

Studi Proses Produksi Tinta *Gravure Violet* dengan Parameter Capaian Warna

Ghaisa Zahira Adni Shaffa ^{1*}, Emmidia Djonaedi ², Rachmah Nanda Kartika ³

¹⁻³ Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia

ghaisa.zahira.adni.shaffa.tgp21@mhs.wpnj.ac.id ¹, emmidia.djonaedi@grafika.pnj.ac.id ²,
rachmah.nandakartika@grafika.pnj.ac.id ³

Alamat: Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok 16425

Korespondensi penulis: ghaisa.zahira.adni.shaffa.tgp21@mhs.wpnj.ac.id*

Abstract. *The production process is a crucial aspect in ink formulation, especially violet spot color inks for gravure printing applications, which cannot be accurately reproduced through conventional process printing systems (CMYK). This research aims to optimize the production parameters of violet gravure inks that often exhibit color instability due to delays in the grinding and adjusting stages. The main focus of this research is to analyze the effect of variations in grinding duration, post-grinding aging time, and the amount of raw material on ink color yield, which is evaluated based on density, CIE Lab*, and ΔE parameters. The methodology used was a descriptive experiment on a laboratory scale. The results showed that the optimal treatment combination of grinding for 90 minutes, aging for 48 hours, and the use of 400 grams of material (P3K2L4) produced the highest density value (1.858) and ΔE (0.572), indicating color stability despite quantity variations. This finding indicates that optimization of grinding and aging time contributes to the improvement of pigment dispersion homogeneity and thermal stability of the resin, even without direct measurement of the transition glass temperature (Tg) value.*

Keywords: *Aging Grinding, Color, Grinding Time, Gravure Ink, Transition Glass.*

Abstrak. Proses produksi merupakan aspek krusial dalam formulasi tinta, khususnya tinta spot color violet untuk aplikasi cetak gravure, yang tidak dapat direproduksi secara akurat melalui sistem cetak proses konvensional (CMYK). Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan parameter produksi tinta gravure violet yang kerap menunjukkan ketidakstabilan warna akibat penundaan pada tahapan grinding dan adjusting. Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis pengaruh variasi durasi grinding, waktu aging pasca-grinding, serta jumlah bahan baku terhadap hasil warna tinta, yang dievaluasi berdasarkan parameter densitas, CIE Lab*, dan ΔE . Metodologi yang digunakan berupa eksperimen deskriptif dengan skala laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan optimal grinding selama 90 menit, aging selama 48 jam, dan penggunaan bahan sebanyak 400gram (P3K2L4) menghasilkan nilai densitas tertinggi (1,858) dan ΔE (0,572), yang mengindikasikan kestabilan warna meskipun terdapat variasi kuantitas. Temuan ini mengindikasikan bahwa optimasi waktu grinding dan aging berkontribusi terhadap peningkatan homogenitas dispersi pigmen serta kestabilan termal resin, meskipun tanpa pengukuran langsung terhadap nilai transition glass temperature (Tg).

Kata kunci: Aging Grinding, Grinding Time, Tinta Gravure, Transition Glass, Warna.

1. LATAR BELAKANG

Industri manufaktur kimia, khususnya perusahaan tinta cetak *gravure* perlu memiliki standar kualitas yang konsisten pada setiap produk yang dihasilkan. Perusahaan dituntut untuk mampu memenuhi pesanan dalam jumlah yang besar dengan waktu produksi yang cepat dan efisien tanpa mengurangi kualitas produk (Maier dkk. 2021). Pentingnya perusahaan memperhatikan tahapan-tahapan yang terjadi saat proses pembuatan tinta. Produksi pembuatan tinta cetak *gravure* melalui beberapa tahapan yaitu *weighing*, *pre mixing*, *grinding*, dan *adjusting* bahan pendukung penyusun tinta. Seluruh tahapan tersebut bertujuan untuk

menyatukan material penyusun tinta cair dan padatan menjadi homogen dan solid hingga dihasilkan tinta cetak.

Namun, realitanya permintaan konsumen dapat mempengaruhi kelancaran proses produksi. Perusahaan harus melakukan penyesuaian prioritas produksi, terutama ketika mendapatkan pesanan yang mendesak dari konsumen seperti pesanan tinta-tinta spesial. Dampak dari situasi ini tertundanya proses produksi pada jenis tinta tertentu. Salah satunya terjadi pada tinta spot *color* warna violet yang rutin diproduksi, harus mengalami penundaan ketika perusahaan memprioritaskan produksi tinta lain yang dianggap lebih mendesak. Penundaan proses produksi ini biasanya terjadi setelah tinta violet melewati tiga tahapan awal, yaitu *weighing*, *pre mixing*, dan *grinding*, namun belum mencapai tahap akhir berupa *adjusting*. Akibat penundaan ini, cangkupan ruang warna violet tidak stabil. Ketidakstabilan warna disebabkan dari berbagai faktor, salah satunya dalam tahapan pembuatan tinta yaitu proses *grinding* dan *adjusting*.

Grinding merupakan proses paling krusial yang berfungsi untuk mendispersi partikel padatan dari pigment menjadi lebih halus dan homogen dengan komponen cair lainnya hingga menghasilkan *particle distribution* sesuai standar yang ditentukan. *Grinding* dapat meningkatkan stabilitas termal dan kinerja penyaringan tinta (Wang dkk. 2021). Para proses *grinding* ini tinta sudah dapat menghasilkan cakupan ruang warna yang biasanya disebut *base color*. Sedangkan, tahap *adjusting* merupakan penambahan bahan aditif yang menyesuaikan kebutuhan serta karakteristik tinta saat digunakan oleh konsumen. Selain faktor tahapan pembuatan tinta, perusahaan juga harus memperhatikan formulasi tinta violet yang memegang peranan penting dari karakteristik tinta.

