



Filamen printer 3D berbasis limbah PET (*polyethylene terephthalate*) dan kitosan cangkang udang

Filament printer 3D based on pet waste (polyethylene terephthalate) and shrimp shell chitosan

I. Azami¹⁾, P. Kurniasih²⁾, Subuhiah²⁾, A. Amantha¹⁾, N. Habiburrahman³⁾, N.H. Sari^{1)*}

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia.

²⁾Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia.

³⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia.

*E-mail: n.herlinasari@unram.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Received 19 September 2023

Accepted 25 March 2024

Available online 01 April 2024

Keywords:

3D printer filament

Chitosa

PET waste

SEM test

Tensile test



ABSTRACT

One alternative for processing PET (polyethylene terephthalate) plastic waste is to convert it into a basic material for making 3D printer filaments with the addition of shrimp shell chitosan. The addition of shrimp shell chitosan to the filament can increase its mechanical strength. The aim of this research is to determine the best formulation and effectiveness of the combination of PET plastic with chitosan as 3D printer filament on the mechanical properties and microstructure of the surface. Making 3D printer filament from a combination of PET and shrimp shell chitosan using a double screw extruder with varying ratios between PET and shrimp shell chitosan (99 : 1, 97.5 : 2.5 and 95 : 5) with temperature variations at 175° C (Hopper Zone), 195°C, 225°C, 245°C (Die zone) using a screw rotation speed of 50 rpm, with the testing process including a tensile test, to determine the mechanical properties of the material by analysis using the SEM (Scanning Electron Microscope) test) to identify the surface morphology and size of the filament material. The test results for composition 99:1 (sample 1) had the lowest tensile strength value of 35.79 MPa, breaking 0.10 mm with an elongation value of 0.32%. Composition 97.5:2.5 (sample 2) with a tensile strength value of 96.20 Mpa, longest breaking length of 0.13 mm and highest elongation value of 0.42%. Composition 95:5 (sample 3) only has the highest tensile value of 98.95 MPa, with a breaking length of 0.06 mm and the lowest elongation of 0.18%.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara terbesar kedua yang menghasilkan sampah plastik sebesar 5,4 juta ton setiap tahunnya dan peringkat kedua penghasil sampah plastik laut setelah China. Kategori mayoritas sampah plastik berasal dari kemasan botol minum dengan jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) (Aprianti dkk. 2021). Di sisi lain, plastik sangat dibutuhkan, karena materialnya ringan, mudah dibentuk, murah dan hampir semua kebutuhan sehari-hari. Namun, setelah digunakan sampah plastik termasuk yang sulit diurai di alam sehingga mencemari lingkungan (Kencana, 2018). Proses pengelolaan sampah plastik dengan cara pembakaran dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan berupa terjadinya pencemaran udara khususnya emisi dioksin yang bersifat karsinogen (Wahyudi dkk. 2018). Oleh sebab itu, dibutuhkan alternatif pengolahan sampah plastik dengan memanfaatkan limbah plastik sebagai filamen *printer* 3D.

Filamen *printer* 3D merupakan material atau bahan baku termoplastik yang digunakan untuk membuat *prototype* pada *printer* 3D. Pemanfaatan *printer* 3D sebagai pencetak filamen karena permintaannya saat ini sedang meningkat signifikan, memiliki nilai jual yang tinggi dan mahal serta masih impor (Pristiansyah dkk. 2019). Saat ini termoplastik yang digunakan dalam pembuatan filamen menggunakan jenis PLA (*PolyLactid Acid*). Termoplastik jenis PLA ini menghasilkan filamen sesuai standar, tetapi mudah rusak saat bersentuhan dengan air dan harganya relatif lebih mahal (Sumardiyanto dkk. 2021). Penelitian yang dilakukan Setyawan dan Ngadiyono (2022) pengaruh kekuatan mekanik pada filamen PLA memiliki kekuatan tarik tertinggi 46,99 MPa. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu filamen yang lebih kuat, tahan terhadap air, dan mudah didapat.

