

Analisis Kekuatan Tarik dan Regangan Filamen *Carbon Fiber* Hasil 3D Print dengan Variasi *Fill Density*

Braam Delfian Prihadianto^{1*}, Suryo Darmo², Dani Anggoro Hasan³, Dovan Ndaru Ananda⁴

^{1,2,3,4}Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada,

^{1,2,3,4}Jl. Yacarana, Sekip Unit IV Yogyakarta 55281, Indonesia

E-mail: braam.delfian@ugm.ac.id¹, sur_yadar_ma@yahoo.com.sg², dani.anggoro@ugm.ac.id³, dovanndaru123@gmail.com⁴

Abstrak

Permasalahan terkait sifat mekanis yang erat kaitannya dengan kekuatan produk hasil 3D print terjadi saat pengembangan mesin 3D print, dimana terdapat beberapa komponen menggunakan hasil teknologi *additive manufacturing*. Kerusakan yang terjadi umumnya terjadi untuk komponen yang menerima gaya dan kerusakannya berupa retakan dan patah. Fokus penelitian ini untuk mengetahui pengaruh bertambahnya nilai *fill density* terhadap sifat mekanik khususnya kekuatan tarik dan regangan degan material filamen *carbon fiber*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental menggunakan dua jenis material filamen yaitu *nylon carbon fiber* dan *PLA carbon fiber* dengan diameter filamen adalah 1,75 mm serta *recommended printing temperature* pada 190-260°C. Kedua jenis filamen tersebut dicetak menggunakan mesin 3D print tipe *direct extruder* dengan *build size* 180 mm x 180 mm x 180 mm dan pencetakan dilakukan pada tekanan atmosfer serta area pencetakan horizontal. Pelaksanaan pengujian sifat mekanis terkait dengan kekuatan tarik dan regangan dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine*. Berdasarkan hasil eksperimen dan pengujian yang telah dilakukan diperoleh nilai regangan sebesar 16,970–26,681 % dan kekuatan tarik sebesar 19,244–23,899 MPa untuk material filamen *nylon carbon fiber*. Sedangkan untuk material filamen *PLA carbon fiber* diperoleh nilai regangan sebesar 7,673–15,546 % dan kekuatan tarik sebesar 18,580–24,552 MPa. Sehingga berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa nilai parameter *fill density* memiliki pengaruh terhadap nilai regangan dan kekuatan tarik sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam pengaturan parameter permesinan.

Abstract

Mechanical properties problems that are closely related to the strength of 3D printed products generally occur during the development of 3D printing machines, in which several components used are the results of additive manufacturing technology. The damages generally occur in the components that receive force and the damage is in the form of cracks and fractures. The focus of this study is to determine the effects of increasing the value of fill density on mechanical properties, especially tensile strength and strain with carbon fiber filament material. This study used an experimental method using two types of filament material: nylon carbon fiber and PLA carbon fiber with a diameter of 1.75 mm for each filament and a recommended printing temperature of 190-260°C. Both types of filaments were printed using a direct extruder type 3D printing machine with a build size of 180 mm x 180 mm x 180 mm and printing was carried out at atmospheric pressure and a horizontal printing area. The Universal Testing Machine carried out mechanical properties testing implementation related to tensile strength and strain. Based on the results of experiments and tests that have been carried out, the strain values are 16.970 – 26.681% and the tensile strength is 19.244 – 23.899 MPa for nylon carbon fiber filament material. Whereas the PLA carbon fiber filament material, the strain value is 7.673 – 15.546%, and the tensile strength is 18.580 – 24.552 MPa. Therefore, based on the test results, it is known that the fill density parameter value has an influence on the strain value and tensile strength so that it can be used as a reference in setting machining parameters.

Info Naskah:

Naskah masuk: 30 Mei 2023

Direvisi: 22 Juni 2023

Diterima: 29 Juni 2023

Keywords:

carbon fiber;
strain;
tensile strength;
3D print.

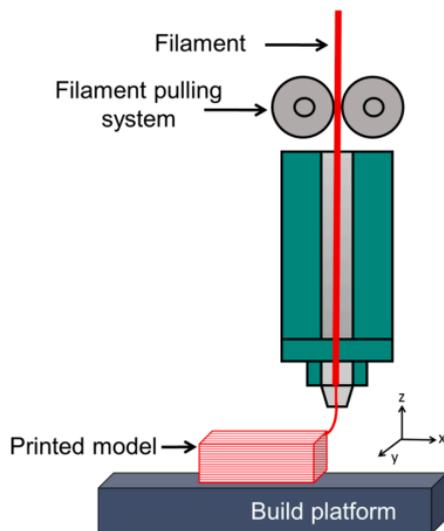
*Penulis korespondensi:

Braam Delfian Prihadianto

E-mail: braam.delfian@ugm.ac.id

1. Pendahuluan

Rapid Prototyping atau lebih dikenal dengan sebutan *3D printer* merupakan alat yang bisa menghasilkan atau mencetak produk atau objek fisik dalam bentuk berdimensi tiga dan termasuk dalam teknologi *additive manufacturing*. *Additive manufacturing* yang merupakan proses manufaktur dengan teknik penambahan material lapis per lapis dalam membentuk obyek tiga dimensi dengan proses komputerisasi. Teknologi *additive manufacturing* adalah salah satu solusi dalam proses manufaktur khususnya dalam pembuatan produk dalam jumlah kecil atau model *custom* yang memiliki kelebihan dapat mengurangi waktu pembuatan produk atau komponen dengan meminimalkan kesalahan produksi yang berakibat pada peningkatan biaya produksi [1]. Produk atau komponen yang dibuat dengan teknologi *additive manufacturing* atau *3D print* dapat dirancang dalam berbagai bentuk yang rumit karena teknologi ini memungkinkan membuat produk yang memiliki desain kompleks dan sifat mekanis yang sesuai dengan kebutuhan dengan melakukan pengaturan parameter permesinan [2]. Secara skematis, proses *3D Print* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Proses 3D Print [3]



Gambar 2. Komponen Hasil 3D Print

Permasalahan terkait sifat mekanis yang erat kaitannya dengan kekuatan produk hasil *3D print* terjadi saat pengembangan mesin *3D print*, dimana terdapat beberapa komponen menggunakan hasil teknologi *additive*

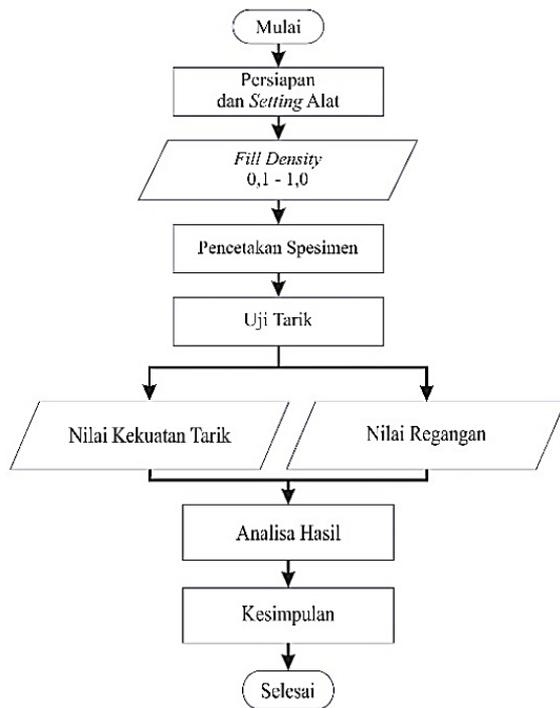
manufacturing. Kerusakan yang terjadi pada komponen umumnya terjadi untuk komponen yang menerima gaya dan kerusakannya berupa retakan dan patah. Untuk meminimalkan kerusakan yang terjadi, dapat dilakukan dengan pengaturan parameter permesinan dan penggantian material filamen yang digunakan. Contoh produk hasil *additive manufacturing* yang merupakan komponen dalam pengembangan mesin *3D print* tersaji pada Gambar 2.'

Pada proses *3D print* bergantung pada beberapa parameter yang menentukan kualitas produk [4]. Parameter-parameter yang harus dipertimbangkan yaitu orientasi produk, *layer thickness*, dan *hatch space*. Pemilihan orientasi produk yang optimal akan meningkatkan keakuratan permukaan, serta jika dilakukan dengan kombinasi tinggi (*z*) minimum maka akan menghasilkan jumlah *layer* yang sedikit dan waktu pengerjaan yang lebih cepat. *Layer thickness* juga sangat berpengaruh pada keakuratan permukaan produk, dimana semakin kecil *layer thickness* semakin akurat permukaan produk, tetapi dengan *layer thickness* yang semakin kecil maka secara otomatis akan meningkatkan waktu pengerjaan suatu produk dan begitupun sebaliknya [5]. Selain tiga parameter tersebut terdapat parameter lain yang mempengaruhi kekuatan tarik produk hasil *3D print* yaitu orientasi deposisi dan variasi *print speed* yang telah diteliti pada material material ABS dan PLA [6][7]. Diameter *nozzle* mesin *3D print* juga berpengaruh terhadap waktu pengerjaan dan kualitas produk. *Nozzle* dengan ukuran diameter yang lebih besar akan menghasilkan waktu produksi yang semakin cepat serta tingkat kepadatan dan kekuatan yang lebih tinggi. Pengaturan kecepatan yang sesuai dengan diameter *nozzle* akan diperoleh produk dengan sifat mekanis yang baik [8]. Parameter lain yang berpengaruh pada proses permesinan *3D print* *extruder temperature* dan *layer high*, dimana parameter *extruder temperature* memiliki pengaruh yang dominan terhadap besarnya nilai uji tarik sedangkan parameter *layer high* berlaku sebaliknya yaitu memiliki pengaruh paling kecil terhadap nilai uji tarik [9].

