

Identifikasi Ketidaksesuaian Ketebalan *Coating* Terhadap Proses *Assembly* Menggunakan *Fishbone Diagram* di PT Nuvah Global Indonesia

Rifqi Arkan Adiwidjaya, Haposan Vincentius Manalu
Politeknik Negeri Batam,
Program Studi Teknik Mesin
Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia
rifqi.arkan27@gmail.com

Abstrak

Coating adalah proses pelapisan permukaan yang biasa digunakan pada komponen logam sebelum masuk ke dalam tahap *assembly*. Fungsi utamanya adalah memberikan perlindungan terhadap korosi sekaligus memperbaiki tampilan permukaan komponen. Proses *coating* yang digunakan PT Nuvah Global Indonesia adalah *powder coating*, dengan cara menyemprotkan serbuk cat ke permukaan komponen kemudian dipanaskan di dalam oven hingga lapisan terbentuk secara merata. Dalam praktiknya di lapangan, ditemukan bahwa ketebalan lapisan *coating* yang dihasilkan melebihi standar yang ditetapkan oleh perusahaan, sebagai contoh salah satu part memiliki dimensi awal 3,7mm namun setelah proses *coating* menjadi 4,2mm sehingga terjadi penambahan ketebalan sebesar 0,5mm yang melebihi standar perusahaan yaitu 0,1mm hingga 0,3mm sehingga menyebabkan seluruh part tidak dapat langsung dipasang ke lubang *assembly* dan harus melalui proses penggerindaan beberapa bagian agar bisa di *assembly*. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi ketidaksesuaian ketebalan *coating* terhadap toleransi dimensi yang dibutuhkan dalam proses *assembly* part. Pada penelitian ini menggunakan metode *Fishbone Diagram* untuk menganalisis akar penyebab masalah secara terstruktur. Pengukuran dilakukan menggunakan jangka sorong pada part sebelum dan sesudah melewati proses *coating*. Data hasil pengukuran kemudian di analisis menggunakan diagram fishbone berdasarkan faktor manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan.

Kata kunci: *Coating*, Ketebalan *Coating*, Toleransi Dimensi, *Assembly*, Komponen Mesin

Abstract

Coating is a surface coating process commonly used on metal components before they enter the assembly stage. Its primary function is to provide protection against corrosion while improving the appearance of the component's surface. The coating process used by PT Nuvah Global Indonesia is powder coating, which involves spraying paint powder onto the component's surface and then heating it in an oven until the coating forms evenly. In practice, it was found that the resulting coating thickness exceeded the company's standards. For example, one part had an initial dimension of 3.7 mm, but after the coating process, it became 4.2 mm, resulting in an increase in thickness of 0.5 mm, exceeding the company's standard of 0.1 mm to 0.3 mm. This resulted in the entire part being unable to be directly installed into the assembly hole and requiring grinding of several parts before assembly. This study aims to identify discrepancies between coating thickness and the required dimensional tolerances in the part assembly process. This study used the Fishbone Diagram method to analyze the root cause of the problem in a structured manner. Measurements were taken using calipers on the part before and after the coating process. The measurement data were then analyzed using a Fishbone Diagram based on human, machine, method, material, and environmental factors.

Keywords: *Coating*, Coating Thickness, Dimensional Tolerance, Assembly, Machine Components

1. Pendahuluan

Dalam proses perakitan mesin, presisi dimensi menjadi faktor yang paling krusial, karna setiap part yang akan dirakit harus memiliki ukuran yang sesuai dengan toleransi yang sudah ditentukan sejak tahap desain oleh drafter, agar proses *assembly* bisa berjalan lancar dan hasil akhirnya sesuai yang diharapkan. Proses *assembly* secara manual ini sangat bergantung pada tenaga manusia, karna sebagian besar aktivitasnya masih mengandalkan kemampuan fisik pekerja. Aktivitas tersebut melibatkan beban kerja yang bervariasi seperti memasang bagian material, mengangkat, menekan, memutar, menarik, serta membawa [1]. Masalah yang sering muncul dan kurang disadari adalah pengaruh proses *finishing* seperti *coating* terhadap dimensi akhir pada komponen.

Coating merupakan proses pemberian lapisan yang penerapannya dilakukan pada permukaan dari suatu benda. Terdapat beberapa tujuan dari penerapan *coating* ini, seperti sebagai bentuk meningkatkan nilai estetis, fungsional maupun keduanya [2]. Bertujuan untuk melindungi komponen dari korosi, keausan, serta faktor lingkungan lainnya. Di kalangan *industry*, salah satu jenis yang paling umum digunakan adalah *powder coating*.

Powder coating adalah proses pelapisan logam menggunakan serbuk cat yang disemprotkan ke permukaan benda kerja, lalu dipanaskan hingga serbuk tersebut meleleh, menyatu, dan membentuk lapisan yang kuat. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan ketahanan permukaan, terutama terhadap goresan dan korosi. Dalam aplikasinya, serbuk *coating* diberi muatan listrik sehingga dapat menempel merata pada permukaan benda yang akan dilapisi. Setelah itu, lapisan yang terbentuk akan mengeras dan menghasilkan hasil akhir yang lebih tahan lama. Dibandingkan dengan cat cair konvensional, *powder coating* memiliki beberapa keunggulan. Salah satunya adalah *powder coating* tidak memerlukan penggunaan pelarut untuk menjaga bagian binder dan filler dalam bentuk suspensi cairnya [3] namun jika tidak dikontrol dengan baik, ketebalan lapisan yang terbentuk bisa melebihi toleransi yang diharapkan.

