

Analisis Integrasi CPM, PERT, Dan FMEA Untuk Tindakan Mitigasi Produk Cacat Pada Manufaktur Kertas *Cast Coat*

Gilang Ramadhan¹, Muhamad Sayuti², Mohammad Fadli Perdana³, Afif Hakim⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Buana Perjuangan Karawang
Jl. Ronggo Waluyo Simabaya, Puseurjaya, Teluk Jambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361
Email: ti20.gilangramadhan@mhs.ubpkarawang.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini membahas masalah produk cacat, khususnya *Defect Streak*, pada manufaktur kertas *cast coat*, yang mencapai 55% dari total cacat dengan rata-rata tingkat cacat 28,7% (Juli 2023-Juni 2024). Metode penelitian yang digunakan adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk identifikasi akar penyebab dan prioritasasi risiko, serta *Critical Path Method* (CPM) dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) untuk perencanaan proyek perbaikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketidakstabilan kecepatan roll adalah penyebab utama *Defect Streak* dengan nilai RPN tertinggi. Analisis CPM mengidentifikasi jalur kritis perbaikan sebagai A→C→D→E→F→H dengan durasi total 16 hari. PERT memperkirakan probabilitas penyelesaian proyek dalam 17 hari sebesar 82,38%. Kesimpulannya, integrasi ketiga metode ini terbukti efektif dalam menyusun tindakan mitigasi yang sistematis dan terukur, meningkatkan keandalan proses produksi jangka panjang.

Kata kunci: *Defect Streak*, FMEA, CPM, PERT, kertas *cast coat*, risiko produksi,

ABSTRACT

This research discusses the issue of defective products, particularly Defect Streak, in cast coat paper manufacturing, which accounts for 55% of total defects with an average defect rate of 28.7% (July 2023 - June 2024). The research method used is Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for root cause identification and risk prioritization, as well as Critical Path Method (CPM) and Program Evaluation and Review Technique (PERT) for improvement project planning. The research results indicate that instability in roll speed is the leading cause of Defect Streak, with the highest RPN value (432). The CPM analysis identifies the critical improvement path as A→C→D→E→F→H with a total duration of 16 days. PERT estimates the probability of project completion in 17 days at 82.38%. In conclusion, integrating these three methods has proven effective in forming systematic and measurable mitigation actions, enhancing the long-term reliability of the production process.

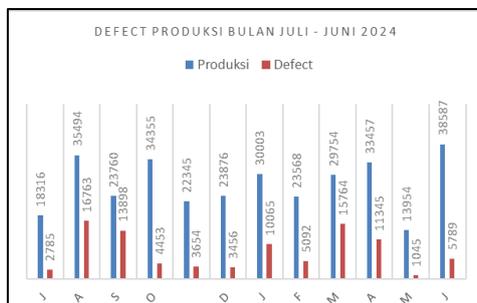
Keywords: *Defect Streak*, FMEA, CPM, PERT, cast coat paper, production risk

Pendahuluan

Dalam sektor manufaktur, daya saing sebuah perusahaan ditentukan oleh kualitas produknya. Kualitas suatu produk atau layanan melibatkan kemampuannya untuk memenuhi kebutuhan konsumen yang eksplisit maupun implisit. [1] Kotler dan Keller mendefinisikan kualitas sebagai kapasitas suatu produk untuk memenuhi atau bahkan melampaui harapan penggunanya dalam hal kinerja atau hasil. Oleh karena itu, perusahaan dituntut untuk menjaga kualitas produknya agar kepuasan dan kepercayaan pelanggan tetap terjaga [2]. Salah satu ancaman utama terhadap kualitas adalah keberadaan cacat (*defect*) pada produk. *Defect* dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kesalahan desain, penggunaan bahan baku yang tidak sesuai, atau ketidaktepatan dalam proses produksi [3]. Produk cacat adalah barang yang memiliki kekurangan yang mengakibatkan nilai atau kualitasnya kurang baik atau tidak sempurna, sehingga dapat mempengaruhi performa, daya tahan, atau bahkan membuat produk tidak layak digunakan [4]. Tingkat cacat yang tinggi berdampak langsung pada efisiensi operasional, meningkatkan biaya produksi akibat pengerjaan ulang, serta menurunkan reputasi merek [5]. Oleh karena itu, penerapan sistem pengendalian kualitas seperti *Six Sigma* atau *Statistical Process Control* (SPC) menjadi penting untuk mengidentifikasi dan mengurangi sumber cacat [6].

