

Karakteristik Pelapisan Pada Produk Printer Tiga Dimensi (3d) Menggunakan Material Filament ABS, PLA Dan HIPS

Hadi Wibowo¹, Mustaqim², Hilmi BY³, Agus Wibowo⁴, Ahmad Farid⁵, Agus Shidiq⁶

^{1,2,3,4,5,6}Jurusan Teknik Mesin Universitas Pancasakti Tegal

E-mail: banktaqim@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian terhadap produk printing 3 dimensi menggunakan bahan filament yang berbeda yaitu Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Polylactic Acid (PLA) dan High Impact Polystyrene (HIPS). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas produk printing pada kondisi setting perinter yang sama untuk ketiga bahan ABS, PLA dan HIPS. Analisa Massa jenis, kekerasan dan foto visual dilakukan untuk membandingkan karakter produk printing. Analisis data sampel spesimen produk printing dari ketiga jenis material filament ABS, PLA dan HIPS pada sifat massa jenis dan kekerasan dapat ditarik kesimpulan bahwa produk printing dari filamen PLA memiliki berat jenis yang lebih besar dibanding dengan produk printing dari material yang lain ABS dan HIPS. Namun demikian PLA memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibanding dengan ABS dan HIPS. Sementara pengamatan secara visual pada foto permukaan produk printing menunjukkan kerapatan lapisan yang sama namun alur lapisan untuk filament HIPS agak sedikit kasar.

Kata Kunci : ABS, Pinter 3d, PLA, HIPS

Pendahuluan

Perkembangan teknologi pada saat ini telah mengalami kemajuan yang sangat pesat, salah satunya adalah Teknologi 3D printer atau juga dikenal sebagai additive manufacturing. Hasil benda kerja yang diproses menggunakan 3D Printer mempunyai nilai kepresisian dengan toleransi ± 0.5 mm [1]. 3D Printer adalah evaluasi perkembangan teknologi cetak dengan terobosan inovasi terbaru dalam dunia teknologi sesuai dengan era industri. Perkembangan teknologi ini berbanding lurus dengan perkembangan peradaban manusia moderen. Penggunaan mesin 3D Printer banyak digunakan di berbagai bidang dalam dunia robotika, medis, otomotif dan mesin 3D printer biasanya digunakan untuk pembuatan model produk. Pada umumnya mesin 3D Printer digunakan untuk membuat suatu benda yang cenderung berbentuk *solid*, dengan tekstur yang keras. Pembuatan objek cetak tiga dimensi (3D) dicapai dengan cara menggunakan proses aditif yaitu suatu proses yang menempatkan lapisan tipis secara berurutan dan berlapis hingga objek terbentuk menurut gambar desain yang diinginkan. Penggunaan mesin 3D Printer telah banyak digunakan pada berbagai bidang produksi seperti robotika, medis, otomotif, militer dan sebagainya. Cetak pada mesin 3D printer biasanya digunakan untuk membuat model produk yang rumit dan presisi. Dalam penggunaan mesin 3D printer dibutuhkan filament bahan dasar untuk membuat objek. Dalam proses pencetakan dibutuhkan penyetingan suhu ekstruder dan putaran motor yang tepat agar menghasilkan laju aliran filament. Dalam hal ini setelan kecepatan laju aliran filament dan temperature sangat mempengaruhi kualitas hasil produk/ model yang dibuat. Pemilihan material

jenis filament yang digunakan pada prose printing 3D disesuaikan dengan kebutuhan untuk apa hasil pencetakan 3D Printer akan difungsikan. Filament PLA memiliki sifat yang cukup keras dan kaku dan ramah lingkungan. Filament ABS memiliki sifat yang lebih keras dan kaku dibandingkan dengan PLA. Filament HIPS lebih kuat lebih ulet dan lebih mampu menyerap benturan. Dalam penelitian ini akan diuji tiga macam jenis filament yaitu ABS, PLA dan HIPS pada setting suhu extruder dan laju aliran filamen tertentu untuk memperoleh karakteristik produk model yang terjadi.

Landasan Teori

Aplikasi Teknologi rapid prototyping banyak digunakan dalam pembuatan prototype seperti pada industri telepon genggam, jewellery, penerbangan, otomotif, sepatu, desain industri, arsitektur, konstruksi, dental, industri medis dan lainnya. Dengan memanfaatkan teknologi ini perancang akan dengan cepat mewujudkan kreasinya menjadi obyek 3D, sehingga segera dapat dianalisa kelayakan suatu produk seperti ergonomis dan lainnya [1]–[3]. Keunggulan teknologi 3D printing adalah pilihan jenis material yang sangat banyak, proses pembuatan yang cepat, biaya perawatan rendah, serta mampu membuat benda dengan bentuk geometris yang kompleks.

