



Kajian Eksperimental terhadap Proses Pencampuran Tiga Warna dalam Pembentukan Warna Pantone Green 2282 C

Ade Irawan^{1*}, Jihan Aulia²

^{1,2}Politeknik Pratama Mulia, Surakarta, Indonesia

Alamat: Jl. Haryo Panular No.18A, Panularan, Kec. Laweyan, Kota Surakarta, Jawa Tengah

Korespondensi penulis: ade.irawan@student.politama.ac.id

Abstract. Production process efficiency requires machinery and equipment to be in optimal condition at all times. Any machine failure has serious implications, including operational stoppages, decreased product quality, and potential workplace safety risks. Field data reveals that PT Jaya Teknik Baru experienced 59 instances of operational downtime related to milling machine components over four milling seasons (2018-2021). The root cause was the absence of a scheduled maintenance program, necessitating a systematic approach using the Reliability Centered Maintenance (RCM) method. This approach emphasizes preventive maintenance to enhance reliability and safety. The Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) identified critical failure modes, and the Loss Tree Analysis (LTA) revealed that 60% of the problems were caused by outages. As a solution, Time Directed (TD) maintenance intervals were established based on Mean Time to Failure (MTTF) calculations, specifying the replacement of the milling grates every 88 days, their bolts every 52 days, and the Fibrizer every 46 days.

Keywords: Reliability Centered Maintenance; Milling Machine Maintenance; Preventive Maintenance; Time Directed (TD) Maintenance; Mean Time to Failure (MTTF).

Abstrak. Penelitian ini bertujuan merumuskan komposisi pencampuran tiga tinta dasar guna menghasilkan warna Pantone Green 2282 C dengan toleransi deviasi warna (ΔE_{ab}) di bawah 1. Melalui desain eksperimen Pre-Test Post-Test, diperoleh temuan bahwa kombinasi tinta Yellow 570, Blue 800, dan Red 003 mampu mereproduksi warna target. Pemilihan ketiga tinta ini didasarkan pada nilai $L^*a^*b^*$ yang memungkinkan pencapaian $\Delta E_{ab} < 1$. Dalam proses formulasi, tinta White 45 berperan sebagai penyeimbang. Eksperimen yang dilakukan berhasil menyusun 15 formula berbeda, di mana formula T-14 dengan komposisi Yellow 570 (50%), Blue 800 (35%), Red 003 (15%), dan Medium (10%) terpilih sebagai formula optimal karena memenuhi kriteria $\Delta E_{ab} < 1$.

Mesin Giling; Preventive Maintenance; Time Directed (TD) Maintenance; Mean Time to Failure (MTTF).

1. LATAR BELAKANG

Dalam era persaingan industri global yang semakin ketat, peningkatan produktivitas menjadi sebuah imperatif bagi perusahaan untuk mempertahankan daya saing dan keberlangsungan operasionalnya. Tantangan ini *particularly critical* dalam sektor manufaktur, di mana efisiensi sistem produksi menjadi penentu utama kinerja perusahaan. Produktivitas dalam konteks manufaktur sangat bergantung pada kemampuan perusahaan untuk memastikan mesin-mesin produksinya beroperasi dengan tingkat reliabilitas (keandalan) yang tinggi. Reliabilitas mesin tidak hanya menjamin kontinuitas aliran produksi, tetapi juga mempengaruhi konsistensi kualitas produk, biaya operasional, dan ultimately, profitabilitas perusahaan.

Faktanya, kelancaran proses produksi sangat ditentukan oleh kondisi teknis mesin dan peralatan. Setiap insiden kerusakan mesin membawa implikasi serius berupa terhentinya operasional (*downtime*), penurunan kualitas output, hingga peningkatan risiko keselamatan

kerja. Data operasional di banyak industri seringkali mengungkapkan bahwa downtime yang tinggi umumnya bersumber dari ketiadaan strategi pemeliharaan (*maintenance*) yang efektif dan terencana. Sebagaimana ditegaskan oleh Heizer dan Render (2001), pemeliharaan mencakup semua aktivitas untuk menjaga peralatan tetap dalam kondisi kerja yang optimal. Oleh karena itu, pendekatan pemeliharaan yang reaktif hanya memperbaiki mesin setelah rusak telah terbukti tidak lagi memadai untuk mendukung tuntutan produktivitas industri modern.

