



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR-TM184835

**ANALISA NUMERIK PENGARUH GEOMETRI
STRIKER BAR DAN SUDUT MISALIGNMENT PADA
AKURASI PENGUJIAN *SPLIT HOPKINSON*
*PRESSURE BAR***

MOCHAMMAD HAFIS HABIBI
NRP. 021 1 15 4000 0002

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Yohanes, S.T.M.Sc.
NIP. 198006272012121003

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA - 2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR – TM184835

ANALISA NUMERIK PENGARUH GEOMETRI *STRIKER BAR* DAN SUDUT MISALIGNMENT PADA AKURASI PENGUJIAN *SPLIT HOPKINSON PRESSURE BAR*

Mocahammad Hafis Habibi
NRP. 0211154000002

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA – 2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – TM184835

**NUMERICAL ANALYSIS OF THE STRIKER BAR
GEOMETRY EFFECT AND MISALIGNMENT ANGLE ON
THE ACCURACY OF SPLIT HOPKINSON PRESSURE
BAR EXPERIMENT**

Mocahammad Hafis Habibi
NRP. 0211154000002

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

**DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA – 2019**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA NUMERIK PENGARUH GEOMETRI *STRIKER BAR* DAN SUDUT MISALIGNMENT PADA AKURASI PENGUJIAN *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
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

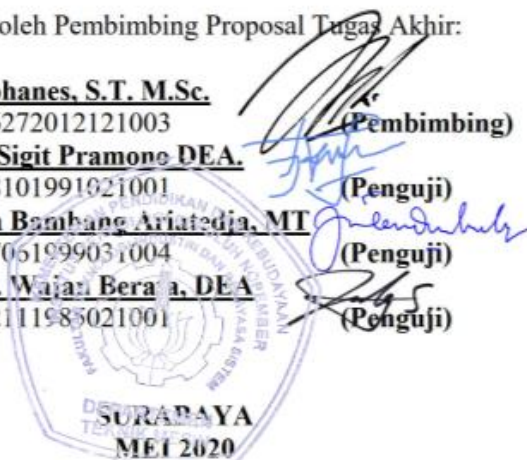
Oleh:

Mochammad Hafis Habibi

NRP. 0211154000002

Disetujui oleh Pembimbing Proposal Tugas Akhir:

1. **Dr. Eng. Yohanes, S.T. M.Sc.**
NIP. 198006272012121003
(Pembimbing)
2. **Dr.Ir.Agus Sigit Pramono DEA.**
NIP. 196508101991021001
(Penguji)
3. **Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT**
NIP. 196807051999031004
(Penguji)
4. **Prof. Dr. Ir. Wajad Bera a, DEA**
NIP. 195012111985021001
(Penguji)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISA NUMERIK PENGARUH GEOMETRI STRIKER
BAR DAN SUDUT MISALIGNMENT PADA AKURASI
PENGUJIAN SPLIT HOPKINSON PRESSURE BAR**

Nama Mahasiswa : Mochammad Hafis Habibi
NRP : 0211154000002
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Yohanes, ST. MSc.

ABSTRAK

Split Hopkinson Pressure Bar adalah metode uji yang digunakan untuk mengetahui karakteristik suatu material. Prinsip kerja dari Split Hopkinson Pressure Bar yaitu dengan memberikan beban tumbukan pada spesimen yang diuji sehingga membentuk sinyal yang melewati rangkaian komponen dari SHPB secara berurutan yaitu incident bar, specimen uji, dan transmission bar. Sinyal yang melewati incident bar dan transmission bar kemudian dibaca dan diolah untuk mengetahui karakteristik spesimen.

Dalam pengujian SHPB terdapat ketidak pastian yang mempengaruhi hasil dari validitas data seperti angular misalignment yang dapat mempengaruhi data yang significant. Dengan memodifikasi bentuk striker bar, dalam penelitian ini akan dianalisa apakah geometri striker bar dapat mengurangi efek dari misalignment dengan menggunakan metode finite element.

Penelitian ini menggunakan tiga macam bentuk striker bar dengan masing-masing diuji dengan variasi sudut misalignment. Bentuk striker bar yang digunakan yaitu striker bar silinder standart, Striker bar yang ditaper, dan striker bar taper yang ujungnya difillet. Variasi sudut misalignment pada interface striker bar-incident bar dilakukan dengan sudut maksimal 3.05°.

Sedangkan misalignment pada interface incident bar-transmission dilakukan pada sudut maksimal $0,46^\circ$.

Hasil yang didapatkan dari simulasi ini adalah grafik strain-waktu dari setiap variasi misalignment dan bentuk striker bar. Pada misalignment striker bar-incident bar grafik incident yang akan dibandingkan karena misalignment ini mempengaruhi sinyal, Sementara pada misalignment incident bar-transmission bar grafik yang dianalisa adalah grafik sinyal transmisi dan sinyal reflected karena berpengaruh terhadap hasil uji sifat dari specimen. Setelah melakukan eksperimen dan pengolahan data dapat disimpulkan bahwa misalignment striker bar-incident bar yang terkontrol pada sudut $1,52^\circ$ dapat membantu pembentukan sinyal dalam mencapai kesetimbangan. Sementara misalignment incident bar-transmission bar dapat mempengaruhi kevalidan pengujian, yaitu mengubah nilai modulus young lebih rendah. Toleransi yang diberikan untuk misalignment ini adalah $0,007^\circ$. Mengubah geometri striker bar dapat mengurangi osilasi pada sinyal dan efektif digunakan pada misalignment striker bar-incident bar. Namun tidak memberikan efek yang signifikan pada misalignment incident bar-transmission bar.

Kata kunci : Split Hopkinson Pressure Bar, finite element, misalignment

**NUMERICAL ANALYSIS OF THE STRIKER BAR
GEOMETRY EFFECT AND MISALIGNMENT ANGLE ON
THE ACCURACY OF SPLIT HOPKINSON PRESSURE
BAR EXPERIMENT**

Name : Mochammad Hafis Habibi
NRP : 0211154000002
Major : Teknik Mesin FTI-ITS
Advisor : Dr. Eng. Yohanes, ST. MSc.

ABSTRAK

Split Hopkinson Pressure Bar is one method to determine the characteristics of a material. The principle of the Split Hopkinson Pressure Bar is to apply collision loads to the specimens tested so as to form a signal that passes through a series of components from the SHPB sequentially called incident bars, test specimens, and transmission bars. Signals that pass through the incident bar and transmission bar are then read and processed to determine the characteristics of the specimen.

In the SHPB there are uncertainties that affect the results of data validity such as angular misalignment which can affect significant data. By modifying the shape of the striker bar, this study will analyze whether the geometry of the striker bar can reduce the effects of misalignment using the finite element method.

This study uses three types of striker bar with each test tested with variations in misalignment angles. The form of striker bar that is used is standard cylinder bar striker, stranded bar strapped, and striker bar taper with fillet edges. Misalignment angle variations on the striker bar-incident bar interface is done with maximum angle 3.05° , while the misalignment on the incident bar-transmission bar interface is done with maximum angle 0.46° .

The results obtained from this simulation are strain-time graph of each misalignment variation and striker bar shape modification. Incident signal will be compared in striker bar-incident bar interface misalignment. Because this misalignment affect the signal shape. While misalignment incident bar-transmission bar interface will affect in transmitted or reflected signal and it can be change the test result of the properties of the specimen. After conducting experiments and data processing it can be concluded that controlled misalignment of striker bar-incident bar interface at angle 1.52° can help signal achieving equilibrium. While misalignment in incident bar-transmission bar interface can decrease the test value of specimen modulus young. The tolerance angle given for this misalignment is 0.007° . Changing the striker bar geometry can reduce oscillation of the signal and effective to use in the striker bar-incident bar misalignment. But it does not have a significant effect on the incident bar-transmission bar misalignment.

Keyword : *Split Hopkinson Pressure Bar, finite element, misalignment*

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. Karena atas berkah dan izin-Nya penulis diberikan kemudahan dan kelancaran dalam penyusunan tugas akhir yang berjudul “Analisa Numerik Pengaruh Geometri Striker Bar dan Sudut Misalignment pada Akurasi Pengujian Split Hopkinson Pressure Bar” Dalam proses penyelesaian tugas akhir ini penulis telah dibantu dan didukung oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Keluarga penulis, kepada orang tua Almarhum Bapak Bilal dan Ibu Umi Latifah. Kakak penulis Fifi Nurliza B. yang telah mendidik serta memberikan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng. Sc. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin ITS.
3. Bapak Dr. Eng. Yohanes, S.T. M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan banyak memberikan motivasi kepada penulis.
4. Bapak Bambang Pramujati, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D selaku dosen wali yang telah memberikan ilmu dan pengalaman hidup kepada penulis.
5. Bapak Ir. Witantyo M.Eng.Sc selaku pembimbing ITS Team Sapuangan yang telah banyak membantu dalam meng-upgrade diri penulis.
6. Mas, Mbak, beserta teman-teman ITS Team Sapuangan 2017/2018, 2018/2019, dan 2019/2020 yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengembangkan diri dan ikut berkontribusi dalam riset Sapuangan.
7. Mas, Mbak, beserta teman-teman Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengembangkan diri dan menyalurkan hobi penulis dalam dunia otomotif.

8. Teman-teman kontrakan BME sebagai teman yang selalu menemani dan berbagi dalam kehidupan sehari-hari sebagai mahasiswa.
9. Teman-teman bimbingan tugas akhir Pak Yohanes serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga laporan tugas akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 18 Juli 2020
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRAK	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I	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.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.1.1 <i>A Tapered Striker Pulse Shaping Technique for Uniform Strain Rate Dynamic Compression of Bovine Bone.....</i>	<i>5</i>
2.1.3 <i>Misalignment effect in the split Hopkinson pressure bar technique</i>	<i>9</i>
2.2 Dasar Teori.....	12
2.2.1 <i>Split Hopkinson Pressure Bar.....</i>	<i>12</i>
2.2.2 <i>Perhitungan pada Uji Split Hopkinson Pressure Bar</i>	<i>13</i>
2.2.3 <i>Misalignment.....</i>	<i>16</i>
2.2.4 <i>Pulse Shaping</i>	<i>18</i>
2.2.5 <i>Metode Finite Element pada Analaisa Explicit Dynamic.....</i>	<i>22</i>

BAB III	51
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	51
3.2 Tahapan Penelitian.....	53
3.2.2 Perumusan Masalah	53
3.2.3 Memodelkan alat uji <i>Split Hopkinson Pressure Bar</i> dalam bentuk CAD.....	53
3.2.4 Pemrosesan Data dengan Metode Finite Element.....	55
8. Perbandingan data simulasi dan eksperimen	70
3.2.5 Analisa Data dan Pembahasan	72
3.2.6 Kesimpulan dan Saran	75
BAB IV.....	77
4.1 Pengaruh tingkat misalignment antara striker bar dengan incident bar terhadap sinyal incident....	77
4.2 Pengaruh geometri striker bar pada bentuk sinyal reflected dan transmitted untuk pressure bar dengan misalignment.....	84
BAB V	91
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran	92
DAFTAR PUSTAKA.....	93
BIODATA PENULIS.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Grafik stress-waktu dan stress-strain pada striker bar silinder (a&b) dan striker bar kerucut (c&d) ukuran kecil pada uji coba pada spesimen bovine bone	6
gambar 2.2 Grafik stress-waktu dan stress-strain pada striker bar silinder (a&b) dan striker bar kerucut (c&d) ukuran besar pada uji coba pada spesimen bovine bone	6
gambar 2. 3 (a) Modifikasi striker bar berdasarkan perbedaan diameter sepanjang (b) Modifikasi striker bar berdasarkan letak diameter maksimalnya (c) Modifikasi striker bar berdasarkan panjang base kerucut	8
Gambar 2. 4 (a) Offset misalignment (b) Angular misalignment	10
Gambar 2. 5 (a) Grafik stress-strain offset misalignment (b) grafik stress-strain angular misalignment	11
Gambar 2. 6 Susunan alat Split Hopkinson Pressure Bar	13
Gambar 2. 7 Arah regangan pada Split Hopkinson Pressure Bar	14
Gambar 2. 8 Macam-macam kasus misalignment pada Split Hopkinson Pressure Bar (Kariem A., 2012)	17
Gambar 2. 9 empat tahapan gelombang dapat dikatakan valid (Ameri A., 2019)	20
Gambar 2. 10 Grafik incident pulse tanpa pulse shaper, dengan pulse shaper LDSS 2101, dan dengan pulse shaper Tembaga (Ameri A., 2019)	20
Gambar 2. 11 Grafik incident pulse (Chen W., 2011)	21
Gambar 2.12 Diskritisasi komponen striker bar	22
Gambar 2. 13 Hasil simulasi dan eksperimen pada Split Hopkinson Pressure Bar (Ameri A., 2019)	23

Gambar 3.1 Flowchart penelitian	52
Gambar 3. 2 (a) Geometri striker bar silinder (b) Geometri striker bar kerucut (c) Geometri striker bar kerucut dengan fillet.....	54
Gambar 3. 3 Geometri Incident Bar dan Transmission Bar	54
Gambar 3. 4 Geometri Specimen Uji	55
Gambar 3.5 Susunan <i>Split Hopkinson Pressure Bar</i> pada <i>Software Spaceclaim</i>	55
Gambar 3.6 <i>Flowchart</i> proses simulasi.....	58
Gambar 3.7 Halaman utama <i>Software Ansys</i> analisa <i>Explicit Dynamics</i>	59
Gambar 3.8 (a) Halaman utama <i>Engineering Data</i> dan cara untuk mencari material <i>bar</i> dan <i>specimen</i> (b) Tab material <i>Stainless Steel NL</i> dan <i>Epoxy Resin</i> (c) Tabel <i>material properties Stainless Steel NL</i> dan <i>Epoxy Res</i>	61
Gambar 3.9 Proses penginputan material pada komponen	62
Gambar 3.10 (a) Proses penambahan titik koordinat baru (b) Menentukan koordinat pada titik baru	63
Gambar 3. 11 Meshing Striker Bar	64
Gambar 3. 12 Nilai skewness dari keseluruhan meshing...	65
Gambar 3. 13 Nilai Orthogonal Quality dari keseluruhan meshing	65
Gambar 3. 14 Nilai aspect ratio dari keseluruhan meshing	66
Gambar 3. 15 (a) Proses penambahan variabel kecepatan (b) proses menentukan komponen yang memiliki kecepatan (striker bar) dan besar kecepatan	67
Gambar 3. 16 (a) Menentukan waktu simulasi pada analysis setting (b) Menentukan jumlah plottingan titik grafik	68
Gambar 3. 17 (a) Proses penambahan strain probe sebagai output dari proses simulasi (b) Menentukan letak strain	

probe berdasarkan titik koordinat baru yg telah dibuat	69
Gambar 3. 18 Grafik dan Tabel normal strain hasil simulasi	70
Gambar 3. 19 (a) Perbandingan grafik simulasi dan eksperimen sebelum dimodifikasi (b) Perbandingan grafik simulasi dan eksperimen setelah dimodifikasi .	72
Gambar 3. 20 Grafik strain sinyal incident striker bar silinder dengan kondisi align	73
Gambar 3. 21 Grafik strain sinyal transmisi dan reflected striker bar silinder dengan misalignment	74
Gambar 4. 1 (a) Misalignment Striker Bar-Incident Bar pada sudut 0° (b) Misalignment Striker Bar-Incident Bar pada sudut 1.52° (c) Misalignment Striker Bar-Incident Bar pada sudut 3.05°	79
Gambar 4. 2 (a) Grafik periode sinyal pada misalignment striker bar-incident bar (b) Amplitudo pada misalignment striker bar-incident bar (c) Rising time pada misalignment striker bar-incident bar.....	81
Gambar 4. 3 (a) Misalignment Incident Bar-Transmission Bar pada sudut 0° (b) Misalignment Incident Bar-Transmission pada sudut 0.23° (c) Misalignment Incident Bar-Transmission pada sudut 0.46°	86
Gambar 4. 4 Amplitudo sinyal transmisi dan reflected	86
gambar 4. 5 Grafik Stress-Strain pengujian Epoxy dengan misalignment 0° , 00.7° , dan 0.11°	88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Split Hopkinson Pressure Bar adalah metode uji yang digunakan untuk mengetahui karakteristik suatu material. Pengaplikasian SHPB masih digunakan seiring dengan perkembangan material seperti komponen otomotif. Salah satunya pada komponen sasis yang pada pengaplikasiannya menerima beban statis dan dinamis. Oleh karena itu penting dalam memperhitungkan kekuatan dari suatu material tersebut salah satunya dengan metode *Split Hopkinson Pressure Bar*.

