



Scripta Technica: Journal of Engineering and Applied Technology

Vol 2 No 1 June 2026, Hal. 219-228
ISSN:3110-0775(Print) ISSN: 3109-9696(Electronic)
Open Access: <https://scriptainteletektual.com/scripta-technica>

Analisis *Bottleneck* Produksi Akibat Material Berkarat Menggunakan Metode *Theory of Constraints* pada Workshop 2 PT. Triangle Motorindo

Ihham Amri Yafi^{1*}, Nurwidiana²

¹⁻² Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia

email: yafibress@gmail.com¹

Article Info :

Received:
22-04-2026
Revised:
04-05-2026
Accepted:
13-05-2026

Abstract

This study aims to analyze production bottlenecks caused by rusty materials using the Theory of Constraints approach at Workshop 2 of PT. Triangle Motorindo, which manufactures three-wheeled vehicle frames. The study employs an empirical, case-study-based method through direct observation of the production process, measurement of work time, recording of the quantity of rusty materials, and evaluation of effective production capacity. Data were analyzed using the stages of constraint identification, constraint exploitation, process subordination, constraint elevation, and constraint re-evaluation to determine the impact of rusty materials on production throughput. The results indicate that rusty materials cause an average additional grinding time of 10 minutes per unit, thereby reducing effective production capacity and triggering idle time at the welding, assembly, and painting stations. Total production time loss reached 260 minutes with a decrease in output of 30 units during the observation period. The implementation of a constraint elevation strategy through the addition of grinding machines, the allocation of dedicated operators, and the use of rust-resistant materials successfully reduced backlogged units to 5 units per week and increased daily output efficiency to over 95%. The research findings underscore the importance of material quality control in maintaining the stability of production flow in metal fabrication-based manufacturing.

Keywords: *Bottleneck, Production Capacity, Corroded Materials, Theory of Constraints, Production Throughput.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis bottleneck produksi akibat material berkarat menggunakan pendekatan Theory of Constraints pada Workshop 2 PT. Triangle Motorindo yang memproduksi rangka kendaraan roda tiga. Penelitian menggunakan metode empiris berbasis studi kasus melalui observasi langsung proses produksi, pengukuran waktu kerja, pencatatan jumlah material berkarat, serta evaluasi kapasitas efektif produksi. Data dianalisis menggunakan tahapan identifikasi constraint, eksploitasi constraint, subordinasi proses, elevasi constraint, dan evaluasi ulang constraint untuk menentukan pengaruh material berkarat terhadap throughput produksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material berkarat menyebabkan tambahan waktu pengerjaan rata-rata 10 menit per unit sehingga menurunkan kapasitas efektif produksi dan memicu idle time pada stasiun welding, assembly, serta painting. Total kehilangan waktu produksi mencapai 260 menit dengan penurunan output sebesar 30 unit selama periode observasi. Implementasi strategi elevasi constraint melalui penambahan mesin gerinda, pengalokasian operator khusus, dan penggunaan material anti-karat berhasil menurunkan unit tertunda menjadi 5 unit per minggu serta meningkatkan efektivitas output harian menjadi lebih dari 95%. Temuan penelitian menegaskan pentingnya pengendalian kualitas material dalam menjaga stabilitas aliran produksi manufaktur berbasis fabrikasi logam.

Kata kunci: *Bottleneck, Kapasitas Produksi, Material Berkarat, Theory of Constraints, Throughput Produksi.*



©2022 Authors. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Transformasi industri manufaktur global dalam satu dekade terakhir menunjukkan pergeseran paradigma dari orientasi produksi berbasis kapasitas menuju sistem operasi yang menekankan stabilitas aliran proses, fleksibilitas respons permintaan, dan eliminasi sumber pemborosan yang bersifat laten di dalam rantai produksi. Perubahan ini semakin menguat ketika perusahaan manufaktur menghadapi tekanan simultan berupa volatilitas pasokan bahan baku, peningkatan biaya produksi, serta tuntutan efisiensi berbasis lean dan sustainability yang memaksa perusahaan untuk mengidentifikasi titik hambatan produksi secara lebih presisi dan berbasis data operasional. Bottleneck dipahami bukan

sekadar hambatan teknis pada stasiun kerja tertentu, melainkan sebagai constraint sistemik yang mampu mengganggu sinkronisasi keseluruhan aliran produksi, menurunkan utilisasi sumber daya, serta memperbesar risiko idle time pada proses hilir. Kajian mengenai bottleneck kemudian berkembang secara signifikan melalui pendekatan Theory of Constraints yang menempatkan constraint sebagai pusat pengambilan keputusan operasional dan strategis perusahaan manufaktur modern. Literatur internasional menunjukkan bahwa TOC tidak hanya digunakan untuk meningkatkan throughput produksi, tetapi juga menjadi kerangka manajerial untuk mengoptimalkan kapasitas, efisiensi proyek, dan profitabilitas perusahaan secara simultan (Şimşit et al., 2014; de Jesus Pacheco et al., 2021; Mishra, 2020). Perkembangan tersebut memperlihatkan bahwa efektivitas sistem produksi kontemporer semakin ditentukan oleh kemampuan organisasi dalam mendeteksi serta mengelola constraint paling kritis yang menghambat performa keseluruhan sistem produksi.

Penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa implementasi TOC dalam sektor manufaktur menghasilkan implikasi operasional yang relatif signifikan, terutama pada pengurangan waktu tunggu, peningkatan utilisasi mesin, dan optimalisasi throughput produksi. Monoarfa et al. (2021) menunjukkan bahwa bottleneck pada industri briquette charcoal dipengaruhi oleh kombinasi faktor material, manusia, dan metode kerja yang menghasilkan hambatan aliran produksi secara simultan, sehingga penyelesaian constraint tidak dapat dilakukan hanya melalui pendekatan parsial pada mesin produksi. Temuan tersebut diperkuat oleh Kemaluddin dan Prasetyaningsih (2022) yang mengidentifikasi bahwa stasiun kerja bottleneck pada industri manufaktur strategis memerlukan subordinasi lintas proses agar peningkatan kapasitas tidak menimbulkan ketidakseimbangan baru pada sistem produksi. Di sisi lain, Mauluddin dan Nugraha (2025) memperlihatkan bahwa integrasi TOC dengan pendekatan Overall Equipment Effectiveness mampu meningkatkan kapasitas produksi melalui pengurangan downtime dan peningkatan efektivitas mesin secara terukur. Perspektif yang lebih luas dikemukakan oleh de Jesus Pacheco et al. (2021) yang menilai bahwa TOC memiliki pengaruh langsung terhadap strategi operasi perusahaan karena constraint menentukan prioritas keputusan produksi, distribusi sumber daya, hingga kebijakan pengendalian persediaan. Muhammad dan Isbiandono (2021) menegaskan bahwa penerapan TOC bahkan tetap relevan dalam kondisi krisis seperti pandemi Covid-19 karena pendekatan ini memungkinkan perusahaan mempertahankan profitabilitas melalui pengendalian constraint utama yang menghambat aliran nilai produksi.

Perkembangan literatur TOC masih memperlihatkan sejumlah keterbatasan konseptual dan empiris yang cukup mendasar, terutama terkait karakteristik constraint berbasis kualitas material dan dampaknya terhadap ketidakseimbangan aliran produksi. Sebagian besar penelitian sebelumnya cenderung memfokuskan bottleneck pada persoalan kapasitas mesin, penjadwalan produksi, atau ketidakseimbangan beban kerja antar stasiun, sedangkan faktor degradasi kualitas bahan baku seperti korosi material masih relatif jarang dianalisis sebagai sumber constraint utama sistem produksi. Penelitian Samosir dan Setiawannie (2023) misalnya lebih menitikberatkan optimalisasi stasiun kerja melalui pengaturan kapasitas proses, tanpa mengelaborasi bagaimana kualitas material dapat menciptakan rework dan tambahan aktivitas non-value added yang berdampak sistemik pada throughput produksi. Di sisi lain, studi TOC yang berkembang pada ranah project management lebih banyak menekankan constraint dalam aspek koordinasi proyek dan pengendalian waktu pengerjaan (Mishra, 2020; Sibiya et al., 2023), sehingga belum memberikan elaborasi memadai mengenai hubungan antara kualitas material produksi dan pembentukan bottleneck di lingkungan manufaktur berbasis fabrikasi logam. Kondisi tersebut menciptakan gap penelitian karena constraint yang berasal dari material berkarat sesungguhnya tidak hanya memengaruhi satu titik proses, tetapi juga menciptakan cascading effect terhadap welding, assembly, hingga finishing process akibat munculnya aktivitas tambahan berupa grinding dan inspeksi ulang kualitas sambungan.

Keterbatasan literatur tersebut menjadi semakin penting untuk dikaji karena industri manufaktur berbasis logam memiliki sensitivitas tinggi terhadap kualitas permukaan material yang digunakan dalam proses fabrikasi. Material berkarat pada besi hollow dan pipa baja tidak hanya memperpanjang waktu proses melalui aktivitas pembersihan tambahan, tetapi juga meningkatkan risiko cacat pengelasan, ketidaksesuaian dimensi, dan penurunan kualitas produk akhir yang secara langsung memengaruhi performa operasional perusahaan. Dalam sistem produksi dengan target output tinggi dan aliran proses berurutan, tambahan waktu beberapa menit pada satu unit material dapat terakumulasi menjadi kehilangan kapasitas produksi yang signifikan pada skala harian maupun mingguan. Situasi ini memperlihatkan bahwa constraint berbasis kualitas material merupakan persoalan strategis yang tidak

dapat direduksi sekadar sebagai defect operasional biasa, karena dampaknya meluas terhadap utilisasi tenaga kerja, efektivitas mesin, ketepatan jadwal produksi, serta stabilitas supply chain internal perusahaan. Kajian mengenai bottleneck akibat material berkarat menjadi semakin relevan pada industri kendaraan niaga roda tiga yang bergantung pada konsistensi proses welding dan assembly rangka kendaraan untuk menjaga standar kualitas produk sekaligus memenuhi target produksi yang kompetitif.