Biasanya mesin printer yang digunakan adalah mesin printer khusus/ spesifik sesuai desain produk yang akan dibuat. Printer dengan Teknologi Fused Deposition Modeling (FDM) tersebar luas saat digunakan untuk pengembangan pembuatan prototype produk baru, dan konsep model. Teknologi ini dianggap mudah digunakan dalam pengaplikasiannya dan ramah terhadap lingkungan. Dengan menggunakan metode teknologi pencetakan jenis ini memungkinkan untuk membangun atau membuat objek dengan geometri dan rongga yang kompleks pada sebuah produk. Mesin printer dengan system ini bekerja dengan menarik filament roll dan selanjutnya di tarik ke dalam extruder head. Material ini ditarik oleh dua gear yang ada di dalam kepala printer dengan menggunakan motor stepper untuk menarik dan mendorong filament selanjutnya dipanaskan hingga titik lelehnya dan kemudian dikeluarkan melalui nozzle untuk mencetak produk printing selapis demi lapis. Tipe 3D printer cartesian beroperasi dengan bergerak ke arah sumbu X, Y dan Z. Sistem koordinat ini digunakan untuk menentukan lokasi print head dan extruder.

Kelebihan mesin printer model ini unggul dalam mencetak benda yang lebar (arah horizontal) kekurangan dari jenis ini adayıtu bagian penggerak sistem ekstruder biasanya membawa beban yang berat. Oleh karena itu, jenis 3D printer ini sulit untuk berhenti dan berubah arah secara cepat oleh karena itu mengakibatkan printer jenis ini kurang presisi ketika mencetak objek. Kumara, dkk.2018. [3] merakit alat printer tiga dimensi yang mampu membuat objek untuk alat bantu teknik, seni, hobby dan lainnya. Motor stepper digunakan sebagai aktuator mesin CNC untuk pergerakan sumbu mesin dalam pembuatan objek. Material PLA dari pati jagung digunakan sebagai element. Dengan printer tiga dimensi ini objek dapat dibuat secara tiga dimensi tanpa membuatnya secara bagian per-bagian. Kualitas produk baru yang dihasilkan menjadi lebih optimal. Dicky Seprianto.2017. [2] melakukan penelitian optimalisasi kombinasi parameter proses pembuatan objek 3D printing untuk menghasilkan geometri yang akurat. Parameter proses yang diinvestigasi adalah layer height, print speed, perimeter shells dan waktu polishing. Spesimen uji dibuat dengan material polysmooth™ mengacu ASTM D995-08 menggunakan 3D Printer type Fused Deposition Modeling (FDM). Junaed. 2019. [4] Menyatakan bahwa berkembangnya teknologi 3D Printer yang didasari oleh additive manufacturing tidak luput dari pengembangan material pembentuk produk. Material Hot Melt Adhesive (HMA) tergolong pada material yang lunak dan cenderung mudah dibentuk dan diasumsikan dapat mewakili pengembangan dari soft material. Ikhwan Taufik.2020. [5] menunjukkan bahwa tingkat kekasaran permukaan (Surface Roughness) merupakan salah satu hal penting dalam menentukan kualitas sebuah objek dalam

dunia manufaktur tidak terkecuali teknologi Additive Manufacturing. Teknologi yang sering juga disebut 3D Printing ini juga merupakan salah satu teknologi kunci di Era Revolusi Industri 4.0 yang sedang berlangsung saat ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh Printing Speed terhadap Surface Roughness produk yang dibuat menggunakan teknologi 3D Printing. Printing Speed merupakan salah satu parameter yang dapat diatur dan ditetapkan sebelum proses slicing dilakukan. Dalam penelitian ini, Printing Speed ditentukan 60 mm/s saat proses slicing menggunakan aplikasi CURA. variasi Printing Speed ini diatur lebih tinggi 50% (spesimen ke-1), 100% (spesimen ke-2), dan 150% (spesimen ke-3).