Prinsip kerja dari *Split Hopkinson Pressure Bar* yaitu dengan memberikan beban tumbukan pada spesimen yang diuji. Tumbukan diberikan oleh komponen *striker bar* ke ujung *incident bar* membentuk sinyal yang melewati rangkaian komponen dari alat uji *Split Hopkinson Pressure Bar* secara berurutan yaitu *incident bar*, *specimen uji*, dan *transmission bar*. Sebagian sinyal dipantulkan kembali ke *incident bar*, sedangkan sebagian sinyal lainnya diteruskan ke spesimen dan ke *transmission bar*. Sinyal-sinyal ini yang kemudian dibaca dan diolah sehingga menjadi kurva tegangan-regangan menggunakan serangkaian pemrosesan data. Pada umumnya sinyal hasil pengujian masih berupa sinyal yang memiliki osilasi tinggi dan strain rate yang tidak konstan sehingga belum bisa dikatakan valid.

Dalam pengujian SHPB terdapat ketidak pastian yang mempengaruhi hasil dari validitas data. Seperti bentuk permukaan spesimen, kepresisian geometri SHPB, dan juga adanya *misalignment*. **Kariem M. dkk. (2012)** membahas tentang beberapa kemungkinan *misalignment* yang terjadi pada pengujian SHPB membahas bahwa adanya *angular misalignment* mempengaruhi validitas suatu data yang *significant*. Namun dalam

penelitian ini hanya diberikan kesimpulan tentang spesifikasi kepresisian dari bar-bar untuk mencegah efek *misalignment* yang dapat mempengaruhi bentuk sinyal dan validitas hasil uji coba. **Baranowski P. dkk. (2013)** menunjukkan bahwa dengan memodifikasi bentuk *striker bar* dapat efektif untuk memodifikasi bentuk sinyal. Dimana dalam penelitian ini yang dapat mempengaruhi pembentukan dari sinyal *incident* adalah massa *striker bar*, titik pusat massa *striker bar*, dan juga geometri dari *striker bar* itu sendiri. Memodifikasi *striker bar* sendiri merupakan metode yang efektif digunakan dalam *pulse shaping* karena *striker bar* dapat digunakan secara berulang-ulang.

Dalam penelitian ini akan diaplikasikan *pulse shaper* yaitu dengan memodifikasi bentuk *striker bar*. Penggunaan *pulse shaper* efektif digunakan untuk memodifikasi bentuk sinyal. Diharapkan dengan bentuk *striker bar* yang berbeda akan diperoleh hasil pengujian yang dapat meminimalisir efek *angular misalignment*. Dengan permodelan *numeric* pada tugas akhir ini akan menganalisa tentang pengaruh geometri *striker bar* terhadap validitas data pada percobaan *Split Hopkinson Pressure Bar* yang mengalami *misalignment*.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh *misalignment* terhadap validitas data?
2. Bagaimana pengaruh perbedaan geometri *striker bar* pada perubahan *misalignment*?
3. Bagaimana geometri *striker bar* yang efektif untuk pengujian yang mengalami *misalignment*?

1.3 Batasan Masalah

Agar pada penelitian ini tidak memiliki cakupan bahasan yang terlalu luas dan untuk memfokuskan penelitian sesuai dengan ruang lingkup maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Kecepatan tumbuk *striker bar* 14m/s
2. Material *Stainless Steel NL*
3. *Misalignment* yang dianalisa adalah *angular misalignment*
4. *Misalignment* maksimal pada interface *striker bar-incident bar* adalah sudut 3.05° . *Misalignment* maksimal pada interface *incident bar - transmission bar*: 0.46°
5. Gaya gesek pada tumbukan diabaikan

1.4 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah yang telah dijabarkan dapat diketahui tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh *misalignment* terhadap pengujian pada *Split Hopkinson Pressure Bar*.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan geometri *striker bar* pada perubahan *misalignment*.
3. Mengetahui geometri *striker bar* yang efektif untuk pengujian yang mengalami *misalignment*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai referensi dan literatur untuk penelitian yang berkaitan ataupun penelitian lebih lanjut.
2. Hasil penelitian dapat digunakan untuk menentukan bentuk *striker bar* yang ideal dalam uji coba *Split Hopkinson Pressure Bar*.

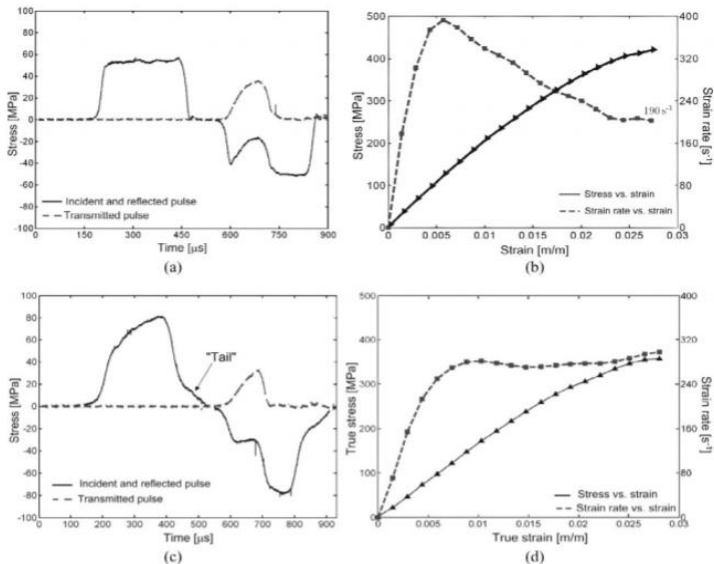
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

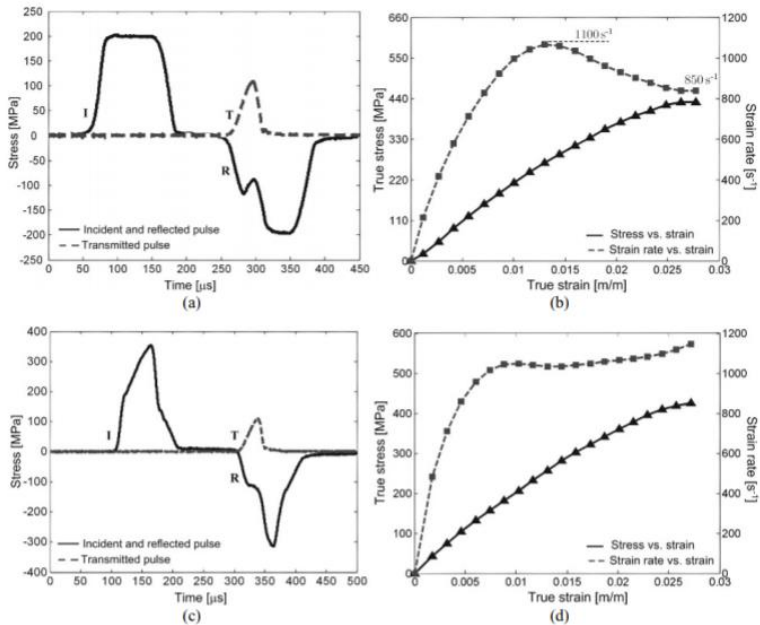
2.1.1 A Tapered Striker Pulse Shaping Technique for Uniform Strain Rate Dynamic Compression of Bovine Bone

T.J. Cloete dan A. van der Westhuizen (2009) membahas tentang penggunaan teknik *pulse shaping* dengan menggunakan *striker bar* kerucut pada pengujian specimen *bovine bone* pada uji SHPB. Dengan menggunakan *striker bar* kerucut besar yang berukuran panjang 550mm dan diameter ujung 19.02 mm dan 10.1 mm berbahan Aluminium dibandingkan dengan *striker bar* silinder dengan panjang 650mm dan diameter 12mm berbahan perak. dihasilkan grafik sebagai berikut



gambar 2.2 Grafik stress-waktu dan *sterrs-strain* pada *striker bar* silinder (a&b) dan *striker bar* kerucut (c&d) ukuran besar pada uji coba pada spesimen *bovine bone*

Dan pada *striker bar* kerucut kecil (L=169mm, D=11.88mm, dan d=6.52mm) bahan 17-4PH Stainless Steel dibandingkan (L=200mm dan d=12mm) berbahan perak. Dihasilkan grafik sebagai berikut,



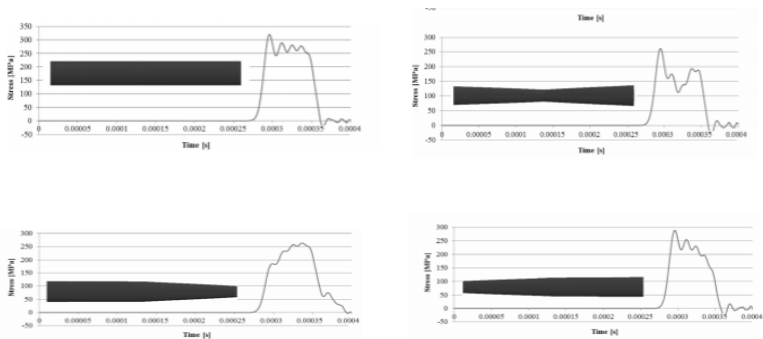
Gambar 2. 1 Grafik stress-waktu dan *sterrs-strain* pada *striker bar* silinder (a&b) dan *striker bar* kerucut (c&d) ukuran kecil pada uji coba pada spesimen *bovine bone*

Dari grafik-grafik tersebut pada penelitiannya ini disimpulkan bahwa pada *striker bar* kerucut berukuran kecil maupun besar menghasilkan grafik yang sinyal *incident* yang naik secara

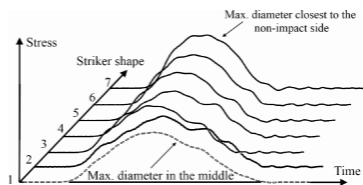
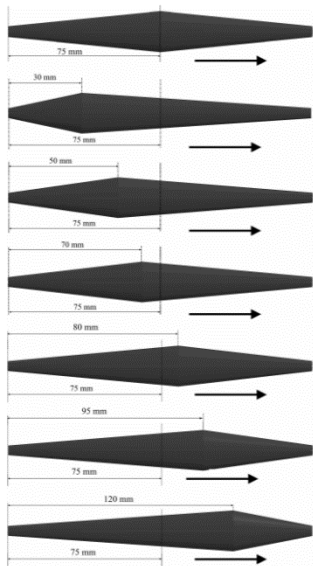
bertahap dimana sesuai untuk pengujian *specimen* yang keras untuk menghasilkan deformasi yang seragam. Serta pada grafik laju regangan yang dihasilkan lebih konstan pada *striker bar* kerucut pada nilai 300 s^{-1} pada *striker bar* besar dan 1150 s^{-1} pada *striker bar* kecil.

2.1.2 Numerical study for determination of pulse shaping design variables in SHPB apparatus

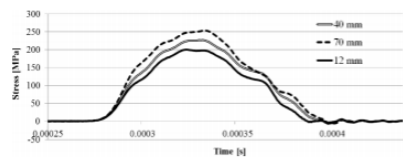
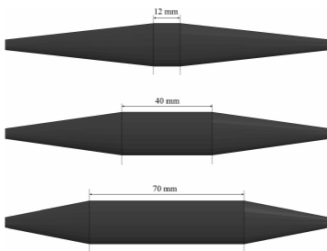
Penelitian ini dilakukan oleh P. Baranowski dan R. Gieleta(2013). Dimana dilakukan beberapa variasi bentuk *striker bar* sebagai teknik *pulse shaping*. Ada beberapa parameter yang dianalisa yaitu kasus A efek perbedaan diameter sepanjang *striker bar*, Kasus B perbedaan letak diameter maksimal, dan Kasus C perbedaan perpanjangan *base* kerucut dimana masing-digambarkan pada gambar berikut



(a)



(b)



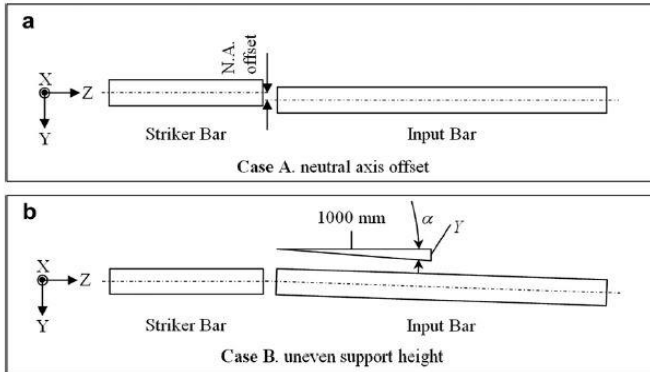
(c)

gambar 2.3 (a) Modifikasi *striker bar* berdasarkan perbedaan diameter sepanjang (b) Modifikasi *striker bar* berdasarkan letak diameter maksimalnya (c) Modifikasi *striker bar* berdasarkan panjang *base* kerucut

Dari penelitian ini diberikan kesimpulan pada tiap kasus yang dianalisa. Pada kasus A dimana bentuk sinyal dipengaruhi oleh besar diameter, jika bagian diameter yang diperkecil bagian sisi yang mengalami tumbukan maka sinyal akan memiliki bentuk yang melandai pada fase awal. Hal ini juga berlaku pada diameter bagian tengah mempengaruhi sinyal pada fase tengah dan diameter ujung yang tidak mengalami tumbukan berpengaruh pada fase akhir. Pada kasus B diberikan kesimpulan bahwa massa dan juga geometri berpengaruh terhadap nilai panjang sinyal. Jika diameter maksimal lebih dekat ke sisi tumbukan maka sinyal akan panjang dan berlaku sebaliknya. Pada kasus C diberikan kesimpulan bahwa semakin panjang base kerucut (silinder pada bagian tengah) maka akan semakin tinggi amplitudo sinyal yang juga dipengaruhi oleh massa dengan periode sinyal yang sama.

2.1.3 Misalignment effect in the split Hopkinson pressure bar technique

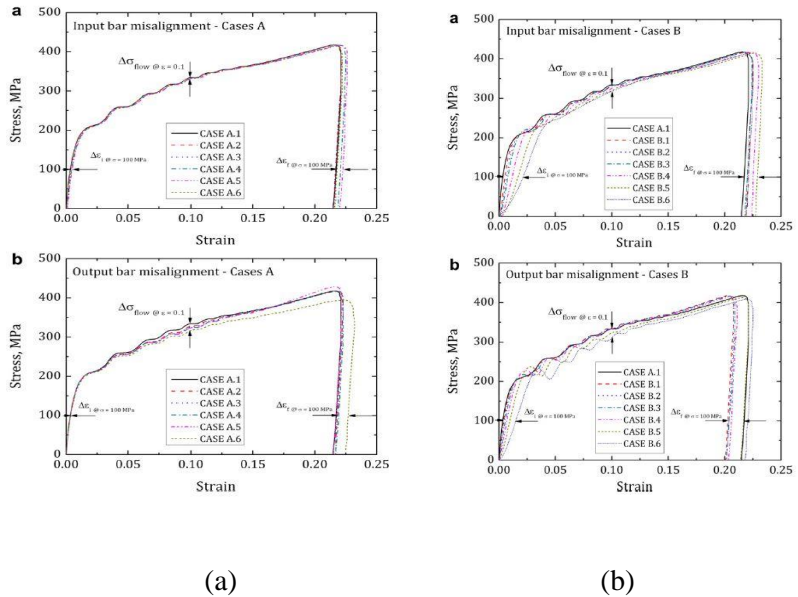
Penelitian oleh M. Kareem dan J. Beynon (2012) tentang pengaruh macam-macam misalignment. Dengan menggunakan metode finite element pada penelitian ini meneliti beberapa misalignment yang memungkinkan terjadi seperti offset



Gambar 2. 4 (a) *Offset misalignment* (b) *Angular misalignment*

misalignment dan angular misalignment seperti digambarkan pada gambar 2.4 berikut.

