



**ANALISIS UJI *IMPACT* PADA BAJA ST60 DENGAN VARIASI
KETEBALAN LAPISAN KARBON FIBER UNTUK
APLIKASI KERANGKA MOBIL LISTRIK**

SKRIPSI

Diajukan Dalam Rangka Penyelesaian Studi Strata 1
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Pendidikan

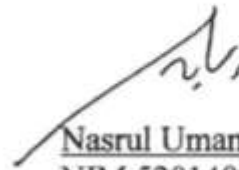
Oleh
Nama : Nasrul Umam
NIM : 5201409117
Prodi : Pendidikan Teknik Mesin, S1
Jurusan : Teknik Mesin

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2015**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang berjudul “ANALISIS UJI *IMPACT* PADA BAJA ST60 DENGAN VARIASI KETEBALAN LAPISAN KARBON FIBER UNTUK APLIKASI KERANGKA MOBIL LISTRIK” disusun berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan arahan dosen pembimbing. Sumber informasi atau kutipan yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir skripsi ini. Skripsi dengan judul seperti di atas belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam program sejenis di perguruan tinggi manapun.

Semarang, Agustus 2015



Nasrul Umam
NIM 5201409117

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke panitia sidang ujian skripsi pada:

Hari :

Tanggal :

Pembimbing



Drs. Wirawan Sumbodo, M.T.
NIP. 196601051990021002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. M. Khumaedi, M.Pd.
NIP. 196209131991021001

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Nasrul Umam

NIM : 5201409117

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin S1

Judul : ANALISIS UJI *IMPACT* PADA BAJA ST60 DENGAN
VARIASI KETEBALAN LAPISAN KARBON FIBER UNTUK
APLIKASI KERANGKA MOBIL LISTRIK

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian

Ketua : Dr. M. Khumaedi, M.Pd
NIP. 196209131991021001

Sekretaris : Wahyudi, S.Pd., M.Eng
NIP.198003192005011001

Dewan Penguji

Pembimbing I : Drs. Wirawan Sumbodo, M.T
NIP. 196601051990021002

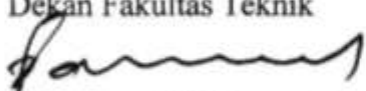
Penguji I : Dr. Heri Yudiono, S.Pd, M.T
NIP. 196707261993031003

Penguji II : Rusiyanto, S.Pd. M.T
NIP. 197403211999031002

Penguji Pendamping I : Drs. Wirawan Sumbodo, M.T
NIP. 196601051990021002

Ditetapkan di Semarang
Tanggal :

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik


Drs. Muhammad Harlanu, M. Pd
NIP. 1966021511021001

ABSTRAK

Umam, Nasrul. 2015. Analisis Uji *Impact* Pada Baja ST60 Dengan Variasi Ketebalan Lapisan Karbon Fiber Untuk Aplikasi Kerangka Mobil Listrik. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Drs. Wirawan Sumbodo.M.T.

Penelitian ini bertujuan menganalisis ketangguhan baja ST60 dengan variasi ketebalan lapisan karbon fiber untuk aplikasi mobil listrik, serta membuktikan adanya peningkatan kekuatan pada material dalam hal memperbaiki ketangguhan.

Metode yang digunakan untuk pengumpulan data pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode ini biasa digunakan untuk mengetahui hubungan antara sebab dan akibat. Penelitian ini menggunakan pengujian *impact*. Pengujian dilakukan pada 12 spesimen dengan perincian 3 spesimen tanpa menggunakan lapisan karbon fiber, 3 spesimen dengan dilapisi karbon fiber 3 mm, 3 spesimen dilapisi karbon fiber 5 mm, dan 3 spesimen dengan menggunakan lapisan karbon fiber ketebalan 7 mm. Pelekatan serat karbon menggunakan resin.

Hasil pengujian *impact* memperlihatkan bahwa ketangguhan baja ST60 dengan lapisan serat karbon 3 mm memiliki kekuatan 0,29 Joule/mm², spesimen dengan lapisan karbon fiber 5 mm memiliki nilai ketangguhan 0,33 Joule/mm², dan spesimen dengan lapisan karbon fiber ketebalan 7 mm memiliki nilai ketangguhan 0,35 Joule/mm², sedangkan pada spesimen tanpa menggunakan lapisan serat karbon menunjukkan nilai ketangguhan yang paling kecil yaitu 0,23 Joule/mm². Ketebalan lapisan karbon fiber berpengaruh terhadap ketangguhan spesimen ST60. Semakin tebal lapisan yang diberikan, maka semakin tinggi pula nilai ketangguhan yang didapat.

Kesimpulan dari pengaruh lapisan karbon fiber dengan ketebalan 3 mm , 5 mm dan 7 mm telah mampu meningkatkan ketangguhan pada ST60. Nilai rata-rata ketangguhan spesimen tanpa lapisan karbon fiber sebesar 0,23 Joule/mm² dengan dilapisi 3 mm mengalami kenaikan menjadi 0,29 Joule/mm², dilapisi 5 mm kenaikan bertambah lagi menjadi 0,33 Joule/mm², dan dengan dilapisi 7 mm kenaikan menjadi 0,35 Joule/mm².

Saran dari penelitian ini adalah dalam proses pengerjaan pelapisan harus memperhatikan penekanan campuran resin setiap menempelkan serat, agar diperoleh kepadatan yang merata dan perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan variasi pengujian yang lain seperti uji bending, uji tarik, dan lainnya.

Kata kunci: *karbon fiber, ketangguhan, impact*

ABSTRACT

Umam, Nasrul. 2015. Analysis of Impact Test In Steel ST60 With Carbon Fiber Layer Thickness Variation Application Framework For Electric Cars. Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, State University of Semarang. Supervising Drs. Wirawan Sumbodo.M.T.

This study aimed to analyze the toughness of steel ST60 with carbon fiber layer thickness variation to the application of electric cars, as well as proving the existence of an increase in the strength of the material in terms of improving toughness.

The method used to collect data in this study is the experimental method. This method is used to determine the relationship between cause and effect. This study uses impact testing. Tests performed on 12 specimens, comprising three specimens without the use of layers of carbon fiber, 3 specimens with coated carbon fiber 3 mm, 3 specimens coated carbon fiber 5 mm, and 3 specimens with the use of carbon fiber layer thickness of 7 mm. Sticking carbon fiber using a resin.

The test results show that the impact toughness of steel ST60 with a 3 mm layer of carbon fiber has a strength of 0.29 Joules/mm², the specimen with a layer of 5 mm carbon fiber has a toughness value of 0.33 Joules/mm², and specimens with carbon fiber layer has a thickness of 7 mm toughness value of 0,35 Joules/mm², while on the specimen without using carbon fiber layer showed toughness smallest value is 0.23 Joules/mm². Carbon fiber layer thickness affects the toughness specimens ST60. The thicker the layer is given, the higher the toughness values obtained.

The conclusion of the influence of the carbon fiber layers with a thickness of 3 mm, 5 mm and 7 mm has been able to increase the toughness of the ST60. The average value of toughness specimens without coating of carbon fiber by 0.23 Joule/mm² with a 3 mm coated rose to 0.29 Joule/mm², coated with 5 mm increment again to 0.33 Joule/mm², and the coated 7 mm rise to 0,35 Joules/mm².

The suggestion of this research is in the process of coating resin mixture emphasis should pay attention to every attaching fiber, in order to obtain a uniform density and further research needs to be held by adding another test variation like bending test, tensile test, and more.

Keywords: carbon fiber, toughness, impact

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Tidak ada eksperimen yang membuktikan aku benar , namun sebaliknya sebuah eksperimen saja bisa membuktikan aku salah. (Albert Einstein)
2. Pada dasarnya manusia itu diciptakan oleh tuhan dengan semua kesempurnaan dibanding ciptaan tuhan yang lain, akan tetapi manusia akan terlihat dan dianggap lebih hina dari seekor hewan karna perbuatannya sendiri (Riendy Wardhana)
3. Those that can, do. Those that can't, complain. (Linus Torvalds)

PERSEMBAHAN

Skripsi ini ku persembahkan untuk :

1. Bapak dan Ibuku Tercinta.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya serta telah memberi kekuatan, kesabaran serta kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan lancar.

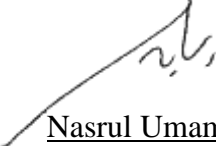
Penyusunan skripsi ini penulis memperoleh bantuan baik yang berupa dorongan maupun bimbingan dari pihak lain, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Drs. M. Harlanu, M.Pd, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. M. Khumaedi, M.Pd, Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
4. Wahyudi, S.Pd, M.Eng, Ketua Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
5. Drs. Wirawan Sumbodo, M.T, pembimbing dan penguji pendamping yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, saran dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Dr. Heri Yudiono, M.T, sebagai penguji utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, saran dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Rusiyanto, S.Pd, M.T, sebagai penguji kedua.
8. Rekan-rekan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin S1 yang telah membantu dari awal hingga penyelesaian skripsi ini.
9. Semua pihak yang membantu hingga selesainya skripsi ini.

Semoga bantuan yang telah diberikan dengan ikhlas tersebut mendapat imbalan dari Allah SWT. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna, maka kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini berguna bagi pembaca umumnya dan penyusun pada khususnya.

Semarang, Agustus 2015

Penulis



Nasrul Umam

NIM 5201409117

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
3.1 Latar Belakang Masalah.....	1
3.2 Rumusan Masalah.....	4
3.3 Tujuan	4
3.4 Batasan Masalah	5
3.5 Manfaat.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Landasan Teori.....	7
2.1.1 Baja Karbon.....	7
2.1.2 Komposit.....	9

2.1.3 Karbon Fiber	17
2.1.4 Pengujian <i>Impact</i>	20
2.1.5 Model Perpatahan.....	23
2.1.6 Kerangka Kendaraan	24
2.1.7 Tipe Kontruksi Bentuk Rangka	27
2.1.8 Jenis-Jenis Kerangka	29
2.2 Penelitian Terdahulu yang Relevan.....	31
2.3 Kerangka Berfikir	33
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Desain Penelitian	36
3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian	36
3.3 Alat dan Bahan.....	36
3.4 Spesimen	38
3.5 Alur Penelitian	40
3.6 Proses Penelitian.....	41
3.6.1 Proses Pelapisan	41
3.6.2 Proses Pengujian.....	43
3.7 Teknik Pengumpulan Data	44
3.8 Teknik Analisis Data	45
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Hasil	46
4.1.1 Komposisi Bahan Baja ST60.....	46
4.1.2 Pengujian <i>Impact</i>	47

4.1.3 Kegagalan Spesimen	54
4.2 Pembahasan.....	61
BAB V PENUTUP	66
5.1 Simpulan.....	66
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN-LAMPIRAN	70

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Komposit Partikel	11
Gambar 2. Komposit Serat	12
Gambar 3. Komposit Struktur.....	13
Gambar 4. Serat Karbon	18
Gambar 5. Susunan Arah Serat Karbon.....	19
Gambar 6. Ilustrasi Skematis Pengujian <i>Impact Charpy</i>	22
Gambar 7. Kontruksi <i>Composite Body</i>	28
Gambar 8. Kontruksi Bodi Integral (<i>Monocoque Body</i>)	29
Gambar 9. Kontruksi Rangka Bentuk H.....	29
Gambar 10. Kontruksi Rangka Perimeter.....	30
Gambar 11. Kontruksi Rangka Bentuk X.....	30
Gambar 12. Kontruksi Rangka Bentuk <i>Back Bone</i>	31
Gambar 13. Bagan Kerangka Berfikir	35
Gambar 14. Alat Uji <i>Impact</i>	37
Gambar 15. Spesifikasi Berdasarkan Standar ASTM D5942-96	38
Gambar 16. Spesimen Dengan Lapisan 3 mm.....	39
Gambar 17. Spesimen Dengan Lapisan 5 mm.....	39
Gambar 18. Spesimen Dengan Lapisan 7 mm.....	39
Gambar 19. Spesimen Siap Diujikan	39
Gambar 20. Bagan Alur Penelitian.....	40
Gambar 21. Pemotongan Dengan Sudut Serat 90^0 dan 45^0	41
Gambar 22. Proses Pelapisan	42

Gambar 23. Diagram Perbandingan Energi Terserap	48
Gambar 24. Perbandingan Nilai Ketangguhan Hasil Uji <i>Impact</i>	49
Gambar 25. Spesimen Tanpa Lapisan Serat Karbon	51
Gambar 26. Spesimen Dengan Ketebalan Lapisan 3 mm	51
Gambar 27. Spesimen Dengan Ketebalan Lapisan 5 mm	52
Gambar 28. Spesimen Dengan Ketebalan Lapisan 7 mm	53
Gambar 29. Lepasnya Lapisan Dari Material Tulangan.....	54
Gambar 30. Patahan Lapisan 3 mm yang Menerima Tekanan	55
Gambar 31. Patahan Lapisan 3 mm yang Menerima Tarikan	56
Gambar 32. Patahan Lapisan 5 mm yang Menerima Tekanan	57
Gambar 33. Patahan Lapisan 5 mm yang Menerima Tarikan	58
Gambar 34. Patahan Lapisan 7 mm yang Menerima Tekanan	59
Gambar 35. Patahan Lapisan 5 mm yang Menerima Tarikan	60

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Komposisi Baja ST60.....	8
Tabel 2. Sifat Fisik Karbon Fiber (<i>Filament 3000</i>).....	20
Tabel 3. Lembar Pengamatan Nilai Uji <i>Impact</i>	44
Table 4. Lembar Perbandingan Nilai Uji <i>Impact</i>	44
Tabel 5. Data Komposisi Kimia Baja ST60	46
Tabel 6. Data Energi Serap Pengujian <i>Impact</i>	47
Tabel 7. Data Nilai Ketangguhan Pengujian <i>Impact</i>	49

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Surat Tugas Dosen Pembimbing	71
Lampiran 2. Surat Ijin Penelitian	73
Lampiran 3. Surat Ijin Penelitian Lab. Bahan Teknik UGM	74
Lampiran 4. Hasil Uji Komposisi	75
Lampiran 5. Perhitungan Uji <i>Impact</i>	76
Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian.....	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dewasa ini perkembangan jaman yang disertai oleh perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) yang sangat pesat menciptakan era globalisasi dan keterbukaan yang menuntut setiap individu untuk berpikir dan berperan aktif didalamnya salah satunya adalah memodifikasi mobil yang awalnya berbahan bakar minyak menjadi bertenaga listrik yang memanfaatkan sumber daya alam yang tidak pernah habis sebagai sumber tenaganya yang lebih ramah lingkungan dan lebih ekonomis. Hasil modifikasi akan mengubah dari bahan bakar fosil menjadi bahan bakar listrik yang selanjutnya lebih dikenal dengan sebutan mobil listrik. Mobil listrik yaitu mobil yang digerakkan dengan motor listrik, menggunakan energi listrik. Penggunaan mobil listrik dirasa efektif selain tidak menimbulkan polusi udara dan konstruksi mesin lebih sederhana, dan tentu pada mobil listrik membutuhkan kerangka yang kuat berfungsi sebagai penopang semua beban yang ada pada kendaraan. Prinsip utama dari desain dan pembuatan rangka adalah kokoh, ringan dan awet. Rangka mobil yang didesain tidak hanya kokoh, ringan, dan mampu menyerap energi tumbukan (*impact*), tetapi juga memiliki karakteristik yang dikeluarkan kecil sehingga bahan bakar hemat (ringan = kerja kecil = bahan bakar sedikit) (Sugiyanto, 2014: 17).