Dalam industri kertas, khususnya kertas *cast coat*, *defect* menjadi masalah yang krusial. Kertas *cast coat* adalah kertas berlapis dengan permukaan sangat halus dan mengkilap, digunakan untuk kebutuhan cetak berkualitas tinggi seperti kemasan premium, kartu nama, dan label produk. Namun, proses produksinya rentan terhadap berbagai jenis *defect*, antara lain *streak*, *light spot*, tetesan air, dan belang. Di antara jenis tersebut, *defect*

streak merupakan yang paling dominan, yakni berupa garis atau strip pada permukaan kertas akibat variasi kualitas bahan baku, kondisi mesin, maupun parameter proses seperti kecepatan, tekanan, dan suhu [7]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi bahan baku dan parameter proses merupakan penyebab utama *defect streak* [7], sedangkan masalah pada metode proses produksi [8], kondisi mesin yang aus atau rusak [9], dan faktor manusia seperti keterampilan operator [10] juga turut berperan.



Gambar 1. Data produksi Kertas *cast coat* bulan juli-juni 2024
 (Sumber: data QC 2024)

Berdasarkan data produksi kertas *cast coat* periode Juli 2023–Juni 2024, total produksi mencapai 327.469 unit dengan jumlah cacat 94.109 unit atau rata-rata *defect rate* 28,7% [Data QC 2024]. Produksi tertinggi terjadi pada Juni (38.587 unit) dan terendah pada Mei (13.954 unit), sedangkan jumlah *defect* tertinggi tercatat pada Agustus (16.763 unit) dan terendah pada Mei (1.045 unit). Dalam tiga bulan terakhir, *defect streak* menyumbang 55% dari total *defect*. Tingginya angka ini menunjukkan perlunya strategi mitigasi yang terarah dan sistematis.

Dengan menggunakan pendekatan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), yang merupakan metode sistematis yang mengidentifikasi potensi mode kegagalan, penyebabnya, dan dampak yang ditimbulkannya, mitigasi dapat dilakukan. *Risk Priority Number* (RPN) yang dihasilkan kemudian dihitung dengan mengukur tingkat risiko berdasarkan keparahan, kejadian, dan deteksi [11]-[12]-[13]. FMEA dapat diterapkan pada berbagai aspek, seperti sistem, desain, proses, layanan, dan perangkat lunak[14]. Agar rencana perbaikan dapat dilaksanakan secara efektif dari segi waktu dan biaya, metode manajemen proyek seperti *Critical Path Method* (CPM) dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) digunakan. PERT adalah teknik analisis yang membantu penjadwalan dan pengendalian proyek kompleks dengan ketidakpastian tinggi [15]-[16], sedangkan CPM digunakan untuk mengidentifikasi jalur kritis dan mengoptimalkan durasi proyek [17]-[18]. Metode jalur kritis (CPM) sangat penting untuk mengoptimalkan jangka waktu dalam desain dan konstruksi proyek tenaga angin dengan mengelola waktu dan meminimalkan inefisiensi, CPM berfungsi sebagai instrumen penjadwalan utama[19]. Penelitian oleh [20] menerapkan metode CPM dan PERT dalam proyek pembangunan Musala Al-Ikhlas. Hasilnya, CPM mempercepat durasi proyek dari 161 hari menjadi 147 hari, sedangkan PERT diperkirakan penyelesaian dalam 155 hari dengan probabilitas keberhasilan 92,07%. Kedua metode terbukti efektif dalam mengurangi durasi dan biaya pembangunan. Penelitian oleh [21] mengkaji percepatan pekerjaan struktur RS Birrul Walidaini di Lamongan. CPM mempercepat proyek lantai 2 dari 55 hari menjadi 46 hari, dan PERT hingga 45 hari. Untuk lantai 3 dan 4, efisiensi PERT mencapai 74,3% dan 64,3%. CPM dan PERT dinilai mampu menanggulangi keterlambatan dan meningkatkan efisiensi pelaksanaan proyek. Penelitian oleh [22] melakukan studi literatur terhadap berbagai proyek konstruksi dan menemukan bahwa CPM cocok untuk proyek dengan ketidakpastian rendah, sementara PERT unggul dalam kondisi proyek yang tidak pasti. Gabungan CPM dan PERT disarankan untuk mencapai perencanaan waktu yang efisien dan akurat, seperti terlihat dalam studi pembangunan Gedung KONI dan Gedung Fakultas Hukum UMI. Implementasi teknik ini diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pelaksanaan proyek mitigasi *defect*, mempercepat perbaikan proses produksi, dan menurunkan total biaya akibat produk cacat secara signifikan [23].

Konsep CPM melibatkan perhitungan waktu mulai dan selesai paling awal (*earliest start/finish*) serta paling akhir (*latest start/finish*) suatu aktivitas, termasuk *slack time* yang menunjukkan waktu tunda tanpa mempengaruhi total durasi proyek [24]. Dengan demikian, CPM efektif untuk proyek dengan ketidakpastian rendah, sedangkan PERT unggul pada proyek dengan ketidakpastian tinggi [22]. Penelitian ini mengintegrasikan FMEA, CPM, dan PERT untuk merumuskan strategi mitigasi *defect streak* pada produksi kertas *cast coat*. Integrasi ini diharapkan mampu mengidentifikasi prioritas risiko secara akurat, merencanakan tindakan perbaikan secara efisien, dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya. Hasil akhirnya adalah peningkatan kualitas produk, pengurangan angka cacat, serta efisiensi biaya dan waktu produksi di industri kertas *cast coat*.

