



Pengaruh Variasi Temperatur Pengeringan terhadap Ketebalan dan Homogenitas Lapisan Cat pada Pelat Logam

Influence of Drying Temperature Variation on the Thickness and Homogeneity of Paint Coatings on Metal Plates

Intan Burtian^{1*}, Donny Fernandez¹, M. Yasep Setiawan¹, Ahmad Arif¹

Abstrak

Pengecatan pada substrat logam berperan penting dalam perlindungan korosi dan sangat dipengaruhi oleh ketebalan lapisan cat. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh temperatur pengeringan oven terhadap ketebalan lapisan cat pada pelat logam. Metode yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif dengan variasi temperatur pengeringan 40, 50, dan 60 °C selama 20 menit menggunakan cat *Nitrocellulose-Alkyd*; ketebalan lapisan diukur dengan mikroskop metalurgi dan dianalisis dengan ANOVA satu arah. Hasil menunjukkan bahwa kenaikan temperatur pengeringan menurunkan ketebalan lapisan cat, dengan ketebalan rata-rata 89,986 μm pada 40 °C; 78,315 μm pada 50 °C; dan 66,675 μm pada 60 °C. Nilai F_{hitung} (2,59) lebih kecil daripada F_{tabel} (5,14), sehingga perbedaan ketebalan tidak signifikan secara statistik, namun secara teknis temperatur 40 °C memberikan kombinasi terbaik antara ketebalan dan konsistensi lapisan untuk menjaga performa protektif dan estetika pengecatan.

Kata Kunci

ANOVA satu arah; ketebalan lapisan cat; mikroskop metalurgi; substrat logam; temperatur pengeringan.

Abstract

Coating metal substrates is essential for corrosion protection and strongly depends on paint coating thickness. This study investigates the effect of oven drying temperature on paint coating thickness on steel plates. A quantitative experimental method was applied using Nitrocellulose-Alkyd paint dried at 40, 50, and 60 °C for 20 min; coating thickness was measured with a metallurgical microscope and analyzed using one-way ANOVA. The results show that increasing drying temperature decreases coating thickness, with average values of 89.986 μm at 40 °C, 78.315 μm at 50 °C, and 66.675 μm at 60 °C, accompanied by larger standard deviations. The F statistic (2.59) is lower than the critical F value (5.14), indicating no statistically significant difference; however, from a technical viewpoint, drying at 40 °C provides the best compromise between coating thickness and consistency to maintain protective and aesthetic performance.

Keywords

Drying temperature; metal substrate; metallurgical microscope; one-way ANOVA; paint coating thickness.

¹ Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang Sumatera Barat, Indonesia

* intanbrtn@gmail.com

Dikirimkan: 26 Oktober 2025. Diterima: 23 November 2025. Diterbitkan: 15 Desember 2025.



PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi yang berkembang pesat, khususnya pada sektor industri otomotif dan konstruksi, mendorong peningkatan penggunaan logam sebagai material utama dalam berbagai aplikasi. Namun, logam memiliki kelemahan utama, yaitu mudah mengalami korosi apabila terpapar lingkungan terbuka yang mengandung kelembapan, oksigen, dan zat kimia tertentu. Untuk mencegah kerusakan tersebut, permukaan logam perlu diberi perlindungan melalui pelapisan cat pelindung yang berfungsi menghambat laju korosi serta mempertahankan integritas struktural komponen.

Pengecatan merupakan proses penting dalam industri otomotif yang bertujuan tidak hanya memperindah tampilan produk, tetapi juga melindungi permukaan dari kerusakan fisik dan korosi akibat pengaruh lingkungan [1]. Proses ini umumnya terdiri atas beberapa tahapan yang saling berkaitan, yaitu persiapan permukaan (*surface preparation*), aplikasi bahan cat (*coating*), serta pengeringan (*drying/curing*) yang secara keseluruhan menentukan kualitas lapisan pelindung yang terbentuk [2]. Apabila proses-proses tersebut, khususnya pengeringan, tidak berlangsung dengan baik, hasil pengecatan dapat mengalami pengelupasan, retak, daya lekat yang kurang sempurna pada permukaan logam, serta penurunan ketahanan terhadap kondisi lingkungan seperti temperatur tinggi dan kelembapan. Selain itu, kualitas cat juga akan menurun seiring masa pakai akibat pengaruh cuaca, kotoran, debu, dan berbagai kontaminan lainnya [3].

Di antara tahapan pengecatan, pengeringan merupakan faktor kunci yang menentukan keberhasilan *coating* karena berhubungan langsung dengan mekanisme penguapan pelarut dan pembentukan lapisan padat. Penguapan pelarut yang terlalu cepat maupun terlalu lambat dapat menyebabkan lapisan cat menjadi tidak rata, retak, atau bahkan mudah terkelupas. Untuk memperoleh kondisi pengeringan yang lebih terkontrol, industri banyak menggunakan oven pengecatan agar suhu merata dan proses terlindung dari kontaminasi debu [4]. Temperatur dan waktu pengeringan yang tidak sesuai dengan prosedur akan berpengaruh langsung terhadap ketebalan lapisan cat. Ketebalan lapisan ini harus memenuhi standar tertentu; misalnya, standar ketebalan cat yang ideal pada mobil keluaran Eropa adalah sekitar 160–170 mikron, sedangkan mobil keluaran Jepang sekitar 90–100 mikron [5]. Dengan demikian, pengaturan parameter pengeringan menjadi krusial agar ketebalan lapisan cat berada dalam rentang yang disyaratkan.