Jenis termoplastik yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai filamen salah satunya dengan jenis PET. PET sangat digemari karena memiliki struktur yang kuat, mudah dibentuk, transparan, tahan terhadap air, serta harganya yang relatif lebih murah (Fitriyano dkk. 2019). Selain itu, untuk meningkatkan kekuatan daya tarik filamen dapat dikombinasikan dengan kitosan. Berdasarkan penelitian Agustin dan Karsono (2016) semakin tinggi komposisi kitosan, maka nilai dari *tensile strength* pada plastik akan semakin tinggi. Kitosan atau modifikasi senyawa kitin yang banyak terdapat dalam kulit luar hewan golongan *Crustaceae* seperti udang dan kepiting. Penggunaan kitosan sebagai zat aditif dalam pembuatan plastik *biodegradable* akan mengurangi kecepatan penyerapan air, meningkatkan sifat mekanik, dan mengurangi sifat kelembaban dari film tersebut (Saputro dkk. 2017).

Berdasarkan latar belakang diatas, pemanfaatan limbah plastik jenis PET dengan kitosan cangkang udang mampu memberikan inovasi baru dalam pembuatan filamen. Oleh sebab itu, perlu dilakukannya penelitian untuk memperoleh kombinasi terbaik. Uji efektifitas filamen dilakukan dengan pengujian tarik (*Tensile test*) dan pengujian SEM (*Scanning electron microscopy*). Dalam penelitian ini, kami juga berinovasi mencetak filamen yang memanfaatkan limbah sehingga memiliki nilai jual yang tinggi dan murah. Oleh karena itu penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Filamen *Printer* 3D Berbasis Limbah PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan Kitosan Cangkang Udang”.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratoris dengan model penelitian riset *post test only control grup design*. Penelitian dilaksanakan selama 4 bulan, yaitu dari bulan Juli 2023 sampai Oktober 2023. Pembuatan kitosan di Laboratorium kimia Lanjut, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mataram, proses pembuatan filamen dilakukan di Laboratorium Nanomaterial Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Malang, uji tarik dan SEM di Laboratorium Struktur Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Malang.

Peralatan penunjang penelitian ini berupa *aluminium foil*, *cling wrp refill*, pisau *stainless steel*, *container*, *gunting*, gelas kimia ukur 500 ml, gelas kimia ukur 250 ml, gelas kimia ukur 100 ml, timbangan analitik, sendok kayu, toples, blender, oven, roll penggulaung, jangka sorong, ekstruder skrup ganda (Yongjiaxian sanling dianji chang, Jepang), alat uji SEM (SEM *Hitachi* TM4000plus, Jepang), dan alat uji tarik (JTM-1 KN NTS *Load Cell*, Jepang). Bahan yang digunakan ialah air, plastik PET yang didapatkan dari bank sampah di wilayah Mataram, limbah cangkang udang yang didapatkan dari rumah makan di wilayah Mataram dan tambak, NaOH, CH₃COOH, aquades, kertas pH, dan kertas saring *whatman*. Variabel yang diteliti adalah (i). variabel bebas (*Independent*) dalam penelitian ini berupa konsentrasi plastik PET 99%, 97,5% dan 95% dan kitosan cangkang udang 1%, 2.5%, dan 5%, (ii). Variabel terikat (*Dependent*) berupa kekuatan tarik dan SEM.

Plastik PET yang didapatkan dari bank sampah disortir terlebih dahulu berdasarkan jenis dan kode daur ulangnya. Sampah plastik PET kemudian dibersihkan menggunakan air agar plastik benar-benar bersih (steril) dan tidak bercampur dengan bahan lainnya.

Metode yang digunakan untuk mengisolasi kitosan berdasarkan penelitian yang dilakukan Hoqani dkk. (2020) dan Omar dkk. (2022) yaitu melalui proses deproteinisasi, demineralisasi, dekolorisasi, dan deasetilisasi. Cangkang udang dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran dan residu. Cangkang udang yang sudah bersih selanjutnya dikeringkan di bawah sinar matahari selama kurang lebih 3 hari, setelah itu diblender hingga menjadi

serbuk. Serbuk disaring dengan ukuran mesh 60 (0,3 mm). Tahap pertama isolasi kitosan yaitu proses deproteinisasi, protein pada sampel dihilangkan dengan menambahkan 50 % NaOH pada rasio padat/cair 1:10 (g/mL). Larutan diaduk dengan magnet 200 rpm selama 3 jam. Sampel disaring dan dicuci dengan aquades hingga pH 7 dan dikeringkan dalam oven 50°C selama 12-24 jam. Sampel hasil deproteinisasi selanjutnya dimineralisasi dengan menambahkan HCl 10% dengan perbandingan 1:10 (g/mL). Larutan diaduk dengan magnet 200 rpm selama 1 jam pada suhu ruangan. Hasil demineralisasi disaring dan dicuci dengan aquades hingga pH netral. Sampel dikeringkan dengan oven pada suhu 50°C selama 12-24 jam. Tahap selanjutnya yaitu dekolonisasi yaitu penghilangan warna pada sampel yang sudah menjadi kitin pada tahap sebelumnya. Sampel ditambahkan 30 % H₂O₂ selama 3 jam diaduk dengan magnet 200 rpm. Sampel disaring dan dicuci dengan aquades hingga pH 7 dan dikeringkan dalam oven selama 50°C selama 12-24 jam. Tahap terakhir pemurnian kitosan, dilakukan dengan proses deasetilasi dengan menambahkan larutan 50 % NaOH pada sampel dan diautoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit.