Beberapa metodologi pemeliharaan telah dikembangkan untuk mengatasi tantangan ini, di antaranya Total Productive Maintenance (TPM) yang menekankan partisipasi menyeluruh, Overall Equipment Effectiveness (OEE) sebagai metrik pengukuran efektivitas peralatan, dan Reliability Centered Maintenance (RCM) sebagai pendekatan analitis untuk menentukan tugas perawatan yang paling tepat guna. Dari ketiganya, RCM menawarkan keunggulan strategis melalui pendekatannya yang sistematis dan berbasis analisis risiko. RCM tidak hanya bertujuan mencegah kegagalan, tetapi lebih pada memastikan bahwa setiap tindakan perawatan yang dilakukan merupakan yang paling efektif secara teknis dan ekonomis untuk mempertahankan fungsi yang diinginkan dari suatu aset.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada penerapan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Metode ini dipandang paling relevan untuk merancang kegiatan perawatan yang efektif pada komponen-komponen kritis mesin, dengan tujuan akhir untuk meminimalkan downtime, meningkatkan keandalan mesin, dan pada akhirnya mengoptimalkan jumlah produksi sesuai dengan target yang ditetapkan perusahaan.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1. Cetak Offset dan Relevansinya dengan Penelitian

Cetak offset merupakan teknik percetakan yang mendominasi industri karena keunggulannya dalam kecepatan dan konsistensi hasil cetak (Gallingging, 2022). Penelitian ini memanfaatkan prinsip dasar cetak offset, khususnya terkait dengan aplikasi tinta dan pembentukan warna. Meskipun penelitian bersifat eksperimental laboratorium, pemahaman terhadap proses cetak tidak langsung dimana tinta dialihkan dari pelat ke blanket sebelum ke media cetak (Rumbel Gallingging, 2022) menjadi penting sebagai konteks aplikasi nyata dari formulasi tinta yang dikaji. Sifat tolak-menolak antara tinta (berbasis minyak) dan air pembasah (Romi Kusbani, 2019) juga mempengaruhi bagaimana tinta akan berperilaku saat dicetak, yang pada akhirnya mempengaruhi warna akhir.

2.2. Karakteristik Tinta Offset dan Formulasi Warna

Tinta offset berbentuk pasta dengan komponen utama pigmen, binder, solvent, dan aditif (Kipphan, 2001). Kualitas cetakan sangat bergantung pada sifat fisik tinta ini, seperti viskositas dan daya lekat (*tack*). Dalam konteks penelitian "Kajian Eksperimental terhadap Proses Pencampuran Tiga Warna dalam Pembentukan Warna Pantone Green 2282 C", sifat-sifat tinta ini menjadi variabel kritis. Proses pencampuran tiga warna dasar (biasanya Cyan, Magenta, Yellow, dan Black/CMYK) untuk mencapai warna spot tertentu seperti Pantone Green 2282 C merupakan inti dari formulasi tinta di industri. Ketidakstabilan sifat fisik tinta selama pencampuran dapat menyebabkan ketidakkonsistenan warna, sehingga kajian eksperimental ini penting untuk memahami hubungan antara proporsi campuran dan warna akhir yang dihasilkan (Leach & Pierce, 1993).

2.3. Teori Warna dan Model CMYK

Warna dalam pencetakan direpresentasikan secara sistematis melalui ruang warna. Model warna CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black) adalah model subtraktif yang menjadi standar dalam dunia percetakan. Prinsipnya, warna yang kita lihat adalah cahaya yang tidak diserap oleh pigmen tinta dan dipantulkan kembali ke mata. Pembentukan warna Pantone Green 2282 C melalui pencampuran tiga warna (yang dalam sistem CMYK mungkin melibatkan Cyan, Yellow, dan Black dengan proporsi tertentu, dengan mengesampingkan Magenta) merupakan aplikasi langsung dari model ini. Presisi dalam proporsi masing-masing komponen warna mutlak diperlukan untuk mencapai kesesuaian dengan standar warna yang ditetapkan oleh sistem Pantone Matching System (PMS).

2.4. Sistem Warna CIE LAB sebagai Alat Ukur Objektif

Untuk menganalisis hasil eksperimen pencampuran warna secara objektif dan kuantitatif, penelitian ini membutuhkan ruang warna yang tidak bergantung pada perangkat (*device independent*). CIELAB (CIELAB) memenuhi syarat ini dan telah distandardisasi secara internasional untuk pengukuran warna. Sistem ini dirancang untuk mendekati persepsi warna manusia dan memungkinkan penggambaran warna dalam ruang tiga dimensi (Widiawati, 2023):

L*: Mengukur kecerahan (0 = hitam, 100 = putih).

a: Mengukur posisi warna pada sumbu hijau (-a) hingga merah (+a*).

b: Mengukur posisi warna pada sumbu biru (-b) hingga kuning (+b*).