Pengendalian ketebalan lapisan cat umumnya dilakukan menggunakan alat *thickness gauge* yang dirancang khusus untuk mengukur ketebalan lapisan pelapis pada substrat logam. Namun, dalam konteks penelitian yang juga memerlukan pengamatan karakteristik mikro lapisan cat, diperlukan metode pengukuran yang mampu menampilkan profil penampang lapisan secara lebih rinci. Untuk tujuan tersebut, digunakan mikroskop metalurgi yang tidak hanya berfungsi untuk mengukur ketebalan lapisan cat, tetapi juga untuk mengamati cacat mikro seperti porositas, retakan halus, atau delaminasi antara cat dan substrat logam yang sulit dideteksi oleh metode lain. Mikroskop metalurgi bekerja dengan memanfaatkan pantulan cahaya pada permukaan logam menggunakan lensa objektif dengan pembesaran hingga 10 kali [6].

Secara praktik, pengecatan dapat dilakukan di ruang terbuka maupun di ruang tertutup seperti *spray booth*. Pengecatan di ruang terbuka banyak digunakan pada industri kecil dan menengah karena lebih ekonomis dibandingkan pengoperasian *spray booth* [7]. Namun, proses di ruang terbuka sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca, seperti hujan, angin, dan fluktuasi suhu, yang dapat mengganggu proses pengecatan dan menghasilkan kualitas lapisan yang tidak konsisten. Sebaliknya, penggunaan *spray booth* memungkinkan pengendalian beberapa parameter penting, antara lain temperatur, tekanan, arah aliran udara, dan kelembapan, sehingga proses pengecatan dapat berlangsung lebih stabil dan terukur [8].

Pengeringan cat sendiri merupakan proses fisik dan kimia yang bertujuan mengubah cat dalam bentuk cair menjadi lapisan padat melalui penghilangan pelarut atau reaksi kimia tertentu. Pengeringan yang efektif akan menghasilkan lapisan cat dengan ketahanan yang baik, adhesi yang kuat terhadap substrat, serta ketebalan yang seragam. Secara umum, pengeringan dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu pengeringan fisik dan pengeringan kimia [9]. Temperatur pengeringan diketahui memiliki dampak signifikan terhadap ketebalan lapisan cat; peningkatan temperatur dapat menurunkan ketebalan lapisan, daya kilap, dan penampilan visual, meskipun tidak selalu memengaruhi daya rekat cat [10]. Ketebalan cat kendaraan dilaporkan dapat bervariasi antara 65–198 mikron, dengan standar ideal sekitar 160–170 mikron untuk mobil Eropa dan 90–100 mikron untuk mobil Jepang [5]. Pada mobil bekas, ketebalan cat dapat mencapai sekitar 82–491 mikron, sedangkan pada mobil baru berkisar 71–91 mikron [11]. Variasi ini menunjukkan pentingnya pengendalian proses pengecatan dan pengeringan untuk menjaga ketebalan lapisan cat tetap berada dalam batas yang diinginkan.

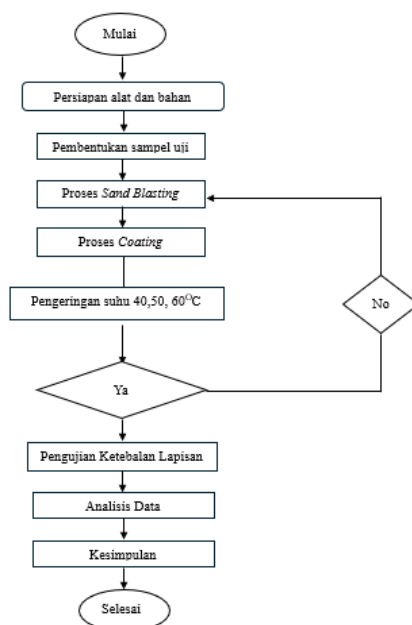
Dalam konteks analisis ketebalan lapisan cat dan karakteristik mikrostrukturnya, mikroskop metalurgi atau *inverted material microscope* digunakan untuk mengamati struktur permukaan logam, termasuk distribusi fasa dan morfologi lapisan. Alat ini memungkinkan pengukuran ketebalan lapisan dengan memanfaatkan pantulan cahaya pada permukaan logam melalui sistem lensa objektif, sehingga informasi mengenai kualitas dan integritas lapisan cat dapat diperoleh secara lebih komprehensif [12]. Berdasarkan uraian tersebut, kajian mengenai pengaruh variasi temperatur pengeringan terhadap ketebalan dan kualitas lapisan cat pada permukaan logam menggunakan mikroskop metalurgi menjadi penting untuk mendukung pengendalian kualitas proses pengecatan di industri.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan pendekatan semu (*quasi experiment*). Perlakuan utama yang diberikan adalah variasi temperatur pengeringan pada spesimen pelat logam yang telah dicat, dengan tujuan mengkaji pengaruh kausal temperatur pengeringan terhadap ketebalan lapisan cat yang terbentuk. Metode eksperimen dipilih karena memungkinkan peneliti memberikan perlakuan tertentu kepada objek penelitian dan mengamati pengaruhnya terhadap variabel terikat dalam kondisi yang relatif terkendali [13]. Dibandingkan dengan jenis penelitian lainnya, penelitian eksperimen dinilai lebih akurat dalam menentukan hubungan sebab akibat antara dua fenomena yang diteliti [14].