Komponen penyusun tinta violet yang menjadi sorotan dalam penelitian ini berupa resin yang sensitif terhadap suhu. Resin merupakan komponen dalam tinta yang berfungsi untuk menyebarkan pigmen dan mengikat tinta ke substrat (Hakeim dkk. 2018). Resin ini mudah mengalami pelunakan (*melting*) saat melalui proses *grinding* hingga penelitian terkait tahapan *aging* sebelum masuk ke tahap *adjusting* perlu dilakukan. Tahap *adjusting* sangat diperlukan untuk menciptakan kualitas cetak yang konsisten (Verkhola dkk. 2021). Proses *aging* memungkinkan resin dan pigmen bereaksi secara stabil agar tinta tidak mengalami perubahan sifat selama penyimpanan dan diaplikasikan. Stabilitas ini penting untuk karakter tinta violet yang sensitif terhadap proses produksi hingga berdampak pada cakupan ruang warna yaitu *density*, CIE $L^*a^*b^*$, dan ΔE .

Density merupakan kekuatan warna yang diukur dari refleksi pantulan cahaya pada suatu permukaan cetak yang berisi penuh *dot area* (Hai dkk. 2023), (Liu dan Chen 2018). Nilai

density berkontribusi terhadap pembentukan cangkupan warna yang direpresentasikan melalui parameter nilai L^*a^*b . Sistem ruang warna Lab digunakan untuk mengukur perbedaan warna antara dua citra dalam bentuk tiga dimensi, tanpa bergantung pada jumlah piksel yang mengalami perubahan (Zehra dan Bashir 2019). Setiap nilai L^* , a^* , dan b^* akan mempengaruhi nilai selisih warna atau delta pada hasil cetakan. Nilai delta E (ΔE) digunakan sebagai indikator sejauh mana warna hasil cetak menyimpang dari warna referensi, dan menjadi acuan toleransi warna dalam proses cetak.

Penelitian terkait proses *grinding* dilakukan berfokus pada pengamatan ukuran partikel tinta yang telah terdispersi (Prasetyo dan Gede Arsa Putrawan 2020) serta optimasi proses *grinding* dalam industri manufaktur untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan produksi (Lu, Chen, dan Zhang 2024). Namun, belum ditemukan penelitian yang berfokus pada proses pembuatan tinta *gravure* dalam segi *grinding time* dan *aging grinding* terhadap *density* serta jangkauan warna pada tinta *gravure*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dirancang untuk mengkaji pengaruh variasi waktu *grinding* dan *aging* serta perbedaan kuantitas terhadap nilai densitas dan parameter warna Lab* pada tinta violet. Sampel disiapkan dalam skala laboratorium menggunakan mesin shaker dengan kapasitas 200 gr dan 400 gr. Tujuan utama penelitian adalah menentukan durasi optimal proses *grinding* dan *aging* yang menghasilkan densitas dan jangkauan warna terbaik guna mendukung efisiensi produksi.

2. KAJIAN TEORITIS

Optimisasi dalam industri manufaktur merupakan suatu prosedur pengambilan keputusan yang bertujuan untuk memperoleh hasil paling optimal berdasarkan parameter yang dapat dikendalikan (Hegyháti, Bakon, dan Holczinger 2023). Cara dan metode yang terlibat dalam memperoleh parameter proses ini juga sangat krusial untuk mencapai parameter yang teroptimasi dengan akurasi tinggi untuk output berkualitas tinggi. Meskipun ada beberapa penelitian terkait capaian ruang warna, namun masih belum ada peneliti yang mengkombinasikan proses produksi pada tahap *grinding* dan *aging grinding* terhadap capaian ruang warna.

***Grinding* pada Tinta**

Industri tinta cetak, *grinding* merupakan salah satu proses penting yang bertujuan untuk memperkecil ukuran partikel padat, khususnya pigmen, agar mencapai tingkat kehalusan yang sesuai dengan standar formulasi tinta (Prasetyo dan Gede Arsa Putrawan 2020). Pigmen pada

dasarnya merupakan zat padat yang cenderung mengalami aglomerasi, yaitu penggumpalan antarpartikel, sehingga perlu didispersi secara merata dalam media cair. Sebelum dilakukan *grinding*, tahapan awal yang disebut premixing dilakukan untuk membasahi pigmen dengan solvent, sehingga proses penghancuran aglomerat menjadi lebih efisien.

Tahap kedua yaitu proses *grinding* dilakukan untuk menghancurkan aglomerat tersebut sekaligus memastikan bahwa setiap partikel pigmen terbasahi sempurna oleh media pelarut, seperti resin dan solvent. Melalui proses mekanis ini, terjadi pembasahan permukaan partikel yang memungkinkan pigmen tersebar homogen dalam sistem tinta. Setelah tahap *grinding*, kehalusan partikel tinta biasanya diuji menggunakan alat grindometer secara manual atau dengan mesin otomatis seperti tidas untuk memastikan ukuran partikel telah sesuai dengan kebutuhan aplikasi cetak *gravure*.