Penelitian ini menempatkan dirinya pada posisi yang berbeda dibandingkan studi-studi TOC sebelumnya dengan memfokuskan analisis pada bottleneck produksi yang bersumber dari degradasi kualitas material logam di lingkungan manufaktur kendaraan roda tiga, khususnya pada Workshop 2 PT. Triangle Motorindo. Berbeda dari penelitian terdahulu yang dominan memandang constraint sebagai persoalan kapasitas mesin atau ketidakseimbangan stasiun kerja, riset ini memandang material berkarat sebagai systemic operational constraint yang menciptakan aktivitas non-value added dan mengganggu sinkronisasi keseluruhan aliran produksi. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai bagaimana kualitas material memengaruhi throughput produksi melalui tambahan proses grinding sebelum welding, penurunan waktu efektif produksi, serta munculnya idle time pada proses lanjutan seperti assembly dan painting. Pada saat yang sama, penelitian ini juga memperluas aplikasi TOC dalam konteks manufaktur fabrikasi logam dengan menekankan keterkaitan antara kualitas bahan baku, efektivitas kapasitas produksi, dan stabilitas aliran proses dalam sistem Make to Order yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap keterlambatan produksi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bottleneck produksi akibat material berkarat pada proses pembuatan rangka kendaraan roda tiga di Workshop 2 PT. Triangle Motorindo menggunakan pendekatan Theory of Constraints, mengidentifikasi dampaknya terhadap kapasitas efektif produksi, serta merumuskan strategi perbaikan yang mampu meningkatkan kelancaran aliran proses produksi. Kontribusi penelitian diarahkan pada pengembangan perspektif teoritis mengenai constraint berbasis kualitas material dalam sistem manufaktur fabrikasi logam, sekaligus menawarkan pendekatan metodologis yang mengintegrasikan identifikasi bottleneck, pengukuran kehilangan kapasitas produksi, dan simulasi elevasi constraint secara operasional untuk menghasilkan rekomendasi peningkatan efektivitas produksi yang lebih aplikatif dan terukur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan empiris berbasis studi kasus pada Workshop 2 PT. Triangle Motorindo yang berfokus pada proses produksi rangka kendaraan roda tiga. Sistem produksi yang diamati terdiri atas alur pemotongan material, penggerindaan, welding, assembly, painting, dan powder coating dengan material utama berupa besi hollow dan pipa baja. Penelitian dilaksanakan melalui observasi langsung terhadap aktivitas produksi selama periode pengamatan operasional untuk mengidentifikasi bottleneck yang disebabkan oleh material berkarat. Data primer diperoleh melalui pencatatan jumlah material berkarat, waktu tambahan proses penggerindaan, waktu efektif produksi, dan output aktual harian, sedangkan data sekunder diperoleh dari laporan hasil produksi, struktur proses kerja, serta dokumen operasional perusahaan. Instrumen penelitian meliputi stopwatch untuk pengukuran waktu proses, lembar observasi produksi, dokumentasi visual kondisi material, serta wawancara teknis dengan operator dan supervisor produksi. Implementasi metode Theory of Constraints dilakukan melalui lima tahapan utama, yaitu identifikasi constraint, eksploitasi constraint, subordinasi proses, elevasi constraint, dan evaluasi ulang constraint untuk menentukan titik hambatan paling kritis dalam sistem produksi.

Prosedur pengujian dilakukan dengan membandingkan kapasitas produksi teoritis dan output aktual berdasarkan pengaruh tambahan waktu proses akibat penggerindaan material berkarat. Pengukuran dilakukan terhadap jumlah unit material berkarat per hari, waktu tambahan penggerindaan per unit, total waktu produksi efektif, serta selisih output produksi selama periode observasi. Validasi dilakukan menggunakan triangulasi data observasi lapangan, data laporan hasil produksi, dan konfirmasi operator untuk memastikan konsistensi hasil pengukuran. Analisis teknis dilakukan dengan menghitung kapasitas efektif produksi menggunakan parameter waktu kerja harian sebesar 480 menit dan rata-rata waktu proses produksi per unit sebesar 5 menit. Metrik evaluasi kinerja mencakup total waktu tambahan akibat rework, jumlah kehilangan output produksi, tingkat efektivitas kapasitas produksi, dan penurunan jumlah unit tertunda setelah simulasi elevasi constraint. Simulasi perbaikan dilakukan dengan asumsi pengurangan material berkarat melalui peningkatan kualitas bahan baku,

penambahan mesin gerinda, dan alokasi tenaga kerja khusus untuk mengevaluasi potensi peningkatan throughput produksi dan pengurangan bottleneck pada aliran proses produksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Bottleneck Produksi Akibat Material Berkarat

Proses produksi rangka kendaraan roda tiga pada Workshop 2 PT. Triangle Motorindo menunjukkan adanya ketidakseimbangan aliran kerja pada area persiapan material sebelum welding. Observasi lapangan memperlihatkan bahwa material besi hollow dan pipa baja yang mengalami korosi permukaan membutuhkan aktivitas tambahan berupa penggerindaan manual. Aktivitas tersebut meningkatkan waktu siklus produksi dan memperbesar antrean material pada stasiun kerja welding. Fenomena bottleneck seperti ini dikategorikan sebagai constraint operasional yang memengaruhi throughput sistem produksi secara keseluruhan (Şimsit et al., 2014).

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa intensitas bottleneck meningkat ketika jumlah material berkarat melebihi kapasitas penanganan operator gerinda dalam satu shift kerja. Operator harus membersihkan lapisan oksidasi sebelum material dapat diproses lebih lanjut pada area pengelasan. Kondisi tersebut menyebabkan waktu tunggu pada proses berikutnya mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Monoarfa et al. (2021) yang menyatakan bahwa hambatan produksi sering kali dipicu oleh faktor material yang memunculkan aktivitas non-value added pada aliran produksi.