Objek penelitian berupa pelat logam yang berfungsi sebagai substrat pengecatan. Variabel bebas (*independen*) adalah temperatur pengeringan oven yang divariasikan pada tiga tingkat, yaitu 40 °C, 50 °C, dan 60 °C, dengan waktu pengeringan konstan selama 20 menit untuk setiap perlakuan. Variabel terikat (*dependen*) adalah ketebalan lapisan cat setelah proses pengeringan, sedangkan variabel kontrol meliputi jenis dan merek cat, metode aplikasi cat, jarak penyemprotan, serta kondisi waktu pengeringan. Dengan demikian, perubahan ketebalan lapisan cat diharapkan terutama disebabkan oleh perbedaan temperatur pengeringan.

Sesuai kerangka konseptual pada Gambar 1, tahapan penelitian diawali dengan persiapan alat dan bahan. Alat yang digunakan meliputi peralatan pengecatan (di antaranya *spray gun*), oven pengering dengan pengaturan temperatur, serta mikroskop metalurgi sebagai alat utama pengujian ketebalan lapisan cat. Bahan penelitian terdiri atas pelat logam yang dibentuk menjadi spesimen uji berukuran 150 × 100 mm dan cat jenis *Nitrocellulose + Alkyd* warna merah merek Penta Super Gloss beserta pelarut pendukung sesuai rekomendasi pabrikan. Seluruh alat dan bahan diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan berfungsi dengan baik dan memenuhi kebutuhan eksperimen.



Gambar 1. Kerangka konseptual

Tahap berikutnya adalah pembentukan dan persiapan sampel uji. Setiap pelat logam dibersihkan kemudian diproses melalui *sand blasting* untuk menghilangkan karat, kotoran, dan kontaminan lain pada permukaan, sekaligus menghasilkan kekasaran permukaan yang sesuai guna meningkatkan adhesi lapisan cat. Setelah *sand blasting*, spesimen dikeringkan dan dipastikan bebas minyak, debu, maupun kelembapan sebelum memasuki tahap pelapisan cat.

Proses pelapisan (*coating*) dilakukan dengan metode penyemprotan menggunakan *spray gun*. Cat *Nitrocellulose + Alkyd* yang telah disiapkan disemprotkan secara merata pada permukaan pelat dengan jarak penyemprotan sekitar 20 cm dan tekanan udara yang disesuaikan dengan spesifikasi teknis. Prosedur yang sama diterapkan untuk seluruh spesimen sehingga ketebalan lapisan awal diupayakan seragam. Setelah pengecatan, spesimen dibiarkan sejenak pada kondisi ruang untuk menstabilkan lapisan cat sebelum dimasukkan ke dalam oven.

Tahap selanjutnya adalah pengeringan dalam oven pada tiga variasi temperatur, yaitu 40 °C, 50 °C, dan 60 °C, masing-masing dengan waktu pengeringan 20 menit. Untuk setiap tingkat temperatur disiapkan sejumlah spesimen uji dengan perlakuan yang sama pada tahap sebelumnya. Setelah pengeringan, dilakukan pemeriksaan visual awal terhadap lapisan cat untuk memastikan tidak terdapat cacat permukaan yang mencolok, seperti pengelupasan, retak besar, atau gelembung yang dapat mengganggu pengukuran. Spesimen yang tidak memenuhi kriteria kualitas lapisan tidak digunakan sebagai sampel uji dan proses persiapan diulang sesuai alur “No” pada Gambar 1, sedangkan spesimen yang memenuhi kriteria dilanjutkan ke tahap pengujian ketebalan (“Ya”).

Pengujian ketebalan lapisan cat dilakukan menggunakan mikroskop metalurgi. Setiap spesimen diamati dengan pembesaran sekitar 10× pada beberapa titik pengamatan untuk memperoleh nilai ketebalan lapisan cat. Data ketebalan yang diperoleh dari setiap spesimen kemudian dihitung nilai rata-rata dan simpangan bakunya untuk masing-masing variasi temperatur pengeringan. Tahap berikutnya adalah analisis data, di mana hasil pengukuran ketebalan lapisan cat dianalisis secara statistik menggunakan uji ANOVA satu arah dengan taraf signifikansi 5 % untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan ketebalan lapisan cat yang signifikan antara spesimen yang dikeringkan pada temperatur 40 °C, 50 °C, dan 60 °C. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam penarikan kesimpulan mengenai pengaruh temperatur pengeringan terhadap ketebalan lapisan cat pada permukaan logam, sebagaimana

digambarkan pada bagian akhir kerangka konseptual (pengujian ketebalan lapisan, analisis data, dan kesimpulan).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan berfokus pada ketebalan lapisan cat setelah proses pengeringan. Pengukuran dilakukan menggunakan mikroskop metalurgi pada spesimen pelat logam yang dilapisi cat *Nitrocellulose + Alkyd* warna merah merek Penta Super Gloss. Cat diaplikasikan dengan teknik penyemprotan (*spray gun*) pada jarak ± 20 cm. Variasi temperatur pengeringan yang digunakan adalah 40 °C, 50 °C, dan 60 °C dengan waktu pengeringan konstan selama 20 menit. Untuk setiap variasi temperatur dilakukan tiga kali pengujian guna memperoleh nilai rata-rata ketebalan lapisan cat.

Tabel 1 menyajikan hasil pengujian ketebalan lapisan cat untuk setiap variasi temperatur pengeringan, beserta nilai rata-rata dan standar deviasi.

