



Umur Lelah Hasil Cetak Injeksi Bahan Campuran Daur Ulang dari Polipropilin dan *High Impact Polystyrene*

Syamsul Hadi^{1*}, Daffa Aureza Andhika², Ivan Rosdinata³, Dhea Septa Ristiana⁴,
Khoirul Anam⁵, Zakijah Irfin⁶

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

^{2,3,4,5}Program Studi Diploma IV, Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

⁶Program Studi Diploma IV, Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email: syamsul.hadi@polinema.ac.id, aureza10@gmail.com, ivanrosdinata@gmail.com,
dhearistiana40@gmail.com, nianampunya@gmail.com, zakijah.irfin@polinema.ac.id.

*Penulis Korespondensi: sympol2003@yahoo.com

Abstract. Waste from used Polypropylene (PP) and High Impact Polystyrene (HIPS) plastic is problematic in its management. The purpose of this research is to obtain the fatigue life of a mixture of used PP and HIPS plastics in its pure plastic. The research method is through the stages of mixing pure PP and 50% volume of used PP, pure HIPS and 50% volume of used HIPS, injection molding of R.R. Moore standard fatigue test specimens for pure PP, pure HIPS, pure PP + used PP, and pure HIPS + used HIPS, checking the straightness and smoothness of the molded specimen surface, fatigue testing with increasing serial loads, analysis of the bending stress curve (S) against fatigue life (N). The results showed that mixing used PP and used HIPS in pure plastic affected the fatigue life at the test speed (n)=2100 rpm for recycled PP was 9.84% shorter than pure PP, and at n=1600 rpm for recycled PP it was 9.32% shorter than pure PP, while at n=2100 rpm for recycled HIPS it was 4.45% shorter than pure HIPS, and at n=1600 rpm for recycled HIPS is 4.77% shorter than pure HIPS, while the fatigue life of pure PP is 1627704 cycles and the fatigue life of pure HIPS is 1291636 cycles or the fatigue life of pure HIPS is 20.65% shorter than pure PP, the implication of which is that the addition of used PP and used HIPS reduces the fatigue life to 9.84% for PP and 4.45% for HIPS.

Keywords: Fatigue Life; Injection Molding; S-N Curve; Used HIPS; Used PP.

Abstrak. Limbah dari plastik Polipropilin (PP) dan *High Impact Polystyrene* (HIPS) daur ulang bermasalah dalam pengelolaannya. Tujuan penelitian untuk memperoleh umur lelah dari campuran plastik daur ulang PP dan HIPS pada plastik murninya. Metode penelitian melalui tahapan pencampuran PP murni dan 50% volume PP bekas, HIPS murni dan 50% volume HIPS bekas, pencetakan injeksi spesimen uji lelah berstandar R.R. Moore untuk PP murni, HIPS murni, PP murni+PP bekas, dan HIPS murni+HIPS bekas, pemeriksaan kelurusan dan kehalusan permukaan spesimen hasil cetak, pengujian lelah dengan beban serial meningkat, analisis Kurva tegangan lentur (S) terhadap umur lelah (N). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencampuran PP daur ulang dan HIPS daur ulang pada plastik murninya mempengaruhi umur lelah pada kecepatan pengujian (n)=2100 rpm untuk PP daur ulang adalah lebih pendek 9,84% daripada PP murninya, sedangkan pada n=2100 rpm untuk HIPS daur ulang adalah lebih pendek 4,45% daripada HIPS murni, dan pada n=1600 rpm untuk HIPS daur ulang adalah lebih pendek 4,77% daripada HIPS murni, sementara umur lelah PP murni adalah 1627704 siklus dan umur lelah HIPS murni adalah 1291636 siklus atau umur lelah HIPS murni lebih pendek 20,65% daripada PP murni, yang implikasinya dengan penambahan PP daur ulang dan HIPS daur ulang menurunkan umur lelahnya pada 9,84% untuk PP dan 4,45% untuk HIPS.

Kata Kunci: Umur Lelah; Cetakan Injeksi; Kurva S-N; HIPS Bekas; PP Bekas.

