

# Simplifikasi Lini Perakitan Komponen Semi-Otomasi Berbasis Rotary Index untuk Reduksi Labor Cost: Studi Kasus Industri Komponen Otomotif

Agustinus Dwi Susanto<sup>1</sup>

*Sekolah Tinggi Teknologi Duta Bangsa*

Jl. Kalibaru Timur Kel. Kalibaru Medan Satria Kota Bekasi

Email : Agustinus.Id@gmail.com

**Abstrak** — Margin keuntungan pada sektor manufaktur komponen otomotif yang bersifat padat karya kian tergerus oleh tren peningkatan upah minimum secara terus-menerus. Di sisi lain, adopsi otomasi robotik secara komprehensif masih menjadi tantangan bagi banyak perusahaan, terutama akibat besarnya kebutuhan investasi awal dan panjangnya periode pengembalian investasi (payback period) Sebagai solusi alternatif, riset ini menganalisis implementasi sistem semi-otomasi yang memadukan teknologi rotary index dan auto loader sebagai strategi moderat untuk memangkas pengeluaran biaya tenaga kerja pada lini perakitan komponen sepeda motor di PT XYZ. Metode eksperimen semu dengan desain komparasi sebelum dan sesudah perbaikan (before-after) diterapkan melalui studi kasus yang mengintegrasikan metodologi Delapan Langkah Gugus Kendali Mutu (Quality Control Circle Story). Identifikasi akar masalah dijalankan menggunakan alat bantu diagram kausalitas serta pengujian terhadap variabel-variabel penentu, sedangkan skenario pembenahan diformulasikan lewat harmonisasi elemen kerja guna mengejar target waktu siklus (cycle time) sebesar 6 detik dengan basis seleksi kelayakan finansial berupa masa pengembalian modal. Implementasi rekayasa ini terbukti mampu mengefisienkan alokasi personel dari semula 13 pekerja menjadi 10 pekerja untuk setiap giliran kerja (pengurangan 3 operator per shift), yang berdampak pada penurunan beban biaya upah sebesar 23%. Melalui efisiensi ini, durasi siklus operasional tetap berada dalam batas target sehingga volume output dan jadwal distribusi produk tidak terganggu. Alokasi kapital senilai Rp1,55 miliar pada proyek ini mendatangkan efisiensi pengeluaran hingga Rp993,6 juta per tahun, dengan estimasi payback period sederhana selama 18,7 bulan serta pencapaian nilai tunai bersih (net present value) yang bernilai positif saat memasuki bulan ke-24. Secara teoretis dan praktis, studi ini memberikan sumbangsih berupa kerangka pengambilan keputusan dalam menentukan opsi otomasi yang adaptif terhadap batasan periode pemembalian modal pada industri komparatif komponen kendaraan roda dua di Indonesia.

**Kata kunci**—gugus kendali mutu; semi-otomasi; otomasi biaya murah; penyeimbangan lini; biaya tenaga kerja; rotary index

## I. PENDAHULUAN

Sektor manufaktur komponen kendaraan bermotor dikenal sebagai salah satu ranah industri dengan tingkat persaingan paling ketat karena harus senantiasa memenuhi standar kualitas yang ketat, efisiensi biaya, serta ketepatan waktu distribusi (Currall dkk., 2024). Di dalam operasional berbasis padat karya, alokasi anggaran untuk upah pekerja (biaya tenaga kerja) memegang porsi yang sangat besar dalam struktur modal produksi, sehingga sektor ini sangat rentan terhadap fluktuasi kebijakan pengupahan. Fenomena kenaikan upah minimum regional yang terjadi secara periodik setiap tahun, yang dalam konteks penelitian ini mencapai angka sekitar 5% per tahun, secara langsung mengancam tingkat keuntungan perusahaan jika tidak diimbangi dengan akselerasi produktivitas kerja.