Parameter permesinan *3D print* lainnya seperti *speed nozzle* dan *setting infill* erat kaitannya dengan kualitas produk yang dihasilkan. Salah satu parameter yang dapat dilakukan pengaturan pada proses permesinan *3D print* adalah *fill density*. *Fill density* merupakan parameter yang dapat menggambarkan pengaruh kepadatan isi produk terhadap sifat mekanik dan juga berpengaruh terhadap hasil produk cetak diantaranya waktu cetak, berat, kualitas cetak, kekuatan serta ketelitian dimensi produk yang dihasilkan [10]. Selain itu pemilihan jenis material *filament* juga berpengaruh terhadap kekuatan produk hasil *3D print*. Berdasarkan latar belakang dan kajian pustaka diatas, pada penelitian ini membahas mengenai pengaruh variasi *fill density* terhadap kekuatan tarik dan regangan yang diperoleh dari proses *3D print* dengan material *carbon fiber*. Tujuan dari penelitian yaitu untuk mengetahui pengaruh bertambahnya nilai *fill density* terhadap sifat mekanik khususnya kekuatan tarik dan regangan. Diharapkan dengan mengetahui nilai *fill density* dan pengaruhnya terhadap sifat mekanis maka dapat dilakukan pengaturan parameter yang sesuai.

2. Metode

Bahan baku dalam penelitian ini menggunakan dua jenis material filamen yaitu *nylon carbon fiber* dan *PLA carbon fiber* dengan diameter masing-masing filamen adalah 1,75 mm serta *recommended printing temperature* pada 190-260°C. Kedua jenis filamen tersebut dicetak menggunakan mesin 3D print tipe *direct extruder* dengan *build size* 180 mm x 180 mm x 180 mm dan pencetakan dilakukan pada tekanan atmosfer serta area pencetakan horizontal.



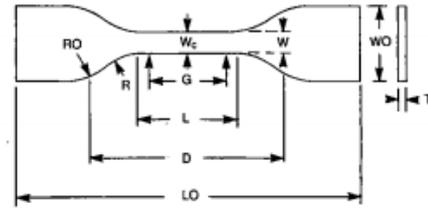
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. Parameter Operasi Mesin 3D print

Parameter Operasi	Keterangan	
Fill Density	0,1 - 1,0	Interval 0,1
Infill Type	Grid	
Speed for Infill	60	mm/s
Speed for Perimeter	60	mm/s
Layer Height	0,3	mm
Extruder Temperature	250	°C <i>Nylon carbon fiber</i>
	210	°C <i>PLA carbon fiber</i>
Bed Temperature	80	°C <i>Nylon carbon fiber</i>
	50	°C <i>PLA carbon fiber</i>

Dari diagram alir penelitian pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa langkah awal penelitian dengan melakukan persiapan dan *setting* alat serta parameter permesinan dengan nilai parameter operasi tersaji pada Tabel 1. Selanjutnya dilakukan pembuatan spesimen uji tarik di *Workshop RRM Handycraft* dengan jumlah spesimen masing-masing parameter sebanyak tiga spesimen tiap parameter *fill density*. Dimensi spesimen mengacu pada standar ASTM D638 dan bentuk spesimen dapat dilihat pada Gambar 4. Tahapan berikutnya adalah melakukan pengujian tarik menggunakan *Universal Testing Machine* di Laboratorium Bahan Teknik

Departemen Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada, hasilnya pada Tabel 2.



Gambar 4. Spesimen Uji Standar ASTM D638 [11].

Tabel 2. Pengujian tarik menggunakan *Universal Testing Machine*

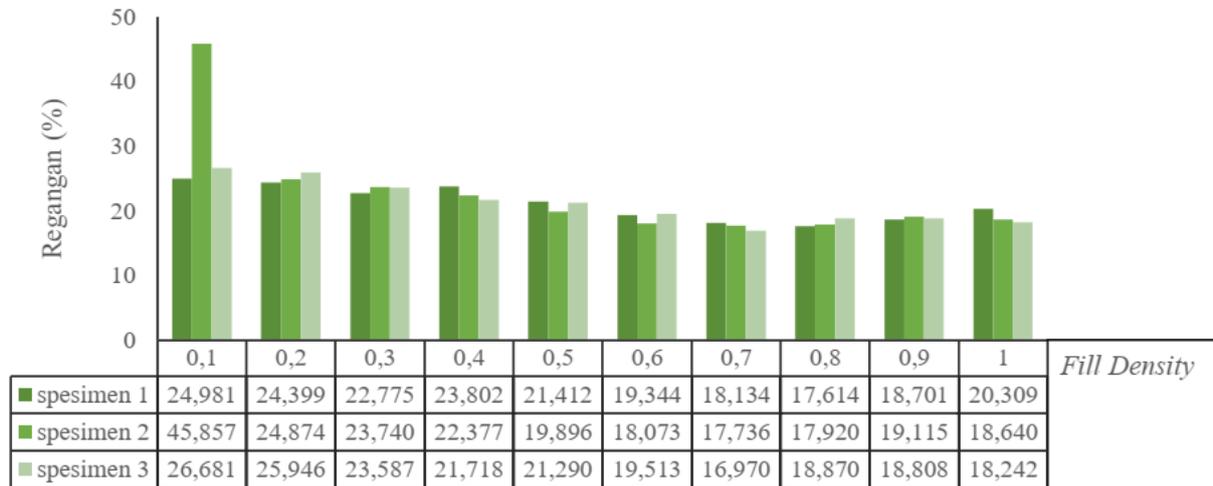
Dimension, mm (in)	Tolerance	
<i>T</i> -Thickness	4 (0,16) or under	-
<i>W</i> -width of narrow	3,18 (0,125)	±0,5 (±0,02)
<i>L</i> -length of narrow	9,53 (0,375)	±0,5 (±0,02)
<i>WO</i> -width overall, min	-	+6,4 (+0,25)
<i>WO</i> -width overall, min	9,53 (0,375)	+3,18 (+0,125)
<i>LO</i> -length overall	63,5 (2,5)	No max
<i>G</i> -Gage length	76,2 (0,300)	±0,25 (±0,010)
<i>G</i> -Gage length	-	±0,13 (±0,005)
<i>D</i> -Distance between grips	25,4 (1,0)	±5 (±0,2)
<i>R</i> -Radius of fillet	12,7 (0,5)	±1 (±0,04)
<i>RO</i> -Outer radius(IV)	-	±1 (±0,04)

