

Pengembangan Modul Ajar Sistem Manufaktur Diskrit untuk Additive Manufacturing 3D Printing Berbasis Lengan Robot 4 DOF

Lutfi¹, Mutmainnah², dan Sukriyah Buwarda³

^{1,2,3} Politeknik ATI Makassar

lutfi@atim.ac.id¹, mutmainnah@atim.ac.id², sukriyah.buwarda@atim.ac.id³

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan Modul Ajar Sistem Manufaktur Diskrit yang berfokus pada Additive Manufacturing dengan 3D Printing berbasis lengan robot 4 DOF. Metodologi yang digunakan meliputi pemodelan objek 3D menggunakan aplikasi Blender, serta pengaturan lengan robot dan printer 3D melalui Dobot Vision dan Repetier Host. Data yang diperoleh terbagi menjadi dua kategori: data primer yang mencakup spesifikasi proses pencetakan objek 3D, termasuk variasi model, waktu pemanasan, durasi pencetakan, dan tingkat keberhasilan; serta data sekunder berupa kajian pustaka yang mendukung simulasi parameter sensor dan aktuator lengan robot 4 DOF dan proses 3D Printing. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang signifikan bagi dosen dan mahasiswa dalam pembelajaran mata kuliah Sistem Manufaktur Diskrit.

Kata kunci: Additive Manufacturing, 3D printing, Lengan Robot, 4 DOF.

ABSTRACT

This research aims to develop a Teaching Module for Discrete Manufacturing Systems focused on Additive Manufacturing using 3D Printing based on a 4 DOF robotic arm. The methodology includes 3D object modeling using Blender, as well as configuring the robotic arm and 3D printer through Dobot Vision and Repetier Host. The data collected is divided into two categories: primary data, which includes specifications of the 3D printing process such as model variations, heating time, printing duration, and success rates; and secondary data, consisting of literature reviews that support the simulation of sensor and actuator parameters for the 4 DOF robotic arm and the 3D printing process. It is expected that the results of this research will provide significant contributions to both lecturers and students in the learning of Discrete Manufacturing Systems courses.

Keywords: Additive Manufacturing, 3D Printing, Robotic Arm, 4 DOF.

PENDAHULUAN

Di Politeknik ATI Makassar, mahasiswa mempelajari transformasi industri 4.0 dalam konteks manufaktur diskrit melalui enam materi utama. Materi-materi tersebut meliputi pengenalan transformasi industri 4.0, siklus manufaktur industri 4.0, proses bisnis industri 4.0, teknologi pendukung industri 4.0, strategi implementasi transformasi industri 4.0, dan proyek solusi transformasi industri 4.0. Salah satu teknologi utama dalam industri 4.0 adalah Additive Manufacturing atau 3D Printing. Teknologi ini berjalan seiring dengan kemajuan teknologi lainnya, seperti kecerdasan buatan, Internet of Things (IoT), Big Data, keamanan siber, komputasi awan, simulasi lanjutan, integrasi sistem, serta Augmented Reality dan Virtual Reality. Additive manufacturing biasanya menggunakan bahan plastik dan model printer tiga sumbu yang mirip dengan mesin CNC. Selain itu, penggunaan lengan robot sebagai model additive manufacturing juga semakin meningkat, menunjukkan integrasi yang kuat antara teknologi robotika dan manufaktur modern. [1]

Printer 3D merupakan mesin yang berfungsi mencetak objek tiga dimensi menggunakan metode additive, yaitu dengan menambahkan material secara bertahap. Proses pencetakan 3D dimulai dengan pembuatan model digital objek menggunakan perangkat lunak desain seperti AutoCAD atau Blender, yang biasanya disimpan dalam format STL. Model digital ini kemudian dikirim ke printer 3D yang memprosesnya dengan membagi model menjadi lapisan-lapisan tipis dan

