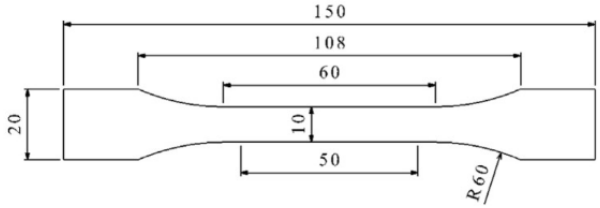
Material *adhesive* yang dipilih untuk penelitian ini adalah Araldite 2015 (dari *Hustman Advanced Materials, Basel, Switzerland*) dimana jenis *Adhesive* ini umum digunakan pada industri otomotif. Properties yang dimiliki oleh *Adhesive Araldite* 2015 ada pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 *Properties of Adhesive Araldite 2015*

Property	
Young's modulus, E [GPa]	1.85 ± 0.21
Poisson's ratio, ν	0.33
Tensile failure strength, σ_f [MPa]	21.63 ± 1.61
Tensile failure strain, ε_f [%]	4.77 ± 0.15
Shear modulus, G [GPa]	0.56 ± 0.21
Shear failure strength, τ_f [MPa]	17.9 ± 1.8
Shear failure strain, γ_f [%]	43.9 ± 3.4

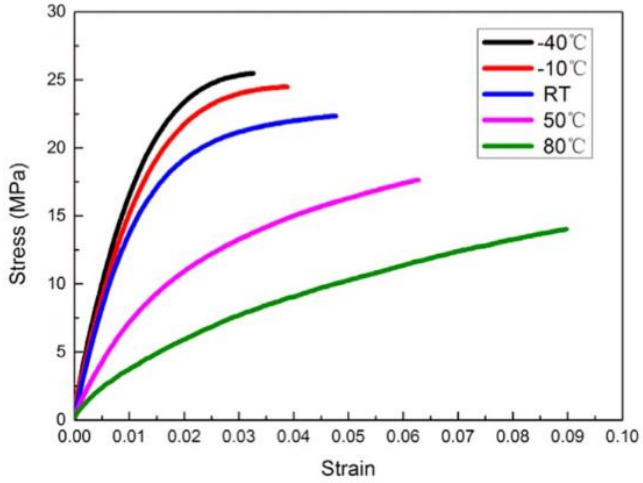
Untuk melihat sifat mekanik *adhesive araldite* 2015 akibat pengaruh temperatur dilakukan pengujian menggunakan spesimen *bulk* yang dibuat dengan standart NF ISO 527-2. Spesimen *adhesive* dikeringkan pada cetakan selama 2 jam pada temperatur

80℃ dengan ketebalan 2 mm. Geometri spesimen *bulk tensile* ditunjukkan pada Gambar 2.18



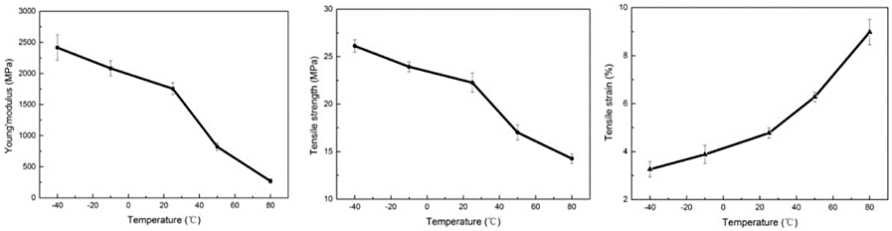
Gambar 2.18 Geometri dari *bulk* spesimens (dalam satuan mm)

Setiap spesimen *bulk*, kurva *stress-strain* pada setiap temperatur yang berbeda didapatkan dari beban yang direkam oleh mesin pengujian umum dan *strain* diamati dari alat DIC. Representasi kurva *tensile stress-strain* dibawah pengaruh temperatur yang berbeda dari *Araldite* 2015 ditunjukkan pada Gambar 2.19 (Jinxin,dkk. 2018)



Gambar 2.19 Representasi kurva *tensile stress-strain* pada temperatur yang berbeda

Gambar 2.19 memberikan informasi bahwa nilai tegangan yang spesimen uji *bulk* mengalami penurunan dan nilai regangan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Sedangkan nilai rata-rata dari *young'modulus, tensile strength* dan *tensile strain* sebagai fungsi temperatur dapat dilihat pada Gambar 2.20 (Jinxin,dkk. 2018)



(a) (b) (c)

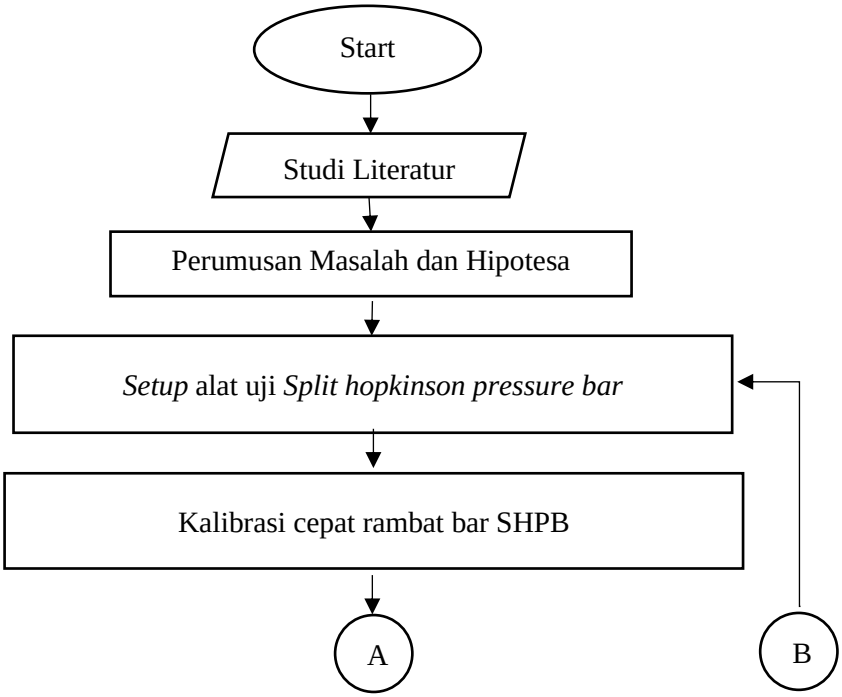
Gambar 2.20 (a) *Young's modulus* (b) *tensile stenght* dan (c) *tensile strain* dari Araldite 2015 sebagai fungsi temperatur

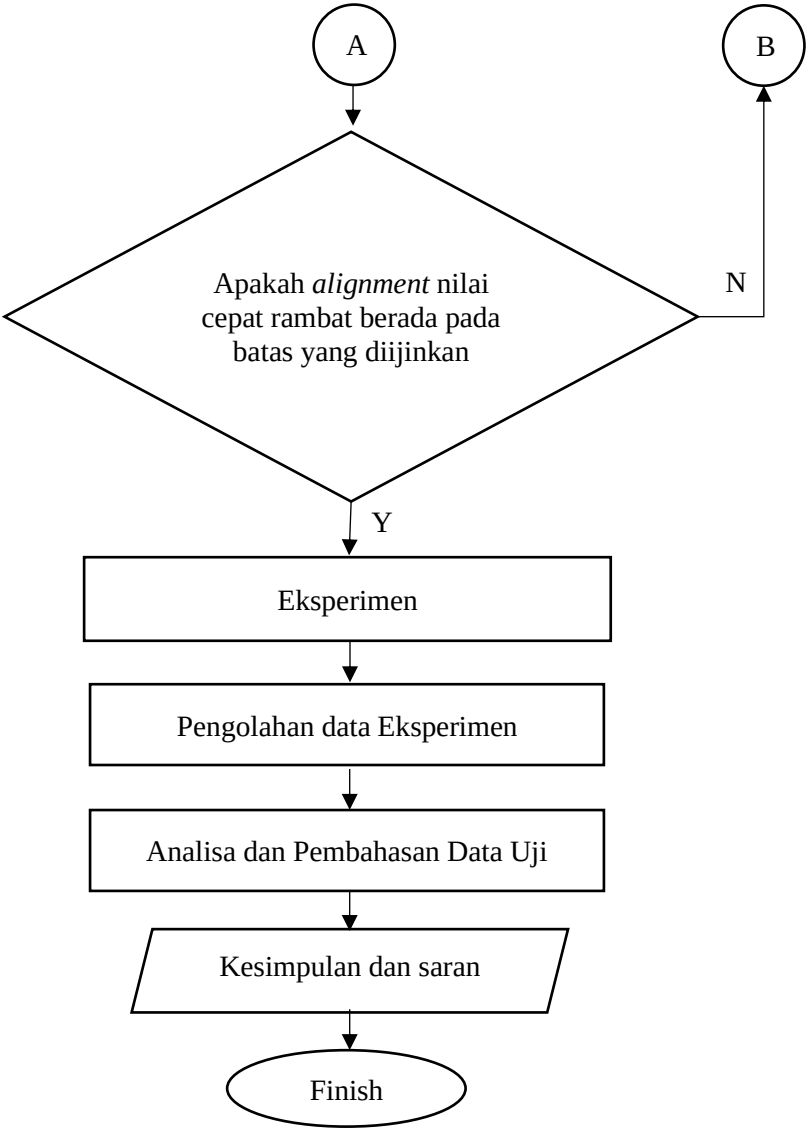
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
METODOLOGI

Penulisan pada bab ini bertujuan untuk memberikan penjelasan mengenai tahapan melakukan penelitian dan menjelaskan perlakuan yang diberikan selama penelitian. Tujuan akhir pada penelitian ini adalah mendapatkan nilai *strain-stress* pada *scarf adhesive joint* dan mengetahui pengaruh variasi temperatur terhadap nilai kekakuan *scarf adhesive joint.*

