

Dari Ide ke Produk: Pengenalan *Digital Manufacturing* melalui Pembuatan Gantungan Kunci dengan 3D Printing

Farid Wajdi¹

Universitas Serang Raya, faridwajdi@unsera.ac.id

Dadi Cahyadi²

Universitas Serang Raya, dadicahyadi2012@gmail.com

Diki Susandi³

Universitas Serang Raya, unsera.diky@gmail.com

Muhammad Nurhuala Huddin⁴

Universitas Serang Raya, haulahuddin@gmail.com

Nina Arlofa⁵

Universitas Serang Raya, nina73arlofa@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi manufaktur digital memberikan peluang bagi sekolah menengah kejuruan (SMK) untuk memperkenalkan proses perancangan dan pembuatan produk berbasis teknologi. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan memperkenalkan *digital manufacturing workflow* melalui integrasi 3D CAD, *slicing*, dan 3D printing kepada guru dan siswa SMK Muhammadiyah Tirtayasa, Kabupaten Serang. Kegiatan dilaksanakan dengan pendekatan demonstrasi dan praktik langsung (*learning by doing*), yang mencakup brainstorming ide produk, pemodelan 3D menggunakan Rhinoceros 7, ekspor model ke format STL, *slicing* menggunakan Bambu Studio, penyimpanan file dalam format 3MF, serta pencetakan menggunakan 3D printer Bambu Lab P1S dengan material PLA. Produk yang dikembangkan berupa gantungan kunci yang memuat identitas sekolah mitra. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa seluruh tahapan *digital manufacturing workflow* dapat dilaksanakan secara terintegrasi dan berhasil menghasilkan lima buah gantungan kunci sesuai dengan desain digital yang telah dibuat. Kegiatan ini memberikan pengalaman praktis kepada guru dan siswa dalam memahami proses transformasi dari ide menjadi desain digital hingga produk fisik. Kegiatan serupa dapat dikembangkan melalui pembuatan produk dengan tingkat kompleksitas yang lebih tinggi serta evaluasi peningkatan kompetensi peserta.

Kata Kunci: *Digital Manufacturing, 3D CAD, Slicing, 3D Printing, SMK*

Abstract

The development of digital manufacturing technologies provides opportunities for vocational high schools (SMKs) to introduce technology-based product design and manufacturing processes. This community engagement programme aimed to introduce a digital manufacturing workflow through the integration of 3D CAD, *slicing*, and 3D printing to teachers and students at SMK Muhammadiyah Tirtayasa, Serang Regency, Indonesia. The activity employed a demonstration and hands-on learning (*learning by doing*) approach,

consisting of product ideation, 3D modelling using Rhinoceros 7, model export to STL format, slicing using Bambu Studio, saving the file in 3MF format, and printing using a Bambu Lab P1S 3D printer with PLA filament. The product developed was a keychain incorporating the identity of the partner school. The results showed that all stages of the digital manufacturing workflow could be implemented in an integrated manner, resulting in five keychains based on the developed digital design. The activity provided teachers and students with practical experience in understanding the transformation of an idea into a digital design and subsequently into a physical product. Similar activities can be further developed by introducing more complex products and systematically evaluating participants' competency development.
Key Words: Digital Manufacturing, 3D CAD, Slicing, 3D Printing, Vocational Education

Pendahuluan

Perkembangan teknologi manufaktur digital telah mendorong perubahan dalam proses perancangan dan pembuatan produk, dari pendekatan konvensional menuju proses yang semakin terintegrasi dengan teknologi digital. Salah satu teknologi yang berkembang adalah 3D printing atau *additive manufacturing*, yang memungkinkan suatu desain digital dikonversi menjadi produk fisik secara cepat dan relatif fleksibel (Setiawan et al., 2025). Berbeda dengan proses manufaktur konvensional yang umumnya memerlukan tahapan produksi dan peralatan khusus, 3D printing memungkinkan pembuatan produk secara bertahap berdasarkan model digital yang telah dirancang sebelumnya. Fleksibilitas tersebut memberikan peluang untuk menghasilkan produk dengan bentuk yang beragam serta melakukan modifikasi desain tanpa perubahan besar pada peralatan produksi. Selain dimanfaatkan dalam berbagai sektor industri, teknologi 3D printing juga memiliki potensi yang besar dalam bidang pendidikan, khususnya pendidikan vokasi. Pemanfaatannya dapat menjadi media pembelajaran untuk memperkenalkan konsep desain produk, pemodelan tiga dimensi, proses manufaktur, serta hubungan antara desain digital dan produk fisik. Melalui pengalaman praktik, peserta didik dapat memahami bagaimana sebuah gagasan dikembangkan menjadi model digital dan selanjutnya diwujudkan menjadi produk nyata. Dengan demikian, pengenalan 3D printing di lingkungan pendidikan vokasi dapat mendukung pengembangan keterampilan teknologi dan pemahaman terhadap proses manufaktur berbasis digital.

Penerapan teknologi 3D *printing* dalam pendidikan vokasi menjadi semakin relevan seiring dengan kebutuhan industri terhadap sumber daya manusia yang memiliki kompetensi digital dan kemampuan memahami proses manufaktur berbasis teknologi (Kurniawan et al., 2026). Penguasaan teknologi 3D printing tidak berhenti pada kemampuan mengoperasikan mesin, tetapi juga perlu mencakup pemahaman mengenai rangkaian proses yang menghubungkan desain digital dengan produk fisik. Dalam praktiknya, proses tersebut dimulai dari pembuatan model tiga dimensi menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD), dilanjutkan dengan persiapan dan pengaturan model melalui perangkat lunak *slicing*, hingga penerjemahan desain menjadi objek fisik menggunakan 3D printer. Pendekatan yang memahami keseluruhan alur ini penting karena peserta tidak hanya belajar

menggunakan perangkat, tetapi juga memahami bagaimana setiap tahapan saling berkaitan dalam proses *additive manufacturing*. Dalam konteks pendidikan, pembelajaran yang mengintegrasikan teori, praktik, desain, dan proses pencetakan telah digunakan untuk membantu peserta memahami prinsip serta penerapan teknologi *additive manufacturing* secara lebih menyeluruh (Stern et al., 2019). Dengan demikian, pengenalan 3D printing sebaiknya diarahkan pada pemahaman *end-to-end workflow*, sehingga peserta mampu melihat teknologi tersebut sebagai bagian dari proses perancangan dan manufaktur digital yang terintegrasi, bukan sekadar sebagai aktivitas mencetak objek (Ford & Minshall, 2019; Minetola et al., 2015).