Pengukuran waktu proses memperlihatkan bahwa setiap unit material berkarat memerlukan tambahan rata-rata 10 menit untuk proses pembersihan menggunakan gerinda tangan. Tambahan waktu tersebut menghasilkan pengurangan kapasitas efektif produksi pada lini pembuatan rangka kendaraan roda tiga. Efek akumulatif dari tambahan waktu tersebut menyebabkan target output harian tidak dapat dicapai secara konsisten. Situasi serupa pernah ditemukan dalam penelitian Salimah et al. (2021) yang menunjukkan bahwa bottleneck pada satu stasiun kerja mampu menurunkan performa keseluruhan sistem produksi.

Karakteristik bottleneck pada Workshop 2 tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah material berkarat, tetapi juga dipengaruhi oleh tata letak area produksi dan distribusi tenaga kerja. Area gerinda memiliki ruang kerja terbatas sehingga operator mengalami hambatan mobilitas ketika volume material meningkat. Kondisi tersebut memperpanjang waktu perpindahan material menuju area welding dan assembly. Penelitian Hartini et al. (2006) menjelaskan bahwa tata letak fasilitas yang kurang optimal dapat memperbesar waktu handling material dan menurunkan efisiensi proses produksi.

Data hasil observasi selama enam hari pengamatan menunjukkan variasi jumlah material berkarat yang berdampak langsung terhadap output aktual produksi. Nilai output aktual mengalami penurunan paling besar pada saat jumlah material berkarat mencapai empat hingga lima unit dalam satu hari kerja. Perbandingan antara kapasitas teoritis dan output aktual memperlihatkan adanya kehilangan produksi yang cukup signifikan. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa constraint berbasis kualitas material memiliki pengaruh langsung terhadap performa operasional sistem produksi (Samosir & Setiawannie, 2023). Tabel berikut menunjukkan hubungan antara jumlah material berkarat, waktu tambahan proses gerinda, dan output aktual produksi selama periode observasi.

Tabel 1. Perbandingan Jumlah Material Berkarat, Waktu Tambahan Proses, dan Output Produksi Harian pada Workshop 2 PT. Triangle Motorindo

Tanggal	Unit Berkarat	Waktu Tambahan (menit)	Output Aktual	Potensi Output
2025-06-03	5	50	80	86
2025-06-05	4	40	91	88
2025-06-09	4	40	66	88
2025-06-10	3	30	83	84
2025-06-11	6	60	75	84
2025-06-12	3	40	71	84

Data pada tabel memperlihatkan bahwa peningkatan waktu tambahan akibat proses gerinda berkorelasi terhadap penurunan efektivitas output harian. Nilai output aktual pada tanggal 2025-06-09 mengalami selisih paling besar dibandingkan kapasitas teoritis akibat tingginya hambatan proses gerinda. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa bottleneck tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah material cacat, tetapi juga oleh kemampuan stasiun kerja dalam menyerap tambahan beban kerja. Temuan ini mendukung argumentasi de Jesus Pacheco et al. (2021) bahwa constraint dalam sistem produksi memiliki dampak sistemik terhadap strategi operasi perusahaan.

Analisis lapangan memperlihatkan bahwa operator welding sering mengalami idle time karena material belum selesai dibersihkan pada area gerinda. Waktu tunggu tersebut menyebabkan utilisasi tenaga kerja welding menjadi tidak optimal selama periode produksi tertentu. Ketidakseimbangan aliran material antar stasiun kerja memperlihatkan lemahnya sinkronisasi proses produksi. Penelitian Kemaluddin dan Prasetyaningsih (2022) menegaskan bahwa bottleneck pada satu stasiun kerja dapat memicu ketidakefisienan berantai pada proses hilir produksi.

Permasalahan material berkarat juga meningkatkan risiko rework pada sambungan pengelasan karena permukaan material tidak sepenuhnya bersih ketika masuk ke tahap welding. Operator welding harus melakukan penyesuaian parameter pengelasan untuk menjaga kualitas sambungan rangka kendaraan. Aktivitas tambahan tersebut memperbesar waktu proses dan meningkatkan konsumsi energi produksi. Kajian Bakhtiar et al. (2020) menunjukkan bahwa kualitas proses pada PT. Triangle Motorindo memiliki hubungan erat dengan stabilitas material dan konsistensi parameter operasional produksi.

Kondisi bottleneck yang diamati pada Workshop 2 memperlihatkan bahwa constraint utama bukan terletak pada kapasitas mesin utama produksi, melainkan pada kualitas material masuk yang menciptakan aktivitas tambahan sebelum proses inti berlangsung. Temuan ini memperluas perspektif TOC yang selama ini lebih dominan digunakan untuk menganalisis kapasitas mesin dan keseimbangan lini produksi. Fokus pada constraint berbasis kualitas material memberikan pemahaman baru mengenai pentingnya pengendalian bahan baku dalam menjaga stabilitas throughput produksi. Penelitian Prakoso et al. (2024) juga menunjukkan bahwa sumber bottleneck dapat berasal dari faktor non-mesin yang memunculkan pemborosan waktu dan penurunan efisiensi aliran proses.

Analisis Eksploitasi dan Subordinasi Constraint pada Sistem Produksi

Tahap eksploitasi constraint dilakukan untuk memaksimalkan kapasitas stasiun kerja gerinda tanpa menambah sumber daya baru pada tahap awal analisis. Observasi menunjukkan bahwa operator gerinda sebelumnya bekerja tanpa prioritas urutan material berdasarkan tingkat korosi permukaan. Kondisi tersebut menyebabkan material dengan tingkat korosi berat dan ringan diproses secara acak sehingga waktu antrean menjadi tidak terkendali. Pendekatan eksploitasi constraint dalam TOC menekankan pentingnya optimalisasi pemanfaatan sumber daya yang telah tersedia sebelum dilakukan ekspansi kapasitas produksi (Şimşit et al., 2014).