Pengukuran Surface Roughness dilakukan menggunakan Profilometer produk dari Mitutoyo seri SurfTest SJ-210. Dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata hasil pengukuran tingkat kekasaran permukaan atau surface roughness (Ra) cenderung meningkat (semakin kasar) jika printing speed semakin ditingkatkan. Chandra.2020. [6] menyatakan bahwa 3D Printing merupakan terobosan yang baru di bidang teknologi, yakni mampu mencetak sesuatu hal yang sama persis di dalam software yang kita inginkan, namun terkadang dalam proses pencetakan sendiri sering terjadi kegagalan, dalam penelitian ini cetakan 3D yang gagal akan di daur ulang lagi sehingga mengurangi biaya produksi. Tujuan dari alat ini yaitu mengontrol kecepatan putaran motor dc stepper agar pada proses penggulungan hasil cetak daur ulang filament 3D Printing tidak menumpuk pada satu sisi. Pemosisi hasil cetak gulungan filament 3D Printing ini dirancang dengan menggunakan beberapa komponen dan mekanik yang terdiri dari : Motor DC Stepper, Sensor Rotary Encoder, Sensor Optocoupler, Sensor Obstacle Infrared dan Sistem pengendalian menggunakan Arduino Mega dan Kontrol PID. Sistem ini berfungsi mengontrol kecepatan putar motor dc stepper hasil dari cetakan filament (3D Printing) diharapkan dari motor stepper dapat selaras dengan motor di penggulungan. Panjaitan. 2021. [7] menyatakan bahwa teknologi yang murah adalah Fused Deposition Modeling (FDM) metode. Banyak penelitian telah dilakukan dengan menggunakan metode FDM ini.

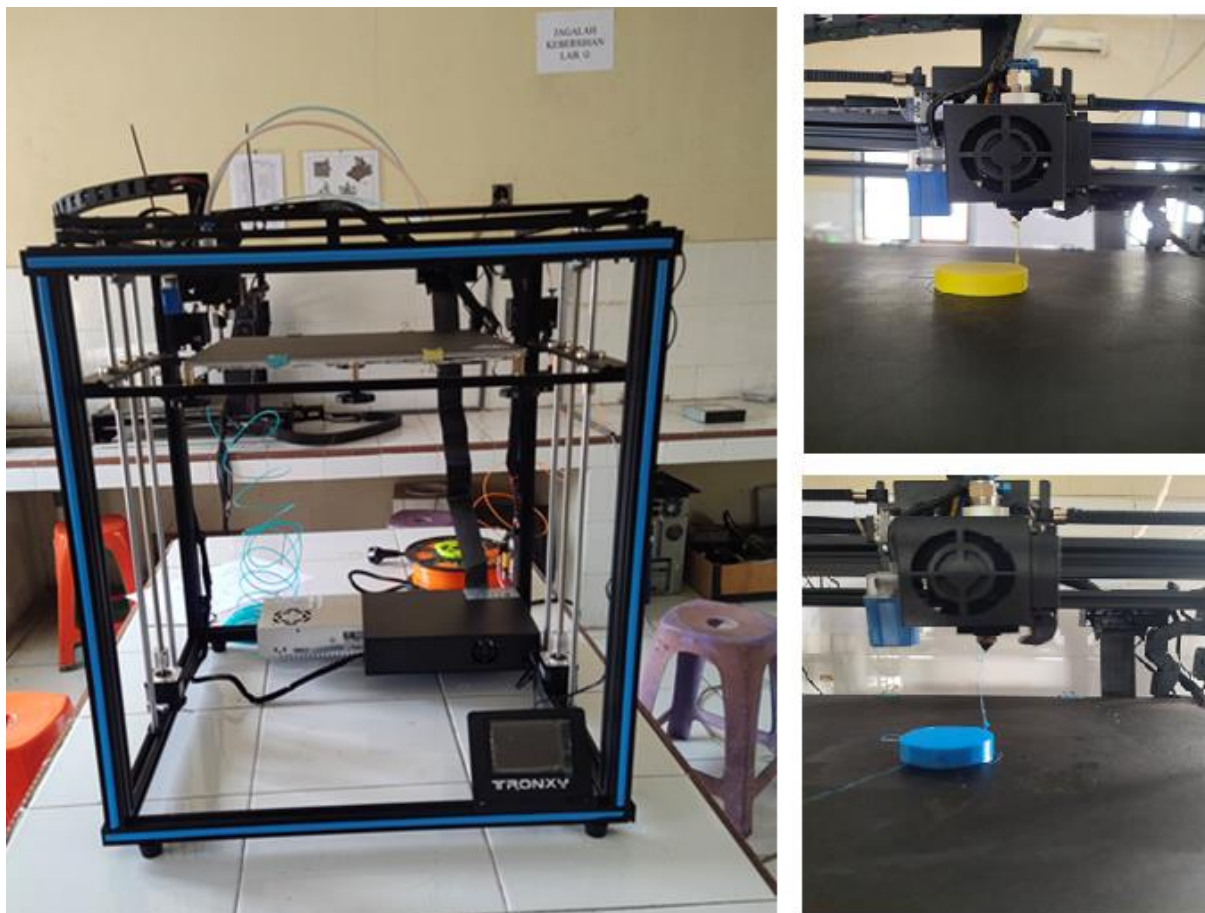
Pada penelitian ini dilakukan pencetakan box relay lampu sepeda motor dengan menggunakan Metode FDM dengan dua variasi kecepatan, temperatur dan pengisian masing-masing massa. 3D Printing menggunakan diameter nozzle 0,4 mm dan suhu meja kerja 60°C dan tinggi 0.2 mm untuk setiap lapisan dengan penyangga dimana-mana. Dari hasil penelitian, semua produk yang dihasilkan memiliki permukaan yang kasar dengan tingkat akurasi geometrik mulai dari 0,91% untuk dimensi panjang dan 7,73% untuk dimensi lebar produk. Deny Poniman [8] merancang mesin 3D Printing model cartesian. Dimana proses DBR digunakan untuk merancang dan menguji mesin 3D printing model cartesian. Proses pengujian mesin 3D printing menggunakan bahan Polylactid Acid (PLA merah) dengan filament diameter 1,75 mm dan volume 0,4 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesesuaian hasil cetak memiliki bentuk geometri sama, namun terdapat stringing pada hasil simulasi produk, hal ini disebabkan karena pengaturan retraksi dan suhu temperatur yang tinggi.