3.1 *Flowchart* Penelitian





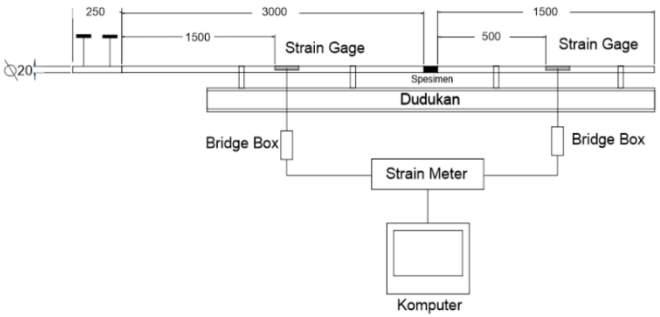
Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Diagram alir pada Gambar 3.1 merupakan tahapan-tahapan dalam melalukan penelitian. Pada tahap pertama dilakukan studi literatur terkait dengan penelitian ini guna mendapatkan wawasan informasi dan refensi yang berkaitan dengan penelitian ini dan juga mengkaji kekurangan pada penelitian sebelumnya yang kemudian diangkat menjadi topik penelitian ini. Hasil dari studi literatur berguna untuk mengetahui karakteristik *scarf adhesive joint* yang dipengaruhi oleh variasi temperature dan laju regangan tinggi. Tahapan kedua adalah menentukan rumusan masalah dan hipotesa. Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana cara mendapatkan nilai kurva tegangan-regangan, *young's modulus* dan pengaruh temperatur pada *scarf adhesive joint*. Sedangkan untuk hipotesa awal penulis adalah temperatur akan mempengaruhi sifat mekanik *scarf adhesive joint* yang akan ditunjukan dengan kurva tegangan yang akan menurun dan kurva regangan yang meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur. Pada tahap ketiga dilakukan pengaturan alat uji *split hopkinson pressure bar* yaitu dengan melakukan pengecekan *misalignment* antar bar dan *setting* alat pengukuran seperti *dynamic strainmeter* guna memastikan alat uji bekerja dengan baik. Kemudian dilakukan kalibrasi seperti kalibrasi *misalignment* dan kalibrasi kecepatan rambat dimana langkah *setup* kalibrasi akan dijelaskan pada sub-bab berikutnya. Selanjutnya pada tahap eksperimen akan dijelaskan cara pengujian mengunakan alat uji *split hopkinson pressure bar*, cara menyiapkan spesimen, mencampurkan *epoxy dan hardener* dan cara menyambungkan sambungan menggunakan *Adhesive* yang akan dijelaskan pada bab 3.5. Setelah melakukan pengambilan data eksperimen dilanjutkan dengan pengolahan data menggunakan aplikasi Mathlab. Pengolahan data dilakukan dengan me-*convert* grafik input *strain* dan output *strain* data dari *dynamic strainmeter* menjadi grafik *strain-stress* dan *strainrate* menggunakan program Mathlab dengan analisa sesuai persamaan teori dasar *split hopkinson pressure bar*. Dimana kurva *strain-stress* tersebut akan dijadikan acuan untuk mendapatkan nilai *young's modulus.* Nilai *young's*

modulus yang didapat merupakan representasi nilai kekakuan yang dimiliki oleh spesimen hasil uji, kemudian nilai *young's modulus* yang didapat pada setiap pengambilan data dibandingkan satu dengan yang lain untuk melihat pengaruh temperatur pada *scarf adhesive joint*. Pengolahan data yang dilakukan menggunakan program Mathlab akan dijelaskan lebih lanjut pada sub-bab 3.5. Pada tahap selanjutnya adalah melakukan analisa hasil eksperimen dengan menggunakan metode pengujian metode statistik *paired sample t-test* guna menguji ada tidaknya perbedaan mean dua data dalam kelompok yang terkait untuk men-validasi hasil penelitian yang telah dilakukan. Pada tahap akhir dari pengujian ini adalah pengambilan kesimpulan dari hasil yang telah didapatkan. Kesimpulan tersebut akan menjawab tujuan dari penelitian ini dan berguna sebagai informasi yang bermanfaat bagi peneliti selanjutnya maupun pihak yang membutuhkan informasi tersebut.

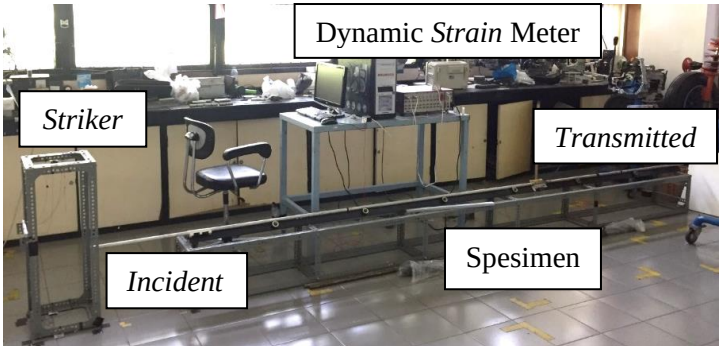
3.2 *Setup* alat uji *Split hopkinson pressure bar*

Alat uji *split hopkinson pressure bar* merupakan perangkat utama yang digunakan pada penelitian ini. Beberapa komponen yang dimiliki oleh alat SHPB ini adalah *striker bar, incident bar, transmitted bar* yang menggunakan material Aluminium AISI 6061 dan terdapat *strain meter* yang berguna untuk mengubah regangan yang terjadi selama gelombang melewati *incident bar* dan *transmitted bar* menjadi sinyal digital yang dapat dibaca menggunakan *Dynamic Measurement Software* yang ditampilkan pada layar komputer. Sebelum melakukan eksperimen perlu dipastikan alat uji *Split hopkinson pressure bar* telah terpasang dengan sesuai yang akan ditunjukan pada Gambar 3.2.



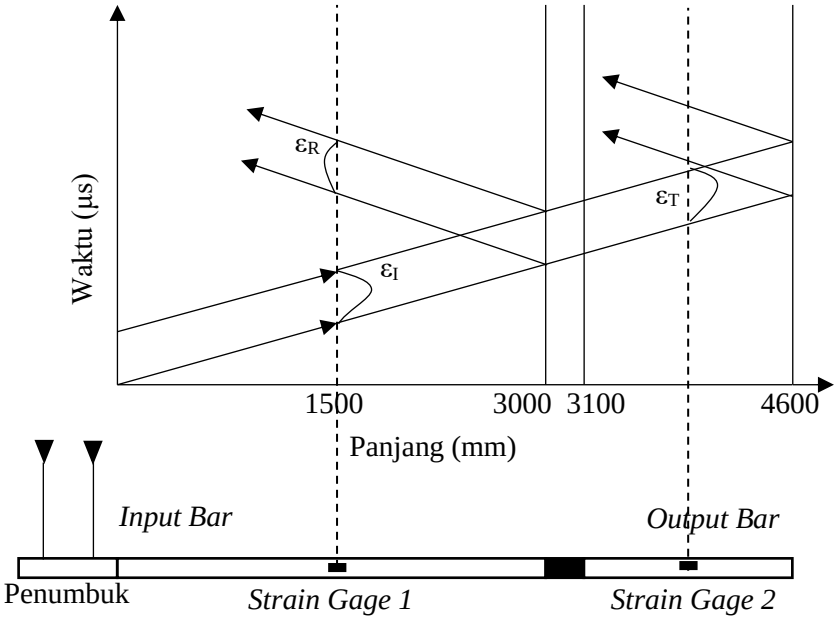
Gambar 3.2 *Skema Alat Uji Split hopkinson pressure bar*

Gambar 3.2 merupakan skema alat uji yang digunakan selama melakukan eksperimen. Dimana pada *incident bar* dibuat dengan panjang 3000 mm dengan tujuan gelombang yang merambat setelah *striker* bar (*incident*) diluncurkan dengan gelombang yang terpantul (*reflected*) tidak saling bertumpukan. Untuk *strain meter* yang digunakan pada ekperimen ini adalah *dynamic strain meter DRA101C* dari Tokyo Sokki Konkyujo dan *strain* gage yang digunakan dengan merk Kyowa KFGS-2N dengan gage factor sebesar 2.08 ± 1.0%, *gage resistance* sebesar 120.4 ± 1.0% Ω dan *gage length* sebesar 2 mm. Sedangkan untuk skema alat yang digunakan selama melakukan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Skema alat uji SHPB yang digunakan pada penelitian

Gambar 3.3 merupakan alat uji *Split hopkinson pressure bar* yang digunakan selama eksperimen. Peletakan *strain gage* pada gambar diatas sesuai dengan diagram lagrangian *strain gages* dimana peletakannya harus berada pada bagian tengah masing-masing bar. Peletakan tersebut untuk menghindari sinyal yang bertumbukan. Peletakan *strain gages* dapat dilihat pada diagram Lagrangian yang ditampilkan pada Gambar 3.4

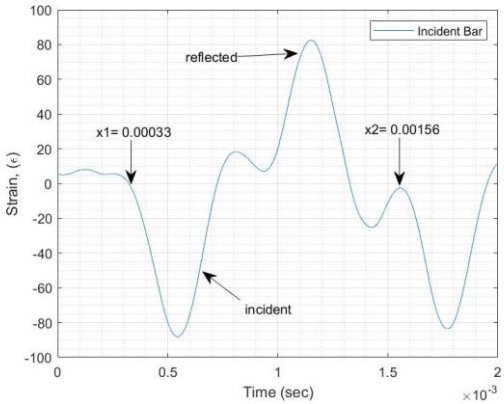


Gambar 3.4 Diagram *Lagrangian* pada alat uji *Split hopkinson pressure bar*

Untuk menghindari sinyal yang bertumbukan, panjang *incident bar* dan *transmitted bar* masing-masing dibuat sebesar 3000 mm dan 1500 mm seperti pada Gambar 3.4.