Dalam penelitian ini, material untuk perancangan pembuatan kerangka mobil listrik digunakan baja ST60. Baja ini banyak digunakan dalam pengerjaan

permesinan, misalnya pembuatan tanggem, bantalan mesin, dan kontruksi pada kapal (Suparman, 2006: 1). Baja ini termasuk logam berat, menurut Sudjana (2008: 12) logam berat ialah logam yang mempunyai berat jenis (ρ) lebih besar dari $4,00 \text{ kg/dm}^3$. Penggunaan logam berat pada pembuatan kerangka akan menjadikan mobil listrik menjadi boros energi. Adapun langkah untuk mendapatkan material yang ringan dan memiliki karakteristik yang sama dengan material awal, maka penggunaan ST 60 pada pembuatan kerangka dikurangi dimensinya. Pengurangan berat adalah satu aspek yang penting dalam industri pembuatan seperti *automobile* dan pesawat terbang, hal ini karena berhubungan dengan penghematan bahan bakar. Selain itu untuk memprediksi ketahanan lelah material terhadap benturan hingga terjadi kegagalan lelah. Pengurangan dimensi material dirasa akan mengurangi kenyamanan dan keamanan, karena semakin kecil dimensi material pada kerangka mobil maka semakin kecil pula kekuatan yang dapat diterima material ST60 tersebut.

Untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan terobosan baru salah satunya adalah dengan material awal baja ST60 yang dikurangi dimensinya diberikan perlakuan pelapisan. Pelapisan yang digunakan ialah menggunakan lapisan komposit serat karbon (*Carbon Fiber Reinforced Plate*). Menurut Pangestuti dan Handayani (2009: 108), *Carbon Fiber Reinforced Plate (CFRP)* menawarkan beberapa keunggulan yang tidak dimiliki oleh baja tulangan yaitu: mempunyai kuat tarik yang jauh lebih tinggi dari kuat tarik baja tulangan, yaitu sebesar 2800 MPa, mempunyai kekakuan yang cukup tinggi dimana modulus elastisitasnya (E) 165.000 MPa, tidak mengalami korosi karena terbuat dari bahan

non logam, mempunyai penampang yang kecil dan ringan dengan berat $1,5 \text{ g/cm}^3$, serta mudah pemasangannya. Menurut Carli, dkk (2012: 32) bahan komposit mempunyai *density* yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan bahan konvensional, hal ini memberikan implikasi yang lebih penting dalam konteks penggunaan, karena komposit akan mempunyai kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi dari bahan konvensional.

Bahan komposit tersebut diharapkan dapat menambah kekuatan dari ST60 yang dikurangi dimensinya sebagai material utama kerangka mobil listrik. Bahan komposit bukan termasuk jenis *ferro* dan gabungan dua atau lebih yang berbeda sifat dan komposisinya. Menurut Alessandra, dkk dalam Pangestutidan Handayani (2009: 110) menyatakan bahwa pelat *CFRP* yang dilekatkan pada bagian bawah balok diperhitungkan sebagai satu kesatuan struktur yang menerima beban bersama-sama sehingga bagian yang diberikan lapisan yaitu pada bagian rangka (*frame*) karena rangka termasuk bagian terpenting pada mobil dan harus mempunyai konstruksi kuat untuk menahan beban. Rangka merupakan tempat menempelnya semua komponen kendaraan termasuk bodi. Rangka harus kuat, ringan, kukuh dan tahan terhadap getaran, atau guncangan yang diterima dari kondisi jalan (Gunadi, 2008: 4). Menurut Honda R&D dalam Sugiyanto (2014: 17), kondisi yang bias terjadi pada rangka mobil adalah tabrakan atau tumbukan (*impact*) dengan kendaraan atau dengan mobil lain dan dengan suatu benda yang menyebabkan deformasi, kerusakan pada mobil atau kendaraan terutama bagian bodi dan rangka (*chassis*). Bagian yang perlu dimodifikasi ialah bagian bagian kritis dari kerangka mobil. Dengan merujuk pada kejadian yang terjadi dan

mengacu pada keunggulan karbon fiber diatas, maka penggunaan karbon fiber diaplikasikan pada bagian *frame*.

Penentuan kekuatan struktur *frame* kendaraan yang biasa dilakukan dalam dunia otomotif disebut *crash test*, yakni serangkaian pengujian benturan total, yang terdiri dari *frontal impact test*, *side impact test*, serta *rear impact test*. Pengujian *impact* selain untuk mendapatkan ketangguhan maksimal yang mampu diterima oleh material dapat pula untuk mengetahui bentuk patahan suatu material. Bentuk patahan pada pengujian *impact* juga dapat menjadi acuan bagaimana cara melakukan penyatuan dua struktur material yang tidak sejenis menjadi satu.

Dengan tujuan tersebut, maka akan dilakukan penambahan lapisan komposit pada material, sehingga diperoleh material dengan karakteristik yang lebih baik dari material utamanya. Berdasarkan uraian diatas, maka akan melakukan penelitian dengan judul “Analisis Uji *Impact* Pada Baja ST60 Dengan Variasi Ketebalan Lapisan Karbon Fiber Aplikasi Kerangka Mobil Listrik”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah: Bagaimanakah ketangguhan baja ST60 dengan variasi ketebalan lapisan karbon fiber untuk aplikasi mobil listrik?

1.3. Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan, maka tujuan penelitian ini adalah: Menganalisis ketangguhan baja ST60 dengan variasi ketebalan lapisan karbon fiber untuk aplikasi mobil listrik.

1.4. Batasan Masalah

Karena luasnya masalah ilmu tentang material, maka yang akan dibahas adalah mencakup logam baja ST60 dan komposit karbon fiber. Batasan yang diberikan agar peneliti lebih spesifik adalah sebagai berikut:

1. Variasi sudut serat yang digunakan untuk melapisi spesimen yaitu 45^0 dan 90^0 , karena variasi orientasi serat 45^0 dan 90^0 memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan komposit. Penggunaan orientasi 45^0 dan 90^0 diharapkan agar kekuatan maksimal dari komposit dapat muncul setelah digunakan (Lokantara dan Suardana: 2007).
2. Ketebalan lapisan adalah 3 mm, 5 mm, dan 7 mm.

Penggunaan ketebalan 3 mm bermaksud agar benda uji yang dilapisi tidak terkena takikan sedalam 2 mm dan menyisakan 1 mm yang dapat digunakan sebagai perbandingan dengan benda uji sebelumnya yaitu yang tanpa menggunakan lapisan. Penggunaan ketebalan 3 mm dan 5 mm (Haryanto dan Fitrianto: 2013) dan 7 mm (Putradi: 2011) bertujuan agar perbandingan dengan benda uji sebelum atau sesudahnya memiliki perbedaan yang mencolok.

1.5. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sesuatu yang bermanfaat, manfaatnya penelitian sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis
 - a. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan kajian atau informasi bagi dunia kerja khususnya penggunaan serat karbon.

- b. Memberikan sumbangan positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya ilmu bahan.

2. Manfaat Praktis

- a. Menambah wawasan tentang pengujian bahan pada baja karbon ST60 yang diberi pelapisan karbon fiber.
- b. Sebagai sumbangan karya ilmiah untuk Jurusan Teknik Mesin tentang uji *impact* pada baja karbon ST60 yang dilapisi karbon fiber.
- c. Sebagai perbandingan pada penelitian sejenisnya untuk pengembangan teknologi khususnya dibidang pelapisan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Baja Karbon

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C) dimana besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utama dengan kandungan kurang dari 2%. Baja karbon dibagi menjadi 3 kategori berdasarkan presentasi kandungan karbonnya, yaitu: baja karbon rendah (C= 0,03-0,35 %), baja karbon sedang (C= 0,35-0,55 %), dan baja karbon tinggi (C= 0,55-1,70 %). Baja karbon rendah kurang sensitif terhadap perlakuan panas sehingga untuk meningkatkan kekuatannya perlu dilakukan pengerjaan dingin. Berbeda dengan baja karbon rendah, kekuatan baja karbon sedang dapat ditingkatkan dengan cara memberikan perlakuan. Kategori yang terakhir yaitu baja karbon tinggi memiliki sifat yang keras tapi kurang ulet.

Baja merupakan logam yang banyak dipakai di bidang teknik karena kekuatan tarik yang tinggi dan keuletan yang baik. Paduan ini mempunyai sifat mampu bentuk (*formability*) yang baik dan sifat-sifat mekaniknya dapat diperbaiki dengan jalan perlakuan panas atau perlakuan mekanik. Baja ST60 merupakan golongan baja karbon sedang yang memiliki kandungan karbon 0,4644%. Hal ini dibuktikan dengan pengujian komposisi yang dilakukan oleh PT Itokoh Ceperindo Katen yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 1. Komposisi Baja ST60

C	Si	Mn	S	P	Cu
0,4644%	0,2401	0,6973%	0,0117	0,0204	0,0195

Sumber: Hasil Uji Komposisi di PT Itokoh Ceperindo Klaten

Dengan kadar karbon sedang yang dimiliki Baja ST60 menjadikan baja ini memiliki sifat-sifat pengerjaan dan kekuatan yang sangat baik. Apabila baja ini diberi perlakuan yang tepat maka akan didapatkan kekerasan dan keuletan sesuai dengan yang diinginkan.

Baja karbon rendah dalam perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan atau profil. Baja ini disebut baja ringan (*mild steel*) atau baja perkakas. Baja ini dapat dijadikan mur, baut, sekrup, peralatan senjata, alat perangkat presisi, batang tarik, perkakas silinder, dan penggunaan yang hampir sama. Baja ini juga dapat diselesaikan dengan pengerjaan dingin dengan cara merendam atau mencelupkan baja kedalam larutan asam yang berguna untuk mengeluarkan lapisan oksigennya. Baja diangkat dan digiling sampai ukuran yang diinginkan. Proses ini menghasilkan baja yang lebih licin, sehingga lebih baik sifatnya dan bagus untuk dibuat mesin perkakas.

Baja karbon menengah ini banyak digunakan untuk keperluan alat-alat perkakas bagian mesin. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja maka baja karbon ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti untuk keperluan industri kendaraan, roda gigi, pegas dan sebagainya.

Baja karbon tinggi ini mempunyai kekuatan paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang

terkandung didalam baja maka baja karbon inibanyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat-alat perkakas seperti: palu, gergaji atau pahat potong. Selain itu baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji dan lain sebagainya. Baja karbon sedang dan baja karbon tinggi banyak mengandung karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja tersebut.

2.1.2 Komposit

Kata komposit berasal dari kata "*to compose*" yang berarti menyusun atau menggabung. Secara sederhana bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Jadi komposit adalah suatu bahan yang merupakan gabungan atau campuran dari dua material atau lebih pada skala makroskopis untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat.

Menurut Kroschwitz dalam Carli, dkk, (2012: 31) juga menyatakan bahwa komposit adalah bahan yang terbentuk apabila dua atau lebih komponen yang berlainan digabungkan. Selain itu ada juga yang menyatakan bahwa bahan komposit adalah kombinasi bahan tambah yang berbentuk serat, butiran seperti pengisi serbuk logam, serat kaca, karbon, aramid (kevlar), keramik dan serat logam dalam julat panjang yang berbeda-beda di dalam matriks. Bahan komposit mempunyai ciri-ciri dan komposisi yang berbeda-beda untuk menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat dan ciri tertentu yang berbeda dari sifat dan ciri konstituen asalnya. Komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia

maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Dengan adanya perbedaan dari material penyusunnya maka komposit antar material harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent*.

Komposit adalah bahan yang terbentuk apabila dua atau lebih komponen yang berlainan digabungkan. Selain itu ada juga yang menyatakan bahwa bahan komposit adalah kombinasi bahan tambah yang berbentuk serat, butiran seperti pengisi serbuk logam, serat kaca, karbon, aramid (kevlar), keramik dan serat logam dalam julat panjang yang berbeda-beda didalam matriks. Bahan komposit mempunyai densiti yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan bahan konvensional. Kejadian ini memberikan implikasi yang lebih penting dalam konteks penggunaan, karena komposit akan mempunyai kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi dari bahan konvensional. Pengurangan berat adalah satu aspek yang penting dalam industri pembuatan seperti *automobile* dan pesawat terbang, hal ini karena berhubungan dengan penghematan bahan bakar.

Pada bahan komposit, sifat-sifat unsur pembentuknya masih terlihat jelas yang pada paduan sudah tidak lagi tampak secara nyata. Justru keunggulan bahan komposit di sini adalah penggabungan sifat-sifat unggul masing-masing unsur pembentuknya tersebut. Penggabungan material yang berbeda bertujuan untuk menemukan material baru yang mempunyai sifat antara material penyusunnya yang tidak akan diperoleh jika material penyusunnya berdiri sendiri. Material penyusun komposit tersebut biasa

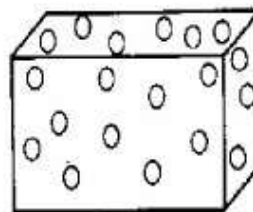
berupa *fibers, particle, laminate or layers, flakes fillers*, dan matrik. Matrik sering disebut sebagai unsur pokok bodi sedangkan *fibers, particle, laminate or layers, flakes fillers* disebut sebagai unsur pokok struktur. Sifat – sifat yang dapat diperbaiki antara lain : kekuatan, kekakuan, ketahanan lelah, ketahanan *bending*, ketahanan korosi, berat jenis, pengaruh terhadap temperatur, isolasi termal dan isolasi konduktifitas. Secara umum penggolongan komposit dapat dibedakan menjadi dua, yaitu berdasarkan matrik dan penguatnya. Berdasarkan matriknya komposit digolongkan menjadi tiga, yaitu:

- a. Komposit matrik logam, yaitu logam sebagai matriknya.
- b. Komposit matrik polimer, yaitu polimer sebagai matriknya.
- c. Komposit matrik keramik, yaitu keramik sebagai matriknya.

