

PENGARUH BENTUK INFILL TERHADAP KEKUATAN LENTUR PRODUK 3D PRINTING MENGGUNAKAN FILAMEN SUPER TOUGH PLA

Hasdiansah, Sugianto, Naufal Rafiq Muhammad, Pristiansyah*

Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Kawasan Industri Air Kantung, Bangka, 33211 Telp: 0717-93586, Fax: 0717-93585,

*Email: pristian_pay@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini telah banyak dilakukan oleh para peneliti mengenai produk cetak menggunakan 3D Printing dengan teknologi Fused Deposition Modelling (FDM). Salah satu fokus penelitian adalah kekuatan lentur atau flexural strength yang diukur menggunakan standar ASTM D790. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi filamen ABS, PLA, Nylon, dan material maju lainnya seperti komposit. Penelitian ini memanfaatkan filamen Super Tough PLA dan mesin 3D Printer Anycubic 4Max dengan parameter proses yang telah ditentukan. Spesifikasi parameter proses meliputi nozzle diameter 0,4mm, layer thickness 0,28mm, Top solid Layer 1, Bottom Solid Layer 1, Vertical shell 1, Fill density 100%, printing speed 60 mm/s, bed temperature 60 °C, cooling speed 100%, dan flow rate 100%. Pada penelitian ini, spesimen uji mengikuti Standar ASTM D790. Variasi yang dibahas dalam penelitian ini adalah berbagai bentuk infill pattern, dengan total dua belas variasi yang digunakan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kekuatan lentur dari spesimen uji ASTM D790 bervariasi sebesar 59,17%. Kekuatan lentur terendah rata-rata mencapai 27,10 MPa, sedangkan kekuatan lentur tertinggi rata-rata mencapai 45,80 MPa.

Kata kunci: ASTM D790, 3D Printing, Infill Pattern, Kekuatan Lentur, PLA.

PENDAHULUAN

Penelitian berkaitan dengan kekuatan lentur (*flexural strength*) spesimen uji ASTM D790 terhadap filamen ABS RoHS Deep Blue yang dicetak dengan menggunakan 3D Printer FDM diperoleh nilai tertinggi sebesar 57,78MPa dengan pengaturan nozzle temperature 232°C dan layer thickness 0,1mm. Nilai kekuatan lentur terendah sebesar 52,12MPa diperoleh dengan pengaturan nozzle temperature 222°C dan layer thickness 0,2mm (Ilham dkk., 2022). Penelitian telah dilakukan terhadap filamen ABS merk CCTree dengan menggunakan metode Taguchi LOA 27 menunjukkan bahwa faktor yang berpengaruh terhadap kuat tarik produk secara berturut-turut adalah layer thickness sebesar 40,74%, printing speed sebesar 9,40%, nozzle temperature sebesar 5,69%, bed temperature sebesar 5,56%, dan infill pattern sebesar 4,36%. Kuat tarik tertinggi sebesar 41,17MPa dan kuat tarik terendah sebesar 34,93Mpa (Pristiansyah dkk., 2022).

Penelitian Syafa'at dkk., (2018) dengan menggunakan filamen Super Tough PLA dengan diameter 1.75 mm pada mesin 3D Printer FDM dengan diameter 0.4 mm, dengan setting parameter nozzle temperature 195 °C, bed temperature 60 °C, travel speed 120 mm/s, printing speed default 50 mm/s, layer thickness 0,3 mm, bentuk geometri *internal fill pattern* dengan bentuk *wiggle*, bentuk geometri External fill pattern dengan bentuk *concentric*, bottom layer berjumlah lima, top layer berjumlah lima, dan perimeter berjumlah lima telah menghasilkan kuat Tarik spesimen uji ASTM D638 Type IV sebesar 61,10 MPa dengan sudut putar arah sumbu Z sebesar 55°. Nilai terendah hasil pengujian kuat tarik spesimen uji sebesar 37,50 MPa dengan sudut putar arah sumbu Z sebesar 30°. Sudut putar arah sumbu Z memberikan pengaruh pada bentuk geometri spesimen uji baik pada bentuk geometri infill dan sudutnya sehingga memberikan efek

pada perbedaan kekuatan produk 3D Printing ditinjau dari kuat tariknya (Hasdiansah dkk., 2022).