3.3 Kalibrasi Cepat Rambat Gelombang Regangan pada *Split hopkinson pressure bar*

Sebelum melakukan eksperimen perlu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu yang bertujuan memastikan keakuratan alat ukur maupun alat uji telah sesuai dengan standartnya. Kalibrasi pada *Split hopkinson pressure bar* (SHPB) dilakukan dengan memastikan nilai cepat rambat bar SHPB berada pada rentang cepat rambat material *aluminium alloy* AISI 6061 sesungguhnya. Proses pengujian kalibrasi dilakukan dengan cara diberi pembebanan pada alat uji tanpa memberikan spesimen dan jarak antara *incident bar* dan *transmitted bar*. Untuk mengetahui nilai cepat rambat yang dilakukan dari hasil pengujian dengan melihat grafik pada *incident bar*, untuk mendapatkan grafik tersebut perlu dilakukan pengolahan data menggunakan program MATLAB seperti pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Sinyal pengujian *split hopkinson pressure bar* (SHPB) tanpa spesimen

Gambar 3.5 menunjukkan nilai X_1 sebesar 0,00033s dan nilai X_2 sebesar 0,00156s. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai cepat rambat hasil pengujian sesuai dengan teori dapat digunakan menggunakan persamaan (3.1)

$$Co = \frac{2.L}{\Delta t} \tag{3.1}$$

$$Co = \frac{2\ x\ 3m}{(0{,}00156 - 0{,}00033)}$$

$$Co\ = 4878{,}05\ m/s$$

Sedangkan perhitungan untuk mendapatkan nilai cepat rambat sesungguhnya dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.2)

$$Co = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \tag{3.2}$$

$$Co = \sqrt{\frac{69000000000}{2700}} = 5055{,}250\,\frac{m}{s}$$

Diketahui *modulus young* (E) pada aluminium AISI 6061 adalah 69 GPa dan masa jenis aluminium AISI 6061 adalah 2700 kg/cm^3 maka nilai cepat rambat sesungguhnya adalah 5055,250 m/s. Kemudian setalah lakukan hal yang sama dengan menggunakan *modulus young* hasil eksperimen. Setelah mendapatkan kedua nilai cepat rambat pada aluminium bar dan nilai cepat rambat aluminium sesungguhnya kemudian dibandingkan. Apabila nilai cepat rambat bar aluminium SHPB yang tidak jauh pada rentang nilai sesungguhnya, maka dapat dilanjutkan dengan melakukan eksperimen.

3.4 Parameter Pengukuran

Sangat penting sebelum memulai eksperimen untuk mengetahui jenis dan spesifikasi parameter yang akan kita gunakan selama penelitian. Adapun spesifikasi parameter yang digunakan antara lain adalah :

1. Strain Gage

Tipe strain gage	= KyowaKFGS-2N-120-11 L3M2R
Gage factor	= 2.08 ± 1.0 %
Gage resistance	= 120.4 ± 1.0 % Ω
Gage length	= 2 mm
Sampling rate	= 0.05 ms
Frekuensi *sampling* (f_s)	= 20.000 Hz

2. *Bar Component*

Material bar	= Aluminium AISI 6061
Young's Modulus bar	= 69 GPa
Luas penampang bar (Ab)	= 0.000314 m^2

3. Spesimen

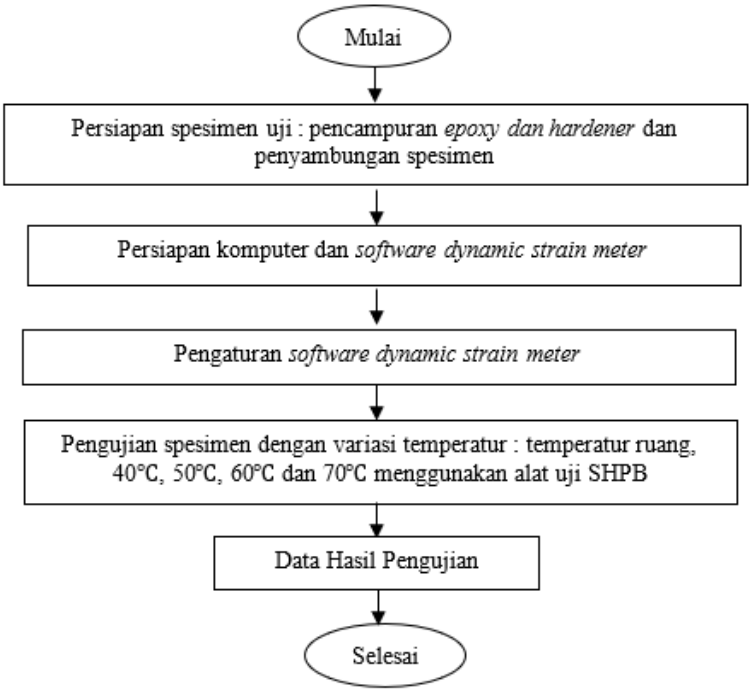
Material *adherend*	= Aluminium AISI 6061
Young's Modulus bar	= 69 GPa
Luas penampang bar (Ab)	= 0.000314 m^2
Material *Adhesive*	= *Epoxy-Hardener*

3.5 Eksperimen

Eksperimen pada penelitian ini menggunakan spesimen pipa pejal aluminium AISI 6061 dengan diameter 20 mm, panjang spesimen tanpa *adhesive* 110 mm dengan tipe sambungan *scarf joint*. Eksperimen ini dilakukan dengan menguji spesimen *scarf adhesive joint* menggunakan variasi temperatur. Tujuan dari pelaksanaan eksperimen ini adalah mendapatkan nilai *strain-stress* pada *scarf adhesive joint* dan mengetahui pengaruh variasi temperatur terhadap nilai kekakuan *scarf adhesive joint.*

3.5.1 *Flowchart* Eksperimen

Tahapan-tahapan selama melakukan eksperimen dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 *Flowchart* Eksperimen

Dalam melakukan eksperimen terdapat beberapa hal yang perlu dipersiapkan. Hal pertama yang perlu dipersiapkan adalah spesimen uji. Pada tahap ini, digunakan *adherend* dengan material aluminium AISI 6061 yang bergiometri silinder pejal dengan tipe *scarf joint*. Sebelum melakukan ekspresimen, spesimen terlebih dahulu diberikan perlakukan seperti membersihkan permukaan. Pembersihan permukaan spesimen bertujuan untuk memastikan tidak ada kotoran yang menempel dan menghindari dari variabel yang tidak diinginkan. Pembersihan spesimen dapat dilakukan

dengan pengamplasan menggunakan kertas pasir (amplas) dengan tingkat kekasaran CC 80 CW dan AA240. Pembersihkan diutamakan pada permukaan yang akan diberikan *adhesive*. Setiap penggambilan data pada eksperimen ini digunakan spesimen yang baru untuk memberikan perlakuan yang sama. Selanjutnya pada tahap persiapan spesimen uji akan dijelaskan lebih lanjut pada sub-bab 3.5.2. Selanjutnya dilakukan penyambungan spesimen dengan menggunakan *adhesive* yang telah tercampur rata. Pada tahap penyambungan specimen, diberikan perlakuan yang bertujuan untuk mengurangi gelembung makro pada sambungan, untuk *quality control* pada sambungan. Tahap penyambungan spesimen akan dijelaskan sub-bab 3.5.3 lebih lanjut. Setiap melakukan penyambungan spesimen menggunakan *adhesive* terdapat kelebihan *adhesive* yang perlu dilakukan pembersihan untuk mengurangi variabel-variabel yang tidak diinginkan. Ketika pengambilan data, striker bar diluncurkan menggunakan kecepatan yang berbeda. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan nilai laju regangan yang sama berada pada orde $\pm 10^3$ s^{-1}. Penelitian ini memilihin menggunakan pada orde laju regangan yang sama, agar hasil setiap pengujian dapat dibandingkan satu dengan yang lain. Selain itu, uji *Split Hopkinson Pressure Bar* yang ideal dilakukan pada laju regangan yang sama.

3.5.2 Campuran *Epoxy* dan *Hardener*

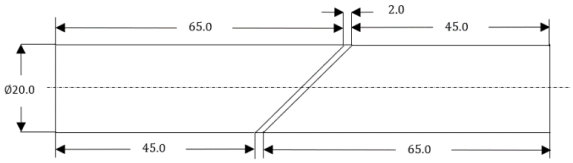
Dalam proses pencampuran *epoxy* dan *hardener* perlu dipastikan beberapa hal untuk tetap terkontrol. Variabel yang harus tetap terkontrol pada hal ini seperti komposisi campuran *epoxy dan hardener*. Komposisi perbandingan *epoxy dan hardener* yang digunakan pada eksperimen ini adalah 1:1. Pengaturan komposisi tersebut dilakukan dengan cara ditimbang menggunakan timbangan digital. Kemudian dilakukan pengadukan *epoxy dan hardener* hingga merata. Komposisi *epoxy* dan hardener yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.7

Gambar 3.7 Komposisi *epoxy dan hardener* yang digunakan

Gambar 3.7 merepresentasikan proses penimbangan *epoxy* dan *hardener* yang akan digunakan. Sedangkan pada proses pencampuran dilakukan pengadukan secara manual hingga *epoxy dan hardener* tercampur dengan sempurna.