Yang kedua adalah berdasarkan unsur penguatnya, digolongkan menjadi tiga :

- a. Komposit partikel, yaitu penguatnya berbentuk partikel.

Komposit partikel terdiri dari matrik yang berukuran kecil dengan bentuk butir. Skema komposit partikel dapat dilihat seperti gambar berikut:

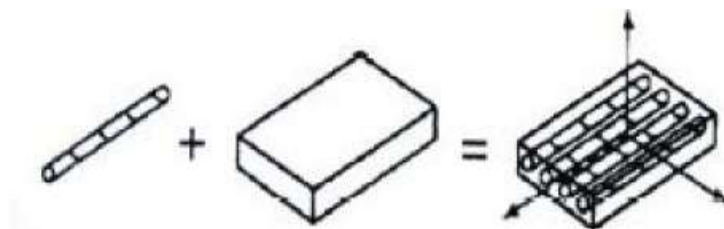


Gambar 1. Komposit Partikel

Menurut Mahayatra, dkk, (2013: 14) komposit partikel merupakan komposit yang mengandung bahan penguat berbentuk serbuk. Sifat-sifat komposit partikel dipengaruhi beberapa faktor yaitu ukuran dan bentuk partikel, bahan partikel, rasio perbandingan antara partikel, dan jenis matrik. Keunggulan komposit polimer yang menggunakan partikel antara lain dapat meningkatkan sifat fisis material seperti kekuatan mekanis, dan *modulus elastisitas*, serta kekuatan komposit lebih homogen (merata). Keuntungan lain dari komposit yang disusun oleh *reinforcement* berbentuk partikel adalah:

1. Kekuatan lebih seragam pada berbagai arah.
 2. Dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan meningkatkan kekerasan material.
 3. Cara penguatan dan pengerasan oleh partikular adalah dengan menghalangi pergerakan dislokasi.
- b. Komposit serat (fiber), yaitu penguatnya berbentuk serat.

Skema komposit dengan serat sebagai penguatnya dapat kita lihat pada gambar berikut:



Gambar 2. Komposit Serat.

Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung

dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan oleh serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum, oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan *modulus elastisitas* yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Fiber yang digunakan harus memiliki syarat sebagai berikut:

- 1) Mempunyai diameter yang lebih kecil dari diameter bulknya (matriksnya) namun harus lebih kuat dari bulknya.
 - 2) Harus mempunyai *tensile strength* yang tinggi.
- c. Komposit struktur, yaitu cara penggabungan material komposit.



Gambar 3. Komposit Struktur.

Komposit struktural dibentuk oleh *reinforce- reinforce* yang memiliki bentuk lembaran-lembaran. Berdasarkan struktur, komposit dapat dibagi menjadi dua yaitu struktur *laminata* dan struktur *sandwich*.

1. *Laminata*

Laminata adalah gabungan dari dua atau lebih lamina (satu lembar komposit dengan arah serat tertentu) yang membentuk elemen struktur secara integral pada komposit. Proses pembentukan lamina ini menjadi *laminata* dinamakan proses *laminai*. Sebagai elemen sebuah struktur, lamina yang

serat penguatnya searah saja (*unidirectional lamina*) pada umumnya tidak menguntungkan karena memiliki sifat yang buruk. Untuk itulah struktur komposit dibuat dalam bentuk *laminated* yang terdiri dari beberapa macam lamina atau lapisan yang diorientasikan dalam arah yang diinginkan dan digabungkan bersama sebagai sebuah unit struktur.

2. *Sandwich*

Komposit *sandwich* merupakan salah satu jenis komposit struktur yang sangat potensial untuk dikembangkan. Komposit *sandwich* merupakan komposit yang tersusun dari 3 lapisan yang terdiri dari *flat composite (metal sheet)* sebagai kulit permukaan (*skin*) serta material inti (*core*) di bagian tengahnya (berada di antaranya). *Core* yang biasa dipakai adalah *core import*, seperti *polyuretan (PU)*, *polyvinyl Chlorida (PVC)*, dan *honeycomb*. Komposit *sandwich* dibuat dengan tujuan untuk efisiensi berat yang optimal, namun mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi, sehingga untuk mendapatkan karakteristik tersebut, pada bagian tengah diantara kedua *skin* dipasang *core*. Komposit *sandwich* merupakan jenis komposit yang sangat cocok untuk menahan beban lentur, impak, meredam getaran dan suara. Komposit *sandwich* dibuat untuk mendapatkan struktur yang ringan tetapi mempunyai kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Biasanya pemilihan bahan untuk komposit *sandwich*, syaratnya adalah ringan, tahan panas dan korosi, serta harga juga dipertimbangkan. Dengan menggunakan material inti yang sangat ringan, maka akan dihasilkan komposit yang mempunyai sifat kuat, ringan, dan kaku. Komposit *sandwich* dapat diaplikasikan sebagai struktural

maupun non-struktural bagian internal dan eksternal pada kereta, bus, truk, dan jenis kendaraan yang lainnya.

Bahan komposit mempunyai beberapa kelebihan berbanding dengan bahan konvensional seperti logam. Kelebihan tersebut pada umumnya dapat dilihat dari beberapa sudut yang penting seperti sifat-sifat mekanikal dan fisikal, keupayaan (*reliability*), keboleh-prosesan dan biaya, seperti yang diuraikan dibawah ini :

a. Sifat-sifat mekanikal dan fisikal

Pada umumnya pemilihan bahan matriks dan serat memainkan peranan penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik dan sifat komposit. Gabungan matriks dan serat dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional.

- 1) Bahan komposit mempunyai *density* yang jauh lebih rendah berbanding dengan bahan konvensional, ini memberikan implikasi yang penting dalam konteks penggunaan karena komposit akan mempunyai kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi dari bahan konvensional. Implikasi kedua ialah produk komposit yang dihasilkan akan mempunyai kerut yang lebih rendah dari logam. Pengurangan berat adalah satu aspek yang penting dalam industri pembuatan seperti *automobile* dan angkasa lepas. Ini karena berhubungan dengan penghematan bahan bakar.
- 2) Industri angkasa lepas terdapat kecenderungan untuk menggantikan komponen yang diperbuat dari logam dengan komposit karena telah

terbukti komposit mempunyai rintangan terhadap *fatigue* yang baik terutama komposit yang menggunakan serat karbon.

- 3) Kelemahan logam yang agak terlihat jelas ialah rintangan terhadap kakisa yang lemah terutama produk yang kebutuhan sehari-hari. Kecendrungan komponen logam untuk mengalami kakisan menyebabkan biaya pembuatan yang tinggi. Bahan komposit sebaiknya mempunyai rintangan terhadap kakisan yang baik.
- 4) Bahan komposit juga mempunyai kelebihan dari segi *versatility* (berdaya-guna) yaitu produk yang mempunyai gabungan sifat-sifat yang menarik yang dapat dihasilkan dengan mengubah sesuai jenis matriks dan serat yang digunakan. Contoh dengan menggabungkan lebih dari satu serat dengan matriks untuk menghasilkan komposit *hibrid*.
- 5) Massa jenis rendah (ringan)
- 6) Lebih kuat dan lebih ringan
- 7) Perbandingan kekuatan dan berat yang menguntungkan.
- 8) Lebih kuat (*stiff*), ulet (*tough*) dan tidak getas.
- 9) Koefisien pemuaian yang rendah.
- 10) Tahan terhadap cuaca.
- 11) Tahan terhadap korosi.
- 12) Mudah diproses (dibentuk).

b. Biaya

Faktor biaya juga memainkan peranan yang sangat penting dalam membantu perkembangan industri komposit. Biaya yang berkaitan erat

dengan penghasilan suatu produk yang seharusnya memperhitungkan beberapa aspek seperti biaya bahan mentah, pemrosesan, tenaga manusia, dan sebagainya.

Selain memiliki kelebihan yang bermacam-macam, bahan komposit juga memiliki kekurangan. Kekurangan dari bahan komposit adalah sebagai berikut:

- a. Tidak tahan terhadap beban *shock* (kejut) dan *crash* (tabrak) dibandingkan dengan metal.
- b. Kurang elastis
- c. Lebih sulit dibentuk secara plastis

2.1.3 Karbon Fiber

Secara morfologi karbon ada dalam berbagai bentuk, bubuk karbon aktif, pelumas padat dan karbon seperti gelas hitam yang sangat keras (Surdia dan Saito, 2000: 371). Jenis dan penggunaan karbon sangat luas. Sekarang sudah ada produksi masa dari serat karbon yang elastis dan dengan sifatnya yang ringan bahan ini memberikan harapan pada berbagai penggunaan. Karbon fiber adalah sebuah material komposit atau plastik diperkuat fiber yang kuat, ringan, tetapi mahal. Plastik diperkuat gelas yang sering kali disebut *fiberglass*, material komposit umumnya ditunjuk oleh nama serat penguatnya (karbon fiber). Bahan ini memiliki banyak aplikasi dalam konstruksi pesawat, otomotif, kapal layar, dan terutama banyak dipakai untuk kontruksi rangka sepeda modern, di mana kekuatan dan berat yang ringan sangat penting.

Menurut Sianipar (2009: 21-22), *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* merupakan sejenis plat baja tipis yang didalamnya terdapat serat-serat karbon dan fiber. Pemakaian *CFRP* pada suatu konstruksi biasanya disebabkan oleh beberapa hal yaitu:

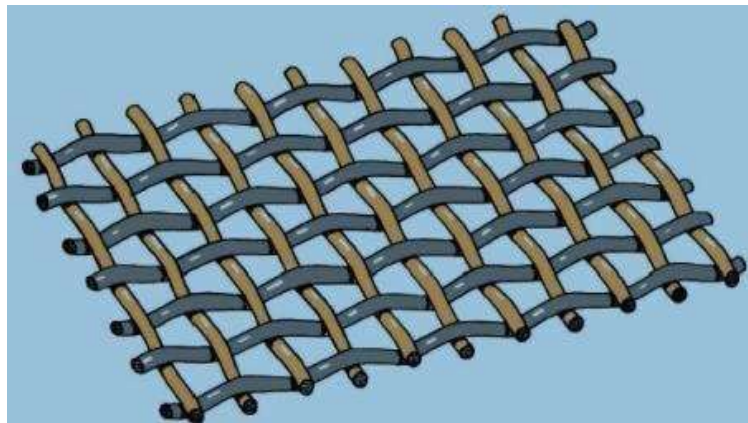
- a. Terjadinya kesalahan pada perencanaan.
- b. Adanya kerusakan-kerusakan dari bagian struktur sehingga dikhawatirkan tidak berfungsi sesuai dengan yang diharapkan.
- c. Adanya perubahan fungsi pada sistem struktur dan adanya pemanbahan beban yang melebihi beban rencana.



Gambar 4. Serat Karbon.

Perkuatan tambahan ini telah banyak digunakan diberbagai belahan dunia. Disamping karena bahan tambahan ini efektif, juga disebabkan karena keuntungannya lebih dari sistem perkuatan lainnya. Karbon fiber merupakan salah satu jenis *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* yang terbuat dari karbon. Beberapa tahun belakangan ini penggunaan baja dalam beberapa aplikasi

vital mulai tereduksi oleh hadirnya *Carbon Fiber-Reinforced Polymer*. *Carbon Fiber Reinforced Plate* (CFRP) yang menawarkan beberapa keunggulan yang tidak dimiliki oleh baja tulangan yaitu: mempunyai kuat tarik yang jauh lebih tinggi dari kuat tarik baja tulangan, yaitu sebesar 2800 MPa, mempunyai kekakuan yang cukup tinggi dimana modulus elastisitasnya (E) 165.000 MPa, tidak mengalami korosi karena terbuat dari bahan non logam, mempunyai penampang yang kecil dan ringan dengan berat 1,5 gr/cm³, serta mudah pemasangannya (Pangestuti dan Handayani, 2009: 108).



Gambar 5. Susunan Arah Serat Karbon

Serat karbon sebagai alternatif serat grafit, grafit karbon atau CF, adalah bahan yang terdiri dari serat yang sangat tipis sekitar 0,005-0,010 mm dan sebagian besar terdiri dari atom karbon. Atom karbon yang terikat bersama dalam kristal mikroskopis yang lebih atau kurang sesuai sejajar dengan sumbu panjang serat.

Kepadatan serat karbon juga lebih rendah daripada densitas dari baja, sehingga ideal untuk aplikasi yang memerlukan berat konstruksi rendah selain itu sifat dari serat karbon seperti kekuatan tarik tinggi, berat yang

rendah membuatnya sangat populer dikedirgantaraan, teknik sipil, teknik mesin militer, dan olahraga motor, namun relatif mahal jika dibandingkan dengan bahan yang sama seperti *fiberglass* atau plastik. Serat karbon yang sangat kuat ketika meregangkan atau bengkok, tapi lemah ketika tekanan atau terkena *shock* tinggi (misalnya serat karbon *bar* sangat sulit untuk menekuk, tetapi akan retak dengan mudah jika dipukul dengan palu). Penggunaan karbon fiber memerlukan bahan pengikat agar diperoleh aksi komposit antara material dan karbon fiber. Serat karbon dengan *filament* 3000 mempunyai berat 0.210 gr/m.