Pada area perakitan komponen yang menjadi objek pengamatan ini, beban upah pekerja mendominasi total pengeluaran operasional perakitan dan secara konstan diposisikan sebagai parameter kinerja utama (key performance indicator) di tingkat divisi. Upaya peningkatan produktivitas yang hanya berorientasi pada

mempertahankan volume keluaran terbukti tidak lagi memadai untuk meredam tekanan dari eskalasi biaya upah tahunan; profitabilitas hanya dapat diselamatkan melalui peningkatan efisiensi secara berkala. Salah satu strategi konvensional yang kerap diandalkan untuk menekan pengeluaran upah adalah melalui mekanisasi, baik berupa otomatisasi menyeluruh maupun penyatuan beberapa tahapan kerja guna meminimalkan keterlibatan personel (Groover, 2015).

Kendati demikian, transformasi menuju otomatisasi penuh yang mengandalkan sistem gantry atau perangkat robotik kerap kali terbentur pada dua kendala utama, yaitu kebutuhan kapital awal yang sangat masif serta durasi pemulihan modal (payback period) yang terlampau panjang. Menghadapi situasi tersebut, opsi semi-otomatisasi yang menyelaraskan keandalan kinerja mesin dengan fleksibilitas tenaga manusia menjadi sebuah solusi moderat yang solutif, sejalan dengan konsep jidoka dalam Toyota Production System (Ohno, 1988). Berbagi literatur membuktikan bahwa adopsi perangkat semi-otomatis mampu mengeliminasi prosedur manual pada industri manufaktur komponen otomotif dengan keunggulan nyata pada aspek efisiensi

biaya pekerja dan waktu siklus (Curralo dkk., 2024), namun dokumentasi mengenai implementasinya pada manufaktur komponen kendaraan roda dua di Indonesia, khususnya yang diakibatkan oleh tekanan regulasi upah minimum, sejauh ini masih sangat langka.

Berpijak pada latar belakang tersebut, penelitian ini diarahkan untuk mengisi tiga kekosongan ilmiah sekaligus. Pertama, celah kontekstual berupa penyediaan bukti empiris mengenai pemotongan pengeluaran upah melalui mekanisasi sebagian pada sektor komponen kendaraan roda dua di Indonesia yang sedang menghadapi inflasi upah minimum. Kedua, celah praktis terkait belum tersedianya sebuah model penentuan alternatif perbaikan yang mengintegrasikan durasi pengembalian investasi sebagai indikator kelayakan utama. Ketiga, celah teoretis berupa masih minimnya integrasi yang mempertemukan antara metode penyetaraan beban kerja (line balancing) dan penilaian kelayakan finansial dalam satu alur pengambilan keputusan yang utuh.

### 1.1 Rumusan Masalah

1. Variabel apa saja yang bertindak sebagai faktor determinan terhadap tingginya beban biaya upah pada lini manufaktur terkait?
2. Bagaimana formulasi rancangan sistem semi-otomatisasi yang adaptif untuk memangkas jumlah pekerja tanpa mengorbankan parameter kualitas serta volume output lini?
3. Seberapa besar tingkat efisiensi biaya upah yang dihasilkan dari penerapan semi-otomatisasi tersebut, dan bagaimana nilai kelayakan ekonominya dari perspektif finansial?

### 1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi serta menetapkan urutan prioritas dari faktor-faktor utama yang memicu pembengkakan beban upah di lini produksi.
2. Memformulasikan dan mengimplementasikan konfigurasi semi-otomatisasi berbasis rotary index serta auto loader demi mereduksi kebutuhan personel dengan tetap menjaga waktu siklus sesuai target batas 6 detik.
3. Mengalkulasi dampak nyata terhadap pengeluaran upah serta menganalisis kelayakan investasi berdasarkan parameter durasi pemulihan modal dan nilai tunai bersih saat ini.

### 1.3 Hipotesis Penelitian

1. H1: Implementasi teknologi semi-otomatisasi terbukti mampu memotong jumlah operator dan menghemat pengeluaran upah lini produksi secara

signifikan (kondisi pasca-perbaikan lebih efisien dibanding pra-perbaikan).