1. LATAR BELAKANG

Kebaruan (*gap analysis*) dari penelitian yang dilakukan adalah penggunaan bahan plastik daur ulang dari plastik Polipropilin (PP) dan daur ulang *High Impact Polystyrene* (HIPS) untuk spesimen uji lelah diperoleh dengan pencetakan injeksi yang sebelumnya dibubut dengan menggunakan Mesin Bubut CNC, mengangkat cetak injeksi prosesnya lebih cepat daripada

pembubutan dan hasil cetak permukaannya tanpa perlu di-*finishing*, karena kehalusannya ditentukan oleh halusnya permukaan cetakan yang digunakan yang mana pada bagian tengah dari panjang spesimen dibuat kelengkungan berupa radius yang dapat dibuat dengan menggunakan rongga cetak hasil pemesinan dengan Frais CNC yang menjadi mendesak, mengingat pengujian leleh umumnya dilakukan dengan cukup banyak spesimen, karena satu spesimen hanya menghasilkan sebuah titik, sehingga diperlukan sejumlah titik untuk menghasilkan kurva tegangan lentur (S) terhadap umur lelahnya (N). Tujuan penelitian adalah untuk memperoleh prediksi umur lelah dari spesimen hasil cetak injeksi dari bahan polimer PP dan HIPS, dan PP daur ulang dan HIPS daur ulangnya yang memenuhi syarat harus lurus sumbunya dan halus permukaannya.

Dari beberapa penelitian terdahulu dinyatakan bahwa uji coba cetak injeksi bahan plastik PP pada temperatur cetakan 200°C, 250°C, dan 300°C dan tekanan injeksi 200 *psi*, 390 *psi*, dan 490 *psi* masih menghasilkan produk injeksi yang gagal mengisi rongga cetakan bentuk roda gigi (Sugiyanto dkk., 2023), sementara cetak injeksi pada temperatur cetakan 190°C, 220°C dan 250 menunjukkan hasil yang masih terdapat rongga, karena temperatur pelelehan butiran plastik masih lebih tinggi dari standarnya pada 163°C (Hakim dkk., 2020). Hasil cetak injeksi pada PP diperoleh yang sempurna pada tekanan 15 kg/cm² dan temperatur 200°C dengan kekuatan tarik 441,5 MPa (Dzulfikar & Attho'illah, 2021).

Penambahan PP pada campuran aspal beton memberikan nilai karakterisk Marshall (yaitu rasio stabilitas terhadap kelelahan yang semakin tinggi nilainya menunjukkan semakin kaku sifatnya) yang lebih baik daripada campuran aspal beton dengan HDPE (Rahmawati, 2017). percobaan pada campuran 50% PP dan 50% HDPE menunjukkan nilai energi pukul spesifik tertinggi pada 5,172 J/m² (Supriono dkk., 2022).

Kekuatan tarik komposit polipropilena *high impact* (PPHI) berpenguat serat rami dengan fraksi volume 10% adalah 18,17 MPa adalah lebih tinggi 21% daripada tanpa serat rami dan energi pukul spesifiknya adalah 46,39 kJ/m² lebih tinggi 15,5% daripada tanpa serat rami (Mardiyati dkk., 2017). Hasil pencampuran *Linear Low Density Polyethylene* (LLDPE) dengan PP 10% memiliki kekuatan tarik optimum pada 361,6 kgf/cm² (Khavilla dkk., 2019). Kekuatan tarik campuran 80% PP dan 20% PE adalah 31,1 MPa sesuai untuk bahan baku produk plastik sehari-hari seperti wadah makanan, cangkir minuman dan lainnya (Damayanti dkk., 2025).

Kekuatan luluh pada campuran persentase berat 90% PP dan 10% HDPE menghasilkan nilai yang sama pada 20 MPa (Jones dkk., 2023). Penambahan talk 10% dan aditif *masterbatch* hitam 4% ke dalam matriks PP meningkatkan modulus elastisitas hingga 29% menjadi senilai 1848,50 MPa (Aryanti dkk., 2021). Energi pukul spesifik tertinggi diperoleh senilai 0,0291

J/mm² pada komposisi 92,5% PP daur ulang + 7,5% abu sekam padi (Putra & Widi, 2025). Kekuatan tarik PPHI dengan serat rami 10% adalah 95,9 MPa dan dengan serat nanas 10% adalah 112,85 MPa yang berarti dengan serat nanas kekuatan tariknya lebih tinggi 17,7% (Latief dkk., 2022). Polistirena akan terus menimbulkan bahaya bagi lingkungan hingga ditemukannya cara daur ulang yang efektif dan ekonomis (Salisu & Maigari, 2021).