Tabel 2. Sifat Fisik Karbon Fiber (*Filament* 3000)

<i>Physical Properties</i>	<i>Metric</i>	<i>English</i>	<i>Comments</i>
<i>Density</i>	1.79 gr/cc	0.0647 lb/in ³	
<i>Mechanical properties</i>	<i>Metric</i>	<i>English</i>	<i>Comments</i>
<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	4070 MPa	590000 psi	
<i>Elongation at Break</i>	1.8 %	1.8 %	
<i>Modulus of Elasticity</i>	228 GPa	33100 ksi	<i>Tensile modulus calculated at secant</i> 6000-1000

Sumber: ASM (*Aerospace Specification Metal, inc.*)

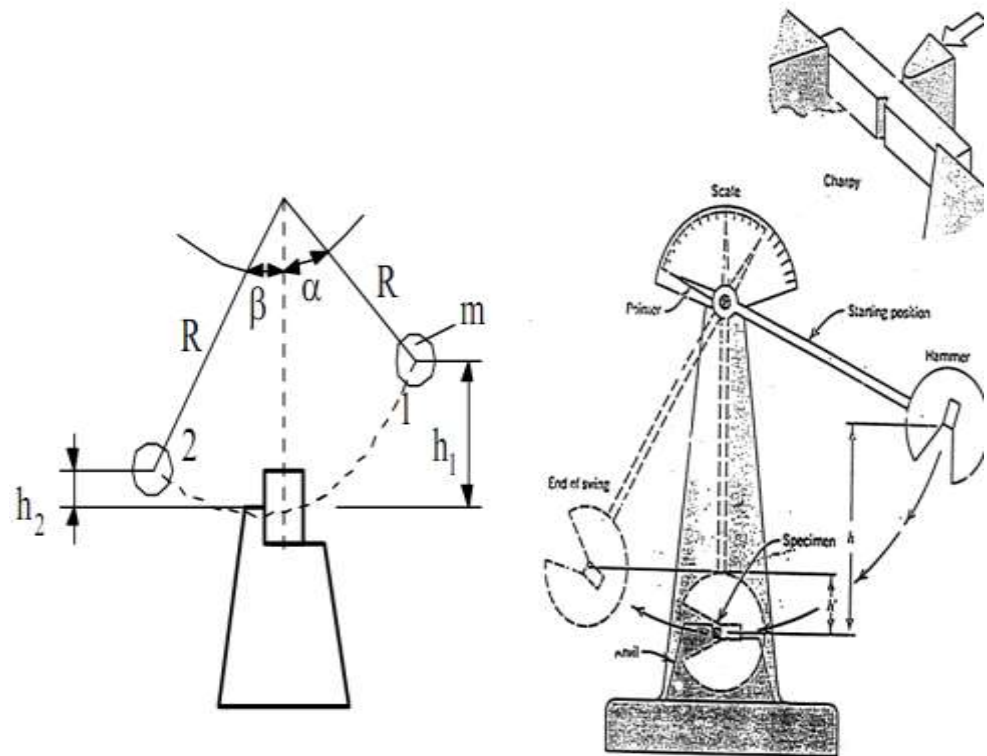
2.1.4 Pengujian *Impact*

Pengujian bahan adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu. Pengujian *impact* menurut Malau (2008: 189), bertujuan untuk

mengetahui kemampuan spesimen menyerap energi yang diberikan. Pengujian *impact* merupakan salah satu proses pengukuran terhadap sifat kerapuhan bahan. Sifat keuletan atau *toughness* dari suatu bahan yang tidak dapat terdeteksi oleh pengujian lain, jika dua buah bahan akan memiliki sifat yang mirip sama namun jika diuji dengan *impact test* itu akan berbeda. Pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap pembebanan kejut (*shock resistance*), seperti kerapuhan yang disebabkan oleh perlakuan panas atau sifat kerapuhan dari produk tuangan (*Casting*) serta pengaruh bentuk dari produk tersebut.

Pengujian *impact* merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba. Pengujian ini dilakukan pada mesin uji yang dirancang dengan memiliki sebuah pendulum dengan berat tertentu yang mengayun dari suatu ketinggian untuk memberikan beban kejut, dalam pengujian ini terdapat dua macam cara pengujian yakni cara “*Izod*” dan cara “*Charpy*” yang berbeda menurut arah pembebanan terhadap bahan uji serta kedudukan bahan uji (Sudjana, 2008: 453). Pada pengujian standar *Charpy* dan *Izod*, dirancang dan digunakan untuk mengukur energi impak yang dikenal dengan ketangguhan takik. Spesimen *charpy* berbentuk batang dengan penampang lintang bujur sangkar dengan takikan V oleh proses permesinan.

Pembebanan dalam proses pengujian pukul takik (*impact test*), diberikan oleh ayunan pendulum dengan berat G dan jarak terhadap sumbu putar R yang bergerak dari ketinggian h_1 pada sudut awal α .



Gambar 6. Ilustrasi Skematis Pengujian *Impact Charpy*

Pada uji *impact*, energi yang diserap untuk mematahkan benda uji harus diukur. Setelah bandul dilepas maka benda uji akan patah, setelah itu bandul akan berayun kembali, semakin besar energi yang terserap, semakin rendah ayunan kembali dari bandul. Energi terserap biasanya dapat dibaca langsung pada skala penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin penguji. Energi terserap juga dapat dituliskan dalam bentuk rumus :

$$E = m \cdot g (h_1 - h_2) = \text{ gaya } \times \text{ jarak} \quad (\text{Wibowo, 2013: 18})$$

dimana :

E = energi terserap = tenaga untuk mematahkan benda uji (Joule)

m = massa pendulum (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2) = 10 m/s^2

h_1 = tinggi jatuh palu godam (m) = $R+R \sin (\alpha - 90)$

h_2 = tinggi ayunan palu godam (m) = $R+R \sin (\beta - 90)$

R = jarak titik putar ke titik berat palu godam (m)

α = sudut jatuh ($^\circ$)

β = sudut ayun ($^\circ$)

Sehingga :

$$\text{Harga } impact = \frac{\text{Energi terserap (Joule)}}{\text{Luas penampang patahan benda uji (mm}^2\text{)}}$$

2.1.5 Model Kegagalan

Menurut Afrizal dan Richardo (2011: 17), pengamatan dari *impact charpy* dapat dilakukan melalui penelaahan permukaan patahan, seperti: patahan berserat, patahan *granular*, atau patahan belah, dan patahan campuran dari keduanya. Bentuk patahan yang berbeda-beda ini dapat ditentukan dengan mudah, walaupun pengamatan permukaan patahan tidak diperbesar. Model patahan komposit *sandwich* yang mengalami beban *impact* biasanya berupa *pull-out*, *core shear*, delaminasi dan *indentation* dan lain-lain.

- a. Perilaku gagal *core shear* biasanya terjadi pada balok *sandwich* dengan *skin* yang relatif tebal dengan *span* yang pendek. Kegagalan didominasi oleh lemahnya kekuatan *core* yang digunakan.
- b. Kegagalan *pull-out* merupakan jenis kerusakan yang terjadi karena lepasnya ikatan antara serat dengan epoksi terjadi karena air berdifusi ke dalam serat terutama serat yang bersifat *hydrophilic* sehingga daya ikat antara serat dengan matrik semakin rendah.

- c. *Pull-in* merupakan perbedaan tegangan rata-rata dari komposit dapat disebabkan oleh beberapa sebab diantaranya adalah kekuatan komposit yang kurang merata disetiap tempat dan distribusi serat yang kurang merata sehingga energi yang diserap menjadi lebih kecil.
- d. *First crack* merupakan kerusakan yang terjadi pada saat awal pembebanan yang mengakibatkan keretakan pada spesimen. Keretakan awal pada spesimen ini sering terjadi pada bidang yang mendapat titik pembebanan. Kerusakan ini terjadi karena bahan material spesimen bersifat getas dan tidak mampu menahan geser yang diberikan.
- e. *Finally crack* merupakan batas titik akhir dari kerusakan yang terjadi pada kerusakan awal. *Finally crack* terjadi karena material spesimen mampu menyerap energi pembebanan yang diberikan, sehingga material spesimen tidak sampai putus karena pembebanan.
- f. Kegagalan delaminasi merupakan jenis kerusakan yang berbentuk pengelupasan pada permukaan. Delaminasi sering terjadi pada struktur bertulang akibat kurangnya lapisan perekat. Kerusakan ini bisa terjadi pada konstruksi karena kegagalan pada pembuatan campuran, reaksi kimia, kelebihan beban dan sebagainya, oleh karena itu perlu diperhitungkan agar kerusakan ini tidak terjadi pada konstruksi.

2.1.6 Rangka Kendaraan

Bagian kendaraan secara umum dibagi menjadi 2 bagian yaitu terdiri dari *chasis* dan *body* kendaraan. Namun dalam penelitian ini akan dititik beratkan pada bagian *chasis* atau rangka kendaraan. *Chasis* adalah bagian

dari kendaraan yang berfungsi sebagai penopang *body* dan terdiri dari *frame* (rangka), *engine* (mesin), *power train* (pemindah tenaga), *wheels* (roda-roda), steering sistem (sistem kemudi), *suspension system* (sistem suspensi), *brake system* (sistem rem) dan kelengkapan lainnya (Gunadi, 2008: 4).Rangka merupakan salah satu bagian penting pada mobil (tulang punggung) harus mempunyai konstruksi kuat untuk menahan atau memikul beban kendaraan. Semua beban dalam kendaraan baik itu penumpang, mesin, sistem kemudi, dan segala peralatan kenyamanan semuanya diletakan di atas rangka. Setiap konstruksi rangka harus mampu untuk menahan semua beban dari kendaraanya.

Rangka merupakan tempat menempelnya semua komponen kendaraan termasuk *body*. Rangka harus kuat, ringan, kukuh dan tahan terhadap getaran, atau guncangan yang diterima dari kondisi jalan, agar kuat maka konstruksi rangka ada yang kotak, bentuk U atau pipa, yang pada umumnya terdiri dari dua batang yang memanjang dan dihubungkan dengan bagian yang melintang. Pada awal perkembangan teknologi *body* dan rangka kendaraan, *body* dan rangka dibuat secara terpisah (*composite body*) namun akhir-akhir ini *body* dan rangka dibuat menyatu (*monocoque body*, atau disebut juga *integral body*) khususnya pada kendaraan sedan atau biasa disebut dengan kendaran pribadi.

Rangka adalah suatu struktur yang ujung-ujungnya disambung kaku (las atau lebih dari satu). Semua batang yang disambung secara kaku (jepit) mampu menahan gaya aksial, gaya normal, dan momen. Elemen rangka

merupakan elemen dua dimensi dan kombinasi antara elemen *truss* dan *beam*, sehingga ada tiga macam simpangan pada setiap titik nodal yaitu simpangan horisontal, vertikal, dan rotasi, oleh karena itu, dibutuhkan material yang kuat untuk memenuhi spesifikasi tersebut. Sebuah kendaraan bermotor terbentuk dari beberapa bagian utama, yaitu:

- a) *Frame chasis*.
- b) *Body*.
- c) Sistem penghasil tenaga (*power plane*).
- d) Sistem penerus tenaga (*driver train*).

Ada juga beberapa fungsi utama dari rangka, yaitu :

- a) Untuk mendukung berat dari *body* kendaraan, penumpang, dan mesin.
- b) Untuk mengakomodasikan *suspensi*.
- c) Untuk menahan torsi dari mesin, transmisi, aksi percepatan perlambatan, dan juga menahan kejutan yang diakibatkan bentuk permukaan jalan.
- d) Untuk meredam dan menyerap energi akibat beban kejut.
- e) Sebagai landasan untuk meletakkan *body* kendaraan, mesin, sistem *transmisi*, tangki bahan bakar dan lain-lain.
- f) untuk menahan getaran dari mesin dan getaran akibat permukaan jalan.

Rangka *chasis* pada mobil pada umumnya mempunyai konstruksi yang sederhana, terdiri dari bagian yang membujur dan melintang. Bagian yang membujur umumnya untuk mengikat bagian yang melintang agar konstruksi *chasis* lebih kokoh dan kuat menahan beban, agar dapat berfungsi

sebagaimana mestinya, rangka harus memenuhi beberapa persyaratan, diantaranya :

- a. Kuat dan kokoh, sehingga mampu menopang mesin beserta kelengkapan kendaraan lainnya, menyangga penumpang maupun beban tanpa mengalami kerusakan atau perubahan bentuk.
- b. Ringan, sehingga tidak terlalu membebani mesin (meningkatkan efektivitas tenaga yang dihasilkan mesin).
- c. Mempunyai nilai kelenturan atau *fleksibilitas*, yang berfungsi untuk meredam getaran atau guncangan berlebihan yang diakibatkan tenaga yang dihasilkan mesin maupun akibat kondisi jalan yang buruk.

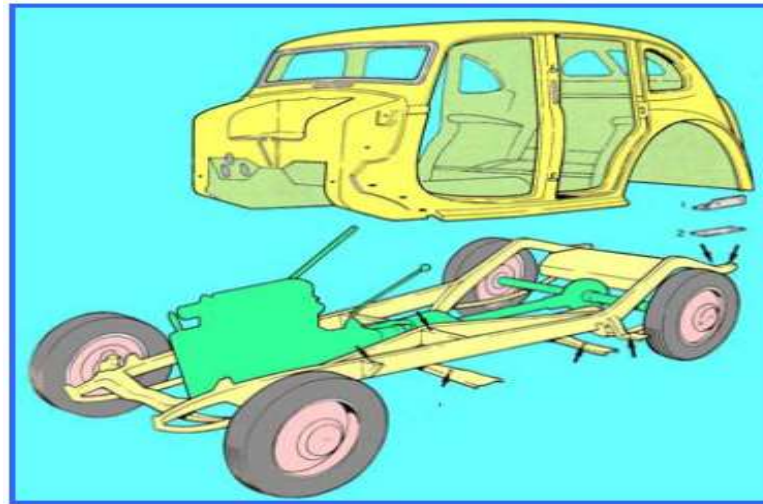
2.1.7 Tipe Kontruksi Bentuk Rangka

Berdasarkan pada kontruksi menempelnya *body* pada rangka, maka terdapat 2 jenis kontruksi *body* kendaraan, yaitu kontruksi *composite* (terpisah) dan kontruksi *monocoq* (menyatu).

a. Kontruksi Terpisah (*composite*)

Merupakan jenis kontruksi *body* kendaraan dimana *body* dan rangkanya terpisah. Penyambungan antara *body* dan rangka menggunakan baut dan mur. Guna meningkatkan kenyamanan saat digunakan, maka antara *body* dan rangka dipasang karet sebagai alat peredam getaran. Kontruksi *body* dan rangka yang terpisah ini memberikan kemudahan dalam pergantian bagian *body* kendaraan yang mengalami kerusakan, terutama *body* bagian bawah atau putus rangkanya. Kontruksi ini biasanya digunakan pada

kendaraan sedan tipe lama, kendaraan penumpang dan mobil angkutan barang.



Gambar 7. Kontruksi *Composite Body*.

b. Kontruksi Menyatu (*Monocoque*)

Merupakan jenis konstruksi bodi kendaraan dimana bodi dan rangka tersusun menjadi satu kesatuan. Konstruksi ini menggunakan prinsip kulit telur, yaitu merupakan satu kesatuan yang utuh sehingga semua beban terbagi merata pada semua bagian kulit. Pertautan antara bodi dan rangka menggunakan las, karena bodi dan rangka menyatu, maka bentuknya dapat menjadi lebih rendah dibanding dengan tipe *composite* sehingga titik berat gravitasi lebih rendah menyebabkan kendaraan akan lebih stabil. Konstruksi ini digunakan pada sedan, bahkan beberapa kendaraan MPV (*Multi Purpose Vehicle*) mulai menerapkan konstruksi *monocoq body*.