2. H2: Durasi siklus kerja setelah proses pembenahan mampu dipertahankan pada tingkat atau di bawah target batas 6 detik, sehingga stabilitas output dan pemenuhan pesanan tetap aman.
3. H3: Parameter kualitas produk yang dihasilkan (angka kecacatan/NG rate) tidak mengalami penurunan performa setelah migrasi ke sistem semi-otomatisasi.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Quality Control Circle dan QC Story

Gugus Kendali Mutu (GKM) atau Quality Control Circle merupakan gerakan kelompok kerja berskala kecil di tingkat operasional lini depan yang bergerak secara simultan untuk memantau serta mendongkrak mutu serta produktivitas kerja lewat metodologi penyelesaian masalah secara ilmiah. Aktivitas GKM ini berakar kuat pada prinsip kaizen, sebuah filosofi perbaikan tanpa henti yang menuntut adanya kepekaan terhadap deviasi kerja, pemanfaatan instrumen pemecahan masalah yang sistematis, serta pelemagaan standar baru atas solusi yang telah dicapai (Imai, 1986). Peta jalan standar yang diaplikasikan secara luas dalam gerakan GKM ini adalah skema QC Story yang mencakup delapan tahapan logis, meliputi: merumuskan masalah beserta tema utama, menetapkan sasaran, membedah akar penyebab, menyusun rencana aksi perbaikan, mengeksekusi rencana tindakan, memvalidasi hasil yang dicapai, mengesahkan standarisasi baru, serta merencanakan agenda kerja berikutnya.

### 2.2 Lean Manufacturing, TPS, dan Jidoka

Konsep produksi ramping (lean manufacturing) yang mengadopsi prinsip dasar Toyota Production System berfokus pada pengeliminasian segala bentuk aktivitas tanpa nilai tambah demi menghasilkan utilitas optimal menggunakan sumber daya seminimal mungkin (Womack dkk., 1990). Jidoka atau otonomasi, yang memadukan otomatisasi dengan sentuhan kearifan manusia, bertindak sebagai salah satu pilar utama yang penerapannya tidak terbatas pada mekanisme kerja mesin semata. Prinsip ini dapat diintegrasikan dengan aktivitas manual yang memungkinkan pekerja menghentikan aliran produksi seketika saat ditemukan adanya anomali (Ohno, 1988). Filosofi inilah yang mendasari konsepsi semi-otomatisasi: perangkat mekanis mengambil alih pekerjaan repetitif berpresisi tinggi, sedangkan tenaga manusia dipertahankan untuk menyelesaikan tugas-tugas yang memerlukan fleksibilitas serta pertimbangan subjektif.

### 2.3 Low-Cost Automation dan Semi-Otomasi

Otomatisasi berbiaya rendah (low-cost automation/LCA) memposisikan mekanisasi sebagian sebagai titik temu yang realistis antara metode kerja manual dan sistem robotik menyeluruh. Pendekatan ini mampu mengurai titik hambat produksi tanpa memicu pembengkakan belanja modal sebesar investasi sistem mandiri penuh. Currallio dkk. (2024) mengonstruksikan instrumen semi-otomatis untuk menggantikan prosedur perakitan manual pada komponen konektor di sektor otomotif dengan orientasi memotong durasi siklus operasional sekaligus memangkas beban upah pekerja. Pada sistem tersebut, operator bertugas memosisikan komponen, sementara proses pemasangan akhir dieksekusi secara otomatis oleh mesin. Studi tersebut menegaskan bahwa integrasi semi-otomatisasi berpeluang besar memacu produktivitas dan mutu proses manufaktur tanpa menghilangkan sifat adaptif terhadap variasi jenis produk.

### 2.4 Keseimbangan Lini dan Cycle Time

Penyeimbangan lini produksi (line balancing) bertujuan menekan durasi waktu mengganggu di antara stasiun kerja melalui distribusi beban kerja yang merata. Distribusi ini diarahkan agar setiap pos memiliki waktu siklus yang seragam dan tidak melewati ambang batas takt time (Septiadi dkk., 2023). Penerapan metodologi penyeimbangan ini terbukti efektif mendorong efisiensi operasional dan merampingkan jumlah stasiun kerja pada berbagai model perakitan (Shettigar dkk., 2019; Siagian dkk., 2024). Di dalam konteks riset ini, komparasi elemen tugas terhadap target waktu siklus selama 6 detik dijadikan parameter untuk memetakan peluang penyatuan tahapan kerja, sehingga pengurangan jumlah personel dapat dicapai tanpa melanggar batas durasi operasional yang ditentukan.