Penelitian Naufal dkk., (2021) dengan menggunakan filamen PLA Pro telah dilakukan dengan respons terhadap kuat tarik spesimen uji tarik standar ASTM D638 Type IV menggunakan dua variasi parameter proses yang diatur pada *slicing software* yaitu nozzle temperature dan internal fill pattern. Nilai tertinggi kuat Tarik spesimen uji sebesar 43,90MPa dengan pengaturan nozzle temperature 210 °C dan bentuk geometri internal infill berbentuk 3D honeycomb . Nilai terendah kuat tarik spesimen uji sebesar 14,70MPa dengan nozzle temperature 220 °C dan bentuk geometri infill Archimedean chords (Suzen dkk., 2022).

Penelitian dengan menggunakan filamen PLA terhadap kekuatan Tarik dan kekuatan lentur menunjukkan hasil bahwa nilai rata-rata kekuatan Tarik dengan bentuk infill rectilinear adalah 19,1MPa dan nilai rata-rata modulus elastisitas 10,51 GPa (Annanto & Azhar, 2022). Nilai rata-rata kekuatan lentur (Flexural Strength) sebesar 24,4MPa dan nilai rata-rata tangen modulus elastisitas sebesar 0,359MPa, sehingga menunjukkan bahwa bentuk geometri internal infill rectilinear lebih kuat ditinjau dari kekuatan Tarik dan kekuatan lentur bila dibandingkan dengan bentuk infill concentric, *honeycomb*, dan *hilbertcurve* (Khan dkk., 2018). Penelitian dengan menggunakan dua material yaitu PLA dan ABS menunjukkan bahwa layer thickness dan persentase infill memberikan pengaruh yang berbeda terhadap dua material tersebut. Penelitian ini menghasilkan bahwa faktor yang paling berpengaruh pada filamen PLA adalah persentase infill, sedangkan pada material ABS faktor yang paling berpengaruh adalah layer thickness (Zisopol dkk., 2022). Penelitian dengan menggunakan filamen PLA dengan variasi persentase infill 50%, 75%, dan 100% telah menghasilkan kekuatan Tarik tertinggi 33,5MPa dengan persentase infill 100% (Zisopol dkk., 2021).

Penelitian tentang kekuatan lentur produk 3D Printing dengan menggunakan filamen PLA telah dilakukan dengan mengatur beberapa variasi parameter berupa vertical shell, solid layer top, temperature extruder, infill density,

dan infill pattern. Penelitian ini menghasilkan satu parameter yang paling berpengaruh terhadap kekecutan lentur produk 3D Printing yaitu bentuk infill pattern (Minh & Tuyet, 2020). Penelitian dengan menggunakan dua variasi yaitu layer thickness dan raster angle menggunakan 3D Printing berteknologi FFF (Fused Filament Fabrication) menunjukkan hasil terhadap kekuatan lentur (flexural strength). Penelitian ini menghasilkan kekuatan lentur paling kuat dengan menggunakan layer thickness 100 μ m dan raster angle 0° (Rajpurohit & Dave, 2018). Penelitian dengan memvariasikan layer thickness (0,1mm, 0,15mm, & 0,2mm), feedrate (20mm/s, 40mm/s, & 60mm/s), dan raster orientation (0°, 45°, & 90°). Penelitian ini menunjukkan bahwa kekuatan lentur paling tinggi diperoleh pada kombinasi layer thickness 0,15mm, federate 20%, dan raster orientation 0° yaitu sebesar 119,138MPa dan semakin tebal layer thickness, maka kekuatan lentur semakin rendah yaitu sebesar 106,12Mpa (Yadav dkk., 2021). Pengaturan terbaik dalam mencetak filamen PLA ber matrik komposit diperoleh dengan kombinasi infill density 100%, infill angle 45°, dan infill printing speed 90mm/s terhadap kekuatan lentur (flexural strength) dan kekuatan tarik (tensile strength) spesimen uji (Kumar dkk., 2020). Penelitian lain yang dilakukan terhadap filamen Polylactid Acid dengan menggunakan empat variasi infill pattern yaitu grid, tri angle, quartercubic, dan tri hexagon. Penelitian ini menggunakan pengaturan printing speed 20mm/s, layer thickness 0,2mm, jumlah layer 30, dan temperature nozel 200°C. Penelitian ini menghasilkan kecepatan penetrasi sebesar 0,28mm/s dengan menggunakan bentuk infill pattern triangle dan nilai maksimum stiffness sebesar 669N/mm. Kekuatan tekan tertinggi dengan menggunakan bentuk infill pattern grid yaitu sebesar 72Mpa (Aloyaydi dkk., 2020). Penelitian dengan menggunakan multi infill pattern (MIP) telah dilakukan dengan tiga kombinasi infill pattern yaitu honeycomb, triangular, dan rectilinear dengan masing-masing infill density 25%, 50%, 75%, dan 100%. Penelitian ini telah menghasilkan kuat tarik tertinggi 30,91Mpa