Prosedur yang dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Almahri dkk. (2023) melalui proses pembersihan limbah plastik PET dengan air, plastik PET dimasukkan ke dalam mesin shredder untuk dicacah dengan dimensi lebih kecil, lalu diproses dalam mesin ekstruksi dengan ditambahkan kitosan, dan menghasilkan filamen. Tahapan awal dalam penelitian tersebut meliputi; proses pemotongan plastik PET dengan ukuran berkisar 5-10 mm. potongan tersebut kemudian dikeringkan pada suhu 160°C selama 4 jam untuk menghilangkan kelembapan. Sampel plastik PET yang telah siap dicampur dengan kitosan dimasukkan kedalam toples sesuai perbandingan untuk dicampur hingga rata. Berdasarkan percobaan Torres-Huerta dkk. (2014) mengungkapkan bahwa kurang dari 5% berat optimal kitosan dengan PLA/PET.

Tabel 1. Formulasi kombinasi plastik PET dengan kitosan

Bahan	Formula 1 (%)	Formula 2 (%)	Formula 3 (%)
Plastik PET	99	97.5	95
Kitosan Cangkang Udang	1	2.5	5

Selanjutnya, proses ekstruksi dengan sekrup ganda (Yongjiaxian sanling dianji chang, Jepang), penelitian Bustos dkk. (2022) dilakukan variasi suhu pada 175°C (*Zona hopper*), 195°C, 225°C, 245°C (*Die zone*) dengan kecepatan putaran ulir 50 rpm. Filamen PET yang diperoleh kemudian didinginkan dalam wadah air bersuhu ruangan, dikeringkan, dan digulung.

Uji data menggunakan FTIR. FTIR (*Fourier Transform Infrared*) merupakan alat uji yang digunakan untuk mengetahui ikatan kimia (gugus fungsi) yang dihasilkan oleh suatu senyawa pada panjang gelombang tertentu.

Preparasi sampel uji tarik setiap formula berdiameter 3 mm dipotong dengan panjang 150 mm, standar ISO 3341 menggunakan JTM-1 KN NTS Load Cell buatan Jepang. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari material dengan menjepit kedua sisi ujung lalu diberikan gaya.

Uji SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan ukuran dari material filamen limbah plastik PET dan kitosan cangkang udang. Hasil SEM berupa gambar permukaan, luas permukaan partikel filamen diukur menggunakan perangkat ImageJ. pembesaran (SEM Hitachi TM4000plus, Jepang), yang digunakan untuk identifikasi morfologi adalah 250x, 500x, dan 800x. Preparasi sampel setiap formula diameter 3 mm dari hasil patahan uji tarik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil uji FTIR kitosan cangkang udang

