



Pengaruh Penambahan ABS Bekas dan Jenis Plastik ABS Hasil Cetak Injeksi terhadap Umur Lelah

Syamsul Hadi^{1*}, Dimas Kevin Alviano², Daffa Aureza Andhika³, Ivan Rosdinata⁴

¹Program Studi Doktor Terapan Optimasi Desain Mekanik, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

²Program Studi Diploma III, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

³⁻⁴Program Studi Diploma IV, Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

*Penulis Korespondensi: syamsul.hadi@polinema.ac.id

Abstract. Many used ABS plastic wastes have problems in their management. The aim of this research is to obtain a prediction of the fatigue life of a mixture of ABS plastic and used ABS as an injection molding product. The research method is carried out through the stages of mixing used ABS with a volume of 10%, 20%, and 30% in ABS grade A and grade B; making fatigue test specimen molds according to R. R. Moore standards, injection molding of a mixture of used ABS and ABS grade A and grade B, checking the straightness and smoothness of the specimen surface, fatigue testing with increasing serial loads, analysis and making a graph of bending stress (S) against fatigue life (N) (S-N Curve). The results of the study showed that the addition of used ABS had an effect on the fatigue life of both grade A and grade B of ABS, where the fatigue life of grade A of ABS increased with the addition of the volume percentage from 0% -30% of used ABS with the highest value at the addition of 30%, namely 43698.9 cycles, while in grade B of ABS, the fatigue life decreased with the increase in volume from 0% -30% with the highest fatigue life in grade B of ABS plastic without a mixture or 0%, namely 41377.5 cycles, the implication of which is that the addition of 0% -30% of used ABS in grade A can increase the fatigue life, but grade B of ABS actually decreases its fatigue life.

Keywords: Fatigue Life; Injection Molding; R. R. Moore; S-N Curve; Used ABS.

Abstrak. Banyak limbah plastik ABS bekas yang mengalami masalah dalam pengelolaannya. Tujuan penelitian untuk memperoleh prediksi umur lelah dari campuran plastik ABS dan ABS bekas sebagai produk cetak injeksi. Metode penelitian dilakukan melalui tahapan pencampuran ABS bekas dengan volume 10%, 20%, dan 30% pada ABS grade A dan grade B; pembuatan cetakan spesimen uji lelah sesuai dengan standar R. R. Moore, pencetakan injeksi campuran ABS bekas dan ABS grade A dan grade B, pemeriksaan kelurusan dan kehalusan permukaan spesimen, pengujian lelah dengan beban serial meningkat, analisis dan pembuatan grafik tegangan lentur (S) terhadap umur lelah (N) (Kurva S-N). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ABS bekas berpengaruh terhadap umur lelah dari ABS grade A maupun grade B, yang mana umur lelah ABS grade A mengalami peningkatan seiring dengan penambahan persentase volume dari 0%-30% ABS bekas dengan nilai tertinggi pada penambahan 30% yaitu pada 43698,9 siklus, sedangkan pada ABS grade B mengalami penurunan umur lelah seiring bertambahnya volume dari 0%-30% dengan umur lelah tertinggi pada plastik ABS grade B tanpa campuran atau 0% yaitu 41377,5 siklus yang implikasinya dengan penambahan 0%-30% ABS bekas pada grade A dapat meningkatkan umur lelah, tetapi ABS grade B malahan menurunkan umur lehannya.

Kata kunci: ABS bekas, cetakan injeksi, kurva S-N, R. R. Moore, umur lelah.