Penggunaan inovatif limbah PS untuk produksi substrat fungsional yang meningkatkan reaksi *chemiluminescence* (CL) menunjukkan potensi penggunaan kembali PS menjadi teknologi terdepan yang bernilai tinggi (Singh dkk., 2025). Kekuatan tarik campuran 45% HIPS dan 55% PP menunjukkan hasil yang baik senilai 46 MPa (Mirza dkk., 2020). Penyusutan dalam cetak injeksi terendah pada komposisi 30% PP dan 70% PE pada temperatur 160°C senilai -2.221 %, penyusutan tertinggi pada 180°C senilai -7,611 % (Safrudin dkk., 2021). Semakin banyak penggunaan daur ulang termasuk PP dan PS, maka karakteristik *bulk density*, *melt flow index*, kekuatan tekan, dan kekuatan tarik semakin menurun (Marisma dkk., 2021). Nilai *shrinkage* bahan PP dalam cetak injeksi pada temperatur pemanas (heater) 300°C durasi 2 menit 30 detik pada ketebalan 1,3 mm diperoleh nilai 3,7 mm (Andriansyah dkk., 2024).

Bahan daur ulang dari PP dan PS dari produk sendok makan dan sendok bebek dicetak injeksi ulang menjadi produk yang laku jual berupa sendok bebek, hanger tempel dan hanger baju yang dapat mengurangi volume limbah 0,128 m³ (Lilin & Siswantoro, 2016). Pengujian lelah spesimen hasil cetak injeksi dilaksanakan pada mesin uji lelah batang putar terpadu (Cahyono dkk., 2024) dan (Hadi dkk., 2023).

Umur lelah juga telah diuji pada spesimen hasil cetak injeksi dari bahan ABS dan campuran daur ulangnya (Hadi dkk., 2025).

2. KAJIAN TEORITIS

Sifat-sifat plastik PP dan HIPS sebagaimana Tabel 1 dan Tebel 2.

Tabel 1. *Technical Data Sheet* PP (Anonim, 2025a)

No.	PP Properties	Remark
1	Melting Point	180 - 270 °C
2	Density	1.03 - 1.08 g/cm ³
3	Flexural Modulus	1.9 - 2.3 GPa
4	Young Modulus	1.8 -2.28 GPa
5	Elongation at Break	10 - 55 %
6	Tensile strength	30 MPa

Tabel 2. *Technical Data Sheet* HIPS (Anonim, 2025b)

No.	<i>HIPS Properties</i>	<i>Remark</i>
1	<i>Melting Point</i>	<i>135 - 165 °C</i>
2	<i>Density</i>	<i>0.898 - 0.908 g/cm³</i>
3	<i>Chemical Resistance</i>	<i>Excellent resistance to acids, bases and alcohols</i>
4	<i>Flammability</i>	<i>Highly flammable bahan</i>
5	<i>Tensile strength</i>	<i>50 MPa</i>

Uji leleh bahan injeksi plastik menggunakan batang berputar berbeban di tengah panjang spesimen sesuai dengan Prinsip kerja R.R. Moore dihitung momen lenturnya, momen inersia penampang lingkaran, dan tegangan lentur yang terjadi pada spesimen uji leleh tersebut.

Momen lentur yang diterima oleh spesimen dihitung dengan Rumus (1).

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

dengan:

M_b : Momen lentur yang terjadi(N.m)

F : Gaya pembebanan (N), serial dari kecil ke membesar

L : Jarak antara bantalan beban (m) sebagai penggantung beban keping baja

Momen inersia penampang lingkaran di tengah panjang spesimen dihitung dengan Rumus (2)

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

dengan:

I : Momen inersia penampang lingkaran di tengah panjang spesimen (m⁴)

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

Tegangan lentur (S) pada spesimen uji leleh dihitung dengan Rumus (3).

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

dengan:

S : Tegangan lentur yang terjadi (MPa)

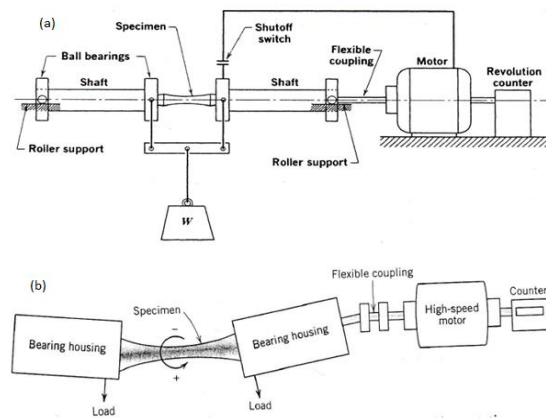
M : Momen lentur yang terjadi (N.m)

c : Jarak serat terluar penampang spesimen, $d/2$ (mm).