Tabel 1. Hasil pengujian ketebalan lapisan cat

Temperatur (oC)	Uji 1 (μm)	Uji 2 (μm)	Uji 3 (μm)	Rata-rata (μm)	Standart deviasi
40	87.426	91.760	90.773	89.986	2.20
50	87.806	78.736	68.402	78.315	9.74
60	88.615	59.940	51.471	66.675	19.27

Berdasarkan **Tabel 1**, terlihat bahwa peningkatan temperatur pengeringan cenderung menurunkan ketebalan rata-rata lapisan cat. Pada temperatur 40 °C diperoleh ketebalan rata-rata 89,986 μm dengan standar deviasi 2,20 μm , menunjukkan hasil yang relatif seragam. Pada temperatur 50 °C ketebalan rata-rata menurun menjadi 78,315 μm dengan standar deviasi 9,74 μm . Penurunan ketebalan paling besar terjadi pada temperatur 60 °C, yaitu menjadi 66,675 μm dengan standar deviasi 19,27 μm , yang mengindikasikan variasi ketebalan yang jauh lebih besar dan ketidakkonsistenan proses yang lebih tinggi dibandingkan dua temperatur lainnya.

Nilai rata-rata ketebalan lapisan cat dihitung menggunakan rumus:

$$X = \frac{\sum Xi}{n} \quad (1)$$

Keterangan:

X = rata-rata ketebalan lapisan cat

Xi = hasil pengukuran ketebalan

n = jumlah pengukuran

Selanjutnya, besarnya penyebaran data di sekitar nilai rata-rata untuk tiap temperatur dinyatakan dengan standar deviasi (S), yang dihitung menggunakan rumus:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Keterangan :

S = standar deviasi sampel

Xi = nilai ke- i

X = rata-rata (mean) dari seluruh data

n = jumlah data

Σ = penjumlahan seluruh data

Untuk mengetahui apakah perbedaan ketebalan antar kelompok temperatur bersifat signifikan secara statistik atau hanya merupakan variasi alami, digunakan uji statistik analisis varians (ANOVA) satu arah [15]. Nilai *mean square* antar kelompok (MS_{antar}) dan dalam kelompok (MS_{dalam}) dihitung dengan persamaan:

$$MS_{\text{antar}} = \frac{SS_{\text{antar}}}{K-1} \quad (3)$$

$$MS_{\text{dalam}} = \frac{SS_{\text{dalam}}}{n-k} \quad (4)$$

di mana SS_{antar} adalah jumlah kuadrat antar kelompok, SS_{dalam} adalah jumlah kuadrat dalam kelompok, K adalah jumlah kelompok temperatur, dan n adalah jumlah total pengamatan. Nilai statistik F kemudian diperoleh dari:

$$F = \frac{MS_{\text{antar}}}{MS_{\text{dalam}}} \quad (5)$$

Keterangan :

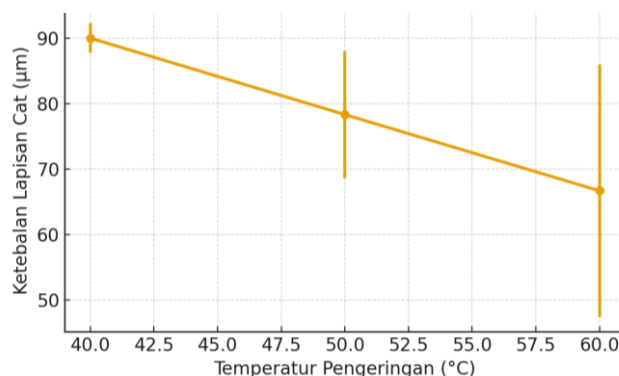
F = nilai statistik F

MS_{antar} = *mean square* antar kelompok (varians kelompok temperatur)

MS_{dalam} = *mean square* dalam kelompok (varians dalam satu kelompok temperatur)

Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA, diperoleh nilai $F_{\text{hitung}}=2,59F$, sedangkan $F_{\text{tabel}}=5,14$ pada taraf signifikansi 5 %. Karena $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$, maka H_0 diterima. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan ketebalan lapisan cat antar variasi temperatur pengeringan belum signifikan secara statistik. Meskipun demikian, secara numerik masih terlihat adanya tren penurunan ketebalan rata-rata seiring dengan kenaikan temperatur pengeringan.

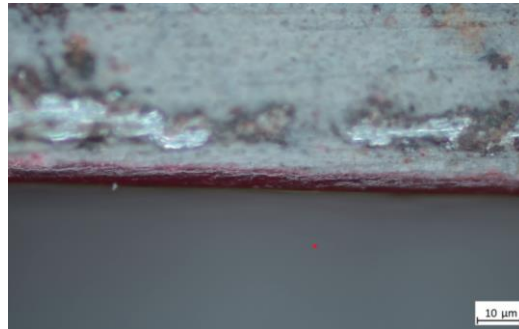
Gambar 2 menyajikan grafik hubungan antara temperatur pengeringan dan ketebalan rata-rata lapisan cat. Grafik tersebut memperlihatkan kecenderungan penurunan ketebalan rata-rata dari sekitar 89,986 μm pada temperatur 40 °C menjadi 78,315 μm pada 50 °C, dan kemudian turun lagi menjadi 66,675 μm pada 60 °C. Selain penurunan ketebalan, lebar *error bar* pada grafik juga menunjukkan bahwa variasi ketebalan (standar deviasi) meningkat pada temperatur yang lebih tinggi, terutama pada 60 °C.