PT Nuvah Global Indonesia, yang bergerak di bidang *3D Printing Construction* dan berlokasi di Batam, Kepulauan Riau, bekerja sama dengan perusahaan Nuvah yang berpusat di Malaysia. Dalam proses produksinya, komponen logam pada mesin *3D Printing Construction* melalui tahap *powder coating* sebelum dilakukan *assembly*. Namun, berdasarkan pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan menggunakan jangka sorong, ditemukan bahwa seluruh part mengalami penambahan ketebalan *coating* melebihi standar perusahaan, yaitu 0,1–0,3 mm. Salah satu contoh menunjukkan part dengan dimensi awal 3,7 mm meningkat menjadi 4,2 mm setelah *coating*, sehingga terjadi penambahan sebesar 0,5 mm yang jelas melampaui batas standar yang ditetapkan.

Berdasarkan tinjauan pustaka dari berbagai penelitian yang mengkaji secara mendalam menunjukan bahwa variasi jumlah lapisan *coating* memiliki pengaruh signifikan terhadap ketebalan lapisan maupun lapisan laju korosi material. Secara spesifik, peningkatan jumlah lapisan *coating* menghasilkan ketebalan yang lebih besar, yang pada akhirnya menurunkan laju korosi secara efektif [4]. Temuan ini selaras dengan penelitian terdahulu yang di temukan bahwa penerapan penambahan lapisan *coating* secara signifikan meningkatkan ketebalan lapisan sekaligus memperkuat kekerasan permukaan material. Fenomena ini terjadi karena akumulasi material *coating* yang semakin banyak pada permukaan substrat logam, sehingga membentuk struktur lapisan yang lebih padat dan tahan terhadap deformasi [5]. Namun demikian, penelitian-penelitian tersebut belum membahas dampak ketebalan lapisan *coating* terhadap toleransi dimensi komponen dalam proses *assembly*. Oleh karna itu, penelitian ini di lakukan untuk mengidentifikasi ketidaksesuaian ketebalan *coating* terhadap proses *assembly*. Akibat kelebihan ketebalan *coating* ini cukup dirasakan di lapangan. Proses *powder coating* yang dilakukan tanpa acuan ketebalan yang jelas menyebabkan lapisan menjadi terlalu tebal dan membuat komponen tidak bisa langsung dipasang pada lubang *assembly*. Salah satu contoh menunjukkan part dengan dimensi awal 3,7 mm menjadi 4,2 mm setelah *coating*, sehingga terjadi

penambahan sebesar 0,5 mm yang melampaui standar yang ditetapkan. Kondisi ini membuat operator harus menggerinda bagian yang berlebih terlebih dahulu sebelum proses *assembly* dapat dilanjutkan, sehingga menambah waktu pengerjaan dan beban kerja yang seharusnya bisa dihindari.

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi ketidaksesuaian ketebalan *coating* terhadap proses *assembly part* menggunakan metode *Fishbone Diagram*. Adapun batasan penelitian yang ditetapkan meliputi penelitian hanya mencakup part yang melewati proses *powder coating* di PT Nuvah Global Indonesia, pengukuran ketebalan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,05 mm, analisis akar penyebab hanya menggunakan *Fishbone Diagram* berdasarkan lima faktor yaitu manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan serta, penelitian tidak mencakup pengujian sifat mekanis lapisan *coating* seperti kekerasan dan laju korosi.

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat bagi beberapa pihak. Bagi perusahaan, hasil penelitian dapat menjadi bahan evaluasi untuk memperbaiki proses *powder coating* sehingga proses *assembly* berjalan lebih efisien tanpa penggerindaan tambahan. Bagi peneliti, penelitian ini menjadi sarana penerapan ilmu teknik mesin di bidang manufaktur dan pengendalian kualitas secara langsung di lapangan. Bagi akademik, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengendalian ketebalan *coating* pada komponen mesin. Secara keseluruhan, hasil penelitian diharapkan memberikan gambaran yang jelas mengenai besarnya penyimpangan yang terjadi sebagai masukan bagi perusahaan dalam meningkatkan konsistensi proses *coating* sesuai standar yang ditetapkan.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di workshop PT Nuvah Global Indonesia, Batam selama periode magang berlangsung. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif yaitu berbasis data hasil pengukuran langsung di lapangan menggunakan jangka sorong, yang kemudian dianalisis menggunakan metode *Fishbone Diagram* untuk mengidentifikasi akar penyebab ketidaksesuaian ketebalan *coating*. Penelitian ini dilakukan langsung di workshop *assembly* perusahaan sehingga data yang diperoleh benar-benar kondisi aktual yang terjadi, bukan simulasi atau rekayasa data.

2.1 Metode *Fishbone Diagram*

Fishbone Diagram (diagram tulang ikan — karena bentuknya seperti tulang ikan) sering juga disebut *Cause-and-Effect Diagram* atau *Ishikawa Diagram* diperkenalkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa, seorang ahli pengendalian kualitas dari Jepang, sebagai satu dari tujuh alat kualitas dasar (*7 basic quality tools*). *Fishbone Diagram* digunakan ketika kita ingin mengidentifikasi kemungkinan penyebab masalah [6]. Dalam penelitian ini, masalah utama yang dianalisis adalah ketidaksesuaian ketebalan *coating* yang menyebabkan *part* tidak dapat langsung dipasang pada proses *assembly*.