3. Hasil dan Pembahasan

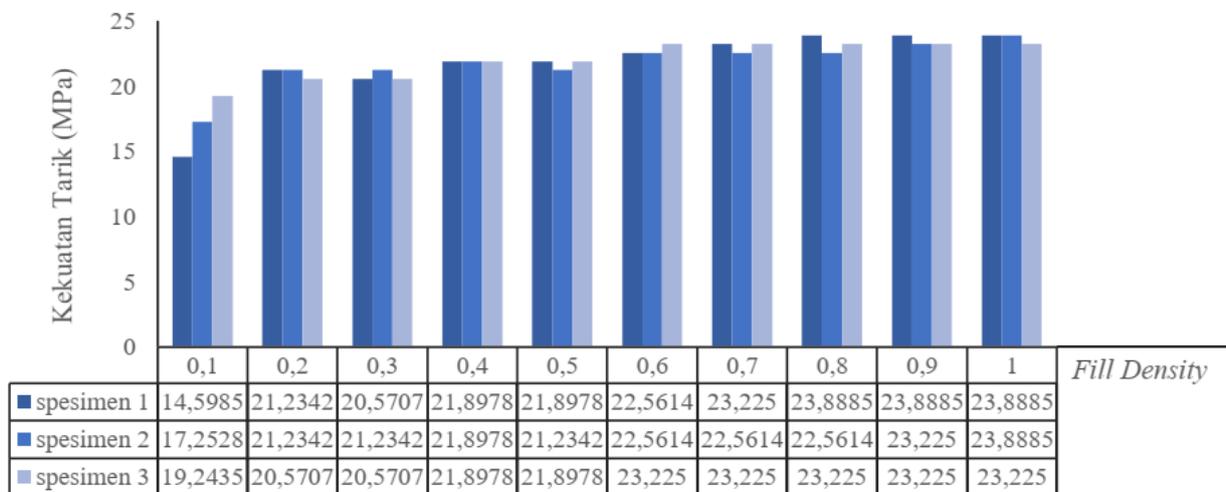
Pada penelitian ini ditunjukkan hubungan dari variasi nilai *fill density* terhadap nilai regangan dan kekuatan tarik hasil 3D print dengan dua jenis material filamen yaitu *nylon carbon fiber* dan *PLA carbon fiber*. Pembuatan spesimen uji dilakukan pada variasi *fill density* 0,1 hingga 1,0 dengan interval 0,1. Hasil dari pengujian pada material filamen *nylon carbon fiber* ditunjukkan dalam grafik hubungan antara *fill density* dengan regangan pada Gambar 5 dan hubungan *fill density* dengan kekuatan tarik pada Gambar 6. Berdasarkan grafik didapatkan nilai regangan hasil 3D print untuk material filamen *nylon carbon fiber* berada pada nilai 16,970 – 26,681 % dengan nilai regangan rata-rata sebesar 20,372%. Untuk nilai kekuatan tarik pada material filamen *nylon carbon fiber* didapatkan antara 19,244 – 23,899 MPa dengan nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 21,852%. Catatan yang terjadi saat pengujian adalah lepasnya spesimen 1 dan 2 pada *fill density* 0,1 sehingga nilai yang tertera tidak dimasukkan pada perhitungan nilai rata-rata.

Untuk material filamen *PLA carbon fiber* didapatkan grafik hubungan antara *fill density* dengan regangan tersaji pada Gambar 7, dimana nilai regangan hasil pengujian berada pada nilai 7,673 – 15,546 % dan nilai regangan rata-rata sebesar 12,016%. Sedangkan untuk nilai kekuatan tarik pada material filamen *PLA carbon fiber* didapatkan nilai antara 18,850 – 24,552 MPa dengan kekuatan tarik rata-rata sebesar 21,610 MPa. Grafik hubungan antara *fill density* dengan kekuatan tarik dapat dilihat pada Gambar 8.