Dengan menggunakan software ansys explicit dynamic dilakukan simulasi pada kedua misalignment ini dengan variasi misalignment untuk case A 0mm, 0.125mm, 0.25mm, 0.5mm, 1mm, dan 2mm. Pada case B misalignment pada sudut 0.03125° , 0.0625° , 0.125° , 0.25° , 0.5° , dan 1° .; Dari variasi simulasi tersebut didapatkan grafik strain-time yang kemudian diolah menjadi stress-strain dan dibandingkan seperti pada gambar 2.10 berikut.



Gambar 2. 5 (a) Grafik *stress-strain offset misalignment* (b) grafik *stress-strain angular misalignment*

Pada gambar 2.5 diatas (a) menunjukkan perbandingan tiap penambahan misalignment offset dan (b) merupakan perbandingan tiap penambahan misalignment. Pada penelitian ini dibahas misalignment yang disebabkan karena offset memiliki efek kecil terhadap hasil uji coba SHPB hal ini juga ditunjukkan pada gambar 2,10 (a) dimana perubahan sangat kecil seiring penambahan misalignment. Pada Case B dimana mengalami misalignment angular dimana perubahan grafik stress-strain lebih terlihat pada kedua misalignment karena pada misalignment ini menyebabkan persebaran gelombang 3 dimensi yang tidak baik untuk uji coba SHPB. Pada penelitian ini disimpulkan bahwa toleransi misalignment adalah sebesar 0.4% deviasi stress atau bar harus memiliki toleransi 0.03125° .

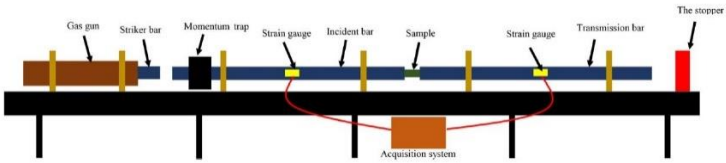
2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Split Hopkinson Pressure Bar*

Split Hopkinson Pressure Bar atau biasa dikenal sebagai *Kolsky bar* adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dinamis suatu material pada kondisi *strain rate* tinggi^[0]. Metode SHPB yaitu dengan memanfaatkan tumbukan yang diberikan kepada sistem yang selanjutnya tumbukan tersebut akan menghasilkan gelombang yang melewati spesimen uji. Gelombang sebelum dan sesudah melewati spesimen uji ini yang selanjutnya diukur dengan sistem instrumen yang menggunakan *strain gages* spesimen sebagai sensor dan dibandingkan sehingga didapatkan sifat dari spesimen tersebut. Pada umumnya *Split Hopkinson Pressure Bar* digunakan untuk material yang diperkirakan memiliki nilai regangan yang tinggi yaitu 10^2 - 10^4 s⁻¹ seperti logam, batuan, ataupun material komposit.

Split Hopkins Pressure Bar pada umumnya memiliki empat komponen utama yaitu *striker bar* yang berfungsi untuk memberikan tumbukan, *incident bar* sebagai penghantar gelombang untuk melewati spesimen, spesimen uji, dan *transmitted bar* yang berfungsi untuk menerima gelombang setelah melewati spesimen. Komponen tersebut disusun seperti pada gambar 2.6 dimana spesimen uji diletakkan diantara *incident bar* dan *transmitted bar*. Metode pembebanan yang lebih umum digunakan pada *Split Hopkinson Pressure Bar* saat ini merupakan pembebanan dinamis, dimana penumbuk (*striker bar*) digunakan untuk memberikan gaya tumbukan pada *incident bar*. Tumbukkan oleh *striker bar* dapat menggunakan *gas gun* ataupun dengan metode bandul dengan memanfaatkan grafitasi sehingga kecepatan tumbukkan dapat diatur. Gaya tumbukkan yang diberikan oleh *striker bar* akan menghasilkan sinyal tegangan-regangan yang kemudian merambat dari *incident bar*

menuju spesimen. Saat sinyal merambat sampai ujung yang bersentuhan dengan spesimen uji sebagian gelombang akan dipantulkan kembali di *incident bar* dan sebagian gelombang akan diteruskan melewati spesimen lalu ke *transmission bar*.



Gambar 2. 6 Susunan alat *Split Hopkinson Pressure Bar*

Terdapat beberapa kriteria agar diperoleh hasil eksperimen yang akurat. Secara umum *Incident* dan *transmission bar* memiliki diameter dan material yang sama. Gelombang yang melewati kedua batang tersebut diukur dengan *strain gauge* di permukaan, sehingga material dari kedua bar harus memiliki *yield stress* yang tinggi. Panjang *incident bar* minimal dua kali lipat panjang striker bar untuk menghindari *overlapping*. Semua batang pada sistem sebisa mungkin berbentuk lurus dan diatur sejajar agar menciptakan propagasi gelombang satu dimensi. Gesekan pada tiap batang dibuat seminimal mungkin.

2.2.2 Perhitungan pada Uji Split Hopkinson Pressure Bar

Untuk menghitung durasi pembebanan pada pengujian *Split Hopkinson Pressure Bar* ditentukan oleh panjang striker melalui persamaan berikut :

$$T = \frac{2L}{C_{St}} \quad (2.1)$$

Dimana : T = durasi pembebanan
 L = panjang striker
 C_{St} = kecepatan gelombang elastis dari material striker

Striker bar ini yang akan memberikan tumbukan ke *incident bar* sehingga menimbulkan regangan pada *incident bar*. Regangan ini dipengaruhi oleh kecepatan penumbukannya yang secara matematis dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_I = \frac{1}{2} \rho_B C_B V_{st} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_I = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_{st}}{C_B} \quad (2.3)$$

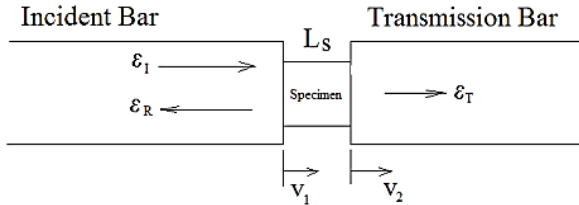
dimana : ρ_B = density dari material.

C_B = kecepatan elastis gelombang material

σ_I = tegangan pada *incident bar*

ε_I = regangan pada *incident bar*

Regangan yang terjadi pada *incident bar* akan diteruskan ke spesimen yang selanjutnya ke *transmission bar*. pada *interface incident bar* dan spesimen sebagian gelombang regangan akan dipantulkan pada *incident bar* dan sebagian yang lain akan diteruskan melewati spesimen yang selanjutnya menuju *transmission bar*. Arah regangan tersebut dapat dilihat pada ilustrasi gambar 2.7



Gambar 2. 7 Arah regangan pada *Split Hopkinson Pressure Bar*

Pada gambar 2.7 terdapat V_1 dan V_2 yang menyatakan kecepatan partikel pada ujung spesimen. Secara matematis masing-masing dirumuskan dengan :

$$V_1 = C_B (\varepsilon_I - \varepsilon_R) \quad (2.4)$$

$$V_2 = C_B (\varepsilon_T) \quad (2.5)$$

dimana: ε_I = regangan *incident*
 ε_R = regangan *reflected*
 ε_T = regangan *transmitted*

Untuk laju regangan rata-rata dan regangan pada spesimen adalah:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{V_1 - V_2}{L_s} = \frac{C_B}{L_s} (\varepsilon_I - \varepsilon_R - \varepsilon_T) \quad (2.6)$$

$$\varepsilon = \int_0^t \dot{\varepsilon} dt = \frac{C_B}{L_s} \int_0^t (\varepsilon_I - \varepsilon_R - \varepsilon_T) dt \quad (2.7)$$

Dimana: L_s = panjang awal spesimen.

Tegangan pada kedua ujung dari spesimen dihitung dengan hubungan elastis berikut ini.

$$\sigma_1 = \frac{A_B}{A_S} \cdot E_B (\varepsilon_I + \varepsilon_R) \quad (2.8)$$

$$\sigma_2 = \frac{A_B}{A_S} \cdot E_B (\varepsilon_T) \quad (2.9)$$

$$P_1 = A_b E \{\varepsilon_I(t) + \varepsilon_R(t)\} \quad (2.10)$$

$$P_2 = A_b E \varepsilon_T(t) \quad (2.11)$$

Dimana: A_B = luas penampang bar
 A_S = luas penampang spesimen
 E_B = modulus young bar

Ketika spesimen diasumsikan setimbang dalam hal eksperimen *kolsky bar*, Keseimbangan tegangan dijabarkan sebagai berikut:

$$\sigma_1 = \sigma_2 \quad (2.12)$$

$$\varepsilon_I + \varepsilon_R = \varepsilon_T \quad (2.13)$$

Dari persamaan (2.12) dan (2.13) maka persamaan tegangan yang didefinisikan dapat disederhanakan menjadi:

$$\sigma_n = E \frac{A_b}{A_s} \varepsilon_T(t) \quad (2.14)$$

$$\dot{\epsilon}_n = -2 \frac{C_o}{L_s} \epsilon_R(t) \quad (2.15)$$

Persamaan diatas merupakan pengukuran keteknikan dan simbol diambil positif pada kompresi. Saat tegangan spesimen tidak dalam keadaan setimbang, tegangan pada spesimen dapat dihitung dengan mengambil nilai rata-rata dari tegangan di kedua ujung spesimen.

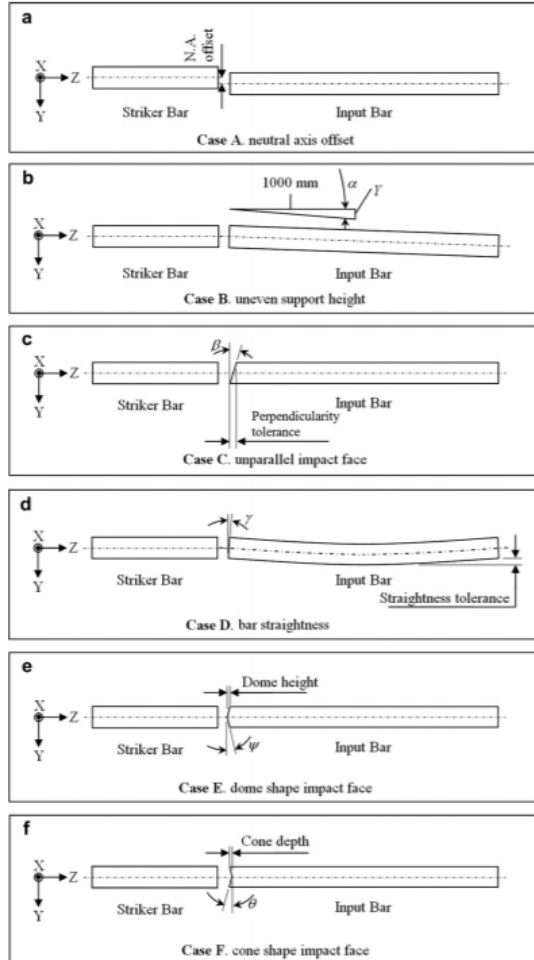
$$\sigma = \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{A_B}{A_S} (\epsilon_I + \epsilon_R + \epsilon_T) \quad (2.16)$$

Persamaan diatas diperoleh dari konservasi massa dan momentum dengan asumsi perambatan gelombang satu dimensi.

2.2.3 Misalignment

Dalam pengujian Split Hopkinson Pressure Bar susunan dari tiap komponen bar-bar disusun dalam satu sumbu dimana hal ini bertujuan agar tidak terjadi distorsi dikarenakan sinyal yang dihasilkan tidak merambat dalam satu sumbu^[7]. Namun kondisi ideal ini sangat sulit untuk dicapai sehingga

kemungkinan adanya kondisi misalignment dari tiap komponen SHPB ini besar.



Gambar 2. 8 Macam-macam kasus *misalignment* pada *Split Hopkinson Pressure Bar* (Kariem A., 2012)

Terdapat beberapa jenis misalignment yang terjadi pada pengujian Split Hopkinson Pressure Bar. Dari gambar 2.8 terdapat enam macam misalignment yaitu *neutral axis offset*, *uneven support height*(angular *misalignment*), *Unparallel impact face*, *bar straightness*, *dome shape impact face*, dan *cone shape impact face*.

Dari beberapa kasus *misalignment* tersebut, salah satu yang paling pengaruh besar terhadap pengujian adalah kasus kedua yaitu *uneven support height*(angular *misalignment*) dimana komponen-komponen *Split Hopkinson Pressure Bar* tidak pada satu sumbu. *Misalignment* ini dapat terjadi karena *support* atau dudukan dari bar tidak sempurna atau penggunaan sistem bandul pada penumbuk *striker bar*. *Misalignment* ini dapat menyebabkan *oblique impact* yang memicu adanya rambatan gelombang tiga dimensi^[9]. Pada *interface striker bar-incident bar misalignment* ini dapat mempengaruhi pembentukan sinyal sedangkan pada *interface incident bar-striker bar misalignment* ini dapat mempengaruhi sinyal transmisi dan *reflected* yang berarti mempengaruhi kevalidan dari pengujian^[5].

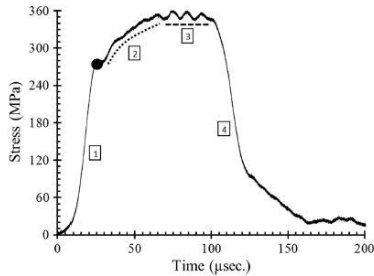
2.2.4 Pulse Shaping

Pulse shaping adalah suatu metode yang digunakan pada eksperimen SHPB dengan menambahkan komponen tambahan atau merubah geometri komponen SHPB untuk memodifikasi dan meredam osilasi pada sinyal sehingga didapatkan data *strain rate* yang konstan dan setimbang selama eksperimen. Prinsip kerja dari *pulse shaping* sendiri dengan memanfaatkan fenomena deformasi plastis dari *pulse shaper*^[2].

Teknik *pulse shaping* memiliki berbagai macam metode. Metode pertama yaitu dengan menggunakan *preloading bar* dan

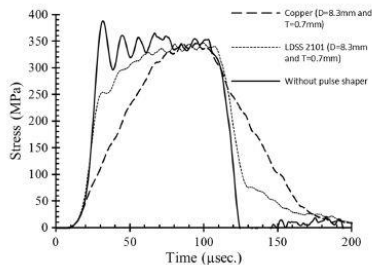
sampel yang sama dengan sampel yang diuji dan diletakkan sebelum *incident bar*. Metode ini mereduksi *strain rate* secara signifikan namun memiliki kekurangan memerlukan material tambahan dan juga dua sampel setiap experiment. Metode yang kedua dengan menggunakan *tapered striker bar* yaitu dengan memodifikasi bentuk *striker bar* dengan di *taper* atau diameter ujung yang mengalami penumbukan lebih kecil dari diameter sisi yang lain. Untuk setiap spesimen yang berbeda maka bentuk *striker bar* berbeda dengan mengatur sudut taper dan panjang *striker bar* sehingga didapatkan *strain rate* yang konstan dan setimbang dalam eksperimen. Metode ketiga pada *pulse shaping* yaitu dengan menggunakan *pulse shaper*. *Pulse shaper* ini berbentuk piringan *metallic* tipis yang diletakkan pada permukaan *incident bar* yang dikenai tumbukan^[2].

Penggunaan *pulse shaper* dapat secara efektif membentuk sinyal dan mereduksi osilasi pada grafik hasil uji coba. Pada gambar 2.9 ditunjukkan empat tahapan gelombang setelah menggunakan *pulse shaper*. Pada tahap pertama mereperesentasikan deformasi elastis pada *pulse shaper*. Sebelum menuju tahap deformasi plastis *pulse shaper* pada tahap dua terdapat titik transisi elastis-plastis yang digambarkan dengan titik hitam pada grafik. Tahap ketiga dimana grafik cenderung rata karena kurangnya energi yang untuk menyebabkan deformasi plastis. Namun tahap ketiga dapat hilang ketika energi yang lewat cukup besar yang menyebabkan deformasi plastis. Pada tahap terakhir adalah tahap *unloading elastis*. Empat tahap sinyal inilah yang menjadi acuan terjadinya kesetimbangan^[2].