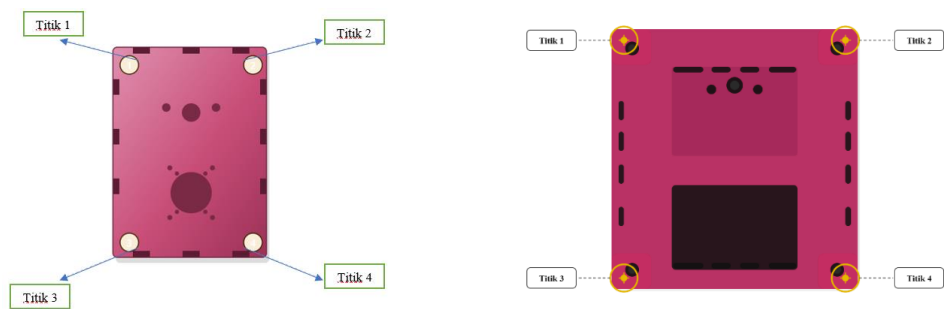
Fishbone Diagram telah terbukti efektif dalam membantu tim produksi menganalisis masalah secara visual dan terstruktur. Penelitian-penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa metode ini mampu mengungkap faktor dominan penyebab cacat, seperti bahan baku yang buruk atau ketidakefisienan prosedur kerja [7]. Analisis dilakukan berdasarkan lima kategori faktor penyebab yaitu manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan. Data untuk penyusunan *Fishbone Diagram* diperoleh dari hasil observasi langsung, pengukuran, dan wawancara dengan teknisi serta drafter perusahaan.

2.2 Pengukuran Ketebalan *Coating*

Pengukuran dilakukan menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,05 mm pada sejumlah part sebelum dan sesudah proses *powder coating*. Data yang diambil meliputi dimensi awal *part* sebelum *coating*, dimensi akhir part sesudah *coating*, serta selisih ketebalan yang terbentuk. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan standar ketebalan *coating* yang ditetapkan perusahaan yaitu 0,1 hingga 0,3 mm untuk menentukan sejauh mana ketidaksesuaian yang terjadi. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik di setiap part untuk memastikan data yang diperoleh *representative*.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Data Sampel 1, 2, dan 3 yang tidak sesuai standar menyebabkan part tidak dapat langsung dipasang pada tahap assembly mesin 3D *Construction Printer*, sehingga tim produksi harus melakukan gerinda manual terlebih dahulu. Langkah ini berdampak pada penambahan waktu produksi, potensi penurunan kualitas permukaan, dan risiko berkurangnya ketebalan lapisan pelindung di bawah batas minimum. Rata-rata penambahan ketebalan seluruh sampel sebesar 0,35 mm yang melampaui batas standar 0,30 mm mengonfirmasi bahwa proses *coating* secara keseluruhan belum dalam kondisi *in-control*, meskipun dua sampel telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.



Gambar 1: Lokasi Titik Pengukuran Ketebalan *Coating* pada Sampel Bracket Assembly

2.4 Alat yang Digunakan

Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah jangka sorong dengan ketelitian 0,05mm untuk mengukur ketebalan part sebelum dan sesudah proses *coating*. Kamera handphone digunakan untuk dokumentasi visual kondisi *part* dan hasil *coating*. Lembar observasi disiapkan sebagai alat pencatatan data selama pengambilan data di lapangan.

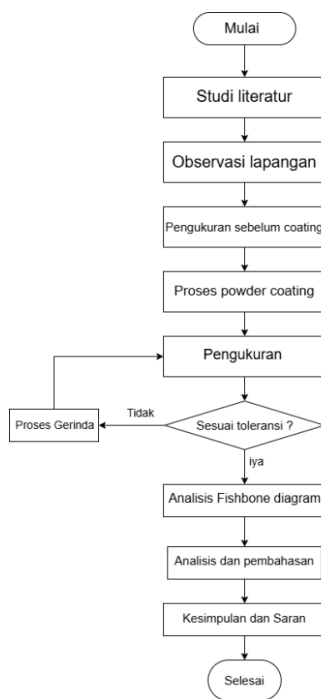
Tabel 1. Spesifikasi Alat Ukur

Spesifikasi	Keterangan
Nama Alat	Jangka Sorong (Vernier Caliper)
Ketelitian	0,05 mm
Skala	Metrik (mm) dan Imperial (inch)
Titik Ukur per Sampel	4 titik (4 pojok part)
Jumlah Sampel	5 sampel part logam bracket assembly

Sumber: Data penelitian, 2026

2.5 Alur Penelitian

Penelitian ini diawali studi literatur untuk memperoleh pemahaman yang memadai mengenai proses *powder coating*, konsep toleransi dimensi dalam manufaktur, serta metode *Fishbone Diagram* sebagai alat analisis akar penyebab masalah. Setelah landasan teori terbentuk, dilakukan observasi langsung di lapangan untuk mengenali alur proses produksi sekaligus mengidentifikasi permasalahan yang terjadi secara nyata di workshop PT Nuvah Global Indonesia.