Penerapan eksploitasi constraint dilakukan melalui pengelompokan material berdasarkan tingkat korosi untuk mempercepat proses persiapan material sebelum welding. Material dengan korosi ringan diprioritaskan lebih dahulu agar throughput produksi tetap terjaga selama jam operasional berlangsung. Strategi tersebut menghasilkan penurunan waktu tunggu pada area welding karena material dapat diproses lebih cepat dibandingkan pola kerja sebelumnya. Temuan ini memperlihatkan bahwa pengaturan prioritas kerja memiliki pengaruh signifikan terhadap stabilitas aliran produksi sebagaimana dijelaskan oleh Rahmawati dan Rochmoeljati (2026).

Analisis kapasitas menunjukkan bahwa waktu kerja efektif operator gerinda hanya mencapai sekitar 73% dari total jam kerja harian akibat perpindahan material dan penyesuaian posisi kerja. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa bottleneck tidak sepenuhnya berasal dari keterbatasan kapasitas operator, melainkan juga dari inefisiensi aktivitas pendukung pada area kerja. Pengurangan waktu handling material menjadi faktor penting untuk meningkatkan efektivitas constraint. Penelitian Widjarsa dan Rochmoeljati (2025) menjelaskan bahwa peningkatan throughput produksi sering kali bergantung pada efisiensi aktivitas pendukung di sekitar titik bottleneck.

Subordinasi proses dilakukan dengan menyesuaikan ritme kerja stasiun produksi lain terhadap kapasitas aktual area gerinda. Area welding dan assembly tidak lagi memproses material berdasarkan target output teoritis, melainkan berdasarkan kemampuan suplai material dari area persiapan. Penyesuaian tersebut mengurangi penumpukan material setengah jadi pada area produksi berikutnya.

Pendekatan subordinasi seperti ini dianggap penting dalam TOC karena mencegah terjadinya overproduction pada stasiun non-constraint (Situmorang et al., 2023).

Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa sebelum subordinasi diterapkan, area assembly sering mengalami waktu menganggur akibat keterlambatan suplai rangka dari area welding. Setelah ritme produksi disesuaikan dengan kapasitas bottleneck, waktu idle operator assembly mengalami penurunan secara bertahap. Perubahan tersebut menunjukkan adanya peningkatan sinkronisasi antar stasiun kerja dalam sistem produksi. Penelitian Ikhwana et al. (2024) menegaskan bahwa keseimbangan kapasitas antar proses merupakan faktor utama dalam menjaga kontinuitas produksi industri manufaktur.

Data pengamatan setelah penerapan subordinasi memperlihatkan adanya perubahan pada distribusi waktu tunggu antar stasiun kerja produksi. Penyesuaian ritme produksi berhasil menurunkan akumulasi antrean material pada area welding dan assembly. Efektivitas subordinasi terlihat dari penurunan rata-rata idle time operator dibandingkan kondisi awal sebelum implementasi TOC. Hasil pengamatan tersebut disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4.2 Perbandingan Idle Time Antar Stasiun Kerja Sebelum dan Sesudah Penerapan Subordinasi Constraint pada Workshop 2 PT. Triangle Motorindo

Stasiun Kerja	Idle Time Sebelum (menit)	Idle Time Sesudah (menit)	Penurunan (%)
Welding	65	32	50,7
Assembly	58	29	50,0
Painting	40	21	47,5
Powder Coating	35	18	48,6

Tabel tersebut memperlihatkan bahwa subordinasi constraint memberikan dampak terhadap penurunan waktu menganggur pada seluruh stasiun kerja produksi. Penurunan idle time tertinggi terjadi pada area welding karena stasiun tersebut memiliki hubungan langsung dengan area gerinda sebagai constraint utama. Data tersebut menunjukkan bahwa pengendalian bottleneck mampu memperbaiki efisiensi sistem secara menyeluruh. Temuan ini memiliki kesesuaian dengan penelitian Budiani dan Rochmoeljati (2025) yang menyatakan bahwa sinkronisasi aliran kerja menjadi faktor penting dalam pengurangan pemborosan waktu produksi.

Perubahan ritme produksi juga memengaruhi stabilitas output harian pada Workshop 2 PT. Triangle Motorindo. Sebelum subordinasi diterapkan, output produksi harian sering mengalami fluktuasi akibat ketidaksesuaian kapasitas antar proses produksi. Setelah penyesuaian ritme dilakukan, variasi output harian menjadi lebih stabil dan mendekati target produksi aktual perusahaan. Penelitian Mauluddin dan Nugraha (2025) menjelaskan bahwa stabilitas kapasitas produksi merupakan indikator penting dalam keberhasilan implementasi TOC pada sektor manufaktur.

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa subordinasi constraint tidak hanya berdampak pada peningkatan throughput, tetapi juga memperbaiki koordinasi kerja antar operator produksi. Operator pada area non-constraint mulai menyesuaikan pola kerja berdasarkan status material pada area gerinda sehingga komunikasi operasional menjadi lebih efektif. Kondisi tersebut memperlihatkan adanya peningkatan integrasi proses dalam sistem produksi workshop. Kajian Mishra (2020) menunjukkan bahwa keberhasilan pengelolaan constraint sangat dipengaruhi oleh koordinasi antar bagian dalam sistem operasional organisasi.

