

Pengembangan dan Evaluasi Printer 3D FDM Berbasis *Linear Slider MGN12* untuk Meningkatkan Kepresisian pada Aplikasi Ergonomi dan Industri

Ridho Akbar^{1,2*}, Yessie Ardina K.¹, Poniman¹, M. Hanifuddin Hakim¹, Eldisyah Arifa P.A.¹, Rendie Afli A.¹

¹Industrial Engineering, Muhammadiyah University of Surabaya, Surabaya, Indonesia

²Institute of Information Processing and Automation, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, China

E-mail: ridho.akbar@um-surabaya.ac.id*

Abstract

Three-dimensional (3D) printing technology, particularly the Fused Deposition Modeling (FDM) method, plays a crucial role in modern industrial design and ergonomics research. One of the primary challenges in this application is ensuring high precision, operational stability, and reducing mechanical wear to support the sustainability and efficiency of the printing process. This study introduces the development of a 3D printer based on FDM, utilizing the MGN12 linear slider as a replacement for conventional roller bearings. This innovation is designed to improve printing accuracy, optimize component durability, and maintain long-term operational quality. Empirical testing was conducted to compare the performance of the linear slider system and roller bearings in terms of dimensional accuracy, surface finish, printing speed, and mechanical durability. The results show that the linear slider system achieves dimensional accuracy of up to ± 0.02 mm, better than the ± 0.12 mm of the roller bearing system. The average surface roughness also decreased to $3.2 \mu\text{m}$, compared to $5.6 \mu\text{m}$ in the roller bearing system. At high printing speeds (150 mm/s) with a layer height of 0.01 mm, the roller bearing system exhibited greater inconsistency, producing an average layer height of 0.04 mm, while the linear slider maintained high layer consistency. Additionally, the linear slider system reduced noise levels to 45 dB and significantly minimized mechanical wear, thereby reducing the need for regular maintenance. The findings of this study indicate that although the initial investment in linear slider technology is higher, it provides a significant improvement in 3D printing performance. This technology is highly relevant for industrial applications requiring high precision, process efficiency, and system reliability.

Keywords: 3D printer, linear sliders, ergonomic design, industrial engineering, roller bearing.

Abstrak

Teknologi pencetakan tiga dimensi (3D), khususnya metode Fused Deposition Modeling (FDM), memiliki peran penting dalam desain industri modern dan penelitian ergonomi. Salah satu tantangan utama dalam aplikasi ini adalah memastikan presisi tinggi, stabilitas operasional, serta pengurangan keausan mekanis untuk mendukung keberlanjutan dan efisiensi proses pencetakan. Penelitian ini memperkenalkan pengembangan printer 3D berbasis FDM yang menggunakan linear slider tipe MGN12 sebagai pengganti roller bearing konvensional. Inovasi ini dirancang untuk meningkatkan akurasi pencetakan, mengoptimalkan daya tahan komponen, dan menjaga kualitas operasional jangka panjang. Pengujian empiris dilakukan untuk membandingkan performa sistem linear slider dan roller bearing dalam aspek akurasi dimensi, hasil akhir permukaan, kecepatan pencetakan, dan daya tahan mekanis. Hasil menunjukkan bahwa sistem linear slider mencapai akurasi dimensi hingga $\pm 0,02$ mm, lebih baik dibandingkan dengan $\pm 0,12$ mm pada roller bearing. Kekasaran permukaan rata-rata juga menurun menjadi $3,2 \mu\text{m}$ dibandingkan dengan $5,6 \mu\text{m}$ pada sistem roller bearing. Pada kecepatan pencetakan tinggi (150 mm/detik) dengan tinggi lapisan 0,01 mm, sistem roller bearing menunjukkan ketidakkonsistenan yang lebih besar, menghasilkan rata-rata tinggi lapisan 0,04 mm, sementara linear slider mampu mempertahankan konsistensi tinggi lapisan. Selain itu, sistem linear slider mengurangi tingkat kebisingan hingga 45 dB dan menekan keausan mekanis secara signifikan, sehingga mengurangi kebutuhan perawatan berkala. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun penerapan linear slider memerlukan investasi awal yang lebih tinggi, teknologi ini memberikan peningkatan signifikan dalam performa pencetakan 3D. Teknologi ini sangat relevan untuk aplikasi industri yang membutuhkan presisi tinggi, efisiensi proses, dan keandalan sistem.

Kata Kunci: Printer 3D, linear slider, desain ergonomis, teknik industri, roller bearing.

1. Pendahuluan

Teknologi printer 3D, khususnya *Fused Deposition Modeling* (FDM), telah menjadi alat yang esensial dalam manufaktur industri dan desain produk, memberikan nilai tambah signifikan dalam pengembangan prototipe dan model kerja [1]. Di laboratorium Teknik Industri kami, printer 3D digunakan secara luas untuk menghasilkan model ergonomis, elemen industri, serta alat penelitian lainnya. Namun, performa printer 3D berbasis *roller bearing* konvensional sering menghadapi keterbatasan dalam presisi dan rigiditas, terutama saat mencetak objek dengan detail tinggi atau dimensi besar [2].