Gambar 2. Grafik hasil pengujian ketebalan

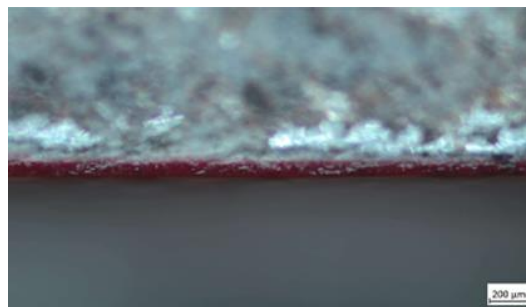
Pengamatan morfologi lapisan cat dilakukan menggunakan mikroskop metalurgi dengan pembesaran 10 \times . Pada temperatur pengeringan 40 °C, lapisan cat tampak tersebar merata dan tidak menunjukkan penumpukan lapisan yang berarti. Ketebalan lapisan relatif lebih tinggi dibandingkan dua temperatur lainnya, dengan permukaan cenderung mengkilap. Warna yang

dihasilkan sedikit lebih pudar dibandingkan sampel uji pada temperatur lebih tinggi, namun distribusi lapisan terlihat homogen. [Gambar 3](#) mengilustrasikan hasil pengamatan mikroskopis pada temperatur 40 °C.



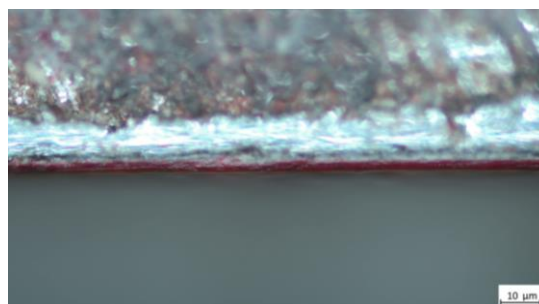
[Gambar 3](#). Hasil pengamatan pada temperatur 40° C

Pada temperatur pengeringan 50 °C, ketebalan rata-rata lapisan cat sedikit menurun dibandingkan dengan 40 °C, yaitu sekitar $\pm 80 \mu\text{m}$. Secara mikroskopis, pigmen tampak tersebar merata pada seluruh lapisan, dan tidak dijumpai gelembung kecil maupun celah *microvoid* yang menonjol. Hal ini menunjukkan bahwa pada temperatur ini lapisan cat masih terbentuk relatif baik, meskipun ketebalannya sudah mulai berkurang. [Gambar 4](#) menampilkan hasil pengamatan pada temperatur 50 °C.



[Gambar 4](#). Hasil pengamatan pada temperatur 50° C

Pada temperatur pengeringan 60 °C, ketebalan rata-rata lapisan cat menurun lebih jauh menjadi sekitar $\pm 60 \mu\text{m}$ sehingga lapisan yang terbentuk lebih tipis dibandingkan kedua temperatur sebelumnya. Hasil pengamatan mikroskopis menunjukkan bahwa sebagian lapisan cat tampak kurang rata; terdapat area yang sedikit lebih tebal dan area lain yang terlalu tipis, bahkan pada beberapa bagian lapisan cat terlihat seolah masuk ke permukaan pelat. Secara numerik, temperatur 60 °C juga menghasilkan standar deviasi yang paling besar, menandakan ketidakkonsistenan proses yang tinggi dan variasi ketebalan lapisan yang lebih lebar. [Gambar 5](#) mengilustrasikan hasil pengamatan pada temperatur 60 °C.



[Gambar 5](#). Hasil pengamatan pada temperatur 60° C

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi temperatur pengeringan berpengaruh terhadap kecenderungan ketebalan dan homogenitas lapisan cat *nitroselulosa-alkid* yang dihasilkan. Seperti yang ditunjukkan pada [Tabel 1](#) dan [Gambar 2](#), peningkatan temperatur dari 40°C menjadi 50°C dan 60°C diikuti oleh penurunan nilai rata-rata ketebalan lapisan cat dari 89,986 µm pada 40°C menjadi 78,315 µm pada 50°C dan 66,675 µm pada 60°C. Pola penurunan yang hampir linier ini mengindikasikan bahwa pengeringan pada temperatur yang lebih tinggi cenderung menghasilkan lapisan film yang semakin tipis.

Secara teoritis, kenaikan temperatur mempercepat laju penguapan pelarut. Penguapan yang terlalu cepat dapat menyebabkan lapisan permukaan cat terlebih dahulu mengeras (*surface skinning*), sehingga aliran dan pemerataan cat di lapisan bawah terhambat. Akibatnya, cat tidak sempat mengalir dan menutup permukaan secara merata, sehingga ketebalan akhir menjadi lebih tipis dan tidak seragam. Selain itu, penguapan pelarut yang sangat cepat meningkatkan risiko terbentuknya pori mikro dan rongga udara ketika pelarut terperangkap di bawah lapisan yang sudah mengeras, yang pada akhirnya menurunkan kualitas lapisan pelindung. Prinsip ini sejalan dengan kajian teknologi *surface coating* dan teknologi pengeringan cat yang menekankan pentingnya pengendalian temperatur, ketebalan lapisan basah, serta laju penguapan pelarut agar diperoleh lapisan yang padat, rata, dan memiliki daya lekat yang baik [5][9].

Perubahan temperatur tidak hanya memengaruhi nilai rata-rata ketebalan, tetapi juga kestabilan proses. Nilai simpangan baku ketebalan pada [Tabel 1](#) menunjukkan peningkatan yang cukup tajam, dari 2,20 µm pada 40°C menjadi 9,74 µm pada 50°C dan 19,27 µm pada 60°C. Artinya, selain semakin tipis, lapisan cat pada temperatur tinggi juga semakin tidak konsisten antar titik pengukuran. Secara praktis, kondisi ini menunjukkan bahwa proses pengeringan pada 60°C sangat sensitif terhadap variasi kecil selama proses penyemprotan maupun penguapan, sehingga mudah menimbulkan area yang terlalu tipis atau terlalu tebal. Ketidakkonsistenan ini berdampak langsung pada keandalan fungsi proteksi dan estetika lapisan cat, karena bagian yang terlalu tipis lebih rentan terhadap korosi, sedangkan bagian yang terlalu tebal berisiko mengalami retak atau pengelupasan dini.