Penerapan eksploitasi dan subordinasi constraint pada penelitian ini memperlihatkan bahwa pengendalian bottleneck berbasis kualitas material memerlukan pendekatan sistemik, bukan sekadar peningkatan kapasitas alat produksi. Fokus utama berada pada pengaturan aliran kerja agar seluruh proses bergerak sesuai kemampuan constraint utama dalam sistem produksi. Strategi tersebut menghasilkan peningkatan efektivitas produksi tanpa investasi besar pada tahap awal implementasi. Penelitian Sibiyu et al. (2023) menjelaskan bahwa pendekatan berbasis sinkronisasi sistem memiliki efektivitas tinggi dalam meningkatkan performa operasional pada lingkungan produksi dengan sumber daya terbatas.

Evaluasi Elevasi Constraint dan Peningkatan Throughput Produksi

Tahap elevasi constraint dilakukan setelah proses eksploitasi dan subordinasi menunjukkan bahwa bottleneck utama masih berada pada area penggerindaan material berkarat. Evaluasi lapangan memperlihatkan bahwa kapasitas stasiun kerja gerinda tetap belum mampu mengimbangi kebutuhan produksi ketika volume material korosi meningkat dalam periode tertentu. Kondisi tersebut menandakan bahwa optimalisasi proses internal saja belum cukup untuk menghilangkan hambatan produksi secara permanen. Literatur TOC menjelaskan bahwa elevasi constraint diperlukan ketika constraint utama telah mencapai batas optimal operasional tetapi masih membatasi throughput sistem produksi (de Jesus Pacheco et al., 2021).

Strategi elevasi pada penelitian ini dilakukan melalui tiga pendekatan utama berupa penambahan mesin gerinda, alokasi operator khusus pembersihan material, dan peningkatan kualitas bahan baku dari pemasok. Penambahan fasilitas kerja memungkinkan proses pembersihan material dilakukan secara paralel sehingga antrean material menuju area welding mengalami penurunan. Alokasi tenaga kerja khusus juga mengurangi beban operator produksi utama yang sebelumnya harus melakukan aktivitas penggerindaan tambahan. Penelitian Mochammad et al. (2025) menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas pada titik constraint mampu memperbaiki efisiensi produksi apabila dilakukan berdasarkan analisis kapasitas aktual sistem.

Observasi setelah implementasi elevasi memperlihatkan adanya peningkatan kelancaran aliran material pada area produksi. Material yang sebelumnya menumpuk pada area gerinda mulai dapat diproses secara lebih cepat menuju stasiun welding dan assembly. Penurunan antrean material tersebut berdampak pada meningkatnya utilisasi operator pada proses lanjutan produksi. Temuan ini memiliki kesesuaian dengan penelitian Salimah et al. (2021) yang menyatakan bahwa pengurangan hambatan pada bottleneck dapat memperbaiki kontinuitas aliran kerja antar stasiun produksi.

Peningkatan kualitas material dari pemasok menjadi faktor penting dalam proses elevasi constraint pada penelitian ini. Material yang telah melalui proses coating atau perlindungan anti-karat menunjukkan kebutuhan penggerindaan yang jauh lebih rendah dibandingkan material sebelumnya. Pengurangan aktivitas pembersihan menghasilkan peningkatan waktu efektif produksi harian pada Workshop 2. Penelitian Monoarfa et al. (2021) menegaskan bahwa kualitas material memiliki hubungan langsung terhadap munculnya aktivitas non-value added dalam sistem produksi manufaktur.

Evaluasi kuantitatif menunjukkan bahwa waktu tambahan akibat proses gerinda mengalami penurunan cukup signifikan setelah elevasi constraint diterapkan. Sebelum implementasi, total waktu tambahan produksi mencapai 260 menit dalam periode observasi enam hari kerja. Setelah peningkatan kapasitas dan pengendalian material dilakukan, total waktu tambahan turun menjadi sekitar 50 menit pada simulasi operasional yang sama. Kondisi tersebut memperlihatkan adanya peningkatan efektivitas throughput produksi secara nyata (Muhammad & Isbiandono, 2021). Perbandingan kondisi produksi sebelum dan sesudah elevasi constraint disajikan pada tabel berikut untuk menunjukkan perubahan performa operasional sistem produksi.

Tabel 3. Perbandingan Kinerja Produksi Sebelum dan Sesudah Elevasi Constraint pada Workshop 2 PT. Triangle Motorindo

Indikator Produksi	Sebelum Elevasi	Sesudah Elevasi
Total Waktu Tambahan	260 menit	50 menit
Unit Tertunda/Minggu	30 unit	5 unit
Efektivitas Output Harian	<90%	>95%
Idle Time Assembly	Tinggi	Rendah

Data pada tabel memperlihatkan bahwa elevasi constraint menghasilkan penurunan unit tertunda dan peningkatan efektivitas output harian secara signifikan. Penurunan total waktu tambahan menunjukkan bahwa bottleneck pada area gerinda berhasil ditekan melalui peningkatan kapasitas dan pengendalian kualitas material. Efektivitas output yang meningkat hingga di atas 95% menunjukkan bahwa sistem produksi mulai bergerak lebih stabil dibandingkan kondisi awal observasi. Penelitian

Rahmawati dan Rochmoeljati (2026) menjelaskan bahwa pengurangan constraint utama berpengaruh langsung terhadap peningkatan throughput dan stabilitas produksi industri.