Ergonomi menjadi salah satu aspek penting dalam penerapan teknologi printer 3D, mengingat kebutuhan untuk mencetak model yang mendukung analisis postur kerja dan desain alat yang ramah pengguna. Teknologi *linear slider*, seperti MGN12, menawarkan solusi untuk mengatasi tantangan ini dengan memberikan presisi tinggi, mengurangi gesekan, dan memastikan stabilitas selama proses pencetakan. Hal ini membuat sistem *linear slider* lebih unggul dibandingkan *roller bearing* konvensional dalam memenuhi kebutuhan ergonomi [3].

Penelitian ini bertujuan mengembangkan printer 3D berbasis FDM dengan sistem *linear slider* MGN12 untuk meningkatkan akurasi pencetakan, mengurangi keausan mekanis, dan memperpanjang masa operasional perangkat. Sistem *linear slider* memungkinkan gerakan yang lebih halus dengan toleransi mekanis yang minimal, sehingga sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan presisi tinggi, baik dalam industri maupun ergonomi [4].

Dalam penelitian ini, kinerja printer 3D dengan sistem *linear slider* dibandingkan dengan *roller bearing* konvensional. Evaluasi mencakup parameter seperti akurasi pencetakan, keausan mekanis, dan frekuensi perawatan dalam lingkungan industri. Printer 3D yang digunakan memiliki dimensi 900 mm × 800 mm × 1200 mm, dengan kapasitas mencetak objek hingga ukuran 600 mm × 400 mm × 1000 mm. Temuan penelitian diharapkan memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan performa printer 3D dalam mendukung aplikasi industri dan ergonomis.

Tinjauan Pustaka

1.1 Sistem Roller Bearing

Sistem *roller bearing* umumnya diaplikasikan pada printer 3D kelas konsumen karena sifatnya yang andal dan berbiaya relatif rendah. *Roller bearing* memiliki kemampuan mendukung beban dan gerakan dengan efisiensi tinggi, sehingga cukup populer dalam aplikasi yang tidak terlalu menuntut presisi tinggi [5]. Namun, salah satu kelemahan utama sistem ini adalah kecenderungan untuk mengalami keausan mekanis yang signifikan dalam penggunaan jangka panjang. Keausan ini sering kali menyebabkan ketidakakuratan dalam hasil cetak, terutama pada model yang membutuhkan

detail halus [6]. Selain itu, jadwal perawatan yang lebih sering menjadi kendala, karena *roller bearing* membutuhkan pelumasan dan penggantian komponen secara berkala untuk menjaga kinerja optimal. Beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan *roller bearing* pada printer 3D dapat menghasilkan penyimpangan dimensi yang sangat minim pada cetakan yang rumit [5].

Selain aplikasi pada printer 3D, *roller bearing* juga banyak digunakan dalam mesin manufaktur lain seperti conveyor dan robot industri. Dalam aplikasi ini, *roller bearing* memiliki performa yang cukup memadai, tetapi tetap menghadapi kendala serupa berupa degradasi komponen dan kebutuhan pemeliharaan yang intensif [6].

1.2 Sistem Linear Slider

Sistem *linear slider* memberikan keunggulan signifikan dibandingkan sistem *roller bearing* dalam hal presisi, daya tahan, dan stabilitas operasional. Mekanisme *linear slider* dirancang untuk meminimalkan gesekan dan getaran, sehingga menghasilkan gerakan yang halus dan konsisten sepanjang sumbu X, Y, dan Z pada printer 3D [7]. Teknologi ini memungkinkan akurasi cetak yang lebih tinggi, dengan beberapa studi melaporkan peningkatan presisi hingga ±0,02 mm dibandingkan sistem *roller bearing* [8]. *Linear slider* juga memiliki umur operasional yang lebih panjang, menjadikannya ideal untuk aplikasi yang membutuhkan konsistensi tinggi dalam jangka panjang, seperti manufaktur presisi dan pencetakan objek berskala besar [9].

Selain pada printer 3D, *linear slider* digunakan dalam berbagai aplikasi industri lain, seperti mesin CNC, sistem otomasi, dan perangkat medis. Pada mesin CNC, *linear slider* membantu mempertahankan akurasi selama proses pemotongan kompleks, sementara dalam perangkat medis, mekanisme ini digunakan untuk mendukung pergerakan alat-alat bedah dengan presisi tinggi [10], [11].

Walaupun biaya awal pemasangan *linear slider* relatif tinggi, penelitian menunjukkan bahwa keandalan dan pengurangan kebutuhan perawatan jangka panjang membuat teknologi ini lebih ekonomis dalam siklus hidup perangkat [12]. Dengan kemampuan mengurangi gesekan dan memastikan stabilitas mekanis, *linear slider* juga mendukung penghematan energi dan peningkatan efisiensi sistem secara keseluruhan [13].