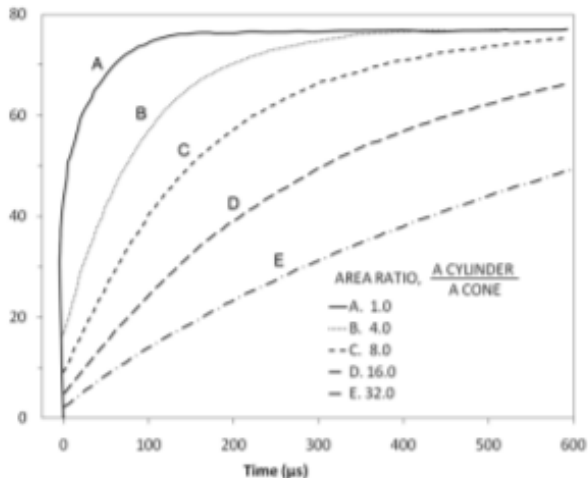
Gambar 2. 9 empat tahapan gelombang dapat dikatakan valid (Ameri A., 2019)

Pada pengaplikasiaanya dimensi dan material *pulse shaper* sendiri bergantung pada spesimen yang diuji. Sebagai perbandingan pada gambar 2.9 material LDSS 2101 mampu menurunkan osilasi membentuk grafik sesuai grafik pada gambar 2.8. Dengan material tembaga yang memiliki *yield stress* lebih rendah dari material LDSS 2101 menghasilkan grafik yang semakin melandai yang berarti lebih sesuai untuk material yang lebih *brittle*. Selain material yang digunakan, dimensi pulse shaper juga berpengaruh terhadap pembentukan grafik.



Gambar 2. 10 Grafik *incident pulse* tanpa *pulse shaper*, dengan *pulse shaper* LDSS 2101, dan dengan *pulse shaper* Tembaga (Ameri A., 2019)

Dengan metode *tapered striker bar*, untuk memodifikasi gelombangnya dengan mengubah sudut *taper* *striker bar* tersebut. Dari gambar 2.11 dapat dilihat bahwa semakin mengerucut bentuk *striker bar*, grafik sinyal *incident* akan semakin melandai. Sehingga untuk specimen yang semakin *brittle* maka digunakan *striker bar* yang memiliki sudut yang lebih mengerucut^[5].



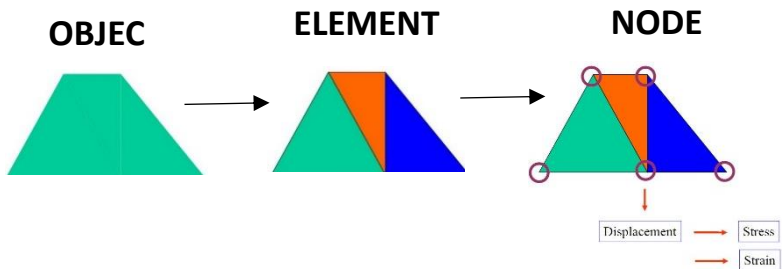
Gambar 2. 11 Grafik *incident pulse* (Chen W., 2011)

Pada penelitian ini akan digunakan metode *pulse shaping* dengan menggunakan metode ini yaitu modifikasi *striker bar*. Dikarenakan *pulse shaper* dengan bentuk ini dapat digunakan secara berulang. Dari berbagai faktor yang berpengaruh tersebut untuk memilih *pulse shaper* yang efektif untuk setiap specimen yang akan diuji coba, maka dilakukan simulasi dengan metode *finite element*.

2.2.5 Metode *Finite Element* pada Analisa *Explicit Dynamic*

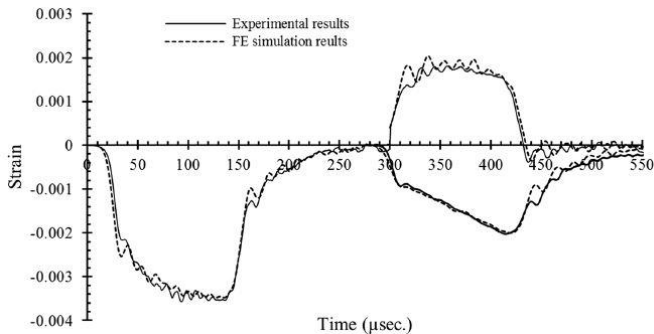
Finite Element adalah sebuah metode untuk menganalisa fenomena fisik menggunakan teknik numerik. Metode ini menggunakan persamaan matematika tertentu untuk menghitung suatu fenomena fisik seperti pada struktur, perilaku fluida, perilaku thermal, perambatan gelombang, dan fenomena fisik lain.

Untuk memecahkan suatu permasalahan pada metode *finite elemen* ini yaitu dengan melakukan diskritisasi atau membagi sistem atau suatu komponen menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan lebih sederhana yang digambarkan sebagai titik yang saling terhubung dua atau lebih titik seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.12 Dengan data-data yang telah diketahui serta perilaku eksternal terhadap sistem dimasukkan kedalam suatu persamaan tertentu dan dapat diketahui nilai dari tiap titik dari sistem. Dengan metode ini dapat mengoptimalkan dan mempercepat dalam pendesainan suatu sistem.



Gambar 2.12 Diskritisasi komponen *striker bar*

Salah satu metode *finite element* yang digunakan pada analisa ini adalah metode *Explicit Dynamic* yaitu metode untuk mengetahui suatu respon dari suatu komponen terhadap perlakuan tertentu seperti tumbukan, ledakan, *impact*, dan rambatan gelombang pada waktu tertentu. Pada tugas akhir ini contohnya, yaitu menganalisa tumbukan yang menghasilkan rambatan gelombang dimana akan menghasilkan suatu grafik *normal strain* dengan menentukan beberapa kondisi awal seperti kecepatan dan juga *analysis setting* yaitu waktu analisa^[6]. Salah satu hasil dari analisa *explicit dynamic* dibandingkan dengan hasil eksperimen dapat dilihat pada gambar 2.13 dimana terdapat kemiripan dan dapat dikatakan bahwa analisa menggunakan metode *finite element* ini cukup valid^[2].



Gambar 2. 13 Hasil simulasi dan eksperimen pada *Split Hopkinson Pressure Bar* (Ameri A., 2019)

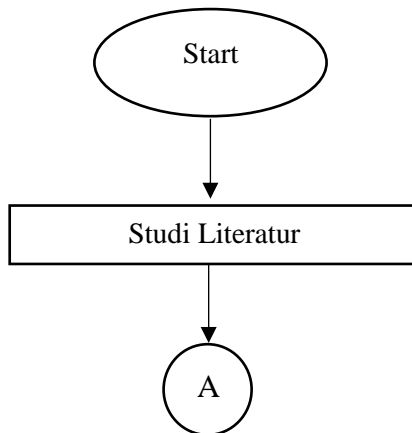
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

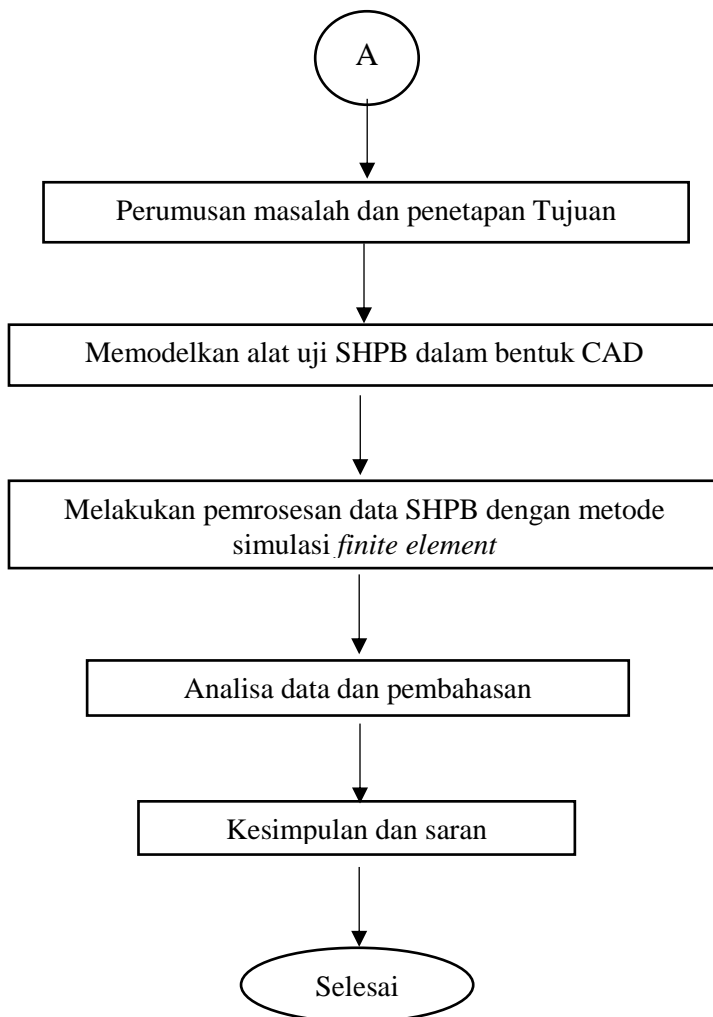
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada metodologi penelitian ini akan dijelaskan langkah-langkah penelitian tentang pengaruh geometri *striker bar* terhadap validitas data *Split Hopkinson Pressure Bar* yang mengalami *misalignment* dengan analisa *numeric*. Dengan memodifikasi bentuk *striker bar* diharapkan hasil geometri *striker bar* yang efektif untuk meminimalisir efek *misalignment* pada data pengujian

3.1 Flowchart Penelitian

Agar dalam penelitian ini mencapai tujuan yang diinginkan maka dilakukan langkah-langkah yang sesuai dengan prosedur penelitian. Langkah-langkah penelitian itu digambarkan pada *flowchart* dibawah :





Gambar 3.1 *Flowchart* penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Sesuai dengan yang digambarkan pada flowchart penelitian diatas. Berikut merupakan penjelasan dari tahap penelitian,

3.2.1 Studi literatur

Pada tahap studi literatur dilakukan dengan mencari referensi yang berkaitan dengan topik pengujian. Beberapa diantaranya yaitu tentang *Split Hopkinson Pressure Bar*, *pulse shaping*, *Finite Element Method Explicit Dynamic*, dan juga penelitian-penelitian terdahulu yang berhubungan dengan tugas akhir. Referensi dan teori didapatkan dari berbagai sumber buku dan jurnal-jurnal internasional yang dijelaskan lebih lanjut seperti pada Bab II.

3.2.2 Perumusan Masalah

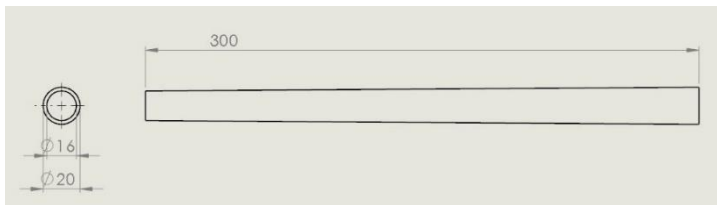
Pada tahap perumusan masalah akan diidentifikasi data hasil uji coba *Split Hopkinson Pressure Bar* yang mengalami *misalignment* dengan metode analisa *numeric*. Dengan *input* geometri dari *striker bar* yaitu pada penelitian ini diharapkan *output* geometri *striker bar* yang efektif untuk meminimalisir efek dari *misalignment*. Perumusan masalah pada penelitian ini dijelaskan pada Bab I.

3.2.3 Memodelkan alat uji *Split Hopkinson Pressure Bar* dalam bentuk CAD

Pada tahap ini alat uji *Split Hopkinson Pressure Bar* dimodelkan pada *Computer Aided Design* dengan menggunakan *Software Spaceclaim*. Pendesainan alat uji *Split Hopkinson Pressure Bar* yang terdiri dari *striker bar* dengan variasi 3 bentuk, *input bar*, *transmission bar*, serta *specimen*. dengan dimensinya ditunjukkan pada gambar 3.2, 3.3, dan 3.4 secara berurutan.



(a)



(b)

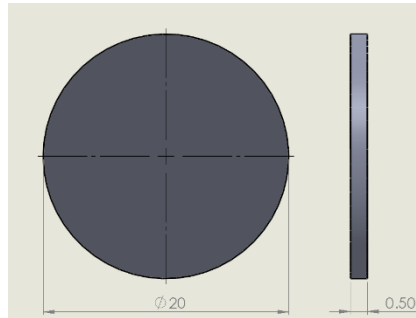


(c)

Gambar 3. 2 (a) Geometri *striker bar* silinder (b) Geometri *striker bar* kerucut (c) Geometri *striker bar* kerucut dengan *fillet*



Gambar 3. 3 Geometri *Incident Bar* dan *Transmission Bar*



Gambar 3. 4 Geometri Specimen Uji



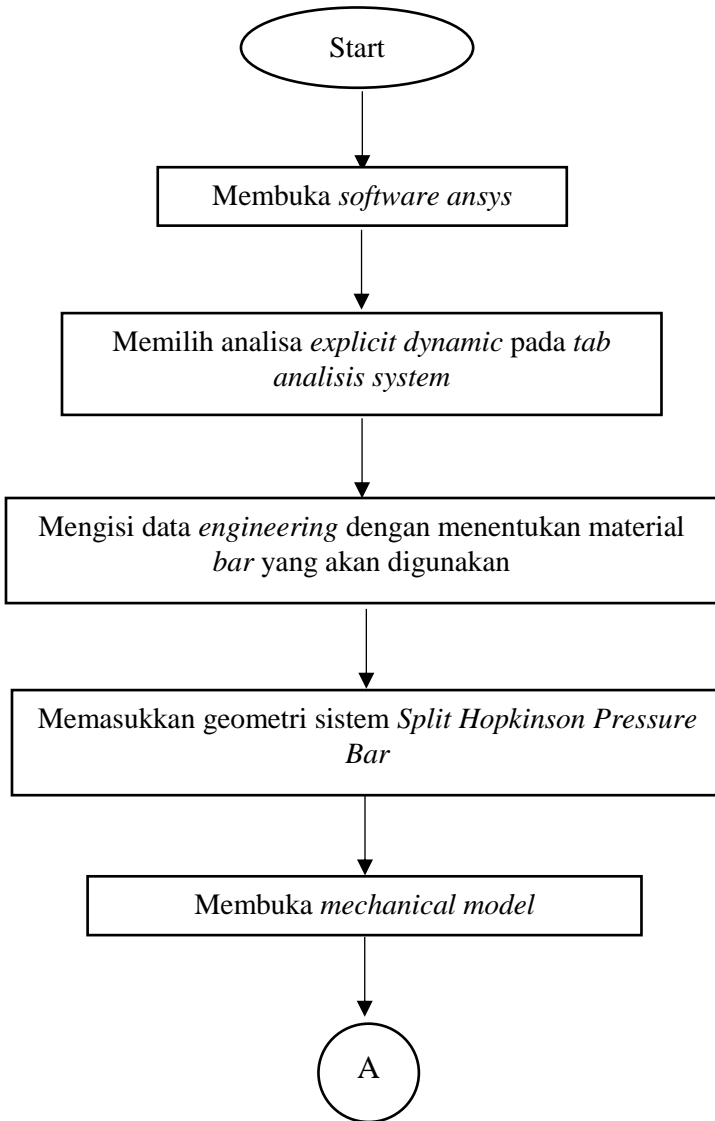
Gambar 3.5 Susunan *Split Hopkinson Pressure Bar* pada *Software Spaceclaim*

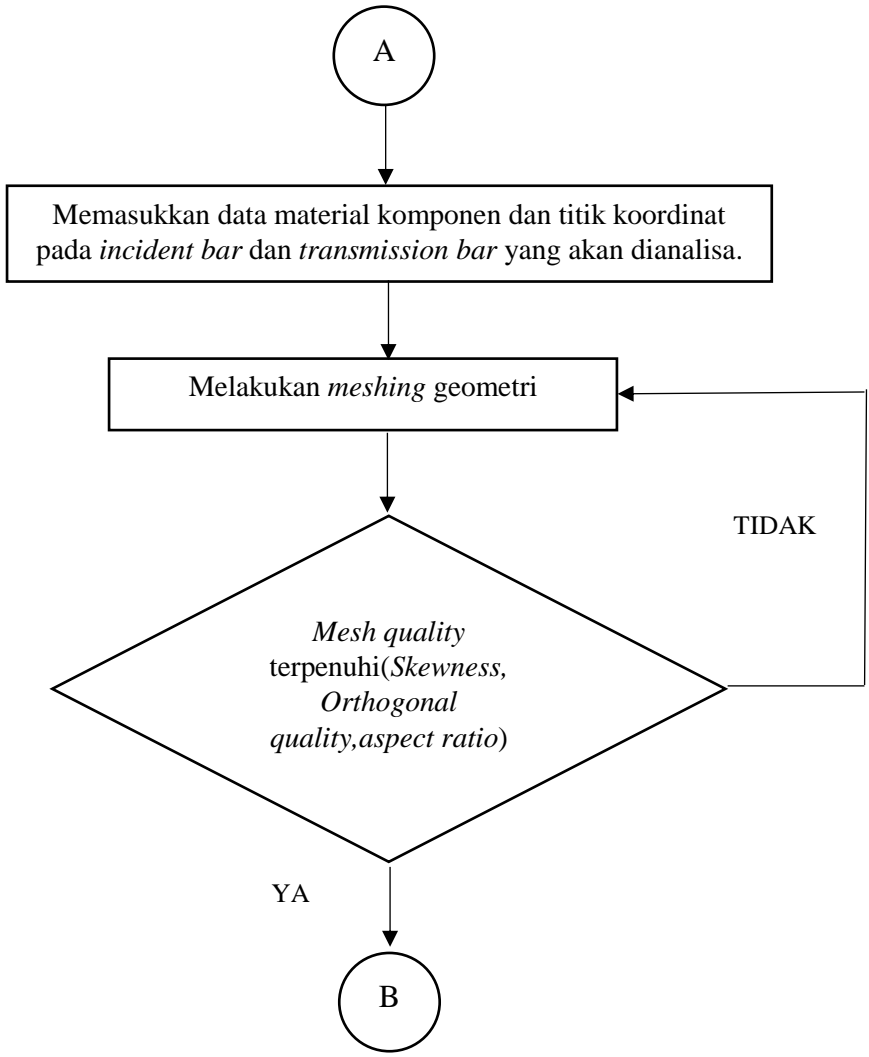
Dimensi dari alat *Split Hopkinson Pressure Bar* ini menggunakan acuan dari penelitian oleh Yohanes. Keempat komponen disusun dengan urutan striker bar-inciden bar-specimen-transmission bar dengan diuji menggunakan 3 variasi striker bar pada misalignment striker barincident bar dan incident bar-transmission bar.