Pada penelitian ini digunakan Mesin 3D printer Tronxy X5SA-2E adalah mesin 3D printer tipe FDM dengan model Cartesian. Ukuran cetak 330 mm x 330 mm x 400mm. Bingkai profil aluminium, pencetakan lebih stabil, Mendukung leveling otomatis, Dengan deteksi filamen, ketika filamen tidak mencukupi atau padam, pencetakan akan dijeda secara cerdas. Penggerak ultra-senyap, efisien dan stabil. Bahan penelitian yang digunakan adalah 3 jenis filament dengan material yang berbeda yaitu ABS, PLA dan HIPS. ABS merupakan filament plastik yang terbuat dari sumber daya berbasis minyak memiliki sifat yang lebih keras dan kaku dibandingkan dengan PLA. Print Temp : 220-260 °C, Hot Bed Temp : 110 °C, Print Speed : 30-100 mm/s. PLA merupakan filament plastik yang bersifat *bio-degradable*. Print Temp : 190-220 °C, Hot Bed Temp : 0 / (60-80) °C, Print

Speed : 30-100 mm/s. HIPS yang merupakan kopolimer cangkakan yang menggabungkan polystyrene dan polybutadiene. Print Temp: 220-260 °C, Hot Bed Temp: 110 °C, Print Speed: 30-100 mm/s.

Metode Penelitian

Dalam penelitian kali ini yang saya lakukan untuk menganalisa pengaruh laju aliran dari material *filament* yang digunakan digunakan pada saat kondisi sudah berubah menjadi liquid. Dalam mencari laju aliran *filament* dibutuhkan 2 buah data yaitu putaran motor stepper dan temperatur suhu extruder sebagai parameter yang berpengaruh untuk mengetahui laju aliran *filament*, tetapi kali ini saya difokuskan pada pengaruh putaran motor stepper dan untuk pengaruh temperatur suhu saya mengambil yang terbaik dari penelitian teman saya Febiyanto yang sedang melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur suhu pada extruder. Analisa dilakukan terhadap laju aliran material *filament* dengan memperhatikan laju aliran pada bagian inlet nozzle pada mesin 3D Printer Tronxy X5SA-2E. Eksperimen akan dilakukan sebagai bentuk analisa pengumpulan data dan selanjutnya ditampilkan secara grafik.. Metode yang digunakan pada penulisan laporan tugas akhir ini adalah metode analisis dengan melakukan eksperimen dengan membuat coin berdiameter 40 mm dan tinggi 10 mm untuk mengetahui laju aliran material *filament* dan membandingkan kualitas produk pada setiap varasinya.