Kebutuhan pengenalan teknologi tersebut semakin relevan bagi sekolah menengah kejuruan (SMK) yang memiliki peran strategis dalam mempersiapkan lulusan dengan kompetensi yang sesuai dengan perkembangan teknologi industri (Agustian et al., 2024; Wulandari et al., 2025). Perkembangan industri yang semakin mengarah pada digitalisasi dan otomatisasi menuntut lembaga pendidikan vokasi untuk tidak hanya membekali peserta didik dengan keterampilan teknis dasar, tetapi juga memperkenalkan teknologi, perangkat, dan proses kerja yang semakin banyak digunakan dalam lingkungan industri modern. Perubahan tersebut mendorong adanya kebutuhan untuk memperkuat kompetensi digital peserta didik agar mampu beradaptasi dengan perkembangan teknologi serta memahami proses kerja yang terintegrasi secara digital. Dalam konteks manufaktur, penguasaan teknologi digital dapat menjadi salah satu bagian penting dalam membangun kesiapan peserta didik untuk memahami proses perancangan, pengembangan, dan produksi berbasis teknologi. Pengenalan teknologi seperti 3D CAD dan 3D printing dapat memberikan pengalaman belajar yang menghubungkan konsep perancangan dengan proses produksi secara nyata. Di sisi lain, kesiapan guru juga menjadi faktor penting dalam mendukung penerapan teknologi tersebut di lingkungan sekolah. Guru yang memiliki pemahaman dan pengalaman dalam menggunakan teknologi digital akan lebih mudah mengintegrasikannya ke dalam proses pembelajaran serta mentransfer pengetahuan dan keterampilan kepada siswa. Oleh karena itu, penguatan kompetensi digital perlu diarahkan tidak hanya kepada siswa, tetapi juga kepada guru sebagai fasilitator utama dalam pembelajaran vokasi.

Salah satu sekolah yang memiliki potensi untuk memperoleh manfaat dari pengenalan teknologi manufaktur digital adalah SMK Muhammadiyah Tirtayasa, yang berlokasi di Desa Tirtayasa, Kabupaten Serang, Provinsi Banten. Sebagai institusi pendidikan vokasi, sekolah memiliki peran penting dalam memberikan pengalaman belajar yang selaras dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan dunia kerja. Penguatan literasi serta keterampilan teknologi digital bagi guru dan siswa menjadi semakin penting agar proses pembelajaran tidak hanya berorientasi pada penguasaan keterampilan konvensional, tetapi juga memberikan kesempatan kepada peserta untuk mengenal teknologi manufaktur yang berkembang di industri. Penerapan 3D printing dalam lingkungan SMK dapat menjadi salah satu alternatif untuk mendukung tujuan tersebut. Juniani et al. (2024) menunjukkan bahwa pendidikan 3D printing berbasis CAD dapat digunakan untuk meningkatkan kompetensi siswa

vokasi dalam memahami teknologi desain dan manufaktur modern. Hal serupa ditunjukkan oleh Nugraha (2025), yang melaporkan bahwa pelatihan 3D printing bagi siswa SMK dapat memperkenalkan keterampilan dasar dalam merancang objek tiga dimensi, mengoperasikan printer, dan memahami alur kerja manufaktur aditif. Selain bagi siswa, penguatan kompetensi guru juga penting karena guru berperan dalam mengintegrasikan teknologi tersebut ke dalam pembelajaran. Arifin et al. (2025), misalnya, menunjukkan bahwa pelatihan dasar 3D printing dapat digunakan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan guru SMK. Dengan demikian, pengenalan 3D printing di SMK Muhammadiyah Tirtayasa diharapkan dapat memperluas wawasan guru dan siswa mengenai teknologi manufaktur digital sekaligus memberikan pengalaman belajar yang bersifat praktis, kreatif, dan produktif, mulai dari tahap perancangan hingga menghasilkan produk fisik.

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dirancang untuk memperkenalkan alur *digital manufacturing* melalui integrasi tiga proses utama, yaitu 3D CAD modeling, *slicing*, dan 3D printing. Pendekatan yang digunakan tidak hanya mengandalkan penjelasan teoritis, tetapi juga memberikan kesempatan kepada guru dan siswa untuk mengamati serta mempraktikkan secara langsung setiap tahapan proses. Peserta mengikuti proses mulai dari pembuatan model tiga dimensi, persiapan model melalui perangkat lunak *slicing*, pengenalan parameter dasar pencetakan, hingga proses pencetakan menggunakan 3D printer. Pendekatan berbasis pengalaman tersebut relevan diterapkan dalam pembelajaran teknologi karena 3D printing memungkinkan peserta menghubungkan konsep yang dipelajari dengan aktivitas perancangan dan pembuatan produk secara langsung. Hsiao et al. (2019) menunjukkan bahwa integrasi 3D printing dengan *experiential learning* dapat meningkatkan pemahaman konsep dan kemampuan praktik peserta didik. Sementara itu, integrasi teknologi 3D *printing* dalam pembelajaran CAD dapat memperkuat hubungan antara proses pemodelan dan hasil manufaktur. Dengan demikian, kegiatan ini tidak hanya mengenalkan penggunaan 3D printer, tetapi juga memberikan pemahaman mengenai hubungan antara desain digital dan proses pembuatannya.