Gambar 2 : Flowchart

Pengumpulan data kuantitatif dilakukan dengan mengukur dimensi part sebelum dan sesudah proses *powder coating* menggunakan jangka sorong, kemudian menghitung selisih keduanya sebagai nilai penambahan ketebalan *coating*. Data hasil pengukuran selanjutnya dibandingkan dengan standar perusahaan sebesar 0,10–0,30 mm untuk mengetahui sejauh mana ketidaksesuaian yang terjadi di lapangan. Berdasarkan data tersebut, dilakukan analisis menggunakan *Fishbone Diagram* guna mengidentifikasi akar penyebab terjadinya *over coating* ditinjau dari faktor manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan. Hasil analisis kemudian disusun menjadi kesimpulan yang disertai rekomendasi perbaikan sebagai masukan bagi perusahaan ke depannya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Pengukuran Ketebalan Coating

Pengukuran ketebalan dilakukan terhadap lima sampel *part* logam komponen mesin 3D *Construction Printer* menggunakan jangka sorong (*vernier caliper*) merk JPS dengan ketelitian 0,05 mm. Metode yang diterapkan adalah metode diferensial, yaitu mengukur ketebalan *part* sebelum dan sesudah proses *powder coating*, kemudian menghitung selisihnya sebagai nilai penambahan ketebalan akibat lapisan *coating*. Pada setiap sampel, pengukuran dilakukan di empat titik berbeda untuk meminimalkan kesalahan dan menghasilkan nilai rata-rata yang lebih representatif. Standar ketebalan penambahan *coating* yang ditetapkan PT Nuvah Global Indonesia adalah 0,10–0,30 mm, berdasarkan kebutuhan dimensional agar *part* dapat langsung dirakit tanpa proses permesinan tambahan. *Part* yang menghasilkan penambahan dalam rentang tersebut diklasifikasikan sebagai Sesuai, sedangkan yang melampaui 0,30 mm diklasifikasikan sebagai Tidak Sesuai dan harus melalui proses penggerindaan sebelum dapat digunakan pada tahap *assembly*.

Tabel 2. Data Pengukuran Ketebalan *Coating* 5 Sampel Part Logam Komponen Mesin 3D

No.	Sebelum Coating (mm)	Titik 1 (mm)	Titik 2 (mm)	Titik 3 (mm)	Titik 4 (mm)	Rata-rata Sesudah (mm)	Penambahan Tebal (mm)	Keterangan
1	3.70	4.10	4.20	4.30	4.30	4.23	0.53	Tidak Sesuai
2	3.70	4.20	4.15	4.25	4.30	4.23	0.53	Tidak Sesuai
3	3.70	4.00	4.05	4.00	4.05	4.03	0.33	Tidak Sesuai
4	3.70	3.85	3.90	3.95	3.88	3.90	0.19	Sesuai
5	3.70	3.82	3.88	3.85	3.90	3.86	0.16	Sesuai
Rata-rata Keseluruhan						4.05	0.35	Standar: 0,1–0,3 mm
Batas Atas Standar Perusahaan						4.00	0.30	Nilai maksimum
Batas Bawah Standar Perusahaan						3.80	0.10	Nilai minimum

Sumber: Data pengukuran langsung di PT Nuvah Global Indonesia, 2026

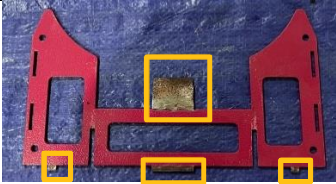
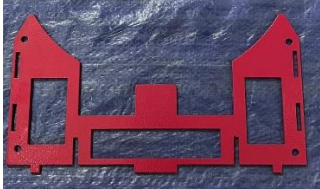
3.2 Analisis Data Hasil Pengukuran

Berdasarkan data yang tersaji pada Tabel 2, hasil pengukuran menunjukkan variasi kondisi ketebalan *coating* antar sampel. Dari total lima sampel yang diukur, sebanyak tiga sampel (60%) memiliki penambahan ketebalan di atas standar 0,3 mm menunjukkan bahwa proses *powder coating* di PT Nuvah Global Indonesia belum sepenuhnya berada dalam kondisi terkendali. Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian *powder coating* yang melaporkan bahwa perubahan parameter proses, seperti posisi pemanas atau jarak *spray*, berpengaruh signifikan terhadap ketebalan lapisan sehingga dapat menimbulkan ketidakkonsistenan hasil apabila tidak dikendalikan secara sistematis [8].

Variasi hasil antar sampel mengindikasikan bahwa proses *powder coating* di PT Nuvah Global Indonesia belum berjalan secara konsisten dan terkendali. Sampel 4 dan 5 yang memenuhi standar membuktikan bahwa secara teknis proses *coating* mampu menghasilkan output yang sesuai spesifikasi, namun ketidakkonsistenan pada sampel lainnya mengindikasikan masih terdapat faktor-faktor yang belum teridentifikasi dan terkendalikan dengan baik selama proses berlangsung. Penelitian di Jurnal Mesin Material Manufaktur dan Energi menunjukkan bahwa ketebalan lapisan *powder coating* dijadikan salah satu parameter utama dalam penilaian kekuatan lapisan dan kualitas permukaan, sehingga kontrol ketebalan menjadi krusial dalam proses produksi [9].