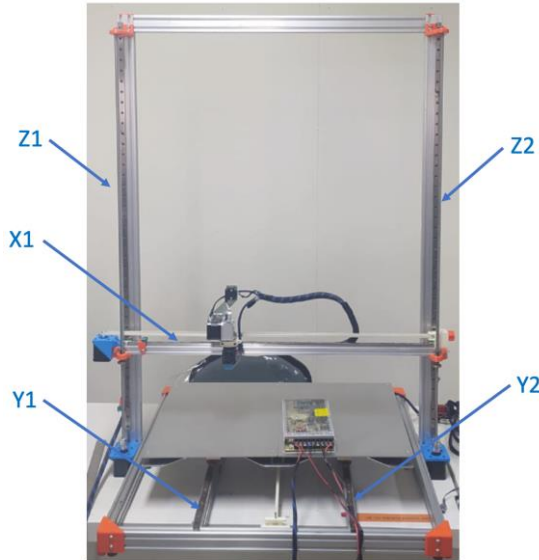
Dalam konteks printer 3D, adopsi sistem *linear slider* MGN12 memungkinkan pencetakan model dengan tingkat detail yang lebih tinggi, mengurangi keausan komponen, dan meminimalkan kebutuhan perawatan, menjadikannya solusi yang sangat cocok untuk aplikasi industri yang kompleks dan ergonomis [14].

2. Metodologi

2.1 Desain dan Spesifikasi Printer 3D

Model printer 3D yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki dimensi 900 mm x 800 mm x

1200 mm dan mampu mencetak objek dengan dimensi maksimum 600 × 400 × 1000 mm. Kerangka yang digunakan terbuat dari ekstrusi aluminium, sehingga sangat kaku untuk membantu meminimalkan getaran selama proses cetak. Printer ini memiliki *system single extruder*, dan memiliki *heated bed* bertegangan 24V yang memiliki adhesi yang konsisten.



Gambar 1. Printer 3D Tipe FDM yang Dimodifikasi

Gambar 1 menunjukkan struktur rangka, sistem ekstruder, dan posisi slider linier MGN12 dalam desain lengkap printer 3D. Rangka yang dirancang memungkinkan kekakuan maksimum dengan getaran minimal selama operasi. Slider linier MGN12 dipasang pada sumbu X, Y1, Y2, Z1, dan Z2 untuk menjaga proses tetap presisi dan gerakan halus.

Tabel 1.

Spesifikasi Printer 3D FDM yang Digunakan

Spesifikasi	Deskripsi
Dimensi Printer 3D	900 mm x 800 mm x 1200 mm
Maksimal Volume Cetak	600 mm x 400 mm x 1000 mm
Sistem Mekanis	Linear Slider MGN12 pada sumbu X, Y1, Y2, Z1 and Z2
Sistem Extruder	Single Extruder
Material yang Digunakan	PLA, ABS, PETG, Nylon
Kecepatan Maksimum Cetak	150 mm/s
Ketebalan Layer	0.01 mm - 0.4 mm
Sistem Heated Bed	Heated Bed bertegangan 24V DC
Tipe Rangka	Aluminium Extrusion (High Rigidity)
Sumber Tegangan	220V AC, 24V DC (Power Supply Unit)
Sistem Pendingin	Active Cooling Fan
Tipe Nozzle	Brass Nozzle (Diameter 0.4 mm)
Kontroler	Leardge-X
Metode Koneksi	USB, SD Card, WiFi

Tabel 1 memberikan gambaran komprehensif tentang dimensi printer 3D. Printer 3D ini memiliki dimensi 900 mm x 800 mm x 1200 mm dengan volume cetak maksimal 600 mm x 400 mm x 1000 mm. Sistem mekanisnya menggunakan Linear Slider MGN12 pada

sumbu X, Y1, Y2, Z1, dan Z2. Dilengkapi dengan sistem ekstruder tunggal (*single extruder*), printer ini kompatibel dengan material PLA, ABS, PETG, dan Nylon. Kecepatan maksimum cetak yang dapat dicapai adalah 150 mm/s, dengan ketebalan layer bervariasi antara 0.01 mm hingga 0.4 mm. Sistem heated bed bertegangan 24V DC mendukung adhesi yang lebih baik, sementara rangka aluminium extrusion dengan kekakuan tinggi memastikan kestabilan mesin. Printer ini menggunakan sumber tegangan 220V AC untuk operasi umum dan 24V DC untuk power supply unit. Sistem pendinginan dilengkapi dengan *active cooling fan*, sedangkan *nozzle brass* dengan diameter 0.4 mm digunakan untuk material. Kontroler Leardge-X digunakan sebagai pengendalian mesin, dan printer ini mendukung koneksi melalui USB, SD Card, dan WiFi.

