

NASKAH ORISINAL

Peningkatan Kualitas Produk Hasil *Fused Deposition Modelling* dengan Berbagai Proses Pasca Fabrikasi untuk Dunia Usaha Sekitar ITS

Alvian Toto Wibisono* | Hosta Ardhyanta | Widyastuti | Wikan Jatimurti | Agung Purniawan

Departemen Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.

Korespondensi

*Alvian Toto Wibisono, Departemen Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
Alamat e-mail: alvian@its.ac.id

Alamat

Departemen Studi Pembangunan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.

Abstrak

Adopsi teknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM) yang semakin luas mendorong kebutuhan produk polimer berkualitas tinggi, khususnya dari *polylactic acid* (PLA). Meskipun FDM mudah diakses dan berbiaya rendah, teknologi ini masih memiliki kelemahan berupa kekasaran permukaan dan sifat mekanik anisotropi yang menurunkan kualitas serta daya saing produk. Kegiatan ini bertujuan mengatasi permasalahan tersebut melalui program peningkatan kualitas bagi pelaku usaha FDM. Metode yang dilakukan terbagi menjadi 3 tahap yang meliputi percobaan fabrikasi objek 3D FDM disertai proses *chemical surface smoothing*, pemberian materi melalui kegiatan *workshop* kepada mitra, dan mendorong mitra untuk melakukan praktek. Percobaan menggunakan *dichloromethane* dan *chloroform* diperkenalkan sebagai proses pasca fabrikasi untuk menurunkan kekasaran permukaan PLA. Pencelupan singkat selama 5 detik menurunkan kekasaran dari 15–30 μm menjadi 2–5 μm , dengan *dichloromethane* memberikan hasil yang lebih optimal. Prosedur ini kemudian disampaikan kepada mitra PT Tridiku Teknokarya Indonesia melalui pelatihan terstruktur yang mencakup penyampaian materi, diskusi, praktik langsung, dan evaluasi. Hasil pengukuran sebelum dan sesudah pelatihan menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman dan keterampilan peserta mengenai FDM, karakteristik PLA, serta teknik pascaproses. Program ini efektif dalam mengurangi kekasaran sekaligus meningkatkan kapasitas pelaku usaha lokal, menegaskan pentingnya pelatihan terarah dan inovasi pascaproses berbiaya rendah bagi penguatan *3D printing* di masyarakat.

Kata Kunci:

Fused Deposititon Modelling, *3D Printing*, Kekasaran.

1 | PENDAHULUAN

1.1 | Latar Belakang

Fused Deposition Modelling (FDM) adalah salah satu jenis teknologi *3D printing* atau aditif manufaktur yang banyak diaplikasikan oleh masyarakat. FDM memfabrikasi objek 3D dengan tahap pengubahan data visual menjadi lapisan-lapisan data 2D, memasukkan filamen polimer termoplastis ke dalam *nozzle* panas, melelehkan polimer tersebut, lelehan polimer dikeluarkan dari *nozzle* menuju *platform* sehingga tercetak lapisan demi lapisan yang menyatu menjadi objek 3D^[1]. FDM memiliki kelebihan yaitu ketersediaannya yang baik, mudah diakses secara teknologi dan bahan baku, serta proses penggunaannya yang cepat teradopsi oleh masyarakat. Hal ini mengakibatkan FDM banyak diimplementasikan untuk proses pembuatan prototipe, pembuatan pola cetakan, pembuatan produk-produk hasil modifikasi yang menststitusi produk komponen mekanis, robotik, dekoratif, dan elektrik^[2]. Material yang dapat difabrikasi dengan menggunakan FDM merupakan polimer berjenis termoplastis dengan sifat semi-rigid seperti PLA dan ABS, serta material berjenis termoplastis fleksibel seperti TPU^[3]. PLA (*Polylactic Acid*) adalah material yang paling sering digunakan karena memiliki kekuatan dan kekakuan yang memadai untuk dijadikan objek solid 3D, memiliki fleksibilitas yang cukup sehingga tidak mudah patah saat proses FDM, dan memiliki temperatur pelelehan rendah^[3]. Kombinasi antara teknologi FDM dan kelebihan material filamen PLA, menyebabkan banyak sekali bisnis di masyarakat yang mengadopsi langkah *3D printing* ini.

Tinjauan lebih dalam tentang FDM menunjukkan bahwa teknologi ini memiliki keunggulan dalam kemudahan pengoperasiannya, kemampuannya untuk menghasilkan produk secara cepat tanpa tambahan teknologi fabrikasi penunjang lain yang butuh investasi tinggi. Namun, FDM juga memiliki kelemahan dalam beberapa aspek yang meliputi objek hasil fabrikasinya memiliki kekasaran permukaan yang tinggi, keakuratan dimensi yang buruk, dan sifat mekaniknya yang anisotropi^[4]. Hal ini dapat menjadi penghambat terserapnya produk-produk hasil fabrikasi FDM di masyarakat. Kekasaran permukaan yang buruk terjadi karena selama proses FDM, objek 3D difabrikasi secara lapis demi lapis 2D. Langkah ini mengakibatkan terjadinya kontur permukaan yang memiliki puncak dan lembah di zona antar lapisan. Keakuratan dimensi yang buruk terjadi karena PLA yang dilelehkan dan diletakkan di *platform* untuk membentuk lapisan 2D mengalami pembekuan yang disertai penyusutan material. Sedangkan sifat mekanik yang anisotropi pada arah sumbu kartesian XYZ terjadi karena sifat mekanik hasil fabrikasi lapis demi lapis searah sumbu Z tidak homogen bila dibandingkan dengan sifat mekanik pada arah sumbu X dan sumbu Y. Berbagai kelemahan ini mengakibatkan produk hasil FDM mengalami cacat, delaminasi, tidak menarik, dan membatasi daya jual produk.