Analisis hasil elevasi memperlihatkan bahwa peningkatan throughput tidak hanya dipengaruhi oleh penambahan alat produksi, tetapi juga oleh pengurangan variasi kualitas material yang masuk ke sistem produksi. Material dengan tingkat korosi rendah menghasilkan waktu proses yang lebih konsisten pada setiap unit produksi. Stabilitas waktu proses memberikan dampak positif terhadap akurasi penjadwalan produksi harian perusahaan. Penelitian Situmorang et al. (2023) menjelaskan bahwa kestabilan kapasitas produksi menjadi komponen penting dalam optimalisasi perencanaan operasional industri manufaktur.

Hasil evaluasi juga menunjukkan bahwa elevasi constraint memperbaiki koordinasi antar bagian produksi dan meningkatkan disiplin pengendalian material masuk. Operator produksi mulai melakukan pemeriksaan visual awal sebelum material dipindahkan menuju area kerja utama. Aktivitas tersebut mengurangi kemungkinan masuknya material dengan tingkat korosi berat ke dalam lini produksi. Penelitian Santoso (2012) menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi sistem produksi di PT. Triangle Motorindo sangat dipengaruhi oleh koordinasi proses dan pengaturan aliran kerja yang terintegrasi.

Implementasi elevasi constraint pada penelitian ini memperlihatkan bahwa pendekatan TOC memiliki fleksibilitas tinggi untuk diterapkan pada sistem produksi berbasis fabrikasi logam. Fokus pada constraint berbasis kualitas material memperluas aplikasi TOC yang sebelumnya lebih dominan digunakan pada persoalan kapasitas mesin dan penjadwalan produksi. Penelitian ini menunjukkan bahwa sumber bottleneck dapat berasal dari karakteristik bahan baku yang memunculkan aktivitas tambahan sebelum proses inti berlangsung. Kajian Prakoso et al. (2024) juga memperlihatkan bahwa identifikasi sumber bottleneck non-konvensional menjadi faktor penting dalam peningkatan efisiensi produksi modern.

Temuan penelitian memperlihatkan bahwa keberhasilan peningkatan throughput produksi tidak hanya bergantung pada investasi fasilitas kerja, tetapi juga pada kemampuan perusahaan membangun sistem pengendalian constraint yang berkelanjutan. Pengawasan kualitas material, sinkronisasi kapasitas antar stasiun kerja, dan pengaturan ritme produksi menjadi elemen utama dalam menjaga stabilitas output produksi jangka panjang. Pendekatan TOC pada penelitian ini menghasilkan model pengendalian bottleneck yang lebih adaptif terhadap variasi kondisi operasional di lingkungan manufaktur kendaraan roda tiga. Penelitian Widyarsa dan Rochmoeljati (2025) menegaskan bahwa efektivitas TOC dalam industri manufaktur sangat dipengaruhi oleh kemampuan organisasi menjaga keseimbangan sistem produksi secara dinamis dan terintegrasi.

KESIMPULAN

Analisis bottleneck produksi pada Workshop 2 PT. Triangle Motorindo menunjukkan bahwa material besi hollow dan pipa baja yang mengalami korosi permukaan menjadi constraint utama yang menghambat kelancaran aliran produksi rangka kendaraan roda tiga. Aktivitas tambahan berupa penggerindaan sebelum proses welding menyebabkan peningkatan waktu siklus produksi, penurunan kapasitas efektif, munculnya idle time pada stasiun kerja hilir, serta ketidakstabilan throughput harian. Penerapan Theory of Constraints berhasil mengidentifikasi hubungan sistemik antara kualitas material, kapasitas proses, dan sinkronisasi antar stasiun kerja melalui tahapan identifikasi, eksploitasi, subordinasi, dan elevasi constraint. Strategi eksploitasi dan subordinasi mampu memperbaiki koordinasi operasional serta menurunkan waktu menganggur pada area welding, assembly, dan painting, sedangkan elevasi constraint melalui penambahan fasilitas gerinda, alokasi operator khusus, dan penggunaan material berlapis anti-karat berhasil meningkatkan efektivitas output harian dari di bawah 90% menjadi lebih dari 95%. Temuan penelitian memperlihatkan bahwa bottleneck berbasis kualitas material memiliki dampak signifikan terhadap performa sistem produksi manufaktur fabrikasi logam dan menegaskan bahwa pengendalian kualitas bahan baku merupakan elemen strategis dalam peningkatan throughput produksi secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Bakhtiar, A., Dzakwan, B. R., Sipayung, M. E. B., & Pradhana, C. A. (2020). Penerapan Metode Six Sigma di PT Triangle Motorindo. *Opsi*, 13(2), 113-119. <https://doi.org/10.31315/opsi.v13i2.4066>.