1. LATAR BELAKANG

Kebaruan (*gap analysis*) dari penelitian saat ini adalah spesimen uji lelah diperoleh dengan pencetakan injeksi yang sebelumnya dilakukan dengan pembubutan menggunakan Mesin Bubut CNC, karena pada bagian tengah dari panjang spesimen memiliki kelengkungan berupa radius yang tidak dapat dikerjakan menggunakan Mesin Bubut Manual yang menjadi mendasak, mengingat pengujian lelah umumnya membutuhkan cukup banyak spesimen, karena satu spesimen hanya menghasilkan sebuah titik saja yang diperlukan sejumlah titik untuk menghasilkan kurva tegangan lentur terhadap umur lehannya. Tujuan penelitian adalah

untuk memperoleh prediksi umur lelah dari spesimen hasil cetak injeksi dari bahan polimer *acrylonitril butadiene styrene* (ABS) dan campuran ABS bekasnya yang memenuhi standar, lurus sumbunya, halus permukaannya dan cepat pembuatannya.

Dari beberapa penelitian terdahulu dinyatakan bahwa penyusutan (*shrinkage*) optimal cetak plastik daur ulang bahan ABS diperoleh pada arah memanjang senilai 0,28 %, arah melintang senilai 0,77 % pada tekanan injeksi 80 Bar, waktu penahanan saat penyusutan-pendinginan (*holding time*) 3,25 detik, waktu pendinginan 20 detik, dan temperatur pelelehan 205 °C (Maulana dkk., 2017). Penambahan bahan ABS bekas 50 % pada ABS baru, dapat meningkatkan modulus elastisitas dari 1,593 MPa menjadi 1,927 MPa (21%) dan meningkatkan kekuatan tarik dari 32,923 MPa menjadi 41.008 MPa (24,6%) (Setiawan dkk, 2017).

Batas kelelahan campuran polikarbonat dan ABS dibandingkan dengan ABS saja menunjukkan peningkatan pada temperatur 22°C dari 37,3 MPa menjadi 45,2 MPa (21,2%), pada 85°C dari 17,7 MPa menjadi 33,7 MPa (90,4%), dan pada -27°C dari 42,0 MPa menjadi 45,0 MPa (7,1%) (Mura dkk., 2018). Perubahan orientasi serat dalam cetak 3 dimensi untuk bahan ABS dan polylactic Acid (PLA) menunjukkan penurunan kekuatan tarik hingga 44,3% untuk ABS dan 52,8% untuk PLA (Syaefudin, dkk., 2023). Pencampuran dalam perbandingan berat antara ABS 30% dan *thermoplastic polyurethane* (TPU) 70% dalam cetak 3 dimensi (3D *Printing*) menunjukkan peningkatan optimum kekasaran permukaan $32,9 \pm 13,2$ nm pada temperatur nosel 225 °C dan temperatur landasan 60 °C (Thavornytikarn dkk., 2023). Pencetakan bahan dari filamen ABS dalam cetak 3 dimensi dengan metode model pengendapan lelehan (*fused deposition modeling/FDM*) dapat mencapai kekuatan pukul lebih dari 7 kJ/m² (Gonçalves dkk., 2024).

Bahan ABS disiapkan menjadi spesimen sesuai dengan standar ASTM D638 type IV, diperoleh kekuatan luluh hasil cetak injeksi mencapai 70,46 MPa tertinggi daripada hasil 3D *Printed* pada 44,36 MPa dan cetak tekan (*compressed molded*) pada 42,45 MPa (Shaik dkk., 2023). Cetak 3D bahan ABS berbentuk poros diperoleh kurva S-N hasil uji lelah pada umur lelah (N) 143702 siklus dengan tegangan lentur (S) 26,87 MPa dan pada N=145 siklus dengan S=35,71 MPa (Abdurrahman dan Fitri, 2022). Penambahan ABS bekas 40 % pada ABS baru menaikkan kekerasan dari 29 HR_C menjadi 31,2 HR_C (7,59 %) dan menurunkan kekuatan tarik dari 33,42 MPa menjadi 32,64 MPa (2,3%) (Setiawan dkk, 2024).

