

Rancang Bangun Mesin Uji Benturan Jenis *Drop Weight Impact* Skala Laboratorium

Akbar Reza¹, Fajar Paundra^{1*}, Abdul Muhyi¹, Eko Pujiyulianto¹, Fajar Perdana Nurullah¹, Farid Nanda Syanur¹, Kardo Rajagukguk¹, Puguh Elmiawan²

¹ Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera,
Lampung, Indonesia

² Teknik mesin, Politeknik Gajah Tunggal, Tengerang, Indonesia

*E-mail: fajar.paundra@ms.itera.ac.id

Abstrak

Drop Weight Impact adalah metode uji mekanik yang digunakan untuk mengukur kemampuan material dalam menahan retakan atau kerusakan akibat beban dinamis. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun alat uji benturan tipe *Drop Weight Impact* skala laboratorium. *Impactor* terbuat dari *stainless steel* martensitik dengan berat 1,5 kg, panjang 30 cm dan berdiameter 30 mm pada ujung bagian atas sedangkan bagian ujung bawah *impactor* berdiameter 16 mm. Tinggi alat total 200 mm. Alat ini dilengkapi dengan *V-gantry plate* untuk mengangkat *impactor*. Spesimen komposit yang akan diuji diletakkan pada *base plate* berukuran 125 mm x 75 mm, yang dilengkapi dengan lubang, dan dijepit menggunakan *quick-release horizontal clamp* pada keempat sisinya. Hasil uji menunjukkan bahwa energi potensial yang dihasilkan adalah 10 Joule pada ketinggian 68 cm, 15 Joule pada ketinggian 102 cm, dan 20 Joule pada ketinggian 136 cm. Beberapa kerusakan hasil pengujian juga dipaparkan berdasarkan ASTM D7136, yaitu berupa delaminasi, *crack* dan *split*. Diharapkan alat uji *Drop Weight Impact* yang dirancang dan dibangun ini dapat memberikan manfaat dalam kegiatan penelitian dan praktikum di Laboratorium Teknik Mesin, Institut Teknologi Sumatera.

Kata kunci: ASTM D7136, *Drop Weight Impact*, Komposit

1. Pendahuluan

Pengujian *Impact* merupakan metode pengujian yang mengukur kemampuan sebuah material dalam menyerap beban benturan, yang diukur berdasarkan jumlah energi yang dibutuhkan untuk mematahkan sampelnya. Dalam melakukan pengujian *impact*, penting untuk mengikuti metode yang sesuai dengan standar yang sering digunakan seperti API atau ASTM [1]. Proses pengujian *impact*, sampel diuji dengan beban tumbukan yang memenuhi syarat tertentu seperti tinggi *rod guide*, berat, dimensi rod dan *punch*, serta ketebalan dan bentuk sampel uji. Selama proses pengujian, energi yang diserap saat pengujian diamati dan didata [2].

Jenis pengujian *impact* yang sering digunakan dalam dunia industri yaitu *Drop Weight Impact*, *Charpy impact* dan juga *Izod Impact*. *Drop Weight Impact* adalah salah satu metode uji mekanik yang digunakan untuk mengevaluasi ketangguhan material, terutama logam, dalam menahan retakan atau pecah di bawah tekanan dinamis. Metode ini sering diaplikasikan pada industri minyak dan industri gas, pembuatan kapal, dan industri lainnya dimana ketahanan terhadap retakan akibat benturan beban secara tiba-tiba sangat penting [3][4].

Proses (DWI) *Drop Weight Impact* melibatkan menjatuhkan benda berat, seperti palu atau *impactor*, dari ketinggian tertentu ke sampel material yang diuji. Sampel material umumnya berbentuk pipa atau piringan dengan ukuran dan spesifikasi tertentu sesuai dengan standar industri yang relevan. Ketika energi potensial (dimiliki benda berat pada ketinggian tertentu) diubah menjadi energi kinetik selama proses jatuh bebas. Saat benda berat menabrak sampel, energi kinetik sebagian besar ditransfer ke sampel sehingga hal ini menyebabkan deformasi/patahan dan sebagian lagi diubah menjadi bentuk energi lain (panas, suara, dll.) [2][5]. Pengujian *Drop Weight Impact* biasa dilakukan di industri maupun lingkungan kampus sebagai praktikum di laboratorium.