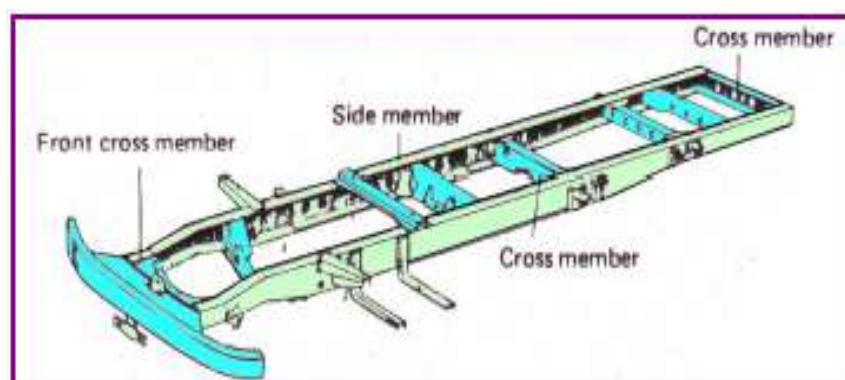
Gambar 8. Kontruksi Bodi Integral (*Monocoque Body*).

2.1.8 Jenis Jenis Rangka

Berdasarkan bentuknya, rangka kendaraan dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu: (a) rangka bentuk H, (b) rangka perimeter, (c) rangkabentuk X, (d) rangka bentuk tulang punggung (*backbone*), dan rangka bentuk lantai (*platform frame*).

a. Rangka Bentuk H

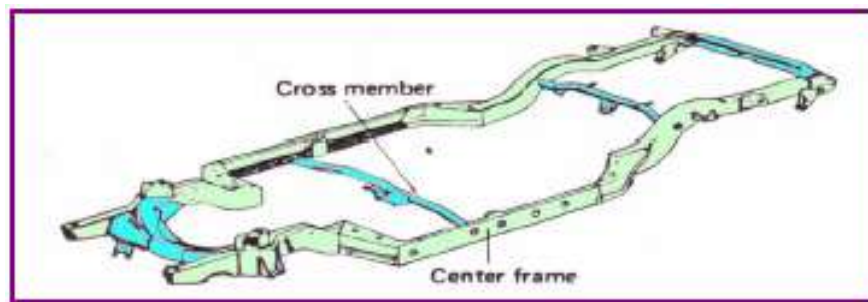
Kontruksi rangka bentuk H sangat sederhana, mudah dibuat, banyak digunakan untuk kendaraan *bus* dan *truck*.



Gambar 9. Kontruksi Rangka Bentuk H

b. Rangka perimeter

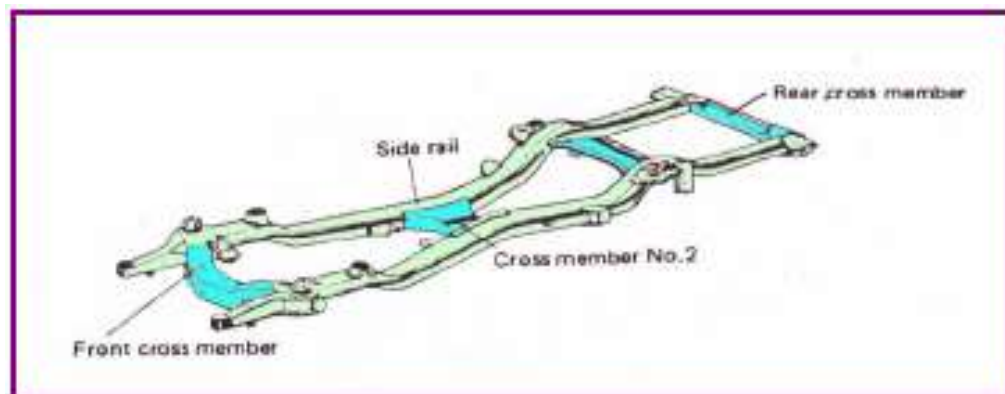
Rangka perimeter merupakan penyempurnaan bentuk H, bodi menempel pada pinggir rangka sehingga posisi lantai dapat diturunkan. Penurunan lantai kendaraan akan menurunkan titik pusat berat kendaraan dan tinggi kendaraan berkurang sehingga pengemudian mantap, ruang penumpang menjadi lebih luas, banyak digunakan untuk sedan.



Gambar 10. Kontruksi Rangka Perimeter

c. Rangka Bentuk X

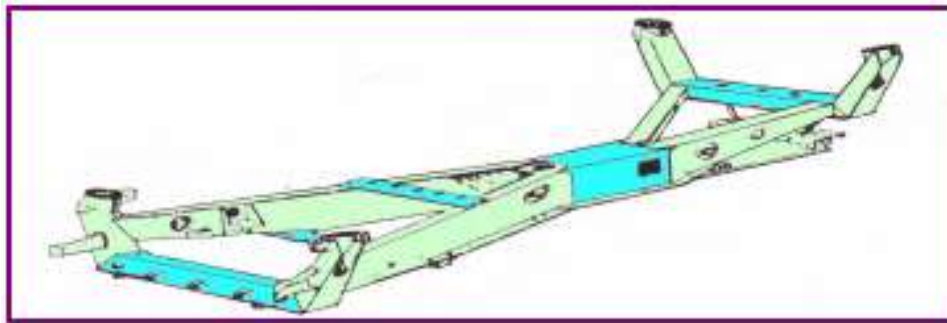
Konstruksi rangka balok terdiri atas dua batang rangka utama berbentuk balok memanjang disatukan dibagian tengah. Tempat pertautan dengan bodi dan pintu dapat dibuat rendah sehingga memudahkan keluar-masuk kendaraan, kuat terhadap putaran, digunakan untuk sedan tipe lama



Gambar 11. Kontruksi Rangka Bentuk X

d. Rangka bentuk tulang punggung (*Back Bone*)

Konstruksi rangka merupakan rangka model tunggal, bagian tengah memikul beban (punggung) dan lengan yang menonjol sebagai pemegang bodi. Konstruksi rangka semacam ini juga memungkinkan titik pusat berat kendaraan dibuat lebih rendah. Konstruksi rangka model ini sering digunakan untuk mobil penumpang dan *truck*.



Gambar 12. Kontruksi Rangka Bentuk *Back Bone*

2.2 Penelitian Terdahulu yang Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh Anwar (2011: 18) mengungkapkan bahwa dengan pola pemberian pelapisan FRP lebar 5 cm 2 strip 1 lapis overlap 10 cm, bahwa pada daerah geser tidak terjadi perubahan retak yang berarti, tetapi kehancuran terjadi pada daerah desak beton. Peristiwa tersebut menunjukkan bahwa pelapisan CFS pada daerah-daerah yang terjadi perlemahan menjadi kuat yang dapat meningkatkan ketahanan struktur bila pelaksanaannya mendapat pola yang baik.

Penelitian yang dilakukan oleh Pangestuti dan Handayani (2009: 114) mengungkapkan bahwa penempatan pelat *CFRP* sebagai tulangan eksternal dapat menghambat munculnya *first crack*. Penelitian diatas, dapat

disimpulkan bahwa penggunaan karbon fiber (*Carbon Fiber Reinforced Plate*) mampu menambah nilai ketangguhan suatu material.

Penelitian yang dilakukan oleh Anakottapary dan Nindhia (2010: 104-105) mengungkapkan bahwa hasil yang lebih baik diperoleh pada komposit polimer dengan ditambahkan dua lapis serat karbon pada bagian atas dan bagian bawah sehingga menghasilkan penahanan terjangan proyektil yang lebih baik yaitu dari 13 mm sebelum tumbukan menjadi 5 mm setelah tumbukan. Penelitian yang dilakukan oleh Anakottapary dan Nindhia diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin bertambahnya lapisan serat karbon (*Carbon Fiber Reinforced Plate*) maka kekuatan yang dihasilkan semakin tinggi atau semakin meningkat.

Penelitian yang dilakukan oleh Lokantara dan Suardana (2007: 20) mengungkapkan bahwa variasi orientasi serat 0^0 , 45^0 dan 90^0 memberi pengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tarik komposit baik dengan perlakuan serat NaOH maupun $KMnO_4$. Penelitian diatas menunjukkan orientasi arah serat karbon mempengaruhi dalam dunia mekanik, sehingga arah serat karbon juga mempengaruhi kekuatan suatu material..

Penelitian yang dilakukan Alessandra, dkk dalam Pangestuti dan Handayani (2009: 110) mengungkapkan bahwa pelat *CFRP* yang dilekatkan pada bagian bawah balok diperhitungkan sebagai satu kesatuan struktur yang menerima beban bersama-sama. Aksi komposit tersebut hanya dapat terjadi karena adanya lekatan yang baik antara kedua bahan tersebut. Peran *bond* sangat penting dalam menyalurkan tegangan dari beton ke *CFRP* atau

sebaliknya. Kegagalan balok beton bertulang yang diperkuat dengan pelat *CFRP* selalu diawali dengan *debonding* pada pelatnya.

Dari beberapa penelitian tentang pelapisan di atas, penelitian ini merujuk kepada penelitian yang dilakukan oleh Anwar dengan modifikasi pada ketebalan lapisan seperti penelitian Anakottapary dan Nindhia sedangkan arah serat mengacu kepada penelitian yang dilakukan oleh Lokantara dan Suardana dengan material tulangan yang berbeda. Pada penelitian yang dilakukan Anwar menggunakan jumlah lapisan dan balok beton sebagai tulangnya, maka kali ini akan menggunakan tingkat ketebalan dan ST60 sebagai tulangnya. Penelitian terdahulu dengan pemberian lapisan serat karbon terbukti berhasil meningkatkan kekuatan material diharapkan akan berhasil pula pada material yang berbeda.

2.3 Kerangka Berfikir

Tingkat kualitas material sangat penting dalam perencanaan komponen otomotif, khususnya yang menyangkut masalah kerangka *chassis* mobil, maksudnya agar material pembuatan kerangka *chassis* mobil yang digunakan dapat menahan beban tertinggi, dan tidak rusak dalam pemakaian singkat. Pembuatan kerangka *chassis* mobil listrik juga diperhatikan beratnya, karena semakin berat material yang digunakan untuk membuat kerangka maka semakin berat pula mobil itu, padahal mobil listrik diharapkan lebih ringan dari mobil biasa agar lebih hemat energi.

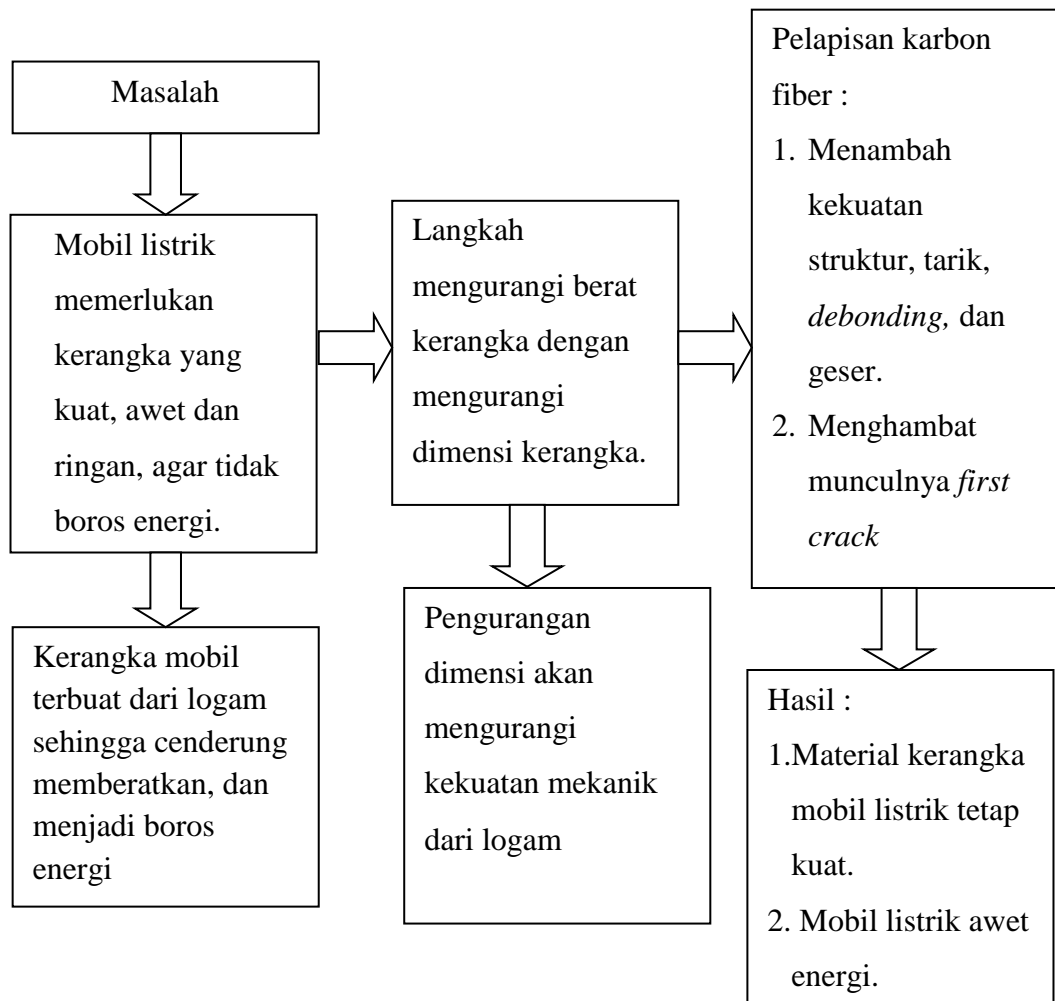
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja ST60 sama seperti material yang digunakan dalam pembuatan kerangka mobil listrik.

Bahan material akan dikurangi dimensinya bertujuan untuk mengurangi berat dari kerangka, akan tetapi pengurangan dimensi itu berdampak pada kekuatan mekanik material baja ST60.

Serat karbon memiliki sifat yang sangat kuat sehingga dapat berfungsi untuk memperkuat material yang dilapisi. Serat karbon juga memiliki kelebihan lain yaitu menambah kekuatan struktur, kekuatan tarik, *debonding*, dan geser serta menghambat munculnya *first crack*. Pemberian serat karbon pada material ST60 diharapkan mampu bertambah kuat, baik kekuatan mekaniknya maupun keawetannya.

Kondisi yang bisa terjadi pada rangka mobil adalah tabrakan atau tumbukan (*impact*) dengan kendaraan atau dengan mobil lain dan dengan suatu benda yang menyebabkan deformasi, kerusakan pada mobil atau kendaraan terutama bagian bodi dan rangka (*chassis*), sehingga penelitian ini mengarah kepada pengujian *impact*.