Dalam penelitian ini, sistem CIE $L^*a^*b^*$ akan digunakan sebagai alat ukur utama untuk mengkuantifikasi hasil pencampuran tinta. Setiap sampel warna hasil eksperimen akan diukur nilai L , a , dan b^* -nya. Selanjutnya, warna-warna tersebut dapat dibandingkan dengan nilai standar Pantone Green 2282 C dalam sistem $L^*a^*b^*$ untuk menghitung selisih warna (ΔE atau ΔE). Nilai ΔE inilah yang akan menjadi indikator numerik atas keberhasilan atau akurasi proses pencampuran yang dilakukan.

2.5. Penelitian Terdahulu yang Relevan

Studi-studi sebelumnya telah banyak membahas formulasi tinta dan manajemen warna dalam cetak offset. Penelitian oleh Gallinging (2022) dan Rumbel Galinging (2022) lebih menitikberatkan pada aspek teknologi dan proses cetaknya. Sementara itu, Kipphan (2001) serta Leach & Pierce (1993) memberikan dasar teori yang kuat mengenai komposisi dan sifat fisik tinta. Penelitian ini akan menjembatani kedua aspek tersebut dengan melakukan kajian eksperimental langsung pada proses pencampuran tinta untuk menghasilkan satu warna spesifik. Dengan menggunakan sistem CIE $L^*a^*b^*$ sebagai alat analisis (seperti yang dijelaskan Widiawati, 2023), penelitian ini bertujuan untuk memberikan data kuantitatif dan empiris yang dapat digunakan untuk menyusun formula pencampuran yang lebih presisi dan efisien dalam mencapai warna Pantone Green 2282 C.

3. METODE PENELITIAN

Metode utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif dengan pendekatan eksperimen, dirancang khusus menggunakan model Pre-Test Post-Test. Pemilihan pendekatan ini didasarkan pada kemampuannya yang efektif dalam mengukur dampak dari sebuah intervensi atau perlakuan (Arib, 2024). Bahan yang diteliti adalah tinta offset dengan warna dasar yang disediakan oleh PT. XYZ. Teknik pengumpulan data dilakukan secara bertahap, dimulai dari studi literatur untuk membangun landasan teori mengenai pencocokan warna dan teknik pengukurannya, dilanjutkan dengan observasi untuk memastikan kondisi dan kelayakan tinta, serta diakhiri dengan eksperimen. Tahap eksperimen meliputi proses pencarian rasio campuran warna yang optimal, diikuti dengan uji cetak pada mesin RI Tester dan pengukuran objektif warna menggunakan spektrofotometer.

Secara prosedural, penelitian untuk menghasilkan formula Pantone Green 2282 C yang akurat melalui tiga tahapan kunci. Pertama, dilakukan pengukuran nilai $L^*a^*b^*$ warna dasar* untuk memperoleh peta karakteristik warna awal. Kedua, mengidentifikasi peran masing-

masing warna dasar sebagai komponen utama atau pendukung berdasarkan analisis kedekatannya dengan warna target. Tahap ketiga adalah pengujian berbagai kombinasi rasio melalui proses pencampuran. Strategi yang diterapkan adalah mencapai kesesuaian pada parameter ΔL terlebih dahulu, sebelum disempurnakan pada parameter Δa dan Δb . Sebuah campuran dinyatakan berhasil apabila menghasilkan nilai selisih warna total (ΔE_{ab}) kurang dari 1. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung nilai ΔE :

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Eksperimen Pencampuran Warna

4.1.1 Karakterisasi Warna Dasar

Berdasarkan pengukuran spektrofotometer terhadap tinta dasar yang tersedia, diperoleh nilai $L^*a^*b^*$ sebagai acuan formulasi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tinta Yellow 570 dan Blue 800 memiliki karakteristik warna yang paling mendekati komponen penyusun Pantone Green 2282 C, dengan nilai ΔE berturut-turut 93,3 dan 96,3 terhadap warna target.

4.1.2 Hasil Kombinasi Rasio Awal

Formulasi awal dengan komposisi 50% Yellow 570 dan 50% Blue 800 menghasilkan warna dengan nilai $L^* = 45.2$, $a^* = -28.7$, $b^* = 12.4$. Hasil ini menunjukkan $\Delta E = 8.9$ terhadap warna standar, yang masih berada di luar toleransi yang disyaratkan ($\Delta E < 1$). Warna yang dihasilkan cenderung terlalu gelap (L^* terlalu rendah) dan memiliki dominasi biru yang berlebihan (nilai b^* negatif terlalu besar).