Jika dibandingkan dengan standar ketebalan cat kendaraan, kisaran ketebalan yang diperoleh pada penelitian ini relatif mendekati ketebalan lapisan cat mobil baru. Sonjaya melaporkan bahwa ketebalan cat mobil baru umumnya berada pada rentang sekitar 71–91 µm, sedangkan mobil bekas yang sudah mengalami pengecatan ulang dapat mencapai kisaran yang jauh lebih tinggi bergantung pada kombinasi lapisan *body filler*, *primer*, *basecoat*, dan *clearcoat* [11]. Dengan demikian, rata-rata ketebalan 89,986 µm pada temperatur 40°C berada dalam rentang ketebalan cat mobil baru yang dianggap memadai untuk fungsi proteksi dan estetika, sementara penurunan ketebalan hingga sekitar 66,675 µm pada 60°C mulai mendekati batas bawah yang berpotensi mengurangi daya tahan jangka panjang.

Dari sisi signifikansi statistik, hasil uji ANOVA satu arah menghasilkan nilai F_{hitung} sebesar 2,59 yang lebih kecil daripada F_{tabel} (5,14) pada taraf signifikansi 5%. Kondisi ini menyebabkan hipotesis nol (tidak terdapat perbedaan rata-rata ketebalan antar temperatur pengeringan) secara statistik tidak dapat ditolak. Namun, perlu ditekankan bahwa ukuran sampel pada penelitian ini relatif kecil (tiga ulangan untuk setiap temperatur), sehingga daya uji (*statistical power*) ANOVA terbatas [13][14][15]. Secara praktis, perbedaan ketebalan sekitar 23 µm antara temperatur 40°C dan 60°C tetap relevan bagi proses industri, karena dapat menentukan apakah ketebalan lapisan masih berada dalam rentang aman terhadap korosi dan cacat permukaan. Dengan kata lain, meskipun perbedaan belum signifikan secara statistik pada konfigurasi eksperimen ini, tren penurunan ketebalan yang konsisten tetap memiliki makna teknis yang penting.

Hasil pengamatan mikrostruktur menggunakan mikroskop metalurgi memberikan dukungan kualitatif terhadap temuan kuantitatif. Pada temperatur 40°C, penampang lapisan cat menunjukkan distribusi yang relatif homogen, tanpa penumpukan lokal dan tanpa indikasi cacat mikro yang menonjol. Lapisan tampak kontinu dan melekat baik pada substrat logam, sehingga ketebalan film lebih tinggi dan merata. Sebaliknya, pada temperatur 60°C terlihat variasi ketebalan yang lebih besar; beberapa area menunjukkan lapisan yang lebih tipis, bahkan sebagian pigmen cat terlihat masuk ke permukaan plat. Kondisi ini dapat diinterpretasikan sebagai indikasi terjadinya penguapan pelarut yang terlalu cepat sehingga sebagian cat kehilangan kemampuan *leveling*-nya dan membentuk zona tipis serta pori atau celah mikro di dekat antarmuka cat-logam. Pemanfaatan mikroskop metalurgi untuk mendokumentasikan citra mikrostruktur lapisan pada penelitian ini sejalan dengan pengembangan laboratorium metalografi yang memanfaatkan pengkonversi gambar dari mikroskop ke komputer untuk mengidentifikasi detail struktur dan cacat mikro secara lebih akurat [6].

Temuan ini konsisten dengan beberapa studi terdahulu yang mengkaji pengaruh kondisi proses terhadap kualitas lapisan cat. Rasyid dkk. menunjukkan bahwa ketebalan lapisan cat dan kualitas permukaan sangat dipengaruhi oleh parameter penyemprotan seperti jarak *spray gun*, tekanan udara, dan kecepatan ayun; kombinasi parameter yang tidak tepat menghasilkan lapisan yang terlalu tipis atau tidak seragam [2]. Dalam penelitian ini, parameter penyemprotan dibuat konstan sehingga variasi ketebalan lebih banyak ditentukan oleh perubahan temperatur pengeringan. Dengan demikian, hasil penelitian ini melengkapi temuan Rasyid dkk. dengan menegaskan bahwa setelah parameter aplikasi dikendalikan, tahapan pengeringan khususnya temperatur oven menjadi variabel kritis berikutnya untuk menjamin konsistensi ketebalan film.

Penelitian Sopiyan dkk. mengenai pengaruh variasi temperatur pengeringan terhadap daya kilap cat pada komponen kendaraan bermotor juga menunjukkan pola yang sejalan: temperatur pengeringan sekitar 40°C menghasilkan tingkat kekilapan tertinggi, sedangkan peningkatan temperatur hingga 60°C dan 80°C menurunkan nilai kilap dan pada temperatur tertinggi mulai menurunkan daya lekat lapisan [3]. Mereka menjelaskan bahwa pengeringan paksa dengan oven pada temperatur tinggi dapat menyebabkan pelarut dan *varnish* menguap terlalu cepat sehingga lapisan menjadi kurang rata dan sebagian kehilangan kemampuan melekat. Fenomena tersebut sejalan dengan peningkatan simpangan baku ketebalan dan indikasi ketidakseragaman lapisan yang diamati pada temperatur 60°C dalam penelitian ini.