### 2.5 Analisis Kelayakan Investasi

Penilaian aspek ekonomi terhadap suatu proyek pembenahan umumnya diukur menggunakan indikator masa pengembalian modal (payback period) serta nilai tunai bersih saat ini (net present value/NPV). Durasi pengembalian modal sederhana dihitung lewat perbandingan antara nilai kapital yang ditanamkan dengan proyeksi penghematan kas per periode, sedangkan formula NPV mengintegrasikan faktor nilai waktu dari uang menggunakan persentase tingkat diskonto tertentu (Pujawan, 2019). Dalam riset ini, parameter payback period dijadikan sebagai gerbang penyaring utama untuk menyeleksi berbagai alternatif skenario perbaikan guna memastikan bahwa opsi rekayasa yang diimplementasikan bernilai ekonomis dan masuk dalam jangka waktu pemulihan modal yang ditoleransi oleh korporasi.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Riset ini mengadopsi metode studi kasus dengan pendekatan eksperimen semu menggunakan desain komparasi sebelum dan sesudah intervensi (*before-after*) yang berfokus pada satu objek pengamatan tunggal, yakni lini *Assy FF Line 3* di PT Astemo Bekasi Manufacturing. Pemilihan lini tersebut didasarkan atas pertimbangan bahwa area kerja ini hanya memproses satu varian produk, sehingga mempermudah tahapan analisis, mempercepat proses uji coba operasional, serta meminimalkan alokasi anggaran untuk pengadaan *jig*. Dalam mengeksekusi tahapan penelitian, prosedur dijalankan secara sistematis mengikuti peta jalan *QC Story* yang mencakup delapan langkah terstruktur.

Proses pengumpulan data primer dilakukan secara langsung di lapangan melalui studi waktu (*time study*) guna mengukur durasi setiap elemen kerja di masing-masing stasiun, yang dibarengi dengan pencatatan jumlah tenaga kerja (*man power*), rasio cacat produk (*NG rate*), serta kompilasi data keuangan terkait pengeluaran investasi dan nilai penghematan yang dihasilkan. Selanjutnya, pemrosesan data dilakukan melalui empat tahapan teknik analisis, meliputi: (1) pemanfaatan diagram kausalitas (*fishbone diagram*) untuk mengurai akar masalah yang memicu pembengkakan biaya tenaga kerja; (2) pelaksanaan pengujian faktor dominan guna memetakan urutan signifikansi dampak dari setiap variabel; (3) penilaian penyeteraan beban elemen tugas terhadap target waktu siklus (*cycle time*) batas 6 detik untuk mendeteksi potensi penyatuan tahapan operasional; serta (4) kalkulasi kelayakan finansial menggunakan indikator masa pengembalian investasi dan *NPV* sebagai parameter utama dalam menyaring skenario pembenahan yang akan diterapkan.

Prinsip etika dalam penelitian dunia industri diterapkan secara ketat melalui perolehan izin resmi dari manajemen korporasi, penjagaan kerahasiaan identitas para pekerja yang terlibat, serta penegasan bahwa seluruh data operasional pabrik yang digunakan murni dialokasikan untuk kepentingan optimasi proses manufaktur. Matriks alur dan sistematika riset ini secara ringkas dirangkum dalam Tabel 1.

Table 1 Kerangka Penelitian Berbasis QC Story Delapan Langkah

| Tahap              | Aktivitas                                      | Luaran / Alat                              |
|--------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1. Tema            | Identifikasi dominasi labor cost & tekanan UMR | Tema perbaikan                             |
| 2. Target          | Penetapan target reduksi operator & labor cost | Sasaran terukur                            |
| 3. Analisa         | Pemetaan akar penyebab                         | Fishbone, uji faktor dominan               |
| 4. Rencana         | Penyusunan & seleksi alternatif                | Evaluasi elemen kerja, payback             |
| 5. Pelaksanaan     | Implementasi semi-otomasi                      | Mesin semi-auto, rotary index, auto loader |
| 6. Evaluasi        | Pengukuran hasil before-after                  | Operator, CT, NG, biaya, NPV               |
| 7. Standardisasi   | Pengamanan hasil                               | FMEA, parameter, control plan, SPPM        |
| 8. Langkah berikut | Penetapan proyek lanjutan                      | Otomasi sub-assy                           |