Untuk memberikan pengalaman belajar yang konkret dan mudah dipahami, produk yang dipilih dalam kegiatan ini adalah gantungan kunci yang dilengkapi dengan identitas sekolah mitra. Pemilihan produk tersebut mempertimbangkan bentuknya yang relatif sederhana, memiliki fungsi praktis, serta dapat dirancang dan diproduksi dalam waktu yang sesuai dengan durasi pelaksanaan kegiatan. Produk sederhana juga dipandang sesuai sebagai media awal untuk memperkenalkan tahapan *digital manufacturing*, karena peserta dapat lebih mudah mengamati hubungan antara desain digital, proses persiapan pencetakan, dan produk fisik yang dihasilkan. Selain itu, penggunaan identitas sekolah memberikan konteks yang dekat dengan peserta sehingga hasil pencetakan tidak hanya berfungsi sebagai contoh penerapan teknologi, tetapi juga menjadi produk yang memiliki identitas dan nilai representatif bagi sekolah. Penggunaan produk yang relevan dengan lingkungan peserta diharapkan dapat meningkatkan ketertarikan dan keterlibatan mereka selama kegiatan berlangsung. Peserta tidak hanya berperan sebagai pengamat dalam demonstrasi,

tetapi juga dilibatkan secara langsung dalam keseluruhan proses, mulai dari pengembangan ide, pembuatan atau penyiapan model 3D, konversi file, proses *slicing*, hingga pencetakan menggunakan 3D printer. Melalui keterlibatan tersebut, peserta memperoleh pengalaman langsung mengenai bagaimana sebuah gagasan sederhana dapat dikembangkan menjadi desain digital dan selanjutnya diwujudkan menjadi produk fisik.

Melalui pendekatan *learning by doing*, kegiatan ini diharapkan dapat memberikan pengalaman langsung kepada guru dan siswa dalam memahami alur transformasi dari sebuah ide menjadi produk fisik melalui teknologi manufaktur digital (Adrianto et al., 2026). Pendekatan ini memberikan kesempatan kepada peserta untuk tidak hanya menerima informasi secara teoritis, tetapi juga mengamati, mencoba, dan mengalami sendiri setiap tahapan proses pembuatan produk. Keterlibatan langsung tersebut diharapkan dapat membantu peserta memahami hubungan antara proses perancangan digital dan proses manufaktur, sekaligus meningkatkan ketertarikan terhadap pemanfaatan teknologi dalam pengembangan produk. Pengalaman tersebut juga dapat memperluas pemahaman peserta mengenai konsep dasar *digital manufacturing* dan membuka wawasan mengenai penggunaan 3D printing sebagai teknologi yang dapat mendukung kegiatan pembelajaran, pembuatan prototipe, maupun produksi produk sederhana. Dalam konteks pendidikan vokasi, pengalaman praktik semacam ini menjadi penting karena peserta dapat melihat secara nyata bagaimana keputusan pada tahap desain dan persiapan produksi memengaruhi hasil akhir produk. Dengan demikian, kegiatan pengabdian ini tidak hanya menghasilkan produk berupa gantungan kunci beridentitas sekolah, tetapi juga memberikan pengetahuan dan pengalaman praktis mengenai integrasi 3D CAD modeling, *slicing*, dan 3D printing sebagai suatu *end-to-end digital manufacturing workflow*. Pengalaman tersebut diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan kegiatan pembelajaran dan pembuatan produk yang lebih beragam serta memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi di masa mendatang.

Metode

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat dilaksanakan di SMK Muhammadiyah Tirtayasa, Desa Tirtayasa, Kabupaten Serang, Provinsi Banten, dengan melibatkan 10 peserta yang terdiri atas guru dan siswa. Kegiatan dirancang untuk memberikan pengenalan dan pengalaman praktis mengenai konsep *digital manufacturing* melalui pendekatan demonstrasi dan praktik langsung (*learning by doing*). Pendekatan ini memungkinkan peserta tidak hanya memperoleh pemahaman konseptual, tetapi juga terlibat secara aktif dalam setiap tahapan pembuatan produk, mulai dari pengembangan ide hingga menghasilkan produk fisik menggunakan teknologi 3D printing. Pelaksanaan kegiatan dilakukan secara bertahap dan terstruktur agar peserta dapat memahami keterkaitan antara setiap proses dalam *digital manufacturing workflow*. Tahapan kegiatan meliputi identifikasi dan pemilihan ide produk, pemodelan tiga dimensi menggunakan perangkat lunak 3D CAD, konversi model ke format yang sesuai untuk proses pencetakan, persiapan model melalui perangkat

lunak *slicing*, hingga proses pencetakan menggunakan 3D printer. Pada setiap tahapan, tim pelaksana memberikan demonstrasi dan penjelasan teknis yang kemudian diikuti dengan praktik oleh peserta. Pendekatan tersebut diharapkan dapat membantu peserta memahami bahwa 3D printing merupakan bagian dari suatu proses manufaktur digital yang terintegrasi, bukan hanya aktivitas pengoperasian mesin pencetak.

1. Brainstorming dan Penentuan Ide Produk

Tahap awal dilakukan melalui *brainstorming* bersama tim pelaksana untuk menentukan produk sederhana yang dapat digunakan sebagai media pengenalan alur *digital manufacturing*. Kriteria produk yang dipertimbangkan meliputi kemudahan pemodelan, waktu pencetakan yang relatif singkat, memiliki fungsi praktis, serta dapat merepresentasikan identitas sekolah mitra. Berdasarkan hasil *brainstorming*, diputuskan bahwa produk yang dibuat adalah gantungan kunci. Pemilihan produk tersebut diharapkan dapat memberikan pengalaman yang konkret kepada peserta mengenai bagaimana sebuah ide sederhana dapat dikembangkan menjadi desain digital dan selanjutnya diwujudkan menjadi produk fisik menggunakan teknologi 3D *printing*.