Aging Grinding Tinta

Aging merupakan suatu tahapan yang membantu menstabilkan komponen tinta sebelum digunakan dalam proses pencetakan (Milinković dkk. 2025). *Aging* dilakukan sesuai dengan proses penggilingan atau dispersi untuk memungkinkan bahkan distribusi partikel waktu, resin, dan adiktif lainnya untuk mencapai stabilitas fisik dan kimia (Liu dkk. 2025). Sehubungan dengan produksi tinta *gravure*, *aging* berperan dalam meningkatkan keseragaman pencampuran, memungkinkan reaksi kimia atau fisik seperti pelarutan resin secara sempurna dan pelepasan tegangan antarpartikel yang masih tersisa pasca *grinding*.

Proses *aging* yang optimal memiliki dampak signifikan terhadap peningkatan kualitas tinta, mencakup densitas warna, kestabilan viskositas, dan daya sebar tinta saat diaplikasikan (Zhang dkk. 2018). Waktu *aging* yang terlalu singkat menyebabkan tinta belum mencapai kestabilan yang diperlukan, sehingga kinerja cetaknya menjadi tidak konsisten. Sebaliknya, *aging* yang berlangsung terlalu lama juga dapat mengurangi efisiensi produksi dan berpotensi memicu terjadinya agregasi atau pengendapan partikel (Guo dkk. 2025). Maka dari itu, penentuan waktu *aging* yang tepat sangatlah penting untuk menjamin kualitas akhir tinta sesuai dengan standar produksi dan kebutuhan pengguna.

Transition Glass pada Tinta

Transition glass merupakan perubahan termal yang terjadi pada material polimer amorf ketika suhunya melewati titik tertentu yang disebut *glass transition temperature* (T_g). Pada suhu dibawah *transition glass* polimer berada dalam keadaan keras, kaku dan rapuh seperti kaca, tetapi saat suhu meningkat melewati *transition glass*, polimer mulai menunjukkan sifat

lentur dan fleksibel karena segmen rantai molekul memperoleh energi kinetik yang cukup untuk bergerak secara termal (Li dan Xiao 2021). Titik leleh merupakan perubahan dari padat ke cair, *transition glass* merupakan peralihan dari keadaan *amorf* beku ke amorf lunak. Perubahan ini bersifat reversible dan sangat bergantung pada struktur kimia, berat molekul dan tingkat pencampuran polimer (Qu dkk. 2023).

Dalam formulasi tinta, khususnya tinta *gravure* banyak menggunakan resin atau polimer sebagai bahan pengikat. *Transition glass* menjadi parameter penting yang berperan dalam menentukan karakteristik tinta selama proses produksi. Pada proses *aging* tinta, kestabilan fisik *base* tinta dipengaruhi oleh suhu relatif terhadap *transition glass* (Izzo dkk. 2020). Resin dengan *transition glass* terlalu tinggi cenderung menghasilkan tinta yang kaku, sulit mengalir dan membutuhkan suhu proses yang tinggi (Lee, Kim, dan Lee 2020). Sebaliknya resin dengan *transition glass* rendah menghasilkan tinta yang lebih lunak dan mudah mengalir, namun dapat menyebabkan ketidakstabilan selama penyimpanan dan aplikasi cetak. Oleh karena itu pemilihan resin dengan *transition glass* yang tepat membantu menciptakan keseimbangan antara daya sebar, daya lekat, viskositas dan kestabilan tinta selama proses cetak maupun penyimpanan.

CIE L*a*b*

CIE Lab merupakan sistem warna yang banyak digunakan oleh perusahaan yang bergelut dengan warna untuk pengukuran dan pengendalian warna. CIE Lab sering digunakan dalam *colorimetry*, yaitu ilmu yang mempelajari pengukuran warna dengan angka yang akurat untuk standardisasi di berbagai sektor industri, seperti percetakan. CIE Lab berfungsi untuk membantu dalam menstandarisasi pengukuran warna di berbagai perangkat dan industri serta meningkatkan konsistensi (Panich dkk. 2024). Ruang warna CIELab dapat divisualisasikan sebagai ruang tiga dimensi. Ruang warna juga digunakan untuk merepresentasikan warna objek yang mencakup *lightness* serta *Chroma a** * dan *b** (Durmus 2020). Sumbu vertikal adalah komponen L (*lightness*) yang mewakili kecerahan warna, dengan nilai mulai dari 0 (hitam) hingga 100 (putih) dan menggambarkan seberapa terang atau gelap suatu warna. Sumbu horizontal terdiri dari dua komponen, yaitu *Chroma a** * dan *Chroma b**. *Chroma a** * mewakili spektrum antara dua warna yaitu hijau dan merah. Nilai negatif menunjukkan warna kehijauan (*greenish*), sedangkan nilai positif menunjukkan warna kemerahan (*reddish*). Sedangkan komponen *b** mewakili spektrum antara dua warna yaitu biru dan kuning. Nilai negatif menunjukkan warna kebiruan (*bluish*), sedangkan nilai positif menunjukkan kekuningan (*yellowish*).