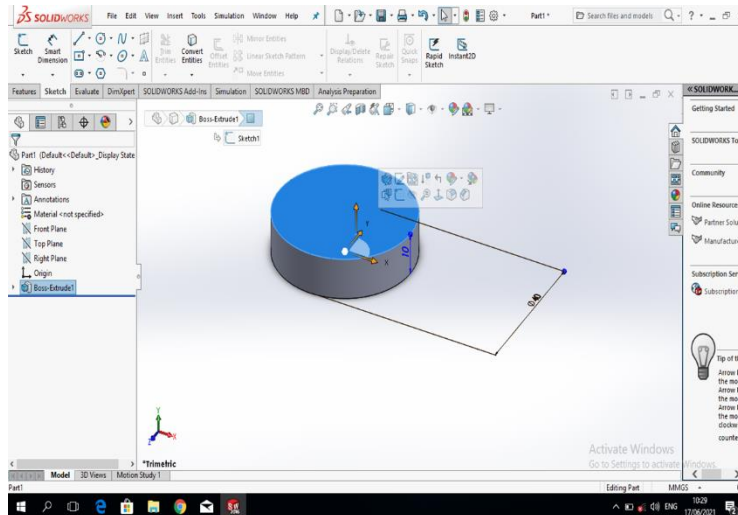


Gambar 1. Perangkat penelitian printing 3D kartesian

Sistem mesin 3D printer akan berjalan secara vertikal seperti mekanisme kerja 3D Printer pada umumnya untuk membuat spesimen, maka dari itu pada eksperimen menggunakan fungsi gravitasi dan model 3D Printer yang digunakan dapat dilihat prosesnya. Nozzle yang digunakan adalah nozzle dengan diameter 0,4 mm bentuk yang digunakan pada umumnya. Extruder yang digunakan tipe bowden yang digunakan pada 3D printer yang saya gunakan pada penelitian laju aliran material *filament* ini. Motor penggerak yang saya gunakan adalah jenis stepper motor yang digunakan sebagai penggerak serta pendorong material *filament* yang digunakan. Pada metode eksperimen yang saya lakukan dengan memvariasi putaran motor stepper sehingga dapat melihat pengaruhnya terhadap laju aliran material *filament* pada saat proses membuat spesimen selapis demi selapis. Dalam melakukan eksperimen yang dilakukan juga meliputi pengukuran data serta mempelajari sifat material *filament* terkait ilmu mekanika fluida yang digunakan, pengukuran geometri dari nozzle yang akan digunakan, serta menghitung segala data yang diperlukan sebagai parameter dalam menghitung laju aliran. Hasil yang diperoleh melalui metode eksperimen ini berupa laju aliran material *filament* dengan menghitung kecepatannya ketika keluar dari nozzle.

Pada metode eksperimen yang saya lakukan memvariasi yaitu variasi laju aliran inlet pada saat pembuatan spesimen, dalam penelitian kali ini saya membuat coin. Variasi laju aliran inlet didasari oleh variasi kecepatan putar motor dengan variasi putaran yang saya berikan dalam penelitian kali ini diberikan setingan adalah 40, 50 dan 60. Proses pengambilan data Pada tahap ini dilakukan pengukuran waktu proses pencetakan spesimen dan panjang filament yang dibutuhkan untuk proses pencetakan. Pengukuran data dilakukan dengan mengoperasikan 3D Printer. Metode eksperimen ini akan berfokus pada perolehan data laju aliran yang berupa kecepatan laju aliran *filament* yang keluar melalui nozzle. Pengukuran data laju aliran massa dilakukan menggunakan timbangan serta stopwatch. Pengambilan data laju aliran massa dilakukan dengan menggerakkan motor stepper dengan input berupa variasi kecepatan putar motor dalam bentuk mm/s di setiap kecepatannya. Motor digunakan sebagai pendorong atau sebagai alat untuk menginjeksi material *filament* yang digunakan. Pengambilan data dilakukan sebanyak 9 kali, yang terdiri dari 3 variasi setiap material *filament* yang digunakan.

Berikut spesimen yang saya akan buat sebagai objek dalam penelitian yang di desain menggunakan aplikasi desain Solidwork. Dalam spesimen kali ini yang saya buat berbentuk coin dengan diameter 40 mm dan tinggi 10 mm.



Gambar 2. Bentuk sampel produk printing

Dalam penelitian kali ini yang meneliti tentang pengaruh material ABS PLA & HIPS terhadap laju aliran pada bagian nozzle 3D printer 2 filament, berfokus pada pengaruh putaran motornya. Pada saat mengatur kecepatan putaran motor stepper pada penelitian menggunakan Software aplikasi Repetier Host sebagai pengatur kecepatan putaran motor stepper yang sebagai variasi putaran. Dalam penelitian kali ini menggunakan setingan 40, 50 dan 60 sebagai variasinya di setiap filament yang digunakan.