3.5.3 Penyambungan Spesimen

Pada tahap penyambungan *adherend* digunakan *adhesive* yang telah tercampur rata dan ketebalan *adhesive* tersebut dikontrol sebesar 2 mm dengan toleransi ±0,01 mm. Selama proses pengeleman, dibutuhkan *curing time* hingga dipastikan *adhesive joint* telah kering sempurna. Waktu yang dibutuhkan hingga *adhesive* kering sempurna pada eksperimen ini adalah 12 jam.



Gambar 3.8 Rancangan *scarf adhesive joint* (dalam satuan mm)

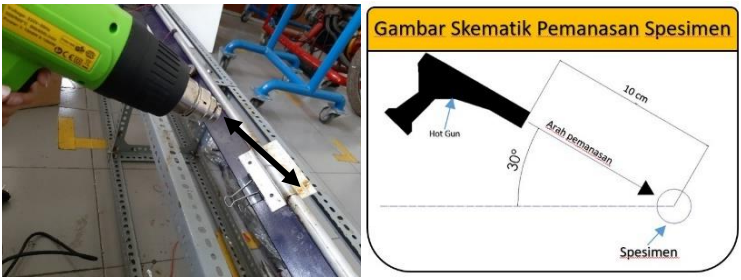
Gambar 3.9 Tampilan scarf adhesive yang telah disambung

Penyambungan *adherend* menggunakan *adhesive* seperti Gambar 3.9 yang dilakukan dengan cara meletakkan jangka sorong yang telah di atur dengan jarak 2 mm. Setelah disambung menggunakan *adhesive*, spesimen didiamkan hingga kering.

3.6 Pengambilan Data

Dalam proses pengambilan data eksperimen *adhesive joint* ini akan digunakan alat uji *Split hopkinson pressure bar* (SHPB). Dalam pengambilan data diperlukan beberapa tahapan antara lain sebagai berikut :

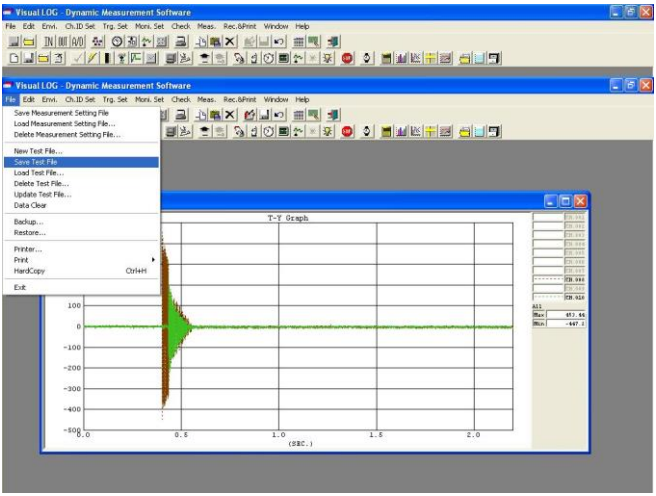
a. Siapkan *striker bar* pada posisi awal. Pada pengujian ini *stiker bar* menggunakan *initial position* yang berbeda setiap pengujian temperatur.
b. Siapkan spesimen pada tempatnya dan tambahkan *grease* pada sisi spesimen untuk meminimalisir gesekan.
c. Atur waktu peluncuran *striker bar*. Peluncuran stiker bar dapat menggunakan *manual trigger* ataupun *automatic trigger*.
d. Nyalakan *hotgun* dan *timer*. Arahkan *hotgun* pada spesimen selama 5 menit dengan jarak ±150 mm.



Gambar 3.10 Skema pengaturan *hotgun* selama eksperimen

Gambar 3.10 menunjukan skema pengaturan *hotgun* untuk memberikan perlakuan temperatur pada spesimen *scarf adhesive joint* selama eksperimen. Selama pengoperasian *hotgun* digerakan secara vertikal sepanjang spesimen selama waktu yang ditentukan dengan tujuan agar panas yang diberikan dapat menyebar secara merata.

e. Lakukan pengecekan temperatur menggunakan *infrared themperature* pada *adhesive joint*.
f. Lakukan masing-masing pengujian temperatur *adhesive joint* pada temperatur ruangan, 40℃, 50℃, 60℃ dan 70 ℃.
g. Setelah spesimen dipanaskan selama 5 menit luncurkan *striker bar*.
h. Tunggu hasil pembacaan selama proses *scanning*. Tampilan grafik hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 3.11



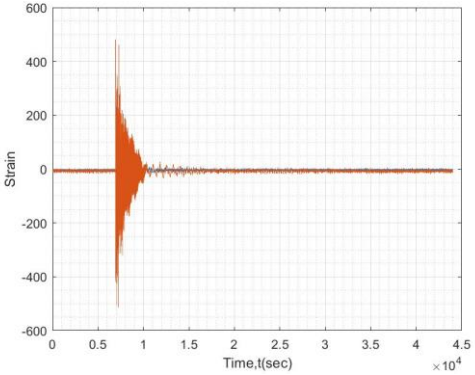
Gambar 3.11 Tampilan grafik setelah proses *Scanning*

Gambar 3.11 merupakan tampilan grafik setelah melakukan proses *scanning* sesudah melakukan penumbukan. Proses *scanning* merupakan tahapan pembacaan sinyal oleh *strain gage* yang akan diteruskan ke alat *dynamic stain meter* untuk diubah menjadi sinyal digital agar sinyal pembacaan dapat ditampilkan pada komputer.

3.7 Pengolahan Data Eksperimen

Data yang didapatkan dari hasil eksperimen selanjutnya diolah menggunakan aplikasi MATLAB. Pengolahan tersebut bertujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih informatif dan mendapatkan grafik *strain-stress*, *strain rate*, dan lainnya. Grafik tersebut berguna untuk menganalisa kekakuan yang dimiliki pada *scarf Adhesive joint* yang diberikan perlakuan panas. Adapun tahapan pengolahan data hasil pengujian adalah sebagai berikut:

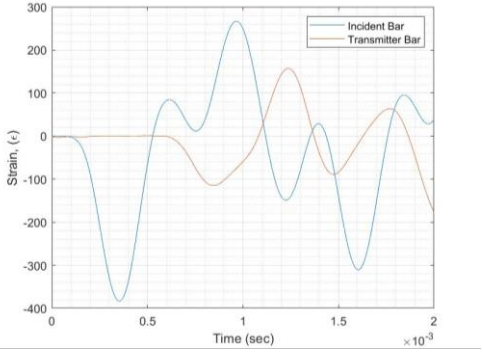
a. *Import* data excel hasil penelitian kedalam *software* MATLAB.



Gambar 3.12 Grafik hasil pengujian

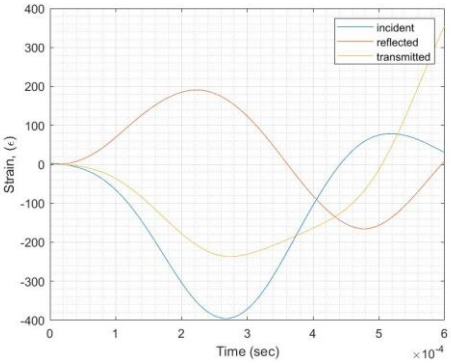
Gambar 3.12 merupakan grafik pembacaan sinyal yang didapatkan pertama kali setelah memberikan pembebanan dinamik pada spesimen.

b. Lakukan *balancing* pada grafik sebelumnya.
c. Potong grafik yang memrepresentasikan informasi sinyal pada *incident* dan *transmitted bar*.



Gambar 3.13 Hasil grafik strain-time yang telah dipotong

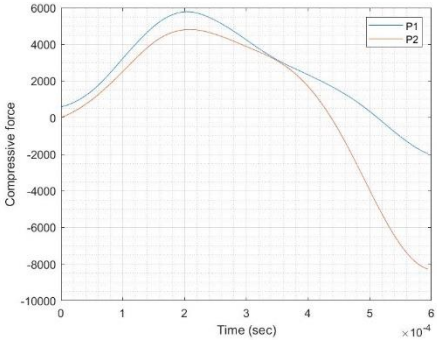
d. *Setting* nol grafik yang telah dipotong sebelumnya.
e. *Trim* grafik



Gambar 3.14 Grafik hasil trim

Gambar 3.14 menunjukan hasil trim. Trim dilakukan guna mengatur kurva *incident strain, reflected strain* dan *transmitted strain* yang semula berada pada rentang waktu yang berbeda menjadi satu rentang waktu yang sama.