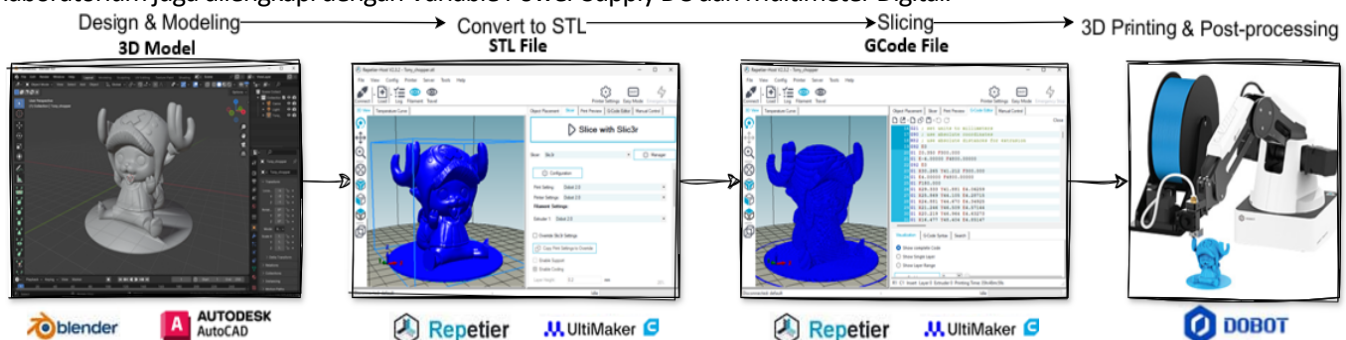
menambahkan material sesuai dengan teknologi yang digunakan, seperti FDM atau SLA. Tahap akhir dari proses ini adalah finishing, di mana objek yang dicetak diperbaiki dan diselesaikan melalui pembersihan, penghalusan, atau pewarnaan untuk meningkatkan kualitas dan estetika sesuai kebutuhan pengguna. [2]

Robot, sebagai perangkat yang dapat diprogram ulang, dilengkapi dengan sensor dan manipulasi mekanik untuk memindahkan objek dengan program yang fleksibel. Salah satu jenis robot yang sering digunakan dalam industri adalah robot lengan 4 axis, yang memiliki empat sendi rotasi: sendi pangkal, siku, pergelangan, dan end-effector. Robot ini digunakan dalam berbagai aplikasi industri, seperti penanganan bahan dan pengelasan. Prinsip kerja robot ini melibatkan motor listrik yang dikendalikan oleh sinyal dari sistem kontrol, seperti mikrokontroler atau PLC, yang menerima input dari sensor dan pengguna. Struktur robot ini dirancang sedemikian rupa sehingga sendi pangkal berfungsi untuk orientasi, sendi siku untuk mengatur sudut lengan, sendi pergelangan untuk orientasi akhir, dan end-effector untuk melaksanakan tugas tertentu. [3] [4] [5] [6]

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan Modul Ajar Sistem Manufaktur Diskrit yang berfokus pada Additive Manufacturing 3D Printing berbasis Lengan Robot 4 DOF. Dalam penelitian ini, lengan robot yang akan dikembangkan menggunakan Dobot Magician dengan end of arm berupa elemen heater yang berfungsi untuk memanaskan material, serta motor stepper yang digunakan untuk mengatur distribusi penggunaan material. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik kepada mahasiswa mengenai aplikasi praktis dari teknologi robotika dalam industri 4.0.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deduktif kuantitatif dengan metode eksperimental yang terdiri dari beberapa tahap, termasuk studi literatur, analisis kebutuhan sistem, dan pengujian baik secara parsial maupun terintegrasi. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kontrol dan Otomasi Politeknik ATI Makassar, dengan durasi penelitian selama lima bulan. Dalam penelitian ini, sejumlah alat dan bahan digunakan, seperti komputer PC dengan Windows 7 Ultimate 64 bit Service Pack 1 dan LCD Monitor. Software yang diterapkan mencakup Blender untuk pemodelan objek 3D, serta Dobot Studio dan Repetier Host, yang termasuk Driver CH340. Selain itu, penelitian ini menggunakan modul lengan robot 4 DOF (Dobot Magician Kit), material plastik untuk 3D printing, serta alat-alat seperti bor, gerinda, dan peralatan tangan lainnya. Fasilitas laboratorium juga dilengkapi dengan Variable Power Supply DC dan Multimeter Digital.