Penambahan plastik bekas pada aspal dapat meningkatkan ketahanan lelah (Cardoso dkk., 2023). Produk plastik injeksi dari bahan baku HDPE bekas menunjukkan cacat *sink mark* maksimum 0,320 mm dan minimum 0,237 mm dari 9 percobaan pada tekanan injeksi 140 Bar dan *holding time* 4 detik (Irmawan dkk., 2017). Sepatu kaki kursi lipat sisipan pelat ring yang

dicetak dari bahan plastik *high density polyethylene* (HDPE) mampu menahan beban 81,2 kg (56%) lebih kuat daripada tanpa sisipan pelat ring yang hanya mampu menahan beban 52 kg (Hadi dkk., 2015). Hasil cetak 3 dimensi bahan polimer dengan cetakan fabrikasi filamen menyatu (*fused filament fabrication/FFF*) dengan pola isian silang berkinerja lebih baik daripada pola bujursangkar (Bakhtiari dkk., 2023).

Orientasi sudut cetak 3D dengan *raster/matriks* $+45^{\circ}/-45^{\circ}$ menghasilkan umur lebih lama pada bahan PLA dan ABS (Shanmugam dkk., 2021). Spesimen uji lelah standar dari bahan PVC dapat dibubut dengan bubut *copy* yang terpasang pada mesin uji lelah sebagai pengganti dari Mesin Bubut CNC (Hadi dkk., 2018).

Mesin uji lelah dengan daya motor 0,25 HP, 1 fasa, 1450 *rpm*, tegangan 220V dapat menguji spesimen sesuai standar ASTM E466 dengan ϕ 10 mm, beban hingga 20 kg (Hutabarat dan Sitorus, 2017). Pengaruh beban pada bahan HDPE dengan tegangan rerata 13 MPa, amplitudo tegangan 6 MPa menunjukkan patahan ulet dan pada bahan PVC dengan tegangan rerata 27 MPa, amplitudo tegangan 10 MPa menunjukkan patahan getas (Naga dan Sayed, 2024).

Waktu siklus produksi tutup plastik botol bahan HDPE pada temperatur pelelehan 180°C dan temperatur cetakan 32°C adalah 33 detik yang dapat diturunkan menjadi $23,66^{\circ}\text{C}$ atau menurun 9,34 detik (Rahayu dan Arifin, 2023). Hasil uji puntir bahan baja ST37 setelah *tempering* sesuai dengan standar ASTM E143 memiliki tegangan geser 553,58 MPa (Aminuddin dkk., 2020).

Umur lelah bahan AISI 316L pada 2870667 siklus dicapai pada tegangan lentur 277 MPa dan dari simulasi dicapai pada tegangan lentur 258 MPa atau 6,86 % lebih tinggi daripada hasil simulasinya (Fakhriza dkk., 2021).

2. KAJIAN TEORITIS

Perbedaan antara plastik ABS Grade A dan plastik ABS Grade B adalah nilai/tingkat ketangguhan pukul atau *impact toughness*, yang mana Grade B memiliki ketangguhan pukul lebih tinggi daripada Grade A.

Uji lelah yang menggunakan batang berputar dengan beban di tengah sesuai dengan Prinsip R.R. Moore diperlukan penghitungan momen lentur, momen inersia penampang lingkaran, dan tegangan lentur yang terjadi pada spesimen uji lelah.

Momen lentur yang bekerja pada spesimen diperoleh dengan Rumus (1).

$$M_b = F (L/2) \quad (1)$$

dengan:

M_b : Momen lentur (N.m)

F : Gaya pembebanan (N)

L : Jarak antara bantalan beban (m)

Momen inersia penampang lingkaran diperoleh dengan Rumus (2)

$$I = \pi d^4/64 \quad (2)$$

dengan:

I : Momen inersia penampang lingkaran (m^4)

d : Diameter terkecil spesimen di tengah panjang spesimen (mm)

Tegangan lentur (σ_L) atau (δ) yang terjadi pada spesimen uji lelah diperoleh dengan Rumus (3).

$$\sigma_L = M.c/I \quad (3)$$

dengan:

σ_L : Tegangan lentur (MPa)

