

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH JENIS DAN ARAH PENEMPATAN SERAT MATERIAL KOMPOSIT BERMATRIKS UNSATURATED POLYMER RESIN (UPR) TERHADAP NILAI IMPAK DAN SIFAT FISIK

Novi Laura Indrayani^{1*}, Aep Surahto¹, Riri Sadiana¹, Regi Purnama Bhayangkara¹, Asep Purnama¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam 45
Jl. Cut Meutia No. 83 Mergahayu Bekasi Timur Kota Bekasi-Jawa Barat 17113.

*Email: novi_laura@unismabekasi.ac.id

Abstrak

Biokomposit merupakan salah satu upaya untuk isu global lingkungan saat ini, dimana jenis material ini berasal dari bahan dasar organik dan lebih mudah terurai saat menjadi limbah. Penelitian ini berfokus pada pembuatan biokomposit dengan serabut kelapa dan daun nanas sebagai penguat dan Unsaturated Polymer Resin (UPR) sebagai matriks. Biokomposit dibuat menjadi dua spesimen dengan perbedaan fraksi volume yakni 10% serat + 90% matriks dan 15% serat + 85% matriks dengan 2 jenis arah penempatan yaitu continuous fiber composite dan discontinuous fiber composite. Dibuat dengan metode hand lay-up. Nilai densitas, swelling dan daya serap air pada jenis arah continuous fiber composite (daun nanas) mendapatkan nilai lebih tinggi dibandingkan discontinuous fiber composite (serabut kelapa). Nilai kekuatan impak didapatkan bahwa continuous fiber composite lebih kuat saat menerima beban kejut, sebesar 8,339 kJ/m² pada KSCF2.

Kata kunci: Biokomposit, densitas, impak, serat, UPR

1. PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya zaman peran material yang terbuat dari logam sudah mulai di gantikan oleh material non logam. Penggunaan material logam yang sebelumnya menjadi pilihan utama pada produk automotive mulai tergantikan dengan bertumbuhnya material polimer, ceramic, dan komposit yang karakternya menyerupai keuletan dan ketangguhan logam. Selain itu, ada beberapa kekurangan material logam seperti beratnya komponen yang terbuat dari logam, proses pembentukannya yang relatif sulit, dapat mengalami korosi dan biaya produksinya mahal. Kekurangan material logam ini menjadi kelebihan dari material lainnya.

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material yang mempunyai sifat mekanik lebih kuat dari material pembentuknya. Komposit terdiri dari dua bagian yaitu matrik sebagai pengikat atau pelindung komposit dan filler sebagai pengisi komposit (Vasili, 2018). Serat alam merupakan alternatif *filler* komposit untuk berbagai komposit polimer karena keunggulannya dibanding serat sintetis (Nachippan, 2021). Serat alam mudah di dapatkan dengan harga yang murah, mudah diproses, densitasnya rendah, ramah lingkungan, dan dapat diuraikan secara biologi

(Sutrisno, 2022). Alasan untuk memilih serat alam sebagai penguat komposit menurut beberapa peneliti antara lain; komposit mempunyai beberapa keuntungan dan keunggulan diantaranya adalah dapat memberikan sifat-sifat mekanik terbaik yang dimiliki oleh komponen penyusunnya, bobotnya yang ringan, tahan terhadap korosi, ekonomis dan tidak sensitif terhadap bahan-bahan kimia (Indrayani, 2024).