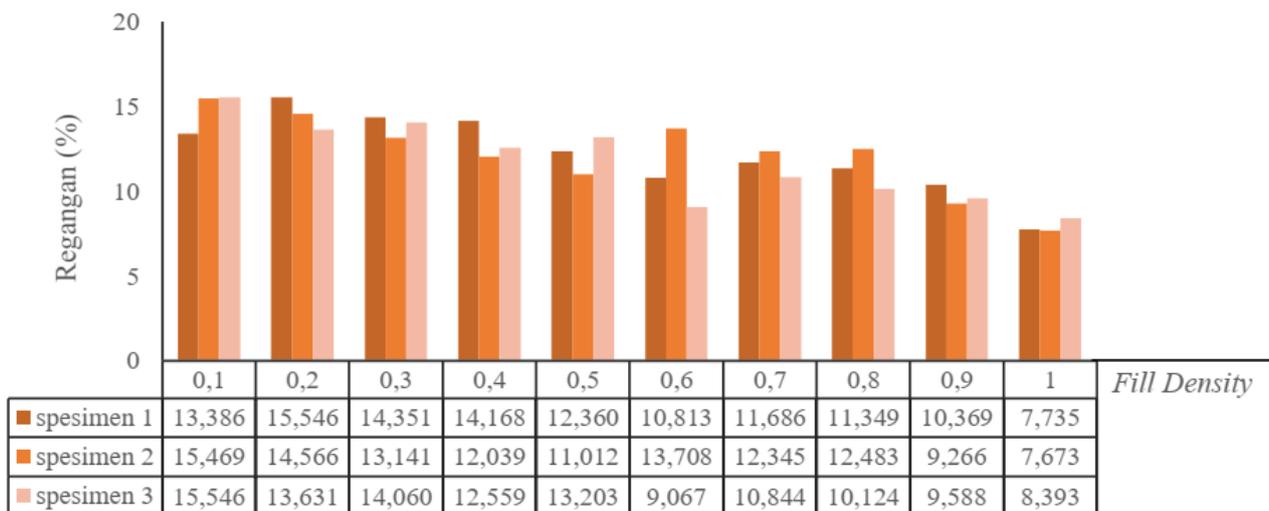
Apabila ditinjau dari nilai regangan rata-rata yang tersaji pada Gambar 9, didapatkan nilai regangan rata-rata produk hasil 3D print untuk material filamen *nylon carbon fiber* berada pada nilai 17,614 % hingga 26,681% dengan nilai regangan rata-rata terendah pada nilai pengaturan *fill density* sebesar 0,7. Sedangkan untuk material filamen *PLA*



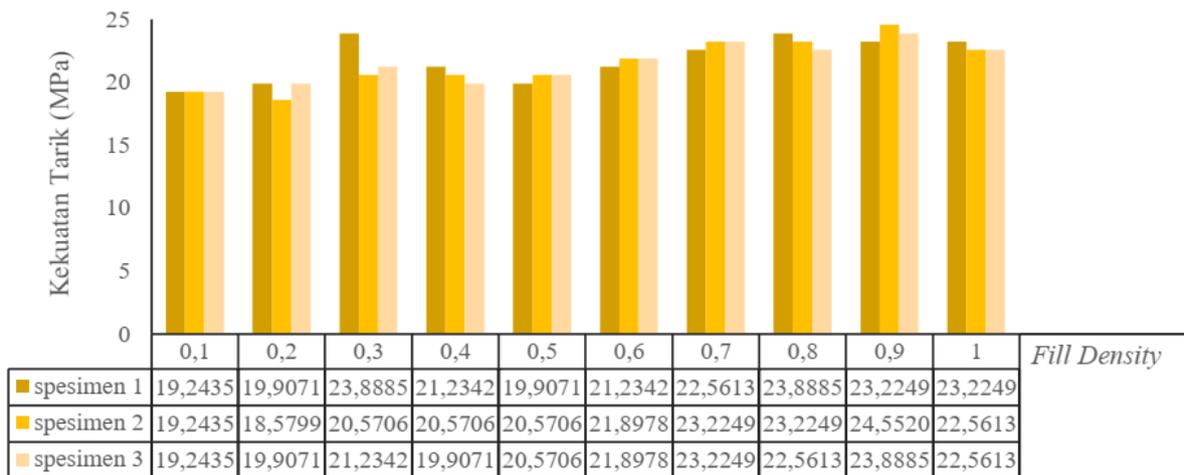
Gambar 5. Grafik Regangan Hasil 3D Print Filamen Nylon Carbon Fiber