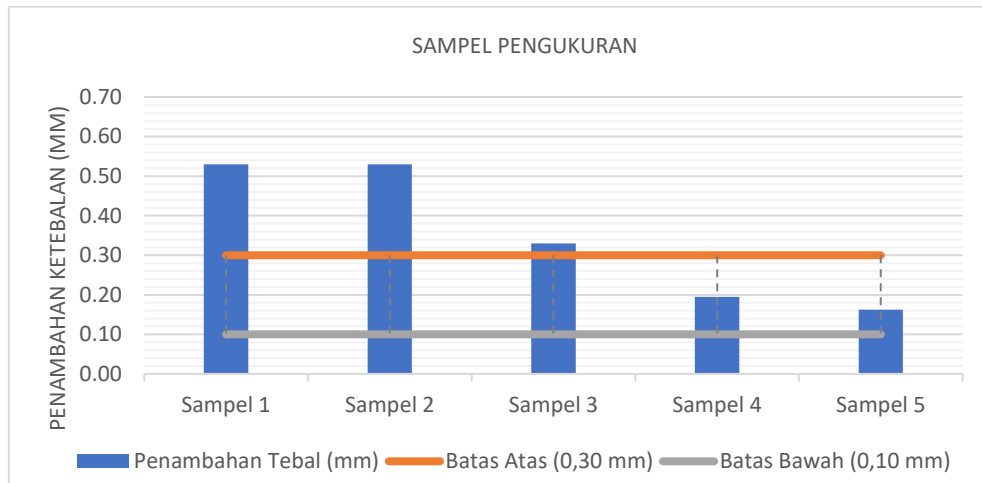
Ketidaksesuaian pada Sampel 1, 2, dan 3 berdampak langsung pada proses *assembly* mesin 3D *Construction Printer*, di mana *part* tidak dapat langsung dipasang karena dimensinya melampaui toleransi yang dibutuhkan. Akibatnya, tim produksi harus melakukan gerinda manual terlebih dahulu, yang mengakibatkan pada bertambahnya waktu produksi, potensi penurunan kualitas permukaan, serta risiko berkurangnya ketebalan lapisan pelindung di bawah batas minimum. Rata-rata penambahan ketebalan dari seluruh sampel sebesar 0,35 mm melampaui batas atas standar 0,30 mm menunjukkan bahwa meskipun sebagian sampel telah memenuhi spesifikasi, proses *coating* secara keseluruhan belum berada dalam kondisi *in-control* sebagaimana dipersyaratkan dalam pengendalian kualitas proses manufaktur.

Tabel 3. Sampel Part komponen 3D printing

NO	PART 1	PART 2	Kondisi	KETERANGAN
1			DEFECT	Proses gerinda pada bagian yang mengalami over coating agar dapat di lakukan <i>assembly</i>
2			Sesuai Standar	Dapat langsung digunakan pada proses perakitan (<i>assembly</i>).

3.3 Perbandingan Hasil Pengukuran terhadap Standar Perusahaan

Untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai hasil pengukuran terhadap standar yang berlaku, data penambahan ketebalan *coating* dari kelima sampel disajikan secara visual dalam bentuk diagram batang pada Gambar 3. Visualisasi ini memudahkan pembacaan posisi setiap sampel relatif terhadap batas standar perusahaan, sekaligus memperlihatkan besaran deviasi pada sampel-sampel yang tidak memenuhi persyaratan.



Gambar 3 : Diagram Batang Perbandingan Penambahan Ketebalan *Coating* terhadap Standar Perusahaan

Berdasarkan Gambar 3, dari lima sampel yang diukur, tiga di antaranya menghasilkan penambahan ketebalan *coating* yang melampaui batas atas standar perusahaan sebesar 0,30 mm. Sampel 1 dan Sampel 2 mencatat nilai tertinggi, yaitu masing-masing 0,53 mm atau sekitar 76,7% di atas batas maksimum yang diperbolehkan. Sampel 3 juga melampaui standar meskipun dengan selisih yang lebih kecil, yakni 0,33 mm atau terpaut 0,03 mm dari batas atas. Sampel 4 dan Sampel 5 menghasilkan penambahan sebesar 0,20 mm dan 0,16 mm, keduanya masih dalam rentang standar 0,10–0,30 mm. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses powder *coating* di PT Nuvah Global Indonesia sebenarnya mampu memenuhi standar, namun belum dapat dilakukan secara konsisten pada seluruh sampel. Untuk mengidentifikasi penyebab ketidaksesuaian tersebut secara sistematis, penelitian ini menggunakan pendekatan *root cause analysis* melalui *fishbone diagram* berdasarkan lima faktor utama, sebagaimana diuraikan pada subbab berikutnya.

3.4 HASIL DAN ANALISIS DATA KUESIONER

3.4.1 Profil Responden

Pengumpulan data kuesioner dalam penelitian ini dilakukan kepada tiga responden yang secara langsung berkaitan dengan proses *powder coating* di PT Nuvah Global Indonesia, terdiri dari satu orang drafter dan dua orang operator *coating*. Kuesioner yang digunakan terdiri dari 20 pertanyaan untuk masing-masing responden, mencakup lima faktor analisis yang terdiri dari *Man*, *Machine*, *Method*, *Material*, *Environment* (4M1E) dengan skala penilaian frekuensi 1 hingga 5. Data hasil pengisian kuesioner secara lengkap disajikan pada Lampiran..

3.4.2 Hasil Kuesioner Operator Coating

Rekapitulasi hasil pengisian kuesioner oleh kedua operator *coating* disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Data ini memberikan gambaran mengenai kondisi aktual pelaksanaan proses *powder coating* dari sudut pandang operator yang menjalankan proses secara langsung. Adapun keterangan dari kategori yang terdapat Pada hasil kuesioner seperti yang terdapat pada table 4 adalah sebagai berikut:

- a) Selalu (bernilai 5) → dilaksanakan pada setiap pekerjaan atau setiap penerbitan gambar teknik tanpa pengecualian (≥ 4 kali dalam sebulan atau dilakukan pada seluruh pekerjaan).
- b) Sering (bernilai 4) → dilaksanakan pada hampir seluruh pekerjaan, namun pada kondisi tertentu belum dilaksanakan (3 kali dalam sebulan atau sekitar 75% dari total pekerjaan).
- c) Kadang-kadang (bernilai 3) → Dengan dilaksanakan hanya pada sebagian pekerjaan atau tergantung jenis part maupun kebutuhan produksi (1–2 kali dalam sebulan atau sekitar 50% dari total pekerjaan).
- d) Jarang (bernilai 2) → Dengan dilaksanakan hanya pada beberapa pekerjaan tertentu dan bukan merupakan kebiasaan kerja (kurang dari 1 kali dalam sebulan atau $< 25\%$ dari total pekerjaan).
- e) Tidak Pernah (bernilai 1) → Tidak pernah dilaksanakan pada pekerjaan yang menjadi tanggung jawab responden (0 kali atau tidak pernah sama sekali).