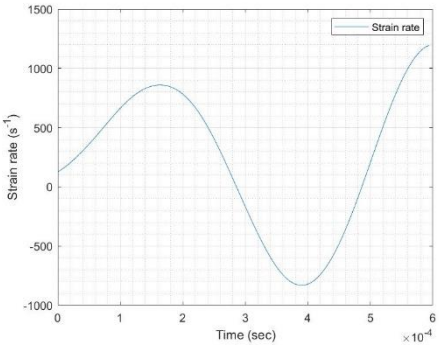
f. Ubah menjadi grafik P1 dan P2. Grafik P1 dan P2 adalah respresentasi dari *compressive force.*



Gambar 3.15 Grafik P1 dan P2

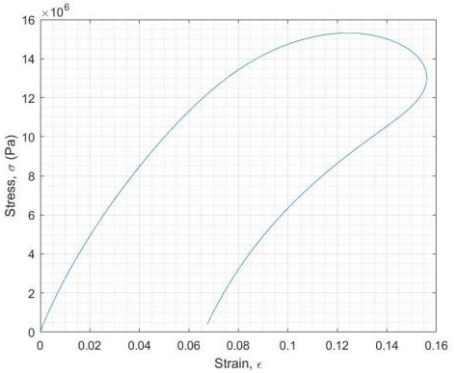
Gambar 3.15 ditunjukkan kurva P1 yang merupakan *compressive force* pada *incident bar* dan *reflected bar*, sedangkan kurva P2 merupakan *compressive force* pada *transmitted bar*. Pada proses ini, grafik P1 dan P2 diatur agar berhimpit.

g. Ubah menjadi grafik *strain rate*



Gambar 3.16 Grafik *strainrate* pada *room temperature*

h. Ubah menjadi grafik strain-stress



Gambar 3.17 Grafik *strain-stress* pada *room temperature*

3.8 Proses Perhitungan Data Hasil Eksperimen

Untuk mendapatkan hasil akhir yang diinginkan, diperlukan beberapa tahapan perhitungan yang akan dimasukkan kedalam *software* MATLAB. Beberapa persamaan telah disampaikan pada bab sebelumnya dan untuk mendapatkan nilai dari eksperimen yang telah dilakukan dapat menggunakan perhitungan sebagai berikut

a. Perhitungan Laju Regangan (ε)

Untuk mendapatkan nilai laju regangan pada data eksperimen yang telah dilakukan dapat dicari menggunakan persamaan (3.3)

$$\sigma_n = E\frac{A_b}{A_s}\varepsilon_{T(t)} \tag{3.3}$$

b. Perhitungan Tegangan dan Regangan

Dalam mendapatkan grafik Tegangan (σ_n) dan Regangan (ε_n) seperti yang didapatkan dari *software* MATLAB didapatkan melalui persamaan (3.4)

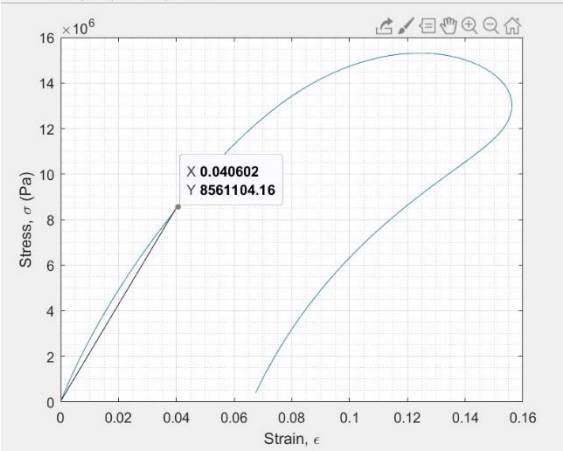
$$\sigma_n = E_b \frac{A_b}{A_s} \varepsilon_{T(t)} \quad (3.4)$$

Dimana *Young's Modulus bar* (Eb) merupakan *Young's Modulus* alumunium AISI 6061 yang memiliki nilai sebesar 69 GPa, sedangkan untuk luas permukaan bar (Ab) sebesar $2{,}381 \times 10^{-5}$ m^2. Besar regangan yang diterima dapat dilihat dari kurva yang telah dilakukan pengetriman dan nilainya didapat dari persamaan berikut:

$$\varepsilon_n = -2 \frac{C_0}{L_s} \int \varepsilon_{R(t)} dt \quad (3.5)$$

c. Perhitungan nilai *Young's Modulus*

Setelah mendapatkan nilai tegangan-regangan dapat dilanjutkan dengan menghitung nilai kekakuan masing-masing dari tiap hasil pengujian. Nilai kekakuan disini didapatkan dari slop kurva tegangan-regangan seperti pada Gambar 3.18.



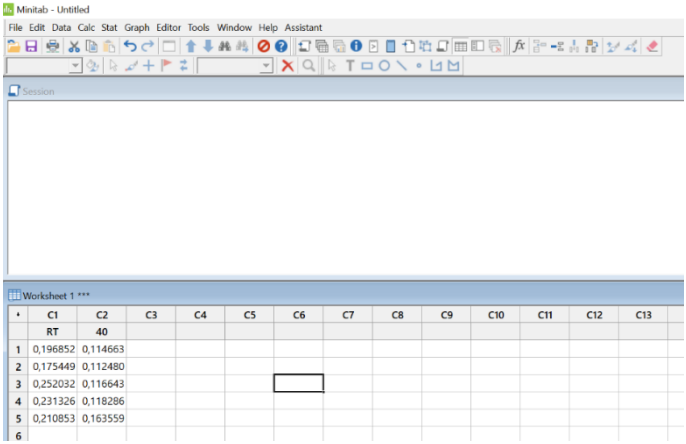
Gambar 3.18 *slope* kurva tegangan-regangan untuk mendapatkan nilai *young's modulus*

Gambar 3.18 merupakan proses menarik *slope* pada kurva tegangan-regangan. Slop tersebut didapat dengan menarik garis miring dari *strain* nol menuju 0,04. Kemudian diambil nilai tegangan-regangan pada titik pertemuan *slope* dengan kurva tersebut dan diambil nilai rasio. Pengambilan pada nilai *strain* 0,04 tersebut dikarenakan grafik berbentuk non-linear, dan untuk mengurangi pengambilan *slope* secara subjektif. Nilai rasio tegangan-regangan pada grafik tersebut sebesar 0,21 GPa.

3.9 Uji Statistik *Paired t-test*

Nilai *young's modulus* disetiap pengujian selanjutnya diuji statistik *paired t-test* menggunakan *software* minitab. Adapun tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Masukan data sebagai sample 1 dan sample 2 di *worksheet* minitab seperti Gambar 3.19

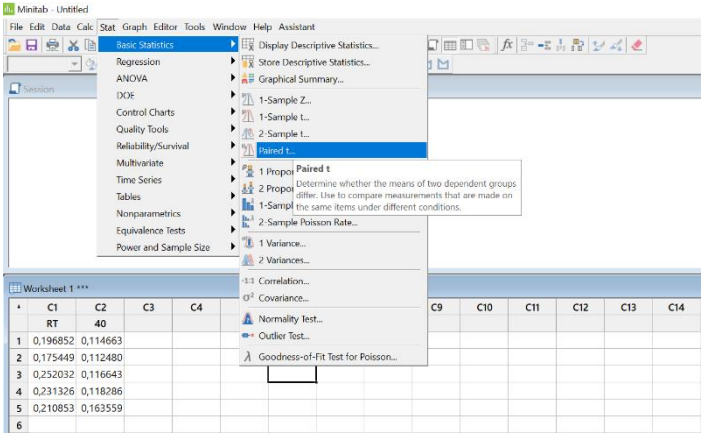


	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13
	RT	40											
1	0,196852	0,114663											
2	0,175449	0,112480											
3	0,252032	0,116643											
4	0,231326	0,118286											
5	0,210853	0,163559											
6													

Gambar 3.19 Data young's modulus yang akan diuji dengan *paired t-test*

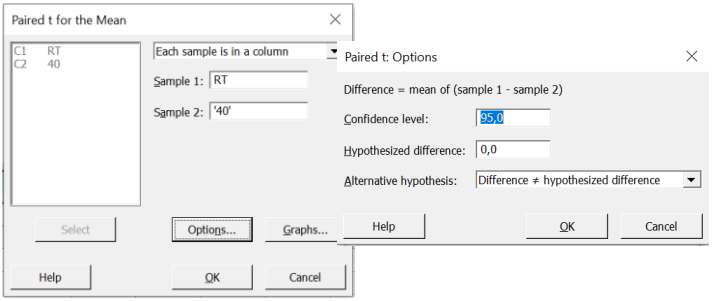
Data yang digunakan sebagai contoh pengolahan data tersebut merupakan nilai *young's modulus* setiap spesimen uji pada temperature ruangan dan temperature 40℃

b. Proses perhitungan oleh *software* minitab



Gambar 3.20 Tampilan menu minitab untuk memilih metode *paired t-test*

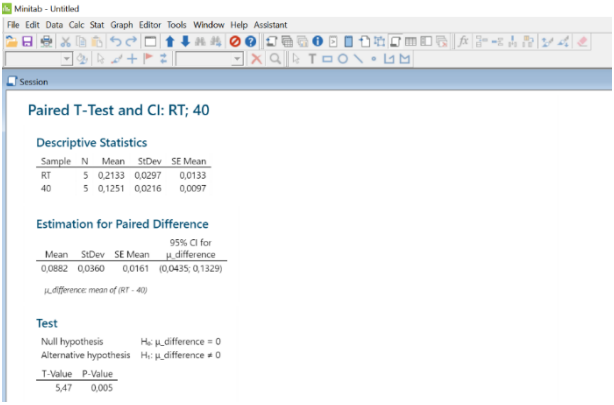
Dipilih *paired t-test* untuk membandingan selisih *mean* pada masing-masing pengujian pada variasi temperatur kerja. Setelah memilih pengujian statistik *paired t-test* pilih jenis sample seperti pada Gambar 3.21



Gambar 3.21 Tampilan menu pengujian statistik *paired t-test*

Gambar 3.21 menunjukkan tampilan untuk mengatur *confident level* dan *hypothesis* yang akan digunakan. Pada penelitian ini akan digunakan *confident interval* sebesar 95%

c. Hasil statistik oleh *software* minitab



Gambar 3.22 Hasil *paired t-test* pada sampel *room temperatur* dengan sampel temperatur 40°C

Dari perhitungan yang dilakukan oleh *software* minitab, *P-value* yang didapatkan pada variasi room temperature dengan temperatur 40°C sebesar 0,005 yang mana menunjukkan adanya perbedaan yang besar dari kedua hasil tersebut.