Ruang warna CIE $L^*a^*b^*$ memberikan hasil pengukuran warna yang lebih akurat, ditandai dengan tingkat kesalahan yang rendah dan cakupan warna yang lebih luas dibandingkan model warna lainnya. Dalam sistem ini, perbedaan warna antara sampel dan standar dilihat melalui hasil nilai delta (ΔL^* , Δa^* , Δb^*), yang merepresentasikan deviasi masing-masing komponen warna. Nilai delta juga digunakan untuk mengukur perbedaan warna pada tinta (Chung dkk. 2017). Nilai delta ini berperan penting dalam kontrol kualitas, batas toleransi ditetapkan untuk menilai kesesuaian warna. Jika nilai delta melebihi ambang toleransi, maka perbedaan dianggap signifikan dan perlu dilakukan koreksi warna untuk mencapai kesesuaian antara sampel dan standar.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental dilakukan untuk simulasi proses pembuatan tinta dalam skala laboratorium, terkait permasalahan yang terjadi mengenai ketidakstabilan cangkupan warna tinta violet. Pengumpulan data diperoleh dari hasil pengukuran warna tinta *gravure* dengan formulasi tetap yang diberi kombinasi perlakuan berbeda yaitu *grinding time*, *aging grinding*, dan kuantitas. Sampel tinta dirancang dengan formulasi dasar yang serupa pada setiap variasi perlakuan tanpa mengurangi persentasenya. Data pengukuran warna dianalisis secara statistik deskripsi untuk melihat perubahan warna yang terjadi ketika diberi perlakuan berbeda.

Tabel 1. Kombinasi Perlakuan

Kombinasi Perlakuan		200 gr (K1)	400 gr (K2)
30 Menit (P1)	<i>Immediate</i> (L1)	P1K1L1	P1K2L1
	3 Hours (L2)	P1K1L2	P1K2L2
	24 hours (L3)	P1K1L3	P1K2L3
	48 hours (L4)	P1K1L4	P1K2L4
60 Menit (P2)	<i>Immediate</i> (L1)	P2K1L1	P2K2L1
	3 Hours (L2)	P2K1L2	P2K2L2
	24 hours (L3)	P2K1L3	P2K2L3
	48 hours (L4)	P2K1L4	P2K2L4
90 Menit (P3)	<i>Immediate</i> (L1)	P3K1L1	P3K2L1

Kombinasi Perlakuan		200 gr (K1)	400 gr (K2)
	3 Hours (L2)	P3K1L2	P3K2L2
	24 hours (L3)	P3K1L3	P3K2L3
	48 hours (L4)	P3K1L4	P3K2L4

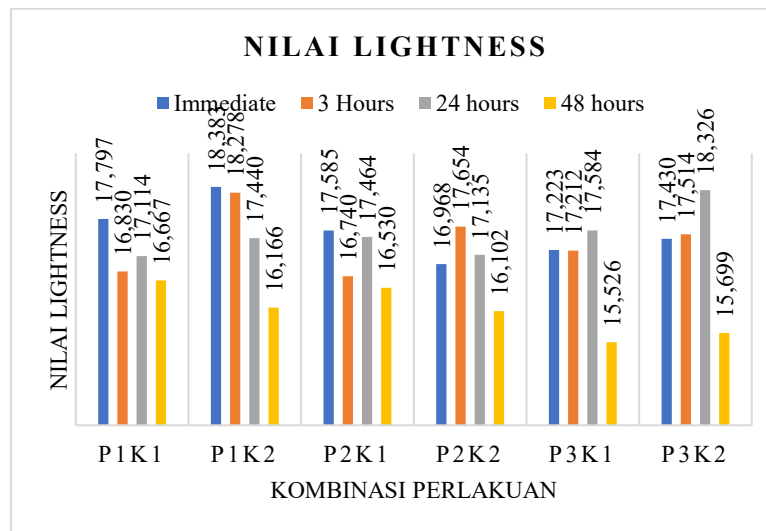
Keterangan:

- P = *Grinding time*
- K = Kuantitas produksi
- L = *Aging grinding*.

Setiap sampel tinta diencerkan menjadi viskositas printing Zahn cup #3 (15 detik) lalu dicetak skala laboratorium menggunakan RK proofer sebanyak 5 kali pengulangan di atas substrate OPP (*Oriented Polypropylene*).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik Nilai *Lightness*



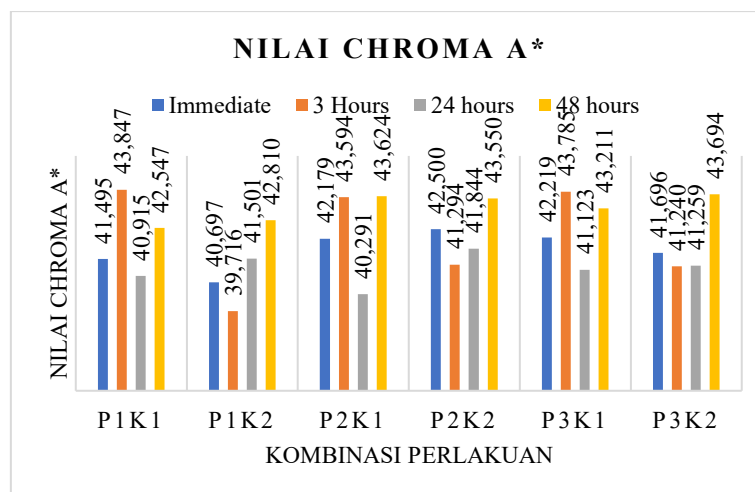
Gambar 1. Grafik Nilai L

Grafik diatas menunjukkan nilai L semakin menurun seiring dengan semakin lama waktu *aging* yang berarti bahwa warna yang dihasilkan menjadi lebih gelap. Hasil yang paling terlihat penurunannya yaitu pada waktu *grinding* 90 menit dengan kuantitas 200 gr, terjadi penurunan nilai *lightness* mencapai 15.526 di waktu *aging* 48 jam. Hal ini menunjukkan bahwa waktu *aging* dapat memperdalam intensitas warna tinta sehingga dapat dikaitkan dengan proses oksidasi atau pengendapan pigmen yang lebih padat. Paparan terhadap oksigen akan menyebabkan terbentuknya warna gelap yang dapat mengintensifkan warna tinta (Xu, Wang,

dan Fan 2023). Selain itu, waktu *grinding* 90 menit dapat menyebabkan distribusi pigmen lebih merata sehingga efek gelap pada warna dapat dikendalikan.