(Naik dkk., 2022). Penelitian lain tentang pengaruh bentuk infill pattern terhadap kuat tarik spesimen uji dengan menggunakan filamen PETG, menghasilkan bahwa bentuk infill grid memiliki kuat Tarik paling tinggi dan bentuk infill concentric memiliki nilai kuat Tarik paling rendah (Srinivasan dkk., 2020). Penelitian yang dilakukan dengan mencampur material PLA dan ABS dengan variasi komposisi (20% ABS dan 80% PLA, 50% ABS dan 50% PLA), dan 80% ABS dan 20% PLA). Penelitian ini menunjukkan bahwa filamen baru baik PLA maupun ABS memiliki kekuatan Tarik dan kekuatan lentur lebih baik dibandingkan dengan campuran komposisi PLA dan ABS (Dhinesh dkk., 2021).

Berdasarkan study literatur yang telah dilakukan terhadap filamen PLA dan ABS, dengan berbagai variasi parameter proses dan pengujian Tarik, pengujian kuat lentur dan pengujian lainnya yang berkaitan dengan property mekanik material PLA, maka penelitian ini mencoba menginvestigasi variasi bentuk geometri internal infill pattern dan bentuk geometri External infill pattern terhadap kekuatan lentur (flexural strength) produk 3D Printing dengan bentuk standar ASTM D790.

METODE PENELITIAN

Untuk menunjang proses pelaksanaan penelitian, peralatan dan bahan yang digunakan antara lain Mesin 3D Printer merk Anycubic 4Max dengan build volume XYZ 210mm × 210mm × 300mm untuk mencetak spesimen uji ASTM D790, SD Card untuk menyimpan G-Code eksperimen, Jangka Sorong untuk mengukur dimensi spesimen uji ASTM D790, Filamen Super Tough PLA merk CCTree, Universal Testing machine merk Zwick Roell untuk pengujian kekuatan lentur (Flexural Strength) spesimen uji ASTM D790, dan Laptop merk Lenovo L13 Yoga yang digunakan untuk menggambar spesimen uji, membuat G-Code eksperimen, serta digunakan untuk pengolahan data hasil penelitian.



Gambar 2. Mesin 3D Printer FDM Anycubic 4 Max



Gambar 3. Filamen Super Tough PLA merk CCTree



Gambar 4. Universal Testing Machine merk Zwick Roell

Slicing Software digunakan untuk menghasilkan *G-Code* pada mesin 3D Printing. *Mitutoyo Vernier caliper* sebagai alat ukur dimensi spesimen uji ASTM D790 ditunjukkan seperti pada Gambar 5.