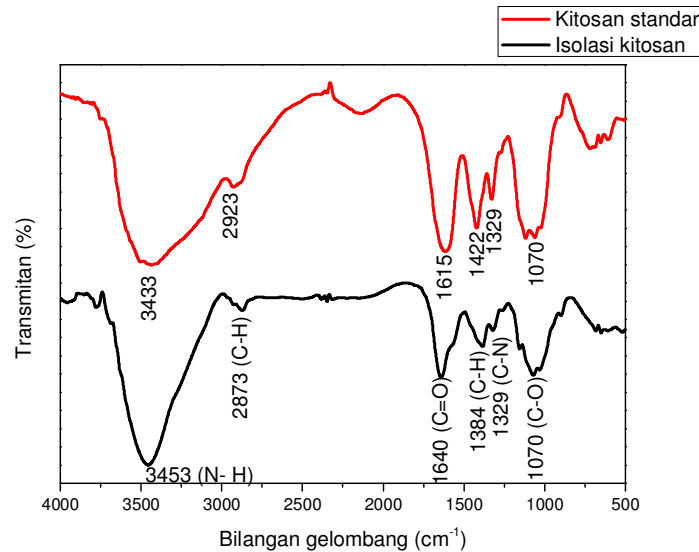
Spektrum kitosan (Tabel 2) menunjukkan adanya pita serapan yang khas pada bilangan gelombang 3453 cm⁻¹ mengindikasikan adanya vibrasi ulur gugus OH. Lebarnya serapan dan pergeseran bilangan gelombang 3433 cm⁻¹ gugus OH pada standar disebabkan adanya tumpang tindih dengan gugus NH dari amina (Varun dkk. 2017). Regangan C-O pada 1070 cm⁻¹ memperkuat adanya gugus OH yang melekat pada cincin piranos. Serapan pada bilangan gelombang kitosan hasil isolasi dan standar 2873 cm⁻¹ dan 2923 cm⁻¹ mengindikasikan gugus C-H dari alkana yaitu menunjukkan vibrasi peregangan gugus CH₂. Pita serapan pada bilangan gelombang 1640 cm⁻¹ dan 1615 cm⁻¹ menunjukkan adanya vibrasi peregangan ikatan C=O yang mengindikasikan adanya gugus karbonil. Pita Amida (peregangan C-N) ditunjukkan pada 1329 cm⁻¹ untuk kitosan standar dan hasil isolasi.

Tabel 2. Bilangan gelombang kitosan

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		
	Kitosan standar	Kitosan hasil isolasi	¹ Referensi
-N-H dan OH	3433	3453	3418

-C-H	2923	2873	2920
-C=O	1615	1640	1646
-C-H bending	1422	1384	1421
-C-N	1329	1329	1381

Sumber: Varun dkk. (2017)



Gambar 1. Hasil uji FT-IR kitosan

3.2 Hasil uji tarik filamen

Tabel 3. Hasil uji tarik filamen

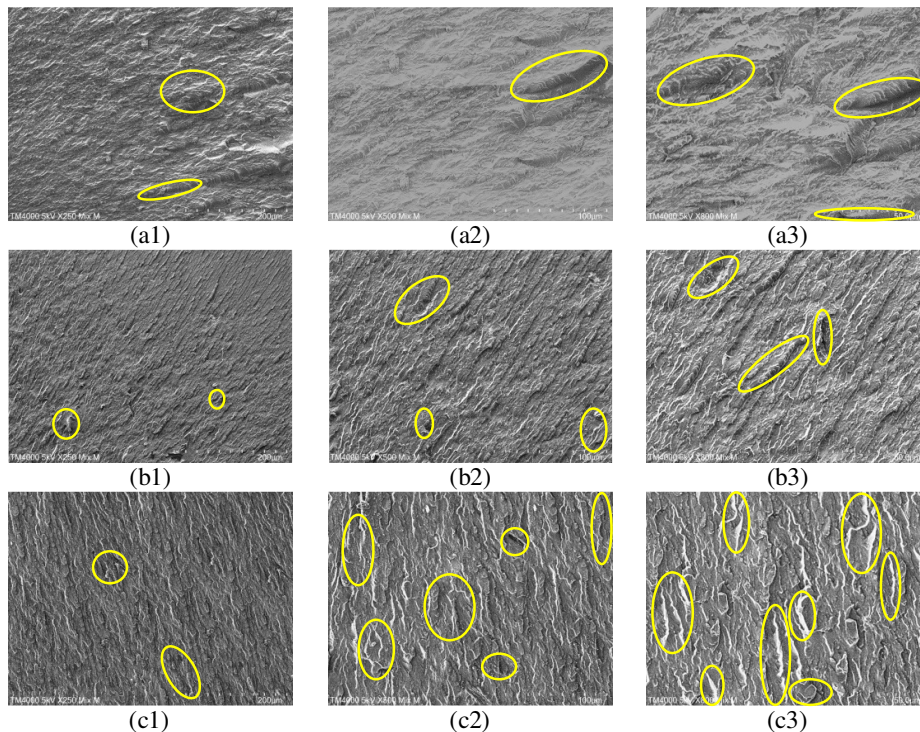
Keterangan	F1	F2	F3
Max force (N)	25.8	69.4	71.3
Tensile Strength (Kgf/mm ²)	3.65	9.81	10.09
Tensile Strength (MPa)	35.79	96.20	98.95
Displacement (mm)	0.1	0.13	0.06
Elongation (%)	0.32	0.42	0.18

Berdasarkan Tabel 3 formula 1 memiliki nilai kekuatan tarik terendah sebesar 35.79 MPa, panjang pemutusan 0.10 mm dengan nilai elongation 0.32%. Formula 2 dengan nilai kekuatan tarik 96.20 Mpa, panjang pemutusan terpanjang 0.13 mm dan nilai elongation tertinggi 0.42%. pada formula 3 hanya memiliki nilai tarik tertinggi sebesar 98.95 MPa, dengan nilai panjang pemutusan 0.06 mm dan elongation 0.18% terendah.