Salah satu serat alam yang menjadi obyek penelitian ini adalah serat daun nanas dan sabut kelapa. Serat nanas digunakan karena memiliki beberapa keuntungan yaitu jumlahnya berlimpah, dapat diperbaharui, massa jenis ringan, harganya murah, terurai di alam, dapat di daur ulang, tidak membahayakan kesehatan, serta ramah lingkungan. Sifat mekanik dari serat daun nanas mempunyai diameter 20-80 mm, densitas 1,44 gr/cm³, kandungan selulosanya 81%, kandungan lignin 12%, kandungan elongasi 0,8-1,6%. Prosentase lignin serta zat-zat lain yang terkandung pada serat daun nanas (debu dan ekstraksi alcohol-benzena) merupakan zat-zat yang harus dikurangi atau dihilangkan jika serat daun nanas dijadikan penguat pada komposit. Jenis nanas yang di pilih dalam penelitian ini yaitu nanas madu yang berasal dari pesisir selatan kabupaten Blitar. Daerah Kademangan Blitar

selama ini di kenal sebagai salah satu penghasil buah nanas madu terbaik di Jawa Timur.

Selain itu, untuk tanaman kelapa disebut sebagai tanaman paling serbaguna karena dari pohon, daun hingga buahnya memiliki nilai guna, bahkan batok kelapa yang merupakan limbah dari buah kelapa pun dapat dimanfaatkan untuk bahan baku dalam pembuatan arang. Namun demikian pemanfaatan sabut kelapa saat ini masih tergolong minim dan kebanyakan hanya dibuang begitu saja menjadi limbah, padahal sabut kelapa memiliki sifat ketahanan yang lama, sangat ulet, kuat terhadap gesekan, tidak mudah patah, tidak mudah membusuk, tahan terhadap jamur dan hama serta tidak dihuni oleh rayap sehingga serat alam ini bisa menjadi alternatif *filler* bahan komposit alam, karena selain murah, ketersediaan sabut kelapa juga sangat berlimpah. Saat ini pemanfaatan serat sabut kelapa masih belum maksimal, kebanyakan sabut kelapa hanya dimanfaatkan sebagai media tanam dan bahkan banyak dibuang sehingga menjadi limbah organik

Setyadi, (2022) dalam penelitiannya tentang komposit serat daun nanas menunjukkan bahwa kekuatan impak rata-rata pada komposit dengan arah sudut bersilangan 0° sebesar 30,19 MPa, arah sudut bersilangan $11,25^\circ$ sebesar 26,60 Mpa, arah sudut bersilangan $22,50^\circ$ sebesar 21,73 Mpa dan arah sudut bersilangan sebesar $34,80$ MPa. Serta kekuatan impak rata-rata pada komposit serat daun nanas dengan arah sudut bersilangan 0° sebesar 0,0229 Joule/mm², arah sudut bersilangan $11,25^\circ$ sebesar 0,0375 Joule/mm², arah sudut bersilangan $22,50^\circ$ sebesar 0,0333 joule/mm² dan arah sudut bersilangan sebesar 0,0375. Hal ini menunjukkan komposit serat daun nanas dengan arah sudut bersilangan $11,25^\circ$ dan 45° memiliki harga impak yang sama besar. Sehingga menunjukkan bahwa variasi arah serat tidak terlalu berpengaruh terhadap uji impak karena didapatkan hasil yang tidak terlalu berbeda pada tiap variasinya.

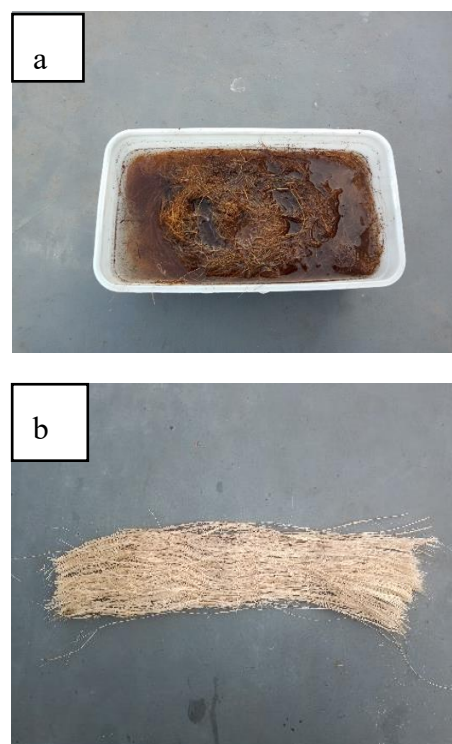
Namun, jika dilihat berdasarkan jenis serat yang berbeda-beda terhadap arah penempatan serat maka penelitian ini diharapkan dapat memberikan hal baru untuk material baru terbarukan. Penelitian ini untuk menemukan persentase paduan terbaik dalam pembuatan komposit polimer dan serat alam yang digunakan sebagai bahan pengganti serat konvensional yang lebih murah dan ramah lingkungan.