Metode Penelitian

Objek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di salah satu perusahaan manufaktur kertas yang berfokus pada produksi kertas *cast coat*, yakni jenis kertas berlapis dengan permukaan halus dan mengilap yang umum digunakan untuk kemasan premium, kartu nama, serta label produk. Penelitian ini secara khusus menyoroti proses produksi kertas *cast coat* yang mengalami permasalahan berupa produk cacat, dengan fokus utama pada jenis cacat *Defect Streak*. Berdasarkan data produksi bulan Juli 2023 hingga Juni 2024, dari total 327.469 unit produksi terdapat 94.109 unit *defect* dengan rata-rata *defect rate* sebesar 28,7%, dan *Defect Streak* tercatat sebagai penyumbang tertinggi sebesar 55% dari total cacat. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan objek pada proses produksi kertas *cast coat* untuk menganalisis faktor penyebab cacat menggunakan metode FMEA sebagai identifikasi risiko proses, serta PERT dan CPM dalam rangka analisis efisiensi waktu proyek perbaikannya.

Teknik Pengumpulan Data

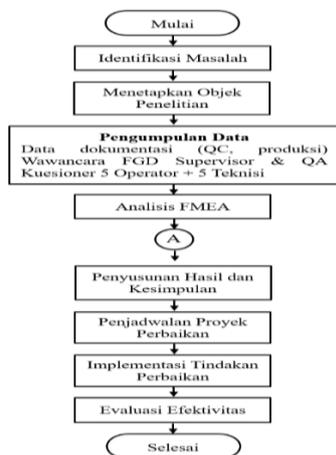
Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan pada bulan Juli 2024, setelah dilakukan pengamatan terhadap tren peningkatan *defect* pada produk selama satu tahun terakhir. Jenis data yang digunakan mencakup data kuantitatif dan kualitatif yang diperoleh dari dokumentasi internal produksi, laporan *quality control*, serta hasil wawancara dan kuesioner. Proses wawancara dilaksanakan dalam bentuk *Forum Group Discussion* (FGD) yang melibatkan 1 orang Supervisor Produksi dan 1 orang *Staf Quality Assurance*.

Selain itu, dilakukan penyebaran kuesioner kepada 10 responden yang terdiri dari 5 operator lini produksi dan 5 teknisi pemeliharaan mesin. Kuesioner ini disusun berdasarkan hasil FGD dan bertujuan untuk mengukur keterkaitan antara faktor penyebab (*risk agent*) dengan jenis *defect* yang muncul, serta menilai efektivitas tindakan pencegahan (*preventive action*). Data ini menjadi dasar dalam analisis FMEA untuk menentukan *Risk Priority Number* (RPN), dan digunakan pula dalam penjadwalan proyek penanggulangan dengan pendekatan CPM dan PERT, khususnya pada fase modifikasi atau perbaikan parameter proses produksi (kecepatan, suhu, tekanan).

Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan setelah penulis memperoleh data mengenai aktivitas proyek, risiko proyek, serta potensi cacat dalam proses produksi. Tiga teknik analisis utama digunakan dalam penelitian ini. Pertama, *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) digunakan untuk membantu dalam penjadwalan dan pengendalian proyek mengetahui probabilitas waktu penyelesaian proyek dengan mempertimbangkan estimasi optimis, realistik, dan pesimis [25]. Kedua, *Critical Path Method* (CPM) digunakan untuk mengidentifikasi lintasan kritis dari aktivitas proyek, sehingga dapat diketahui aktivitas mana yang paling menentukan durasi penyelesaian proyek secara keseluruhan. Ketiga, untuk menganalisis potensi cacat produksi, digunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). FMEA merupakan teknik sistematis untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dalam suatu proses produksi, menilai tingkat keparahan, kemungkinan terjadinya, serta kemampuan deteksi terhadap setiap potensi kegagalan. Hasil dari FMEA akan digunakan untuk menghitung *Risk Priority Number* (RPN), yang menjadi dasar prioritas penanganan risiko-risiko cacat produksi. Dengan integrasi ketiga metode ini (PERT, CPM, dan FMEA), penelitian dapat memberikan gambaran yang komprehensif terkait waktu pelaksanaan proyek, identifikasi aktivitas kritis, serta mitigasi terhadap risiko cacat dalam proses produksi.

Prosedur Penelitian



Gambar 2. Prosedur Penelitian

Hasil Dan Pembahasan

Objek penelitian ini adalah perusahaan manufaktur kertas yang memproduksi jenis kertas *cast coat*, yakni kertas berlapis dengan permukaan halus dan mengkilap, umum digunakan untuk kemasan premium dan cetakan berkualitas tinggi. Fokus penelitian diarahkan pada produk cacat yang terjadi selama proses produksi, khususnya *Defect Streak*.