2.2 Sistem Gerak

Sistem gerak printer 3D FDM yang dibandingkan, yaitu printer dengan sistem *linear slider* MGN12 dan *roller bearing*. Pada printer dengan sistem *linear slider* MGN12, mekanisme gerak untuk sumbu X, Y1, Y2, Z1, dan Z2 menggunakan rel *linear slider* yang dihubungkan dengan motor stepper. Terdapat total lima motor stepper: satu motor untuk sumbu X, dua motor untuk sumbu Y (Y1 dan Y2 untuk pergerakan serentak meja kerja atau ekstruder), serta dua motor untuk sumbu Z (Z1 dan Z2 untuk menggerakkan platform cetak secara vertikal). Motor stepper pada sistem ini dipasang langsung pada kerangka printer dan dihubungkan ke rel melalui sabuk GT2 atau ulir trapezoidal. Pada printer dengan sistem *roller bearing*, sumbu gerak juga menggunakan sabuk GT2 untuk sumbu X dan Y, namun dengan mekanisme berbasis *roller bearing*. Sistem ini juga menggunakan lima motor stepper dengan posisi yang serupa

2.3 Model Matematis untuk Analisis Presisi dan Getaran

Kami menentukan defleksi mekanis dan efek getaran untuk defleksi balok di bawah beban seragam. Defleksi (δ) dinyatakan oleh Persamaan 1 [15].

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} \quad (1)$$

Di mana,

P adalah gaya yang diberikan dalam Newton.

L adalah panjang rel dalam meter.

E adalah modulus Young material (untuk aluminium, $E = 69 \times 10^9 \text{Pa}$).

I adalah momen inersia.

Dari persamaan 1, kita dapat memahami kinerja mekanis, terutama terkait stabilitas dan ketahanan terhadap getaran saat sistem beroperasi. Dengan menggunakan persamaan ini, kita dapat memprediksi bagaimana sistem akan merespons berbagai kondisi beban. Tujuannya adalah untuk memastikan hasil yang lebih akurat dan andal, terutama dalam proses

pencetakan obyek 3D. Sebagai contoh, dalam kasus pencetakan 3D, misalnya kita mencetak sebuah kubus dengan ukuran $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$ menggunakan material aluminium. Jika gaya yang diterapkan pada balok selama proses pencetakan adalah 100 N, dan panjang rel L yang digunakan untuk mendukung cetakan tersebut adalah 0.5 meter, kita dapat menghitung defleksi menggunakan persamaan di atas, yang menunjukkan bagaimana balok akan melengkung di bawah beban. Misalkan momen inersia I untuk bentuk balok yang relevan sudah diketahui, kita dapat menghitung defleksi tersebut. Defleksi ini penting untuk mengukur bagaimana sistem 3D printer akan bereaksi terhadap beban dan memastikan bahwa getaran yang terjadi selama proses pencetakan dapat diminimalkan.

Pada Persamaan 2 [16], n merujuk pada jumlah pengukuran perpindahan yang tercatat selama proses pencetakan.

$$V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i^2)}{n}} \quad (2)$$

Di mana,

V merepresentasikan nilai *Root Mean Square* (RMS) getaran.

x_i adalah perpindahan yang tercatat selama proses pencetakan berkecepatan tinggi.

n adalah jumlah total titik pengukuran.

Untuk mengukur getaran selama pencetakan, kita dapat mencatat perpindahan pada beberapa titik atau waktu yang berbeda. Misalnya, kita mengukur perpindahan pada 5 titik berbeda (x_1, x_2, \dots, x_5) yang tercatat selama proses pencetakan dengan kecepatan tinggi. Contoh penggunaan pada printer 3D, Misalkan kita mengukur perpindahan pada 5 titik berbeda selama proses pencetakan kubus $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$ dengan kecepatan tinggi. Dengan menggunakan persamaan di atas, kita dapat menghitung nilai RMS getaran V , yang menggambarkan stabilitas mesin selama pencetakan. Semakin rendah nilai RMS, semakin sedikit getaran yang terjadi, yang berarti proses pencetakan berjalan lebih stabil. Sehingga, dengan menghitung dan menganalisis nilai-nilai ini, kita dapat mengevaluasi dan meminimalkan getaran, yang pada gilirannya meningkatkan kualitas cetakan 3D dan keawetan mesin.

2.4 Evaluasi Printer 3D

Kinerja printer 3D diukur berdasarkan parameter berikut:

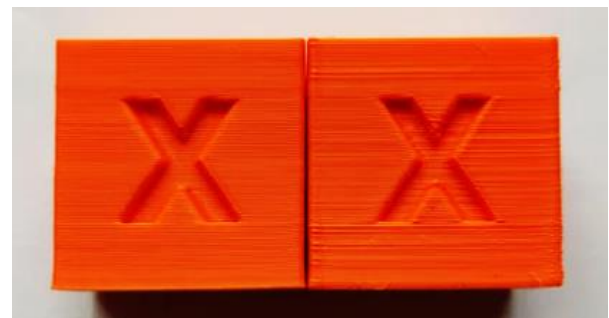
1. *Kecepatan Cetak (mm/s)*: Mengacu pada kecepatan aktual printer dalam menyelesaikan pencetakan suatu objek [17].
2. *Akurasi Dimensi (mm)*: Tingkat penyimpangan dimensi objek yang dicetak dari model 3D yang dirancang [18].