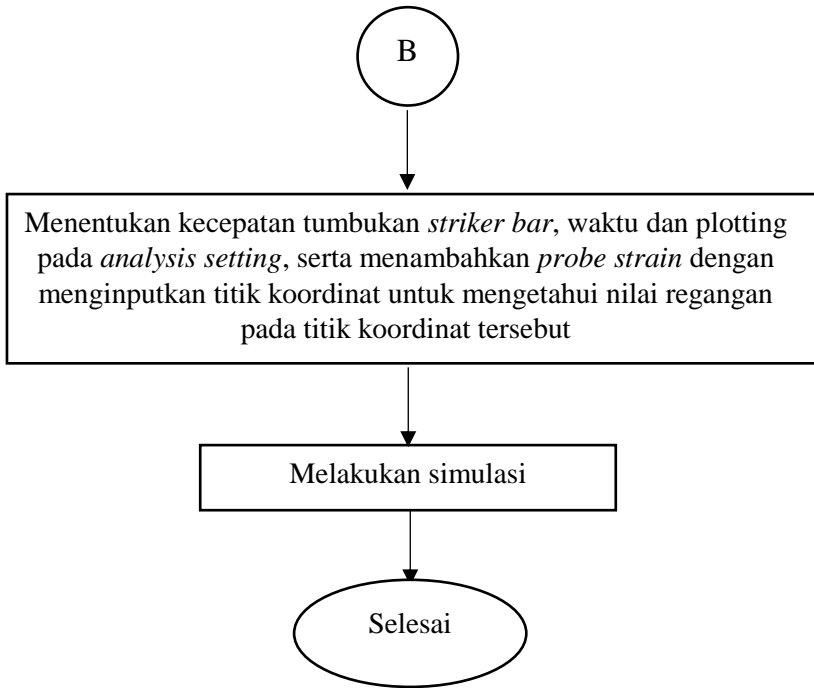
3.2.4 Pemrosesan Data dengan Metode Finite Element

Pada tahap pemrosesan data dilakukan dengan *metode finite elemen* yaitu dengan menggunakan *software ansys* dengan analisa explicit dynamic. Dengan langkah-langkah simulasi sebagai berikut

3.2.4.1 Flowchart Simulasi





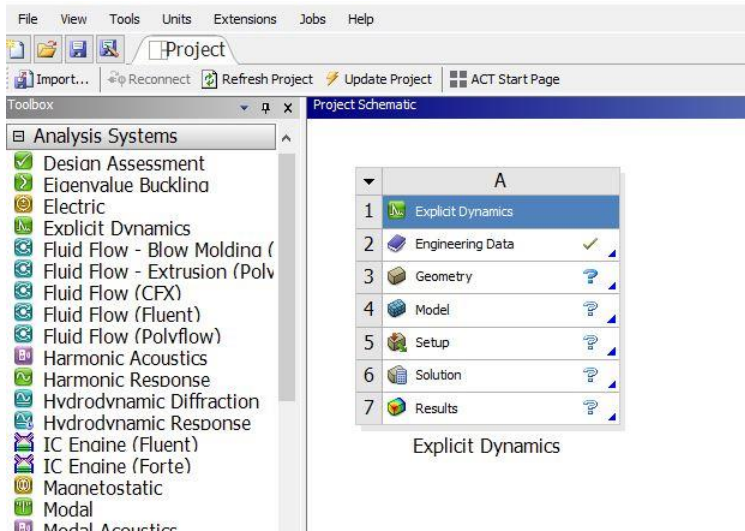


Gambar 3.6 *Flowchart* proses simulasi

3.2.4.2 Tahapan Simulasi

Dari *flowchart* diatas digambarkan tentang tahapan-tahapan dalam simulasi. Lebih detail proses simulasi akan dijelaskan sebagai berikut,

1. Langkah pertama yaitu membuka software *Ansys* dan memilih analisa *explicit dynamic* seperti yang ditunjukkan gambar 3.6



Gambar 3.7 Halaman utama *Software Ansys* analisa *Explicit Dynamics*

2. Langkah selanjutnya menentukan material yang akan digunakan. Dengan membuka *engineering data source* data pada *tab* yang muncul seperti pada gambar 3.8. Material bar yang akan digunakan pada simulasi *Split Hopkinson Pressure Bar* ini merupakan *Stainless Steel NL* yang memiliki kekakuan yang baik pada komponen bar SHPB dan *Epoxy Res* pada specimen. Dengan membuka pada *engineering data source* lalu dipilih *general Non-Linear material* yang ditunjukkan pada gambar 3.7.

Filter Engineering Data		Engineering Data Sources	
Toolbox			
Field Variables			
Physical Properties			
Linear Elastic			
Isotropic Elasticity			
Orthotropic Elasticity			
Viscoelastic			
Hyperelastic Experimental D			
Hyperelastic			
Plasticity			

Engineering Data Sources			
	A	B	C
1	Data Source		Location
2	★ Favorites		Quick access list and default titles
3	General Materials		General use material samples for
4	General Non-linear Materials		General use material samples for
5	Explicit Materials		Material samples for use in an e
6	Hyperelastic Materials		Material stress-strain data samp
7	Magnetic B-H Curves		B-H Curve samples specific for

(a)

Outline of General Non-linear Materials	
	A
1	Contents of General Non-linear Materials
2	Material
3	Aluminum Alloy NL
4	Concrete NL
5	Copper Alloy NL
6	Gasket Linear Unloading
7	Gasket Non Linear Unloading
8	Magnesium Alloy NL
9	Stainless Steel NL

Outline of Explicit Materials	
	A
1	Contents of Explicit Materials
47	DU-.75TI
48	EL-506A
49	EL-506C
50	EPOXY RES
51	EPOXY RES2
52	EXPLOS. D
53	FEFO

(b)

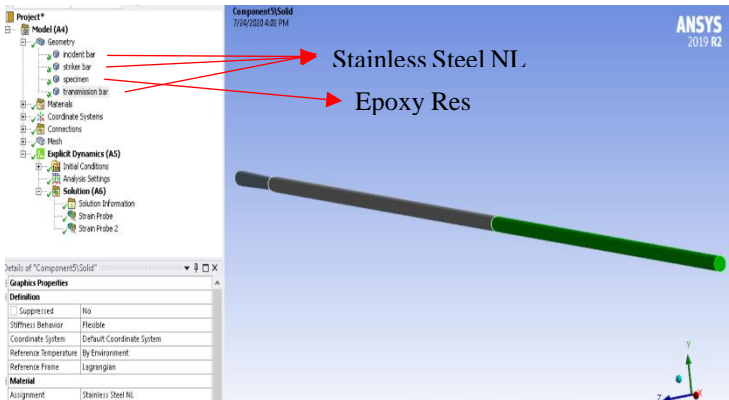
Properties of Outline Row 4: Stainless Steel NL					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	7750	kg m ⁻³		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's ...			
6	Young's Modulus	1.93E+11	Pa		
7	Poisson's Ratio	0.31			
8	Bulk Modulus	1.693E+11	Pa		
9	Shear Modulus	7.3664E+10	Pa		
10	Bilinear Isotropic Hardening				
11	Yield Strength	2.1E+08	Pa		
12	Tangent Modulus	1.8E+09	Pa		
13	Specific Heat, C _p	480	J kg ⁻¹ ...		

Properties of Outline Row 3: EPOXY RES				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	1180	kg m ⁻³	
4	Specific Heat, C _p	1100	J kg ⁻¹ C ⁻¹	
5	Johnson Cook Strength			
6	Strain Rate Correction	First-Order		
7	Initial Yield Stress	76.2	MPa	
8	Hardening Constant	324.2	MPa	
9	Hardening Exponent	6.638		
10	Strain Rate Constant	0.07297		
11	Thermal Softening Exponent	100		
12	Melting Temperature	200	C	
13	Reference Strain Rate (/sec)	1		
14	Shear Modulus	600	MPa	
15	Shock EOS Linear			
16	Gruneisen Coefficient	1.13		
17	Parameter C1	2730	m s ⁻¹	
18	Parameter S1	1.493		
19	Parameter Quadratic S2	0	s m ⁻¹	

(c)

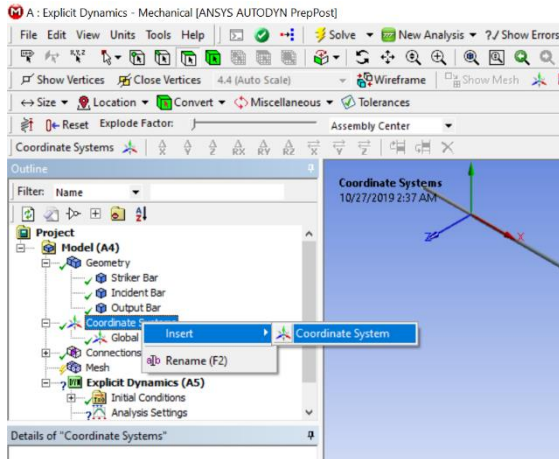
Gambar 3.8 (a) Halaman utama *Engineering Data* dan cara untuk mencari material *bar* dan *specimen*(b) Tab material *Stainless Steel NL* dan *Epoxy Resin* (c) Tabel *material properties Stainless Steel NL* dan *Epoxy Res*

3. Pada tab geometri dimasukkan geometri susunan sistem *Split Hopkinson Pressure Bar* yang telah didesain dalam bentuk *CAD*. Selanjutnya membuka *mechanical model* yang akan muncul tampilan seperti pada gambar 3.9 berikut,

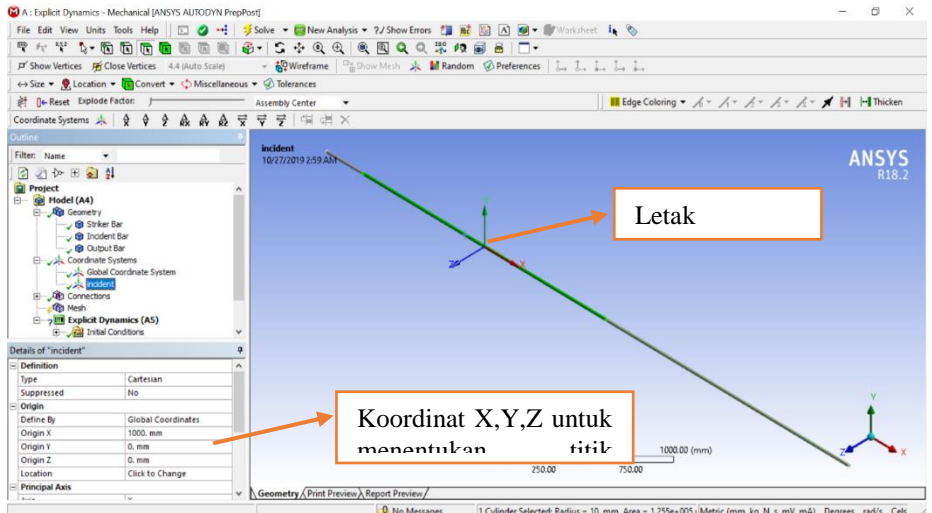


Gambar 3.9 Proses penginputan material pada komponen

Setelah *mechanical model* terbuka, selanjutnya yaitu menginputkan material pada tabel material tiap komponennya lalu mengganti dengan material *Stainless Steel NL* pada *bar* dan *Epoxy Resin* pada *specimen* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.9. Setelah ditentukan material pada setiap bar, selanjutnya ditambahkan titik koordinat pada titik tengah *incident bar* dan *transmission bar* seperti pada gambar 3.9 (a). Titik koordinat ini yang akan menjadi titik analisa sinyal normal strain yang lewat akibat tumbukan. Untuk menentukan titik koordinat baru yaitu dengan mengisi koordinat x,y,z seperti pada gambar 3.9 (b).



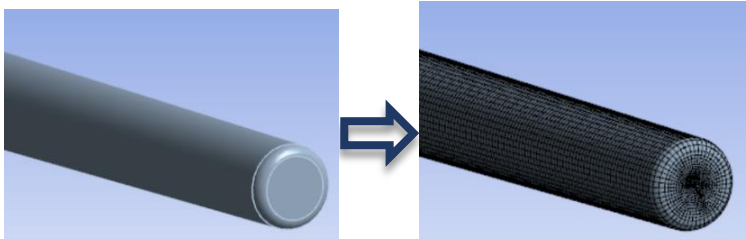
(a)



(b)

Gambar 3.10 (a) Proses penambahan titik koordinat baru (b) Menentukan koordinat pada titik baru

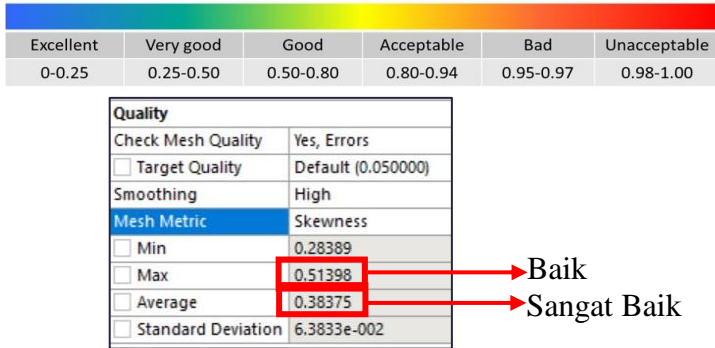
4. Selanjutnya dilakukan *meshing* pada geometri salah satunya dengan mengatur *element size* dari komponen-komponen SHPB. Semakin kecil ukuran *meshing* secara umum dapat menghasilkan hasil simulasi yang semakin valid namun memerlukan durasi yang cukup lama tergantung dengan spesifikasi komputer. Sehingga dengan batasan tersebut dicari *meshing* komponen yang memiliki validitas baik dan mampu dilakukan dengan durasi yang singkat. Pada penelitian ini *sizing* komponen diatur minimum *element size* sebesar 3mm. Dengan jumlah *element* total 467.589 dan *nodes* sebanyak 498.018. Hasil dari *meshing* dapat dilihat pada salah satu komponen *striker bar* seperti pada gambar 3.11



Gambar 3. 11 *Meshing Striker Bar*

Hasil *meshing* ini dapat dilihat dengan menggunakan tiga aspek pada *quality mesh* yaitu *skewness*, *orthogonal quality*, dan *aspect ratio*. *Skewness* adalah penentuan kualitas *element* dengan melihat kecondongan bentuk *element*. Nilai *skewness* mewakili perbandingan deviasi volume elemen hasil *meshing* dibanding ukuran *elemen* ideal. Nilai *skewness* yaitu antara 0-1 dimana semakin kecil akan semakin baik. Berikut merupakan nilai *skewness* dari *meshing* SHPB,

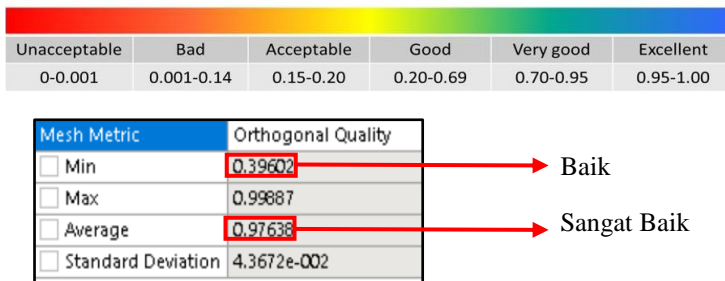
Skewness mesh metrics spectrum:



Gambar 3. 12 Nilai *skewness* dari keseluruhan *meshing*

Aspek kedua yang digunakan untuk menentukan kualitas *meshing* dalam penelitian ini adalah *orthogonal quality*. *Orthogonal quality* diukur dari sudut antara garis yang menghubungkan titik tengah dan garis normal 2 sisi *element* yang saling menempel. Berbanding terbalik dengan *skewness*, nilai *orthogonal quality* akan semakin baik jika mendekati 1. Pada penelitian ini hasil *meshing* dapat dilihat pada gambar 3.13 dibawah.