Data produksi dari Juli 2023 hingga Juni 2024 menunjukkan bahwa 327.469 unit diproduksi secara keseluruhan, dengan 94.109 unit mengalami cacat. Cacat *Streak* menyumbang 55% dari semua kesalahan, menghasilkan rata-rata tingkat cacat sebesar 28,7%. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan pada identifikasi akar penyebab *Defect Streak*, analisis risiko menggunakan metode FMEA, serta perencanaan perbaikan menggunakan CPM dan PERT.

Analisis FMEA

Berikut skala penilaian FMEA berdasarkan seberapa parah dampak dari *defect streak* terhadap proses atau produk akhir. Dalam analisis FMEA, *Severity* (tingkat keparahan) digunakan untuk menggambarkan sejauh mana dampak dari suatu mode kegagalan terhadap produk, proses, atau keselamatan pengguna jika kegagalan tersebut terjadi. Semakin tinggi nilai *severity*, maka dampak dari kegagalan dianggap semakin serius.

Tabel *Severity* terdiri dari skala 1 sampai 10, yang mana nilai 10 menunjukkan dampak paling serius, seperti kegagalan yang dapat menyebabkan kerusakan fatal atau membahayakan keselamatan kerja, Sedangkan nilai 1 menunjukkan dampak yang sangat rendah atau tidak signifikan terhadap kualitas atau performa produk. Dalam konteks penelitian ini, *severity* digunakan untuk mengevaluasi dampak dari cacat produk seperti *defect streak* terhadap kualitas akhir kertas dan kepuasan pelanggan.

Tabel 1 severity

Nilai	Deskripsi
10	Sangat parah, menyebabkan produk gagal total atau risiko keselamatan
9	Sangat besar dampaknya, kualitas sangat terganggu
8	Produk tidak dapat digunakan untuk fungsinya
7	Produk masih bisa digunakan, tapi dengan performa buruk
6	Performa menurun signifikan namun tidak fatal
5	Pengaruh sedang terhadap fungsi/kualitas produk
4	Pengaruh ringan tapi terlihat oleh konsumen
3	Pengaruh ringan, kemungkinan tidak disadari konsumen
2	Tidak berdampak pada fungsi produk
1	Tidak berdampak sama sekali

Occurrence (tingkat kemungkinan kejadian) adalah parameter yang mengukur seberapa sering suatu kegagalan atau cacat diperkirakan akan terjadi selama proses produksi. Penilaian ini didasarkan pada data historis, pengamatan proses, serta wawancara dengan operator dan pihak teknis terkait.

Tabel *Occurrence* juga menggunakan skala 1 sampai 10, yang mana nilai 10 menunjukkan frekuensi kejadian yang sangat sering (lebih dari 1 dalam 2 siklus produksi), Sedangkan nilai 1 menunjukkan bahwa kegagalan sangat jarang atau hampir mustahil terjadi. Dalam penelitian ini, penilaian *occurrence* dilakukan berdasarkan data frekuensi cacat produk yang muncul pada proses manufaktur kertas *cast coat* selama periode tertentu, untuk mengidentifikasi mode kegagalan yang paling sering terjadi.

Tabel 2 occurrence

Nilai	Deskripsi (Kemungkinan)
10	Sangat sering (setiap hari atau setiap batch produksi)
9	Sering (setiap minggu)
8	Cukup sering (setiap bulan)
7	Kadang-kadang (per 2–3 bulan)
6	Jarang terjadi tapi bisa berulang (1–2 kali dalam 6 bulan)
5	Jarang (sekali dalam setahun)
4	Sangat jarang (1x dalam 2–3 tahun)
3	Hampir tidak pernah terjadi
2	Kemungkinan hampir nol
1	Tidak mungkin terjadi / sudah ada pencegahan penuh

Detection (kemampuan deteksi) digunakan untuk menilai sejauh mana sistem pengendalian mutu (*quality control*) saat ini mampu mendeteksi cacat sebelum produk sampai ke pelanggan. Parameter ini penting untuk mengetahui efektivitas sistem inspeksi dan kontrol pada lini produksi.

Skala *detection* juga berkisar dari 1 sampai 10, yang mana nilai 10 berarti hampir tidak mungkin terdeteksi oleh sistem saat ini, Sedangkan nilai 1 menunjukkan bahwa cacat pasti dapat terdeteksi sebelum meninggalkan proses produksi. Penilaian *detection* dalam penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan kontrol kualitas yang ada, seperti pemeriksaan visual, sensor, serta peran operator dalam mendeteksi cacat produk. Mode kegagalan dengan skor *detection* tinggi menjadi prioritas karena besar kemungkinan tidak terdeteksi dan sampai ke konsumen.