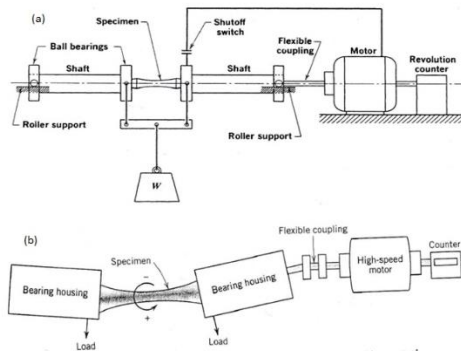
M : Momen lentur (N.m)

c : $d/2$

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian menggunakan eksperimen berupa pengujian spesimen dengan menggunakan mesin uji lelah batang putar terpadu yang mengacu pada prinsip R.R. Moore yaitu pembebanan lelah pada spesimen mendatar yang berputar yang dibebani pada kedua ujungnya hingga spesimen patah mencapai jumlah putaran tertentu sebagai umur lelah dari suatu bahan yang sedang diuji lelah.

Skema mesin uji lelah batang putar prinsip R.R. Moore ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Mesin uji lelah batang putar prinsip R.R. Moore: (a) rangkaian mesin (Dowling, 2007: 408), dan (b) spesimen melentur akibat beban (Callister, 2007: 230)

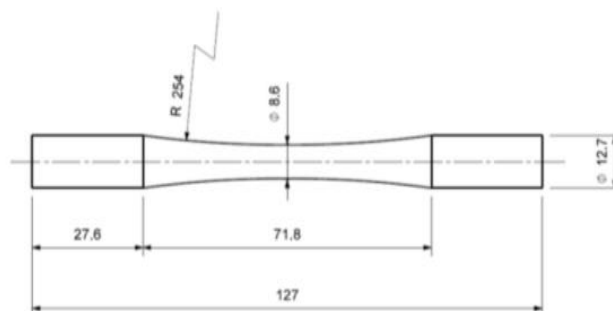
Spesimen dari bahan ABS dicetak menggunakan cetakan injeksi sebagaimana Gambar 2 dan hasilnya sebagaimana Gambar 3.



Gambar 2. Spesimen dari Bahan ABS Dicetak Menggunakan Cetakan Injeksi

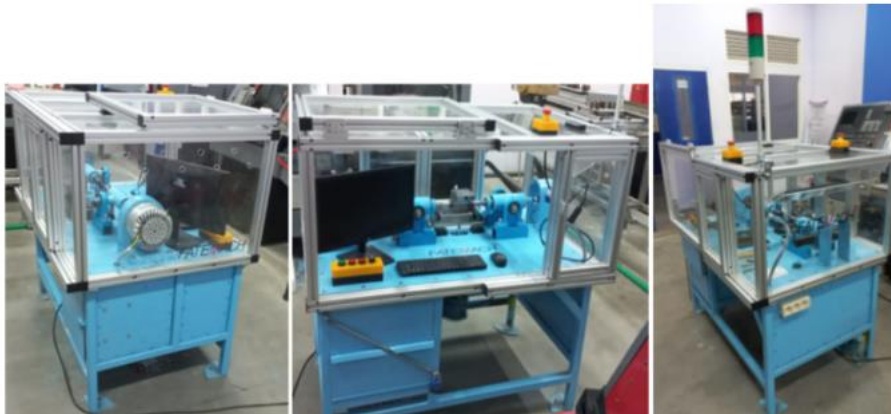


Gambar 3. Spesimen Uji Lelah dari Bahan ABS Hasil Cetak Injeksi
Bentuk dan dimensi spesimen uji lelah standar sebagaimana Gambar 4.