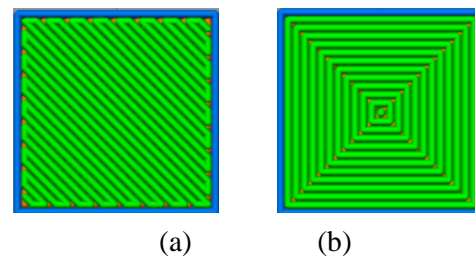
Gambar 5. Jangka Sorong Mitutoyo

Penelitian diawali dengan melakukan studi literatur melalui membaca jurnal-jurnal yang terkait dengan material 3D Printing seperti PLA dan ABS. Tahap berikutnya adalah menyiapkan mesin 3D Printer, nozzle 0,4mm, dan filamen Super Tough PLA merk CCTree. Mesin 3D Printer yang digunakan adalah Anycubic 4Max dengan teknologi Fused Deposition Modelling (FDM), dan parameter slicing software diatur dengan layer thickness 0,28mm, Top solid Layer 1, Bottom Solid Layer 1, Vertical shell 1, Fill density 100%, cooling speed 100%, dan flow rate 100%. Selanjutnya, gambar spesimen uji ASTM D790 dibuat dengan menggunakan software gambar dan disimpan dalam format STL

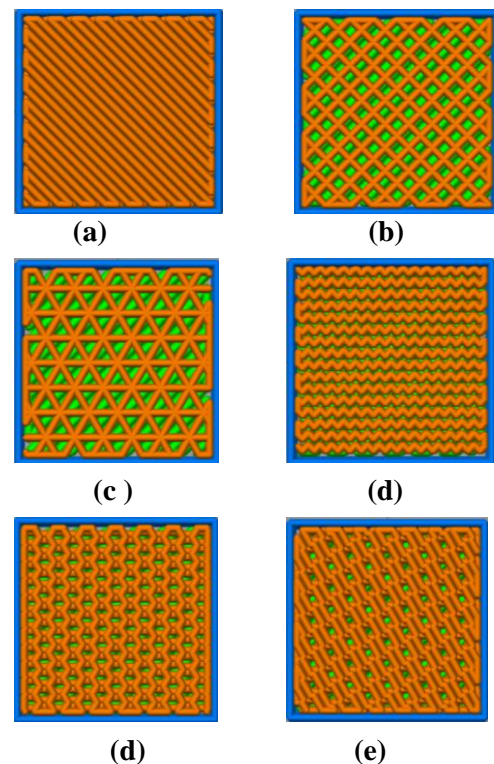
. File STL tersebut kemudian diimpor ke slicing software untuk menghasilkan G-Code untuk setiap eksperimen, dengan setting parameter seperti yang tercantum di Tabel 1. Slicing software dapat menghasilkan secara otomatis G-Code untuk dua belas (12) eksperimen, dan G-Code ini selanjutnya dipindahkan ke SD Card. Setelah SD Card di *input* ke mesin 3D Printer, mesin siap digunakan untuk mencetak spesimen uji ASTM D790 satu per satu hingga selesai.

Tabel 1. Parameter Slicing

Exp. No.	Nozzle Temperature (°C)	Bed Temperature (°C)	External Fill Pattern	Internal Fill Pattern	Printing Speed (mm/min)
1	250	60	Rectilinear	Rectilinear	60
2	250	60	Rectilinear	Grid	60
3	250	60	Rectilinear	Triangular	60
4	250	60	Rectilinear	Wiggle	60
5	250	60	Rectilinear	Fast	60
6	250	60	Rectilinear	Honeycomb	60
				Full	
7	250	60	Concentric	Honeycomb	60
				Rectilinear	
8	250	60	Concentric	Grid	60
9	250	60	Concentric	Triangular	60
10	250	60	Concentric	Wiggle	60
11	250	60	Concentric	Fast	60
				Honeycomb	
12	250	60	Concentric	Full	60
				Honeycomb	



Gambar 6. Internal Fill Pattern
(a) Rectilinear (b) Concentric



Gambar 7. Internal Fill Pattern
(a) Rectilinear (b) Grid
(c) Triangular (d) Wiggle
(e) Fast Honeycomb