Tabel 3 *detection*

Nilai	Deskripsi
10	Tidak dapat dideteksi sama sekali, tidak ada sistem kontrol
9	Sangat sulit dideteksi bahkan dengan kontrol manual
8	Deteksi hanya mungkin oleh teknisi ahli
7	Deteksi memerlukan pengecekan lanjutan/manual
6	Sistem QC bisa mendeteksi tapi tidak akurat
5	Deteksi terbatas pada sistem otomatis tertentu
4	Dapat dideteksi dengan kontrol visual rutin
3	Dapat dideteksi dengan prosedur QC standar
2	Mudah dideteksi dengan alat inspeksi atau kontrol inline
1	Sangat mudah dideteksi dan dicegah sebelum keluar dari proses produksi

Untuk mengumpulkan data dari studi dan menentukan alasan di balik rentetan kegagalan jalur produksi untuk menghitung skor RPN (*Risk Priority Number*) untuk FMEA. Tabel 5 menampilkan hasil dari penyebab-penyebab tersebut.

Tabel 4 Nilai RPN

No	Penyebab	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	RPN (S×O×D)
1	Kecepatan roll tidak stabil	9	8	6	432
2	Mesin aus	8	7	6	336
3	Fluktuasi suhu pengeringan	7	5	4	140
4	Kondensasi di unit <i>drying</i>	6	4	6	144
5	Komposisi bahan baku tidak konsisten	6	4	5	120

Dari hasil tabel FMEA dapat diinterpretasikan bahwa kecepatan roll yang tidak stabil dapat menyebabkan kegagalan produk sehingga menghasilkan *defect streak* dengan memiliki RPN tertinggi yaitu 432, yang menunjukkan bahwa kegagalan ini sangat penting untuk ditangani terlebih dahulu. Oleh karena itu, penulis merekomendasikan tindakan mitigasi dengan memperbaiki kalibrasi sistem penggerak roll dan sensor kecepatan dengan mengatur ulang penjadwalan perawatan mesing.

Analisis CPM

Penjadwalan proyek perbaikan dengan metode CPM (*Critical Path Method*) akibat roll tidak stabil, yang menjadi penyebab utama *defect streak* pada produksi kertas *cast coat*. Proyek ini dirancang untuk menangani ketidakstabilan kecepatan roll melalui tindakan seperti inspeksi, kalibrasi, penggantian, dan evaluasi. Tujuan Proyek perbaikan ini untuk mengembalikan kestabilan kecepatan roll mesin coating untuk mengurangi risiko terjadinya *defect streak*.

Analisis CPM melibatkan perhitungan durasi pekerjaan dengan *early start* (waktu mulai awal), *latest start* (waktu mulai akhir), *early finish* (waktu selesai awal) dan *latest finish* (waktu selesai akhir) untuk setiap item pekerjaan[26]. Setelah itu, perhitungan maju dan mundur akan dilakukan bersama dengan perhitungan total float untuk menentukan jalur kritis dari setiap kegiatan. Ini bertujuan untuk mencari jalur kritis dari setiap kegiatan.

Tabel 5 kode aktivitas

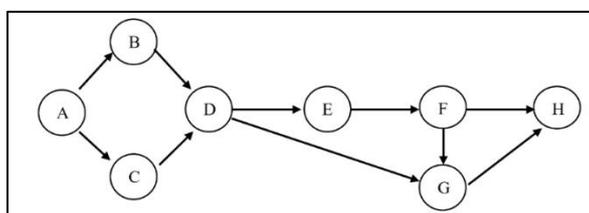
No	Aktivitas	Kode
1	Pemeriksaan awal roll dan sistem penggerak	A
2	Kalibrasi sensor kecepatan dan pengontrol	B
3	Pemesanan dan pengadaan roll pengganti	C
4	Penggantian roll dan penyetelan ulang	D
5	Uji coba kestabilan kecepatan dan hasil <i>coating</i>	E
6	Evaluasi hasil uji coba dan validasi output	F
7	Pelatihan ulang operator untuk parameter baru	G
8	Implementasi dan monitoring awal	H

Menentukan waktu (durasi) proyek perbaikan ini dimaksudkan untuk menetapkan perkiraan durasi untuk setiap tugas yang ada dalam rencana proyek perbaikan sistem pengaturan roll.

Tabel 6 durasi dan hubungan keterkaitan aktivitas

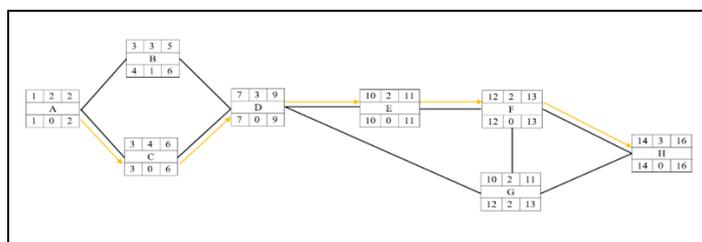
Kode	Aktivitas	Durasi (hari)	Predecessor
A	Pemeriksaan awal roll dan sistem penggerak	2	-
B	Kalibrasi sensor kecepatan dan pengontrol	3	A
C	Pemesanan dan pengadaan roll pengganti	4	A
D	Penggantian roll dan penyetelan ulang	3	B, C
E	Uji coba kestabilan kecepatan dan hasil <i>coating</i>	2	D
F	Evaluasi hasil uji coba dan validasi output	2	E
G	Pelatihan ulang operator untuk parameter baru	2	D
H	Implementasi dan monitoring awal	3	F, G