3.10 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Dari hasil yang didapatkan dari software minitab, selanjutnya adalah mengambil kesimpulan dari nilai *P-value* yang diberikan. Dengan menggunakan *confident value* sebesar 95%, maka jika *P-value* bernilai kurang dari 0,05 menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar kedua sample tersebut.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

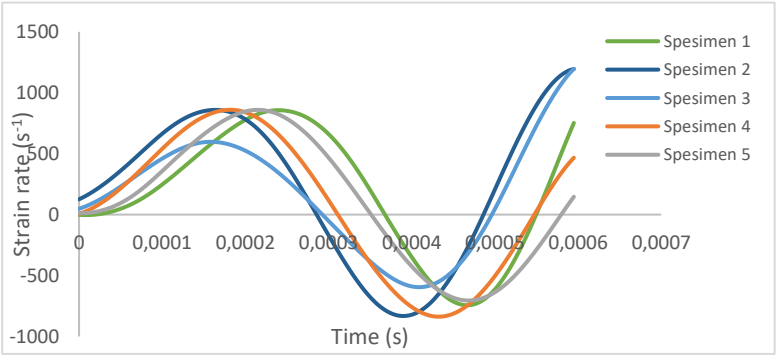
Pengujian *scarf adhesive joint* terhadap pengaruh temperature dan laju regangan dilakukan menggunakan metode *Split Hopkinson Pressure Bar* (SHPB). Data regangan terhadap waktu yang diperoleh dari pengujian akan diproses untuk mendapatkan grafik tegangan-regangan.

4.1 Hasil Percobaan

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanik *adhesive* berupa nilai *young's modulus* pada *scarf joint* dengan ketebalan 2 mm yang dipengaruhi oleh temperature. Adapun temperatur kerja yang digunakan pada pengujian ini adalah *room temperature* (RT), 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C. Material *adherend* yang digunakan adalah pipa pejal aluminium AISI 6061.

4.1.1 Perbandingan Laju Regangan Setiap Spesimen pada Temperature Ruang

Nilai laju regangan yang didapat dari setiap pengujian spesimen pada temperatur ruangan yang didapat seperti kurva yang ditunjukkan pada Gambar 4.1

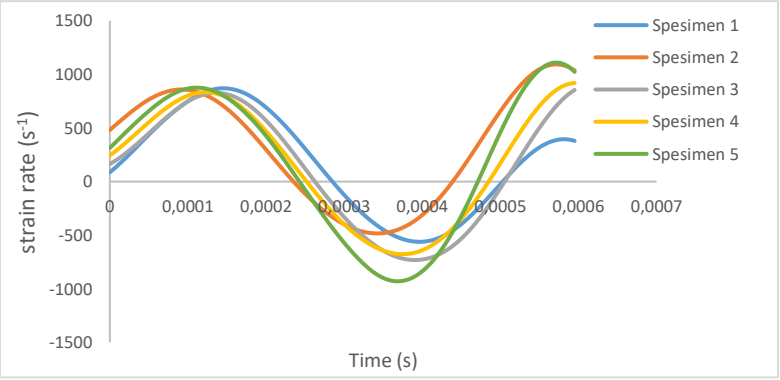


Gambar 4.1 Laju regangan setiap spesimen uji pada temperatur ruangan

Hasil laju regangan rata-rata dari pengujian setiap spesimen pada temperatur kerja didapatkan sebesar 806,43 ± 105 s^{-1}. Kecepatan tumbuk yang digunakan pada *room temperature* adalah 1,17 m/s. Deviasi yang besar tersebut diakibatkan terdapat nilai raju regangan pada spesimen 3 yang berbeda jauh dan nilai laju regangannya sebesar 597 s^{-1}. Dengan menggunakan kecepatan yang sama, spesimen uji no 3 menunjukkan bahwa energi yang terserap akibat pembebanan *impact* lebih sedikit dibandingkan dengan spesimen lainnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa spesimen uji 3 memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen uji lainnya.

4.1.2 Perbandingan Laju Regangan Setiap Spesimen pada Temperatur Kerja 40°C

Pengujian *scarf adhesive* joint tiap spesimen pada temperature kerja 40°C dilakukan menggunakan kecepatan tumbuk yang lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan tumbuk pada pengujian di *room temperatur.* Adapun nilai laju regangan setiap spesimen uji pada temperatur 40°C ditunjukkan pada Gambar 4.2



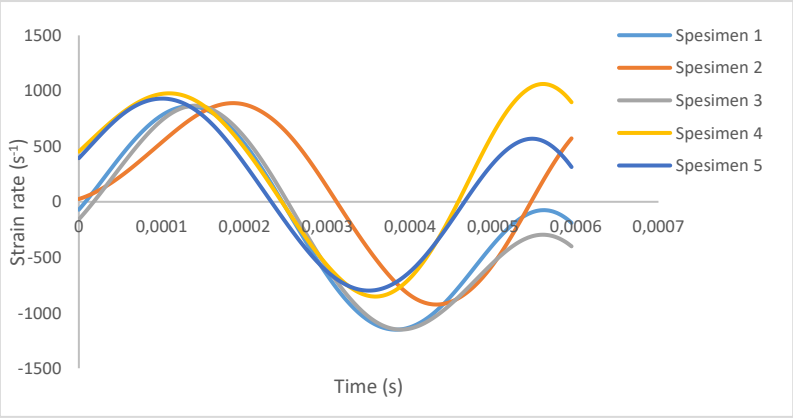
Gambar 4.2 Laju regangan tiap spesimen uji pada temperatur kerja 40°C

Pada kurva yang ditunjukkan Gambar 4.2 didapatkan nilai rata-rata laju regangan spesimen uji pada temperature 40°C adalah

853±22 s^{-1}. Dengan menggunakan kecepatan tumbuk yang sama, nilai laju regangan akibat penambahan temperature akan menjadi lebih tinggi. Sehingga kecepatan tumbuk pada temperature uji 40°C diturunkan dengan cara mengatur ketinggian *striker bar*. Pada temperatur yang lebih tinggi, *adhesive* menjadi lebih lunak sehingga lebih mudah untuk terdeformasi elastis.

4.1.2 Perbandingan Laju Regangan Setiap Spesimen pada Temperatur Kerja 50°C

Metode pengujian pada temperature 50°C dilakukan dengan metode yang sama seperti pada temperature 40°C yaitu dengan menurunkan kecepatan tumbuk. Dari hasil pengujian setiap spesimen didapatkan nilai laju regangan seperti pada Gambar 4.3



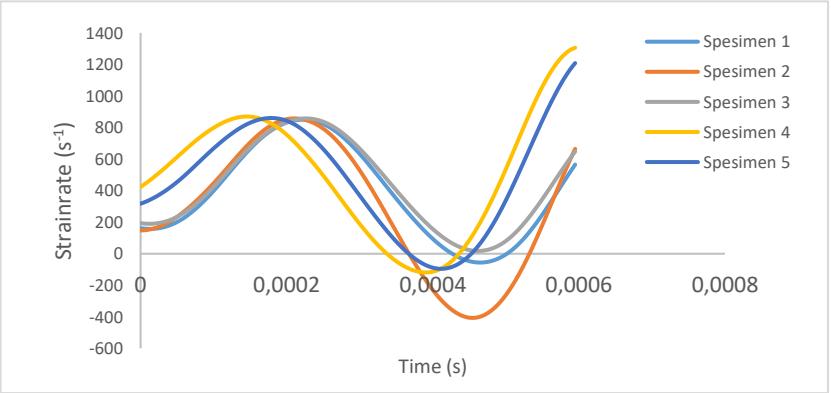
Gambar 4.3 Laju regangan setiap spesimen uji pada temperatur kerja 50°C

Pada kurva yang ditunjukkan oleh gambar diatas nilai rata-rata laju regangan dari pengujian adalah 904±48 s^{-1}. Pada pengujian ini tidak dapat dipastikan secara akurat nilai kecepatan tumbuk yang digunakan sehingga nilai rata-rata laju regangan pada temperature 50°C bernilai lebih tinggi dibandingkan dengan temperature yang lebih rendah. Namun nilai laju regangan tersebut masih berada dalam orde 10^3. Sehingga, hasil pengujian pada

temperature 50°C masih dapat dibandingkan dengan temperature kerja yang lebih rendah.

4.1.3 Perbandingan Laju Regangan Setiap Spesimen pada Temperatur Kerja 60°C

Pengujian *scarf adhesive joint* yang dilakukan pada temperature kerja 60°C dilakukan dengan kecepatan tumbukan yang lebih rendah dibandingkan temperatur uji sebelumnya. Penurunan kecepatan dilakukan agar nilai laju regangan dapat dibandingkan dengan pengujian temperature lainnya. Adapun nilai laju regangan yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 4.4



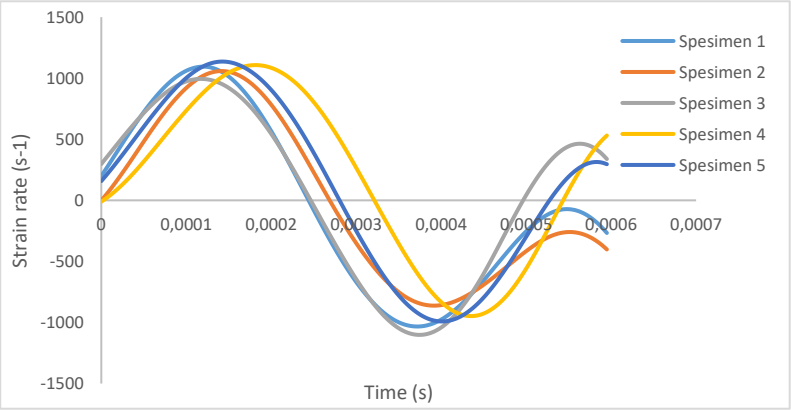
Gambar 4.4 Laju regangan setiap spesimen uji pada temperatur kerja 60°C

Nilai laju regangan rata-rata yang didapat dari pengujian spesimen *adhesive scarf joint* pada temperature kerja 60°C adalah 859 ± s^{-1}. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa *scarf adhesive* pada temperature 60°C mengalami ekspansi yang sangat minimal ditunjukkan dengan kurva ekspansi tidak sampai -400 s^{-1}. Hal tersebut menunjukan bahwa energi serapan *scarf adhesive joint* akibat tumbukan pada temperatur 60°C bernilai sangat besar dan materialnya menjadi sangat lunak. Energi serapan yang tinggi akan ditunjukkan dengan kurva tegangan-regangan yang memiliki

luasan area dibawah kurva bernilai tinggi. Hal tersebut dikarenakan *scarf adhesive joint* berdeformasi elastis.