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian menggunakan eksperimen dengan pengujian sejumlah spesimen memakai mesin uji leleh batang putar terpadu yang mengacu pada prinsip kerja R.R. Moore yaitu pembebanan leleh pada spesimen posisi mendatar yang berputar yang dibebani pada kedua ujungnya melalui bantalan gelinding hingga spesimen patah sebagai umur leleh dari suatu bahan yang diuji leleh.

Skema mesin uji lelah batang putar prinsip kerja R.R. Moore sebagaimana 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 PP dan HIPS dicetak dengan menggunakan cetakan injeksi sebagaimana Gambar 2 dan hasilnya sebagaimana Gambar 3 sampai dengan Gambar 6.



Gambar 2. Spesimen dari Bahan PP dan HIPS Dicetak Menggunakan Cetakan Injeksi



Gambar 3. Contoh Spesimen Plastik PP Murni



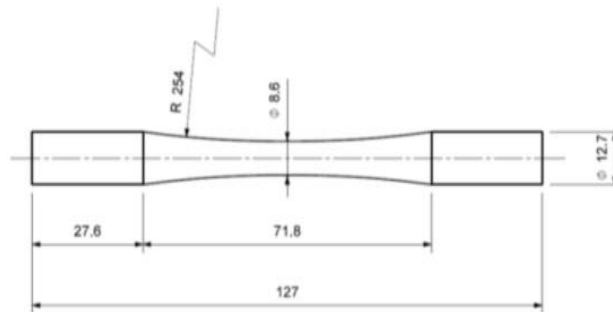
Gambar 4. Contoh Spesimen Plastik PP Daur Ulang 50%



Gambar 5. Contoh Spesimen Plastik HIPS Murni

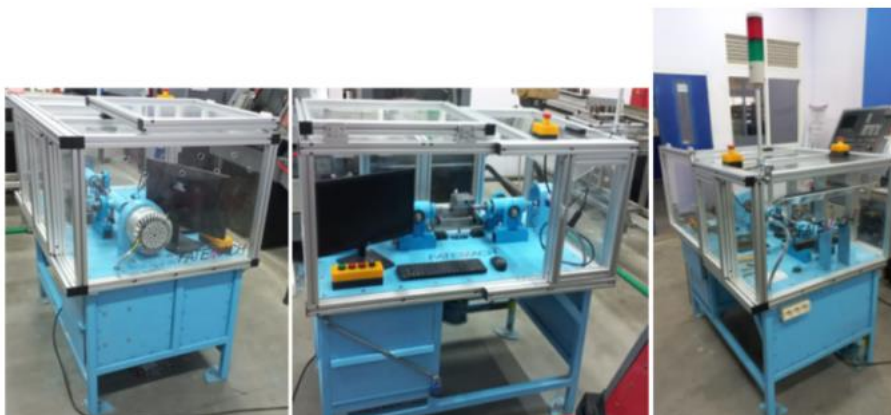


Gambar 6. Contoh Spesimen Plastik HIPS Daur Ulang 50%
Bentuk dan dimensi spesimen uji lelah standar sebagaimana Gambar 7.



Gambar 7. Bentuk dan Dimensi Spesimen Uji Lelah Standar (Hadi dkk., 2023)