Gambar 1. Alur kerja keseluruhan dari proses manufaktur aditif.

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan studi pustaka mengenai Additive Manufacturing 3D Printing dan lengan robot 3 DOF, serta spesifikasi proses pencetakan objek 3D. Selanjutnya, beberapa model objek 3D dibuat, yang kemudian diekspor ke dalam format STL menggunakan aplikasi Blender. Model STL tersebut diubah menjadi G-Code dan proses pencetakan diatur melalui aplikasi Repetier Host. Data primer yang diperoleh dianalisis dan diolah menjadi informasi yang relevan, dan akhirnya, dokumentasi laporan akhir disusun berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan.

Data yang diperoleh dalam penelitian ini terbagi menjadi dua kategori, yaitu data primer dan sekunder. Data primer mencakup spesifikasi proses pencetakan objek 3D, yang meliputi variasi model objek, lama pemanasan, lama pencetakan, dan tingkat keberhasilan. Sementara itu, data sekunder berisi kajian pustaka yang mendukung simulasi terhadap parameter data sensor dan aktuator dari lengan robot 4 DOF serta proses 3D printing.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada saat praktik sistem manufaktur diskrit untuk percobaan Additive Manufacturing 3D Printing menggunakan Lengan Robot 4 DOF, langkah pertama yang dilakukan adalah membuka kemasan Dobot Magician dan pastikan komponen di dalam kardus sesuai dengan daftar yang tertera pada gambar 2 berikut:



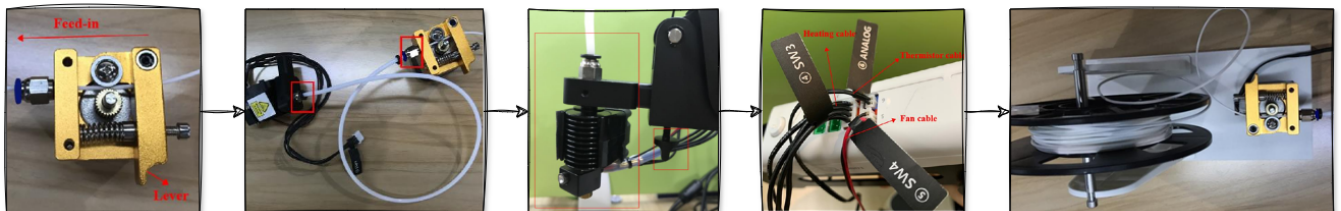
Gambar 2. Daftar komponen dobot magician yang ada dalam kardus [7]

Selanjutnya, persiapan komponen dilakukan sesuai dengan gambar 3 (kiri), dan instalasi lengan robot dengan end effector printer 3D dilakukan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 (kanan).



Gambar 3. Persiapan komponen (kiri) dan hasil pemasangan lengan robot untuk 3D printer (kanan) [8]