Pada Gambar 1. memperlihatkan bahwa perbedaan kuantitas 200 gr dan 400 gr tidak menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap nilai *lightness* dibandingkan pengaruh waktu *grinding* dan *aging*. Nilai *lightness* pada P1K2 dengan waktu *aging immediate* cenderung lebih tinggi dari P1K1, yang berarti bahwa besarnya kuantitas bahan dapat memperlambat penurunan kecerahan jika menggunakan waktu *grinding* yang singkat. Nilai *lightness* pada P2K1 dan P2K2 mengalami penurunan seiring dengan semakin lama waktu *aging*. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak bahan yang digunakan dapat menyerap lebih banyak cahaya sehingga akan menurunkan tingkat kecerahan tinta. Penyerapan tinta yang lebih besar dapat mengakibatkan distribusi tinta yang tidak merata dan penggunaan tinta yang lebih tinggi (Li, Gu, dan He 2013).

Grafik *Chroma a* **

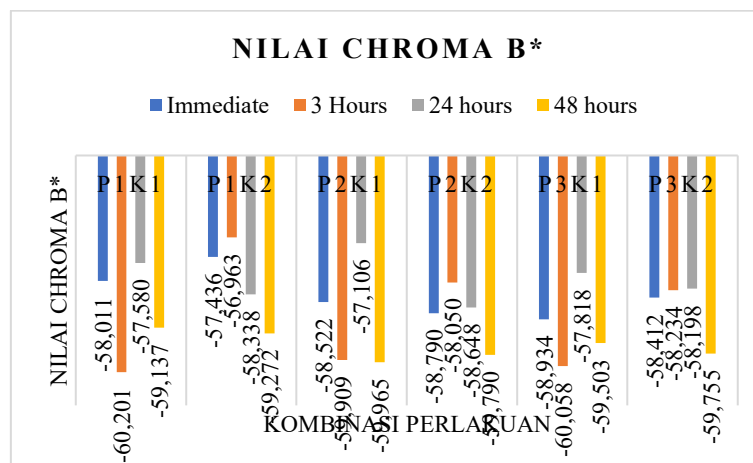


Gambar 2. Grafik Nilai *Chroma a* **

Nilai *Chroma a* ** menggambarkan intensitas warna ke arah warna merah. Berdasarkan grafik Gambar 2. menunjukkan adanya peningkatan nilai *Chroma a** seiring bertambahnya waktu *aging* terutama pada *grinding* 60 menit dan 90 menit. Hal tersebut dapat diartikan bahwa semakin lama waktu *aging* maka terjadi perkembangan warna merah yang lebih kuat. Selain waktu *aging*, nilai *Chroma a** juga dapat dipengaruhi oleh proses stabilisasi dan penyebaran pigmen yang merata. Proses *aging* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, kelembaban, dan sinar UV sehingga akan menyebabkan perubahan fisik dan kimia tinta (Milinković dkk. 2025).

Waktu *grinding* dan besarnya kuantitas bahan yang digunakan juga turut serta dalam mempengaruhi kenaikan nilai warna *Chroma a**. Pada P2K2 menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan P2K1, begitupun pada P3K2 menghasilkan nilai *Chroma a** lebih tinggi dibandingkan P3K1. Semakin lama waktu *grinding* maka dapat meningkatkan nilai *Chroma a** yang dimana distribusi pigmen semakin halus dan homogen. Permukaan yang lebih halus cenderung memberikan hasil cetak yang lebih baik dan lebih tahan lama (Havenko dkk. 2024). Hal ini disebabkan partikel pigmen yang lebih halus dan merata akan membentuk cetakan dot gain seragam, sehingga menghasilkan warna yang lebih kuat (misalnya peningkatan nilai *Chroma a**) serta daya tahan cetak yang lebih baik (Sönmez dan Özden 2019).