Metode eksperimen dilakukan dengan melakukan variasi terhadap laju aliran pada bagian inlet nozzle dengan memvariasikan putaran motor stepper dengan mengatur tegangan atau daya yang masuk ke motor stepper. simulasi akan dilakukan dengan asumsi aliran bagian inlet pada nozzle akan turun karena ada tekanan dan gaya gravitasi. Secara keseluruhan, eksperimen yang dilakukan akan berfokus pada putaran motor stepper terhadap laju aliran material filament untuk menemukan hasil yang sesuai, dan akan menghasilkan hasil jadi dengan kualitas yang baik. Metode eksperimen ini terdiri dari beberapa tahapan untuk bisa menemukan hasil yang diinginkan, diantaranya adalah pembuatan contoh model, pengaturan parameter input, serta literasi. Dalam melakukan eksperimen sangat penting untuk membuat domain, dalam kali ini domainnya lebih spesifik ke laju aliran material yang keluar dari nozzle yang berhubungan dengan kecepatan lajunya yang berguna mengetahui area yang akan dianalisa pengaruh putaran motor stepper terhadap pengaruh laju aliran material sesuai filament yang digunakan.

Setelah dilakukan pengepintan seluruh spesimen, selanjutnya dilanjutkan dengan pengujian secara visual dan kekerasan dengan menggunakan alat. Dimulai dengan uji visual menggunakan alat USB Digital Microscope agar dapat melihat tekstur dan kerapihan setiap variasi putaran motor stapper pada setiap filament yang saya gunakan dan selanjutnya uji kekerasannya dengan menggunakan alat Durometer untuk mengetahui kekerasan pada setiap filament yang di gunakan dengan variasi kecepatan putaran motor stepper. Dalam penelitian kali ini yaitu filament jenis ABS, PLA dan HIPS. Dalam uji visual kali ini saya menggunakan Software Image J untuk menentukan pada putaran motor berapa yang menghasilkan objek spesimen yang rapi dan bagus.

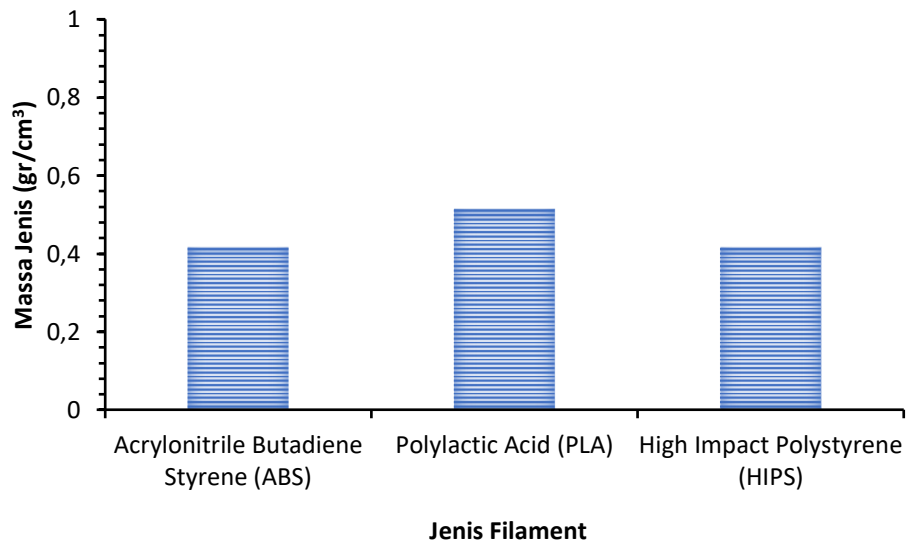
Durometer adalah alat Instrumen atau Pengujian yang menggunakan prinsip yang digunakan untuk mengukur kekerasan yang didasarkan pada mengukur kekuatan perlawanan dari penetrasi jarum ke dalam bahan uji di bawah beban pegas diketahui. Durometer ini dapat digunakan