2. Pemodelan 3D CAD

Tahap kedua adalah pembuatan model tiga dimensi (3D CAD *modeling*) berdasarkan ide produk yang telah ditentukan. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak Rhinoceros 7 (Robert McNeel and Associates, USA). Pada tahap ini, teks “SMK Muhammadiyah Tirtayasa” dimodelkan menjadi bagian dari desain gantungan kunci sehingga menghasilkan model tiga dimensi yang siap diproses untuk manufaktur. Proses pemodelan mencakup pembuatan geometri dasar, penempatan teks, serta pemeriksaan bentuk model untuk memastikan bahwa objek dapat dikonversi ke format yang sesuai untuk proses pencetakan 3D.

3. Konversi Model ke Format STL

Model 3D yang telah selesai dibuat kemudian diekspor dari Rhinoceros 3D 7 ke dalam format STL (*Stereolithography*). Format STL digunakan karena merupakan salah satu format umum yang digunakan untuk mentransfer geometri model 3D dari perangkat lunak CAD ke perangkat lunak *slicing*. Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan terhadap hasil ekspor untuk memastikan bahwa geometri model dapat dibaca dengan baik oleh perangkat lunak *slicing* dan tidak mengalami kesalahan bentuk yang dapat mengganggu proses pencetakan.

4. Proses Slicing

File STL selanjutnya diproses menggunakan perangkat lunak Bambu Studio (Bambu Lab, China). Pada tahap ini, model gantungan kunci dimasukkan ke dalam *build plate* dan dipersiapkan untuk proses pencetakan. Untuk kegiatan ini digunakan parameter cetak standar (*default setting*) yang tersedia pada Bambu Studio, sehingga peserta dapat lebih mudah memahami konsep dasar *slicing* tanpa harus terlebih dahulu melakukan optimasi parameter secara kompleks. Material yang digunakan adalah

filamen PLA (*Polylactic Acid*). Bambu Studio kemudian mengonversi model tiga dimensi menjadi serangkaian instruksi atau *toolpath* yang dapat dipahami oleh mesin 3D printer.

5. Penyimpanan File dan Persiapan Pencetakan

Setelah proses *slicing* selesai, hasil pemrosesan disimpan dalam format 3MF. Format tersebut digunakan sebagai file proyek pencetakan yang memuat informasi yang diperlukan untuk proses manufaktur. File yang telah disiapkan kemudian dinyatakan siap untuk digunakan pada tahap pencetakan menggunakan 3D printer Bambu Lab P1S. Pada tahap ini peserta juga diperkenalkan pada hubungan antara model CAD, file STL, hasil *slicing*, dan file 3MF sebagai bagian dari rangkaian *digital manufacturing workflow*.

6. Pencetakan dan Evaluasi Hasil

Tahap akhir adalah proses pencetakan gantungan kunci menggunakan Bambu Lab P1S dengan material PLA dan parameter cetak yang telah ditentukan pada Bambu Studio. Guru dan siswa mengikuti proses pencetakan secara langsung hingga produk selesai dihasilkan. Evaluasi kegiatan dilakukan secara deskriptif, dengan mengamati keberhasilan setiap tahapan *workflow*, keterlibatan peserta selama praktik, serta kesesuaian produk hasil cetak dengan desain digital yang telah dibuat. Produk dinyatakan berhasil apabila gantungan kunci dapat dicetak secara utuh dan teks “SMK Muhammadiyah Tirtayasa” dapat terbentuk dengan baik. Hasil observasi tersebut digunakan untuk menggambarkan keterlaksanaan kegiatan dan tingkat keberhasilan penerapan alur pembuatan model 3D CAD, ekspor file STL, proses *slicing* menghasilkan file 3MF, proses 3D printing sebagai media pengenalan teknologi *digital manufacturing* kepada guru dan siswa. Secara keseluruhan, tahapan kegiatan dapat dirangkum dalam alur yang ditunjukkan pada Gambar 1. Alur tersebut digunakan untuk memberikan pengalaman utuh kepada peserta mengenai proses transformasi dari ide dan desain digital menjadi produk fisik melalui teknologi 3D printing.



Gambar 1. Tahapan kegiatan

Hasil dan Pembahasan

Pelaksanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat di SMK Muhammadiyah Tirtayasa menghasilkan suatu rangkaian proses pembelajaran praktis mengenai *digital manufacturing*, mulai dari pengembangan ide produk hingga menghasilkan produk fisik menggunakan teknologi 3D printing. Kegiatan melibatkan guru dan siswa melalui pendekatan demonstrasi dan praktik langsung. Rangkaian kegiatan menunjukkan bahwa proses manufaktur digital dapat diperkenalkan melalui produk

sederhana yang memiliki keterkaitan langsung dengan identitas sekolah. Hasil dan pembahasan setiap tahapan kegiatan diuraikan sebagai berikut.

1. Brainstorming dan Penentuan Ide Produk

Tahap awal kegiatan menghasilkan kesepakatan untuk membuat produk gantungan kunci dengan teks “SMK Muhammadiyah Tirtayasa”. Pemilihan gantungan kunci didasarkan pada pertimbangan bahwa produk tersebut memiliki bentuk relatif sederhana, mudah dimodelkan menggunakan perangkat lunak CAD, serta dapat diproduksi dalam waktu yang relatif singkat menggunakan 3D printer. Selain itu, pencantuman nama sekolah memberikan identitas pada produk sehingga hasil kegiatan tidak hanya berfungsi sebagai objek demonstrasi teknologi, tetapi juga menjadi produk yang secara langsung merepresentasikan sekolah mitra.