Grafik *Chroma b***

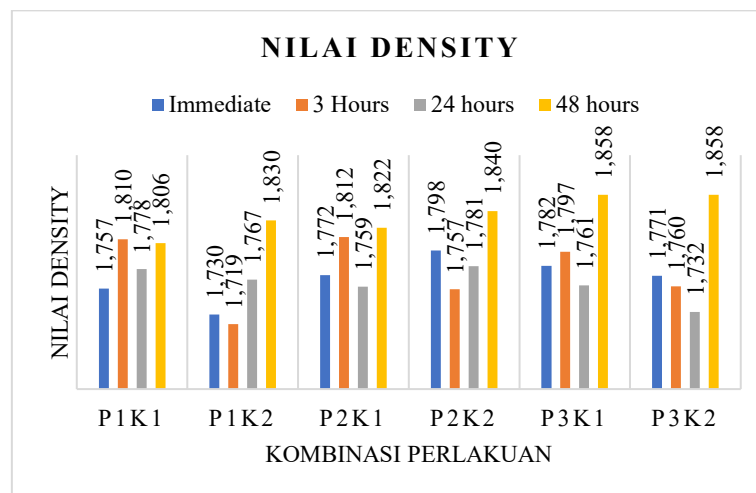


Gambar 3. Grafik Nilai *Chroma b***

Nilai *Chroma b** menunjukkan hasil warna biru. Berdasarkan Gambar 2. nilai *Chroma b** menunjukkan kecenderungan berwarna biru dan semakin lama waktu *aging* maka semakin besar nilai negatif *Chroma b**. Hasil yang paling tinggi yaitu pada perlakuan P1K1 dengan lama waktu *aging* 3 jam mencapai -60.201, yang berarti bahwa dengan waktu *grinding* singkat pigmen sudah mampu terdistribusi merata yang mengarah pada warna biru. Pada waktu *grinding* 60 menit dan 90 menit menunjukkan hasil nilai *Chroma b** yang relatif stabil namun terjadi sedikit peningkatan ke arah biru seiring dengan lama waktu *aging* sehingga tidak mudah teroksidasi atau berubah intensitasnya saat *aging*. Kestabilan warna tinta dapat dipengaruhi oleh jenis pigmen yang digunakan. Kemudian perbedaan kuantitas antara 200 gr dan 400 gr tidak berdampak signifikan terhadap nilai *Chroma b**. Namun dengan kuantitas 400 gr diperoleh hasil yang lebih stabil daripada kuantitas 200 gr, semakin banyak kuantitas bahan

yang digunakan maka pigmen dapat tersebar merata dan tidak mudah mengalami degradasi warna saat *aging* (Wang dan Zheng 2021).

Grafik Nilai *Density*

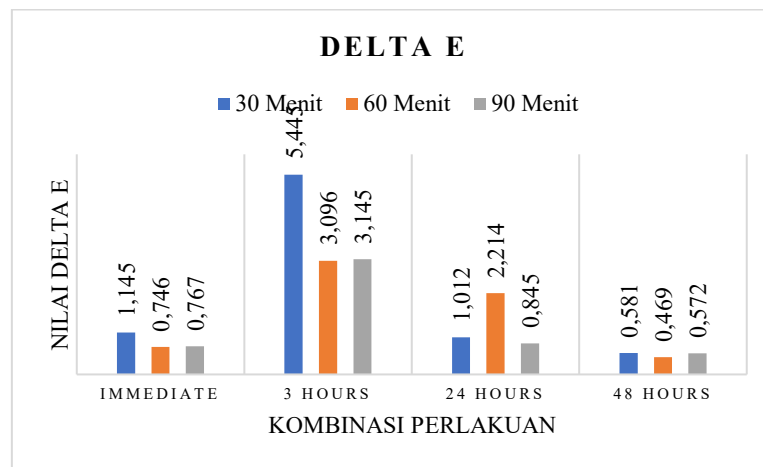


Gambar 4. Grafik Nilai *Density*

Nilai *density* menunjukkan kerapatan tinta yang tercetak. Pada Gambar 4. menunjukkan hasil bahwa semakin lama waktu *aging* maka nilai *density* yang dihasilkan semakin tinggi. Hasil *density* yang paling tinggi diperoleh pada perlakuan P3K2 (*grinding* 90 menit; 400 gr) yaitu mencapai 1.858 dengan lama waktu *aging* 48 jam. Hal tersebut menyatakan bahwa semakin lama waktu *grinding* dan kuantitas bahan semakin besar maka penyebaran pigmen lebih merata dan padat sehingga dapat menghasilkan warna cetak yang lebih pekat. Waktu *grinding* yang lebih lama pada awalnya mengurangi ukuran partikel yang menghasilkan *disperse* lebih baik dan warna yang lebih tajam (Badgujar dkk. 2024).

Perbandingan nilai *density* terjadi secara signifikan pada kombinasi waktu *grinding* dan *aging* yang lama. Pernyataan tersebut menyatakan bahwa kombinasi *grinding* dan *aging* dapat memperbaiki stabilitas dan performa warna tinta (Hou dkk. 2018). Selain itu, pengaruh dari tingginya *density* yaitu kuantitas bahan yang didukung oleh proses *grinding* yang optimal (Güven dkk. 2025).

Grafik Delta E



Gambar 5. Nilai Delta E

Grafik delta E (ΔE) menggambarkan sejauh mana perbedaan warna antara sampel tinta violet hasil perlakuan kuantitas 400 gr terhadap 200 gr. Semakin kecil delta E, semakin stabil warna tinta yang dihasilkan. Nilai delta E yang lebih rendah menunjukkan perbedaan warna yang lebih kecil, sehingga menggambarkan stabilitas dan konsistensi warna lebih tinggi (Proskuriakov, Yakovlev, dan Arkhangelskaia 2021). Berdasarkan grafik, terlihat bahwa perlakuan dengan waktu *grinding* lebih lama (90 menit) dan *aging* lebih panjang (hingga 48 jam) menghasilkan nilai delta E yang lebih rendah secara konsisten. Perlakuan P3K2L4 (*grinding* 90 menit; 400 gr; *aging* 48 jam) menunjukkan nilai delta E terendah diantara seluruh sampel. Hal ini menunjukkan bahwa tinta tersebut memiliki warna paling stabil.