untuk mengukur kekerasan pada bahan Karet, Plastik, Pipa, Kayu, Kulit dll. Alat test kekerasan ini mengukur kedalaman lekukan dalam bahan yang ditimbulkan oleh tekanan yang diberikan pada kaki penekan pada alat uji ini yang terstandarisasi dan dapat menghasilkan nilai kekerasan 0 sampai 100, semakin tinggi nilai yang dihasilkan menunjukkan bahwa material tersebut lebih keras. Satuan nilai kekerasan yang digunakan pada alat ini adalah **HA** artinya Hardness of Shore A atau nilai kekerasan menggunakan Shore A. Alat Durometer ini memiliki beberapa tipe mulai dari A, C, dan D yang mempunyai kegunaan mengukur kekerasan bahan masing-masing. Durometer A banyak digunakan untuk mengukur kekerasan berbagai bahan lunak seperti karet, silika gel, kulit, ban dan plastik. Durometer C banyak digunakan untuk mengukur kekerasan berbagai bahan lembut seperti spons foame, spons, dll. Durometer D banyak digunakan untuk mengukur benda-benda dengan kekerasan tinggi, seperti ebonit, resin keras, akrilik, kaca, pelat cetak & serat, Plastik keras, dan lainnya.

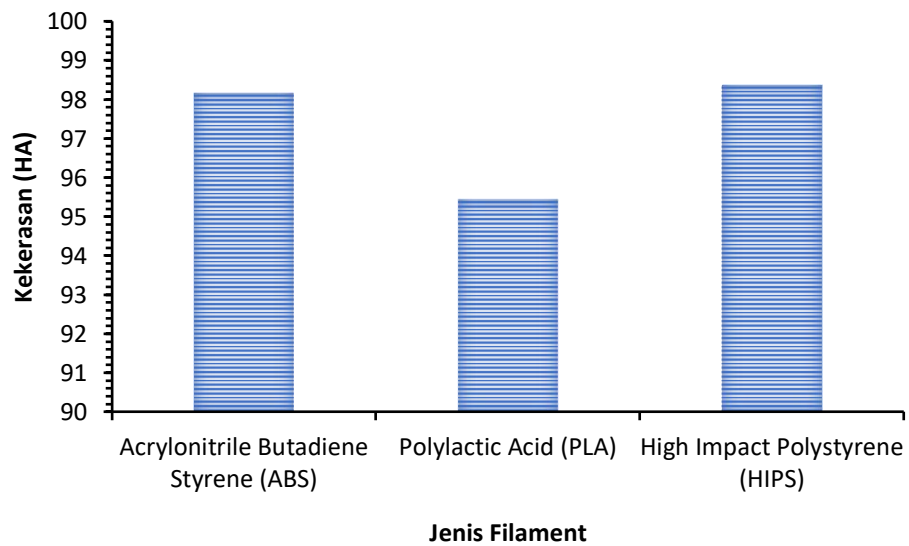
Hasil dan Pembahasan

Pada gambar 3. menunjukkan nilai rata-rata massa jenis dari produk printing yang dihasilkan dengan menggunakan berbagai material filamen yang berbeda. Pembuatan sampel produk printing dilakukan pada setelah putaran motor stepper 40 rpm, 50 rpm dan 60 rpm. Berat jenis disini didapatkan dengan menghitung rasio antara Massa(g) dengan Volume(cm^3). Setelah dilakukan pengambilan data maka didapatkan nilai berat jenis tertinggi adalah material filament PLA dengan nilai $0,519 \text{ g/cm}^3$ sedangkan berat jenis dari material ABS dan HIPS diperoleh nilai yang mendekati sama dan lebih rendah dari material PLA yaitu $0,410 \text{ g/cm}^3$.

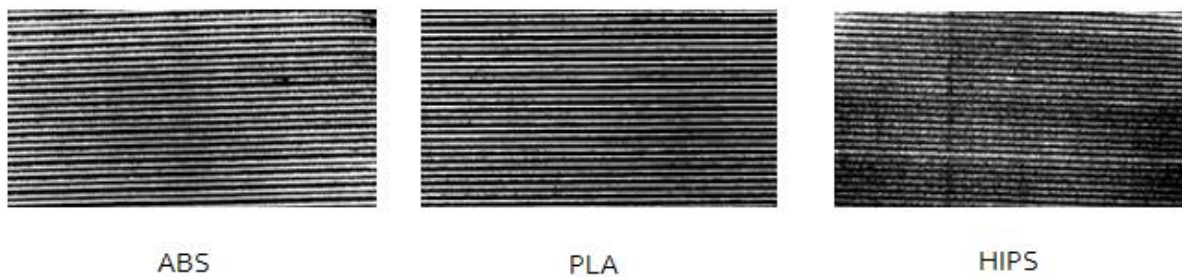
Pada gambar 4. menunjukkan nilai kekerasan produk printing yang dihasilkan dari pengujian sampel yang dibuat pada variasi putaran motor stepper 40 rpm, 50 rpm dan 60 rpm. Pada Pengujian kekerasan disini digunakan alat uji Kekerasan Durometer dengan satuan HA (Hardness of Shore A). Kebalikan dari massa jenis untuk kekerasan produk printing material PLA memberikan nilai kekerasan yang lebih rendah yaitu 93,85 HA sementara untuk material material ABS dan HIPS memberikan nilai yang hamper sama yaitu masing-masing sebesar 99,256 HA dan 99,258 HA. Selanjutnya pada gambar 5. Memperlihatkan susunan lapisan material produk printed dimana ketiga material menunjukkan struktur lapisan yang sangat mendekati sama artinya bahwa ketiga material ini cocok untuk proses printing 3D kartesian dengan kondisi yang telah ditetapkan dalam penelitian. Pengamatan secara visual pada foto permukaan produk printing menunjukkan kerapatan lapisan yang sama namun alur lapisan untuk filament HIPS agak sedikit kasar.