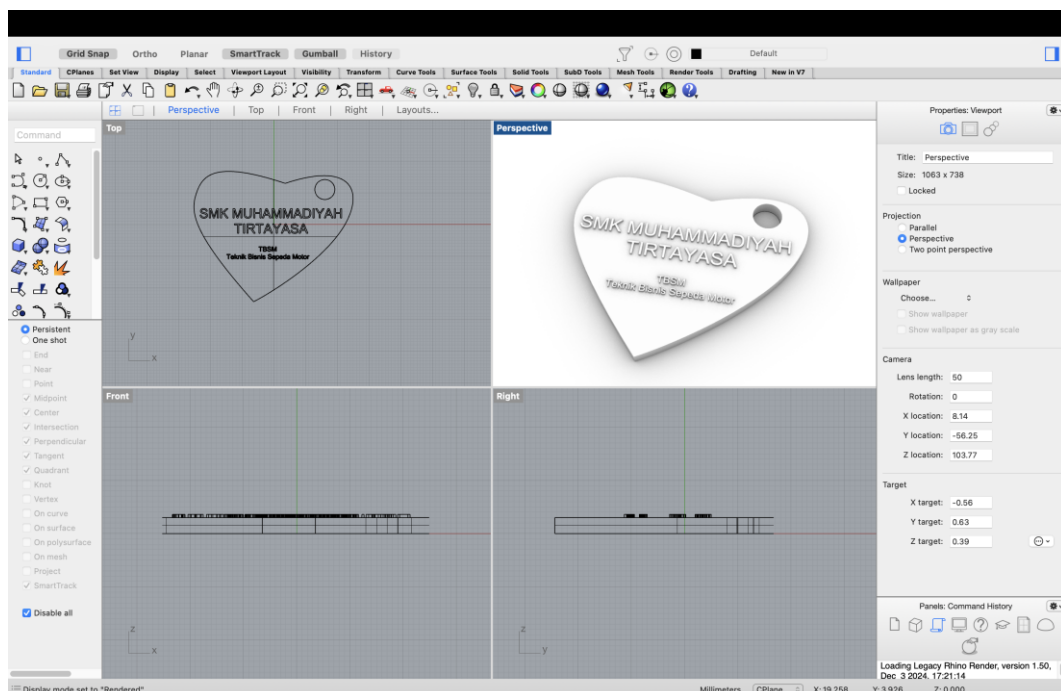
Gambar 2. Proses brainstorming

Dari perspektif pembelajaran, pemilihan produk yang sederhana dan dekat dengan lingkungan peserta memberikan keuntungan karena dapat membantu mereka memahami hubungan antara gagasan awal, proses perancangan, manufaktur, dan produk yang dihasilkan. Dalam pembelajaran berbasis CAD di SMK, penggunaan objek atau konteks yang familiar bagi peserta dapat membantu menghubungkan materi dengan situasi nyata sehingga proses pembelajaran menjadi lebih mudah dipahami dan relevan. Ristadi & Ngadiyono (2017), misalnya, menunjukkan bahwa pembelajaran CAD dengan pendekatan *contextual teaching and learning* dapat dilakukan dengan mengaitkan materi dan objek pembelajaran dengan konteks lingkungan peserta, dan pendekatan tersebut terbukti memberikan peningkatan terhadap capaian belajar siswa. Oleh karena itu, peserta dalam kegiatan ini tidak langsung diarahkan untuk membuat produk dengan tingkat kompleksitas yang tinggi, tetapi diperkenalkan terlebih dahulu pada alur dasar *digital manufacturing* melalui pembuatan gantungan kunci yang memiliki identitas sekolah. Pemilihan

objek yang sederhana memungkinkan peserta lebih fokus memahami tahapan proses daripada menghadapi kompleksitas desain yang dapat menghambat proses belajar. Pendekatan serupa juga diterapkan dalam pembelajaran CAD melalui pemberian contoh dan tugas yang bertahap, diskusi, praktik, serta refleksi untuk membantu peserta membangun kompetensi secara sistematis (Ramadhani & Ngadiyono, 2016). Dengan demikian, kegiatan *brainstorming* tidak hanya berfungsi untuk menentukan produk yang akan dibuat, tetapi sekaligus menjadi tahap awal untuk memperkenalkan cara berpikir dalam pengembangan produk, yaitu bagaimana sebuah gagasan dapat diterjemahkan menjadi desain digital dan selanjutnya diwujudkan menjadi produk fisik melalui teknologi manufaktur digital.

2. Pembuatan Model 3D CAD

Berdasarkan ide produk yang telah ditentukan, tahap selanjutnya adalah mengembangkan desain digital berupa model tiga dimensi gantungan kunci menggunakan perangkat lunak Rhinoceros 7. Model tersebut dibuat dengan menggabungkan bentuk dasar gantungan kunci dan teks “SMK Muhammadiyah Tirtayasa” sebagai identitas sekolah. Hasil pemodelan berupa file digital tiga dimensi yang kemudian menjadi dasar untuk tahapan berikutnya dalam proses manufaktur, yaitu konversi file, *slicing*, dan pencetakan menggunakan 3D printer. Proses ini memberikan gambaran kepada peserta bahwa pembuatan produk dengan teknologi 3D printing diawali dari representasi digital yang dirancang melalui perangkat lunak CAD. Penggunaan CAD dalam proses pembelajaran juga dapat membantu peserta mengenali hubungan antara proses perancangan dan proses manufaktur.