3. *Konsistensi Tinggi Lapisan (μm)*: Keseragaman ketebalan lapisan pada seluruh objek yang dicetak [19].
4. *Hasil Akhir Permukaan (R_a)*: Kekasaran permukaan ditentukan oleh nilai R_a , di mana profil kekasaran diukur pada permukaan objek cetakan [20].
5. *Keausan Mekanis (jam)*: Waktu yang diperlukan hingga komponen bergerak menunjukkan tanda pertama keausan mekanis yang terlihat [21].
6. *Tingkat Kebisingan dan Getaran (dB)*: Hasil pengukuran tingkat kebisingan operasional dalam satuan desibel (dB) [22].
7. *Cacat Cetak*: Jumlah cacat cetak yang terlihat, seperti *stringing*, *blobs*, dan pergeseran lapisan [23].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Akurasi Dimensi

Digital caliper digunakan untuk mengukur ukuran sebenarnya dari objek yang dicetak dibandingkan dengan spesifikasi desain guna memverifikasi akurasi objek cetakan yang dihasilkan. Alat pengukur presisi ini memungkinkan kami mencatat setiap variasi dengan tingkat ketelitian yang diperlukan. Dalam penelitian ini, kami memilih sebuah kubus dengan dimensi $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}$, di mana dua sistem panduan berbeda digunakan untuk membandingkan efisiensi yang dihasilkan.

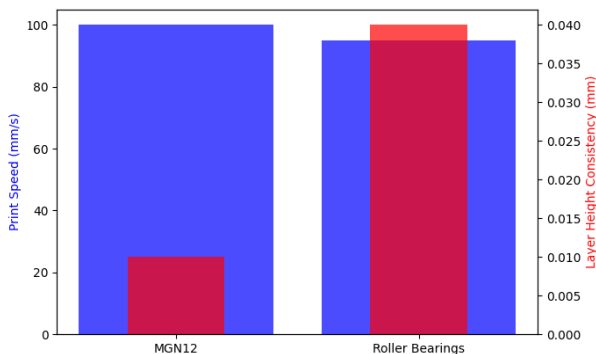


Gambar 2. Perbandingan Akurasi Dimensi Kubus: Kiri (*linear slider*) dan Kanan (*roll bearing*).

Gambar 2 menunjukkan bahwa kubus yang dibuat menggunakan sistem *linear slider* MGN12 memiliki akurasi yang sangat tinggi, seperti yang ditunjukkan di sebelah kiri, dengan tingkat kesalahan hanya $\pm 0,02 \text{ mm}$ dari pengukuran yang diinginkan. Sebaliknya, kubus di sebelah kanan dicetak menggunakan sistem bantalan rol standar dan menunjukkan deviasi sebesar $\pm 0,12 \text{ mm}$. Dibandingkan dengan itu, pengukuran dengan sistem MGN12 jauh lebih presisi. Berdasarkan perbandingan di atas, dapat dikatakan bahwa sistem *linear slider* MGN12 memiliki akurasi yang jauh lebih tinggi dengan hampir tidak ada deviasi dari dimensi yang diperlukan, karena berhasil menyelesaikan proses pencetakan objek dengan tetap mengikuti desain dan persyaratan awal.

3.2 Kecepatan Cetak dan Konsistensi Ketebalan Lapisan.

Terkait dengan kecepatan cetak saat menguji efisiensi kedua sistem, kami menggunakan *digital caliper* untuk mencatat data selama proses pencetakan. Kedua sistem diuji dengan mencetak kubus, yang memerlukan perhatian khusus terhadap detail dan ketepatan dimensi. Alat pengukur ini memungkinkan pengukuran terhadap tinggi lapisan dan kecepatan printer, dua faktor yang sangat berpengaruh terhadap kualitas dan efisiensi proses pencetakan. Dengan *digital caliper* untuk memberikan pengukuran yang tepat, kami dapat memperoleh data mengenai kinerja kedua sistem dalam hal kecepatan cetak dan konsistensi lapisan.



Gambar 3. Perbandingan Kecepatan Cetak dan Konsistensi Ketebalan Lapisan

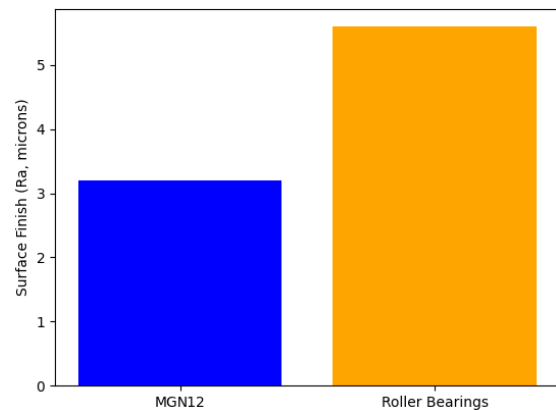
Gambar 3 menunjukkan perbandingan kecepatan cetak dan konsistensi ketebalan lapisan antara sistem *linear slider* MGN12 dan sistem *roll bearing* saat mencetak kubus. Bar berwarna biru mewakili kecepatan cetak, dan dapat diamati bahwa sistem *linear slider* MGN12 memiliki kecepatan cetak yang lebih cepat, dengan ketebalan lapisan hampir mencapai 0,01 mm yang ideal, seperti yang ditunjukkan oleh bar berwarna merah di bawahnya. Hal ini menunjukkan kemampuan sistem *linear slider* MGN12 untuk menghasilkan lapisan dengan keseragaman yang baik dan kualitas baik pada kecepatan cetak yang cukup tinggi. Namun, dengan sistem *roll bearing*, meskipun mencapai kecepatan yang serupa, menunjukkan osilasi yang lebih besar dalam tinggi lapisan dan memiliki rata-rata deviasi 0,04 mm. Ketidakkonsistenan ini dapat merugikan kualitas cetakan, terutama ketika detail yang kompleks dan hasil permukaan yang halus diperlukan. Grafik ini menggambarkan evaluasi sistem *linear slider* MGN12 terhadap ketebalan lapisan pada kecepatan cetak tinggi, yang sangat penting saat menangani bagian-bagian kompleks yang memerlukan kecepatan cetak tinggi serta ketelitian.