Gambar 3. Grafik Massa jenis produk print berbagai bahan filamen yang berbeda



Gambar 4. Grafik kekerasan produk print berbagai bahan filamen yang berbeda



Gambar 5. Visualisasi permukaan produk print berbagai bahan filamen yang berbeda

Kesimpulan

Dari analisis data sampel spesimen produk printing dari ketiga jenis material filament ABS, PLA dan HIPS pada sifat massa jenis dan kekerasan dapat ditarik kesimpulan bahwa produk printing dari filamen PLA memiliki berat jenis yang lebih besar dibanding dengan produk printing dari material yang lain ABS dan HIPS. Namun demikian PLA memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibanding dengan ABS dan HIPS. Sementara pengamatan secara visual pada foto permukaan produk printing menunjukkan kerapatan lapisan yang sama namun alur lapisan untuk filament HIPS agak sedikit kasar.

Daftar Pustaka

- [1] A. A. Nurul Amri and W. Sumbodo, "Perancangan 3D Printer Tipe Core XY Berbasis Fused Deposition Modeling (FDM) Menggunakan Software Autodesk Inventor 2015," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 110–115, 2018, doi: 10.21831/dinamika.v3i2.21407.
- [2] D. Seprianto and R. Wilza, "Optimasi Parameter Pada Proses Pembuatan Objek 3D Printing Dengan Teknologi FDM Terhadap Akurasi Geometri," *Semin. Nas. Tek. Ind. Univ. Gajah Mada*, no. November, pp. 37–49, 2017, [Online]. Available: http://digilib.mercubuana.ac.id/manager/t!@file_artikel_abstrak/Isi_Artikel_206157979831.pdf
- [3] K. S. Putra and U. R. Sari, "Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup," *Semin. Nas. Sist. Inf. dan Teknol. Inf. 2018*, pp. 1–6, 2018.
- [4] S. J. Junaedi, F. Arbiyani, and M. Darmawan, "Analisis Laju Aliran Material Hot Melt Adhesive (HMA) pada Bagian Nozzle 3D Printer," *Cylind. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 10–17, 2019.
- [5] I. Taufik, H. S. Budiono, H. Herianto, and D. Andriyansyah, "Pengaruh Printing Speed Terhadap Tingkat Kekasaran Permukaan Hasil Additive Manufacturing Dengan Polylactic Acid Filament," *J. Mech. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 15–20, 2020, doi: 10.31002/jom.v4i2.3412.
- [6] C. A. Setyo Wibisono, B. Setiawan, and I. Siradjuddin, "Penerapan PID Kontrol Untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC Stepper Pada Pemposisi Hasil Cetak Filament (3D Printing) Di Gulungan Berbahan Daur Ulang," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 7, no. 1, p. 35, 2021, doi: 10.33795/elkolind.v7i1.178.
- [7] J. H. Panjaitan, M. Tampubolon, F. Sihombing, and J. Simanjuntak, "Pengaruh Kecepatan, Temperatur dan Infill Terhadap Kualitas dan Kekasaran Kotak Relay Lampu Sign Sepedamotor Hasil dari 3D Printing," *Sprocket J. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 87–99, 2021, doi: 10.36655/sproket.v2i2.530.
- [8] H. D. Nugraha and D. P. Kosasih, "Perancangan Mesin 3D Printing Model Cartesian," *J. Tek. Mesin ITI*, vol. 5, no. 1, p. 29, 2021, doi: 10.31543/jtm.v5i1.557.