Teknologi FDM saat ini mulai menarik minat masyarakat. Ekosistem bisnis FDM mulai terlihat di berbagai bidang seperti kalangan akademisi yang mulai mengadopsi FDM dalam proses pembelajaran dan penelitian, terdapat penjual mesin FDM, penjual berbagai material FDM, penyedia jasa perawatan mesin FDM, dan jasa pengoperasian FDM untuk membuat produk dan prototipe. PT Tridiku Teknokarya Indonesia merupakan perusahaan yang terus berkembang di masyarakat dari awalnya merupakan bentuk UMKM dengan bisnis utama memberikan layanan jasa fabrikasi produk menggunakan FDM dengan jangkauan pasar Jawa. Perusahaan ini juga mengalami kendala pada produk hasil fabrikasinya berupa kekasaran permukaan yang tinggi. Kendala ini sebelumnya diatasi dengan metode fabrikasi ulang atau dengan teknik pengasahan secara mekanis (*grinding*). Metode ini menyebabkan penghalusan yang tidak homogen dan memerlukan waktu lama.

1.2 | Solusi Permasalahan atau Strategi Kegiatan

Permasalahan yang dialami oleh masyarakat yang memiliki bidang usaha jasa FDM material PLA menjadi produk-produk objek 3D adalah munculnya cacat objek hasil fabrikasi berupa permukaan yang kasar. Proses pasca FDM yang disebut dengan *chemical surface smoothing* adalah salah satu teknik pengurangan kekasaran permukaan dengan menggunakan cairan kimia pelarut organik. Solusi untuk mengatasi permasalahan ini meliputi 3 langkah yaitu:

1. Melakukan penghalusan permukaan produk hasil FDM PLA dengan metode *chemical surface smoothing*
2. Memberikan pelatihan keterampilan kepada masyarakat agar dapat mengimplementasikan metode penghalusan permukaan
3. Mengukur dampak dari kegiatan pelatihan keterampilan terhadap keterampilan masyarakat dan peningkatan kualitas produk hasil FDM bermaterial PLA dalam aspek pengurangan cacat permukaan kasar

Ketiga langkah di atas dilaksanakan secara sistematis agar didapatkan dampak dari solusi yang diberikan terhadap permasalahan yang terjadi di masyarakat salah satu pelaku usaha di ranah *3D printing*.

Sehingga pelatihan Peningkatan Kualitas Produk Hasil *3D Printing* FDM dengan Berbagai Proses Pasca Fabrikasi untuk Dunia Usaha Sekitar ITS menjadi strategi yang menyediakan solusi lengkap terhadap permasalahan yang dialami. Pada pelatihan ini, masyarakat pelaku usaha penyedia jasa fabrikasi yang mengimplementasikan FDM akan diberikan materi berupa teknologi FDM secara lebih rinci, struktur, karakteristik, dan sifat material polimer termoplastis terutama PLA, berbagai teknik penghalusan permukaan secara kimiawi. Pelatihan diberikan dengan bentuk pembelajaran yang beragam yang meliputi:

1. Materi interaktif untuk memberikan pemahaman mendalam secara kognitif masyarakat tentang FDM, karakteristik material FDM, dan proses pasca FDM
2. *Focus Group Discussion* untuk membuat peserta lebih aktif melibatkan diri dalam diskusi dan bertukar ide tentang FDM, karakteristik material FDM, dan proses pasca FDM
3. Praktikum FDM dan *chemical surface smoothing* untuk membentuk keterampilan masyarakat sehingga ide penyelesaian masalah dengan target menghaluskan permukaan hasil FDM dapat tertuang dalam aksi psikomotorik
4. Ujian hasil materi, FGD, dan praktikum untuk menguji kualitas keserapan materi pelatihan
5. Pemberian data umpan balik dari peserta untuk mendapat data tentang kualitas keserapan materi pelatihan

1.3 | Target Luaran

Luaran hasil kegiatan ini adalah pelatihan berdampak nyata bagi masyarakat yang dapat menyelesaikan permasalahan teknis sehubungan dengan lingkup penerapan teknologi FDM. Agar masyarakat secara lebih luas juga dapat merasakan dampak, pelatihan ini juga dipublikasikan di Jurnal Pengabdian Masyarakat Sewagati ITS dalam bentuk artikel, dan media massa liputan ITS dalam bentuk video.

2 | TINJAUAN PUSTAKA

Fused Deposition Modelling merupakan salah satu teknologi aditif manufaktur yang digunakan untuk memfabrikasi material polimer termoplastis menjadi produk. Gambar 1 menunjukkan mekanisme fabrikasi produk dengan menggunakan FDM. Proses pembuatan produk diawali dengan membuat 3D CAD model melalui *software* gambar seperti Solidworks, Inventor, dan Fusion. 3D CAD model tersebut kemudian disimpan dalam file dengan format STL. Kemudian *slicing software* digunakan untuk mengontrol posisi, arah fabrikasi, dan kontrol parameter pemrosesan saat pengoperasian mesin FDM. Parameter yang dikontrol meliputi ketebalan tiap lapisan, temperatur *nozzle*, temperatur *platform*, kecepatan gerakan XY *end effector nozzle*, kerapatan pengisian, dan penambahan struktur pendukung. Setelah itu, *slicing software* akan membelah data 3D menjadi sekumpulan data 2D lapis demi lapis. Data 2D yang telah dibelah dan diatur parameter pemrosesannya dimasukkan ke dalam mesin 3D Printer FDM. Mesin bekerja dengan mengaplikasikan pengaturan dari *software slicer*. Objek 3D dihasilkan setelah proses FDM selesai.