Laboratorium Teknik Mesin Institut Teknologi Sumatera memiliki keterbatasan alat uji *impact* sebagai sarana praktikum bagi mahasiswa di lingkungan kampus. Selama ini praktikum yang dilakukan hanya untuk menguji sebuah material yang meliputi uji tekan, uji tarik, uji *bending*, uji struktur mikro, uji struktur makro, dan uji kekerasan atau *hardness*.

Sehingga perlu dilakukan pembuatan alat uji *impact* dengan jenis *Drop Weight Impact* (DWI). Dengan adanya alat ini diharapkan mampu memberikan kontribusi bagi Program Studi Teknik Mesin di Institut Teknologi Sumatera dalam melengkapi peralatan uji/praktikum secara independen dan efektif.

2. Metodologi

Desain alat uji *Impact* tipe *Drop Weight Impact* ini dibuat menggunakan aplikasi *SolidWorks* 2023, dan merupakan desain final yang akan menjadi pedoman dalam pembuatan alat. Desain tersebut telah disesuaikan dengan alat dan bahan yang akan dipakai selama proses pembuatan alat uji *Impact*. Berikut ini adalah gambar *assembly* dari desain alat yang akan digunakan.



Gambar 1. Desain alat *Drop Weight Impact*

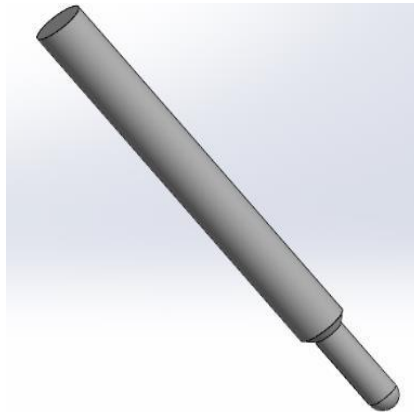
2.1 Desain Rangka

Rangka pada perancangan mesin uji benturan jenis *Drop Weight Impact* menggunakan aluminium *profile* ukuran 30 mm x 30 mm. Dengan ketinggian total dari rangka 2000 mm, dan luas dari *base plate* memiliki lebar 300 mm x 300 mm. Desain rangka di tunjukan pada gambar 2.



Gambar 2. Desain rangka

Desain *Impactor* pada mesin uji benturan jenis *Drop Weight Impact* menggunakan *stainless stell* dengan panjang 30 cm dan ber diameter 30 mm pada ujung bagian atas sedangkan bagian ujung bawah *impactor* berdiameter 16 mm, desain dari *Impactor* dapat dilihat pada gambar 3.

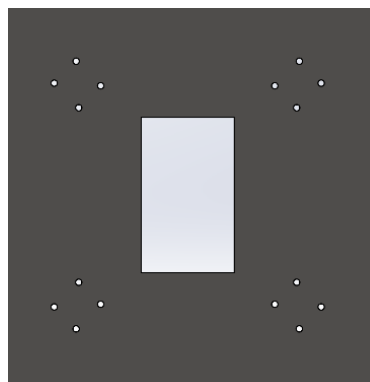


Gambar 3. Desain *impactor*

Berat dari *impactor* ini dimodifikasi menjadi 1,5 kg agar dapat menyesuaikan pada kegunaan alat yang dikhususkan pada pengujian komposit pada laboratorium. Perubahan ini bertujuan untuk mendapatkan jumlah *energy* potensial yang dibutuhkan.