Ini mengindikasikan bahwa sistem *linear slider* dapat menghasilkan objek dengan tingkat presisi yang sangat tinggi, yang sangat penting dalam aplikasi industri yang membutuhkan ketelitian. Namun, implementasi sistem ini dalam lingkungan industri memerlukan perhatian khusus terhadap potensi masalah, seperti keausan mekanis yang mungkin terjadi pada komponen-komponennya, yang dapat mempengaruhi

presisi cetakan jika tidak dilakukan pemeliharaan secara berkala.

3.3 Hasil Permukaan Cetak

Evaluasi hasil permukaan dilakukan menggunakan nilai kekasaran *Ra* yang diperoleh dengan *Portable Surface Roughness Testers*. Gambar 4 menyajikan diagram batang yang membandingkan kualitas hasil permukaan antara sistem *linear slider* MGN12 dan *roll bearing*, masing-masing direpresentasikan oleh batang warna biru dan kuning. Diagram ini menggunakan nilai kekasaran *Ra* untuk mengukur tingkat kehalusan hasil permukaan dari hasil cetak dari sistem *linear slider* MGN12 dan *roll bearing*. Pada diagram tersebut, sumbu X mengkategorikan sistem *linear slider* MGN12 dan *roll bearing*, sedangkan sumbu Y menunjukkan nilai kekasaran dalam mikrometer. Secara signifikan, sistem *linear slider* MGN12 yang ditunjukkan oleh batang biru menghasilkan permukaan yang lebih halus dengan nilai *Ra* sebesar 3,2 μm , sedangkan hasil cetak menggunakan *roll bearing* yang direpresentasikan oleh batang kuning menunjukkan permukaan yang lebih kasar dengan nilai *Ra* lebih tinggi sebesar 5,6 μm .



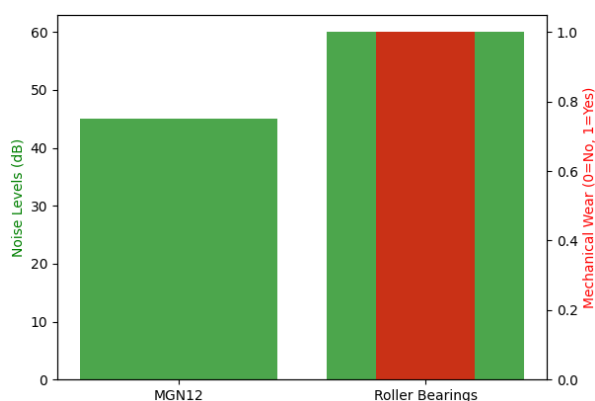
Gambar 4. Perbandingan Hasil Permukaan Cetak Printer 3D antara *Linear Slider* MGN12 dan *Roller Bearing*.

Perbandingan ini menunjukkan hasil permukaan dari sistem *linear slider* MGN12, yang terbukti pada batang biru yang lebih pendek secara signifikan dibandingkan dengan batang kuning yang lebih tinggi pada sistem *roll bearing*. Dalam kata lain hasil cetak menggunakan printer 3D berbasis sistem *linear slider* MGN12 memiliki permukaan yang lebih halus daripada sistem berbasis *roll bearing*. Namun, penting untuk mempertimbangkan bahwa permukaan yang lebih halus ini dapat meningkatkan risiko ketergantungan pada kondisi lingkungan yang sangat terkontrol, termasuk suhu dan kelembapan, yang bisa mempengaruhi kualitas cetakan. Oleh karena itu, untuk memastikan kualitas cetakan yang optimal, pengaturan lingkungan cetak harus dijaga dengan baik.