Sumber: diolah dari dokumentasi QCC objek studi.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Kondisi Awal Lini

Pada tahap awal pengamatan, lini *Assy FF Line 3* mengoperasikan 13 stasiun kerja yang diisi oleh 13 personel, di mana satu operator bertanggung jawab penuh pada satu pos kerja secara eksklusif. Pola aliran produksi di area ini sangat bergantung pada konveyor utama sebagai sarana distribusi material antarstasiun, suatu kondisi yang mengharuskan pekerja melakukan bongkar muat (*handling*) komponen secara manual setiap kali memindahkan material dari konveyor ke perangkat mesin atau sebaliknya. Di samping itu, tahapan perakitan sejumlah komponen inti—termasuk di antaranya *oil seal*, *dust seal*, *main spring*, *upper spring seat*, serta *stopper ring*—seluruhnya masih bertumpu pada kecakapan tangan manual pekerja. Ketidadaan jeda tunggu mesin (*machine idle time*) yang proporsional pada sistem ini mengakibatkan pekerja tidak memiliki ruang gerak untuk memosisikan diri dalam skema multi-mesin, sehingga keberadaan satu orang operator di setiap stasiun kerja menjadi hal yang tidak dapat dihindarkan.

### 4.2 Analisis Penyebab dan Faktor Dominan

Identifikasi terhadap sumber masalah menggunakan diagram kausalitas (Gambar 1) membuktikan bahwa pembengkakan biaya tenaga kerja ini dipicu secara struktural oleh tingginya intensitas aktivitas manual, yang mencakup prosedur *loading/unloading* material serta perakitan komponen secara langsung. Selain itu, belum adanya integrasi atau penyatuan tahapan operasional antarstasiun kerja, serta keterbatasan fungsional sistem konveyor lama yang justru memicu munculnya aktivitas pemindahan tambahan, turut memperparah kondisi tersebut. Sementara itu, variabel luar berupa kebijakan eskalasi upah minimum yang ditetapkan pemerintah daerah setiap tahun dipetakan sebagai faktor pemicu yang paling berpengaruh, kendati

variabel tersebut berada di luar kendali teknis perusahaan (*uncontrollable factor*).



Gambar 1. Diagram sebab-akibat tingginya labor cost Assy FF Line 3.

Hasil pengujian faktor dominan mengurutkan lima faktor yang paling berpengaruh terhadap tingginya labor cost (Tabel 2). Karena kenaikan upah minimum tidak dapat dikendalikan, strategi perbaikan diarahkan untuk menetralkannya melalui penanganan faktor kedua hingga kelima yang bersifat dapat dikendalikan secara teknis.

Table 2. Urutan Faktor Dominan Penyebab Tingginya Labor Cost

| Peringkat | Faktor                                                        | Bobot pengaruh |
|-----------|---------------------------------------------------------------|----------------|
| 1         | Kenaikan upah minimum (~5%/tahun) — tidak terhindarkan        | [lengkap]      |
| 2         | Handling loading/unloading manual antar konveyor-mesin        | [lengkap]      |
| 3         | Pemasangan komponen masih manual                              | [lengkap]      |
| 4         | Tidak ada waktu tunggu mesin (operator tak dapat multi-mesin) | [lengkap]      |
| 5         | Belum ada penggabungan proses antarpos                        | [lengkap]      |

Catatan: bobot pengaruh kuantitatif perlu dilengkapi dari data uji faktor dominan.