2.2 Desain *Base Plate*

Pada bagian *base plate* ini, menggunakan plat besi setebal 8 mm dan dengan panjang 310 mm serta memiliki lebar 310 mm. pada bagian tengah *base plate* dibuat sebuah lubang persegi Panjang menggunakan mesin *milling*, Panjang dari lubang ini sebesar 75 mm dan lebar 125 mm. kemudian pada sisi lubang persegi Panjang diberi lubang untuk meletakan *quick release horizontal clamp*, cara melubanginya menggunakan mesin *Driling* dengan mata bor berukuran M6 dan berjumlah 16 lubang. Desain *base plate* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Desain *base plate*

Alat uji ini menggunakan rumus $E_p = mgh$ untuk menghitung besarnya energi potensial dari alat uji *Impact* berjenis *Drop Weight Impact* (DWI)

$$E_p = mgh$$

(1)

Keterangan :

- E_p : Energi potensial (J)
- m : Massa (kg)
- g : Gravitasi (m/s)
- h : Ketinggian (m)

3. Hasil dan pembahasan

Alat uji benturan jenis *Drop Weight Impact* memiliki sistem kerja dengan cara menarik *impactor* menggunakan *Mini Vganty sliding plate* kebawah, setelah itu mengatur ketinggian *impactor* sesuai yang digunakan dalam pengujian. setelah *impactor* sesuai pada ketinggian yang dibutuhkan langkah selanjutnya ialah meletakkan spesimen komposit diatas *base plate* dan menguncinya dengan *Quick release horizontal clamp* agar spesimen tidak berrgeser. Setelah itu lepaskan *Mini Vganty sliding plate* untuk menjatuhkan *impactor* sehingga spesimen mengalami benturan dengan *impactor* yang jatuh kebawah. Hasil dari rancang bangun dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Alat *Drop Weight Impact*

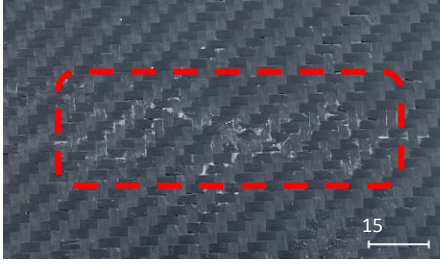
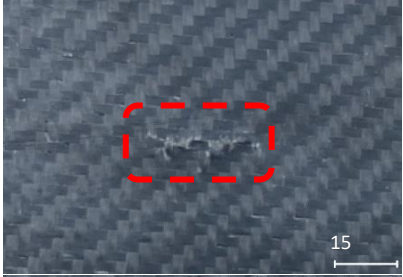
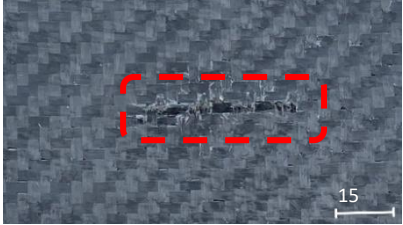
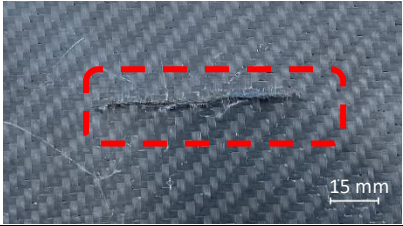
Energi Potensial adalah salah satu bentuk energi yang terdapat di bumi. Energi ini merujuk pada kemampuan untuk melakukan kerja. Pada penelitian yang penulis lakukan energi potensial digunakan untuk mengukur besar energi yang dihasilkan oleh *impactor* Dalam sistem internasional (SI), satuan untuk energi adalah J[6][7].

Tabel 1. Variasi Ketinggian *Drop Weight Impact* dan E_p yang dihasilkan.

No	Ketinggian (cm)	Massa (kg)	E_p (J)
1	68	1,5	10
2	102	1,5	15
3	136	1,5	20

Uji fungsi pada alat *Drop Weight Impact*, spesimen yang digunakan adalah komposit *carbon fiber* dengan 8 lapisan dan ketebalan 3,1 mm. Uji ini bertujuan untuk mengevaluasi performa alat dan dampaknya terhadap spesimen. Dalam evaluasi ini, analisa dilakukan secara visual dengan mengamati kerusakan yang terjadi pada serat *carbon fiber* setelah benturan. Dengan cara ini, dapat dipahami efek dari energi benturan yang diterima dan bagaimana spesimen bereaksi terhadap kondisi uji, memberikan gambaran mengenai ketahanan dan kekuatan material *carbon fiber* dalam situasi nyata. [8]. Hasil dari percobaan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Impact*

No	EP	Tampak depan	Tampak belakang
1	10 J		
2	15 J		
3	20 J		

Percobaan pengujian komposit diatas terdapat perbedaan energi potensial yang digunakan. Variasi energi yang digunakan sebesar 10 J, 15 J, dan 20 J. Hasil yang didapat pada analisa tersebut dinyatakan berhasil dengan Ep yang digunakan, karena pada setiap variasi Ep menimbulkan dampak deformasi yang berbeda beda.