Berdasarkan perlakuan tersebut dan dengan ruang lingkup penelitian ini, pembahasan hanya dibatasi pada perlakuan pelapisan dan pengujian *impact*, maksudnya material ini akan diuji menggunakan pengujian *impact*, dan material yang dilapisi dengan fiber akan dibandingkan dengan material yang tidak dilapisi, adapun spesimen yang dilapisi dengan karbon fiber menggunakan variasi lapisan ketebalan 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Tingkat ketebalan yang bervariasi diharapkan mampu memperbaiki kualitas mekanik dari bahan, sehingga dapat mengetahui perbedaan kekuatan antara material yang tidak dilapisi dengan material yang dilapisi karbon fiber.



Gambar 13. Bagan Kerangka Berfikir.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode eksperimen, yaitu suatu metode untuk mencari hubungan sebab akibat antara dua faktor yang sengaja ditimbulkan. Penelitian ini akan dihasilkan data-data yang objektif sesuai dengan permasalahan metode eksperimen. Metode eksperimen yang dilakukan adalah meneliti pengaruh variasi ketebalan lapisan karbon fiber dengan arah serat 45^0 dan 90^0 pada variasi ketebalan 3 mm, 5 mm, dan 7 mm terhadap ketangguhan pelat baja karbon ST60 yang didapat dengan pengujian *charpy* dengan menggunakan *impact testing machine*.

3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini direncanakan akan dilaksanakan pada bulan Februari 2015. tempat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian komposisi di P.T Itokoh Ceperindo, Ceper, Klaten.
2. Pembuatan spesimen dilaksanakan di Lab. Teknik Mesin UNNES.
3. Pengujian *impact* dilakukan di Lab Bahan Teknik UGM Yogyakarta.

3.3 Alat dan Bahan

- a. Alat

Ada beberapa alat yang dibutuhkan agar penelitian ini berjalan dengan baik, namun alat yang terpenting yaitu:

1. *Impact Testing Machine.*



Gambar 14. Alat Uji *Impact*.

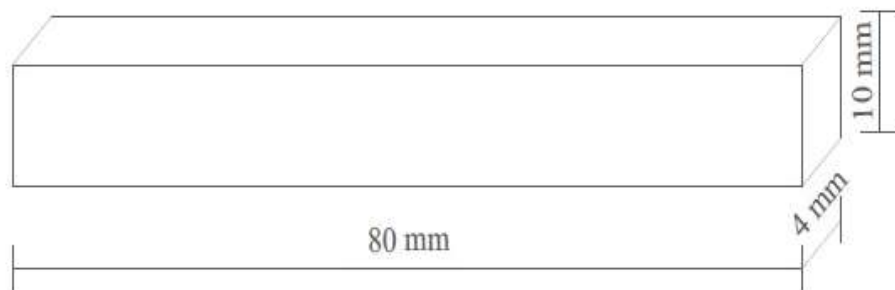
2. Jangka sorong.
 3. Kuas.
 4. Gelas plastik.
 5. Gunting.
 6. Sarung tangan.
 7. Amplas.
- b. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Pelat baja ST60
2. Resin *epoxy*.
3. Cobalt.
4. Katalis.
5. Serat karbon.

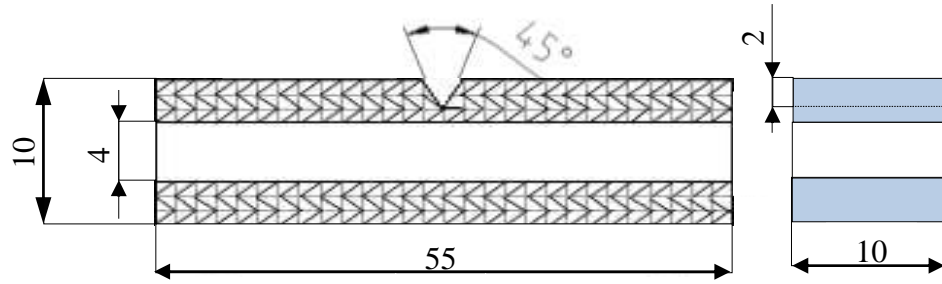
3.4 Spesimen

Penelitian ini mempunyai tahapan-tahapan yang harus dilalui mulai dari pemilihan bahan sampai pengujian. Tahap pertama adalah pemilihan bahan, selanjutnya dilakukan uji komposisi kimia untuk menjamin bahwa material tersebut merupakan baja karbon ST60. Tahap kedua adalah pembuatan spesimen uji *impact*. Bahan yang sudah diuji komposisi kimia tadi diubah menjadi spesimen uji sesuai dengan standart pengujian yang telah ditentukan, yaitu seperti Gambar 15. berikut:

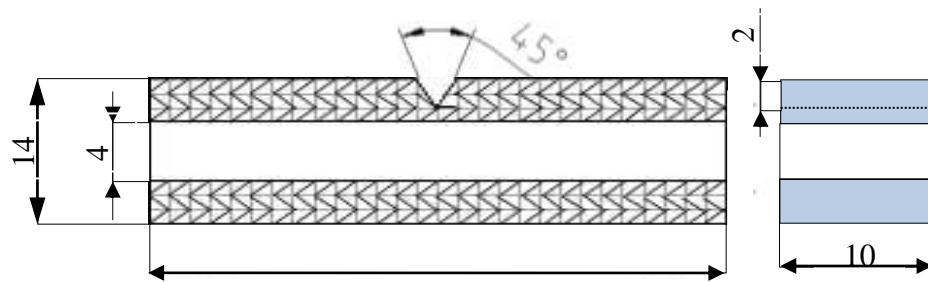


Gambar 15. Spesifikasi Berdasarkan Standar ASTM D 5942-96

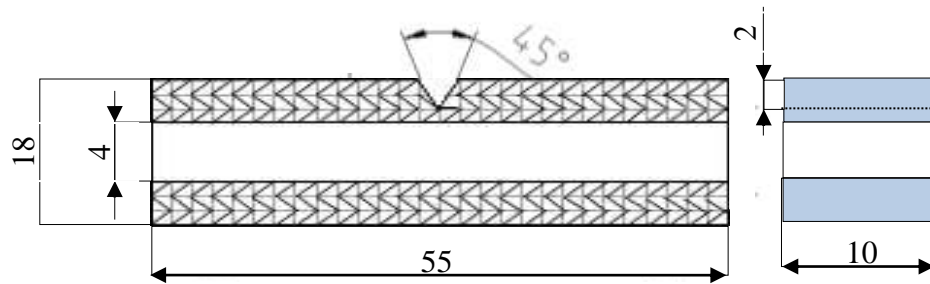
Pada pelaksanaannya penelitian ini menggunakan spesimen yang telah dimodifikasi menyerupai benda sebenarnya, karena digunakan untuk *chassis*, maka spesimen menggunakan material pelat, yaitu pelat ST60, dengan ketebalan yang berbeda dari spesimen pada umumnya, yaitu 4 mm. Ketebalan yang divariasi dengan menggunakan lapisan karbon fiber. Variasi ketebalannya meliputi 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Bentuk spesimen yang telah dilapisi dapat dilihat pada Gambar 16. dibawah ini.



Gambar 16. Spesimen Dengan Lapisan 3 mm.



Gambar 17. Spesimen Dengan Lapisan 5 mm.



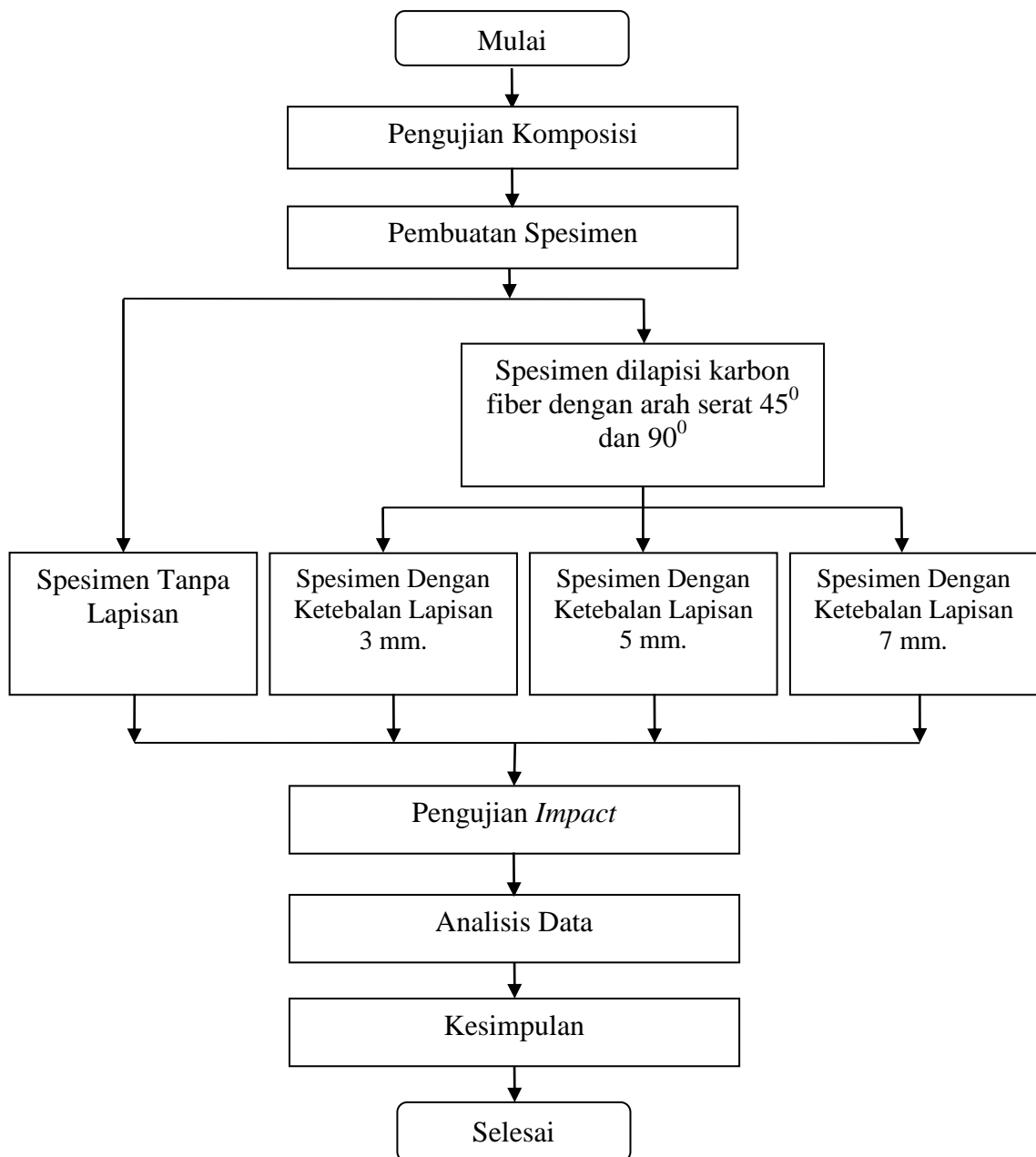
Gambar 18. Spesimen Dengan Lapisan 7 mm.



Gambar 19. Spesimen Siap Diujikan.

3.5 Alur Penelitian

Langkah-langkah yang dilaksanakan dalam penelitian ini dapat digambarkan dalam Gambar 20.



Gambar 20. Bagan Alur Penelitian

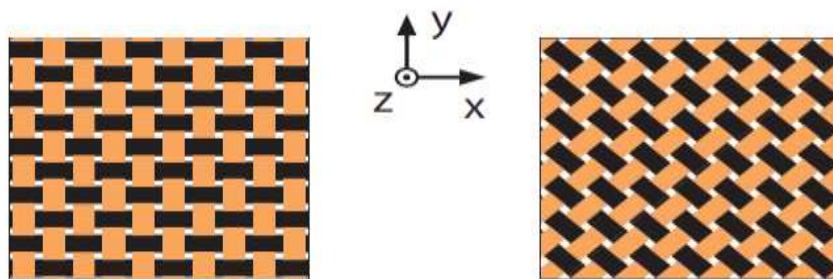
3.6 Proses Penelitian

3.6.1 Proses Pelapisan

Proses pelapisan ini dibutuhkan ketelitian dan ketrampilan seseorang yang tinggi, adapun langkah-langkah pelapisan tersebut sebagai berikut:

1. Pemotongan bahan untuk lapisan

Sebelum pelapisan dimulai, ukur dan potong serat karbon sesuai dengan ukuran spesimen uji *Impact* menggunakan menggunakan gunting. Selain itu pemotongan harus dilihat dari arah serat. Misalnya seperti Gambar berikut :



Gambar 21. Pemotongan Dengan Sudut Serat 90^0 dan 45^0 .

2. Proses pencampuran resin *epoxy*.

Untuk pencampuran cairan perekatnya, gunakan kaleng plastik sebagai wadah. Masukkan resin, katalis, *cobalt*, kedalam wadah tersebut dengan perbandingan 1:1:100. artinya 100 ml untuk resin, 1 ml untuk katalis. Aduk hingga gelembung udara dalam campuran tersebut menghilang setelah itu masukkan cobalt 1 ml.