Data kuesioner yang telah diisi oleh responden diolah dengan cara mengkonversi setiap jawaban ke dalam nilai numerik berdasarkan skala yang telah ditetapkan. Selanjutnya, skor dari keempat pertanyaan pada masing-masing faktor dijumlahkan untuk memperoleh total skor per faktor, kemudian dibagi dengan jumlah pertanyaan untuk mendapatkan nilai rata-rata per faktor, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\text{Rata-rata faktor} = \text{Total skor faktor} \div \text{Jumlah pertanyaan}$$

Apabila terdapat lebih dari satu responden, nilai rata-rata per faktor dari seluruh responden dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah responden untuk memperoleh rata-rata gabungan. Nilai rata-rata gabungan tersebut kemudian diinterpretasikan menggunakan kategori sebagaimana disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4. Rentang Nilai

Rentang Nilai	Kategori
4,51 – 5,00	Selalu
3,51 – 4,50	Sering
2,51 – 3,50	Kadang-kadang
1,51 – 2,50	Jarang
1,00 – 1,50	Tidak Pernah

Tabel 5. Rekap Skor Kuesioner operator 1.

No.	Faktor	Total Skor	Rata-rata	Kategori
1	<i>Man</i> (Manusia)	13	3,25	Kadang-kadang
2	<i>Machine</i> (Mesin)	17	4,25	Sering
3	<i>Method</i> (Metode)	18	4,50	Selalu
4	<i>Material</i>	18	4,50	Selalu
5	<i>Environment</i> (Lingkungan)	19	4,75	Selalu

Sumber: Data kuesioner, 2026

Berdasarkan Tabel 5, faktor *Man* (Manusia) memperoleh rata-rata skor terendah dari Operator 1, yaitu sebesar 3,25 dengan kategori "Kadang-kadang". Rendahnya nilai ini disebabkan oleh dua indikator yang memperoleh skor paling rendah, yakni kepemilikan sertifikasi kompetensi *powder coating* yang mendapat skor 1 (Tidak Pernah) dan frekuensi pelatihan yang mendapat skor 3 (Kadang-kadang). Kondisi ini menunjukkan bahwa operator belum memiliki kompetensi formal yang terstandarisasi dalam bidang proses pelapisan logam, sehingga proses dilakukan berdasarkan kebiasaan tanpa mengacu pada parameter yang terukur.

Tabel 6. Rekap Skor Kuesioner Operator 2.

No.	Faktor	Total Skor	Rata-rata	Kategori
1	<i>Man</i> (Manusia)	13	3,25	Kadang-kadang
2	<i>Machine</i> (Mesin)	16	4,00	Sering
3	<i>Method</i> (Metode)	19	4,75	Selalu
4	<i>Material</i>	16	4,00	Sering
5	<i>Environment</i> (Lingkungan)	16	4,00	Sering

Sumber: Data kuesioner, 2026

Berdasarkan Tabel 6, faktor *Man* (Manusia) juga memperoleh rata-rata terendah dari Operator 2, yaitu sebesar 3,25 dengan kategori "Kadang-kadang". Hasil ini konsisten dengan temuan pada Operator 1, di mana indikator kepemilikan sertifikasi kompetensi mendapat skor 1 (Tidak Pernah) dan frekuensi pelatihan mendapat skor 2 (Jarang). Konsistensi rendahnya skor faktor *Man* dari kedua operator semakin memperkuat indikasi bahwa kompetensi operator menjadi faktor yang paling lemah dalam proses *powder coating* di PT Nuvah Global Indonesia.

3.4.3 Hasil Kuesioner Drafter

Hasil pengisian kuesioner oleh drafter disajikan pada Tabel 7. Data ini memberikan gambaran mengenai kondisi proses pembuatan gambar teknik yang menjadi acuan produksi, khususnya terkait pencantuman toleransi dimensi.

Tabel 7. Rekap Skor Kuesioner Drafter

No.	Faktor	Total Skor	Rata-rata	Kategori
1	<i>Man</i> (Manusia)	16	4.00	Sering
2	<i>Machine</i> (Mesin/Perangkat)	15	3.75	Sering
3	<i>Method</i> (Metode)	16	4.00	Sering
4	<i>Material</i>	20	5.00	Selalu
5	<i>Environment</i> (Lingkungan)	19	4.75	Selalu
Total / Rata-rata Keseluruhan		86	4.30	Sering