Spesimen uji pertama yang diberikan beban energi potensial sebesar 10 Joule menunjukkan hasil pengujian yang teridentifikasi dengan berbagai jenis kerusakan. Setelah dilakukan pengujian, kerusakan yang terjadi meliputi delaminasi di bagian depan spesimen [9]. *Delaminasi* adalah fenomena di mana lapisan-lapisan material pada spesimen terpisah satu sama lain, yang dapat terjadi karena adanya tekanan atau gaya yang melebihi kapasitas ikatan antar lapisan material tersebut. Dalam hal ini, *delaminasi* terjadi di bagian depan spesimen, menunjukkan bahwa area tersebut mengalami kerusakan struktural yang cukup parah [10][11].

Selain *delaminasi*, spesimen juga menunjukkan adanya gabungan retakan dan serat yang putus. Retakan ini dapat mengurangi kekuatan struktural spesimen, gabungan dari berbagai retakan ini dapat menciptakan titik-titik lemah yang membuat spesimen lebih rentan terhadap kerusakan lebih lanjut di bawah beban tambahan. Selain itu, serat yang putus menunjukkan bahwa material komposit spesimen, yang biasanya terdiri dari serat dan matriks, telah mengalami kerusakan pada elemen seratnya. Ini adalah indikasi bahwa spesimen tidak hanya mengalami kerusakan pada permukaan tetapi juga di dalam struktur material itu sendiri [12][13].

Kerusakan ini sudah dapat langsung terlihat pada sekali repetisi pengujian, yang menunjukkan bahwa spesimen memiliki kelemahan struktural yang cukup besar bahkan dengan penerapan energi potensial yang relatif kecil sebesar 10 Joule. Pengamatan kerusakan ini pada tahap awal pengujian adalah indikasi penting bahwa spesimen tidak mampu menahan beban dengan baik, dan ini dapat memberikan wawasan mengenai batas toleransi material serta efektivitas dari desain atau proses produksi spesimen tersebut. Dengan demikian, penting untuk melakukan analisis lebih lanjut terhadap kerusakan yang terjadi untuk memahami penyebabnya dan untuk memperbaiki atau mengoptimalkan spesimen di masa mendatang [14].

Percobaan pada sampel kedua yang diuji dengan penerapan energi potensial sebesar 15 Joule, pola kerusakan yang diamati menunjukkan kesamaan dengan kerusakan pada sampel pertama, namun dengan skala yang lebih besar. Sama seperti pada spesimen pertama, sampel kedua menunjukkan adanya *delaminasi* di bagian depan. Pada sampel kedua, ukuran *delaminasi* ini lebih besar dibandingkan dengan spesimen yang diuji dengan energi potensial 10 Joule, menunjukkan bahwa peningkatan energi potensial menyebabkan peningkatan luas kerusakan pada bagian depan spesimen [9].

Selain *delaminasi*, sampel kedua juga mengalami kerusakan berupa retakan di bagian belakang dan serat yang putus, mirip dengan kerusakan pada sampel pertama. Namun, pada sampel kedua, ukuran dan jumlah retakan yang terbentuk lebih signifikan. Serat yang putus menunjukkan bahwa material komposit mengalami kerusakan yang lebih mendalam di elemen seratnya. Kerusakan ini menunjukkan bahwa dengan energi potensial yang lebih tinggi, spesimen mengalami kerusakan yang lebih luas dan lebih serius [12].