Mekanisme kerja FDM ditunjukkan oleh Gambar 2. Filamen yang terbuat dari material termoplastis PLA tersedia dalam bentuk gulungan. Filamen PLA dimasukkan ke sistem pemakanan (*feeding system*). Pemakanan filamen digerakkan oleh *driving motor* menuju ruang pelelehan filamen (*molten paste chamber*) dan dikeluarkan menuju pelat untuk membentuk objek atau produk yang diinginkan.

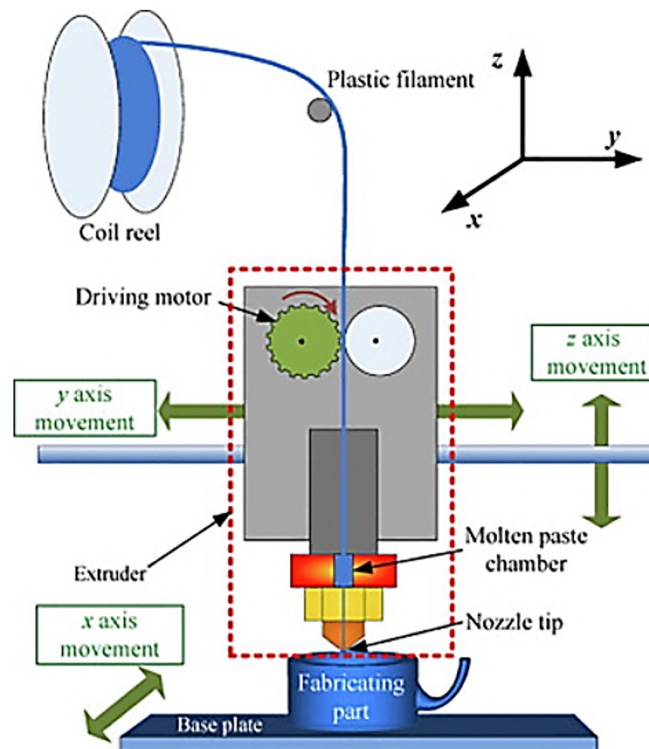
Hasil fabrikasi menggunakan FDM adalah produk berbentuk objek 3 dimensi yang masih memiliki kekasaran tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3b. Kekasaran tinggi pada produk hasil FDM ditemukan di bagian permukaan atas dan samping^[5]. Kekasaran pada bagian samping terjadi akibat proses fabrikasi FDM yang bersifat deposit 2 dimensi lapis demi lapis sehingga menyebabkan munculnya permukaan berbentuk tangga. Morfologi kekasaran permukaan pada hasil FDM berbentuk serat yang butuh untuk diatasi.

Penghalusan permukaan produk hasil FDM dapat dilakukan secara mekanik, termo-mekanik, dan kimiawi (*chemical smoothing*). Penghalusan dengan metode mekanik dilakukan dengan penggerindaan, metode termo-mekanik dilakukan dengan pemanasan hingga permukaan mencapai temperatur leleh disertai dengan penekanan permukaan pada plat halus, sedangkan

metode kimiawi dilakukan dengan cara mencelupkan objek ke dalam senyawa organik pelarut PLA. Di antara ketiga proses di atas, metode kimia merupakan metode paling cepat. Hal ini disebabkan karena target PLA yang dilarutkan hanya terletak pada bagian permukaan dengan ketebalan 30 μm . Pencelupan objek 3D berbasis PLA ke dalam pelarut organik *Dichloromethane* (DCM) dan *Chloroform* selama beberapa detik berhasil melarutkan PLA hanya pada bagian permukaan sehingga mengurangi kekasaran permukaan objek bermaterial PLA hasil FDM^[6].



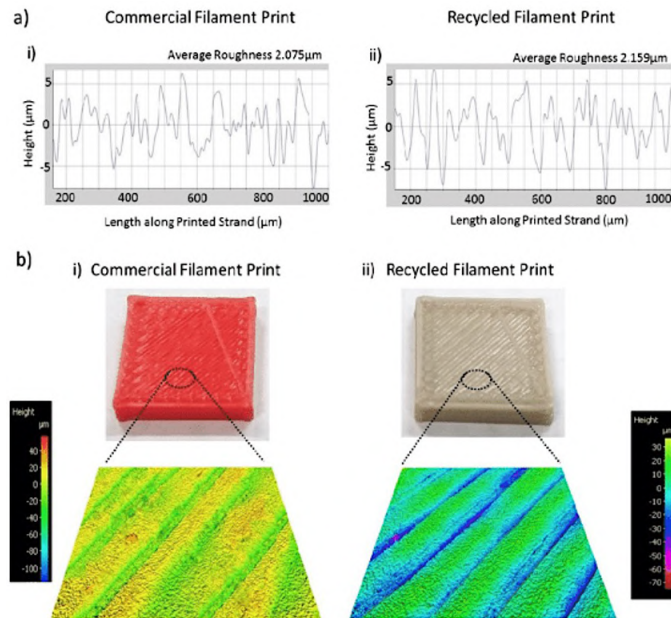
Gambar 1 Mekanisme fabrikasi dengan metode *Fused Deposition Modelling*^[7].