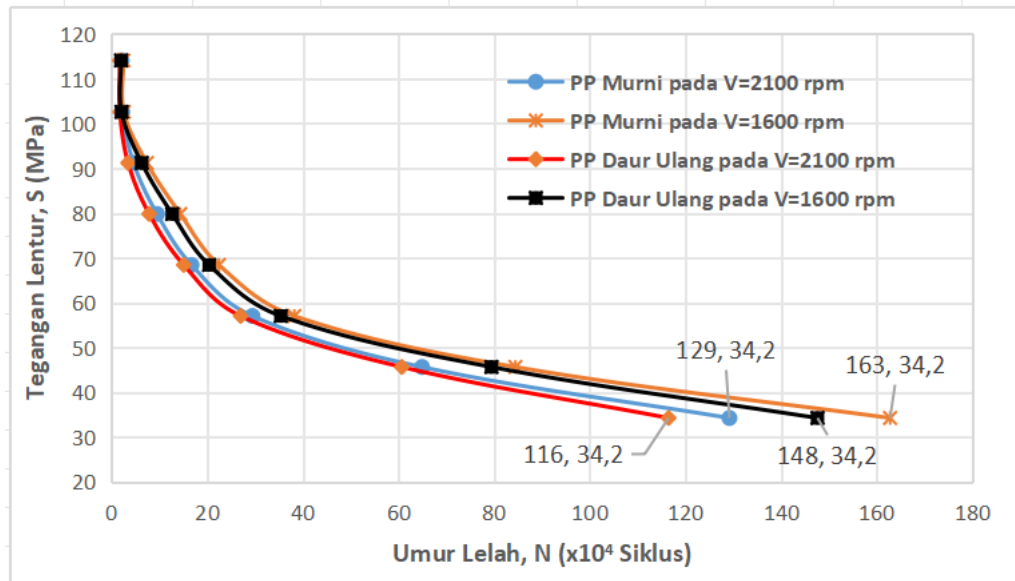
Pengujian lelah menggunakan Mesin Uji Lelah Batang Putar Terpadu Fatemach tampak pada Gambar 8.



Gambar 8. Mesin Uji Lelah dengan Batang Putar Terpadu Fatemach

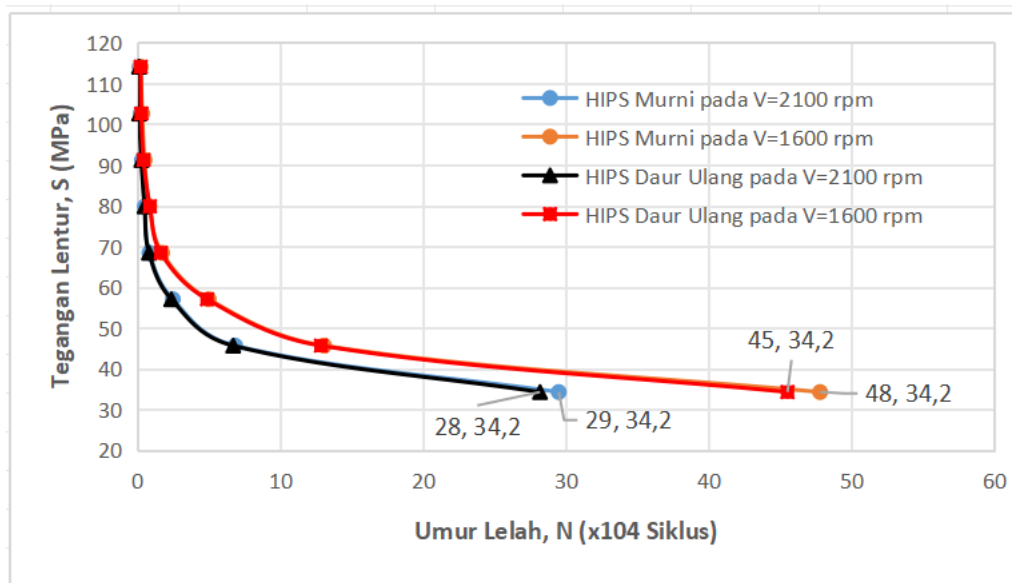
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji lelah bahan PP dan campuran PP daur ulang sebagaimana Gambar 9.



Gambar 9. Hasil Uji Lelah Bahan PP dan Campuran PP Daur Ulang

Dari Gambar 9 tampak bahwa umur lelah pada tegangan lentur (S)=34,2 MPa dan pada kecepatan pengujian, $V=2100$ rpm untuk bahan daur ulang PP 50% memiliki umur lelah 116×10^4 siklus lebih pendek daripada bahan PP murni pada 129×10^4 siklus atau 10,1 % dan pada $V=1600$ rpm untuk bahan daur ulang PP 50% memiliki umur lelah 148×10^4 siklus lebih pendek daripada bahan PP murni pada 163×10^4 siklus atau 9,2 %.