Kerusakan ini dapat langsung terlihat pada sekali repetisi percobaan, menunjukkan bahwa spesimen tidak mampu menahan beban tambahan dengan baik dan kerusakan terjadi dengan cepat setelah beban diterapkan. Observasi ini mengindikasikan bahwa terdapat hubungan langsung antara tingkat energi potensial yang diterapkan dan tingkat keparahan kerusakan yang terjadi pada spesimen. Peningkatan energi potensial berbanding lurus dengan skala kerusakan yang terjadi, memberikan wawasan penting tentang batas kapasitas material dan bagaimana spesimen dapat menanggapi beban yang lebih tinggi. Analisis kerusakan yang terjadi pada spesimen kedua sangat berharga untuk memahami mekanisme kerusakan dan untuk memperbaiki desain atau proses produksi guna meningkatkan ketahanan material di masa mendatang [14].

Berbeda dengan spesimen yang diuji pada energi potensial sebesar 10 Joule dan 15 Joule, spesimen yang diberikan beban energi potensial sebesar 20 Joule menunjukkan pola kerusakan yang jauh lebih kompleks. Pada spesimen ini, kerusakan yang teramati mencakup beberapa jenis dan lokasi yang berbeda, yang menandakan dampak dari energi yang lebih tinggi [15].

Spesimen yang diuji dengan 20 Joule, terjadi *delaminasi* yang lebih parah dibandingkan dengan spesimen yang diuji dengan energi lebih rendah. Selain *delaminasi*, juga terjadi putus serat pada bagian belakang. Putusnya serat ini berarti bahwa struktural dari material komposit yang biasanya berfungsi untuk menahan beban telah mengalami kerusakan yang signifikan, sehingga mengurangi kekuatan material secara keseluruhan [9].

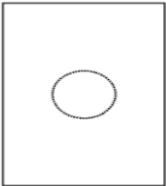
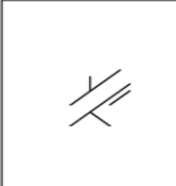
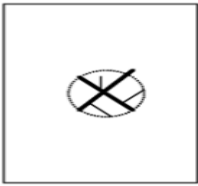
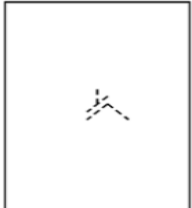
Di bagian belakang spesimen, kerusakan yang muncul termasuk *cracks* (retakan) dan *splits* (belahan). *Cracks* adalah celah-celah yang terbentuk di dalam material dan dapat menyebar lebih jauh jika beban terus diterapkan. *Splits* adalah pembelahan yang lebih besar dan lebih jelas, yang menunjukkan bahwa material telah terpisah menjadi bagian-bagian yang berbeda. Kerusakan jenis ini sering kali menunjukkan bahwa material tidak hanya mengalami kerusakan dipermukaan tetapi juga kerusakan mendalam yang mempengaruhi keseluruhan struktur spesimen [16].

Secara keseluruhan, kerusakan yang lebih kompleks ini menunjukkan bahwa energi *impact* yang lebih tinggi tidak hanya memperbesar skala kerusakan tetapi juga memperkenalkan jenis kerusakan tambahan pada spesimen uji. Ini menandakan bahwa dengan meningkatnya energi potensial, material tidak hanya mengalami kerusakan yang lebih luas tetapi juga menghadapi berbagai jenis kerusakan yang lebih kompleks dan beragam. Peningkatan energi potensial mengakibatkan beban yang lebih besar pada spesimen, yang dapat menyebabkan kerusakan struktural yang lebih serius dan beragam. Analisis terhadap pola kerusakan ini penting untuk memahami bagaimana material bereaksi terhadap berbagai tingkat energi dan untuk merancang spesimen yang lebih tahan terhadap kerusakan di bawah beban tinggi [17]. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi energi potensial yang dihasilkan dan menyebabkan kegagalan dalam proses

pengujian meliputi beberapa aspek penting. Pertama, jenis spesimen yang ingin diuji memainkan peran krusial dalam menentukan hasil dari pengujian tersebut. Setiap jenis spesimen memiliki karakteristik material dan struktur yang berbeda, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi seberapa banyak energi potensial yang dapat disimpan dan dilepaskan selama proses pengujian. Spesimen yang berbeda mungkin memerlukan penyesuaian metode pengujian dan pengaturan alat yang berbeda pula untuk mendapatkan hasil yang akurat dan dapat diandalkan [18][19].