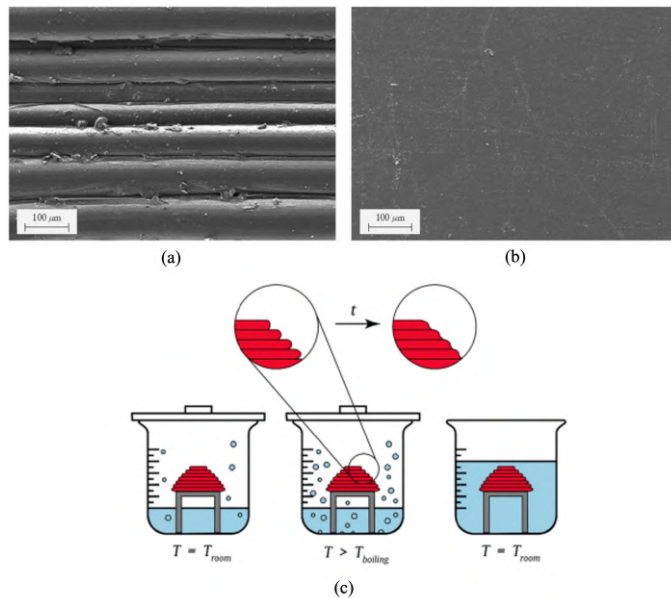
Gambar 2 Mekanisme kerja *Fused Deposition Modelling*^[8].

Bagian paling krusial dalam proses transfer teknologi untuk penghalusan permukaan produk hasil FDM agar dapat diimplementasikan di berbagai skala industri adalah pengembangan sumber daya manusia. Secara makrokosmik, proses transfer

teknologi dilakukan dengan kegiatan pelatihan berbasis *project*. Secara mikrokosmik, transfer teknologi dilakukan dengan melatih pengembangan secara mandiri. UMKM perlu mendapatkan kegiatan pelatihan yang dirancang secara sistematis dalam bentuk kelompok dari pihak penyedia teknologi^[9].

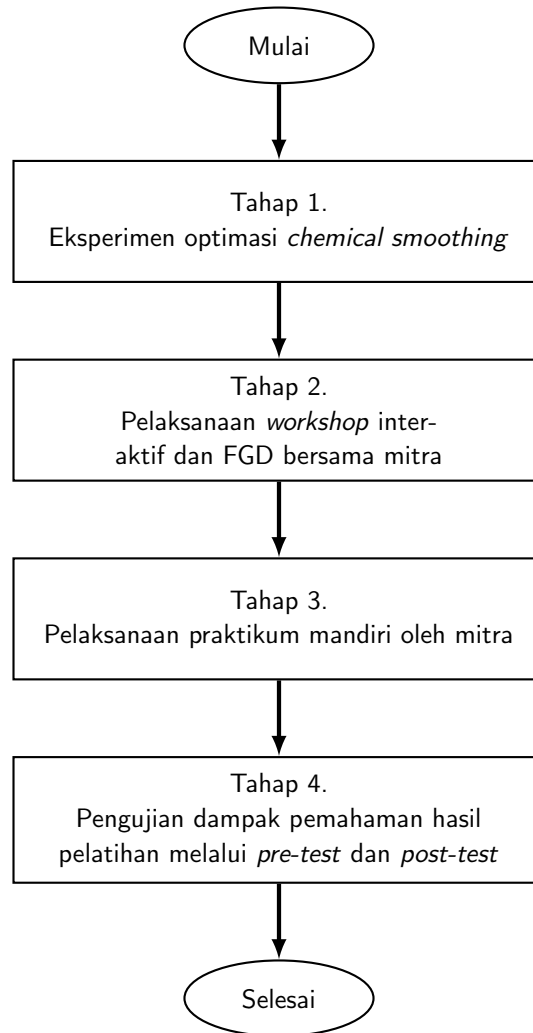


Gambar 3 Kualitas kekasaran permukaan yang objek hasil *Fused Deposition Modelling*^[8].



Gambar 4 Penghalusan permukaan dengan mekanisme kimia (a) hasil FDM, (b) hasil penghalusan secara kimiawi dengan pelarut organik chloroform, dan (c) mekanisme penghalusan secara kimiawi pelarut berupa uap dan *liquid*^[6].

3 | METODE KEGIATAN



Gambar 5 Diagram Alir Langkah Pelaksanaan Program Pengabdian Masyarakat.

Program pengabdian masyarakat ini dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Program ini disusun dengan beberapa langkah sebagaimana tertera pada Gambar 5. Kegiatan dimulai dengan identifikasi material hasil *printing* yang butuh proses penghalusan permukaan.