Sumber: Data kuesioner, 2026

Berdasarkan Tabel 7, faktor *Machine* (Mesin/Perangkat) memperoleh rata-rata skor terendah dari sisi drafter, yaitu sebesar 3,75 dengan kategori "Sering". Rendahnya skor pada faktor ini disebabkan oleh indikator nomor 8 mengenai frekuensi kesalahan teknis pada software Solidwork yang mendapat skor 1 (Tidak Pernah), yang berarti kesalahan teknis pada software masih terjadi dan berpotensi menyebabkan informasi toleransi tidak tercantum pada gambar akhir. Faktor *Man* dan *Method* dari sisi drafter masing-masing memperoleh rata-rata 4,00 (Sering), yang mengindikasikan bahwa proses konsultasi sebelum penerbitan gambar teknik dan prosedur *review* gambar belum dilakukan secara konsisten pada seluruh pekerjaan. Di sisi lain faktor *Material* dan *Environment* memperoleh skor tertinggi, masing-masing 5,00 dan 4,75 yang mencerminkan ketersediaan informasi material dan kondisi lingkungan kerja yang sudah sangat baik

3.4.4 Analisis Gabungan dan Keterkaitan dengan Fishbone Diagram

Untuk memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh, rata-rata skor dari kedua responden digabungkan dan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 8. Rekapitulasi Skor Kuesioner Operator dan Drafter

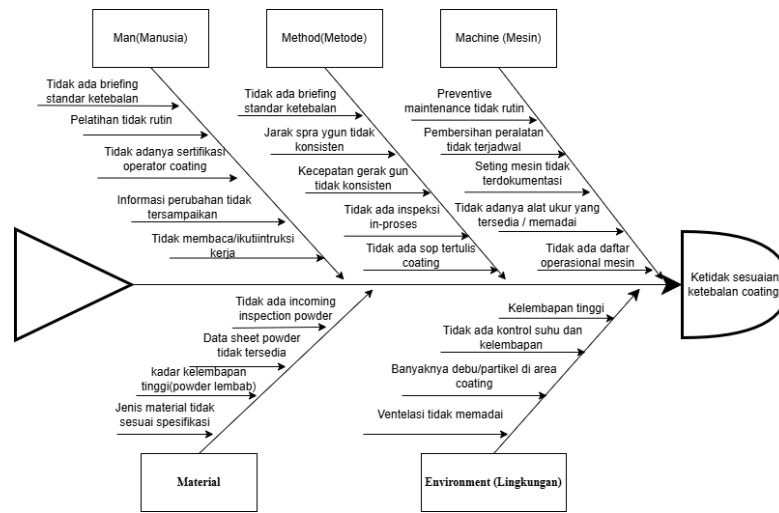
No.	Faktor	(Drafter)	(Operator 1)	(Operator 2)	Rata-rata Gabungan	Kategori
1	<i>Man</i> (Manusia)	4,00	3,25	3,25	3,50	Sering
2	<i>Machine</i> (Mesin)	3,75	4,25	4,00	4,00	Sering
3	<i>Method</i> (Metode)	4,00	4,50	4,75	4,42	Sering
4	<i>Material</i>	5,00	4,50	4,00	4,50	Selalu
5	<i>Environment</i> (Lingkungan)	4,75	4,75	4,00	4,50	Selalu

Sumber: Data kuesioner, 2026

Berdasarkan Tabel 8, faktor *Man*, *Machine*, dan *Method* menjadi penyebab utama ketidaksesuaian ketebalan *coating* karena ketiganya berada pada kategori "Sering". Hal ini menunjukkan bahwa masalah utama berasal dari kompetensi operator yang belum bersertifikasi, informasi toleransi yang belum tercantum jelas pada gambar teknik, dan prosedur kerja yang belum konsisten. Temuan ini juga sejalan dengan hasil *fishbone* diagram, sehingga dapat disimpulkan bahwa ketidaksesuaian *coating* di PT Nuvah Global Indonesia dipengaruhi oleh faktor manusia, mesin, dan metode kerja yang belum terstandarisasi.

3.4.5 Analisis Fishbone Diagram

Berdasarkan seluruh data yang diperoleh dari pengukuran langsung dan hasil kuesioner, analisis *fishbone diagram* atau *cause and effect diagram* disusun untuk mengidentifikasi akar penyebab ketidaksesuaian ketebalan *coating* secara sistematis. Diagram ini mengkategorikan penyebab ke dalam lima faktor 4M1E sebagaimana ditunjukkan pada Diagram 1.



Gambar 4. Fishbone Diagram ketidak sesuaian ketebalan coating

Dari sisi *Man*, operator belum memiliki sertifikasi kompetensi, pelatihan belum dilakukan secara rutin, dan tidak ada briefing terkait standar ketebalan sebelum proses dimulai. Akibatnya, proses *coating* berjalan berdasarkan kebiasaan tanpa acuan yang jelas. Pada faktor *Method*, tidak tersedia SOP tertulis dan tidak ada inspeksi ketebalan selama proses berlangsung, sehingga ketidaksesuaian baru diketahui setelah pekerjaan selesai. Pada faktor *Machine*, setting mesin tidak terdokumentasi dan tidak ada daftar operasional yang baku, sehingga pengaturan mesin sepenuhnya bergantung pada operator. Pada faktor *Material*, tidak dilakukan *incoming inspection* dan datasheet *powder coating* tidak tersedia sebagai acuan proses. Sementara itu, pada faktor *Environment*, kelembaban tinggi di Batam dan tidak adanya kontrol suhu berpotensi memengaruhi hasil *coating*, meskipun faktor ini bukan penyebab utama berdasarkan hasil kuesioner.