Gambar 10. Hasil Uji Lelah Bahan HIPS dan Campuran HIPS Daur Ulang

Dari Gambar 10 tampak bahwa umur lelah pada tegangan lentur (S)=34,2 MPa dan pada kecepatan pengujian, V =2100 rpm untuk bahan daur ulang HIPS 50% memiliki umur lelah 28×10^4 siklus lebih pendek daripada bahan HIPS murni pada 29×10^4 siklus atau 3,4 % dan pada V =1600 rpm untuk bahan daur ulang HIPS 50% memiliki umur lelah 48×10^4 siklus lebih pendek daripada bahan HIPS murni pada 45×10^4 siklus atau 6,2 %.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh diantaranya:

Volume campuran 50% PP daur ulang pada tegangan lentur (S)=34,2 MPa dan pada kecepatan pengujian, V =2100 rpm memiliki umur lelah 116×10^4 siklus lebih pendek daripada bahan PP murni pada 129×10^4 siklus atau 10,1 % dan pada V =1600 rpm untuk bahan daur ulang PP 50% memiliki umur lelah 148×10^4 siklus lebih pendek daripada bahan PP murni pada 163×10^4 siklus atau 9,2 %.

Volume campuran 50% HIPS daur ulang umur lelah pada S =34,2 MPa dan pada V =2100 rpm memiliki umur lelah 28×10^4 siklus lebih pendek daripada bahan HIPS murni pada 29×10^4 siklus atau 3,4 % dan pada V =1600 rpm untuk bahan daur ulang HIPS 50% memiliki umur lelah 48×10^4 siklus lebih pendek daripada bahan HIPS murni pada 45×10^4 siklus atau 6,2 %. Implikasi dengan penambahan bahan plastik daur ulang berdampak pada penurunan umur lelahnya bahan dimaksud.

Disarankan perlu dicoba pencampuran PP dan HIPS daur ulang lebih dari 50% untuk dapat mengetahui pengaruh dari berbagai kombinasinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR REFERENSI

- Adhiharto, R. Krismawanto, Hakim, T. A.R.& Komara, A.I. (2018). Studi Rancang Bangun Mesin Benchtop Injection Molding sebagai Alet rnatif Pengolahan Limbah Botol Plastik. *Conference Paper*, 1-9. <https://www.researchgate.net/publication/324314932>
- Andriansyah, S., Asyari, T.A., Wiradinata, Susanto, H. & Sugiyanto, D. (2024). Pengaruh Temperatur terhadap *Shrinkage* Hasil Cetakan Model Cup pada Proses *Injection Molding*. *Metalik: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik*, 3(2), 38-44. DOI:[10.22236/metalik.v3i2.16574](https://doi.org/10.22236/metalik.v3i2.16574)

- Anonim, (2025a). <https://laminatedplastics.com/polypropylene.pdf>, diakses 25 November 2025.
- Anonim, (2025b). <https://laminatedplastics.com/polypropylene.pdf>, diakses 25 November 2025.
- Aryanti, F.I., Pembuatan Komposit Polimer Polipropilena Talk *Masterbatch* Hitam pada Cover Tail. (2021). *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, 19(01), 1-6. DOI:[10.52330/jtm.v19i1.8](https://doi.org/10.52330/jtm.v19i1.8)
- 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.
- Damayanti, K.I., Ramdhani, D., Ramadhan, F. & Setiawan, G.E. (2025). Variation of Polyethylene and Polypropylene on the Quality of Plastic Types. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 9(02), 45-55. DOI: <https://doi.org/10.23960/analit.v9i02.186>
- Dzulfikar, M. & Attho'illah, M. (2021). Pengaruh Variasi Tekanan Compression Moulding terhadap Kekuatan Plastik Daur Ulang dari Bahan Polypropylene. *Momentum*, 17(1) , Hal. 58-62. DOI:[10.36499/mim.v17i1.4349](https://doi.org/10.36499/mim.v17i1.4349)
- Hadi, S., Alviano, D.K., Andhika, D.A. & I. Rosdinata, (2025). Pengaruh Penambahan ABS Bekas dan Jenis Plastik ABS Hasil Cetak Injeksi terhadap Umur Lelah. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil*, 4(3), in Press.
- 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 Conferece (ATASEC) 2023*, 235-248
- Hakim, J., Joharwan, J.W. & Palmiyanto, M.H. (2020). Pengaruh Beda Temperatur Proses Injeksi terhadap Sifat Mekanis Bahan Polypropylene (PP) Daur Ulang. *Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, 4(2), 124-135. DOI: <https://doi.org/10.18196/jmpm.v4i2.10758>
- Jones, H., McClements, J., Ray, D., Hindle, C.S., Kalloudis, M. & Koutsos, V. (2023). Thermomechanical Properties of Virgin and Recycled Polypropylene-High-Density Polyethylene Blends. *Polymers*, 15(4200), 1-20. <https://doi.org/10.3390/polym15214200>
- Khavilla, V.P., Wahyuni, S., Riyanto, A.F., Jumaeri & Harjono, (2019). Preparasi dan Karakterisasi PP (*Polypropylene*) Termodifikasi LLDPE (*Linear Low Density Polyethylene*) dengan Teknik Pencampuran Biasa. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 8 (3) , 176-184. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Latief, A.E., Anggraeni, N.D. & Putera, I. (2022). Perancangan Cetakan *Injection Molding Hand Press* Material Komposit PPHI dan Serat Alam. *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, 8(2), 12-16. DOI:[10.33019/jm.v8i2.2554](https://doi.org/10.33019/jm.v8i2.2554)
- Lilin, A. & Siswanto, T. (2016). Pemanfaatan Material Plastik dan *Mold* Bekas untuk Perancangan Produk Baru di PT. YPTI. *Prosiding Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu ke-2 Tahun 2016, UNISBANK Semarang*. 230-243. <https://media.neliti.com/media/publications/172198-ID-none.pdf>