Menyusun keterkaitan antar kegiatan bertujuan untuk memahami kaitan antara aktivitas sebelumnya dengan aktivitas berikutnya. Berikut ini adalah rangkaian aktivitas yang sesuai dengan ketergantungan pada proyek perbaikan roll mesin. Berikut adalah urutan kegiatan berdasarkan hubungan keterkaitan antar kegiatan pada proyek perbaikan roll mesin.



Gambar 3 diagram jaringan

Dalam mengatur jadwal, hal pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan durasi pekerjaan, kemudian menjalin hubungan logika antar kegiatan, setelah mengumpulkan informasi yang diperlukan, langkah berikutnya adalah memasukkan data ke dalam *network* diagram (diagram jaringan).



Gambar 4 jalur kritis

Berdasarkan diagram *network*, dapat dipastikan bahwa proyek perbaikan roll mesin dapat diselesaikan dalam waktu 16 hari. Dan dapat diketahui bahwa terdapat 6 item pekerjaan kritis dengan total durasi terpanjang tanpa *slack* atau termasuk kedalam *critical path*. Aktivitas B dan G bukan jalur kritis, tapi tetap penting sebagai pendukung teknis.

Analisis PERT

Analisis menggunakan metode PERT dilakukan dengan mengestimasi kemungkinan penyelesaian proyek. Tidak seperti pendekatan CPM yang mengandalkan waktu yang pasti, metode PERT ini menggunakan tiga jenis estimasi durasi yaitu waktu terbaik (a), waktu yang paling mungkin terjadi (m), dan waktu terburuk (b). Hasil analisis menunjukkan perkiraan waktu yang optimis, perkiraan waktu yang paling realistis, dan perkiraan waktu yang pesimis untuk proyek perbaikan roll mesin.

Selanjutnya menentukan nilai TE, nilai TE (*Expected Time*) adalah nilai rata-rata dari aktivitas, di mana waktu optimis dan pesimis diberi bobot 1 dalam perhitungan nilai TE. Sedangkan waktu yang paling memungkinkan diberi bobot 4. Setelah mendapatkan nilai TE, langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan nilai standar deviasi dan varians. Hasil perhitungan nilai TE, standar deviasi dan varians untuk proyek perbaikan roll mesin dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 7 hasil perhitungan standar deviasi dan varians

Kode	Aktivitas	a	m	b	TE=a+4m+b/6	σ=b-a/6	varians= σ ²
A	Pemeriksaan roll	1	2	3	2,00	0,33	0,11
B	Kalibrasi sensor	2	3	4	3,00	0,33	0,11
C	Pemesanan roll	3	4	6	4,17	0,50	0,25
D	Penggantian roll	2	3	4	3,00	0,33	0,11
E	Uji coba kestabilan	1	2	3	2,00	0,33	0,11
F	Evaluasi hasil uji	1	2	3	2,00	0,33	0,11
G	Pelatihan operator	1	2	3	2,00	0,33	0,11
H	Monitoring awal	2	3	4	3,00	0,33	0,11

Setelah diketahui nilai TE, varian dan standard deviasi maka dapat ditentukan jalur kritis dengan waktu total terlama tanpa *slack*. Dimulai dari aktivitas A → C → D → E → F → H.

Tabel 8 Standar deviasi total

Aktivitas	TE (hari)	Variansi (σ ²)
A	2,00	0,11
C	4,17	0,25
D	3,00	0,11
E	2,00	0,11
F	2,00	0,11
H	3,00	0,11
	16,17	0,80

Setelah mendapat nilai standar deviasi, langkah berikutnya adalah menentukan probabilitas selesainya proyek perbaikan roll mesin. Untuk menghitung probabilitas penyelesaian proyek menggunakan distribusi normal dengan rumus nilai Z:

Diketahui:

Target waktu penyelesaian (T) : 17 hari

Durasi harapan (TE total) : 16.17 hari

Standar deviasi total (σ) : 0.89

$$Z = \frac{T-TE}{\sigma}$$

$$Z = \frac{17-16,17}{0,89} \approx \frac{0,83}{0,89} \approx 0,93 \text{ probabilitas} \approx 8238$$

Berdasarkan tabel distribusi normal Z dengan nilai 0,93 probabilitasnya adalah 8238 yang berarti terdapat kemungkinan sebesar 82,38% untuk menyelesaikan proyek dalam kurun waktu 17 hari. Maka dari itu, semakin tinggi Z, semakin besar probabilitas selesai tepat waktu. Jika target waktunya terlalu dekat dengan durasi harapan (atau lebih kecil), probabilitas akan menurun.