3.4 Mekanis dan Tingkat Kebisingan

Tingkat kebisingan dan keausan mekanis diukur selama 150 jam operasi terus-menerus. Kebisingan dicatat dalam desibel menggunakan *sound level meter*,

sedangkan keausan mekanis dinilai melalui inspeksi visual yang dilengkapi dengan pengukuran degradasi komponen menggunakan *digital caliper*, untuk mengkuantifikasi tingkat keausan seiring waktu. Pada Gambar 5, tingkat kebisingan direpresentasikan oleh batang warna hijau, sementara keausan mekanis ditunjukkan oleh batang warna merah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *linear slider* MGN12 memiliki keandalan mekanis yang lebih baik dibandingkan sistem *roll bearing*. Tingkat kebisingan sistem *linear slider* MGN12 juga jauh lebih rendah, yaitu 45 dB, sebagaimana diwakili oleh batang warna hijau yang lebih rendah, sedangkan sistem *roll bearing* mencatat kebisingan yang lebih tinggi, mencapai 60 dB. Pengurangan kebisingan ini meningkatkan kenyamanan pengguna sekaligus menjadi indikator efisiensi operasional sistem *linear slider* MGN12. Selain itu, diagram batang berwarna merah, juga jauh lebih pendek untuk sistem *linear slider* MGN12. Hal ini menunjukkan bahwa sistem ini membutuhkan perawatan yang jauh lebih rendah dari waktu ke waktu dan mampu menangani pencetakan dengan durasi yang panjang tanpa memerlukan pelumasan atau pengaturan ulang secara rutin. Sebaliknya, sistem *roll bearing* menunjukkan indeks keausan yang lebih tinggi, yang memerlukan pemeliharaan yang lebih sering dan rutin agar kerjanya tetap optimal.



Gambar 5. Perbandingan Keausan Mekanis dan Tingkat Kebisingan

Pengurangan kebisingan pada linear slider MGN12 meningkatkan kenyamanan dan efisiensi operasional, terutama dalam lingkungan industri yang memerlukan operasi mesin yang tenang. Namun, dalam jangka panjang, meskipun linear slider MGN12 menunjukkan keandalan mekanis yang lebih baik, pengguna harus tetap waspada terhadap potensi masalah seperti keausan pada rel dan pengaruhnya terhadap akurasi cetakan. Pengguna harus melakukan inspeksi rutin untuk memastikan bahwa tidak ada degradasi komponen yang dapat mengganggu kualitas cetakan.

4. Simpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengevaluasi printer 3D berbasis *Fused Deposition Modeling* (FDM) dengan sistem linear slider MGN12 untuk meningkatkan presisi dalam aplikasi ergonomi dan industri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa

sistem MGN12 unggul dibandingkan dengan sistem bantalan rol pada beberapa parameter utama. Dalam hal akurasi dimensi, sistem MGN12 mencapai deviasi $\pm 0,02$ mm, yang jauh lebih presisi dibandingkan dengan deviasi $\pm 0,12$ mm pada sistem bantalan rol. Kecepatan cetak dan konsistensi ketebalan lapisan juga lebih baik, dengan ketebalan lapisan mendekati 0,01 mm, dibandingkan dengan deviasi rata-rata 0,04 mm pada sistem bantalan rol. Dari segi hasil permukaan, sistem MGN12 memiliki nilai kekasaran (Ra) 3,2 μm , yang menunjukkan permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan 5,6 μm pada sistem bantalan rol. Selain itu, sistem linear slider MGN12 menghasilkan tingkat kebisingan yang lebih rendah (45 dB dibandingkan dengan 60 dB) dan tingkat keausan mekanis yang lebih minimal, menjadikannya lebih tahan lama dan memerlukan perawatan yang lebih sedikit untuk operasi jangka panjang.

Saran untuk penelitian lebih lanjut mencakup pengujian penerapan sistem *linear slider* MGN12 pada skala industri yang lebih besar dan dalam aplikasi yang lebih kompleks, serta evaluasi dalam kondisi operasional yang lebih variatif dan durasi yang lebih panjang untuk menilai keandalan dan efisiensinya. Selain itu, penelitian lebih lanjut perlu menguji performa sistem dengan berbagai bahan cetak, termasuk bahan komposit dan bahan yang lebih sulit dicetak, untuk mengevaluasi akurasi dan keandalannya. Pengujian dalam kondisi ekstrem, seperti suhu tinggi, kelembaban, dan fluktuasi operasional, juga diperlukan untuk memastikan ketahanan sistem dalam lingkungan yang menantang. Terakhir, pengujian lebih terperinci dengan variasi kecepatan cetak, ukuran objek yang lebih besar, dan jumlah lapisan, serta perbandingan dengan teknologi printer 3D lainnya, dapat memperjelas keunggulan dan keterbatasan sistem *linear slider* MGN12 dalam aplikasi industri yang lebih luas.

Daftar Pustaka

- [1] S. Vyavahare, S. Teraiya, D. Panghal, and S. Kumar, "Fused deposition modelling: a review," *Rapid Prototyp J*, vol. 26, no. 1, pp. 176–201, 2020.
- [2] A. Equbal, A. K. Sood, V. Toppo, R. K. Ohdar, and S. S. Mahapatra, "Prediction and analysis of sliding wear performance of fused deposition modelling-processed ABS plastic parts," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 224, no. 12, pp. 1261–1271, 2010.
- [3] V. Mishra, S. Negi, S. Kar, A. K. Sharma, Y. N. K. Rajbahadur, and A. Kumar, "Recent advances in fused deposition modeling based additive manufacturing of thermoplastic composite structures: A review," *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, vol. 36, no. 7, pp. 3094–3132, 2023.