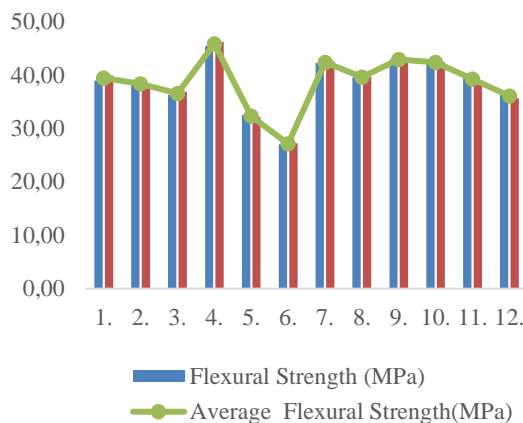
Sebelum memulai pencetakan, bed mesin 3D Printer perlu didatar agar proses pencetakan spesimen uji dapat berjalan dengan lancar. Setelah proses seluruh spesimen uji selesai, maka tahapan selanjutnya adalah mempersiapkan *Universal Testing Machine* yang digunakan pada pengujian kuat lentur (*Flexural Strength*) spesimen uji ASTM790.

HASIL DAN PEMBAHASAN

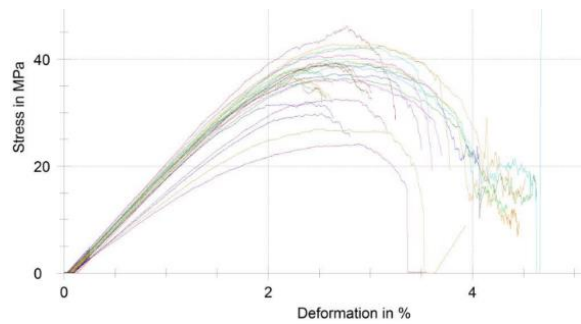
Data hasil pengujian spesimen uji ASTM D790 dicatat dan selanjutnya dilakukan tahapan analisis hasil pengujian kekuatan lentur ASTM D790. Data hasil pengujian kekuatan lentur ditunjukkan pada Tabel 2. Besarnya gaya (F) yang digunakan dalam pengujian adalah 5,7 N.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekuatan Lentur

Exp. No.	Flexural Strength (MPa)	Average Flexural Strength(MPa)
1.	38,90	39,40
2.	38,30	38,30
3.	36,20	36,50
4.	45,40	45,80
5.	32,50	32,30
6.	27,00	27,10
7.	42,20	42,35
8.	39,50	39,60
9.	42,90	42,85
10.	42,30	42,35
11.	39,40	39,20
12.	36,50	36,05



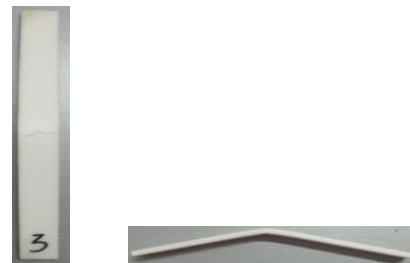
Gambar 8. Grafik Nilai Hasil Pengujian Flexural Strength ASTM D790 menggunakan Filamen Super Tough PLA



Gambar 9. Deformasi Spesimen Uji ASTM D790



Gambar 10. Hasil Pengujian dua belas (12) Spesimen Uji ASTM D790



Gambar 11. Spesimen Exp. 3



Gambar 12. Spesimen Uji Exp 12

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel.2. dan Gambar 8. Serta Gambar 9. bahwa hasil pengujian dari dua belas spesimen uji diperoleh bahwa kekuatan lentur tertinggi terdapat pada eksperimen