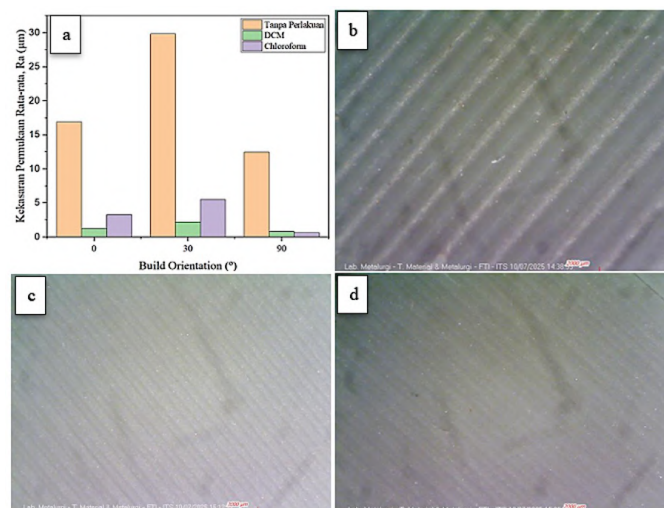
Pada tahap 1, Spesimen dengan dimensi $20 \times 20 \times 10 \text{ mm}^3$ difabrikasi dengan mesin *3D printing* jenis FDM. Material yang digunakan adalah filamen PLA. Dilelehkan melalui *nozzle* pada temperatur 220°C , tebal lapisan 0.15 mm, kecepatan pencetakan 15 mm/s, temperatur *platform* 50°C , dan difabrikasi dengan *orientation* 0° , 30° , 90° sebanyak 3 untuk setiap orientasi. Setiap orientasi kemudian dibagi menjadi 3 perlakuan yaitu spesimen hasil FDM tanpa perlakuan, spesimen dicelup dalam pelarut *Dichloromethane* dan *Chloroform*. Pengamatan dilakukan dengan stereomikroskop dan pengukuran kekasaran permukaan.

Tahap 2 dilakukan dengan *workshop* secara interaktif. Pemateri dan peserta berada dalam 1 ruangan. Topik yang meliputi material untuk *3D printing*, teknologi FDM, bisnis model FDM, *chemical smoothing*, dan FGD dipaparkan oleh pemateri yang kemudian dilanjutkan dengan kegiatan praktik. Tahap 3 dilaksanakan dengan aktivitas praktikum oleh peserta.

Tahap 4 melakukan pengujian terhadap pemahaman yang dimiliki peserta setelah proses pelatihan. Pengujian ini dilakukan melalui *pre-test* dan *post-test*. Aspek yang diuji meliputi pemahaman peserta terhadap material *3D printing*, pemahaman terhadap teknologi FDM, dan keterampilan peserta untuk melakukan *chemical smoothing post-processing*. Setiap aspek diuji dengan 4 pertanyaan dan 4 instruksi. Pada aspek material *3D printing*, peserta harus dapat menyebutkan jenis material untuk *3D printing* FDM, kondisi bentuk awal, perbandingan sifat mekanik, dan temperatur lelehnya. Pada aspek teknologi FDM, peserta menjelaskan mekanisme kerja FDM, komponen mesin FDM, parameter fabrikasi, dan bisnis model FDM. Sedangkan pada kegiatan praktik, peserta mengoperasikan *software* pengatur parameter FDM, memfabrikasi spesimen menggunakan mesin FDM, melakukan *chemical smoothing* setelah FDM, dan pengeringan spesimen.

4 | HASIL DAN DISKUSI

Material yang digunakan pada proses FDM adalah termoplastis polimer *Poly Lactide Acid* (PLA) yang kemudian difabrikasi dalam variasi arah 0° , 30° , dan 90° . Kekasaran permukaan hasil fabrikasi ditunjukkan pada Gambar 6 a dan Gambar 6 b. Kekasaran permukaan hasil fabrikasi berada pada rentang 15–30 mikrometer. Kekasaran tertinggi diperoleh pada variasi 30° yang mencapai $30\ \mu\text{m}$. Hal ini disebabkan permukaan terfabrikasi lapis demi lapis dengan konfigurasi terasering atau tangga pada variasi kemiringan 30° . Sedangkan pada variasi 0° , kekasaran permukaan lebih kecil karena langsung dikontrol oleh gerakan *zigzag nozzle* saat proses ekstrusi lelehan filamen. Kekasaran permukaan pada variasi 90° menjadi yang terkecil pada nilai $12\ \mu\text{m}$ karena kekasaran permukaan langsung dikontrol oleh gerakan *nozzle* untuk menghasilkan kontur. Beberapa senyawa organik dipilih untuk proses penghalusan permukaan yang meliputi *Dichloromethane* (DCM) dan *Chloroform*. Kedua senyawa organik ini dipilih karena sifat mampu untuk melarutkan PLA. Pencelupan PLA ke dalam kedua senyawa ini dalam waktu lama akan menyebabkan PLA menghilang karena larut sempurna dalam DCM dan *Chloroform*. Namun, pencelupan dengan durasi 5 detik akan melarutkan hanya pada bagian yang kasar dengan ketebalan beberapa mikrometer. Hasil penghalusan permukaan PLA produk FDM oleh DCM dan *Chloroform* menunjukkan terjadinya pengurangan kekasaran permukaan pada rentang $15\text{--}30\ \mu\text{m}$ menjadi $2\text{--}5\ \mu\text{m}$, di mana senyawa DCM memberikan hasil kehalusan yang lebih optimal dibanding *Chloroform*. Gambar 6 c dan Gambar 6 d menunjukkan morfologi permukaan hasil proses penghalusan permukaan menggunakan DCM dan *Chloroform* selama 5 detik pencelupan. DCM menunjukkan hasil permukaan yang lebih halus apabila dibandingkan dengan *Chloroform*. PLA dapat larut lebih cepat pada DCM dibandingkan dengan *Chloroform*. Kemampuan sebuah pelarut organik untuk melarutkan PLA dipengaruhi oleh nilai *Hansen Solubility Parameter*. PLA memiliki nilai *Hansen Solubility Parameter* sebesar $18.6\ \text{MPa}^{0.5}$, DCM memiliki nilai $18.2\ \text{MPa}^{0.5}$, dan *Chloroform* memiliki nilai $17.8\ \text{MPa}^{0.5}$. DCM memiliki nilai yang lebih mendekati PLA dibandingkan dengan *Chloroform* sehingga lebih mudah melarutkan PLA^[10].