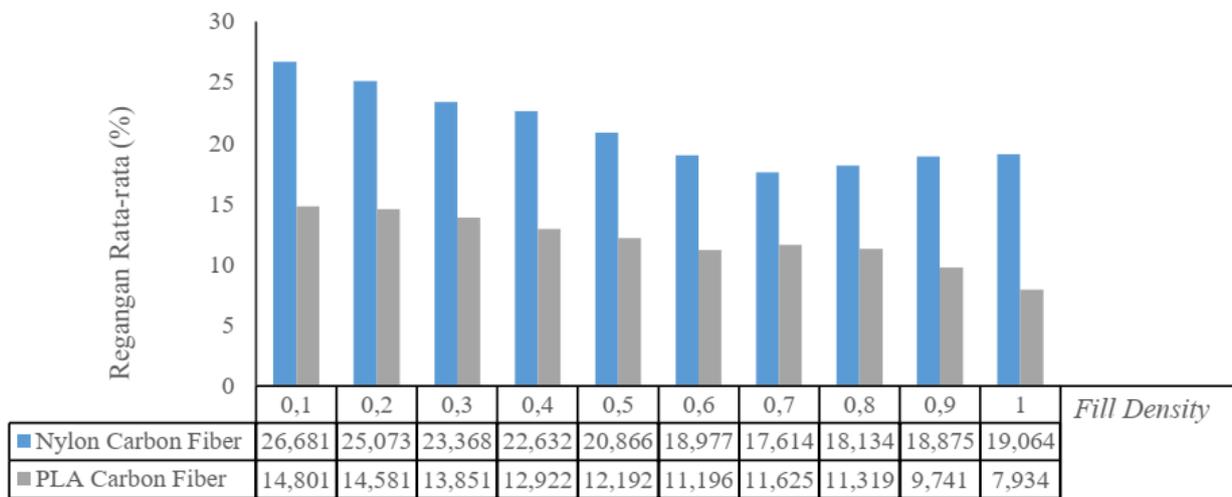
Gambar 6. Grafik Kekuatan Tarik Hasil 3D Print Filamen Nylon Carbon Fiber



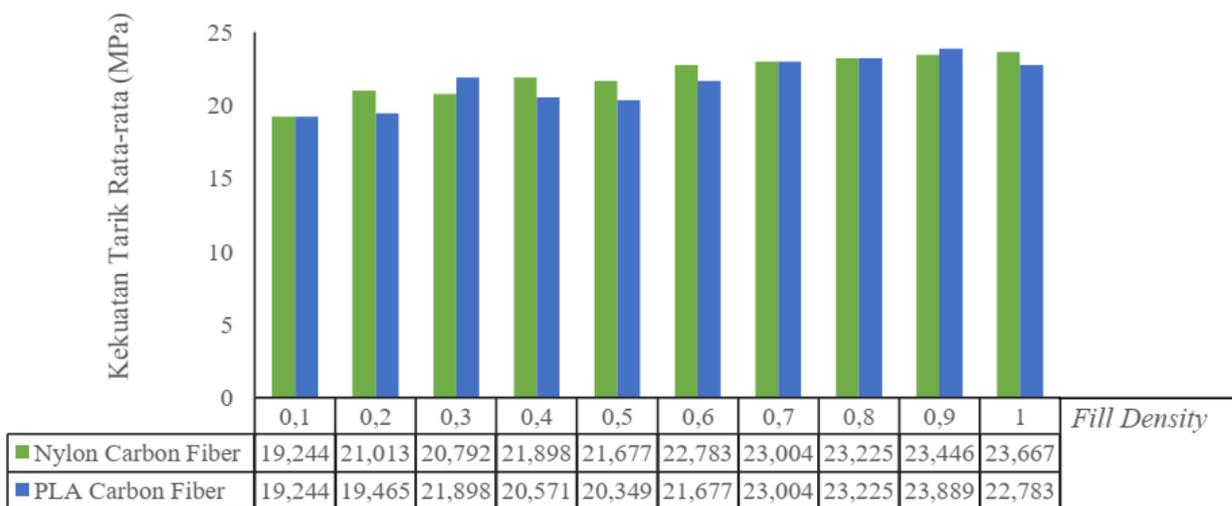
Gambar 7. Grafik Regangan Hasil 3D Print Filamen PLA Carbon Fiber



Gambar 8. Grafik Kekuatan Tarik Hasil 3D Print Filamen PLA Carbon Fiber



Gambar 9. Grafik Regangan Rata-rata Hasil 3D Print

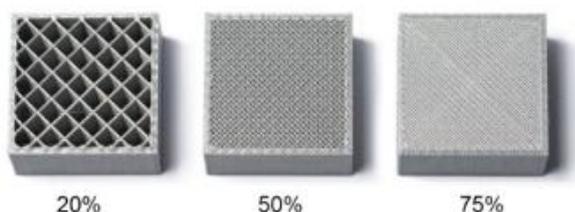


Gambar 10. Grafik Kekuatan Tarik Rata-rata Hasil 3D Print

terlihat bahwa bertambahnya nilai *fill density* yang dimasukkan pada pengaturan parameter mesin 3D *print* akan menghasilkan nilai regangan yang semakin kecil atau dengan kata lain semakin tinggi nilai *fill density* akan membuat produk hasil 3D *print* padat dan perpanjangan spesimen saat diuji semakin kecil sehingga produk yang dihasilkan lebih getas. Hal ini sedikit berbeda untuk material filamen *nylon carbon fiber* karena untuk *fill density* 0,8-1,0 terjadi kenaikan nilai regangan. Jika dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dimana filamen *nylon carbon fiber* memiliki regangan 2 hingga 6,7 % sehingga nilai regangan yang dihasilkan pada penelitian ini relatif lebih tinggi [12], [13].