- Mardiyati, Srahputri, N., Steven & Suratman, R. (2017). Sifat Tarik dan Sifat Impak Komposit Polipropilena High Impact Berpenguat Serat Rami Acak yang Dibuak dengan Metode Injection Molding. *MESIN*, 26(1), 8-16. DOI: <https://doi.org/10.5614/MESIN.2017.26.1.2>
- Marisma, S.A.R., Salim, A.S., Rubianto, L. & Wibawa, A.S.M. (2021). Studi Literatur Karakteristik Produk Pengolahan Daur Ulang Plastik. *Distilat, Jurnal Teknologi Separasi*, 7 (1), 6-12. DOI: <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i1.180>
- Mirza, A., Jaiswal, S. & Modak, J. (2020). Modification and Characterization of Polypropylene Blending with High Impact Polystyrene by Using Compatibilizers. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 07(04), 2699-2701. www.irjet.net
- Putra, B.J.A. & Widi, I.K.A. (2025). Analisa Pengaruh Komposisi Plastik PP dengan Abu Sekam pada Mesin Injeksi Molding Semi Otomatis terhadap Uji Impact dan Struktur Makro. *Jurnal Mesin Material Manufaktur dan Energi*, 5(2) 1-11. DOI: <https://doi.org/10.47549/jmmme.v5i2.15792>
- Rahmawati, A. (2017). Perbandingan Penggunaan Polypropilene (PP) dan High Density Polyethylene (HDPE) pada Campuran Laston WC. *Media Teknik Sipil*, 15(1), 11-19. DOI: [10.22219/jmts.v15i1.4414](https://doi.org/10.22219/jmts.v15i1.4414)
- Safrudin, A.L., Junaidi, A. & Yunus, M. (2021). Studi Fisis dan Mekanis serta Penyusutan Plastic Polypropylene Dipadukan dengan Plastic Polyethylene. *Machinery Jurnal Teknologi Terapan*, 2(1), 58-65. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4748704>
- Salisu, A. & Maigari, Y.S. (2021). Polystyrene and its Recycling- a Review. *Proceedings of Materials Science and Technology Society of Nigeria (MSN) Kaduna State Chapter, MSNKAD ID 2141*, 195-203. <https://www.researchgate.net/publication/359135360>
- Singh, A., Chauhan, A. & Gaur, R. (2025). A Comprehensive Review on the Synthesis, Properties, Environmental Impacts, and Chemiluminescence Applications of Polystyrene (PS). *Discover Chemistry*, 2(47), 1-31. <https://doi.org/10.1007/s44371-025-00125-y>
- Sugiyanto, D., Chan, Y. & Taoupik, A. (2023). Pengaruh Temperatur dan Tekanan terhadap Hasil Cetakan Polypropylene Menggunakan Mesin Injection Molding Vertikal. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 8(2), 131-141. DOI:10.21009/JKEM.8.2.7
- Supriono, A.D., Wicaksono, D. & Sehono, (2022). Analisa Kekuatan Polypropylene dengan Campuran Serat Karbon dan HDPE Menggunakan Uji Impact. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 8(2), 251-256. <https://doi.org/10.56521/teknika.v8i2.640>