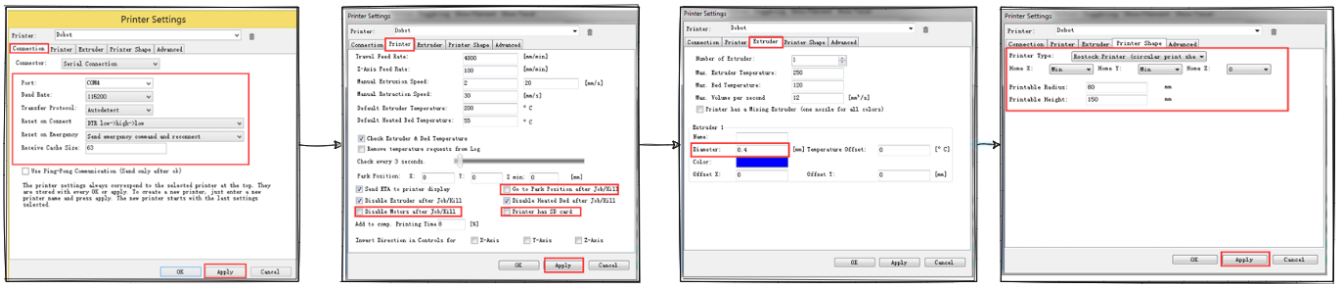
Dalam proses instalasi komponen menjadi lengan robot printer 3D, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 bagian kanan, beberapa prosedur harus diperhatikan, terutama saat filamen dimasukkan dari extruder ke hot end melalui PTFE tube (feed pipe). [9]



Gambar 4. Prosedur memasukkan filamen dari extruder ke hot end [9]

Setelah lengan robot printer 3D Dobot Magician dirakit sesuai prosedur, komputer dihubungkan ke Dobot menggunakan kabel USB. Pada aplikasi Dobot Magician, pilihan "connect" ditekan, kemudian tombol "home" diklik untuk memulai proses kalibrasi. Setelah kalibrasi selesai, pada menu aplikasi, pilihan 3D printing dibuka dan firmware Repetier Host atau Cura diinstal. Dalam penelitian ini, Repetier Host telah diinstal melalui aplikasi Dobot.

Jika aplikasi Repetier Host telah diinstal, pengaturan pada menu "config" dan "printer settings" perlu dilakukan terlebih dahulu sesuai dengan gambar 5 berikut:



Gambar 5. Pengaturan konfigurasi pada printer settings [9]

Setelah pengaturan seperti yang ditunjukkan pada gambar 5 dilakukan, aplikasi Repetier Host dapat digunakan seperti biasa untuk mengoperasikan 3D printer. Model 3D dari objek yang akan dicetak perlu dibuat menggunakan aplikasi pemodelan 3D seperti Blender, 3Dmax, Maya, AutoCAD, SolidWorks, SketchUp, atau sejenisnya, dengan format penyimpanan stereolithography (STL). Dalam penelitian ini, objek 3D yang digunakan diambil dari website www.thingiverse.com dan diedit sesuai kebutuhan menggunakan aplikasi Blender.



Gambar 6. Dokumentasi praktikum Sistem Manufaktur Diskrit dengan DOBOT Magician 3D Printing.

Pembahasan

Sebelum pencetakan dilakukan, ekstruder perlu diuji untuk memastikan bahwa filamen yang meleleh mengalir dari nozzle. Suhu ekstruder harus diatur di atas 170°C, karena pencetakan 3D tidak akan dimulai oleh Dobot Magician hingga filamen berada dalam keadaan meleleh. Oleh karena itu, pemanasan ekstruder perlu dilakukan terlebih dahulu. Suhu pemanasan diatur ke 200°C pada tab Manual Control di Repetier Host. Setelah suhu mencapai 200°C, pengumpan ekstruder diklik dan filamen didorong hingga 10mm-30mm. Jika filamen yang meleleh mengalir dari nozzle ekstruder, itu menandakan bahwa ekstruder berfungsi dengan baik. Jika aliran filamen bergerak ke arah yang salah, filamen perlu dikeluarkan, ekstruder perlu dibalik, dan filamen perlu didorong kembali.

Selama pencetakan, jika jarak antara Dobot Magician dan platform pencetakan terlalu jauh atau terlalu dekat, penyumbatan nozzle dapat terjadi. Untuk meningkatkan daya rekat lapisan pertama, disarankan agar kertas masking diletakkan di atas platform. Tombol Unlock ditekan di lengan, dan Dobot Magician digeser sehingga kepala pencetak bersentuhan dengan permukaan kertas masking (jarak antara kepala pencetak dan permukaan kertas harus sebanding dengan ketebalan kertas A4), lalu tombol Unlock dilepaskan. Perintah M415 dimasukkan di jendela perintah G-Code dan Enter ditekan untuk mendapatkan koordinat saat ini. Koordinat saat ini juga dapat diperoleh dengan menekan tombol Key di bagian belakang dasar.