Fenomena ini dapat dijelaskan dari sisi sifat termal resin, khususnya *transition glass* (T_g). Saat proses *grinding* dilakukan lebih lama, resin cenderung melampaui suhu T_g -nya dan mengalami pelunakan. Suhu saat proses *grinding* dan penyelesaian permukaan perlu diseimbangkan untuk mencapai hasil optimal tanpa melebihi *transition glass* (Haider dkk. 2024). Resin yang melunak akan menyatu lebih baik dengan pigmen, sehingga menciptakan campuran yang homogen. Namun, jika langsung digunakan tanpa *aging* tinta masih belum mencapai kestabilan kimiawi sepenuhnya (Xu dkk. 2023:20). Proses *aging* pada tinta dapat lebih meningkatkan stabilitas kimianya dan memastikan kinerja yang lebih baik dalam aplikasi pencetakan (Hakeim dkk. 2018). Oleh karena itu, proses *aging* selama 48 jam memberikan waktu bagi resin dan pigmen untuk berikatan lebih stabil, menyempurnakan reaksi antar komponen, serta mengurangi tegangan antarpartikel (Fidan 2022; Ma dkk. 2022).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi proses grinding selama 90 menit, aging selama 48 jam, dan kuantitas 400gram (perlakuan P3K2L4) menghasilkan nilai density paling optimal dan stabil baik dalam kuantitas 200gram maupun 400gram yaitu 1.858, dengan delta E 0,572. Pada nilai delta E perlakuan aging 48 jam, P1 (0.581) dan P2 (0.469) mengalami penurunan yang seragam. Artinya, antar perlakuan juga menunjukkan bahwa aging membantu menekan penyimpangan warna (delta E) ketika diproduksi dengan kuantitas yang berbeda. Bahan penyusun tinta tersebut mengalami stabilisasi secara termal dan kimia, sehingga tidak terjadi perubahan signifikan pada sifat fisik tinta. Namun, dapat terlihat dari kestabilan nilai warna dan peningkatan density yang signifikan. Oleh karena itu, perlu tindakan khusus terhadap formulasi tinta yang bersifat sensitif. Penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan analisis suhu aktual selama proses pembuatan tinta skala produksi massal serta karakterisasi termal resin secara langsung guna melihat pengaruh Tg secara kuantitatif.

DAFTAR REFERENSI

- Badgujar, N. P., Kulkarni, R. D., Deshpande, T., Arumugam, N., & Nagaraj, K. (2024). Insights into phthalocyanine blue pigment dispersion: Modeling particle size distribution and grinding rate constants. *Journal of the Indian Chemical Society*, 101(11), 101428. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2024.101428>
- Chung, R., Fedorovskaya, E., Hunter, D., & Urbain, P. (2017). Predicting color image match. In Vol. 2017-March (pp. 132–142).
- Durmus, D. (2020). CIELAB color space boundaries under theoretical spectra and 99 test color samples. *Color Research & Application*, 45(5), 796–802. <https://doi.org/10.1002/col.22521>
- Fidan, M. (2022). Accelerated aging effects on color change, translucency parameter, and surface hardness of resin composites (K. Michalakis, Ed.). *BioMed Research International*, 2022(1), 6468281. <https://doi.org/10.1155/2022/6468281>
- Guo, D., Li, J., Shao, Y., Wang, L., He, G., Wu, L., & Qi, D. (2025). Shorter-process low-carbon cleaner digital ink-jet printing of polyester-cotton blend fabric using self-cured core-shell color microsphere with high dyes content. *Progress in Organic Coatings*, 203, 109185. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2025.109185>
- Güven, G., Ulusoy, U., Burat, F., Mojtahedi, B., & Bayar, G. (2025). Time-dependent tap density modeling of graphite milled by vibrating disc mill. *Minerals*, 15(4), 403. <https://doi.org/10.3390/min15040403>
- Hai, J. P., Guo, L. H., Qi, Y. Y., & Liu, G. D. (2023). Research on the spectral prediction model of gravure spot color scale based on density. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi/Spectroscopy and Spectral Analysis*, 43(1), 31–36.

[https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593\(2023\)01-0031-06](https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593(2023)01-0031-06)