Berdasarkan Gambar 10 terlihat bahwa nilai kekuatan tarik rata-rata produk hasil 3D *print* berada pada rentang nilai 19,244 MPa hingga 23,889 MPa dengan rincian nilai kekuatan rata-rata maksimal untuk filamen *nylon carbon fiber* adalah 23,667 MPa dan nilai kekuatan rata-rata tertinggi untuk material PLA *carbon fiber* sebesar 23,889 MPa. Dari hasil pengujian tersebut terlihat bahwa sebgaiian besar terjadi kenaikan nilai kekuatan tarik rata-rata seiring penambahan nilai *fill density*, hanya saja kenaikan atau penurunan kekuatan tarik rata-rata tidak terlalu besar untuk kedua material filamen. Nilai kekuatan tarik untuk material filamen *nylon carbon fiber* yang dihasilkan pada penelitian dan pengujian ini menghasilkan nilai kekuatan tarik lebih rendah jika dibandingkan dengan penelitian yang ada dimana pada *fill density* 15% dengan area pencetakan horizontal diperoleh nilai kekuatan tarik $21 \pm 0,7$ MPa, sedangkan untuk nilai *fill density* 100% dengan area pencetakan horizontal memiliki nilai kekuatan tarik sebesar $38 \pm 1,9$ MPa [13]. Nilai kekuatan tarik material *nylon carbon fiber* dengan menggunakan standar ISO 527 diperoleh hasil 33,7 MPa, 36,6 MPa, dan 66,3 MPa untuk variasi *fill density* 15%, 50%, dan 100% [12].

Pada material PLA *carbon fiber* nilai kekuatan tarik rata-rata yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan kekuatan tarik untuk filamen PLA. Nilai kekuatan tarik filamen PLA hasil proses 3D *print* pada penelitian yang pernah dilakukan berada pada nilai 15,7 sampai dengan 44,2 MPa dengan variasi *infill patern* dan *nozzle temperature* [14]. Semakin tinggi nilai *fill density* yang dimasukkan dalam pengaturan mesin 3D *print* membuat material filamen yang diekstrusikan semakin banyak karena parameter ini menggambarkan persentase kepadatan isi produk hasil pencetakan terhadap sifat mekanik sehingga terjadi peningkatan nilai densitas karena berkurangnya rongga dalam produk hasil 3D *print* [8], [15]. Contoh perbandingan kepadatan *fill density* pada spesimen hasil 3D *print* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Contoh Perbandingan Kepadatan *Fill Density* Hasil 3D *Print* [13].

Perbedaan nilai kekuatan tarik ini juga dipengaruhi oleh jumlah *layer* dalam pencetakan 3D *print*, dimana semakin banyak jumlah *layer* akan menghasilkan nilai kekuatan tarik yang semakin tinggi [16]. Faktor lain yang berperan terhadap nilai regangan dan kekuatan tarik yang dihasilkan adalah kondisi ruangan pencetakan. Proses pencetakan produk 3D *print* dengan material *carbon fiber reinforced PLA composites* pada ruangan *vaccum* memiliki nilai kekuatan lentur dan modulus yang lebih baik dibanding proses pencetakan pada ruangan dengan tekanan atmosfer. Nilai kekuatan lentur yang dihasilkan berbanding lurus dengan temperatur pencetakan dan berbanding terbalik dengan kecepatan pencetakan dan ketebalan produk yang dihasilkan. Selain itu proses pencetakan di ruang *vaccum* dapat mereduksi porositas produk hingga 9,75% [17]. Disamping tekanan pencetakan, hal mempengaruhi penurunan nilai regangan dan kekuatan dari produk hasil 3D *print* adalah adanya kerusakan pada beberapa tahapan proses pencetakan.

Pada proses pencetakan produk dengan material filamen *polymer matrix laminates* terjadi penurunan kekuatan hingga 30% dan sebagian besar kerusakan terjadi saat proses penarikan filamen memasuki *extruder* oleh gear penarik yang mengakibatkan putusanya *carbon* pada filamen [18]. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam menentukan parameter operasi mesin 3D *print* yang berhubungan dengan regangan dan kekuatan tarik produk yang dihasilkan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada proses 3D *print* didapatkan nilai regangan rata-rata dan kekuatan tarik rata-rata untuk material filamen *nylon carbon fiber* adalah 17,614-26,681 % dan 19,244 - 23,667 MPa. Sedangkan pada material filamen PLA *carbon fiber* diperoleh nilai regangan rata-rata 7,934 - 14,801 % dan 19,244 – 23,889 MPa untuk kekuatan tarik rata-rata. Bertambahnya nilai *fill density* menyebabkan material filamen yang diekstrusikan semakin banyak sehingga produk hasil 3D *print* semakin padat dan menghasilkan nilai kekuatan tarik yang semakin tinggi. Berbanding terbalik dengan kekuatan tarik, nilai regangan yang dihasilkan cenderung turun dengan kenaikan nilai *fill density*.