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini memiliki beberapa tahapan dimulai dari proses ekstraksi serabut kelapa dan daun nanas menjadi serat, dilanjutkan dengan perlakuan alkali serat menggunakan larutan NaOH 5%, perhitungan komposisi, penimbangan serat, pencetakan papan komposit menggunakan metode hand lay – up, pemotongan dan pembentukan papan komposit sesuai standar pengujian, dan proses pengujian yang meliputi pengujian sifat mekanik dan sifat fisis.

2.1. Proses Ekstraksi Serat

Sebelum digunakan sebagai penguat, serat harus melewati proses ekstraksi terlebih dahulu. Pisahkan antara lapisan luar dengan seratnya yang berada dilapisan dalam. Proses ekstraksi dilakukan menggunakan sikat kawat dengan cara disikat hingga lapisan luar terkikis dan menyisakan seratnya saja (Gambar 1).



Gambar 1 Serat (a) Sabut Kelapa dan (b) Daun Nanas

2.2. Perlakuan Alkali

Serat dipisahkan dari pelepah, serat yang dihasilkan dari proses ekstraksi kemudian diberikan perlakuan alkali dengan larutan NaOH 5% dengan lama perendaman 60 menit. Perlakuan alkali bertujuan untuk menghilangkan kandungan lignin dalam. Setelah direndam selama 60 menit serat

kemudian dibilas menggunakan air bersih dan dikeringkan di bawah sinar matahari hingga tekstur mengering.

2.3. Perhitungan Komposisi

Perhitungan komposisi dilakukan berdasarkan volume total cetakan yang digunakan, yaitu 20 x 20 x 0,5 cm dengan variasi fraksi volume serat sebagai berikut:

1. Variasi Fraksi I, 10% serat dan 90% matriks.
2. Variasi Fraksi II, 15% serat dan 85% matriks.

2.4. Penimbangan Serat

Setelah melakukan perhitungan komposisi dilanjutkan dengan proses penimbangan serat sesuai dengan komposisi yang telah dihitung sebelumnya. Proses penimbangan serat bertujuan untuk menghindari terjadinya kesalahan jumlah takaran volume serat karena akan mempengaruhi sifat mekanik papan komposit yang dihasilkan nanti.