- Haider, S. M., Hussain, A., Abbas, M., Khan, S. A., & Sarfraz, S. (2024). Analysis of the surface quality and temperature in grinding of acrylic-based resin. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(4), 139. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040139>
- Hakeim, O. A., Arafa, A. A., Zahran, M. K., & Abdou, L. A. W. (2018). Characterisation and application of pigmented UV-curable inkjet inks. *Pigment & Resin Technology*, 47(2), 164–172. <https://doi.org/10.1108/PRT-11-2016-0099>
- Havenko, S., Czubak, J., Labetska, M., Kochubei, V., & Lviv Polytechnic National University. (2024). Study of quality indicators of gravure imprints obtained with fluorescent ink. *Journal of Graphic Engineering and Design*, 15(3), 31–41. <https://doi.org/10.24867/JGED-2024-3-031>
- Hegyháti, M., Bakon, K. A., & Holczinger, T. (2023). Optimization with uncertainties: A scheduling example. *Central European Journal of Operations Research*, 31(4), 1239–1263. <https://doi.org/10.1007/s10100-023-00854-4>
- Hou, Q., Liang, M., Wang, Z., Liu, R., & Li, L. (2018). The effect of grinding conditions on disperse particle size of ultrafine organic pigment water-based dispersion system. In *Applied Sciences in Graphic Communication and Packaging* (Vol. 477, pp. 731–736). Springer Singapore.
- Izzo, F. C., Balliana, E., Perra, E., & Zendri, E. (2020). Accelerated ageing procedures to assess the stability of an unconventional acrylic-wax polymeric emulsion for contemporary art. *Polymers*, 12(9), 1925. <https://doi.org/10.3390/polym12091925>
- Lee, S. G., Kim, S., & Lee, H. L. (2020). Effect of the glass-transition temperature of latexes on drying-stress development of latex films and inkjet coating layers. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 35(4), 660–669. <https://doi.org/10.1515/npprj-2020-0052>
- Li, H., & Xiao, R. (2021). Glass transition behavior of wet polymers. *Materials*, 14(4), 730. <https://doi.org/10.3390/ma14040730>
- Li, Y., Gu, W., & He, B. (2013). Relationship between binder content and ink absorption of coated paper. In Vol. 650 (pp. 206–210).
- Liu, J., Xue, P., Yan, X., Qi, N., Chen, Z., Wang, Z., & Li, N. (2025). In situ monitoring of nonlinear physical aging and anti-aging in polymer-based separation membranes. *Journal of Membrane Science*, 727, 124054. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2025.124054>
- Liu, T., & Chen, G. (2018). A color prediction model for halftone print based on light scattering effect. In *Applied Sciences in Graphic Communication and Packaging* (Vol. 477, pp. 103–109). Springer Singapore.
- Lu, Q., Chen, Y., & Zhang, X. (2024). Grinding process optimization considering carbon emissions, cost and time based on an improved dung beetle algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 197, 110600. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110600>

- Ma, J., Wu, W., Ke, Z., Li, H., Luo, J., Yang, J., & Liu, G. X. (2022). Viscosity master curves and predictions of phenolic resin solutions through early aging. *Polymer*, 261, 125405. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2022.125405>
- Maier, J. T., Heuer, T., Nyhuis, P., & Schmidt, M. (2021). The effects of hybrid order processing strategies on economic and logistic objectives. *Procedia CIRP*, 96, 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.085>
- Milinković, B., Stančić, M., Majnarić, I., Blaznik, B., & Urbas, R. (2025). Influence of aging process on UV inkjet black printed PVC foil. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 60(3), 521–530. <https://doi.org/10.59957/jctm.v60.i3.2025.18>
- Panich, W., Nak-on, S., Sabaijai, M., Raksaman, A., Puttharugsa, C., Tejangkura, T., & Chontanarith, T. (2024). Evaluation of semi-quantitative colorimetric assays based on loop-mediated isothermal amplification indicators by using image analysis. *Analytical Biochemistry*, 688, 115481. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2024.115481>
- Prasetyo, K. E., & Putrawan, I. D. G. A. (2020). Comparative study of grinding machines processes on laboratory scale and production scale in the printing ink industry. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.26555/chemica.v7i1.13369>
- Proskuriakov, N. E., Yakovlev, B. S., & Arkhangelskaia, N. N. (2021). Features of the CIE76, CIE-94, and CIE-2000 methods that affect the quality of the determining process of the image average color. *Journal of Physics: Conference Series*, 1791(1), 012107. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1791/1/012107>
- Qu, T., Nan, G., Ouyang, Y., Bieketuexun, B., Yan, X., Qi, Y., & Zhang, Y. (2023). Structure–property relationship, glass transition, and crystallization behaviors of conjugated polymers. *Polymers*, 15(21), 4268. <https://doi.org/10.3390/polym15214268>
- Sönmez, S., & Özden, Ö. (2019). The influence of pigment proportions and calendering of coated paperboards on dot gain. *Bulgarian Chemical Communications*, 51(2), 212–218. <https://doi.org/10.34049/bcc.51.2.4853>
- Verkhola, M., Panovyk, U., Kalytka, M., & Babych, O. (2021). Modeling and analysis of the ink splitting factors influence on ink filling in offset printing. *Journal of Print and Media Technology Research*, 10(4), 215–229. <https://doi.org/10.14622/JPMTR-2113>
- Wang, L., & Zheng, Y. (2021). The impact of artificial aging on the color stability and hardness of nanocomposite resin. *Frontiers in Materials*, 8, 722131. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.722131>
- Wang, R., Li, M., Tian, A., Wang, C., & Fu, S. (2021). Relationship between disperse yellow 6GSL crystal form and thermal stability of its dispersions. *Fangzhi Xuebao/Journal of Textile Research*, 42(5), 96–102. <https://doi.org/10.13475/j.fzxb.20200707107>
- Xu, Z., Wang, Q., & Fan, H. (2023). Changes in color and iron ions of commercial iron gall inks after artificial aging. *Heritage Science*, 11(1), 96. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00943-2>
- Zehra, Z., & Bashir, M. N. (2019). Color fastness grading system for textile industry using

CIELab color space. In 2019 4th MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC) (pp. 1–5). Muscat, Oman: IEEE.

Zhang, C., Wang, L., Yu, M., Qu, L., Men, Y., & Zhang, X. (2018). Surface processing and ageing behavior of silk fabrics treated with atmospheric-pressure plasma for pigment-based ink-jet printing. *Applied Surface Science*, 434, 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.10.178>