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum:



Gambar 3. 13 Nilai *Orthogonal Quality* dari keseluruhan *meshing*

Aspek ketiga yang digunakan dalam acuan penilaian *meshing* dari penelitian ini adalah *aspect ratio* yang mengukur rasio titik terjauh dibanding titik terdekat dari *node element*. Nilai range dari *aspect ratio* ini 1 sampai tak hingga. Jika nilai semakin mendekati 1 maka akan semakin baik *aspect rationya*. Umumnya nilai maksimal yang digunakan agar *meshing* dapat diterima sekitar 35. Hasil *meshing* dari penelitian ini sendiri memiliki *aspect ratio* seperti pada gambar 3.14 berikut,

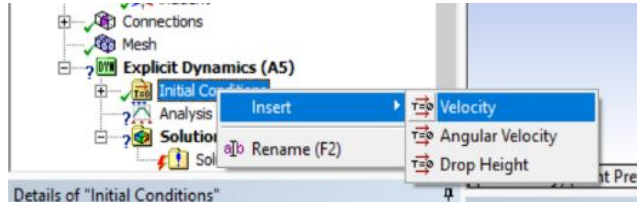
Mesh Metric	Aspect Ratio
<input type="checkbox"/> Min	1.1106
<input type="checkbox"/> Max	11.354
<input type="checkbox"/> Average	2.2375
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0.89917

→ Max < 35

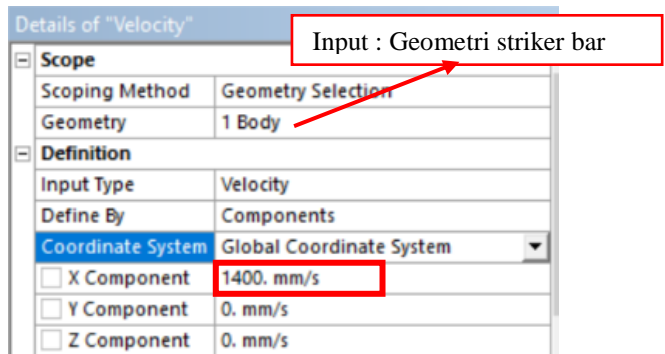
Gambar 3. 14 Nilai *aspect ratio* dari keseluruhan *meshing*

Dari ketiga aspek yang telah dijelaskan, *meshing* yang dilakukan telah memenuhi kriteria dari ketiganya. Sehingga dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Jika kualitas dari *meshing* masih belum terpenuhi maka perlu adanya *meshing* ulang dengan mengatur *sizing* dari *element*.

5. Selanjutnya yaitu menginputkan pembebanan berupa kecepatan pada *striker bar* sebesar 14m/s. Vektor kecepatan dari *striker bar* yaitu searah dengan sumbu *bar* yaitu sumbu x sesuai dengan gambar 3.15



(a)



(b)

Gambar 3. 15 (a) Proses penambahan variabel kecepatan
(b) proses menentukan komponen yang memiliki kecepatan (*striker bar*) dan besar kecepatan

- Proses selanjutnya yaitu mengatur *analysis setting*. Pertama yang harus diinputkan yaitu durasi simulasi pada tabel *step control* kemudian *end time* seperti pada gambar 3.16 (a). Pada penelitian ini digunakan waktu yaitu 0,001s karena dengan waktu tersebut sudah cukup untuk merekam gelombang *incident*, *transmitted*, dan juga *reflected*. Kedua yaitu banyak jumlah titik hasil selama durasi tersebut. Yaitu pada tabel *output control* kemudian *result number of points* seperti pada gambar 3.16 (b) dimana dalam penelitian ini digunakan sebanyak 500 titik yang cukup untuk menggambarkan grafik *incident*, *transmission*, dan *reflected* sesuai dengan pengujian

aslinya. Semakin panjang durasi dan banyak jumlah titik hasil akan semakin lama proses simulasi.

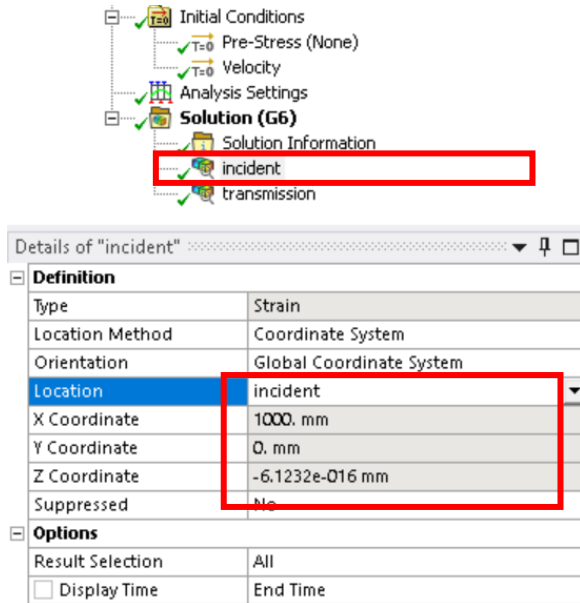
Details of "Analysis Settings"		Details of "Analysis Settings"	
[-] Analysis Settings Preference		On Material Failure	No
Type	Program Controlled	On Minimum Element Time Step	No
[-] Step Controls		Retain Inertia of Eroded Material	Yes
Resume From Cycle	0	[-] Output Controls	
Maximum Number of Cycles	1e+07	Save Results on	Equally Spaced Points
End Time	1.e-003 s	Result Number Of Points	500
Maximum Energy Error	0.1	Save Restart Files on	Equally Spaced Points
Reference Energy Cycle	0	Restart Number Of Points	5
Initial Time Step	Program Controlled	Save Result Tracker Data on	Cycles
Minimum Time Step	Program Controlled	Tracker Cycles	1
Maximum Time Step	Program Controlled	Output Contact Forces	Off
Time Step Safety Factor	0.9	[-] Analysis Data Management	

(a)

(b)

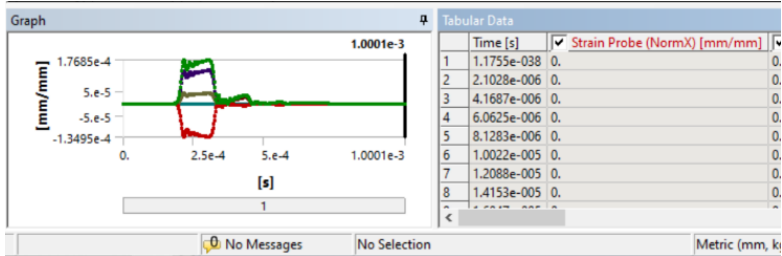
Gambar 3. 16 (a) Menentukan waktu simulasi pada *analysis setting* (b) Menentukan jumlah plottingan titik grafik

Setelah *analysis setting* diatur langkah terakhir yaitu dengan menambahkan *probe strain* pada *incident bar* dan *transmission bar*. *probe strain* in yang akan merekam gelombang yang melewati kedua bar. Peletakkan *probe strain* sendiri berada di titik tengah *incident bar* dan *transmission bar* dengan cara menginputkan koordinat yang telah dibuat pada langkah ke 3 pada *tab location* di *probe strain* seperti pada gambar 3.17



Gambar 3. 17 (a) Proses penambahan *strain probe* sebagai *output* dari proses simulasi (b) Menentukan letak *strain probe* berdasarkan titik koordinat baru yg telah dibuat

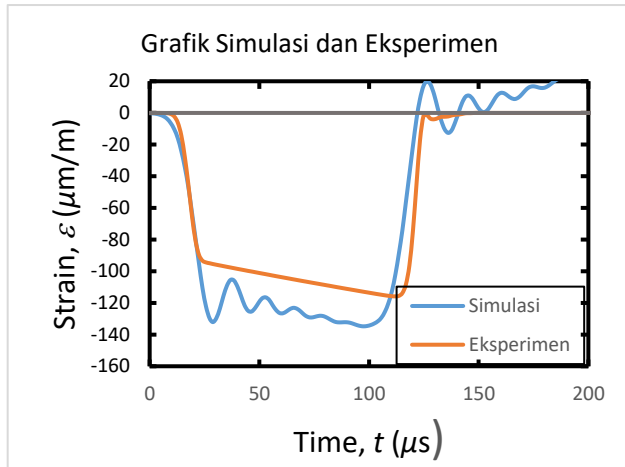
- Setelah semua langkah dilakukan, langkah terakhir adalah melakukan simulasi dengan menekan *solve* pada *tab* maka proses simulasi akan berjalan. Setelah proses simulasi selesai maka hasil simulasi akan muncul seperti pada gambar 3.18 Pada tabel hasil simulasi diambil data untuk *normal strain* yang akan digunakan pada proses selanjutnya. Data *normal strain* ini dapat digambarkan dengan grafik seperti pada gambar 3.15



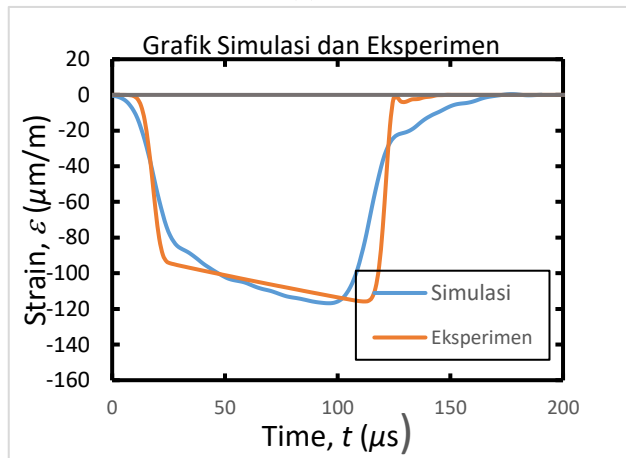
Gambar 3. 18 Grafik dan Tabel normal *strain* hasil simulasi

Pada *probe strain* yang di letakkan pada *incident bar* akan membaca sinyal *incident* dan sinyal *reflected*. Sedangkan pada *probe strain* yang diletakkan pada *transmitted bar* akan membaca sinyal *transmission*. Ketiga sinyal ini yang akan dianalisa terhadap perubahan variasi.

8. Perbandingan data simulasi dan eksperimen
 Setelah didapatkan hasil data simulasi maka dilakukan perbandingan antara data simulasi dengan kondisi yang sama. Perbandingan ini dilakukan dengan kondisi yang sama. Dengan mengambil salah satu data simulasi yaitu sinyal *incident* dibandingkan dengan eksperimen dari penelitian Yohanes. perbandingan antara simulasi dan eksperimen sebagai berikut,



(a)



(b)

Gambar 3. 19 (a) Perbandingan grafik simulasi dan eksperimen sebelum dimodifikasi (b) Perbandingan grafik simulasi dan eksperimen setelah dimodifikasi

Dari grafik perbandingan simulasi dan eksperimen pada gambar 4.1 (a) menunjukkan adanya kemiripan periode sinyal. Namun terdapat perbedaan antara amplitudo dan masih adanya osilasi. Grafik eksperimen terlihat sesuai dengan grafik simulasi yang mengalami *misalignment* sebesar 1.14° dengan kecepatan tumbuk 1m/s. Perbedaan ini dapat dikarenakan kondisi pada eksperimen tidak sepenuhnya ideal. Karena sistem tumbuk *striker bar* menggunakan bandul membuat tidak dapat menentukan kondisi *align* saat menumbuk dan tidak dapat mengatur kecepatan secara pas sehingga kondisi ini sangat mungkin terjadi. Oleh karena itu secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa grafik hasil simulasi valid sebagai pembanding data eksperimen.

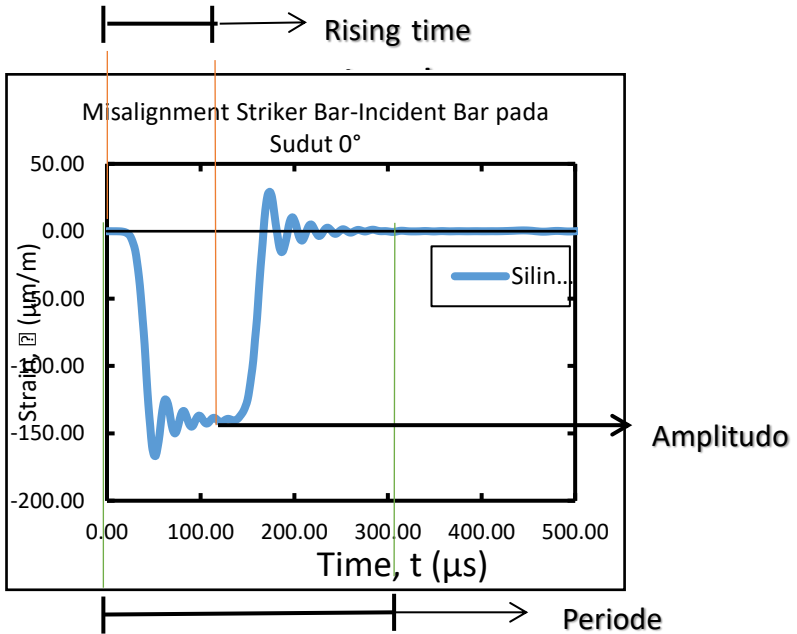
3.2.5 Analisa Data dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pemrosesan data yang telah dilakukan dan diambil, dilakukan analisa data dan pembahasan. Terdapat dua kasus yaitu *misalignment* pada *striker bar-incident bar* dan *incident bar-transmission bar*.

a. *Misalignment Striker bar-Incident bar*

Misalignment striker bar- incident bar berpengaruh terhadap pembentukan sinyal *incident*. Dengan acuan bentuk sinyal *incident* seperti pada Bab 2 bentuk sinyal *incident* ketiga *striker bar* terhadap

misalignment dibandingkan. Dengan karakteristik sinyal seperti gambar 3.20 berikut,



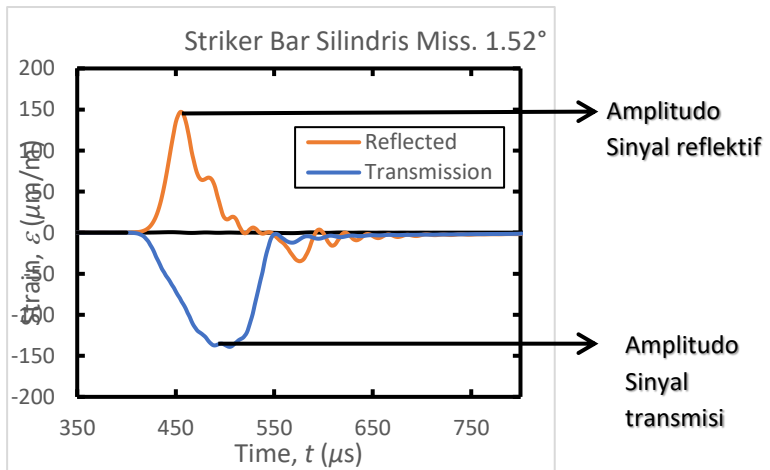
Gambar 3. 20 Grafik strain sinyal *incident striker bar* silinder dengan kondisi *align*

Pada *misalignment striker bar- incident bar* ketiga data yaitu *rising time*, periode sinyal, dan amplitudo sinyal pada sinyal *incident* seperti gambar 3.20 ini selanjutnya akan dianalisa pada tiap data *misalignment* yang terjadi. Periode, *rising time*, dan amplitudo pada sinyal ini yang menentukan sifat dari sinyal terutama pada sinyal *incident* yang akan melewati spesimen. Periode sinyal berpengaruh pada besarnya deformasi yang diterima spesimen. *Rising*

time berpengaruh terhadap keseragaman deformasi dimana semakin panjang *rising time* akan semakin seragam dan semakin baik untuk pengujian terutama pada spesimen *brittle*. Batas minimal *rising time* ideal adalah $100 \mu\text{s}$ pada *soft material* sedangkan pada material *brittle* lebih panjang^[5]. Sedangkan Amplitudo menunjukkan regangan maksimal yang diterima spesimen.

b. *Misalignment incident bar-transmission bar*

Pada kasus kedua yaitu *misalignment incident bar-transmission bar* mempengaruhi dari bentuk sinyal *transmitted* dan sinyal *reflected* (karena sinyal akan melewati misalignment ini setelah melewati sinyal *incident*). Sehingga kedua sinyal ini yang akan dibandingkan dari tiap variasi yang diberikan. Berikut gambar dari kedua sinyal,



Gambar 3. 21 Grafik *strain* sinyal transmisi dan *reflected* *striker bar* silinder dengan *misalignment*

. Kedua sinyal ini yang akan menyatakan valid atau tidak sebuah pengujian. Idealnya sinyal reflektif tidak akan muncul dan sinyal transmisi identik dengan sinyal incident. Hal ini dikarenakan sinyal *incident* diteruskan secara penuh ke *transmission bar* tanpa adanya gelombang pantulan.