Selain itu, kegagalan dalam pengujian sering kali disebabkan oleh masalah teknis yang terkait dengan peralatan yang digunakan. Salah satu masalah teknis yang umum adalah kegagalan saat melepaskan *impactor*, yang sering kali disebabkan oleh kawat seling yang tersangkut. Kawat seling yang tidak berfungsi dengan baik dapat menyebabkan gaya gesek yang tidak diinginkan, yang pada akhirnya menciptakan hambatan dalam proses pelepasan *impactor*. Hambatan ini dapat mengakibatkan pengukuran yang tidak akurat atau bahkan kegagalan total dari proses pengujian, karena energi potensial yang seharusnya dihasilkan tidak dapat dilepaskan dengan efektif. Oleh karena itu, penting untuk memastikan bahwa semua komponen peralatan dalam kondisi optimal dan bahwa spesimen dipilih dengan cermat untuk menghindari masalah teknis yang dapat mempengaruhi hasil [20].

Tabel 3. Pola Kerusakan berdasarkan ASTM D7136

Jenis Kerusakan Luar				
	<i>Dent/ Depression</i>	<i>Splits/ Cracks</i>	<i>Combined Splits Delamination</i>	<i>Large cracks with fiber breakage, indentation/ Puncture</i>
Jenis Kerusakan Dalam				
	<i>Delaminasi</i>	<i>Splits/Cracks</i>		

Setelah mendapat hasil dari proses rancang bangun dan perhitungan mesin uji benturan jenis *Drop Weight Impact*, maka dapat diambil kesimpulan bahwa alat uji benturan jenis *Drop Weight Impact*, dapat berfungsi dengan melakukan pengujian terhadap media komposit. Mesin uji benturan jenis *Drop Weight Impact* dapat menguji Spesimen komposit dari energi 10 J, 15 J, 20 J, dengan ketinggian 68 cm, 102 cm, 136 cm.

4. Kesimpulan

Setelah mendapat hasil dari proses rancang bangun dan perhitungan mesin uji benturan jenis *Drop Weight Impact*, maka dapat diambil kesimpulan bahwa alat uji benturan jenis *Drop Weight Impact*, dapat berfungsi dengan melakukan pengujian terhadap spesimen komposit. Mesin uji benturan jenis *Drop Weight Impact* dapat menguji Spesimen komposit dari energi 10 J, 15 J, 20 J, dengan ketinggian 68 cm, 102 cm, 136 cm. Diharapkan alat uji *Drop Weight Impact* yang dirancang dan dibangun ini dapat memberikan manfaat dalam kegiatan penelitian dan praktikum di Laboratorium Teknik Mesin, Institut Teknologi Sumatera.