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa cacat garis halus (*defect streak*) merupakan jenis cacat dominan dalam proses produksi kertas *cast coat*, yang diidentifikasi melalui metode FMEA dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi. Penyebab utama cacat tersebut adalah ketidakstabilan roll saat proses *coating*. Dengan menggunakan metode CPM, diperoleh jalur kritis proyek mitigasi yaitu A → C → D → E → F → H dengan estimasi durasi total proyek selama 16 hari. Metode PERT digunakan untuk mempertimbangkan ketidakpastian waktu, dan hasilnya menunjukkan bahwa probabilitas keberhasilan penyelesaian proyek dalam waktu 17 hari adalah sebesar 82,35%.

Integrasi antara metode CPM, PERT, dan FMEA terbukti efektif dalam menyusun tindakan mitigasi terhadap produk cacat secara sistematis dan terukur. Kombinasi ini memberikan pendekatan yang menyeluruh, mulai dari identifikasi risiko hingga perencanaan waktu pelaksanaan proyek perbaikan. Hasil integrasi ini tidak hanya membantu perusahaan dalam merancang perbaikan teknis secara tepat sasaran, tetapi juga meningkatkan keandalan proses produksi dalam jangka panjang.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan. Data yang digunakan hanya berfokus pada satu jenis cacat, yaitu *defect streak*, sehingga hasil analisis belum sepenuhnya mewakili seluruh potensi masalah dalam proses produksi kertas *cast coat*. Untuk penelitian di masa mendatang, disarankan agar analisis serupa dilakukan

pada berbagai jenis cacat lainnya sehingga diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai kondisi produksi.

Daftar Pustaka

- [1] Widiyanti, "Pengaruh Kualitas produk, persepsi harga terhadap keputusan pembelian toko busana muslim idda fashion (studi kasus masyarakat kota pasuruan yang membeli pakaian pada toko idda fashion di kota pasuruan, jawa timur)," 2020.
- [2] A. samsul hidayat, Muhamad Sayuti, Fitri Sulastri and Nindiani, "Penggunaan Lean Manufacturing dengan Metode Value Stream Mapping (VSM) dan Failure Mode Effect & Analysis (FMEA) untuk Mengurangi Risiko Kegagalan di PT. SAI," vol. 11, no. 1, 2025.
- [3] H. P. Indrayanto, "Pengendalian Kualitas untuk menurunkan Temuan Bass Bridge Upright Piano (UP) Pecah menggunakan Metode Quality Control Circle (QCC)(Studi Kasus: PT ...," 2024, [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/52400>
- [4] A. F. Shiyamy, S. Rohmat, and A. Sopian, "Artikel analisis pengendalian kualitas produk dengan," *J. Ilm. Manaj.*, vol. 2, no. 2, pp. 32–45, 2021.
- [5] T. H. Ulinnuha, "Analisis Pengendalian Kualitas Kabinet Panel Upright Pianopada Section Buffing Panel Up menggunakan Metode Statistical Process Control (SPC) dan Failure Mode And Effect Analysis (Fmea)(Studi Kasus: Pt. Yamaha Indonesia)," *Repos. Univ. Islam Indones.*, 2024.
- [6] P. Wisnubroto, M. Yusuf, and Prayitno, "Pengendalian Kualitas Produk Cacat Menggunakan Pendekatan Gugus Kendali Mutu Dengan Seven Tools Pada Ud . Kalor Makmur," *Ind. Eng. J. Univ. Sarjanawiyata Tamansiswa*, vol. 3, no. 1, pp. 34–42, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.ustjogja.ac.id/index.php/IEJST/article/view/6192/2885>
- [7] S. M. Cahyaningrum and Sriyanto, "Identifikasi Penyebab Cacat Produksi Kertas Test Liner menggunakan Metode Failure Mode & Effect Analysis (FMEA) (Studi Kasus: PT Pura Barutama unit Paper Mill 9)," 2017.
- [8] A. Widodo, "Upaya Menurunkan Defect Silver Streaks Proses Injection Pada Part Lens Reflector Dengan Menggunakan Metode Seven Tools Di Pt Sanwa Engineering," *J. Inkofar*, vol. 7, no. 1, pp. 63–69, 2023, doi: 10.46846/jurnalinkofar.v7i1.284.
- [9] A. Supriyadi, "Pemeliharaan Mesin dan Pengaruhnya terhadap Kualitas Produksi Kertas," *J. Teknol. Pulp dan Kertas Indones.*, 2021.
- [10] V. Devani and F. Wahyuni, "Pengendalian Kualitas Kertas Dengan Menggunakan Statistical Process Control di Paper Machine 3," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 15, no. 2, p. 87, 2017, doi: 10.23917/jiti.v15i2.1504.
- [11] A. A. Y. Muhazir, Achmad, Zulkani Sinaga, "Analisis Penurunan Defect Pada Proses Manufaktur Komponen Kendaraan Bermotor Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)," *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 66–77, 2020.
- [12] F. Retnanti, "Nalisis Penyebab Kegagalan Chlorination Plant Dengan Metode Failure Mode Effect Analysis Dan Fault Tree Analysis (Studi Kasus Di Pt Pjb Up. Gresik)," 2020.
- [13] B. D. B. Erwindasari, Erwindasari, Nurwidiana Nurwidiana, "Penerapan Metode Statistiqal Quality Control (SQC) dan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Dalam Perbaikan Kualitas Produk Studi Kasus: PTPN IX Kebun Ngobo," *Pros. Konstelasi Ilm. Mhs. Unissula Klaster Eng.*, 2020.
- [14] M. Z. N. Al-Ayyubi, "Analisa Dampak Kerusakan Komponen Mesin Pendingin Makanan GEA BFO-5 pada Naiknya Suhu Ruang Pendingin Makanan di atas KM. Lambelu Menggunakan Metode FMEA," *Repos. Politek. Pelayaran Surabaya*, 2023.
- [15] E. T. Susdarwono, "Pemrograman Dinamik: Analisa Jaringan Menggunakan Prosedur PERT dan AHP Dalam Penyelesaian Permasalahan Ekonomi Pertahanan," *J. El-Hamra Kependidikan dan Kemasyarakatan*, 2020.
- [16] A. Muhammad, A. Pakarbudi, "Optimasi Waktu Proyek Sistem Informasi Pengelolaan Armada pada PT Digital Entropy Venture Menggunakan Metode PERT," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro, Sist. Informasi, dan Tek. Inform. (SNESTIK ke-III)*, pp, 2023.
- [17] K. Satria, *Analisa Perbandingan Waktu Dan Biaya Antara Perkerasan Jalan Aspal Dan Jalan Beton Di Daerah Lumajang Dengan Metode Pert.* 2023. [Online]. Available: <http://eprints.ubhara.ac.id/2816/>
- [18] A. . Baits, H.A., Puspita, I.A. Bay, "Combination of program evaluation and review technique (PERT) and critical path method (CPM) for project schedule development," *Int. J. Integr. Eng.*, 2020.
- [19] M. Sayuti, B. Syairudin, and I. K. Gunarta, "Enhancement of business processes through re- engineering to optimize the performance of local government in Central Sulawesi province to optimize the performance of local government in Central," *Cogent Soc. Sci.*, vol. 11, no. 1, p., 2025, doi: 10.1080/23311886.2025.2542922.
- [20] R. A. Husna, N. F. Ilmiyah, and N. C. Resti, "Implementasi CPM dan PERT dalam Memprediksi Durasi