Karena kedua sinyal tersebut berpengaruh pada grafik tegangan-regangan, maka selanjutnya yaitu mencari nilai grafik tegangan-regangan untuk mengetahui nilai *Modulus Young* dari specimen dimana dalam pengujian ini digunakan material *Epoxy Resin*.

3.2.6 Kesimpulan dan Saran

Dari analisa data dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan dan saran mengenai penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan menyangkut poin-poin penting pembahasan hasil pemrosesan data serta menjawab tujuan penelitian. Saran yang dibuat dapat digunakan sebagai masukan untuk penelitian selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

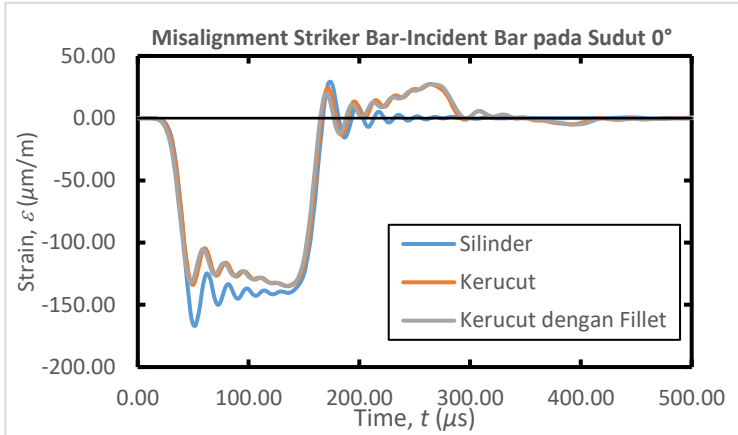
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas pengaruh bentuk geometri *striker bar* terhadap sensitifitas sinyal regangan yang menagalami *misalignment* pada alat uji SHPB. Proses tumbukan pada SHPB disimulasikan secara numerik menggunakan ANSYS *explicit dynamic* untuk mendapatkan kurva *strain-time*. Dengan *misalignment* yang ditinjau pada *interface striker bar-incident bar* dan *interface incident bar-transmitted bar* dengan menggunakan 3 macam bentuk *striker bar*. Tiga geometri *striker bar* yang digunakan pada tiap kondisi simulasi tersebut yaitu, silindris (*cylindrical*), mengerucut (*conical*), mengerucut dengan *fillet* pada ujung tumbuknya. Untuk memudahkan pembahasan, maka analisa tiap kondisi akan disajikan dalam sub-bab yang berbeda.

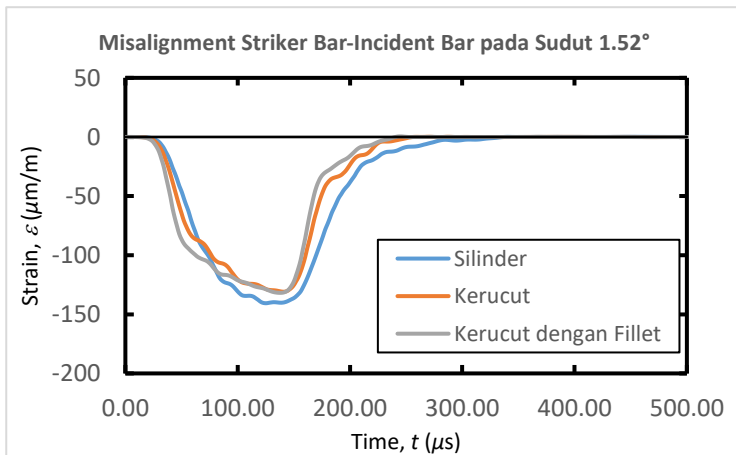
4.1 Pengaruh tingkat misalignment antara striker bar dengan incident bar terhadap sinyal incident

Gambar 4.1 menunjukkan pengaruh sudut misalignment antara *striker bar* dengan *incident bar* saat bertumbukan. Pada kondisi *align* (*misalignment* 0°) Semua jenis *striker bar* mengalami osilasi namun pada *striker bar* dengan geometri silinder memiliki osilasi yang lebih tinggi. Pada *misalignment* 1.52° ketiga grafik *striker bar* tidak mengalami osilasi. Ini mengindikasikan misalignment mampu mengurangi osilasi dan membantu sinyal dalam memperoleh kesetimbangan pada sudut 1.52° . Pada *misalignment* paling besar yaitu 3.05° *striker bar* jenis silindris mengalami osilasi gelombang kembali sedangkan pada *striker bar* kerucut dan kerucut dengan *fillet* tidak mengalami osilasi. Osilasi yang lebih kecil dapat membantu sinyal mencapai kesetimbangan. Kemudian ketiga grafik dianalisa periode sinyal, *rising time* dan

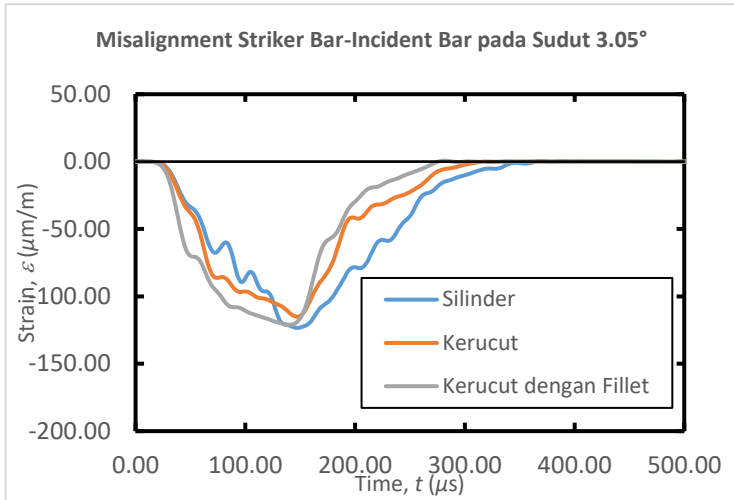
amplitudo. Karena ketiga karakteristik tersebut berpengaruh terhadap bentuk sinyal incident sebelum melewati spesimen.



(a)



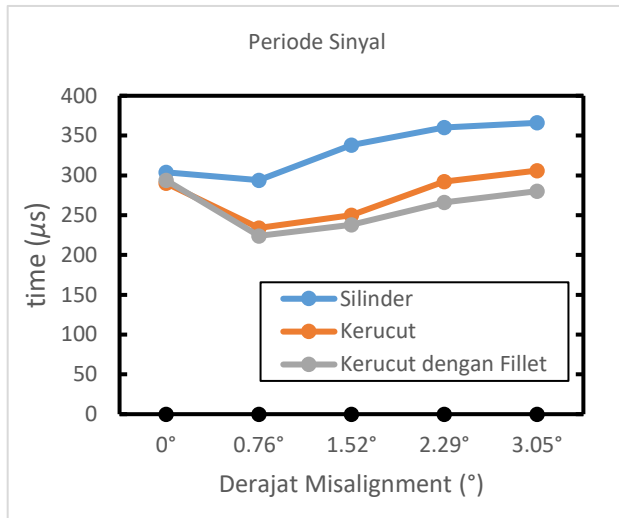
(b)



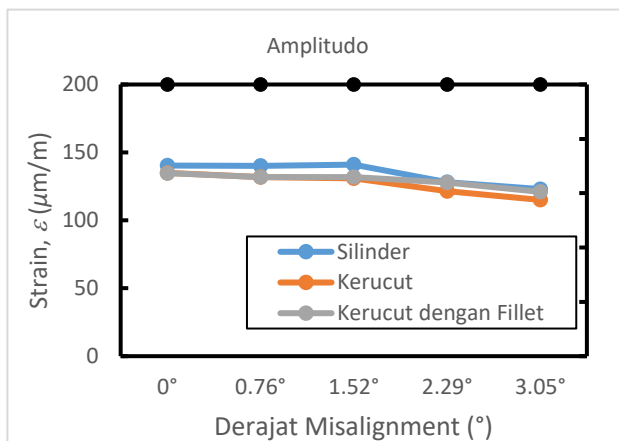
(c)

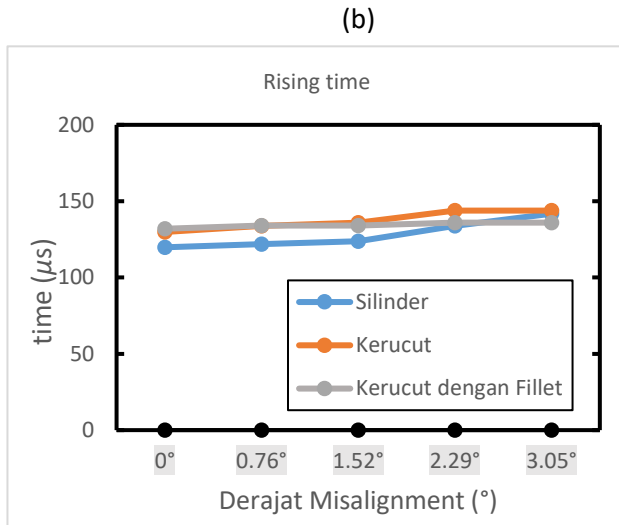
Gambar 4. 1 (a) *Misalignment Striker Bar-Incident Bar* pada sudut 0° (b) *Misalignment Striker Bar-Incident Bar* pada sudut 1.52° (c) *Misalignment Striker Bar-Incident Bar* pada sudut 3.05°

Dari ketiga grafik tersebut diambil tiga karakteristik grafik yaitu amplitudo, *rising time*, dan periode.



(a)





(c)

Gambar 4. 2 (a) Grafik periode sinyal pada *misalignment striker bar-incident bar* (b) Amplitudo pada *misalignment striker bar-incident bar* (c) *Rising time* pada *misalignment striker bar-incident bar*

Dari gambar 4.3 (a) terdapat perbandingan grafik periode sinyal tiap *striker bar* dimana *trend* grafik ketiga setiap *striker bar* sama. Pada grafik *striker bar* silinder memiliki periode 304 μs pada kondisi *align*. Grafik mulai naik ketika mengalami *misalignment* $> 1.52^\circ$. Seiring bertambahnya *misalignment* periode sinyal cenderung konstan dengan nilai 366 μs pada *misalignment* 3.05° . Grafik *striker bar* kerucut memiliki periode 294 μs periode turun pada *misalignment* 1.52° dengan nilai 224 μs . grafik kemudian naik kembali dan cenderung konstan hingga nilai 306 μs pada *misalignment* 3.05° . Grafik pada *striker bar* kerucut dengan fillet memiliki *trend* yang sama

seperti grafik kerucut dengan nilai periode sinyal lebih rendah sekitar 10-20 μ s. Grafik periode sinyal menunjukkan grafik *striker bar* silinder memiliki *trend* periode sinyal paling tinggi, dengan *trend striker bar* kerucut dengan *fillet* paling rendah.

Gambar 4.2 (b) menunjukkan terjadi pengurangan amplitudo sinyal *incident* yang tidak terlalu signifikan dengan bertambahnya *misalignment*. Penurunan pada ketiga *striker bar* terjadi pada sudut $>1.52^\circ$. Pada *striker bar* silinder dan kerucut hanya mengalami deviasi penurunan sebesar 11 μ m/m sedangkan pada *striker bar* kerucut dengan *fillet* deviasi penurunan sebesar 8 μ m/m. Ini menunjukkan tidak adanya pengaruh yang signifikan terhadap perubahan sudut *misalignment*.

Gambar 4.2 (c) grafik *rising time* mengalami kenaikan yang tidak signifikan pada *striker bar* silinder dan kerucut. Deviasi kenaikan hanya sebesar 12 μ s pada *striker bar* silinder dan 10 μ s pada *striker bar* kerucut. Sedangkan pada *striker bar* kerucut dengan *fillet* kenaikan hanya sebesar 2 μ s dimana nilainya sangat kecil. Sehingga *misalignment* juga tidak berpengaruh secara signifikan terhadap *rising time* sinyal *incident*.

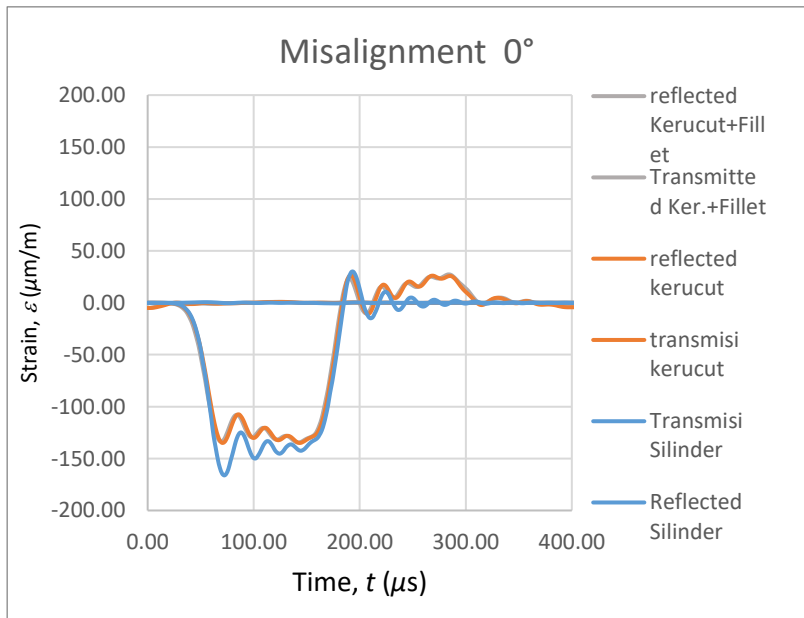
Dari pembahasan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa *misalignment striker bar-incident bar* mempengaruhi pembentukan sinyal *incident*. Pada sudut yg relatif kecil yaitu 1.52° , *misalignment* membantu pembentukan kesetimbangan dan menghilangkan osilasi sinyal *incident*. Namun pada sudut 3.05° *misalignment* memiliki efek yang tidak baik dan mengganggu kesetimbangan sinyal. Dengan kondisi *misalignment striker bar-incident bar* yang tidak dapat dikontrol efek negatif ini dapat diminimalisir dengan modifikasi *striker bar* menjadi kerucut dengan *fillet* dimana pada sudut

misalignment $3,05^\circ$ masih memiliki bentuk sinyal yang setimbang.