Gambar 4. Bentuk dan Dimensi Spesimen Uji Lelah Standar (Hadi dkk., 2023)

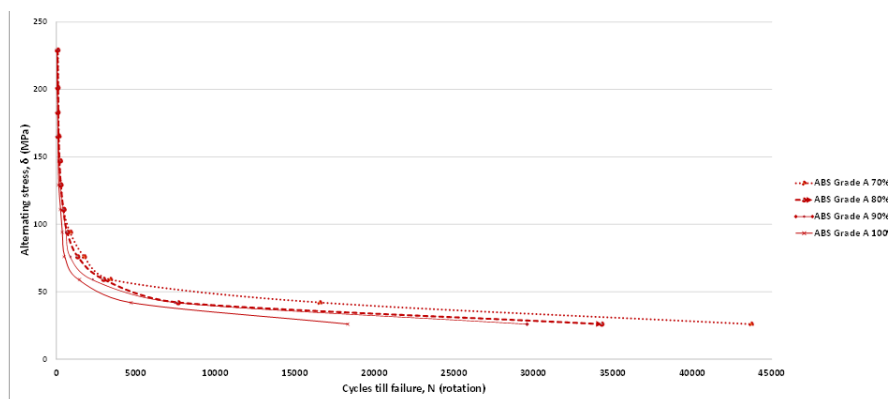
Pengujian lelah menggunakan Mesin Uji Lelah Batang Putar Terpadu Fatemach tampak pada Gambar 5.



Gambar 5. Mesin Uji Lelah dengan Batang Putar Terpadu Fatemach

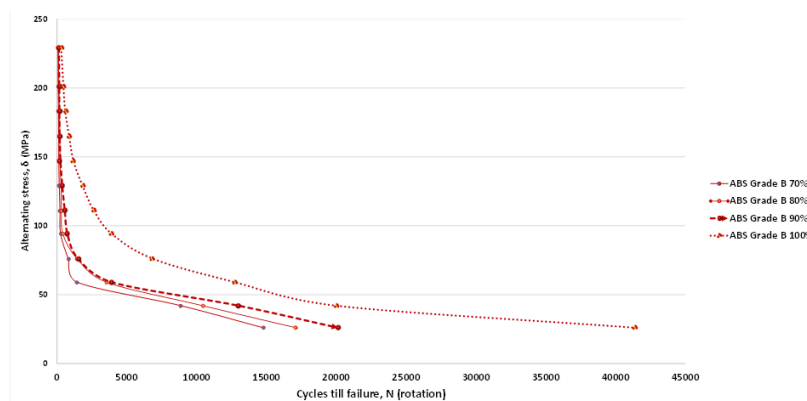
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji lelah bahan ABS *Grade A* dan campuran ABS bekas/*recycle* sebagaimana Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Uji Lelah Bahan ABS Grade A dan Campuran ABS Bekas/*Recycle*

Hasil uji lelah bahan ABS *Grade B* dan campuran ABS bekas/*recycle* sebagaimana Gambar 7.



Gambar 7. Hasil uji lelah bahan ABS *Grade B* dan campuran ABS bekas/*recycle*

Pada Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan bahwa perubahan variasi pembebanan berpengaruh pada umur lelah plastik ABS, baik pada ABS *Grade A* dan variasi campurannya, dan ABS *Grade B* dan variasi campurannya.

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa pada plastik ABS *Grade A*, seiring penambahan ABS bekas dari volume 0%, 10%, 20%, dan 30% menghasilkan jumlah putaran yang meningkat atau umur lelah yang semakin panjang, yang mana umur lelah tertinggi terdapat pada kondisi pembebanan terendah dengan volume 30% yang memiliki umur lelah 43698,9 siklus yang membuktikan bahwa pada ABS *Grade A* dengan penambahan volume campuran ABS bekas, umur lelahnya semakin meningkat/panjang.

Pada Gambar 7 dapat diketahui bahwa pada plastik ABS *Grade B* seiring penambahan ABS bekas dari volume 0%, 10%, 20% dan 30% menghasilkan jumlah putaran yang menurun atau umur lelah yang semakin pendek yaitu pada kondisi pembebanan terendah dengan volume ABS bekas 0% yang mendapatkan putaran tertinggi yaitu 41377,5 siklus yang membuktikan bahwa pada plastik ABS *Grade B*, umur lelahnya semakin menurun/pendek.