4.1.5 Perbandingan Laju Regangan Setiap Spesimen pada Temperatur Kerja 70℃

Hasil pengujian *scarf adhesive joint* di setiap spesimen pada temperatur kerja 70℃ dilakukan nilai laju regangan seperti pada Gambar 4.5



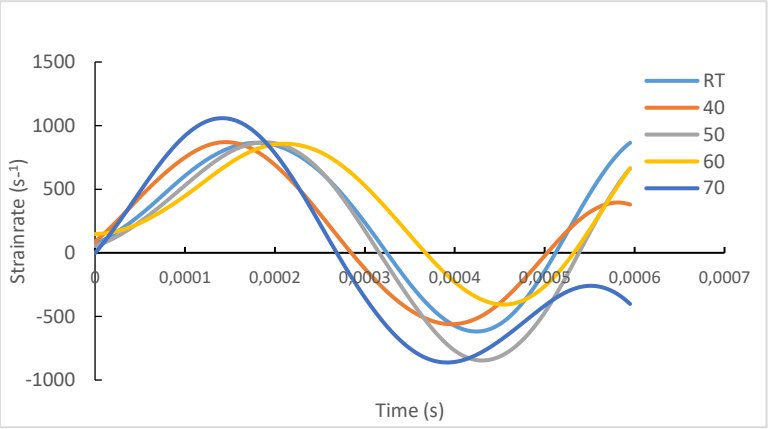
Gambar 4.5 Laju Regangan setiap spesimen uji pada temperatur kerja 70℃

Nilai rata-rata laju regangan pada temperature kerja 70℃ adalah 1078±55 s^{-1}. Pada pengujian temperatur ini digunakan kecepatan tumbuk yang lebih rendah dibandingkan dengan pengujian tempeatur lainnya. Pada temperature tinggi, nilai laju regangan bernilai lebih besar. Dikarenakan energi serap akibat beban tumbuk lebih besar dan sensitifitas polimer *adhesive* pada temperature tinggi. Pada pengujian ini, kecepatan tumbuk tidak diturunkan kembali dikarenakan pada kecepatan yang lebih rendah banyak *noise* yang terjadi. Sehingga tidak dilakukan agar menghindari pembacaan gelombang *noise* tersebut. Namun nilai laju regangan pada pengujian di temperature 70℃ masih berada

pada rentang orde 10^3. Sehingga dapat dibandingkan nilainya terhadap pengaruh temperatur.

4.1.4 Perbandingan Laju Regangan Tiap Temperatur Kerja

Nilai laju rengangan di setiap temperature kerja didapat dengan menggunakan persamaan (2.10). Selanjutnya, nilai laju regangan yang didapatkan dibandingkan satu dengan yang lain untuk mengetahui respon tegangan-regangan terhadap pengaruh temperature dan laju regangan tinggi. Adapun nilai perbandingan laju regangan setiap temperatur kerja dapat dilihat pada Gambar 4.6



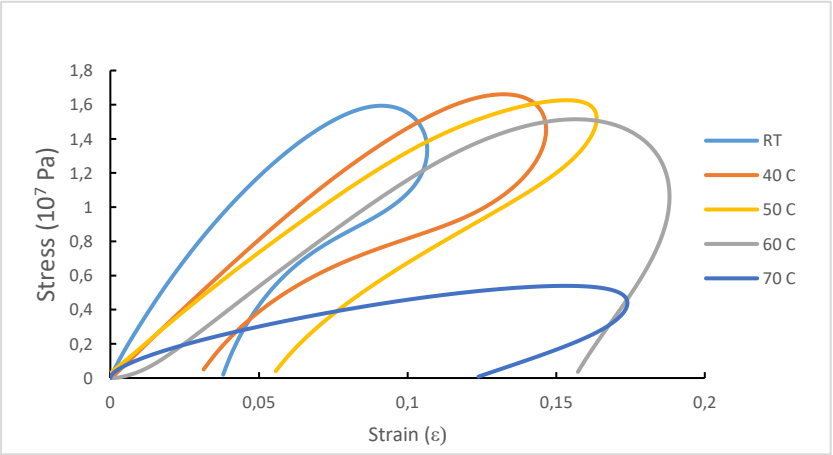
Gambar 4.6 Laju regangan pengujian *scarf adhesive Joint* pada Temperatur Kerja

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai laju regangan disetiap temperature uji konsisten pada orde 10^3. Nilai pengujian laju regangan perlu untuk dipastikan konsisten untuk mendapatkan hasil pengujian metode *Split Hopkinson Pressure Bar* yang ideal. Gambar 4.6 menunjukkan nilai rata-rata laju regangan pada temperature ruang hingga temperatur 60°C bernilai 856±69 s^{-1}. Sedangkan pada temperatur 70°C rata-rata nilai laju regangan sebesar 1078±55 s^{-1}. Pada temperatur 70°C, nilai laju regangan menunjukkan nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan

temperatur kerja lainnya, hal tersebut dikarenakan *scarf adhesive* pada temperatur tinggi memiliki sifat lebih lunak sehingga saat dilakukan penumbukan, akan menyerap energi akibat pembebanan yang lebih besar dibandingkan dengan temperatur yang lebih rendah. Menjaga konsistensi nilai laju regangan ini bermanfaat untuk memastikan bahwa penelitian ini benar dipengaruhi oleh adanya perbedaan temperature kerja.

4.1.2 Perbandingan Kurva Strain-Stress tiap Temperatur Kerja

Kurva tegangan-regangan pada penelitian ini didapatkan dari pengolahan data *strain* terhadap waktu menggunakan persamaan (2.10) dan (2.11). Adapun kurva tegangan-regangan tiap pengujian temperatur kerja ditampilkan pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Kurva Tegangan-Regangan pada tiap Temperatur Kerja

Gambar 4.7 terlihat bahwa kurva tegangan-regangan yang didapat tiap pengujian temperature kerja memiliki karakterisitk yang berbeda. Hal tersebut membuktikan bahwa adanya pengaruh temperatur dan laju regangan tinggi terhadap karakteristik kurva tegangan-regangan. Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pada kurva tegangan-regangan akan naik hingga tegangan maksimal, yang

memberikan kita informasi bahwa terdapat pembebanan kompresi (*loading phase*). Setelah mencapai tegangan maksimalnya, kurva akan menurun hingga tegangan kembali 0 Pa akibat adanya ekspansi (*unloading phase*).

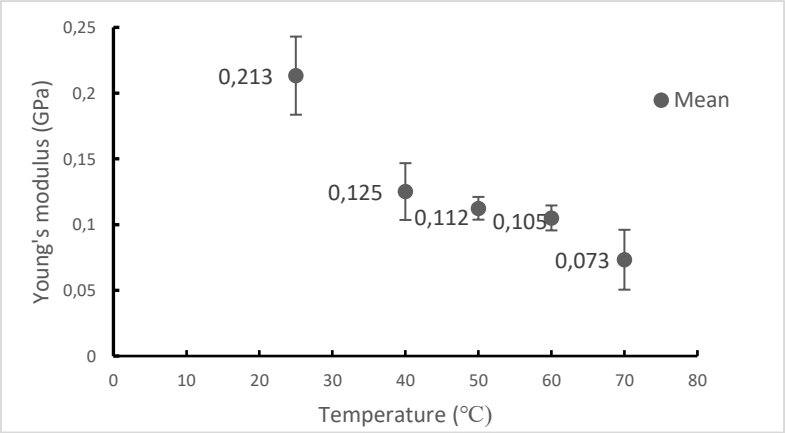
Peningkatan temperatur mengakibatkan tegangan menurun dan nilai regangan meningkat. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa *scarf adhesive joint* mengalami deformasi elastis. Berdasark an hasil eksperimen, kurva tegangan-regangan pada temperature 40℃ dan 50℃ berhimpit. Sehingga deformasi pada temperature 40℃ hingga 50℃ terjadi secara minimal. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan uji statistik. Nilai paling minimal ditunjukkan pada temperature 70℃, ditunjukkan dengan kurva tegangan yang jauh berbeda dengan temperatur lain.

Nilai *young's modulus* setiap hasil pengujian didapat dengan menarik garis *slope* dari titik 0 grafik menuju strain 0,04 pada kurva tegangan-regangan. Penarikan slop tersebut untuk mendapatkan rasio pada titik tegangan-regangan. *Young's modulus* menunjukkan kecenderungan *scarf adhesive* berdeformasi elastis terhadap pengaruh temperature dan laju regangan tinggi.