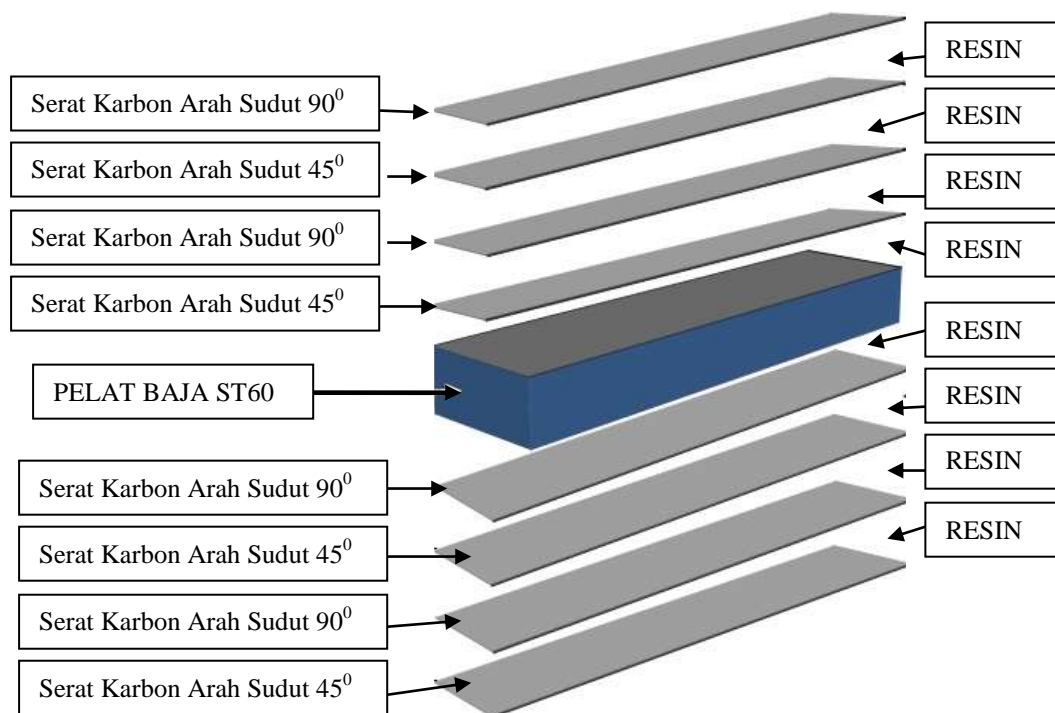
3. Proses pelapisan

Pada proses ini, perlu diperhatikan arah serat yang akan dilapiskan pada pelat baja karbon ST60, adapun variasi arah serat tersebut adalah 90^0 dan 45^0 sedangkan variasi ketebalan serat adalah 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Proses

pelapisan ini membutuhkan ketelatenan agar menghasilkan fiber yang bagus.

Adapun langkah-langkahnya adalah :

- Oleskan campuran perekat ke spesimen secara merata pada salah satu bidang spesimen.
- Tempelkan ujung serat karbon dengan arah sudut yang telah dibuat pada spesimen. Tekan serat karbon hingga tertempel dengan spesimen dan tidak ada rongga udara.
- Setelah lapisan pertama tertempel, tempelkan serat kedua yang berbeda arah seratnya dengan sebelumnya.
- Lakukan pada kedua bidang spesimen sampai dengan ketebalan yang diinginkan yaitu 3 mm, 5 mm, 7 mm.
- Tunggu spesimen hingga kering dan spesimen siap diujikan.



Gambar 22. Proses Pelapisan

3.6.2 Proses Pengujian

Pengujian *impact* bertujuan untuk mengukur harga ketangguhan suatu material uji. Pelaksanaan pengujian *impact* dapat diperoleh grafik ketangguhan *impact*, dari grafik ini dapat dilihat jenis-jenis perpatahan pada spesimen uji, adapun langkah-langkah untuk pengujian *impact* sebagai berikut :

1. Menyiapkan peralatan dan mengeset alat setelah itu spesimen dijepit pada ragam uji *impact*, sebelumnya telah diketahui penampangnya, panjang awal dan ketebalan yang akan digunakan untuk pengambilan data.
2. Mengkondisikan mesin penguji dalam kondisi standar yaitu dengan melakukan kalibrasi sesuai dengan ukuran standar.
3. Menyiapkan spesimen uji *impact* sebanyak 16 buah dengan perincian tiap 4 buah tanpa lapisan, 4 buah dengan lapisan 3 mm, 4 buah dengan lapisan 5 mm, dan 4 buah lagi dengan lapisan 7 mm.
4. Setelah spesimen uji dijepit, kemudian tarik bandul pada mesin uji kemudian lepaskan. Dilepaskan dengan menarik pengunci lengan, maka bandul akan berayun mematahkan benda uji.
5. Perhatikan ukuran yang ada pada skala mesin uji kemudian dicatat.
6. Lakukan sampai semua spesimen telah dilakukan pengujian dengan ketentuan 4 spesimen dengan ketebalan 3 mm, 4 spesimen dengan ketebalan 5 mm, 4 spesimen dengan ketebalan 7 mm, dan 4 spesimen tanpa perlakuan lapisan karbon karbon fiber. Pada pengujian ini yang dipakai adalah sudut 156^0 , pembenturnya mempunyai jari-jari 83 cm dan massa 8,5 kg.

3.7 Teknik Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dengan metode dokumentasi, observasi eksperimen langsung yaitu metode pengumpulan data penelitian yang dengan sengaja dan secara sistematis mengadakan perlakuan atau tindakan pengamatan terhadap suatu variabel dan eksperimen yaitu mencari hubungan sebab akibat antara dua faktor atau lebih yang sengaja dimunculkan dalam setiap percobaan. Pengambilan data yang dilakukan adalah dengan meneliti atau mengukur sifat mekanis material dengan pelapisan menggunakan serat karbon dengan 3 variasi ketebalan yaitu 3 mm, 5 mm, dan 7 mm dengan model arah serat 45^0 , dan 90^0 .

Pengamatan eksperimen menggunakan lembar Tabel 3. dan Tabel 4. eksperimen untuk mempermudah dalam pendekatan hasil pengujian. Lembar pengamatan uji *impact* sebagai berikut :

Tabel 3. Lembar Pengamatan Nilai Uji *Impact*

Eksperimen	Uji <i>Impact</i>			Mean
	Energi Terserap (Joule)			
	1	2	3	
Tanpa Lapisan				
Lapisan 3 mm				
Lapisan 5 mm				
Lapisan 7 mm				

Tabel 4. Lembar Perbandingan Nilai Uji *Impact*

Eksperimen	Uji <i>Impact</i>			Mean
	Ketangguhan <i>Impact Charpy</i> (Joule/mm ²)			
	1	2	3	
Tanpa Lapisan				
Lapisan 3 mm				
Lapisan 5 mm				
Lapisan 7 mm				

3.8 Teknik Analisa Data.

Metode analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik analisis statistik deskriptif data mentah yang diperoleh dari pengujian, kemudian diolah dalam persamaan statistika yaitu persamaan nilai tengah (*mean*) sebagai berikut:

$$\text{Nilai tengah (mean)} = \frac{\sum n}{N}$$

n = nilai akhir/skor tiap variabel

N = jumlah variabel

Data yang diperoleh merupakan data yang bersifat kuantitatif berarti data berupa angka-angka yang memberikan penjelasan atau memberi tentang perbandingan antara data material awal tanpa pelapisan karon fiber dan material dilapisi karbon fiber dengan ketebalan 3 mm, 5 mm, dan 7 mm. Penyajian selanjutnya dengan diagram.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Ketebalan lapisan karbon fiber pada spesimen menyebabkan ketangguhan baja ST60 semakin meningkat. Terlihat bahwa nilai rata-rata ketangguhan spesimen tanpa lapisan karbon fiber sebesar $0,24 \text{ Joule/mm}^2$. Pada spesimen dengan lapisan 3 mm nilai ketangguhannya naik 20,69% menjadi $0,29 \text{ Joule/mm}^2$. Pada spesimen dengan lapisan 5 mm nilai ketangguhannya naik lagi 12,12% menjadi $0,33 \text{ Joule/mm}^2$, dan pada spesimen dengan lapisan 7 mm nilai ketangguhannya naik 5,71% menjadi $0,35 \text{ Joule/mm}^2$. Peningkatan ketangguhan dipengaruhi oleh ketebalan fraksi serat, meskipun kinerja serat karbon belum bekerja maksimal. Semakin tebal lapisan serat semakin tinggi nilai energi serap dan harga *impact*. Melihat analisis yang telah dikaji, kekuatan yang didapatkan, diketahui dengan ketebalan lapisan manakah yang dapat digunakan sebagai bahan dari kerangka mobil listrik melalui pengujian *impact*.

5.2 Saran

Saran-saran yang diberikan sehubungan dengan hasil dan simpulan dari penelitian ini:

1. Dalam pembuatan spesimen yaitu pelapisan komposit perlu diperhatikan penekanan campuran resin setiap menempelkan serat, agar diperoleh kepadatan yang merata.
2. Pada penelitian ini semua spesimen mengalami *debonding* (lepasnya lekatan antara lapisan karbon fiber dengan *raw materials*), oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengatasi masalah ini, misalnya memperhatikan permukaan *raw materials* supaya perekat resin *epoxy* dapat melekat dengan baik atau mengganti material perekatnya dengan yang lebih kuat lagi.
3. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi yang berbeda, misalnya dengan menambah dimensi spesimen agar memperluas daerah lekatan sehingga karbon fiber dapat bekerja lebih maksimal.
4. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan variasi pengujian yang lain seperti uji bending, uji tarik, dan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anakottapary, Daud Simon dan Tjokorda Gde Tirta Nindhia. 2010. Interaksi Antara Proyektil Dan Komposit Polimer Diperkuat Butiran Silikon Karbid (SiC_p) Dan Serat Karbon Pada Pengujian Balistik. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M*, Volume 4 No 2: 99-105.
- Anwar, Teuku. 2011. Perilaku Geser Balok Beton (RC) Dengan Serat Karbon Pada Bagian Luar Sebagai Material Perbaikan. *Jurnal Teknologi*, Volume 11. No. 1: 16-21.
- Asfrizal dan Richardo. 2011. Pengaruh variasi media pendingin hasil sambungan las baja paduan terhadap nilai ketangguhan. *Jurnal Teknik Mesin*. Voume 1 No 1: 14-20
- Carli, S. A. Widyanto, Ismoyo Haryanto. 2012. Analisis Kekuatan Tarik Dan Lentur Komposit Serat Gelas Jenis *Woven* Dengan Matriks *Epoxy* Dan *Polyester* Berlapis Simetri Dengan Metoda *Manufaktur Hand Lay-Up*. *TEKNIS*, Volume 7, No. 1: 22-26.
- Fahmi, Hendriwan dan Arifin, Nur. 2014. Pengaruh Variasi Komposisi Komposit Resin Epoxy/Serat Glass Dan Serat Daun Nanas Terhadap Ketangguhan. *Jurnal Teknik Mesin*, Volume 4, No 2: 84-89
- Gunadi. 2008. *Teknik Body Otomotif*, Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Hariyanto, Agus dan Fitrianto. 2013. *Rekayasa Dan Manufaktur Random Coconut Fiber Composites Bermatrik Epoxy Untuk Panel Interior Automotive*. ISBN 978-602-99334-2-0 63-71
- <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=fbe3f396c3354c9da5661a8e110ff8f5> diakses pada 14/9/2014 1:20pm
- Lokantara, Putu dan Suardana, Ngakan Putu Gede. 2007. Analisis Arah Dan Perlakuan Serat Tapis Serta Rasio *Epoxy Hardener* Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Tapis/*Epoxy*. *Jurnal Teknik Mesin CAKRAM* Volume 1 No. 1: 15-21
- Mahayatra, I Gede, Harnowo S dan Shirley Savetlana. 2013. Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Marmer Statuari Terhadap Sifat Mekanik Komposit Partikel Marmer Statuari. *Jurnal FEMA*, Volume 1 No. 4.

- Malau, Viktor. 2008. Pengaruh Perlakuan Panas Quench Dan Temper Terhadap Laju *Keausan*, Ketangguhan Impak Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Baja XW 42 Untuk Keperluan Cetakan Keramik. *Jurnal Media Teknik*. Mei. Nomor 2. Hal 189
- Pangestuti, Endah Kanti dan Fajar Sri Handayani. 2009. Penggunaan *Carbon Fiber Reinforced Plate* Sebagai Tulangan Ekternal Pada Struktur Balok Beton. *Media Teknik Sipil*, Volume IX. No 2: 107-115.
- Putradi, Gagas Ikhsan. 2011. Kekuatan Impak Komposit *Sandwich* Berpenguat Serat Aren. Skripsi. Surakarta: Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.
- Sianipar, Marolop Tua. 2009. Analisa Kolom Bertulang Yang diperkuat Dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)*. Skripsi. Sumatra Utara: Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara.
- Sofyan, Bondan T.; Yuniyanto, Achmad; Dewanto, Agung. 2003. Komposit Serat Gelas/Poliester: Kekuatan Tarik dan Model Perpatahan.
- Sudjana, Hardi. 2008. *Teknik Pengecoran Logam*, Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Sugiyanto, Didik. 2014. Studi Tentang *Collapse Dan Buckling* Pada Rangka Bodi Mobil. *ROTASI*, Volume 16, No. 4: 17-27
- Surdia, Tata dan Shinroku Saito. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik Cetakan Kelima*, Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wibowo, Farid Wahyu. 2013. Pengaruh *Holding Time Annealing* Pada Sambungan Smaw Terhadap Ketangguhan Las Baja K945 EMS45. Skripsi. Semarang: Fakutas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Dosen Pembimbing.



**KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

Nomor:
831 / PT-UNNES / 2013

**Tentang
PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER
GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2013/2014**

Menimbang : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin Fakultas Teknik membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin Fakultas Teknik UNNES untuk menjadi pembimbing.

Mengingat : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;

Menimbang : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin Tanggal 25 November 2013

MEMUTUSKAN

Menetapkan :
PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan kepada:
Nama : Drs. Wirawan Sumbodo, M.T.
NIP : 196601051990021002
Pangkat/Golongan : IV/B
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Sebagai Pembimbing
Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :
Nama : NASRUL UMAM
NIM : 5201409117
Jurusan/Prodi : Teknik Mesin/Pend. Teknik Mesin
Topik : ANALISIS PENGUJIAN BAHAN ALUMINIUM ALLOY 6063 DAN AISI 1040 DENGAN LAPISAN KARBON FIBER UNTUK APLIKASI KERANGKA MOBIL LISTRIK.

KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

DITETAPKAN DI : SEMARANG
PADA TANGGAL : 27 November 2013
DEKAN


Muhammad Harlanu
NIP 196602151991021001



Tembusan
1. Pembantu Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Petinggal

5201409117
...: FM-03-AND-24/Rev. 00 ...:



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN

Gedung E5 Lt. 3, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
Telepon: 024 8508103
Laman: mesin.unnes.ac.id, surel: mesin_ftunnes@yahoo.com

Nomor : 433/TM/XI/2013
Lamp. : -
Hal : Usulan Pembimbing

Yth. Dekan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Semarang

Merujuk Keputusan Rektor Unnes Nomor 164/O/2004 tentang Pedoman Penyusunan Skripsi Mahasiswa Program S1 pasal 7 mengenai penentuan pembimbing, dengan ini saya usulkan

Nama : Drs. Wirawan Sumbodo, M.T.
NIP : 196601051990021002
Pangkat/Golongan : IV/B
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Sebagai Dosen Pembimbing

Dalam penyusunan Skripsi/Tugas Akhir untuk mahasiswa

Nama : NASRUL UMAM
NIM : 5201409117
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin, S1
Topik : ANALISIS PENGUJIAN BAHAN ALUMINIUM ALLOY 6063 DAN AISI 1040
DENGAN LAPISAN KARBON FIBER UNTUK APLIKASI KERANGKA MOBIL
LISTRIK

Untuk itu, mohon diterbitkan surat penetapannya.