- serta Biaya Pembangunan Musala Al-Ikhlas di Kotawaringin Barat,” *J. Focus Action Res. Math. (Factor M)*, vol. 5, no. 1, pp. 97–109, 2022, doi: 10.30762/f_m.v5i1.633.
- [21] T. A. Shah, B. Suprpto, and A. Rokhmawati, “Optimasi Manajemen Waktu Proyek Menggunakan Metode Cpm Dan Pert Pada Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Rumah Sakit Birrul Walidain Kabupaten Lamongan,” *J. Rekayasa Sipil* /, vol. 14, no. 2, pp. 96–103, 2024.
- [22] A. Ridwan, “Optimizing Project Time Management Using the Critical Path Method (CPM) and Program Evaluation and Review Technique (PERT),” *J. Apl. Pelayaran Dan Kepelabuhanan*, vol. 15, no. 2, pp. 354–361, 2025, doi: 10.30649/japk.v15i2.160.
- [23] Aninda Sagita Nurlaila, “Implementasi Crash Program Pada Proyek Maintenance Mesin Furnace Ba-Xxx Untuk Meningkatkan Keuntungan Produksi Ethylene (Studi Kasus: Pt. Xyz),” pp. 1–94, 2025.
- [24] M. D. Faturrohman, “Estimasi Waktu Penyelesaian Proyek Dengan Menggunakan Metode Crashing Program (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Layanan Olahraga Kota Tangerang Selatan,” 2023.
- [25] T. T. A. Kambu, Kaleb Y., Revo L. Inkiriwang, “Perencanaan Proyek Dengan Metode PERT Pada Pekerjaan Rehabilitasi Puskesmas Mokoditek, Kab. Bolaang Monggondouw Utara,” *TEKNO*, 2024.
- [26] D. M. Aziz, M. Sayuti, and S. Suryadi, “Analisis Faktor Risiko Keterlambatan pada Proyek HRSG di PT XYZ dengan Menerapkan Metode PERT, CPM, dan HOR,” *J. Integr. Syst.*, vol. 7, no. 2, pp. 223–237, 2025, doi: 10.28932/jis.v7i2.10222.