Di sisi lain, Tyagita dkk. melaporkan bahwa kombinasi temperatur pengeringan 70°C dengan perbandingan cat:tiner 1:1,3 justru menghasilkan daya kilap tertinggi dengan daya lekat yang masih tergolong sangat baik (kelas 5B) [10]. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa pengaruh temperatur tidak dapat dipisahkan dari karakteristik sistem pengecatan secara keseluruhan, seperti jenis cat (nitroselulosa, akrilik, atau *varnish*), komposisi pelarut, dan viskositas campuran. Dengan kata lain, temperatur pengeringan yang optimum bersifat spesifik terhadap kombinasi material dan parameter proses tertentu. Dalam konteks penelitian ini, sistem cat *nitroselulosa-alkid* dengan pengeringan 20 menit menunjukkan performa terbaik pada temperatur relatif rendah (40°C), sedangkan peningkatan temperatur tanpa penyesuaian viskositas ataupun waktu pengeringan justru memperburuk ketebalan dan homogenitas lapisan.

Beberapa studi lain pada proses *finishing* otomotif juga menegaskan pentingnya pengendalian lingkungan pengeringan. Haryanto dan Ichtianto menggunakan metodologi Six Sigma untuk menurunkan cacat bintik debu pada proses pengecatan *fuel tank* dan menemukan bahwa pengendalian kondisi ruang pengecatan serta penataan ulang tahapan proses mampu mengurangi tingkat cacat secara signifikan [1]. Sementara itu, Nauval dkk. menunjukkan bahwa pengecatan di dalam *spray booth* tertutup menghasilkan kualitas permukaan yang lebih baik

dibandingkan pengecatan di ruang terbuka karena temperatur, kelembapan, dan kebersihan udara lebih terkontrol [8]. Hasil-hasil tersebut mendukung pemilihan oven pengering sebagai media pengeringan pada penelitian ini, dan sekaligus menegaskan bahwa pengaturan temperatur yang tepat di dalam oven merupakan salah satu kunci untuk meminimalkan cacat dan menjaga konsistensi ketebalan lapisan cat.

Secara praktis, implikasi utama dari penelitian ini adalah bahwa untuk sistem cat *nitroselulosa-alkid* dengan parameter penyemprotan yang digunakan, temperatur pengeringan sekitar 40°C selama 20 menit memberikan kompromi terbaik antara ketebalan lapisan, homogenitas, dan kualitas visual yang diamati secara mikroskopis. Pengeringan pada temperatur yang lebih tinggi memang berpotensi mempercepat siklus produksi, namun diimbangi oleh risiko penurunan ketebalan, peningkatan variasi antar titik, dan munculnya ketidakseragaman struktur lapisan yang pada jangka panjang dapat menurunkan ketahanan korosi dan keawetan tampilan cat. Oleh karena itu, bengkel otomotif dan institusi pendidikan vokasi yang menggunakan jenis cat serupa perlu mempertimbangkan batasan temperatur pengeringan ini ketika menyusun prosedur standar operasi (SOP) pengecatan dan ketika melakukan pelatihan praktik pengecatan kepada siswa [7][8].

Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi studi lanjutan yang mengintegrasikan lebih banyak variabel proses, seperti variasi waktu pengeringan, ketebalan lapisan basah, atau komposisi tiner, serta respon kualitas lain seperti kekerasan permukaan, daya lekat, dan ketahanan korosi. Pendekatan optimasi multirespon seperti yang digunakan Sonjaya pada analisis ketebalan dan kualitas pengecatan mobil bekas berpotensi diterapkan untuk merumuskan kombinasi parameter pengecatan dan pengeringan yang memberikan keseimbangan terbaik antara ketebalan, kilap, dan ketahanan lapisan cat [11].

Secara keseluruhan, meskipun perbedaan ketebalan antar temperatur belum signifikan secara statistik pada taraf kepercayaan 95%, tren penurunan ketebalan dan peningkatan ketidakkonsistenan lapisan dengan naiknya temperatur, yang diperkuat oleh pengamatan mikrostruktur dan didukung oleh studi-studi terdahulu, menunjukkan bahwa pengeringan pada temperatur sedang (sekitar 40°C) merupakan kondisi yang paling mendekati optimum untuk sistem cat dan konfigurasi proses yang digunakan dalam penelitian ini.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian ketebalan lapisan cat nitroselulosa-alkid pada pelat logam dengan variasi temperatur pengeringan 40°C, 50°C, dan 60°C selama 20 menit, dapat disimpulkan bahwa temperatur pengeringan memengaruhi kecenderungan ketebalan dan homogenitas lapisan cat, di mana kenaikan temperatur diikuti penurunan ketebalan rata-rata serta peningkatan ketidakkonsistenan lapisan. Temperatur 40°C menghasilkan ketebalan rata-rata tertinggi, yaitu 89,986 µm, dengan simpangan baku 2,20 µm sehingga lapisan yang terbentuk relatif lebih tebal, seragam, dan secara visual ditunjang oleh struktur mikro yang homogen. Sebaliknya, pada temperatur 60°C ketebalan rata-rata menurun menjadi 66,675 µm dengan simpangan baku 19,27 µm, yang menunjukkan lapisan lebih tipis dan sangat bervariasi antar titik pengukuran sehingga kualitas proteksi dan estetika berpotensi menurun. Hasil uji ANOVA satu arah menunjukkan bahwa perbedaan rata-rata ketebalan antar temperatur belum signifikan secara statistik pada taraf kepercayaan 95%, namun secara teknis tren penurunan ketebalan dan peningkatan simpangan baku dengan naiknya temperatur tetap relevan sebagai dasar penentuan kondisi pengeringan yang aman dan efektif untuk sistem pengecatan yang dikaji.