Jika estimasi waktu pencetakan dianggap terlalu lama, pengaturan "Scale Object" pada tab "Object Placement" di aplikasi Repetier Host dapat dilakukan. Nilai skala untuk X, Y, atau Z dipilih di bawah angka 1, kemudian tombol "Slice with Slic3r" ditekan pada tab "slicer" untuk melihat estimasi waktu di tab "print preview". Jika estimasi waktu masih dianggap lama, nilai skala untuk X, Y, dan Z dapat lebih diperkecil. Dengan waktu pencetakan yang tidak terlalu lama, proses pencetakan dapat dicoba secara bergantian oleh semua mahasiswa dalam satu kelompok sesuai waktu praktik yang tersedia.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah disampaikan, dapat disimpulkan bahwa Modul Ajar Sistem Manufaktur Diskrit yang berfokus pada Additive Manufacturing 3D Printing dengan lengan robot 4 DOF, khususnya Dobot Magician, berhasil dikembangkan. Proses penelitian dimulai dengan studi pustaka dan pembuatan model 3D yang diekspor ke format STL, kemudian diubah menjadi G-Code untuk pencetakan. Setelah perakitan dan kalibrasi lengan robot, aplikasi Repetier Host digunakan untuk mengatur dan menjalankan proses pencetakan. Pengujian ekstruder dilakukan untuk memastikan aliran filamen yang tepat, dan langkah-langkah penyesuaian diterapkan selama pencetakan untuk menghindari masalah seperti penyumbatan nozzle. Selain itu, pengaturan skala objek pada Repetier Host dilakukan untuk mengoptimalkan waktu pencetakan, sehingga proses pencetakan dapat dicoba secara bergantian oleh semua mahasiswa dalam kelompok.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mujiyono, M. K. Simarmata, Mustofa, M. Agus, L. Heriyanto, M. T. Siregar and Lutfi. (2021). Transformasi Industri 4.0 Manufaktur Diskrit, Jakarta Selatan: Pusat Pengembangan Pendidikan Vokasi Industri Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Industri Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
- [2] . L. Zhou, J. Miller, . J. Vezza, M. Mayster, . M. Raffay, Q. Justice, Z. A. Tamimi, G. Hansotte, L. D. Sunkara and J. Bernat. (2024). Additive Manufacturing: A Comprehensive Review. *Sensors*, 24(9) pp. 1-44.
- [3] Lutfi, "Rancang Bangun Sistem Kendali PID pada Robot Line Tracker dengan Sensor Auto Kalibrasi," Politeknik ATI Makassar, Makassar, 2018.
- [4] Lutfi, "Pengembangan Sistem Perekaman Gerakan Otomatis pada Lengan Robot Manipulator," in Buku Prosiding Seminar Nasional Sains, Teknologi, dan Sosial Humaniora, Makassar, 2019.
- [5] Lutfi, "Sistem Navigasi Perekaman Dua Pola Gerakan pada Lengan Robot Manipulator," Politeknik ATI Makassar, Makassar, 2020.
- [6] E. Pitowarno. Robotika : Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan. Yogyakarta: Andi, 2006.
- [7] Dobot Robotics, "www.dobot-robots.com," Dobot Robotics, [Online]. Available: <https://www.dobot-robots.com/products/education/magician.html>. [Accessed 20 Oktober 2024].
- [8] Dobot Robotics, Dobot Robotics, 3 Agustus 2017. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=6SsQB4_a2ig&t=37s.
- [9] Dobot Robotics, "Dobot Magician User Guide (DobotLab-based)," Shenzhen Yuejiang Technology Co., Ltd., Nanshan District, Shenzhen, China, 2022.