nomor empat (*Exp. No. 4*) dengan nilai rata-rata 45,80 MPa dengan kombinasi bentuk geometri *internal infill pattern* berbentuk *wiggle* dan bentuk geometri *External fill pattern* berbentuk *rectilinear*, hal ini disebabkan oleh ikatan antar lapisan yang terbentuk lebih kuat. Kekuatan lentur terendah terdapat pada eksperimen nomor enam (*Exp. No. 6*) dengan nilai rata-rata 27,10 MPa dengan menggunakan kombinasi bentuk geometri *internal infill pattern* berbentuk *full honeycomb* dan bentuk geometri *External fill pattern* berbentuk *rectilinear*, bentuk geometri *full honeycomb* berupa segi enam sehingga ikatan antar lapisan *infill* lebih lemah dibandingkan dengan geometri *wiggle* yang berbentuk garis lengkung kecil yang bertumpuk. Berdasarkan Gambar 9. bahwa deformasi spesimen uji ASTM D790 dari keseluruhan pengujian menunjukkan bahwa nilai deformasi bernilai 2,1% hingga 4,7%. Deformasi minimum 2,1% terdapat pada eksperimen nomor dua belas (*Exp. No. 12*) dengan kombinasi bentuk geometri *internal fill pattern* berbentuk *full honeycomb* dan bentuk geometri *External fill pattern* berbentuk *concentric* dapat dilihat pada Gambar 12. \

Hasil deformasi maksimum 4,7% terdapat pada eksperimen nomor (*Exp. No.3*) dengan kombinasi bentuk geometri *internal fill pattern* berbentuk *triangular* dan *External fill pattern* berbentuk *rectilinear* ditunjukkan pada Gambar 11. Pada spesimen uji tersebut terjadi patahan pada *shell* atau dinding terluar spesimen uji yang berbentuk *rectilinear* sedikit merenggang disebabkan lepasnya ikatan antar lapisan diikuti dengan *terlepasnya* ikatan antar lapisan yang ada pada *infill* yang berbentuk *full honeycomb* . Berdasarkan data hasil pengujian kekuatan lentur menunjukkan bahwa bentuk geometri *fill pattern* baik *External* maupun *internal* sangat berpengaruh pada kekuatan lentur produk 3D *Printing* menggunakan filamen *Super Tough PLA*.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kekuatan lentur dan deformasi pada spesimen uji standar ASTM D790, dapat disimpulkan bahwa bentuk geometri *infill* memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan lentur dan deformasi produk

3D *Printing*. Eksperimen nomor empat dengan kombinasi bentuk geometri *internal infill pattern* berbentuk *wiggle* dan bentuk geometri *External fill pattern* berbentuk *rectilinear* memberikan kekuatan lentur tertinggi dengan nilai rata-rata 45,80 MPa, sementara eksperimen nomor enam dengan kombinasi bentuk geometri *internal infill pattern* berbentuk *full honeycomb* dan bentuk geometri *External fill pattern* berbentuk *rectilinear* memberikan kekuatan lentur terendah dengan nilai rata-rata 27,10 MPa. Selain itu, persentase deformasi terendah sebesar 2,1% terdapat pada eksperimen nomor dua belas dengan kombinasi bentuk geometri *internal fill pattern* berbentuk *full honeycomb* dan bentuk geometri *External fill pattern* berbentuk *concentric*, sedangkan persentase deformasi tertinggi sebesar 4,7% terdapat pada eksperimen nomor tiga dengan kombinasi bentuk geometri *internal fill pattern* berbentuk *triangular* dan *External fill pattern* berbentuk *rectilinear*. Oleh karena itu, pemilihan bentuk geometri *infill* yang tepat perlu diperhatikan untuk menghasilkan produk 3D *Printing* dengan kekuatan lentur yang optimal

DAFTAR PUSTAKA

- Aloyaydi, B., Sivasankaran, S., & Mustafa, A. (2020). Investigation of infill-patterns on mechanical response of 3D printed poly-lactic-acid. *Polymer Testing*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941819322512>
- Annanto, G. P., & Azhar, A. H. (2022). Implementasi Optimasi Topologi Sebagai Infill Modifier pada Hasil Cetak 3D Printer Berbahas Polylactic Acid dengan Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Ilmiah MOMENTUM*, 18(1), 62.
<https://doi.org/10.36499/jim.v18i1.6033>
- Dhinesh, S. K., Arun, P. S., Senthil, K. K. L., & ... (2021). Study on flexural and tensile behavior of PLA, ABS and PLA-ABS materials. *Materials Today*
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320323270>