Gambar 6 Sifat kekasaran permukaan (a) hasil percobaan penghalusan, (b) permukaan hasil FDM, (c) permukaan setelah FDM dan dihaluskan dengan dichloromethane, serta (d) permukaan setelah FDM dan dihaluskan dengan chlorofom.

Tim pengabdian masyarakat melakukan kunjungan ke mitra PT Tridiku Teknokarya Indonesia seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 a. PT Tridiku Teknokarya Indonesia berlokasi di Ruko Cloverville A3, Jl. Tambak Medokan Ayu, Kecamatan Rungkut, Surabaya, Jawa Timur. Direktur utama menyatakan bahwa PT Tridiku Teknokarya Indonesia saat ini telah melayani jasa pembuatan berbagai prototipe dan perangkat dengan mengoperasikan berbagai jenis mesin FDM (ditunjukkan oleh Gambar 7 b, c). Beberapa permukaan hasil FDM ditemukan memiliki permukaan yang kasar (ditunjukkan oleh Gambar 7 d) dan mekanisme untuk penghalusan permukaan dilakukan dengan cara penggerindaan yang membutuhkan waktu lama dan masih menyisakan puing serbuk PLA. Hal ini menyebabkan *workshop* tentang proses penghalusan permukaan hasil FDM menjadi krusial.



Gambar 7 (a) mitra PT Tridiku Teknokarya Indonesia, (b) penjelasan kendala kekasaran permukaan oleh mitra, (c) diskusi antara mitra dengan tim ITS, (d) contoh produk FDM yang memiliki permukaan kasar.

Workshop tentang proses penghalusan permukaan pada produk hasil FDM diselenggarakan di Laboratorium Metalurgi Manufaktur Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Workshop ini dihadiri oleh beberapa orang peserta dari PT Tridiku Teknokarya Indonesia. Sesi awal *workshop* diselenggarakan dengan pemaparan materi tentang proses FDM, pengenalan material PLA, sifat kekasaran permukaan hasil FDM, analisis kecacatan produk hasil FDM, dan data hasil eksperimen penghalusan permukaan dengan metode *chemical surface smoothing* menggunakan senyawa organik DCM dan *Chloroform* yang ditunjukkan oleh Gambar 8 a dan Gambar 8 b. Sesi kedua *workshop* diisi dengan diskusi interaktif tentang bisnis model *3D printing*, profil mitra, dan kendala-kendala yang dialami mitra dalam lingkup material untuk proses FDM yang ditunjukkan pada Gambar 8 c. Gambar 8 d dan Gambar 8 e menunjukkan sesi eksperimen penghalusan permukaan yang dioperasikan oleh mitra dengan dibantu tim pengabdian masyarakat. Beberapa perlengkapan pelindung diri skala laboratorium digunakan oleh mitra yang meliputi jas laboratorium, masker, dan sarung tangan digunakan selama eksperimen. Kegiatan dilakukan di ruang laboratorium dekat ventilasi sirkulasi udara dengan atap tinggi. Spesimen eksperimen yang merupakan objek hasil FDM difabrikasi dengan ukuran panjang, lebar dan tebal sebesar 20 mm × 20 mm × 10 mm. Mitra melakukan pengamatan secara visual dan uji *tactile*. Spesimen dicelupkan ke dalam pelarut DCM dengan variasi 5, 10, dan 15 detik. Pada setiap variasi pencelupan, spesimen diangkat dan dilakukan kembali pengamatan secara visual dan uji *tactile* sehingga mitra mendapat pengalaman langsung tentang perubahan kualitas permukaan dari proses penghalusan. Kegiatan kemudian ditutup setelah diskusi akhir yang menyimpulkan tentang materi, eksperimen, dan testimoni tentang *workshop*.

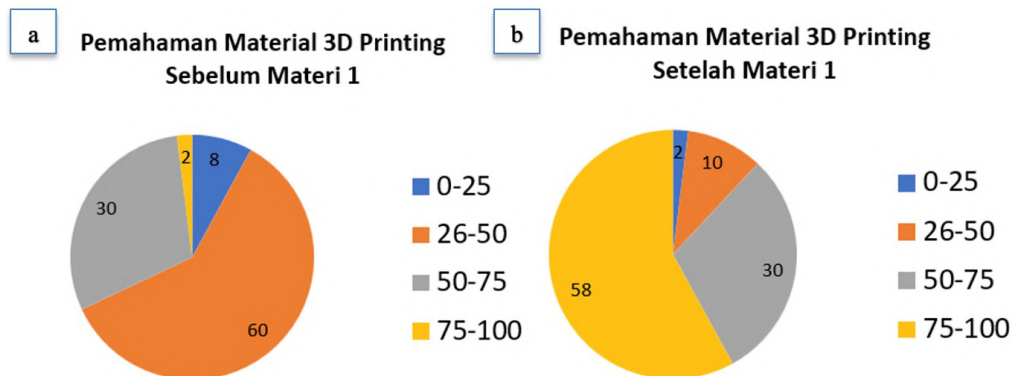
Materi *workshop* dibagi menjadi 3 yang meliputi materi 1, materi 2, dan materi 3. Materi 1 membahas tentang pengenalan material polimer termoplastis, struktur rantai polimer termoplastis, klasifikasi polimer termoplastis, PLA, struktur rantai PLA, struktur kimia PLA, sifat mekanik PLA, temperatur pelelehan PLA, perubahan fasa PLA ketika mengalami pemanasan, dan perubahan fasa PLA ketika mengalami pendinginan. Materi 2 membahas tentang teknologi FDM, mekanisme kerja FDM,