Penelitian Nafis dkk. (2023) nilai kekuatan tarik filamen bermaterial; recycle PP 25.671 Mpa, untreated 17.346 MPa, treated silane 26.763 MPa, Treated NaOH 22.048 MPa, dan treated NaOH-silane 23.602 MPa. Penelitian lainnya uji tarik pada filamen dilakukan oleh Bergaliyeva dkk. (2023) menggunakan PLA daur ulang dengan nilai 44.2±2.18 MPa dan PLA murni 52.6±2.28 MPa. Sehingga dapat disimpulkan formula 2 dan 3 memiliki nilai kekuatan tarik lebih baik dari material lainnya.

3.3 Hasil uji SEM

Pada gambar a1, a2 dan a3, foto SEM menunjukkan bahwa pada permukaan filamen ditemukan gelombang dan tidak ada rongga. Tekstur bergelombang menandakan proses ekstruksi terjadi dengan *feeding* dan tekanan yang kurang stabil (Oktavian dkk. 2021). Limbah plastik PET yang dicampurkan dengan kitosan kulit udang bersifat homogen, setiap bagiannya sama, baik warna serta perbandingan zat-zat yang tercampur (Rizky dkk. 2022).



Gambar 2. Hasil uji SEM filamen (a1) formula 1 250x (a2) formula 1 500x (a3) formula 1 800x, (b1) formula 2 250x (b2) formula 2 500x (b3) formula 2 800x, (c1) formula 3 250x (c2) formula 3 500x (c3) formula 3 800x

Berdasarkan pembesaran 250x formula 2 (lihat b1, b2 dan b3) memiliki teksur permukaan yang rata. Pada pembesaran 500x, secara keseluruhan ketiga formula yang dikembangkan menunjukkan adanya gelombang pada permukaan patahan dan formula 3 (c2, c2, dan c3) memiliki gelombang yang paling banyak. Pembesaran 800x formula 3 memiliki permukaan gelombang paling banyak dan formula 1 dan 2 memiliki tekstur cukup rata. Menurut Nafis dkk. (2023), ciri khas filamen yang baik adalah tidak memiliki ruang berlubang (berongga), serat melekat sempurna dan memiliki gelombang yang sedikit. Hasil ini menunjukkan bahwa filamen yang dikembangkan berpotensi untuk menggantikan filamen komersial.

4. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa formulasi dan efektivitas terbaik dari kombinasi filamen pada formula 2 dengan limbah plastik PET 97.5% dan kitosan cangkang udang 2.5%, dengan nilai *tensile strength* 96.20 MPa dan memiliki hasil morfologi permukaan yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Direktorat Pembelajaran dan Kemahasiswaan, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, PKM Center UNRAM, Fakultas Teknik dan MIPA UNRAM, Fakultas Teknik Mesin UM, serta semua pihak yang terlibat atas dukungan moril, materil, dan fasilitas dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, Y.E., Padmawijaya, K.S., Sintesis bioplastik dari kitosan-pati kulit pisang kepok dengan penambahan zat aditif, *Jurnal Teknik Kimia*, 10(2), 43-51, 2016.
- Ahmed, W., Alabdouli, H., Alqaydi, H., Mansour, A., Khawaja, H.A., Open source 3D printer: a case study. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 10th Annual International IEOM Conference*. Maret 2020, Dubai, UAE. pp, 10-12, 2020.
- Al Hoqani, H.A.S., al-Shaqsi, N., Hossain, M.A., Al Sibani, M.A., Isolation and optimization of the method for industrial production of chitin and chitosan from Omani shrimp shell, *Carbohydrate research*, 492 (2020), 1-6, 2020.
- Almahri, G., Madi, K., Alkaabi, F., Badran, Y., Shehadeh, K., ElHassan, A., Ahmed, W., Alzahmi, S., Characterization of hybrid FRP composite produced from recycled PET and CFRP, *Polymers*, 15(13), 2-24, 2023.