Gambar 3. Pemodelan 3D CAD dengan Rhino 7

Dalam kegiatan ini, peserta dapat melihat secara langsung bahwa sebelum produk dicetak, bentuk dan karakteristik produk terlebih dahulu ditentukan dalam

lingkungan digital. Model 3D berperan sebagai penghubung antara gagasan produk dan proses produksi karena informasi geometrinya menjadi dasar bagi tahapan persiapan pencetakan. Hal tersebut sejalan dengan Budi et al. (2022) yang menjelaskan bahwa penerapan 3D printing di lingkungan SMK dapat dilakukan melalui rangkaian proses yang melibatkan alternatif desain CAD/CAM, *digital modelling*, hingga menghasilkan produk melalui 3D printing. Dengan demikian, tahap pemodelan tidak hanya menghasilkan file desain, tetapi juga memperkenalkan kepada peserta bahwa 3D printing merupakan bagian dari alur manufaktur digital yang dimulai dari perancangan produk secara digital sebelum diwujudkan menjadi objek fisik.

3. Konversi Model 3D ke Format STL

Model gantungan kunci yang telah selesai dirancang kemudian diekspor ke dalam format STL (*Stereolithography*). Format ini merepresentasikan geometri tiga dimensi sebagai jaringan (*mesh*) yang tersusun atas elemen-elemen segitiga dan banyak digunakan sebagai format pertukaran data dalam proses *additive manufacturing*. Konversi dari model CAD ke STL menjadi tahap penting karena model yang semula dibuat sebagai representasi geometris dalam perangkat lunak CAD perlu diubah menjadi bentuk data yang dapat diproses pada tahap manufaktur berikutnya. Penelitian mengenai pertukaran data untuk *additive manufacturing* menunjukkan bahwa proses konversi CAD ke STL melibatkan proses *tessellation*, sehingga kualitas hasil ekspor dapat memengaruhi representasi geometri dan akurasi produk yang dihasilkan (Hällgren et al., 2016). Selanjutnya, file STL digunakan sebagai masukan untuk perangkat lunak *slicing*, yang mengubah representasi tiga dimensi tersebut menjadi informasi berbasis lapisan sebagai dasar proses pencetakan. Dengan demikian, tahap ekspor STL dalam kegiatan ini tidak hanya merupakan proses perubahan format file, tetapi juga menjadi bagian dari transformasi data dari tahap desain menuju tahap manufaktur.

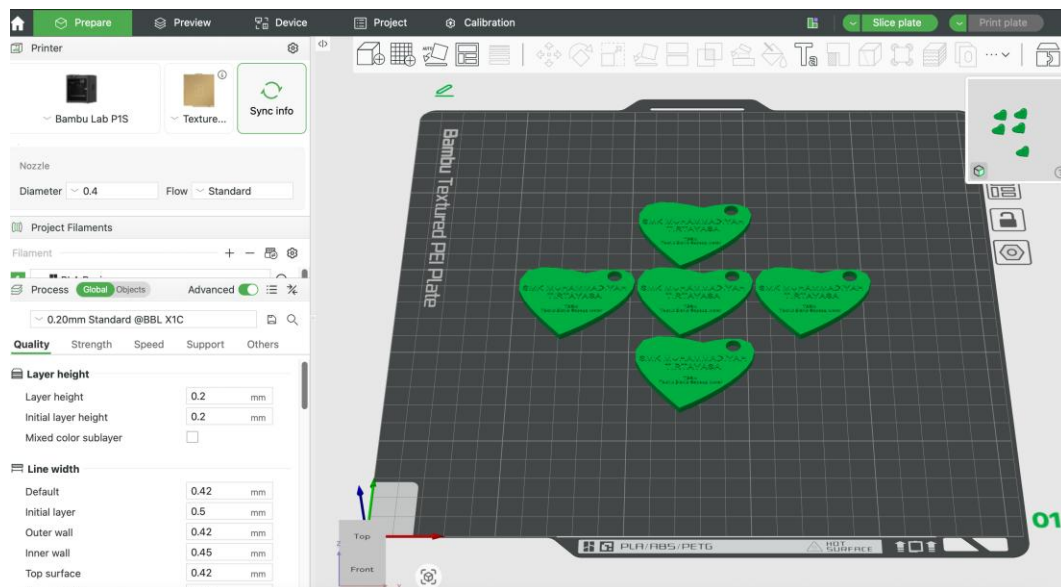
Bagi peserta, proses konversi tersebut memberikan pemahaman bahwa model CAD tidak serta-merta dapat langsung digunakan oleh 3D printer. Terdapat tahapan pengolahan data yang diperlukan sebelum desain dapat diproduksi secara fisik. Peserta dapat mengikuti secara langsung perubahan bentuk data dari model CAD menjadi file STL dan selanjutnya diproses melalui perangkat lunak *slicing*. Pemahaman mengenai tahapan ini penting dalam pengenalan *digital manufacturing workflow* karena menunjukkan adanya keterkaitan antara desain, format data, persiapan proses, dan manufaktur. Dengan mengikuti rangkaian tersebut, peserta memperoleh gambaran yang lebih utuh mengenai bagaimana sebuah desain digital dipersiapkan hingga dapat diterjemahkan menjadi instruksi untuk menghasilkan produk fisik melalui teknologi 3D printing.

4. Proses Slicing

File STL selanjutnya dimasukkan ke dalam Bambu Studio untuk dilakukan proses *slicing*. Pada tahap ini, model gantungan kunci ditempatkan pada *build plate* dan diproses menggunakan parameter cetak standar yang tersedia pada perangkat lunak.

Material yang dipilih adalah filamen PLA. Proses *slicing* menghasilkan data pencetakan yang selanjutnya disimpan dalam format 3MF sebagai file siap cetak.

Tahap *slicing* memberikan pemahaman kepada peserta mengenai proses penerjemahan model tiga dimensi menjadi instruksi yang dapat digunakan oleh mesin 3D printer. Peserta dapat mengamati bahwa model yang sebelumnya hanya berupa geometri digital kemudian diolah menjadi informasi yang berkaitan dengan proses pencetakan. Penggunaan pengaturan *default* pada Bambu Studio juga memungkinkan peserta lebih berfokus pada pemahaman alur proses daripada kompleksitas optimasi parameter pencetakan.