Interaksi antara *grade* dan volume campuran ABS bekas, yang mana pada *Grade A* seiring penambahan volume, umur lelahnya meningkat, sedangkan pada plastik ABS *Grade B* seiring penambahan volume, umur lelahnya menurun.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh diantaranya: Volume campuran 10%, 20%, dan 30% ABS bekas berpengaruh terhadap umur lelah, dengan variasi penambahan volume ABS bekas menghasilkan nilai umur lelah yang berbeda-beda sebagai contoh pada *Grade A* campuran 30% memiliki umur lelah 43698,9 siklus, sedangkan pada *Grade B* tanpa campuran memiliki umur lelah 41377,5 siklus. *Grade* plastik ABS yang digunakan dari ABS *Grade A* dan plastik ABS *Grade B* berpengaruh terhadap umur lelah yang berbanding terbalik yaitu pada plastik ABS *Grade A* memiliki umur lelah yang meningkat dengan nilai tertinggi pada *Grade A* pada campuran 30% ABS bekas dan berbanding terbalik dengan *Grade B* yang memiliki nilai tertinggi justru tanpa campuran ABS bekas atau 0%. Interaksi antara volume campuran ABS bekas dan *grade* plastik ABS berpengaruh terhadap umur lelah plastik ABS dengan peningkatan volume dari 10%, 20% dan 30% ABS bekas pada plastik ABS *Grade A*, umur lelahnya semakin meningkat, sedangkan pada plastik ABS *Grade B* seiring peningkatan volume ABS bekas, umur lelahnya semakin menurun. Disarankan perlu dicoba pencampuran ABS bekas dengan bahan plastik baru jenis selain ABS untuk dapat mengetahui pengaruh dari berbagai kombinasinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sampaikan banyak terima kasih atas dukungan fasilitas dalam pengujian lelah sejumlah spesimen kepada Kepala Laboratorium Pengujian dan Perlakuan Bahan Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang.

DAFTAR REFERENSI

- Aminuddin, R. R., Santosa, A. W. B., & Yudo, H. (2020). Analisa kekuatan tarik, kekerasan, dan kekuatan puntir baja ST 37 sebagai bahan poros baling-baling kapal (propeller shaft) setelah proses tempering. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(3), 368-374.
- Bakhtiari, H., Aamir, M., & Rad, M. T. (2023). Effect of 3D printing parameters on the fatigue properties of parts manufactured by fused filament fabrication: A review. *Applied Sciences*, 13(904), 1-27. <https://doi.org/10.3390/app13020904>
- Cahyono, T. S. A., Hadi, S., Pratama, R. W., & Amalia, Z. (2024). Fatigue test of plastics and manufacturing collet nut driver for integrated rotating bending fatigue test machine. *Logic Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi*, 24(3), 110-116. <https://doi.org/10.31940/logic.v24i3.110-116>
- Callister, W. D. (2007). *Materials science and engineering: An introduction* (7th ed.). Wiley Asia Student Edition, John Wiley & Sons.
- Cardoso, J., Ferreira, A., Almeida, A., & Santos, J. (2023). Incorporation of plastic waste into road pavements: A systematic literature review on the fatigue and rutting performances. *Construction and Building Materials*, 407, 133441, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133441>
- Dowling, N. E. (2007). *Mechanical behavior of materials: Engineering methods for deformation, fracture, and fatigue*. Pearson International Edition.
- Fakhriza, Huzni, S., Murtadhahadi, & Dabet, A. (2021). Studi perbandingan perilaku lelah AISI 316L dengan menggunakan metode eksperimen dan simulasi. *Jurnal Polimesin*, 19(2), 194-200.
- Gonçalves, V. P. D., Vieira, C. M. F., Simonassi, N. T., Lopes, F. P. D., Youssef, G., & Colorado, H. A. (2024). Evaluation of mechanical properties of ABS-like resin for stereolithography versus ABS for fused deposition modeling in three-dimensional printing applications for odontology. *Polymers*, 16(2921), 1-17. <https://doi.org/10.3390/polym16202921>
- Hadi, S., Hardjito, A., Wicaksono, H., Cahyono, T. S. A., Wirawan, & Emzain, Z. F. (2023). Fatigue life prediction of injection molded polymer. *Proceeding of the 5th Annual Advance Technology, Applied Science, and Engineering Conference (ATASEC) 2023*, 235-248. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-358-0_24
- Hadi, S., Murdani, A., & Wicaksono, A. (2018). Design and manufacture a tool post for turning the fatigue test standard specimen profile for plastic materials. *Prosiding SNTTM XVII*, PMT-65-72.