- Aprianti, E., Runtulalo, D., Zaifullah, M., The volumetric analysis of porous mixture containing modified plastic waste, *Earth and Environmental Science*. 1-7, 2020.
- Bergaliyeva, S., Sales, D.L., Delgado, F.J., Bolegenova, S., Molina, S.I., Manufacture and characterization of polylactic acid filaments recycled from real waste for 3D printing, *Polymers*, 15(9), 1-1, 2023.
- Bustos, M.S., Andres, G.M., Gruber, M., Volk, W., Osswald, T.A., Manufacturing of a PET filament from recycled material formaterial extrusion (MEX), *Recycling*, 69 (2022):1-20, 2022.
- Fitriyano, G., Rahim, D.A., Tinjauan singkat potensi pemanfaatan botol bekas berbahan polyethylene terephthalate (PET) di Indonesia, *Eksergi*, 16(1), 18-24, 2019.
- Hartatik, Y.D., Nuriyah, L., Iswarin, S.J., Pengaruh komposisi kitosan terhadap sifat mekanik dan biodegradable bioplastik, *Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya*, 2014.
- Hasaya, H., Potensi pemanfaatan ulang sampah plastik menjadi eco-paving block, *Jurnal Jaring SainTek* 3(1), 25-31, 2021.
- Hoqani, H.A.S., Noura. A., Mohammed. A.H., Mohammed, A.A.S., Isolation and optimiztion of the method for industri production of chitin and chitosan from Omani shrimp shell, homepage, 1-6, 2020.
- Nafis, Z.A.S., Nuzaimah, M., Kudus, S.A., Yusuf, Y., Ilyas, R.A., Knight, V.F., dan Norrrahim, M.N.F., Effect of wood dust fibre treatments reinforcement on the properties of recycled polypropylene composite (r-WoPPC) filament for fused deposition modelling (FDM), *Materials*, 16(2), 1-23, 2023.
- Oktavian, D., Mahardika, M., Arifvianto, B., Ekstruksi dan karakterisasi filamen komposit polylactid acid (PLA)/carbon nano tube (CNT), *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi ProsesProses*, 2(2), 12-16, 2021.
- Omar, B.A., Elmasry, R., Eita, A., Soliman, M.M., El Tahan, A.M., Sitohy, M., Upgrading the preparation of high-quality chitosan from Procambarus clarkii wastes over the traditional of shrimp chitosan, *Saudi journal of Biological Sciences*, 29(2022), 911-919, 2022.
- Pristiansyah, Hadiansah, Sugiyarto, Optimasi parameter 3D printing FDM terhadap akurasi dimensi menggunakan filamen elfex, *Jurnal Teknologi Manufaktur*, 11 (1), 33-40, 2019.
- Putra, K.S., Sari, U.S., Pemanfaatan teknologi 3D printing dalam proses desain produk gaya hidup, *Seminar Nasional Sistem Informsi dan Teknologi Informasi*. 12 Juli 2018, Surabaya, pp, 1-6, 2018.
- Saputro, A.N.C., Ovita, A.L., Sintesis dan karakterisasi bioplastik dari kitosan-pati ganyong (*Canna edulis*), *Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia (JKPK)*, 2(1), 13-21, 2017.
- Setyawan. B.A., Yatin., N., Analisis pengaruh tingkat kelembaban filamen PLA terhadap nilai kekuatan mekanik hasil cetak 3D printing, 7(1), 1-11, 2022.
- Sumardiyanto, D., Putra, S., Alat pengolahan limbah filamen 3D print dengan material polylactic acid (PLA), *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 6(2), 13-23, 2021.
- Torres-Huerta, A.M., Palma-Ramírez, D., Dominguez-Crespo, M.A., Del Angel-López, D., De La Fuente, D., Comparative assessment of miscibility and degradability on PET/PLA and PET/chitosan blends, *European Polymer Journal*, 61(2014), 285-299, 2014.
- Varun, T.K., Senani, S., Jayapal, N., Chikkerur, J., Roy, S., Tekulapally, V.B., Gautam, M., Kumar, N., Extraction of chitosan and its oligomers from shrimp shell waste, their characterization and antimicrobial effect, *Veterinary world*, 10(2), 170-175, 2017.
- Wahyudi, J., Prayitno, H.T., Astuti, A.D., Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif, *Jurnal Litbang*, 17(1), 58-67, 2018.