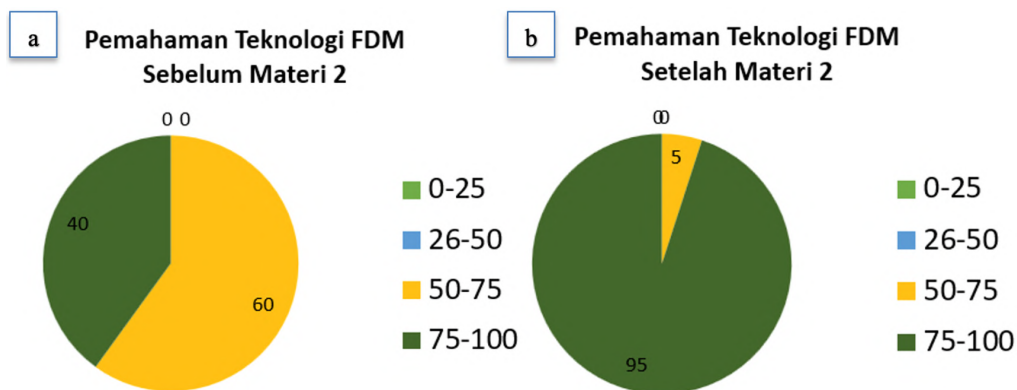
Gambar 8 Pelatihan penanggulangan cacat kekasaran permukaan hasil FDM 3D printing (a-b) pemaparan materi dan hasil analisa cacat produk, (c) diskusi interaktif, (d) eksperimen penghalusan permukaan kepada mitra, (e) bahan eksperimen, dan (f) penutupan pelatihan.

komponen-komponen dalam mesin FDM, parameter yang perlu diatur untuk menghasilkan proses FDM yang optimal, data CAD 3D, *software* CAM, penempatan data CAD ke dalam CAM, ketebalan lapisan, kecepatan pemakanan ekstruder, temperatur pemanasan, pengaturan posisi objek ketika difabrikasi, perlakuan *post-processing*, dan contoh produk hasil FDM. Materi 3 adalah materi yang diberikan dengan cara eksperimen di mana peserta mengoperasikan sendiri beberapa peralatan laptop, mesin FDM, dan *post-processing* penghalusan permukaan. Gambar 9 menunjukkan hasil peningkatan pemahaman peserta terhadap materi material PLA untuk proses FDM. Gambar 10 menunjukkan terjadinya penambahan kemampuan peserta tentang tema teknologi FDM. Gambar 11 menunjukkan hasil pengukuran terhadap keterampilan peserta melakukan aktivitas penghalusan permukaan. Pengukuran terhadap peningkatan pemahaman dan keterampilan dilakukan dengan cara melakukan uji sebelum dan setelah *workshop* terlaksana. Peserta sebanyak 14 orang diberikan total 12 soal yang dibuat berdasarkan materi 1, materi 2, dan materi 3, di mana setiap materi diukur dengan 4 soal. Sebelum diberikan materi, pemahaman peserta tentang material PLA dan teknologi FDM berada pada nilai rata-rata 67 dan 72. Setelah *workshop* pemahaman material PLA dan teknologi FDM

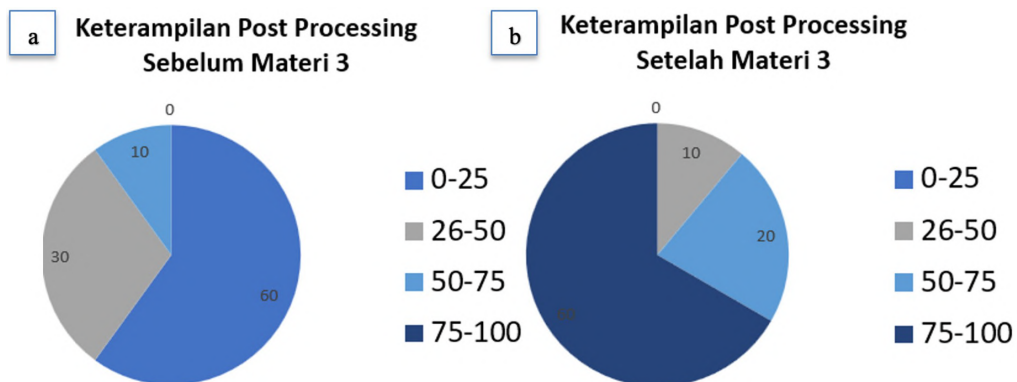
meningkat 10% dan 19% dengan nilai rata-rata akhir 74 dan 83. Keterampilan melakukan praktik meningkat 210% dari nilai rata-rata hasil *pre-test* sebesar 25 menjadi 76. Secara umum, pemahaman dan keterampilan mitra sebelum *workshop* berada pada angka rata-rata 55 dan setelah kegiatan meningkat menjadi nilai rata-rata 79 dengan peningkatan sebesar 44%.



Gambar 9 Hasil penilaian kemampuan peserta (a) sebelum pemaparan materi 1, dan (b) setelah pemaparan materi 1.