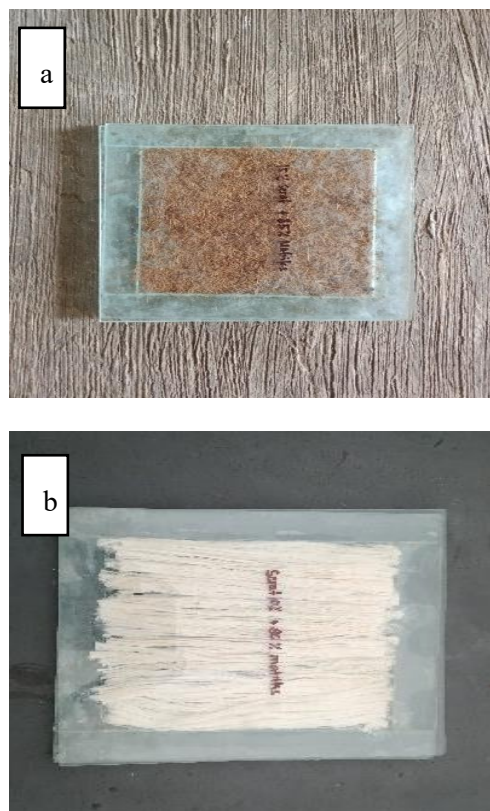
2.5. Pencetakan Papan Komposit

Serat yang sudah ditimbang sesuai dengan takaran perhitungan kemudian diletakan dan disusun pada cetakan kaca. Setelah serat tersusun dilanjutkan dengan pemberian resin (matriks) sebagai bahan pengikat komposit menggunakan metode hand lay – up. Cetakan yang telah terisi resin dan penguat kemudian didiamkan selama 24 jam dengan kondisi temperatur ruang hingga mengering. Pembuatan papan komposit dengan media cetak kaca ditampilkan pada Gambar 2.

Setelah didiamkan selama 24 jam cetakan kaca dapat dibuka dan papan komposit dapat dilepaskan dari cetakan.

1.4. Pengujian Sifat Fisis dan Uji Impak

Pengujian mengacu pada Japanese Industrial Standard JIS A5908-2003. Pembuatan model spesimen pengujian dilakukan berdasarkan ketentuan standar ukuran spesimen uji impak yang digunakan yaitu mengacu pada standar ukuran ISO 179-1.



Gambar 2 Pembuatan Papan Komposit (a) Komposit Serat *Continuous* (b) Komposit Serat *Random*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sifat Fisis

Sifat fisis adalah sifat-sifat material yang bukan disebabkan oleh pembebanan seperti pengaruh pemanasan, pendinginan dan pengaruh arus listrik yang lebih mengarah pada struktur material. Pada pengujian sifat fisis yang dilakukan meliputi pengujian densitas, uji daya serap air, dan pengembangan tebal (*swelling*) mengacu pada standar JIS A5908 – 2003.

Tabel 1, menunjukkan Densitas atau kerapatan merupakan banyaknya massa persatuan volume. Semakin tinggi kerapatan suatu material maka semakin tinggi pula kekuatannya. Berdasarkan hasil pengujian densitas yang dilakukan, didapatkan nilai kerapatan dari kedua arah serat komposit memiliki nilai hampir sama. Secara umum hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi volume matriks yang digunakan maka semakin tinggi pula kerapatan papan komposit yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena semakin bertambahnya massa serat yang digunakan maka akan menambah massa total dari papan komposit yang dihasilkan pada volume yang sama. Standar JIS A5908–2003, *Based Particleboard*

dan *Decorative Particleboard* mensyaratkan nilai kerapatan papan komposit minimal $0,4 \text{ g/cm}^3 - 0,9 \text{ g/cm}^3$. Berdasarkan nilai yang didapatkan, maka semua papan komposit yang dihasilkan telah melewati standar yang telah ditetapkan.

JIS A509 – 2003 karena persentase serapan airnya berada dibawah nilai maksimal yang diizinkan, yaitu 6%.

Pengembangan tebal merupakan sifat fisis yang akan menentukan apakah suatu papan partikel dapat digunakan untuk keperluan

Tabel 1 Hasil Pengujian Sifat Fisis

Serat Biokomposit	Fraksi Volume (%)	Densitas (g/cm^3)	Penyerapan (%)	Swelling (%)
Daun Nanas (<i>continous</i>)	KSCF 1	1,165	1,422	0,899
	KSCF 2	1,188	2,402	1,213
Serabut Kelapa (<i>discontinous</i>)	KSRF 1	1,168	0,642	0,49
	KSRF 2	1,176	2,009	1,126

Daya serap air merupakan kemampuan dari papan komposit dalam menyerap air selama dilakukan perendaman 24 jam. Air yang masuk ke dalam papan partikel dapat dibedakan atas 2 macam yaitu air yang langsung masuk kedalam papan dan air yang masuk ke dalam partikel serat penyusun.