Berdasarkan analisis menggunakan *fishbone diagram*, terdapat tiga faktor yang menyebabkan terjadinya cacat, yaitu faktor manusia, metode, dan mesin. Faktor manusia menjadi pemicu utama karena *human error* dan kurangnya konsentrasi operator [10]. Kualitas produk menjadi aspek yang sangat penting untuk menjamin kualitas produk di market, dan perusahaan harus memfokuskan perhatian pada tingkat mutu produk untuk mencapai keunggulan kompetitif [11].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengukuran langsung terhadap lima sampel *part* logam komponen mesin *3D Construction Printer* di PT Nuvah Global Indonesia, ditemukan bahwa tiga dari lima sampel menghasilkan penambahan ketebalan *coating* yang melebihi batas toleransi dimensi perusahaan, dengan nilai penambahan tertinggi mencapai 0,53 mm. Ketidaksesuaian tersebut menyebabkan *part* tidak dapat langsung digunakan pada proses *assembly* dan harus melalui proses *rework* berupa penggerindaan, sehingga berdampak pada bertambahnya waktu proses dan biaya produksi. Berdasarkan analisis menggunakan *Fishbone Diagram* yang didukung oleh hasil kuesioner, faktor *Man*, *Method*, dan *Machine* merupakan faktor yang paling dominan menyebabkan ketidaksesuaian ketebalan *coating*. Permasalahan tersebut berkaitan dengan pelaksanaan pelatihan operator yang belum dilakukan secara rutin, belum diterapkannya prosedur kerja yang konsisten, serta pengaturan parameter mesin yang belum terdokumentasi secara baku. Oleh karena itu, perusahaan disarankan untuk menyusun dan menerapkan SOP proses *powder coating*, melaksanakan pelatihan internal bagi operator secara berkala, serta melakukan kajian teknis bersama tim *engineering* untuk mengevaluasi kesesuaian toleransi ketebalan *coating* pada gambar teknik dengan mempertimbangkan kebutuhan proses *assembly*, fungsi komponen, dan kualitas produk sebelum dilakukan perubahan terhadap spesifikasi yang berlaku.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Andriyansyah, “Perancangan Dan Pembuatan Mesin DESIGN AND ASSEMBLY CANTILEVER 3D PRINTER MACHINE Program Studi Teknik Mesin , Sekolah Tinggi Teknologi 1 . PENDAHULUAN metode additive manufacturing . Metode ini mempunyai cara kerja menumpuk material dideposisikan sesuai,” *J. Abdi Masya*, vol. 1, no. 2, pp. 108–114, 2021.
- [2] A. B. Aji, A. W. B. Santosa, and I. P. Mulyatno, “Analisa Pengaruh Variasi Ketebalan Serta Jenis Coating Pada Pelat Baja SS400 Terhadap Laju Korosi dan Uji Adhesi,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12, no. 2, pp. 1–9, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [3] R. A. Pratama, W. Saputro, A. Nurmawati, A. R. Y. Sunarti, and A. Saputro, “Efisiensi Oven Curing dalam Meningkatkan Kematangan Powder dalam Proses Powder Coating pada Pabrik Aluminium Ekstrusi,” *R.E.M (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 9, no. 2, 2024, [Online]. Available: <http://doi.org/10.21070/rem.v9i2.1702>
- [4] M. Sefian, D., Andriyansah, D., “Pengaruh Jumlah Lapisan Powder Coating Jotun Pada Mate-,” 2025, [Online]. Available: <https://journalcenter.org/index.php/JURITEK/article/view/5360>
- [5] R. Rakiman, H. Hanif, M. Menhendry, M. Maimuzar, and Y. Yetri, “Analisa Kekerasan dan Ketebalan Permukaan Lapisan Hasil Elektroplating Kuningan Pada Baja,” *JST (Jurnal Sains Ter.*, 2021, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:237887279>
- [6] B. Suzaldi, “Blog Eris Fishbone Diagram dan Langkah-Langkah Pembuatannya,” *Eriskusnadi.Com*, pp. 1–10, 2011, [Online]. Available: <https://eriskusnadi.com/2011/12/24/fishbone-diagram-dan-langkah-langkah-pembuatannya/>
- [7] G. Ramadhan and E. Pujihartanti, “Anlisi penyebab kecacatan produk topi menggunakan metode Fishbone Diagram di PT Jawara Tiga Sekawan,” *J. Ris. Multidisiplin*, vol. 2, no. 9, pp. 400–407, 2025.
- [8] M. V. No, “Jurnal Mesin Material Manufaktur dan Energi Analisa Pengaruh Variasi Posisi Pemanas Heater pada Oven Mesin,” vol. 6, no. 1, pp. 27–36, 2026.
- [9] O. V. No, D. S. Saputra, and G. A. Pohan, “Jurnal Mesin Material Manufaktur dan Energi Analisa Pengaruh Variasi Ukuran Mesh dan Waktu Menggunakan,” vol. 4, no. 2, pp. 105–110, 2024.
- [10] Sajidah Tiara Ayu Wiranda and Iriani Iriani, “Upaya Meminimalisir Tingkat Cacat Proses Produksi Pada Fabrikasi Pipe Support MSP – Triraya Menggunakan Metode Fishbone Diagram Dan 5w + 1H,” *Venus J. Publ. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 2, no. 1, pp. 45–54, 2024, doi: 10.61132/venus.v2i1.82.
- [11] N. Februari, U. Pembangunan, N. Veteran, and J. Timur, “Pengendalian Kualitas Pengelasan Pada Project Fabrikasi Metal Duct MBI Menggunakan Metode SQC Dan FMEA Tiara Nuriyah Sani Mutu Statistik berfungsi sebagai alat yang sangat efektif untuk memastikan bahwa produk meningkatkan proses produksi . Metode Statist,” *Metod. Stat.*, vol. 3, no. 1, 2024.