Daftar Pustaka

- [1] P. Pitayachaval, N. Sanklong, and A. Thongrak, "A Review of 3D Food Printing Technology," in *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 213, pp. 1–5, doi: 10.1051/mateconf/201821301012.
- [2] O. A. Mohamed, S. H. Masood, and J. L. Bhowmik, "Optimization of fused deposition modeling process parameters for dimensional accuracy using I-optimality criterion," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 81, pp. 174–196, 2016, doi: 10.1016/j.measurement.2015.12.011.
- [3] V. Shanmugam *et al.*, "Fatigue behaviour of FDM-3D printed polymers, polymeric composites and architected cellular materials," *Int. J. Fatigue*, vol. 143, no. February, p. 106007, 2021, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2020.106007.
- [4] A. W. Gebisa and H. G. Lemu, "Influence of 3D printing FDM process parameters on tensile property of ULTEM 9085," *Procedia Manuf.*, vol. 30, no. May, pp. 331–338, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.02.047.

- [5] E. A. Irlanda, "Perancangan Kebijakan Perawatan Pada Mesin Printer 3D Aurora," Universitas Gadjah Mada, 2016.
- [6] F. Górski, R. Wichniarek, W. Kuczko, P. Zawadzki, and P. Buń, "Strength of Abs Parts Produced By Fused Deposition Modelling Technology – a Critical Orientation Problem," *Adv. Sci. Technol. Res. J.*, vol. 9, no. 26, pp. 12–19, 2015, doi: 10.12913/22998624/2359.
- [7] A. Setiawan, "Pengaruh Parameter Proses Ekstrusi 3D Printer Terhadap Sifat Mekanis Cetak Komponen Berbahan Filamen PLA (Poly Lactide Acid)," *J. Tek. STTKD. ISSN 2460-1608*, vol. 4, no. 2, pp. 20–27, 2017.
- [8] J. Triyono, H. Sukanto, R. M. Saputra, and D. F. Smaradhana, "The effect of nozzle hole diameter of 3D printing on porosity and tensile strength parts using polylactic acid material," *Open Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 762–768, Jan. 2020, doi: 10.1515/eng-2020-0083.
- [9] S. Lubis, M. Taufiqurrahman, and M. Ivanto, "Analisa Pengaruh Parameter Proses Terhadap Uji Tarik Produk Hasil 3D Printing Berbahan Polylactic Acid," *J. Engine Energi, manufaktur, dan Mater.*, vol. 5, no. 2, pp. 39–44, 2021.
- [10] R. Gunawan, "Pengaruh Densitas Isi terhadap Ketelitian Dimensi pada Produk Mesin 3D Printing," *Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 15–19, 2020, doi: 10.25105/ms.v11i1.7438.
- [11] American Society for Testing and Materials, "ASTM D638-14, Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens," *ASTM Int.*, vol. 82, no. C, pp. 1–15, 2016, doi: 10.1520/D0638-14.1.
- [12] "Technical Data Sheet Nylon Carbon," 2019.
- [13] F. Calignano, M. Lorusso, I. Roppolo, and P. Minetola, "Investigation of the mechanical properties of a carbon fibre-reinforced nylon filament for 3d printing," *Machines*, vol. 8, no. 3, pp. 1–13, 2020, doi: 10.3390/machines8030052.
- [14] R. D. Trisaplin, Z. S. Suzen, and Subkhan, "Analisis Pada Proses 3d Printer Terhadap Pengujian Tarik Menggunakan Filamen Pla Pro," *J. Indones. Sos. Teknol.*, vol. 2, no. 12, pp. 2107–2117, 2021.
- [15] T. F. Abbas, F. M. Othman, and H. B. Ali, "Investigation and Analysis of Infill Density on Impact Property of Pla in 3D Printing," *Int. J. Res. Sci. Manag.*, vol. 5, no. 2, pp. 115–120, 2018, doi: 10.5281/zenodo.1185587.
- [16] H. Mei, Z. Ali, I. Ali, and L. Cheng, "Tailoring strength and modulus by 3D printing different continuous fibers and filled structures into composites," *Adv. Compos. Hybrid Mater.*, vol. 2, no. 2, pp. 312–319, 2019, doi: 10.1007/s42114-019-00087-7.
- [17] H. Li, B. Liu, L. Ge, Y. Chen, H. Zheng, and D. Fang, "Mechanical performances of continuous carbon fiber reinforced PLA composites printed in vacuum," *Compos. Part B Eng.*, vol. 225, no. September, p. 109277, 2021, doi: 10.1016/j.compositesb.2021.109277.
- [18] Y. Hu, R. B. Ladani, M. Brandt, Y. Li, and A. P. Mouritz, "Carbon fibre damage during 3D printing of polymer matrix laminates using the FDM process," *Mater. Des.*, vol. 205, p. 109679, 2021, doi: 10.1016/j.matdes.2021.109679.