Berdasarkan hasil data yang didapat dari pengujian daya serap air pada Tabel 1, Komposit Serat *Continous* Fraksi (KSCF) yang berisi serat daun nanas yang tersusun searah memiliki kadar air yang cukup tinggi, dimana dalam ruang komposit serat dapat menyerap air yang lebih banyak. Sedangkan pada Komposit Serat *Discontinous* Fraksi (KSDF) yang disusun oleh serabut kelapa, cenderung memiliki daya serap air yang lebih rendah dari pada KSCF. Namun KSCF dan KSDF menunjukkan terjadi kenaikan nilai daya serap air seiring bertambahnya komposisi serat yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh sifat dari pengisi pada komposit yaitu serat daun nanas yang mudah menyerap air. Semakin banyak serat yang digunakan dalam komposisi maka semakin banyak pula air yang mampu diserap oleh spesimen. Tinggi komposisi serat menyebabkan komposit didominasi oleh banyaknya serat pandan laut sehingga air yang terserap oleh papan komposit semakin banyak dan menambah massa akhir dari spesimen.

Standar JIS A509 – 2003 menyebutkan semakin kecil persentase daya serap air pada komposit maka kualitas papan komposit yang dihasilkan memiliki ketahanan yang baik. Berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian daya serap air, maka papan komposit yang dihasilkan sudah sesuai dengan standar

eksterior atau interior. Apabila pengembangan tebal papan partikel tinggi berarti bahwa stabilitas dimensi produk tersebut tidak dapat digunakan untuk penggunaan eksterior atau jangka waktu yang lama, karena sifat mekanis yang dimilikinya akan segera menurun secara drastis dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama.

Hasil penelitian menunjukkan peningkatan pengembangan tebal seiring bertambahnya fraksi serat baik arah serat searah ataupun random yang digunakan. Hal ini juga terjadi pada pengujian daya serap air, dimana semakin banyak fraksi serat maka persentase daya serap serat terhadap air semakin meningkat, begitupun pada pengembangan tebalnya. Standar JIS A509 – 2003 mensyaratkan batas maksimal pengembangan tebal papan komposit sebesar 12%. Dengan demikian pada penelitian ini nilai pengembangan tebal dari ketiga komposit serat yang dihasilkan telah memenuhi standar dengan persentase pengembangan kurang dari 12%.

3.2 Hasil Uji Nilai Impak Komposit

Hasil data pengujian sifat mekanik adalah nilai uji impak. Nilai uji impak ini untuk melihat nilai ketangguhan material biokomposit terhadap beban kejut yang mengacu pada standar Standar ISO 179. Kondisi spesimen sebelum (a) dan sesudah (b) pengujian impak ditampilkan pada Gambar 3 dan data – data yang didapatkan dari hasil pengujian impak dirangkum pada Tabel 2 yang menunjukkan nilai energi serap dan ketangguhan impak rata – rata dari hasil pengujian pada dua variasi arah serat.



Gambar 3. Kondisi Sebelum (a) dan Setelah (b) Pengujian Impak

Gambar 3 menunjukkan bentuk biokomposit setelah menerima beban kejut dengan nilai energi serap yang diterima oleh biokomposit serat berbeda-beda. Berdasarkan pada pengamatan patahan setelah pengujian impak dapat di lihat bahwa patahan yang terjadi berbentuk pull out (patahan akibat beban kejut tampak serabut serat) dan broken fiber (serat patah didalam matrik dan matrik patah). Karena pada umumnya serat komposit secara praktis elastik terpengaruh oleh gaya dari luar yang memberikan beban secara mendadak. Sekalipun demikian, keheterogenan komposit memberikan berbagai macam mekanisme energi disipasi pada skala mikroskopis terhadap proses ketangguhan tersebut.