Daftar Pustaka

- [1] A. E. Esemka, "Program Studi Teknik Mesin , Universitas Islam 45 Bekasi Email : handoyoyopi@yahoo.com," vol. 1, no. 1, pp. 17–25, 2013.
- [2] K. T. Budianto, A. R. Maudina, and A. Triwiyanto, "Rancang Bangun Alat Uji Drop Weight Impact Skala Laboratorium," *J. Mech. Eng. Mechatronics*, vol. 2, no. 01, pp. 1–10, 2018, doi: 10.33021/jmem.v2i01.316.
- [3] A. R. L. Francisco, "Pengujian Impact," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1–20, 2013.
- [4] F. Paundra, T. Triyono, and W. P. Raharjo, "Cu Addition Effect Analysis on Matrix Of Remelting Piston Aluminium Composite with Silica Sand Reinsforcement to The Impact Strength and Micro Structure on Aluminuim Matrix Composite Using Stir-Casting Method," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 16, no. 1, pp. 20–25, 2017, doi: 10.20961/mechanika.v16i1.35051.
- [5] M. Syaukani, F. Paundra, F. Qalbina, I. D. Arirohman, and P. Yunesti, "Desain dan Analisis Mesin Press Komposit Kapasitas 20 Ton," pp. 29–34, 2021.
- [6] D. Kurniawan, E. Sutoyo, and B. Hartono, "Analisa Energi Impak Pada Biji Melinjo Dengan Menggunakan Alat Press Primover Compressed Air System," *J. ALMIKANIK*, vol. 2, no. 3, pp. 106–112, 2020.
- [7] F. Paundra, E. Pujiyulianto, A. Muhyi, F. S. Bagaskara, and I. Manzeis, "The Effect of Angle Orientation on Delamination Factors and Tensile Strength Values in the Drilling Process of Polyester Matrix Woven Fiberglass Composites," vol. 15, no. 02, pp. 216–222, 2024, doi: 10.35970/infotekmesin.v15i2.2216.
- [8] Rifqoh, "STUDI KEMAMPUAN POLYPROPYLENE DALAM MENYERAP ENERGI IMPACT PADA APLIKASI AIRBAG PACKAGING," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [9] S. Saktiawan, N. Endriatno, and A. I. Imran, "Perencanaan Alat Uji Impact Type Charpy Kapasitas 10 Joule," *Enthalpy J. Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 4, p. 98, 2020, doi: 10.55679/enthalpy.v5i4.15765.
- [10] dan H. A. Iqbal Bagaskoro, Mas Irfan Purbawanto Hidayat, "Simulasi Delaminasi Laminat Komposit Serat Karbon terhadap Variasi Arah Serat Menggunakan Teknik Cohesive Zone Model (CZM) dan Virtual Crack," vol. 9, no. 2, 2020.
- [11] F. Paundra, D. Istanto, E. Pujiyulianto, M. F. Arif, and S. Hastuti, "Effect of Layers on Delamination and Tensile Strength of Woven Fiber Composites with Polyester Matrix," vol. 21, no. 1, pp. 11–20, 2024.
- [12] R. Devitra, "ANALISIS PERILAKU RETAK PADA MATERIAL KOMPOSIT SERAT RAMI BERDASARKAN VARIASI," INSTITUT TEKNOLOGI PADANG, 2018.
- [13] R. Saputra, A. Muhyi, E. Pujiyulianto, M. Fatikul Arif, and F. Paundra, "The Effect of Variations in Curing Temperature of Carbon Fiber/PVC Foam Board Sandwich Composites on Bending Test Failure Analysis," *J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 24, no. 1, p. 29, 2024.
- [14] J. Hasil, K. Ilmiah, M. Abdul, A. Mufti, U. Budiarto, and S. Hadi, "JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Single V dan Variasi Posisi Las dengan Sambungan MIG pada Aluminium 6061 terhadap Kekuatan Impak sebagai Material Kapal," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 9, no. 1, p. 23, 2021.
- [15] D. Dailami, S. Bahri, and H. Hamdani, "Desain Alat Uji Impak Jatuh Bebas Untuk Pengujian Baja Struktur," *VOCATECH Vocat. Educ. Technol. J.*, vol. 1, no. 2, pp. 29–37, 2020, doi: 10.38038/vocatech.v1i2.22.
- [16] Nukman, "Ketangguhan Beban Impak Dan Beban Tarik Maksimum Pada Pelat Baja Berlapis Akibat Quenching Dan Normalizing," *J. Rekayasa Mesin, Mech. Eng. Dep. Fac. Eng. Sriwij. Univ.*, vol. 9, no. 3, p. 5, 2009.
- [17] Munawar Alfansury and W. Septiawan, "Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 6, no. 1, pp. 137–143, 2023.

- [18] P. P. Pet and W. T. Putra, “Analisa Hasil Uji Impak Sampah Plastik Jenis,” vol. 2, no. 1, pp. 51–56, 2017.
- [19] M. H. Wijaya, F. Paundra, M. Syaukani, and F. Perdana, “Analisis Pengaruh Variasi Temperature Curing Terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Komposit Hybrid Serat Fiber Glass Dengan Tipe Woven dan Mat,” vol. 9, no. 2, pp. 39–46, 2024, doi: 10.33387/dinamik.v9i2.8174.
- [20] Y. Siswanto and H. L. Wijayanto, “Analisis Tingkat Kegagalan dan Perbaikan pada Mesin Impact Crusher: Pendekatan Perawatan Proaktif,” *J. Crankshaft*, vol. 7, no. 2, pp. 104–110, 2024, doi: 10.24176/cra.v7i2.12603.