4.2 Pembahasan

Hasil pengujian sambungan *scarf adhesive* dengan metode *Split Hopkinson Pressure Bar* dilakukan untuk mendapatkan nilai *young's modulus.* Nilai *young's modulus* yang telah didapatkan dari setiap pengujian kemudian dibandingkan untuk mengetahui pengaruh tiap temperatur kerja terhadap sambungan *scarf adhesive.*

Pengamatan pengaruh variasi temperatur kerja terhadap nilai *young's modulus* dilakukan menggunakan 5 spesimen uji disetiap variasi temperatur. Adapun nilai *young's modulus epoxy adhesive* hasil pengujian pada beberapa variasi temperature dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Pengaruh Temperatur Kerja terhadap *Young's Modulus*

Gambar 4.8 menunjukkan pengaruh temperature kerja pada sambungan *scarf adhesive* terhadap nilai *young's modulus*. Deformasi elastis *epoxy adhesive* pada temperature tinggi menyebabkan nilai *young's modulus* menurun. Namun, perubahan nilai modulus dari temperatur ruang hingga temperatur 70℃ cenderung landai. Grafik menunjukkan pada temperatur ruang (RT) didapatkan nilai *young's modulus* rata-rata sebesar 0,213

GPa, ketika temperatur dinaikan menjadi 40℃ nilai *young's modulus* rata-rata menurun secara drastis menjadi 0,125 GPa. Sedangkan *young's modulus* pada temperatur 50℃ adalah 0,112 GPa dan varisi temperatur 60℃ bernilai 0,105 GPa. Pada variasi temperatur 70℃ rata-rata nilai *young's modulus* adalah 0,073 GPa.

Penurunan nilai *young's modulus* seiring dengan meningkatnya temperatur dapat dibenarkan dengan teori *glass transition temperature* (Tg). Dimana Tg merupakan temperatur transisi dimana material berubah dari daerah kaca menjadi lebih lunak seperti karet. Untuk mengatahui nilai Tg dapat dilakukan pengujian *Dynamic Mechanical Thermal Analysis* (DMTA). Berdarkan teori B.J Hourtson oleh daerah *glass* transisi biasanya berada pada temperature 20℃ hingga 30℃, namun dapat melebihi 50℃ atau lebih tergantung jenis *epoxy adhesive* yang digunakan.

Penelitian ini tidak dapat dibandingkan secara kuantitatif nilai *young's modulus* dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh Jinxin, dkk. Hal tersebut dikarenakan terdapat perbedaan material, bentuk geometri dan jenis *epoxy adhesive* yang digunakan. Namun, secara kualitatif nilai *young's modulus* pada penelitian ini dan penelitian yang dilakukan oleh Jinxin, dkk terjadi penurunan seiring dengan meningkatnya temperature kerja. Nilai *young's modulus* yang telah didapat kemudian diuji menggunakan metode statistik *paired t-test* seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pengujian *paired t-test* tiap variasi temperatur

Perbandingan nilai *young's modulus scarf adhesive joint* disetiap variasi temperature kerja		
Sampel 1	Sampel 2	P-Value
RT	40	0,005
RT	50	0,002
RT	60	0,001
RT	70	0,000
40	50	0,154
40	60	0,174
40	70	0,021
50	60	0,302
50	70	0,032
60	70	0,023

Pengujian *paired t-test* tersebut menggunakan *software* minitab. Metode *paired sample t-test* ini merupakan metode untuk membandingkan sample satu dengan yang lainnya. Dengan menggunakan *confident interval* 95%, apabila *p-value* memiliki nilai kurang dari 0,05 memberikan informasi bahwa terjadi perbedaan yang signifikan dari sampel 1 terhadap sampel pembanding dengan tingkat keyakinan 95%. Berdasarkan tabel 4.1 pada temperature 40℃ hingga 60℃ tidak menunjukkan perbandingan yang signifikan. Tidak signifikannya perbandingan tersebut disebabkan beberapa faktor seperti kontrol temperatur kerja yang kurang baik dan kecepatan tumbuk yang tidak konsisten. Nilai modulus pada temperature 40℃ hingga 60℃ cenderung berada pada rentang yang sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Sehingga nilai *p-value* pada temperatur tersebut bernilai lebih dari 0,05 yang menandakan tidak adanya perbedaan signifikan. Sedangkan perbandingan antara temperature ruang dengan temperature 70℃ menunjukkan signifikan yang besar, ditunjukkan oleh nilai *p-value* sebesar 0.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan eksperimen, peningkatan temperatur mempengaruhi respon laju regangan tinggi dan respon tegangan-regangan. Perubahan tersebut menunjukkan adanya deformasi elastis pada *scarf adhesive joint* pada temperatur tinggi.
2. Nilai *young modulus scarf adhesive joint* menurun seiring meningkatnya temperatur. Penurunan nilai modulus menujukkan *stiffness adhesive* berkurang. Pada temperatur ruang didapat nilai modulus maksimal dengan rata-rata sebesar 213 MPa dan nilai modulus minimal pada temperature 70°C dengan rata-rata sebesar 73 MPa.
3. Sesuai teori *glass transition*, sifat polimer *epoxy adhesive* berubah terhadap temperatur. Selain itu, peningkatan temperatur menyebabkan serapan energi sambungan *adhesive* meningkat. Peningkatan serapan energi menyebabkan nilai laju regangan benilai lebih tinggi karena *adhesive* menjadi lebih elastis. Deformasi elastis terjadi secara signifikan bila diatas nilai Tg. Pada penelitian ini perubahan nilai modulus masih cenderung landau, sehingga belum dapat dipastikan secara kuantitatif nilai Tg.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan peneliti setelah melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Memperbarui desain *Split Hopkinson Pressure Bar* ataupun desain *stiker bar* untuk menunjang hasil eksperimen yang lebih akurat.
2. Pilih jenis *strain meter* dengan akurasi yang tinggi agar pembacaan sinyal lebih akurat dan hasil dapat digunakan secara kuantitatif.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Banea, M.D., Silva, DA., dkk. 2011. **Effect of Temperatur and Loading Rate on the Mechanical Properties of a High Temperatur *Epoxy Adhesive***. Portugal: Journal of Adhesion Science and Technology

[2] Carlos, Juan. 2019. **Studi Eksperimen dan Analisa Pengaruh Ketebalan *Adhesive* Terhadap Kekakuan *Scarf Adhesive Joint* pada Laju Regangan Tinggi.** Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

[3] Campilho, R.D.S.G., Silva, D.F.O., dkk. 2018. **Experimental and numerical analysis of scarf aluminium *Adhesive* joints**. Columbus: Journal of 28th Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2018) Conference

[4] Chen, W., Song, B. 2011. **Split Hopkinson (Kolsky) Bar: Design, Testing and Aplication.** New York: Springer Science Business Media

[5] *Epoxy* Technology, Inc. 2012. **Glass Transition Temperatur for *Epoxy*.** Billerica, Ma: *Epoxy Adhesive* Application Guide

[6] Fleming, W.J. 2001. **Overview of Automotive Sensors**. Washington, MI: Dr. Gerard L. Cote.

[7] Jia, Zhemin., Hui, David, dkk. 2016. **Mechanical Properties of an *Epoxy*-Based *Adhesive* Under High *Strain* Rate Loading at Low Temperatur Environment.**

[8] Jr, Robert W. Messler. 2004. **Joining of Materials and Structure: From Pragmatic Process to Enabling Technology.** Massachusetts: Elsevier Butterworth-Heinemann.

[9] Kotynia, Renata., Adamczewska, Kinga., dkk. 2017. **Effect of Accelerate Curing Condition on Shear Strenght and Glass Transition Temperatur of *Epoxy Adhesive*s.** Poland: Elsevier Ltd.

[10] Makeitfrom.com. 2009. **Mechanical Properties 6061 T-6 Aluminium**.https://www.makeitfrom.com/material-properties/6061-T6-Aluminum. Diakses pada tanggal 11 Februari 2020.

[11] Na, Jingxin., Mu, Wenlong., dkk. 2018. **Effect of Temperatur on the Mechanical Properties of *Adhesive*ly Bonded Basalt FPR-*Aluminium alloy* Joints in the Automotive Industry.** China: International Journal of Adhesion and *Adhesive*.
[12] National Research Council. 1996**. Accelerated Aging of Material and Structures**: The Effect of Long-Term Elevated-Temperature Exposure. Washington,DC: The National Academies Press.https://doi.org/01.17226/9251
[13] Raharjo, Artono. 2017. **Perbandingan P*rod*uksivitas Sambungan *Adhesive* Bonding Dengan Sambungan Las**. Malang : Universitas Islam Malang
[14] Swallowe, G.M. 1999. **Mechanical Properties and Testing of Polymers : Glass Transition**. Hourston., D.J. Lougborough University of Technology.

Lampiran 1

Contoh sambungan *Adhesive* setelah dilepas

BIODATA PENULIS

Emy Fadlillah Sabbilly Robby lahir di Tuban pada 22 September 1997, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di SDN Mondokan Tuban (2006-2010), SMPN 3 Peterongan Jombang (2010-2013) dan SMAN 2 Tuban (2013-2016). Selama menempuh perkuliahan di Departemen Teknik Mesin FTIRS ITS, penulis mengambil bidang studi Desain Otomotif dan aktif dalam kegiatan kepanitiaan maupun organisasi. Selama berorganisasi, penulis pernah menduduki jabatan antara lain staff Departemen SOSMAS Himpunan Mahasiswa Mesin (2017-2018) dan sekretaris Departemen SOSMAS Himpunan Mahasiswa Mesin (2018-2019). Selain aktif berorganisasi, penulis aktif mengikuti kompetisi seperti Indonesia Maritime Challenge 2017 dan kegiatan sosial seperti Sosmas Community School (SCS) 2019.

“Berdoa, Berusaha dan Ikhtiar” merupakan moto hidup penulis agar melakukan suatu hal selalu didasari oleh hal tersebut. Informasi dan pesan yang ingin disampaikan kepada penulis dapat dikirim melalui email: emyfadlillah@gmail.com