Tabel 2. Data Pengujian Impak

Arah Serat Biokomposit	Fraksi Volume	Energi Serap (Joule)	Ketangguhan Impak (kJ/m^2)
Daun Nanas (<i>continuous</i>)	KSCF 1	0,2309	5,480
	KSCF 2	0,3756	8,339
Serabut Kelapa (<i>discontinuous</i>)	KSDF 1	0,0394	0,963
	KSDF 2	0,067	1,654

Pada Tabel 2, terlihat naiknya ketangguhan impak berbanding lurus dengan volume serat, semakin tinggi volume serat semakin tinggi ketangguhan impak yang dihasilkan oleh komposit. Perbandingan serat-matrik sangat menentukan karakteristik mekanis yang dihasilkan (Raliannoor, 2020). Selain jenis serat dan fraksi volume, arah serat juga menjadi variabel pada penelitian ini dan biokomposit dengan serat daun nanas dgn arah serat searah cenderung lebih tangguh dalam menerima

beban kejut. Dari perhitungan data hasil pengujian dengan variasi fraksi berat serat maka didapatkan kekuatan impak tertinggi pada fraksi berat serat 15% sebesar $8,339 \text{ kJ/m}^2$. Hal ini disebabkan oleh beban yang diterima spesimen saat pengujian impak berlawanan dengan arah serat (*transverse stress*) sehingga patahan yang terjadi hanya pada bagian yang mengalami pemusatan tegangan, karena secara alami, komposit serat bersifat anisotropik yang tinggi, sifat maksimum akan tercapai jika seluruh fiber diluruskan dalam arah sumbu fiber. Selain itu, fraksi volume serat sangat berpengaruh dalam menentukan karakteristik komposit. Semakin banyak volume serat semakin tinggi ketangguhan impak (Indrayani, 2022). Pada penelitian Jekson (2018), komposit jenis serat jika disusun dengan arah serat yang sama menjadi kekuatan terbesar dari komposit, karena serat berbentuk panjang dan lurus.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *densitas*, penyerapan air dan *swelling* pada *continuous fiber composite* daun nanas variasi 2 (KSCF2) mendapatkan nilai lebih tinggi dibandingkan yang lain. Dimana nilai penyerapan air sebesar 2,4%, *swelling* sebesar 1,2%.
2. Ketangguhan impak didapatkan pada *continuous fiber composite* daun nanas variasi 2 (KSCF2) mendapatkan nilai tertinggi sebesar $8,339 \text{ kJ/m}^2$. Biokomposit dapat menerima beban kejut hingga terjadi deformasi plastis hingga 0,3756 Joule.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiati, M., (2016), Sintesis Dan Karakterisasi Komposit Polyester Serat Daun Lontar Dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Kalium Permanganat (KMnO_4). Perpustakaan Universitas Airlangga.
- Hartanto, L., (2009), Studi Perlakuan Alkali Dan Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Bendng, Tarik Dan Impak Komposit Berpenguat Serat Rami Bermatrik Polyester BQTN 157. Skripsi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Indrayani, Novi, Laura., Muhamad. Ramadhan., dan Netta. Liliana., (2019), Studi Pengaruh Waktu Sintering Terhadap