Gambar 4. Proses slicing dengan Bambu Studio

5. Persiapan File 3MF untuk Pencetakan

Hasil *slicing* kemudian disimpan dalam format 3MF dan digunakan sebagai file proyek untuk proses pencetakan. File tersebut menjadi hasil akhir dari tahap persiapan digital sebelum model dikirimkan ke mesin 3D printer. Dengan demikian, rangkaian pengolahan data dalam kegiatan ini menghasilkan alur yang jelas, yaitu 3D CAD menghasilkan file STL, kemudian diolah dengan *slicer* Bambu Studio menghasilkan file 3MF yang siap untuk dicetak.

Tahap ini menunjukkan adanya transformasi bertahap dari data desain menuju data manufaktur. Peserta dapat memahami bahwa keberhasilan pencetakan tidak hanya ditentukan oleh kemampuan mengoperasikan mesin, tetapi juga oleh kesiapan file digital sebelum proses produksi dilakukan. Pemahaman terhadap alur tersebut menjadi salah satu kompetensi dasar yang penting dalam pengenalan teknologi manufaktur digital.

6. Proses Pencetakan dan Produk yang Dihasilkan

Tahap akhir kegiatan dilakukan dengan mencetak file 3MF menggunakan 3D *printer* Bambu Lab P1S dan material PLA. Berdasarkan file hasil *slicing*, proses pencetakan berhasil menghasilkan lima buah gantungan kunci dengan teks “SMK Muhammadiyah Tirtayasa”. Produk yang dihasilkan menunjukkan bahwa desain digital yang dibuat pada tahap awal berhasil ditransformasikan menjadi produk fisik melalui rangkaian proses manufaktur digital.



Gambar 5. Hasil pencetakan 3D dengan printer Bambu Lab P1S

Hasil pencetakan menjadi bagian penting dalam proses pembelajaran karena memberikan pengalaman langsung kepada peserta dalam menghubungkan representasi desain digital dengan produk fisik. Melalui proses tersebut, guru dan siswa dapat memahami secara konkret bagaimana model tiga dimensi yang dirancang menggunakan perangkat lunak CAD dapat diwujudkan menjadi produk yang dapat digunakan. Pendekatan berbasis praktik seperti ini dapat meningkatkan pemahaman terhadap konsep desain dan manufaktur sekaligus memperkuat keterampilan praktis peserta, karena proses pembelajaran berlangsung melalui pengalaman langsung dalam merancang dan memproduksi objek (Hsiao et al., 2019). Keberhasilan menghasilkan lima buah gantungan kunci juga menunjukkan fleksibilitas teknologi 3D printing dalam menghasilkan produk sederhana dalam jumlah terbatas dan sesuai kebutuhan. Hal ini sejalan dengan penerapan 3D printing dalam pendidikan yang menunjukkan bahwa teknologi tersebut dapat mengintegrasikan proses desain digital, prototyping, dan fabrikasi dalam satu rangkaian pembelajaran berbasis praktik.

Secara keseluruhan, kegiatan ini berhasil memperkenalkan kepada peserta rangkaian *digital manufacturing* secara utuh, mulai dari pengembangan gagasan produk, pemodelan menggunakan 3D CAD, konversi model ke format STL, proses *slicing* melalui Bambu Studio, hingga pencetakan menggunakan Bambu Lab P1S. Rangkaian

tersebut memberikan pengalaman belajar yang konkret karena peserta dapat mengikuti secara langsung bagaimana sebuah ide dikembangkan menjadi desain digital dan kemudian diwujudkan sebagai produk fisik. Pendekatan semacam ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa integrasi desain digital dan 3D printing dalam kegiatan pembelajaran dapat meningkatkan pengalaman praktik serta pemahaman peserta terhadap prinsip desain dan manufaktur (Hsiao et al., 2019; Stern et al., 2019). Lima gantungan kunci beridentitas sekolah yang berhasil dicetak menjadi bukti nyata dari proses tersebut sekaligus menunjukkan bahwa 3D printing dapat digunakan sebagai sarana untuk menghasilkan produk sederhana secara fleksibel. Lebih dari sekadar aktivitas mencetak, kegiatan ini memperkenalkan cara berpikir berbasis proses yang dapat menjadi dasar untuk pengembangan pembelajaran berikutnya melalui desain dan pembuatan produk dengan tingkat kompleksitas yang lebih tinggi, sebagaimana pendekatan berbasis proyek dalam pendidikan additive manufacturing yang telah dilaporkan efektif dalam meningkatkan pemahaman dan keterampilan desain peserta (Prabhu et al., 2020; Street & Hadavand, 2024).

Simpulan dan Rekomendasi

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat di SMK Muhammadiyah Tirtayasa berhasil memperkenalkan alur *digital manufacturing* kepada guru dan siswa melalui pendekatan praktik langsung, mulai dari pengembangan ide produk, pemodelan 3D CAD menggunakan Rhinoceros 3D 7, konversi model ke format STL, proses *slicing* menggunakan Bambu Studio, penyimpanan file dalam format 3MF, hingga pencetakan menggunakan 3D printer Bambu Lab P1S yang menghasilkan lima buah gantungan kunci. Kegiatan ini menunjukkan bahwa pembuatan produk sederhana dapat menjadi media pembelajaran yang efektif untuk membantu peserta memahami keterkaitan antara desain digital dan proses manufaktur fisik. Ke depan, kegiatan serupa direkomendasikan untuk dikembangkan melalui pembuatan produk dengan tingkat kompleksitas yang lebih tinggi, pengenalan variasi material dan parameter pencetakan, serta evaluasi peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta sebelum dan sesudah kegiatan agar dampak program terhadap kompetensi digital manufacturing dapat diukur secara lebih objektif.