Saran

Untuk proses pengecatan menggunakan cat Penta Super Gloss dengan konfigurasi penyemprotan dan waktu pengeringan seperti pada penelitian ini, disarankan penggunaan temperatur pengeringan oven pada kisaran 40–45°C dengan waktu pengeringan sekitar 20 menit, sambil tetap menyesuaikan dengan karakteristik jenis cat, ketebalan lapisan basah, dan kondisi lingkungan proses di lapangan. Pada praktik industri maupun pembelajaran vokasi, parameter ini dapat dijadikan acuan awal dalam penyusunan SOP pengecatan guna menjaga ketebalan dan homogenitas lapisan cat. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memvariasikan waktu pengeringan, komposisi tiner, serta menambahkan respon kualitas lain seperti daya lekat, kekerasan permukaan, daya kilap, dan ketahanan korosi, serta menggunakan jumlah sampel yang lebih besar sehingga dapat diperoleh peta kondisi operasi optimum yang lebih komprehensif untuk berbagai sistem cat dan aplikasi permukaan logam.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] E. Haryanto and B. P. Ichtiarto, "Analisa penurunan cacat (defect) cat bintik debu dengan metodologi Six Sigma pada proses painting produk fuel tank di PT. SSO Tangerang," *Jurnal PASTI (Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri)*, vol. 13, no. 3, p. 326, 2019, doi: 10.22441/pasti.2019.v13i3.009.
- [2] A. H. A. Rasyid, D. I. Santoso, and F. Y. Utama, "Pemilihan parameter pengecatan untuk mendapatkan ketebalan lapisan cat yang tepat untuk permukaan tidak merata," *Otopro*, vol. 12, no. 2, pp. 82–87, 2019, doi: 10.26740/otopro.v12n2.p82-87.
- [3] Sopiyan, M. Iqbal, and F. B. Susetyo, "Pengaruh variasi temperatur pengeringan terhadap daya kilap cat pada komponen kendaraan bermotor," *METALIK: Jurnal Manufaktur, Energi, Material Teknik*, vol. 1, no. 1, pp. 16–21, 2022, doi: 10.22236/metalik.v1i1.8462.
- [4] T. Sutrisno, S. Dinata, and W. A. Nurtiyanto, "Perancangan panel distribusi daya listrik (SDP) untuk gedung kampus Universitas Sutomo," *EPIC Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control*, vol. 5, no. 2, pp. 168–177, 2022, doi: 10.32493/epic.v5i2.27538.
- [5] K. S. Reddy, V. S. Reddy, J. Sujitha, and M. Pydimalla, "Experimental study and performance enhancement of surface coating techniques," in *Techniques and Innovation in Engineering Research*, vol. 6, pp. 129–152, 2022, doi: 10.9734/bpi/taier/v6/4840A.
- [6] T. Widjatmaka and S. Prasetya, "Laboratorium pengkonversi gambar struktur mikro dari mikroskop ke komputer sebagai sarana praktikum metalografi," *Jurnal Poli-Teknologi*, vol. 10, no. 3, 2013, doi: 10.32722/pt.v10i3.66.
- [7] PT Toyota-Astra Motor, *New Step 1: Training Manual*. Jakarta, Indonesia: PT Toyota-Astra Motor, 1995.
- [8] R. Nauval, D. Fernandez, M. Y. Setiawan, and H. D. Saputra, "Analisis perbandingan hasil pengecatan pada ruangan terbuka dan dalam ruangan (*spray booth*)," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 3, no. 2, pp. 657–668, Feb. 2025.
- [9] R. Dini, T. Kurniawan, and Suryadi, "Teknologi pengeringan dalam proses pengecatan," *Teknik Indonesia*, 2020.
- [10] D. A. Tyagita, A. W. Pratama, and D. B. Aprianto, "Variasi kadar tiner dan temperatur pengeringan terhadap kualitas hasil pengecatan bodi kendaraan berbahan ABS," *J-Proteksion*, vol. 4, no. 1, pp. 11–15, 2019, doi: 10.32528/jp.v4i1.3017.
- [11] A. N. Sonjaya and W. H. Mulyanti, "Studi pengaruh perubahan gun pressure, air pressure, dan spray distance terhadap ketebalan cat pada proses painting repaint non-metallic color 'N-White' pada kendaraan Toyota Avanza (model: CCD)," *Jurnal Teknologi*, vol. 8, no. 2, pp. 143–156, Oct. 2021, doi: 10.31479/jtek.v8i2.71.

- [12] M. A. Reynaldy, R. Kartikasari, and A. B. Prasetyo, "Pengaruh temperatur proses austemper besi tuang paduan Al (2,17%) terhadap struktur mikro, kekerasan, dan keausan," *Cendekia Mekanika*, vol. 4, no. 2, pp. 175–184, Sep. 2023.
- [13] A. Asrin, "Metode penelitian eksperimen," *Maqasiduna: Journal of Education, Humanities, and Social Sciences*, vol. 2, no. 1, pp. 21–29, 2022, doi: 10.59174/mqs.v2i01.24.
- [14] M. F. Arib, M. S. Rahayu, R. A. Sidorj, and M. W. Afgani, "Experimental research dalam penelitian pendidikan," *Innovative: Journal of Social Science Research*, vol. 4, no. 1, pp. 5497–5511, 2024, doi: 10.31004/innovative.v4i1.8468.
- [15] A. D. Putri, A. Ahman, R. S. Hilmia, S. Almaliyah, and S. Permana, "Pengaplikasian uji t dalam penelitian eksperimen," *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, vol. 4, no. 3, pp. 1978–1987, 2023, doi: 10.46306/lb.v4i3.527.