- [4] F. Sojoodi Farimani, M. de Rooij, E. Hekman, and S. Misra, "Frictional characteristics of Fusion Deposition Modeling (FDM) manufactured surfaces," *Rapid Prototyp J*, vol. 26, no. 6, pp. 1095–1102, 2020.
- [5] K. A. Chaudhari and J. H. Bhangale, "Tribological Behavior of Polymer and Polymer Composite Material under Static Loading in the Context of Rolling Contact Bearing: A Review," *Library Progress International*, vol. 44, no. 3, pp. 28534–28543, 2024.
- [6] A. Equbal, A. K. Sood, V. Toppo, R. K. Ohdar, and S. S. Mahapatra, "Prediction and analysis of sliding wear performance of fused deposition modelling-processed ABS plastic parts," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, vol. 224, no. 12, pp. 1261–1271, 2010.
- [7] P.-H. Hu, Y.-J. Lei, and Y.-K. Ou, "Analysis of motion errors of linear guide pair based on parallel mechanism," *Machines*, vol. 9, no. 2, p. 33, 2021.
- [8] I. Grgić, M. Karakašić, H. Glavaš, and P. Konjatić, "Accuracy of FDM PLA Polymer 3D Printing Technology Based on Tolerance Fields," *Processes*, vol. 11, no. 10, p. 2810, 2023.
- [9] H. M. Shin, H. W. Choi, and S. D. Kim, "Hybrid (LASER+ CNC) process for lubricant groove on linear guides," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 46, pp. 1001–1008, 2010.
- [10] P. J. Swaney, P. A. York, H. B. Gilbert, J. Burgner-Kahrs, and R. J. Webster III, "Design, fabrication, and testing of a needle-sized wrist for surgical instruments," *J Med Device*, vol. 11, no. 1, p. 014501, 2017.
- [11] P. Jia, B. Zhang, Q. Feng, and F. Zheng, "Simultaneous measurement of 6DOF motion errors of linear guides of CNC machine tools using different modes," *Sensors*, vol. 20, no. 12, p. 3439, 2020.
- [12] M. D. Sutar and B. B. Deshmukh, "Linear motion guideways—a recent technology for higher accuracy and precision motion of machine tool," *Int. J. Innovations Eng. Technol*, vol. 3, no. 1, 2013.
- [13] C.-J. Lin, H.-T. Yau, and Y.-C. Tian, "Identification and compensation of nonlinear friction characteristics and precision control for a linear motor stage," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 18, no. 4, pp. 1385–1396, 2012.
- [14] S. Wilson, R. Thomas, N. Mary, E. T. Bosco, and A. Gopinath, "Development and fabrication of fused deposition modelling 3D printer," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2021, p. 012019.
- [15] Y. Taghipour and S. Darfarin, "A method for comparison of large deflection in beams," 2022.
- [16] D. R. Martinez, T. D. Hinnerichs, and J. M. Redmond, "Vibration control for precision manufacturing using piezoelectric actuators," *J Intell Mater Syst Struct*, vol. 7, no. 2, pp. 182–191, 1996.
- [17] N. Vinoth Babu *et al.*, "Influence of slicing parameters on surface quality and mechanical properties of 3D-printed CF/PLA composites fabricated by FDM technique," *Materials Technology*, vol. 37, no. 9, pp. 1008–1025, 2022.
- [18] M. S. Alsoufi and A. E. Elsayed, "Surface roughness quality and dimensional accuracy—a comprehensive analysis of 100% infill printed parts fabricated by a personal/desktop cost-effective FDM 3D printer," *Materials Sciences and Applications*, vol. 9, no. 01, p. 11, 2018.
- [19] P. Sammaiah, K. Rushmamanisha, N. Praveenadevi, and I. R. Reddy, "The influence of process parameters on the surface roughness of the 3d printed part in FDM process," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2020, p. 042021.
- [20] A. Jandyal, I. Chaturvedi, I. Wazir, A. Raina, and M. I. U. Haq, "3D printing—A review of processes, materials and applications in industry 4.0," *Sustainable Operations and Computers*, vol. 3, pp. 33–42, 2022.
- [21] I. Karagiannidis *et al.*, "Friction and Wear Behavior of 3D-Printed Inconel 718 Alloy under Dry Sliding Conditions," *Coatings*, vol. 14, no. 8, p. 1029, 2024.
- [22] K. H. Matlack, A. Bauhofer, S. Krödel, A. Palermo, and C. Daraio, "Composite 3D-printed metastructures for low-frequency and broadband vibration absorption," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, no. 30, pp. 8386–8390, 2016.
- [23] S. Wang *et al.*, "Role of porosity defects in metal 3D printing: Formation mechanisms, impacts on properties and mitigation strategies," *Materials Today*, vol. 59, pp. 133–160, 2022.