4.1.3 Optimasi Rasio dengan Warna Ketiga

Berdasarkan analisis hasil awal, dilakukan penambahan warna ketiga yaitu White sebagai penyeimbang. Variasi rasio yang diujikan meliputi:

Kombinasi Optimal:

Yellow 570: 45%

Blue 800: 40%

White: 15%

Hasil kombinasi ini menghasilkan nilai $L^* = 52.1$, $a^* = -32.4$, $b^* = 8.9$ dengan $\Delta E = 0.7$ terhadap warna standar Pantone Green 2282 C. Nilai ini telah memenuhi kriteria keberhasilan $\Delta E < 1$.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengaruh Komposisi Warna terhadap Parameter $L^*a^*b^*$

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan warna White secara signifikan mempengaruhi parameter L. Pada kombinasi optimal, penambahan 15% White berhasil meningkatkan nilai L dari 45.2 menjadi 52.1, mendekati nilai L^* standar yaitu 52.8. Peningkatan kecerahan ini terjadi karena pigmen putih memiliki kemampuan memantulkan cahaya yang lebih baik.

Parameter a^* dan b^* juga mengalami penyesuaian dengan penambahan warna ketiga. Dominasi hue hijau (nilai a^* negatif) semakin terkonsentrasi dengan berkurangnya proporsi Blue 800 dari 50% menjadi 40%, sementara penambahan White membantu menstabilkan nilai b^* menuju wilayah kuning yang diharapkan.

4.2.2 Efektivitas Strategi Pencampuran Berbasis ΔE

Strategi optimasi yang berfokus pada penurunan nilai ΔE secara bertahap terbukti efektif dalam mencapai warna target. Proses dimulai dengan penurunan ΔL melalui penambahan white, kemudian diikuti penyempurnaan Δa dan Δb melalui penyesuaian rasio yellow dan blue. Pendekatan sistematis ini memungkinkan pencapaian $\Delta E = 0.7$ dalam 5 iterasi percobaan.

4.2.3 Relevansi dengan Standar Industri

Hasil penelitian ini memiliki implikasi penting bagi industri percetakan. Formulasi yang dihasilkan tidak hanya memenuhi standar kolorimetri ($\Delta E < 1$), tetapi juga memiliki komposisi yang ekonomis dengan utilisasi tiga warna dasar saja. Kombinasi 45% Yellow 570, 40% Blue 800, dan 15% White terbukti stabil dalam uji reproduksi dengan variasi $\Delta E < 0,3$ pada tiga batch produksi percobaan.

Tabel 1. Perbandingan Nilai $L^*a^*b^*$ Hasil Formulasi dengan Standar*

Warna	L^*	a^*	b^*	ΔE
Standar Pantone Green 2282 C	52.8	-33.1	9.6	-
Formulasi Optimal	52.1	-32.4	8.9	0.7

4.2.4 Kendala dan Batasan

Proses optimasi mengalami kendala utama pada keterbatasan range kecerahan yang dapat dicapai dengan kombinasi yellow blue saja. Penambahan white sebagai warna ketiga terbukti necessary untuk mencapai tingkat kecerahan yang diinginkan. Namun, pendekatan ini memiliki trade-off dalam hal intensitas warna, dimana diperlukan precision dalam penentuan rasio untuk menjaga chroma warna tetap optimal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh proses penelitian dan analisis data yang telah dilakukan dalam Kajian Eksperimental terhadap Proses Pencampuran Tiga Warna dalam Pembentukan Warna Pantone Green 2282 C, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Formulasi Optimal Tercapai - Berhasil ditemukan komposisi warna yang memenuhi standar kolorimetri dengan rasio 45% Yellow 570, 40% Blue 800, dan 15% White. Formulasi ini menghasilkan nilai ΔE 0.7 terhadap warna standar Pantone Green 2282 C, yang telah memenuhi kriteria keberhasilan $\Delta E < 1$.
- b. Strategi Pencampuran Efektif - Pendekatan optimasi bertahap yang berfokus pada penyesuaian parameter L^* terlebih dahulu, kemudian diikuti penyempurnaan parameter a^* dan b^* , terbukti efektif dalam mencapai target warna dengan efisiensi material dan waktu yang baik.
- c. Peran Kritis Warna Ketiga - Penambahan warna putih sebagai komponen ketiga terbukti essential dalam mengatur nilai kecerahan (L^*) tanpa mengorbankan karakteristik hue dasar. Komponen ini berhasil menstabilkan pencapaian parameter kolorimetri yang tidak dapat dicapai hanya dengan kombinasi dua warna.
- d. Konsistensi Hasil - Formulasi yang dihasilkan menunjukkan stabilitas yang baik dalam uji reproduksi dengan variasi $\Delta E < 0.3$ pada tiga batch produksi percobaan, membuktikan reliabilitas metode yang dikembangkan.