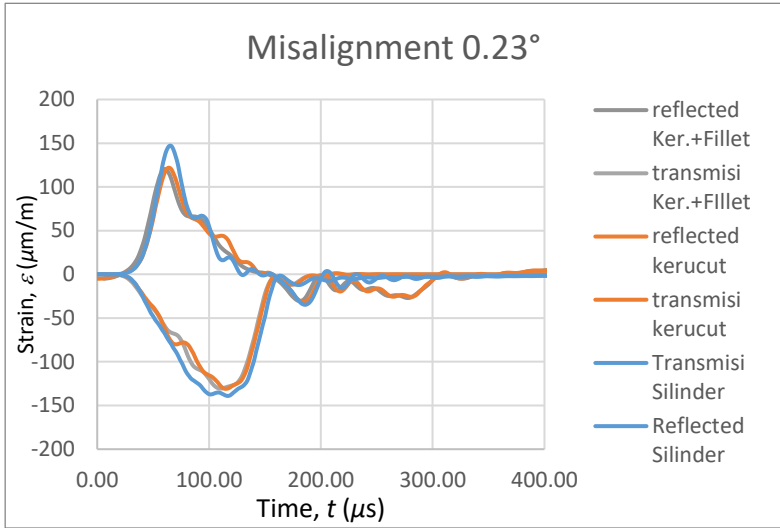
Pada 3 karakteristik sinyal yang dianalisa. *Misalignment* berpengaruh signifikan hanya pada periode sinyal. Dengan bertambahnya *misalignment*, nilai periode sinyal striker bar silinder memiliki selisih sekitar $100 \mu s$ diatas *striker bar* kerucut dengan *fillet* yang memiliki periode paling kecil terhadap penambahan *misalignment*. Ini menunjukkan area deformasi yang diakibatkan striker bar silinder yang paling besar dibanding dua striker bar yang lain. Sehingga kurang sesuai untuk pengaplikasian pada uji coba specimen yang bersifat keras. Sedangkan striker bar kerucut dengan periode sinyal yang paling rendah lebih sesuai dalam uji coba specimen bersifat keras.

4.2 Pengaruh geometri striker bar pada bentuk sinyal reflected dan transmitted untuk pressure bar dengan misalignment

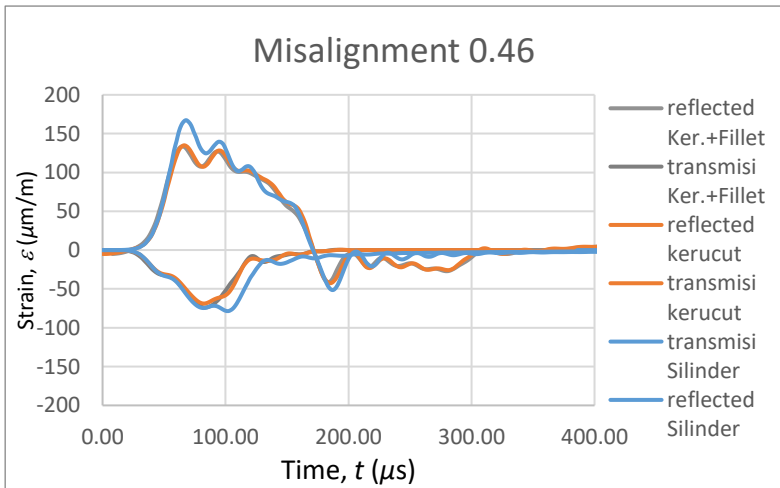
Gambar 4.4 menunjukkan pengaruh sudut *misalignment* pada *interface incident-bar* dan *transmission bar*. Perbedaan yang berpengaruh pada *misalignment* ini adalah sinyal *transmission* dan sinyal *reflected*. Dengan perubahan geometri *striker bar* di setiap penambahan *misalignment* dengan sudut 0° , 0.23° , dan 0.46° ditunjukkan pada grafik dibawah,



(a)



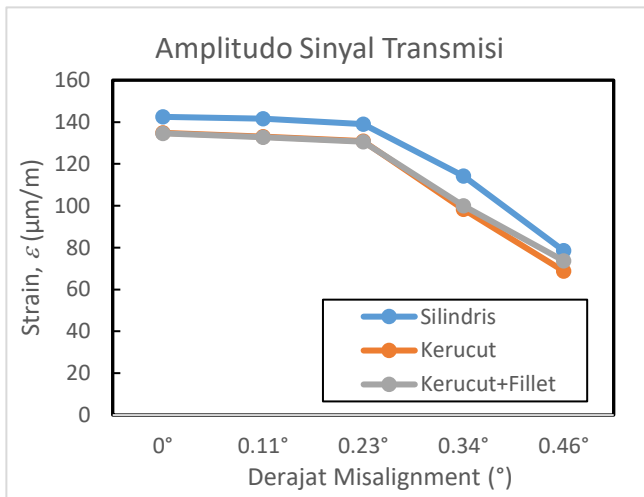
(b)

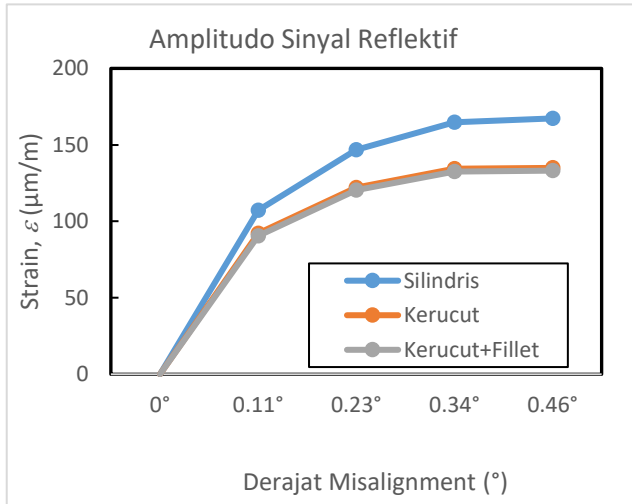


(c)

Gambar 4. 3 (a) *Misalignment Incident Bar-Transmission Bar* pada sudut 0° (b) *Misalignment Incident Bar-Transmission* pada sudut 0.23° (c) *Misalignment Incident Bar-Transmission* pada sudut 0.46°

. Dari Gambar 4.4 menunjukkan bahwa efek ketiga *striker bar* terhadap *misalignment* hampir memiliki persamaan. Yaitu semakin munculnya sinyal *reflected* dan menurunnya sinyal transmisi. Agar lebih jelasnya maka dibandingkan nilai amplitudo dari sinyal transmisi dan *reflected*. Pada grafik ini juga ditambahkan sudut 0.11° dan 0.34° agar *trend* amplitudo terhadap besar sudut *misalignment* terlihat.



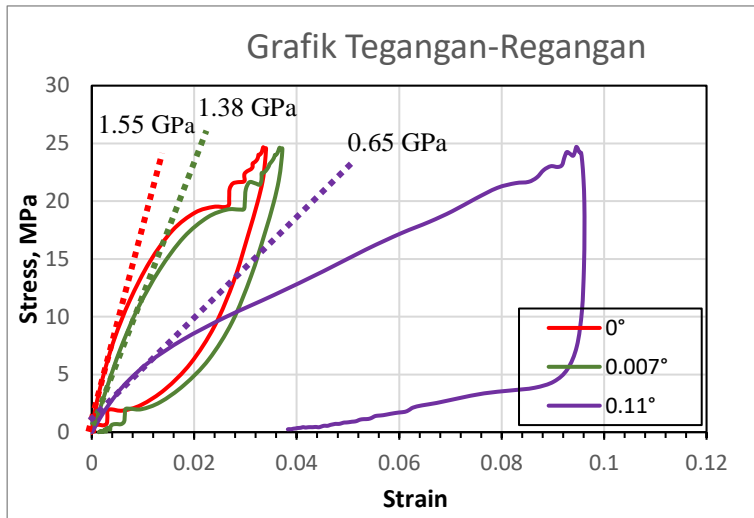


Gambar 4. 4 Amplitudo sinyal transmisi dan *reflected*

Pada gambar 4.4 menunjukkan amplitudo dari sinyal transmisi dan *reflected*. Grafik amplitudo ketiga jenis *striker bar* memiliki kesamaan pada *trend*. Grafik sinyal transmisi menurun pada sudut *misalignment* $> 0.23^\circ$ untuk ketiga jenis *striker bar*. Grafik *striker bar* diatas grafik kedua *striker bar* yang lain dengan selisih yang hanya sekitar $10 \mu\text{m/m}$. Pada grafik amplitudo sinyal *reflected* ketiga jenis *striker bar* juga memiliki *trend* yang sama yaitu naik seiring bertambahnya *misalignment*. Walaupun amplitudo sinyal *reflected* *striker bar* kerucut dan kerucut dengan fillet lebih rendah, namun ketiganya tidak memenuhi toleransi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa geometri *striker bar* tidak berpengaruh terhadap *misalignment incident bar-transmission bar*.

Karena pada sudut 0.11° memiliki amplitudo sinyal *reflected* yang masih sangat tinggi dan menimbulkan pengujian tidak valid. Oleh karena itu dilakukan analisa numerik untuk mengetahui nilai sudut toleransi *misalignment*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *specimen epoxy* ketebalan 0.5mm

dan menggunakan *striker bar* kerucut dengan *fillet*, agar diketahui seberapa besar efek *misalignment* terhadap validitas hasil.



pengujian *specimen epoxy*

gambar 4. 5 Grafik Stress-Strain pengujian Epoxy dengan misalignment 0° , 0.007° , dan 0.11°

Dari pengujian ini dihasilkan grafik tegangan-regangan dari *specimen epoxy* yang diuji pada gambar 4.5. Pada kondisi *align* atau ideal dihasilkan *Modulus Young* dari *specimen* yang diuji sebesar 1.55 GPa. Dengan pengujian yang mengalami *misalignment* dengan sudut 0.11° dihasilkan nilai *Modulus Young* sebesar 0.65 GPa atau terjadi penurunan nilai *Modulus Young* yang sangat besar yaitu 57,4%. Hal ini dikarenakan *misalignment* menaikkan nilai sinyal *reflected* sesuai dengan grafik pada gambar 4.4. Sinyal *reflected* ini yang menaikkan nilai regangan sehingga *Modulus Young* turun. Dari hasil ini juga dapat disimpulkan bahwa *misalignment* pada interface *incident bar-transmission bar* dengan

sudut yang kecil pun berpengaruh signifikan terhadap validitas data pengujian.

Kemudian dengan pengujian ini ditunjukkan hasil toleransi dari *misalignment* yaitu pada sudut $0,007^\circ$ dengan nilai *Modulus Young* sebesar 1.38 GPa. Dengan nilai *Modulus Young* lebih kecil 10% ini dapat diterima dalam pengujian *Split Hopkinson Pressure Bar*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. *Misalignment* pada *interface striker bar-incident bar* memberikan efek terhadap pembentukan sinyal. *Misalignment* yang dapat dikontrol yaitu pada sudut 1.52° , memberikan efek untuk membantu mencapai kesetimbangan sedangkan pada sudut 3.05° merugikan. *Misalignment* juga memberikan efek menaikkan periode sinyal yang berpengaruh terhadap besar deformasi.
2. *Misalignment* pada *interface incident bar-transmission bar*, mempengaruhi hasil pengujian SHPB. Pengujian yang mengalami *misalignment* ini akan menimbulkan nilai *Modulus Young* yang lebih kecil dari nilai sesungguhnya. Sudut yang dapat ditoleransi yaitu sebesar 0.007° dengan penurunan *Modulus Young* sebesar 10%.
3. Memodifikasi bentuk *striker bar* efektif mengurangi efek osilasi dan membantu sinyal untuk mencapai kondisi setimbang. Pada *misalignment striker bar-incident bar*, *striker bar* kerucut dengan *fillet* memiliki osilasi yang paling minimal hingga sudut *misalignment* 3.05° .
4. Memodifikasi bentuk *striker bar* menjadi mengerucut dan dengan *fillet*, efektif mengurangi efek naiknya periode sinyal akibat *misalignment striker bar-incident bar*. Sehingga deformasi yang dihasilkan lebih kecil dan sesuai untuk material yang lebih *brittle*.
5. Memodifikasi bentuk *striker bar* tidak mengurangi efek yang ditimbulkan oleh *misalignment incident bar-transmission bar* secara signifikan.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, adapun saran dari peneliti adalah sebagai berikut :

1. Untuk meminimalisir *misalignment* pada *interface striker bar-incident bar* sebaiknya digunakan metode *striker bar* hidrolik karena lebih dapat diarahkan daripada metode bandul. Sementara untuk interface *incident bar-transmission bar*, manufaktur dudukan alat uji *Split Hopkinson Pressure Bar* harus dengan kepresisian yang tinggi agar dapat meminimalisir efek *misalignment*.
2. Agar diketahui hasil yang lebih teliti dapat dilakukan penelitian yang sama dengan variasi sudut yang lebih banyak.
3. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan penelitian variasi sudut kerucut *striker bar* dan variasi radius *fillet* pada geometri *striker bar* pada pengujian *Split Hopkinson Pressure Bar*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Baranowski, P., Malachowski, J., Gieleta R. 2013. "Numerical study for determination of pulse shaping design variables in Split Hopkinson Pressure Bar apparatus". Bulletin of The Polish Academy of Science.
- [2] Ameri, A., Brown, B., Ashraf, M. 2019 "An Effective Pulse-Shaping Technique for Testing Stainless Steel Alloys in a Split-Hopkinson Pressure Bar". Journal of Dynamic Behavior of Materials.
- [3] Cloete, T., Nurick, G., Bekker, A. 2009. "A Tapered Striker Pulse Shaping Technique for Uniform Strain Rate Dynamic Compression of Bovine Bone". Department of Mechanical Engineering, University of Cape Town.
- [4] Sudheeraa, Y., S., Rammohan, Pradeep M., S. 2016. "Split Hopkinson Pressure Bar Apparatus for Compression Testing". Bengaluru : National Aerospace Laboratories.
- [5] Chen, W., Song, B. 2011. Split Hopkinson (Kolsky) Bar: Design, Testing and Applications. New York: Springer Science Business Media.
- [6] Parpala, R., C., Pupaza., C. 2016 "Crash Simulation Using Ansys Explicit Dynamics". Sesiunea Științifică Studentească.
- [7] Kariem, M., A., Beynon, J., H., Ruan, D. 2012 "Misalignment effect in the split Hopkinson pressure bar technique". International Journal of Impact Engineering.
- [8] Yohanes, dan Amalin Shabrina P. N. 2019. "Analisa Pengaruh Pemrosesan Data Uji Split Hopkinson Pressure Bar Terhadap Karakteristik Respon

- Tegangan-Regangan Spesimen”. Mechanical Engineering Departement.
- [9] Zi-Long, Z., Liang, H., Qi-yuet, L. 2011. “Calibration of Split Hopkinson Pressure Bar System with Special Shape Striker”. Central South University.
- [10] Church, P., Cornish, R.2014 Using the Split Hopkinson Pressure Bar to Validate Material Models”.Royal Society.

BIODATA PENULIS



Mochammad Hafis Habibi dilahirkan di Tulungagung, 16 Mei 1998 anak kedua yang terlahir dari orangtua bernama Bilal dan Umilatifah. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di SDN 1 Pandansari, SMPN 1 Ngunut, dan SMAN 1 Blitar. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Blitar pada tahun 2015 penulis melanjutkan ke jenjang perkuliahan S1 di Departemen Teknik Mesin FTI-ITS pada tahun 2015-2020.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non-akademik selama perkuliahan. Dalam kegiatan non akademik pada tahun ke-1 dan ke-2 perkuliahan, penulis aktif menjadi dalam beberapa kegiatan kepanitiaan dan organisasi yaitu Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin di Divisi Kewirausahaan. Pada tahun ke-3 perkuliahan, penulis aktif menjadi staf Divisi Engine and Drivetrain ITS Team Sapuangin. Dan pada tahun ke-4 perkuliahan, penulis diamanahi menjadi General Manager di ITS Team Sapuangin. Pada tahun terakhir, penulis mulai fokus pada penelitian tentang *Split Hopkinson Pressure Bar* yang dibimbing oleh Dr. Eng. Yohanes, S.T.,M.Sc.

Penulis mempunyai motto hidup “*do improve, do appreciate*” yang membuat penulis berusaha untuk selalu optimis dalam memperoleh keinginan serta menghadapi segala kondisi dan keadaan. Dengan motto tersebut, penulis akhirnya juga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Semua pesan atau informasi yang hendak disampaikan kepada penulis melalui email [habibihafis002 @gmail.com](mailto:habibihafis002@gmail.com).