- Budiani, D. N. F., & Rochmoeljati, R. (2025). Corrugated Box Production Optimization Using Theory of Constraints (TOC) and DBR-Drum-Buffer-Rope (DBR): Optimasi Produksi Corrugated Box Menggunakan Theory of Constraints (TOC) dan DBR-Drum-Buffer-Rope (DBR). *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 26(4), 10-21070. <https://doi.org/10.21070/ijins.v26i4.1422>.
- de Jesus Pacheco, D. A., Junior, J. A. V. A., & de Matos, C. A. (2021). The constraints of theory: What is the impact of the Theory of Constraints on Operations Strategy?. *International Journal of Production Economics*, 235, 107955. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107955>.
- Hartini, S., Nugroho, S., & Suksmono, D. A. (2006). Usulan perancangan tata letak penyimpanan komponen berdasarkan kriteria komoditi komponen (studi kasus di pt triangle motorindo semarang). *J@ ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 1(1), 18-33. <https://doi.org/10.14710/jitaa.%25v.%25i.95-103>.
- Ikhwana, A., Saâ, D., & Hikmah, I. W. N. (2024). Perencanaan Kapasitas Produksi Industri Pakan Ternak dengan Metode Theory of Constraints. *Jurnal Kalibrasi*, 22(1), 63-72. <https://doi.org/10.33364/kalibrasi.v.22-1.1513>.
- Kemaluddin, R. P., & Prasetyaningsih, E. (2022, July). Perbaikan Stasiun Kerja Bottleneck melalui Penerapan Theory of Constraint di PT. Pindad (Persero). In *Bandung Conference Series: Industrial Engineering Science* (Vol. 2, No. 2, pp. 262-270). <https://doi.org/10.29313/bcsies.v2i2.3562>.
- Mauluddin, Y., & Nugraha, C. N. (2025). Mengatasi Tantangan Kapasitas Produksi melalui Pendekatan Theory of Constraints dan Overall Equipment Effectiveness: Studi Kasus PT. Garut Makmur Perkasa. *Jurnal Kalibrasi*, 23(1), 30-38. <https://doi.org/10.33364/kalibrasi.v.23-1.1290>.
- Mishra, A. K. (2020). Implication of theory of constraints in project management. *International Journal of Advanced Trends in Engineering and Technology*, 5(1), 1-13. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3605056>.
- Mochammad, M. D., Chaznin, R. M., & Reni, A. (2025). Perencanaan Kapasitas Produksi dengan Metode Theory Of Constraints pada Konveksi. In *Bandung Conference Series: Industrial Engineering Science Ученые: Universitas Islam Bandung (Unisba)* (Vol. 5, No. 1, pp. 135-146). <https://doi.org/10.29313/bcsies.v5i1.17815>.
- Monoarfa, M. I., Hariyanto, Y., & Rasyid, A. (2021). Analisis penyebab bottleneck pada aliran produksi briquette charcoal dengan menggunakan diagram fishbone di PT. Saraswati Coconut Product. *Jambura Industrial Review (JIREV)*, 1(1), 15-21. <https://doi.org/10.37905/jirev.v1i1.8217>.
- Muhammad, R. N., & Isbiandono, A. W. (2021). Optimalisasi Laba melalui Penerapan Theory Of Constraints (TOC) selama Pandemi Covid-19. *ProBank*, 6(1), 34-45. <https://doi.org/10.36587/probank.v6i1.842>.
- Prakoso, I., Samudro, M. B., & Puji, A. A. (2024). Analisis Bottleneck pada Produksi Lemon Kering dengan Metode Value Stream Mapping dan Fish Bone Diagram. *Jurnal Surya Teknika*, 11(2), 601-611. <https://doi.org/10.37859/jst.v11i2.7986>.
- Rahmawati, D., & Rochmoeljati, R. (2026). Theory of Constraint and Drum Buffer Rope Increase Shoe Production Throughput: Teori Kendala dan Drum Buffer Rope Meningkatkan Produktivitas Produksi Sepatu. *Indonesian Journal of Innovation Studies*, 27(1), 10-21070. <https://doi.org/10.21070/ijins.v27i1.1891>.
- Salimah, S., Dzikron, M., & Hidayat, N. P. (2021). Reduksi Stasiun Kerja Bottleneck pada Produksi Pakaian Gamis dan Koko dengan Menggunakan Theory of Constraints. *Jurnal Riset Teknik Industri*, 49-57. <https://doi.org/10.29313/jrti.v1i1.140>.
- Samosir, R., & Setiawannie, Y. (2023). Analisa Penerapan Metode Theory of Constraint untuk mengoptimalkan Stasiun Kerja di PT. XYZ. *Jurnal Teknologi dan Teknik Industri (JTII)*, 1(1), 92-104. .
- Santoso, H. (2012). Peningkatan Efisiensi Stasiun Kerja dengan Pendekatan Region Line Balancing (Studi Kasus di PT. Triangle Motorindo). *ROTASI*, 8(1), 8-14. <https://doi.org/10.14710/rotasi.8.1.8-14>.
- Sibiya, A., Sibiya, B., Jordaan, J., & Mahosi, B. N. (2023). Enhancing Project Management for SMEs: A Hybrid Approach. *Journal of Management and Entrepreneurship Research* 4.2, 106-122. <https://doi.org/10.34001/jmer.2023.12.04.2-42>.

- Şimşit, Z. T., Günay, N. S., & Vayvay, Ö. (2014). Theory of constraints: A literature review. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 150, 930-936. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.09.104>.
- Situmorang, O. C., Satya, R. R. D., & Herliawan, A. (2023). Optimalisasi Perencanaan Kapasitas Produksi dengan Metode Theory of Constraints dan Rough Cut Capacity Planning. *Barometer*, 8(1), 19-28. <https://doi.org/10.35261/barometer.v8i1.6826>.
- Widyarsa, D. N., & Rochmoeljati, R. (2025). Optimization of the Production Process using the Theory of Constraints (TOC) Method based on Drum-Buffer-Rope (DBR) Improvements. *Sistemasi: Jurnal Sistem Informasi*, 14(4), 1789-1799. <https://doi.org/10.32520/stmsi.v14i4.5292>.