- Irmawan, W., Budiyanoro, C., & Sosiati, H. (2017). Optimalisasi parameter proses injeksi pada HDPE recycle material untuk memperoleh minimum sink marks menggunakan pendekatan metode Taguchi. *Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, 1(2), 56-62.
- Maulana, M. P. I. M., Budiyanoro, C., & Sosit, H. (2017). Optimalisasi parameter proses injeksi pada ABS recycle material untuk memperoleh shrinkage longitudinal dan transversal minimum. *Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, 1(1), 1-9.
- Mura, A., Ricci, A., & Canavese, G. (2018). Investigation of fatigue behavior of ABS and PC-ABS polymers at different temperatures. *Materials*, 11(1818), 1-14. <https://doi.org/10.3390/ma11101818>
- Naga, S. A. R., & Sayed, T. A. E. (2024). Fatigue failure in polymeric materials: Insights from experimental testing. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 24, 922-935. <https://doi.org/10.1007/s11668-024-01874-1>
- Rahayu, S., & Arifin, U. F. (2023). Penurunan waktu siklus proses cetak injeksi produk tutup plastik melalui simulasi Moldflow. *Jurnal Teknik*, 21(2), 198-207. <https://doi.org/10.37031/jt.v21i2.387>
- Rullah, A. A., Irwan, A., & Nasution, F. A. K. (2023). Analisa respon mekanis bahan fibel plastik jok dengan metode uji tarik. *JITEKH*, 11(1), 31-40. <https://doi.org/10.35447/jitekh.v11i1.702>
- Setiawan, B., Hidayat, G., & Junaedi, T. (2024). Pengaruh penambahan bahan daur ulang pada kekuatan mekanis dari proses pembuatan roda gigi berbahan Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS). *Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 2-7.
- Setiawan, R., & Widodo, M. N. A. (2017). Effect of recycled and new mixtures of Acrylonitrile Butadiene Styrene on mechanical properties of product. *Prosiding SNTTM XVI*, 56-59.
- Shaik, Y. P., Naidu, N. K., Yadavalli, V. R., & Muthyala, M. R. (2023). The comparison of the mechanical characteristics of ABS using three different plastic production techniques. *Open Access Library Journal*, 10(e10097), 1-18. <https://doi.org/10.4236/oalib.1110097>
- Shanmugam, V., Das, O., Babu, K., Marimuthu, U., Veerasimman, A., Johnson, D. J., Neisiany, R. E., Hedenqvist, M. S., Ramakrishna, S., & Berto, F. (2023). Fatigue behavior of FDM-3D printed polymers, polymeric composites, and architected cellular materials. *International Journal of Fatigue*, 143, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.106007>
- Syaefudin, E. A., Kholil, A., Hakim, M., Wulandari, D. A., Riyadi, & Murtinugraha, E. (2023). The effect of orientation on tensile strength 3D printing with ABS and PLA materials. *IOP Publishing, 12th International Physics Seminar 2023, Journal of Physics*, 2596(012002), 1-8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2596/1/012002>
- Thavornnyutikarn, B., Aumnate, C., Kosorn, W., Nampichai, N., & Janvikul, W. (2023). Acrylonitrile Butadiene Styrene/Thermoplastic Polyurethane blends for material extrusion three-dimensional printing: Effects of blend composition on printability and properties. *ACS Omega*, 8, 45013-45025. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06595>