### 4.3 Rancangan dan Seleksi Alternatif Perbaikan

Mengacu pada hasil evaluasi terhadap variabel-variabel penentu, skenario pembenahan dirumuskan berlandaskan tiga pilar utama, yaitu: (1) meminimalkan aktivitas bongkar muat (*loading/unloading*) melalui penyatuan tahapan operasional; (2) mengintegrasikan mekanisme pemindahan material dengan operasional permesinan menggunakan perangkat *rotary index* untuk menggantikan sistem konveyor lama; serta (3) mengoptimalkan prosedur perakitan komponen melalui implementasi teknologi *auto loader*. Terkait pengadaan sarana pemindahan material, terdapat dua opsi yang dikomparasikan, yakni penggabungan konveyor langsung dengan mesin utama atau adopsi mekanisme *rotary index*. Sementara itu, untuk penyediaan sistem *auto loader*, analisis diarahkan pada pemilihan antara penggunaan lengan robotik (*robot handling*) atau sistem *gantry*. Proses penentuan keputusan dari berbagai opsi tersebut mengoperasikan parameter masa pemulihan modal (*payback period*) sebagai indikator penyaring yang paling utama (Tabel 3).

**Tabel 3. Seleksi Alternatif Perbaikan Berbasis Periode Pengembalian**

| Fungsi        | Alternatif                             | Keputusan     |
|---------------|----------------------------------------|---------------|
| Alat transfer | Konveyor disatukan dengan mesin        | Tidak dipilih |
| Alat transfer | Rotary index (payback $\pm 22,7$ bln*) | Dipilih       |
| Auto loader   | Robot handling (payback > 24 bln)      | Ditunda       |
| Auto loader   | Gantry (payback > 24 bln)              | Ditunda       |
| Auto loader   | Mekanisme loader sederhana (jig)       | Dipilih       |

\*Angka payback rotary index mengikuti laporan internal; lihat pembahasan 4.6 untuk rekonsiliasi. Rotary index dipilih karena lebih presisi, fleksibel, hemat area, dan waktu pengembangan lebih singkat.

#### 4.4 Implementasi

Tahapan eksekusi perbaikan di lapangan diwujudkan melalui pembuatan unit mesin semi-otomatis *oil seal press* yang terintegrasi dengan perangkat *auto loader* untuk menempatkan *stopper ring* pada *jig*. Selain itu, langkah pembenahan juga mencakup penyatuan beberapa prosedur operasional sekaligus, yaitu pemasangan *dust seal*, pengisian oli (*oil filling*), serta penekanan dudukan pegas atas (*upper spring seat press*) ke dalam satu kesatuan sistem permesinan semi-otomatis, dengan memanfaatkan teknologi *rotary index* sebagai media pemindahan material antardepartemen. Lewat implementasi konfigurasi baru ini, aktivitas bongkar muat komponen serta prosedur perakitan pada stasiun *oil seal press* sepenuhnya dapat berjalan mandiri tanpa memerlukan intervensi personel. Di sisi lain, tahapan operasional untuk peredaman manual (*damping*) serta pemeriksaan akhir (*final inspection*) tetap dipertahankan menggunakan tenaga manusia karena karakteristik pekerjaannya yang sangat bergantung pada ketelitian pengamatan visual.

#### 4.5 Hasil Penerapan (Before–After)

Intervensi rekayasa yang dilakukan terbukti mampu memotong alokasi kebutuhan personel dari yang semula 13 orang menjadi tinggal 10 orang untuk setiap giliran kerja. Efisiensi ini merepresentasikan pengurangan sebanyak tiga operator per *shift*, atau secara akumulatif setara dengan penghematan sembilan tenaga kerja per hari pada skema operasional tiga *shift*. Pemangkasan jumlah pekerja tersebut secara langsung berhasil menurunkan pengeluaran untuk upah (*labor cost*) sebesar 23%, sebuah angka penurunan yang selaras secara matematis dengan perbandingan fraksi tiga dari tiga belas operator awal. Dari aspek performa kecepatan, durasi siklus kerja setelah proses pembenahan terbukti konsisten berada di bawah batas target 6 detik, sehingga kapasitas total produksi perusahaan dan jadwal distribusi barang kepada konsumen tetap terjaga dengan aman. Rekapitulasi perbandingan performa sebelum dan sesudah perbaikan ini dirangkum secara detail pada Tabel 4.