Acknowledgements

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM), Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi (Kemdiktisaintek) Republik Indonesia atas dukungan dan pendanaan pada kegiatan ini (no. kontrak 1491/LL4/PG/2026).

Daftar Pustaka

Adrianto, E., Larasati, K. A., Rachmawaty, D., Romadlon, F., Munang, A., & Prihartanto, H. D. (2026). Peningkatan Literasi Teknologi Siswa SMA melalui Pengenalan Desain dan Manufaktur Berbasis Komputer (CAD/CAM). *IJCOSIN Indonesian Journal of Community Service and Innovation*, 6(1), 27–35. <https://doi.org/10.20895/ijcosin.v6i1.10587>

- Agustian, D., Amarta, A., & Wardoyo, S. (2024). Tantangan Pendidikan Vokasional dalam Meningkatkan Penyerapan Lulusan SMK di Dunia Industri. *Jurnal Studi Guru Dan Pembelajaran*, 7(3), 1373–1382. <https://doi.org/10.30605/jsgp.7.3.2024.5016>
- Arifin, M., Muhammad Hadi Widanto, & Muhamad Jayadi. (2025). Pelatihan Dasar 3D Printing Untuk Peningkatan Pengetahuan Dan Keterampilan Guru SMK Penerbangan Utama Jakarta. *Jurnal Bakti Dirgantara*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.35968/a4sa2m49>
- Budi, S. S., Hendrawan, A. B., Fathurrohman, A. S., & Lestari, F. A. (2022). Pengabdian kepada Masyarakat: Workshop Pengenalan 3D Printing Kelas XI SMK Muhammadiyah Larangan, Kabupaten Brebes. *E-Dimas: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 13(4), 628–631. <https://doi.org/10.26877/e-dimas.v13i4.11132>
- Ford, S., & Minshall, T. (2019). Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131–150. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- Hällgren, S., Pejryd, L., & Ekengren, J. (2016). 3D Data Export for Additive Manufacturing - Improving Geometric Accuracy. *Procedia CIRP*, 50, 518–523. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.046>
- Hsiao, H., Chen, J., Lin, C., Zhuo, P., & Lin, K. (2019). Using 3D printing technology with experiential learning strategies to improve preengineering students' comprehension of abstract scientific concepts and hands-on ability. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(2), 178–187. <https://doi.org/10.1111/jcal.12319>
- Juniani, A. I., Wibisono, F., Kurniawan, B. W., Indrawan, R., Hamzah, F., Sidi, P., Purnomo, D. A., Rachman, F., & Ardiana, T. (2024). CAD-BASED 3D PRINTING EDUCATION TO ENHANCE THE COMPETENCE OF VOCATIONAL STUDENTS OF SMK BABAT LAMONGAN. *Sawala : Jurnal Pengabdian Masyarakat Pembangunan Sosial, Desa Dan Masyarakat*, 5(1), 94–100. <https://doi.org/10.24198/sawala.v5i1.51152>
- Kurniawan, E. D., Amri Santosa, M., Nopriyanti, N., Hermawan, R., & Saputra, R. (2026). Penguatan Kompetensi Manufaktur Digital Guru Melalui Pelatihan CAD Dan 3D Printing Berbasis Proyek Di SMKN 8 Palembang. *AKM: Aksi Kepada Masyarakat*, 7(1), 145–158. <https://doi.org/10.36908/akm.v7i1.1813>
- Minetola, P., Iuliano, L., Bassoli, E., & Gatto, A. (2015). Impact of additive manufacturing on engineering education – evidence from Italy. *Rapid Prototyping Journal*, 21(5), 535–555. <https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2014-0123>

- Nugraha, Y. A. (2025). CAD-Based 3D Printing Education to Enhance the Competence of Vocational Students of SMK Babat Lamongan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Berdikari*, 8(1).
- Prabhu, R., Miller, S. R., Simpson, T. W., & Meisel, N. A. (2020). Exploring the Effects of Additive Manufacturing Education on Students' Engineering Design Process and its Outcomes. *Journal of Mechanical Design*, 142(4). <https://doi.org/10.1115/1.4044324>
- Ramadhani, M. S., & Ngadiyono, Y. (2016). Penerapan Modul Inventor dengan Pendekatan CTL untuk Meningkatkan Kompetensi Siswa pada Mata Diklat CAD. *JURNAL DINAMIKA VOKASIONAL TEKNIK MESIN*, 1(1), 37. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v1i1.11455>
- Ristadi, F. A., & Ngadiyono, Y. (2017). Pengembangan Model Pembelajaran Berbasis CTL untuk Meningkatkan Kompetensi Menggambar Berbantuan Komputer (CAD) Siswa SMK. *JURNAL DINAMIKA VOKASIONAL TEKNIK MESIN*, 2(1), 73. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v2i1.13502>
- Setiawan, M. A., Rafika, A. S., Ikhsan, R. Z., Lutfiani, N., & Evans, R. (2025). Optimizing the Potential of 3D Printing for Industry from Prototype to Production. *ADI Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(2), 26–37. <https://doi.org/10.34306/adimas.v6i1.1193>
- Stern, A., Rosenthal, Y., Dresler, N., & Ashkenazi, D. (2019). Additive manufacturing: An education strategy for engineering students. *Additive Manufacturing*, 27, 503–514. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.04.001>
- Street, T., & Hadavand, M. (2024). An introduction to additive manufacturing for undergraduate engineering students using authentic learning pedagogy and a project-oriented teaching-learning design. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA)*. <https://doi.org/10.24908/pceea.2024.18525>
- Wulandari, H. T., Susanto, H., Muhibbin, A., & Susilo, A. (2025). Evaluasi Pendidikan Vokasi di Era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0. *Paedagogie*, 20(2), 231–240. <https://doi.org/10.31603/paedagogie.v20i2.15010>