- Hasdiansah, H., Pristiansyah, P., & ... (2022). Pengaruh Orientasi Posisi Printing Z Axis Mesin 3D Printing Terhadap Kuat Tarik Menggunakan Filamen Super Tough PLA. *Manutech: Jurnal* <http://ejournal.polman-babel.ac.id/index.php/manutech/article/view/197>
- Ilham, A., Arafat, A., & Rifelino, R. (2022). Pengaruh Nozzle Temperature dan Layer Height Hasil 3D Printing Terhadap Uji Bending Material ABS. *Jurnal Vokasi Mekanika*. <http://vomek.ppj.unp.ac.id/index.php/vomek/article/view/332>
- Khan, S. F., Zakaria, H., Chong, Y. L., & ... (2018). Effect of infill on tensile and flexural strength of 3D printed PLA parts. *IOP Conference* <https://doi.org/10.1088/1757-899X/429/1/012101>
- Kumar, S., Singh, R., Singh, T. P., & ... (2020). On flexural and pull out properties of 3D printed PLA based hybrid composite matrix. *Materials Research* <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab66f4>
- Minh, P. S., & Tuyet, T. T. (2020). Influence of 3d-Printing Parameters on Flexural Strength of Pla Plastic Products. In *Int. J. Mech. Eng.*
- Naik, M., Thakur, D. G., & Chandel, S. (2022). An insight into the effect of printing orientation on tensile strength of multi-infill pattern 3D printed specimen: Experimental study. *Materials Today: Proceedings*, 62, 7391–7395. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.305>
- Naufal, A. I., Syafa'at, I., & Annanto, G. P. (2021). Pengaruh Infill Pattern Terhadap Kekuatan Hasil Cetak 3d Printing Berbahan Poly-Lactic Acid. *JURNAL ILMIAH MOMENTUM, Vol 17, No 2 (2021)*, 103–107. <https://publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/MOMENTUM/article/view/6/GilarPanduAnnanto.pdf>
- Pristiansyah, P., Hasdiansah, H., & ... (2022). Pengaruh Parameter Proses Pada 3D Printing FDM Terhadap Kekuatan Tarik Filamen ABS CCTREE. *Manutech: Jurnal* <http://ejournal.polman-babel.ac.id/index.php/manutech/article/view/210>
- Rajpurohit, S. R., & Dave, H. K. (2018). Flexural strength of fused filament fabricated (FFF) PLA parts on an open-source 3D printer. *Advances in Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s40436-018-0237-6>
- Srinivasan, R., Kumar, K. N., Ibrahim, A. J., Anandu, K. V., & ... (2020). Impact of fused deposition process parameter (infill pattern) on the strength of PETG part. *Materials Today* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320325591>
- Suzen, Z. S., Trisaplin, R. D., & ... (2022). Analisis Pengaruh Parameter Infill Pattern dan Nozzle Temperature terhadap tensile strength Filamen PLA PRO. *Manutech: Jurnal* <http://ejournal.polman-babel.ac.id/index.php/manutech/article/view/208>
- Syafa'at, I., Purwanto, H., Ilhamudin, M., & ... (2018). Analisa Kekuatan Sambungan Las Argon pada Stainless Steel 304 Menggunakan Variasi Kuat Arus. *MAJALAH ILMIAH* <https://www.ojs2.unwahas.ac.id/index.php/MOMENTUM/article/view/2512>
- Yadav, P., Sahai, A., & Sharma, R. S. (2021). Flexural strength and surface profiling of carbon-based PLA parts by additive manufacturing. *Journal of The Institution of Engineers* <https://doi.org/10.1007/s40032-021-00719-2>
- Zisopol, D. G., Nae, I., Portoaca, A. I., & Ramadan, I. (2021). A Theoretical and Experimental Research on the Influence of FDM Parameters on Tensile Strength and Hardness of Parts Made of Polylactic Acid. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 11(4), 7458–7463. <https://doi.org/10.48084/etasr.4311>
- Zisopol, D. G., Nae, I., Portoaca, A. I., & Ramadan, I. (2022). A Statistical Approach of the Flexural Strength of PLA and ABS 3D Printed Parts. *Engineering, Technology & Applied Science Research* <https://www.etasr.com/index.php/ETASR/article/view/4739>