Semarang, 25 November 2013

Ketua Jurusan

Dj. Muhammad Khumaedi, M.Pd.

NIP. 196209131991021001



Lampiran 2. Surat Ijin Penelitian.

	KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
	UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
	FAKULTAS TEKNIK
	Gedung 11, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229 Telepon: 0248508101 Laman: http://d.unnes.ac.id , surel: d.unnes@yahoo.com
Nomor	1388/UM37-I-S/UT/2015
Lamp	
Hal	Ijin Penelitian
Kepada	
Yth. Kepala Lab. Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM di Lab. Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM	
Dengan Hormat,	
Bersama ini, kami mohon ijin pelaksanaan penelitian untuk menyusun skripsi/tugas akhir oleh mahasiswa sebagai berikut	
Nama	NASRUL UMAM
NIM	5201409117
Program Studi	Pendidikan Teknik Mesin S1
Topik	PENGARUH KETEBALAN KARBON FIBER PADA BAJA KARBON ST60 UNTUK APLIKASI KERANGKA MOBIL LISTRIK
Atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.	
	Semarang, 20 Februari 2015
	 Dit. Muhammad Harlanu, M Pd 196602151991021001
	

Lampiran 3. Surat Ijin Penelitian Lab. Bahan Teknik UGM.



**LABORATORIUM BAHAN TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA**
Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM Yogyakarta, 55281
Telp. (0274) 521673, Fax. (0274) 521673

No. : 447/Lab Bahan Teknik/JTMI/UGM/2015.
Lamp. :
Hal : SURAT KETERANGAN.

SURAT KETERANGAN

Kami selaku pengelola Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada menerangkan bahwa mahasiswa tersebut di bawah ini :

Nama : Nasrul Umam
NIM : 5201409117
Program studi : Pendidikan Teknik Mesin UNNES

Telah bebas dari segala tanggungan di Laboratorium Kami, dan telah selesai melakukan penelitian pada bulan Maret 2015 dalam rangka penyusunan Tesis dengan judul :


"ANALISIS UJI IMPACT PADA MATERIAL ST 60 DENGAN VARIASI KETEBALAN LAPISAN SERAT KARBON UNTUK APLIKASI KERANGKA MOBIL LISTRIK"

Demikian surat keterangan ini di buat dengan sebenar-benarnya , untuk dimanfaatkan sebagaimana mestinya.


Yogyakarta, 10 Maret 2015
Teknisi Laboratorium
Bahan Teknik UGM


Sriyanta
 880001506

Lampiran 4. Hasil Uji Komposisi.



PT. ITOKOH CEPERINDO
Stainless Steel & Alloy Casting




COMPANY : PT. ITOKOH CEPERINDO
 SAMPLE NAME : SAMPLE
 CUSTOMER : UDOT SEMARANG
 FURNACE : XE1307821-4142
 OPERATOR : LEO
 DATE / TIME : 13-MAY-2014 10:00:12
 VAST : Comp_Fei METHOD : TIGLFE

	Fe	S	Al	C	Mn	Nb	Si	Co	V
1	97.4022	0.0117	0.0346	0.4638	0.0081	-0.0009	0.2817	0.0001	0.000
2	98.4109	0.0117	0.0346	0.4632	0.0080	-0.0008	0.2788	0.0013	0.000
AVG	98.4466	0.0117	0.0346	0.4634	0.0079	-0.0005	0.2801	0.0040	0.000
SD	0.00339	0.00001	0.00002	0.00114	0.00002	0.00010	0.00251	0.00100	0.000
ED	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

	Ni	Mo	W	P	Cr	Ti	N	B	Zn
1	0.0004	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0100	0.0001	0.0000	0.0000	0.000
2	0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0100	0.0000	0.0000	0.0000	-0.000
AVG	0.0002	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0100	0.0001	0.0000	0.0000	0.000
SD	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.000
ED	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

	Sn	Cu	Mg	Sr	Ce
1	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000
2	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000
AVG	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000
SD	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
ED	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01



INDONESIA OFFICE & FACTORY : Jl. KH. Hasyim As'ari By Pass Selatan Klaten 57438 PO. BOX 130, Jateng - Indonesia
 Phone : (0272) 324208, 324038, Fax. (324213), E-mail : itokohci@indosat.net.id
JAPAN OFFICE : 3-22-2 Motogo, Kawaguchi City, Saitama, Japan
 Phone : 81 482 248 401, Fax : 81 482 242070

Lampiran 5. Perhitungan Uji *Impact*.

DIMENSI SPESIMEN

Nama Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luasan (mm ²)
A1	9,8	4	39,2
A2	10	3,9	39
A3	10	3,9	39
B1	9,9	10,1	99,99
B2	9,7	10,1	97,97
B3	10,1	10,1	102,01
C1	10	13,8	138
C2	9,8	13,8	135,24
C3	10	13,8	138
D1	10,1	17,1	172,71
D2	10	17,1	171
D3	9,9	17,1	169,29

NILAI KETANGGUHAN

Diketahui

$$\alpha = 156^{\circ}$$

$$R = 83 \text{ cm} = 0,83 \text{ m}$$

$$m = 8,5 \text{ kg}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

1. Spesimen A1 (Tanpa Lapisan)

$$\beta = 141^{\circ}$$

$$\begin{aligned} h_1 &= R + R \sin(\alpha - 90^{\circ}) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 66^{\circ} \\ &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,913 \\ &= 1,59 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= R + R \sin(\beta - 90^{\circ}) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 51^{\circ} \\ &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,78 \\ &= 1,48 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\ &= 8,5 \cdot 10 (1,59 - 1,48) \\ &= 8,5 \cdot 10 (0,11) \\ &= 9,35 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 9,35 : 39,2 \\ &= 0,24 \text{ Joule/mm}^2 \end{aligned}$$

2. Spesimen A2 (Tanpa Lapisan)

$$\beta = 142^{\circ}$$

$$\begin{aligned} h_1 &= R + R \sin(\alpha - 90^{\circ}) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 66^{\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,913 \\
 &= 1,59 \text{ m} \\
 h_2 &= R + R \sin (\beta - 90^\circ) \\
 &= 0,83 + 0,83 \sin 52^\circ \\
 &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,79 \\
 &= 1,49 \text{ m} \\
 E &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (1,59 - 1,49) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (0,1) \\
 &= 8,5 \text{ Joule} \\
 \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\
 &= 8,5 : 39 \\
 &= 0,22 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

3. Spesimen A3 (Tanpa Lapisan)

$$\begin{aligned}
 \beta &= 141^\circ \\
 h_1 &= R + R \sin (\alpha - 90^\circ) \\
 &= 0,83 + 0,83 \sin 66^\circ \\
 &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,913 \\
 &= 1,59 \text{ m} \\
 h_2 &= R + R \sin (\beta - 90^\circ) \\
 &= 0,83 + 0,83 \sin 51^\circ \\
 &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,78 \\
 &= 1,48 \text{ m} \\
 E &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (1,59 - 1,48) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (0,11) \\
 &= 9,35 \text{ Joule} \\
 \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\
 &= 9,35 : 39 \\
 &= 0,24 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

4. Spesimen B1 (Lapisan 3 mm)

$$\begin{aligned}
 \beta &= 118^\circ \\
 h_1 &= R + R \sin (\alpha - 90^\circ) \\
 &= 0,83 + 0,83 \sin 66^\circ \\
 &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,913 \\
 &= 1,59 \text{ m} \\
 h_2 &= R + R \sin (\beta - 90^\circ) \\
 &= 0,83 + 0,83 \sin 28^\circ \\
 &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,42 \\
 &= 1,22 \text{ m} \\
 E &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (1,59 - 1,22) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (0,37) \\
 &= 31,45 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 31,45 : 99,99 \\ &= 0,32 \text{ Joule/mm}^2\end{aligned}$$

5. Spesimen B2 (Lapisan 3 mm)

$$\begin{aligned}\beta &= 20^0 \\ h_1 &= R + R \sin(\alpha - 90^0) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 66^0 \\ &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,913 \\ &= 1,59 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_2 &= R + R \sin(\beta - 90^0) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 30^0 \\ &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,5 \\ &= 1,25 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\ &= 8,5 \cdot 10 (1,59 - 1,25) \\ &= 8,5 \cdot 10 (0,34) \\ &= 30,6 \text{ Joule}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 30,6 : 97,97 \\ &= 0,31 \text{ Joule/mm}^2\end{aligned}$$

6. Spesimen B3 (Lapisan 3 mm)

$$\begin{aligned}\beta &= 123^0 \\ h_1 &= R + R \sin(\alpha - 90^0) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 66^0 \\ &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,913 \\ &= 1,59 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_2 &= R + R \sin(\beta - 90^0) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 33^0 \\ &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,55 \\ &= 1,29 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\ &= 8,5 \cdot 10 (1,59 - 1,29) \\ &= 8,5 \cdot 10 (0,3) \\ &= 25,5 \text{ Joule}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 25,5 : 102,01 \\ &= 0,25 \text{ Joule/mm}^2\end{aligned}$$

7. Spesimen C1 (Lapisan 5 mm)

$$\begin{aligned}\beta &= 105^0 \\ h_1 &= R + R \sin(\alpha - 90^0) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 66^0 \\ &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,913\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,59 \text{ m} \\
 h_2 &= R + R \sin (\beta - 90^\circ) \\
 &= 0,83 + 0,83 \sin 15^\circ \\
 &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,26 \\
 &= 1,05 \text{ m} \\
 E &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (1,59 - 1,05) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (0,54) \\
 &= 45,9 \text{ Joule} \\
 \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\
 &= 45,9 : 138 \\
 &= 0,33 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

8. Spesimen C2 (Lapisan 5 mm)

$$\begin{aligned}
 \beta &= 106^\circ \\
 h_1 &= R + R \sin (\alpha - 90^\circ) \\
 &= 0,83 + 0,83 \sin 66^\circ \\
 &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,913 \\
 &= 1,59 \text{ m} \\
 h_2 &= R + R \sin (\beta - 90^\circ) \\
 &= 0,83 + 0,83 \sin 16^\circ \\
 &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,28 \\
 &= 1,06 \text{ m} \\
 E &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (1,59 - 1,06) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (0,53) \\
 &= 45,05 \text{ Joule} \\
 \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\
 &= 45,05 : 135,24 \\
 &= 0,33 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

9. Spesimen C3 (Lapisan 5 mm)

$$\begin{aligned}
 \beta &= 106^\circ \\
 h_1 &= R + R \sin (\alpha - 90^\circ) \\
 &= 0,83 + 0,83 \sin 66^\circ \\
 &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,913 \\
 &= 1,59 \text{ m} \\
 h_2 &= R + R \sin (\beta - 90^\circ) \\
 &= 0,83 + 0,83 \sin 16^\circ \\
 &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,28 \\
 &= 1,06 \text{ m} \\
 E &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (1,59 - 1,06) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (0,53) \\
 &= 45,05 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 45,05 : 135,24 \\ &= 0,33 \text{ Joule/mm}^2\end{aligned}$$

10. Spesimen D1 (Lapisan 7 mm)

$$\begin{aligned}\beta &= 94^0 \\ h_1 &= R + R \sin (\alpha - 90^0) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 66^0 \\ &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,913 \\ &= 1,59 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_2 &= R + R \sin (\beta - 90^0) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 4^0 \\ &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,07 \\ &= 0,89 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\ &= 8,5 \cdot 10 (1,59 - 0,89) \\ &= 8,5 \cdot 10 (0,7) \\ &= 59,5 \text{ Joule}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 59,5 : 172,71 \\ &= 0,35 \text{ Joule/mm}^2\end{aligned}$$

11. Spesimen D2 (Lapisan 7 mm)

$$\begin{aligned}\beta &= 94^0 \\ h_1 &= R + R \sin (\alpha - 90^0) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 66^0 \\ &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,913 \\ &= 1,59 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_2 &= R + R \sin (\beta - 90^0) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 4^0 \\ &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,07 \\ &= 0,89 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}E &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\ &= 8,5 \cdot 10 (1,59 - 0,89) \\ &= 8,5 \cdot 10 (0,7) \\ &= 59,5 \text{ Joule}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\ &= 59,5 : 171 \\ &= 0,35 \text{ Joule/mm}^2\end{aligned}$$

12. Spesimen D3 (Lapisan 7 mm)

$$\begin{aligned}\beta &= 95^0 \\ h_1 &= R + R \sin (\alpha - 90^0) \\ &= 0,83 + 0,83 \sin 66^0 \\ &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,913 \\ &= 1,59 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_2 &= R + R \sin(\beta - 90^\circ) \\
 &= 0,83 + 0,83 \sin 5^\circ \\
 &= 0,83 + 0,83 \cdot 0,09 \\
 &= 0,9 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= m \cdot g (h_1 - h_2) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (1,59 - 0,9) \\
 &= 8,5 \cdot 10 (0,69) \\
 &= 58,65 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai ketangguhan} &= E : L \\
 &= 58,65 : 169,29 \\
 &= 0,35 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

DATA HASIL PENGUJIAN

Eksperimen	No Spesimen	Energi Terserap (Joule)	Luas Penampang Patah (mm ²)	Ketangguhan Impact Charpy (Joule/mm ²)
Tanpa Lapisan	1.	9,35	39,2	0,24
	2.	8,5	39	0,22
	3.	9,35	39	0,24
Lapisan 3 mm	1.	31,45	99,99	0,32
	2.	30,6	97,97	0,31
	3.	25,5	102,01	0,25
Lapisan 5 mm	1.	45,9	138	0,33
	2.	45,05	135,24	0,33
	3.	45,05	138	0,33
Lapisan 7 mm	1.	59,5	172,71	0,35
	2.	59,5	171	0,35
	3.	58,65	169,29	0,35

TABEL DATA HASIL PENGUJIAN IMPACT

Eksperimen	Nilai Ketangguhan (Joule/mm ²)			Mean (Joule/mm ²)
	1	2	3	
Tanpa Lapisan	0,24	0,22	0,24	0,23
Lapisan 3 mm	0,32	0,31	0,25	0,29
Lapisan 5 mm	0,33	0,33	0,33	0,33
Lapisan 7 mm	0,35	0,35	0,35	0,35

Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian.



Alat Uji *Impact* Laboratorium Universitas Gajah Mada



Pelapisan Awal Dari ST60 Sebelum Dipotong Sesuai Ukuran Spesimen



Hasil Setelah Dilakukan Pemotongan Sesuai Ukuran Spesimen



Gambar Setelah Dilakukan Pengujian *Impact*



Bentuk Patahan Serat Karbon Setelah Diuji