Gambar 10 Hasil penilaian kemampuan peserta (a) sebelum pemaparan materi 2, dan (b) setelah pemaparan materi 2.



Gambar 11 Hasil penilaian kemampuan peserta (a) sebelum pemaparan materi 3, dan (b) setelah pemaparan materi 3.

5 | KESIMPULAN DAN SARAN

Fabrikasi produk dengan menggunakan *3D printing* FDM mengalami tantangan karena kekasaran permukaan yang tinggi. PT Tridiku Teknokarya Indonesia sebagai perusahaan yang memiliki model usaha jasa *3D printing* juga mengalami kendala kekasaran permukaan. Metode penghalusan permukaan dengan menggunakan senyawa organik DCM dan *Chloroform* telah berhasil mengurangi kekasaran permukaan produk *3D printing* FDM dari 30 μm menjadi 5 μm . Solusi ini, ketika dipaparkan kepada PT Tridiku Teknokarya Indonesia sebagai masyarakat dalam bentuk kegiatan *workshop* pengabdian masyarakat, membuat permasalahan yang dialami mitra dapat terselesaikan. Pemahaman dan keterampilan mitra sebelum *workshop* berada pada angka rata-rata 55 dan setelah kegiatan meningkat menjadi nilai rata-rata 79. Peningkatan tersebut terjadi sebesar 44% dalam aspek material *3D printing*, teknologi FDM dan *chemical smoothing* proses untuk penghalusan permukaan. Tindak lanjut dari kegiatan pengabdian masyarakat ini perlu dilakukan upaya untuk eksplorasi berbagai permasalahan lain sehubungan dengan *3D printing*. Selain itu, perlu adanya perancangan atau pembuatan alat bantu kompartemen/*vapor chamber* portabel yang aman dan tertutup bagi pelaku UMKM, guna meminimalkan risiko paparan uap langsung senyawa DCM/*Chloroform* saat proses pengabutan/pencelupan di lingkungan kerja usaha.

6 | UCAPAN TERIMA KASIH

Pengabdian masyarakat ini didukung oleh Laboratorium Metalurgi Manufaktur, Laboratorium Inovasi Material, dan Laboratorium Material Fungsional, Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pengabdian masyarakat didanai oleh skema Abmas Tematik Dana Departemen dengan bidang penelitian Potensi Daerah dan Pemberdayaan Masyarakat, dan bidang topik Pengembangan UMKM.

Referensi

1. Ramos LLB, Iwasaki KMK, Beck R, et al. Influence of layer orientation on the mechanical properties of fused deposition modelling using PLA and PETG. *Materialia* 2025;44:102541. <https://www.mdpi.com/2073-4360/17/3/265>.
2. Montez M, Willis K, Rendler H, et al. 5 - Fused deposition modeling (FDM): processes, material properties, and applications. In: Kumar P, Misra M, Menezes PL, editors. *Tribology of Additively Manufactured Materials* Elsevier; 2022.p. 137–163. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128213285000056>.
3. Mian SH, Abouel Nasr E, Moiduddin K, et al. An Insight into the Characteristics of 3D Printed Polymer Materials for Orthoses Applications: Experimental Study. *Polymers* 2024;16(3):403. <https://www.mdpi.com/2073-4360/16/3/403>.
4. Buj-Corral I, Domínguez-Fernández A, Durán-Llucià R. Influence of Print Orientation on Surface Roughness in Fused Deposition Modeling (FDM) Processes. *Materials* 2019;12(23):3834. <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/23/3834>.
5. Das A, Gomez-Kervin E, Wilson D, et al. EcoPrinting: Investigating the use of 100% recycled Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) for Additive Manufacturing. In: *Proceedings of the 28th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium*; 2017. p. 532–542. https://www.researchgate.net/publication/322265505_EcoPrinting_Investigating_the_use_of_100_recycled_Acrylonitrile_Butadiene_Styrene_ABS_for_Additive_Manufacturing.
6. Castro-Casado D. Chemical treatments to enhance surface quality of FFF manufactured parts: a systematic review. *Progress in Additive Manufacturing* 2021;6(2):307–319. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40964-020-00163-1>.
7. Azlin MNM, Ilyas RA, Zuhri MNM, et al. 3D Printing and Shaping Polymers, Composites, and Nanocomposites: A Review. *Polymers* 2022;14(1):180. <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/1/180>.
8. Solomon IJ, Sevvel P, Gunasekaran J. A review on the various processing parameters in FDM. *Materials Today: Proceedings* 2021;37:509–514. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320340645>.
9. Hong JC. Technology Transfer and Human Resource Development. *Industrial and Commercial Training* 1994;26(11):17–21. <https://www.emerald.com/ict/article/26/11/17/109256/Technology-Transfer-and-Human-Resource-Development>.

10. Oliveira J, Brichi G, Marconcini J, et al. Effect of Solvent on The Physical and Morphological Properties of Poly(Lactic Acid) Nanofibers Obtained by Solution Blow Spinning. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* 2014;9:117–125. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/155892501400900414>.

Cara mengutip artikel ini: Wibisono, A. T., Ardhyanta, H., Widyastuti, Jatimurti, W., Purniawan, A., (2026), Peningkatan Kualitas Produk Hasil *Fused Deposition Modelling* dengan Berbagai Proses Pasca Fabrikasi untuk Dunia Usaha Sekitar ITS, *Sewagati*, 10(3):693–704, <https://doi.org/10.12962/j26139960.v10i3.9671>.