- Sifat Kimia dan Mekanik Komposit LDPE-PVC-SBR, Prosiding Seminar Nasional Energi&Teknologi (SINERGI), Hal 55-63, Fakultas Teknik, Universitas Islam "45", HYPERLINK
["https://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/sinergi/article/view/1697"](https://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/sinergi/article/view/1697)
<https://jurnal.unismabekasi.ac.id/index.php/sinergi/article/view/1697>.
- Indrayani, Novi, Laura., R. Hengki. Rahmanto., dan Riri. Sadiana, (2021), Analisis Pengaruh Variasi Waktu Sintering dan Komposisi Terhadap Sifat Mekanik dan Morfologi Komposit Eceng Gondok-PVC-LDPE, Jurnal Inovasi Teknik Kimia, Vol. 6, No. 2 Oktober, 2021, 73-80, Doi: HYPERLINK
["http://dx.doi.org/10.31942/inteka.v6i2.5505"](http://dx.doi.org/10.31942/inteka.v6i2.5505)
<http://dx.doi.org/10.31942/inteka.v6i2.5505>.
- Indrayani, Novi, Laura., Riri. Sadiana, Dicky Ramdani., (2024), Optimization of Unsaturated Polyester Resin Matrix Composite Materials Reinforced Banana (Musa Balbisiana) Fronds Composition Towards Tensile Test, The 1st International Conference on Environment, Green Technology, and Digital Society (INTERCONNECTS 2023), Volume 500, Doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450003014>
- Jekson, M., (2018), Analisa Pengaruh Arah Serat Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Serat Eceng Gondok Bermatrik Resin Polyester Dengan Metode Vacuum Bag.
- Kaw, Autar, K., (2006), Mechanics of Composite Material, Second Edition. United States; Taylor & Francis Group.
- Made , R. G., & Berata, W., (2012), Pengaruh Penambahan Persentase Fraksi Volume *Hollow Glass Microsphere* Komposit Hibrida Lamina dengan Penguat Serat Anyaman terhadap Karakteristik Tarik dan Bending. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Mulyo, B. T., & Yudiono, H. (2018). Analisis Kekuatan Impak Pada Komposit Serat Daun Nanas Untuk Bahan Dasar Helm SNI. Jurnal Kompetensi Teknik.
- Nachippan, N. A. (2021). Numerical analysis of natural fiber reinforced composite bumper. *Materials Today: Proceedings*
- Raliannoor, R., & Rahmalina, D., 2020, Pengaruh Fraksi Volume Penguat 2, 2, 5 dan 3% Serat Bambu Haur Dan Fiberglass Terhadap Kekuatan Tarik Matriks Poliester. *INFO-TEKNIK*, 20(2), 141-154.
- Safa'at, A. (2017). Aplikasi Komposit Epoxy-HGM-Carbon Fiber Pada Sungkup Helm Untuk Menahan Penetrasi dan Mereduksi Energi Impact. Repository Institut Teknologi Sepuluh November.
- Saidah, A., Susilowati, S. E., & Nofendri, Y., 2018, Pengaruh Fraksi Volume Dan Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berbahan Serat Rami Epoxy Sebagai Bahan Alternatif Komponen Otomotif. In Seminar Nasional Teknik Mesin, Vol. 3, pp. 191-197.
- Setyadi, I., Yulianto, & Pranandita, N. (2022). Analisis Pengaruh Serat Daun Nanas Terhadap Sifat Mekanik Pada Matrik Polyester Dengan Jenis Daun Nanas Smooth Cayenne.
- Sutrisno, T. A., Widi, I. K., dan Rochim, M. I., 2022, Jurnal Flywheel Analisa Kekuatan Tarik dan Foto Makro Patahan Komposit Serat Eceng Gondok Berpenguat ZnO. *Jurnal Flywheel*, 13(2), 35-40.
- Syamsu, L. N. (2015). Pengaruh Serat Kaca Kontinu Terhadap Kekuatan Tarik dan Sifat Thermal Komposit Polyester/Serat Kaca.
- Tumpal Ojahan, R., & Hansen, A. (2015). Analisis Fraksi Volume Serat Pelepah Batang Pisang Bermatriks Unsaturated Resin Polyester (UPR) Terhadap Kekuatan Tarik dan SEM. *Jurnal Mechanical*, Vol. 6.
- Witono, K., Irawan, Y. S., Soenoko, R., & Suryanto, H. (2013). Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) Terhadap Morfologi dan Kekuatan Tarik Serat Mendong. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 4.
- Valery, Vasili. V., and Evgeny V. Morozov., 2018, *Advanced Mechanics of Composite Material and Structures*, Fourth Edition. United States; Elsevier.