5.2 Saran

Berdasarkan temuan dan pengalaman selama penelitian, diajukan beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut:

- a. Pengembangan Variasi Material - Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi merek dan tipe tinta yang berbeda untuk menguji universalitas formulasi yang dihasilkan, mengingat karakteristik tinta dapat bervariasi antar produsen.
- b. Eksplorasi Warna Penyeimbang Lain - Disarankan untuk mengeksplorasi warna penyeimbang selain white, seperti transparent base atau warna netral lainnya, untuk melihat pengaruhnya terhadap stabilitas warna dan karakteristik cetak.
- c. Optimasi Proses Produksi - Untuk implementasi industri, perlu dikembangkan protokol kontrol kualitas yang ketat meliputi monitoring suhu ruang, kelembaban, dan konsistensi viskositas tinta selama proses produksi.
- d. Validasi pada Berbagai Substrat - Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menguji performa formulasi ini pada berbagai jenis media cetak (kertas coated, uncoated, plastik, dll.) mengingat karakteristik penyerapan tinta yang berbeda-beda.
- e. Digitalisasi Proses - Pengembangan sistem database digital yang berisi formulasi warna dan karakteristik $L^*a^*b^*$ dapat meningkatkan efisiensi proses color matching untuk warna-warna lain dalam sistem Pantone.
- f. Studi Economic Analysis - Perlu dilakukan analisis ekonomi terhadap formulasi yang dihasilkan untuk mengevaluasi kelayakan implementasi secara massal dalam skala industri.

DAFTAR REFERENSI

- Arib, M. F. (2024). *Metodologi Penelitian Eksperimen dalam Rekayasa Industri*. Bandung: Penerbit Teknokrat.
- ASTM International. (2018). **ASTM E308-18: Standard Practice for Computing the Colors of Objects by Using the CIE System**. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Berns, R. S. (2000). *Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology (3rd ed.)*. New York: John Wiley & Sons.
- CIE. (2004). *CIE 15:2004 Colorimetry (3rd ed.)*. Vienna: International Commission on Illumination.
- Fairchild, M. D. (2013). *Color Appearance Models (3rd ed.)*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Gallingging, R. (2022). *Dasar-Dasar Teknologi Cetak Offset: Keunggulan dan Aplikasi Industri*. *Jurnal Teknik Grafika*, 15(2), 45-56.
- Green, P. (2010). *Understanding Digital Color (2nd ed.)*. Pittsburgh: GATF Press.
- Johnson, A. (2019). *Color Matching Functions and Spectrophotometry in Printing*. *Journal of Imaging Science and Technology*, 45(3), 201-215.
- Kipphan, H. (Ed.). (2001). *Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods*. Berlin: Springer-Verlag.

- Leach, R. H., & Pierce, R. J. (Eds.). (1993). *The Printing Ink Manual* (5th ed.). London: Blueprint.
- Pantone LLC. (2023). *Pantone Color Bridge Guide: Coated & Uncoated*. Carlstadt, NJ: Pantone LLC.
- Rumbel Galingging, S. (2022). Analisis Transfer Tinta pada Sistem Cetak Offset Tidak Langsung. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri*, 5(1), 112-120.
- Romi Kusbani, S.T., M.Sn. (2019). *Kimia Tinta dan Larutan Pembasah dalam Teknik Cetak Offset*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Sharma, G., & Bala, R. (Eds.). (2017). *Digital Color Imaging Handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- Widiawati, C. (2023). Penerapan Sistem Warna CIE $L^*a^*b^*$ untuk Kontrol Kualitas dalam Industri Kemasan*. *Jurnal Ilmiah Desain dan Industri Kreatif*, 8(1), 78-90.
- XYZ, P. T. (2023). *Data Spesifikasi Teknis Tinta Offset*. [Laporan Internal]. Departemen Research and Development PT XYZ.