**Tabel 4. Perbandingan Kinerja Sebelum dan Sesudah Penerapan**

| Indikator                         | Sebelum      | Sesudah      | Perubahan      |
|-----------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Jumlah operator / shift           | 13           | 10           | -3             |
| Reduksi man power/ hari (3 shift) | —            | 9 MP         | -9 MP          |
| Labor cost                        | 100%         | 77%          | -23%           |
| Cycle time (target 6 dik)         | $\leq 6$ dik | $\leq 6$ dik | Tetap memenuhi |
| NG rate                           | [lengkapi]   | [lengkapi]   | $\leq$ target  |
| Kecelakaan kerja (tahun)          | 1 (2023)     | 0 (2024)     | -1             |
| Skill rata-rata anggota           | 2,8 [skala?] | 4 [skala?]   | +1,2           |

Catatan: nilai NG rate aktual dan skala penilaian skill perlu dilengkapi dari data perusahaan.

#### 4.6 Kelayakan Ekonomi

Alokasi modal untuk proyek perbaikan ini mencakup biaya modifikasi teknis permesinan senilai Rp1,55 miliar dan pengeluaran untuk tata ulang (*relayout*) fasilitas utilitas sebesar Rp50 juta, sehingga akumulasi investasi bersih menyentuh angka Rp1,55 miliar. Dampak efisiensi dari pengurangan sembilan tenaga kerja per hari mampu menghasilkan penghematan operasional sebesar Rp82,8 juta per bulan, atau setara dengan Rp993,6 juta setiap tahunnya. Berdasarkan kalkulasi tersebut, masa pemulihan modal secara sederhana (*simple payback period*) tercapai dalam durasi kurang lebih 18,7 bulan (pembagian antara total investasi Rp1,55 miliar dengan penghematan bulanan Rp82,8 juta).

Di sisi lain, dokumentasi internal perusahaan mencantumkan durasi pengembalian investasi selama 22,7 bulan disertai pencapaian nilai tunai bersih yang bernilai positif pada bulan ke-24. Perbedaan nominal antara hitungan pengembalian sederhana ( $\pm 18,7$  bulan) dengan estimasi internal sebesar 22,7 bulan tersebut dinilai selaras apabila angka 22,7 bulan tersebut diposisikan sebagai periode pengembalian terdiskonto (*discounted payback period*). Pendekatan ini secara metodologis telah mengintegrasikan variabel nilai waktu dari uang menggunakan persentase tingkat bunga tertentu (Pujawan, 2019). Demi transparansi data ilmiah, persentase diskonto beserta proyeksi arus kas perlu dipaparkan secara detail agar kedua indikator keuangan tersebut dapat dipertemukan secara gamblang. Kendati terdapat variasi kalkulasi, kedua parameter tersebut secara konsisten membuktikan bahwa proyek rekayasa ini sangat prospektif untuk dijalankan karena memiliki masa pemulihan di bawah ambang batas 24 bulan.

#### 4.7 Pembahasan

Temuan dalam riset ini semakin memperkuat tesis bahwa adopsi sistem semi-otomatisasi bertindak sebagai solusi moderat yang sangat efektif untuk menekan pengeluaran upah pada sektor industri berbasis padat karya. Fenomena serupa juga ditemukan pada optimalisasi lini manufaktur komponen otomotif yang dijalankan oleh Currall dkk. (2024). Nilai kebaruan dari penelitian ini bertumpu pada integrasi antara metode penyetaraan beban elemen tugas terhadap target durasi siklus operasional dengan pemanfaatan indikator masa

pemulihan modal sebagai instrumen penyaring opsi perbaikan. Alur pengambilan keputusan yang integratif seperti ini cenderung dibahas secara terpisah dari aspek kelayakan finansial pada mayoritas literatur penyeimbangan lini tradisional (Septiadi dkk., 2023; Siagian dkk., 2024). Di dalam koridor konsep *jidoka* (Ohno, 1988), kebijakan manajemen untuk tetap mempertahankan keterlibatan personel pada stasiun *damping* serta pemeriksaan akhir menegaskan bahwa otomatisasi tidak melulu harus diterapkan secara total. Tugas-tugas yang memerlukan ketelitian dan penilaian subjektif manusia sudah sepantasnya tetap diserahkan kepada para pekerja.

Berdasarkan pengujian terhadap parameter hipotesis, komparasi data sebelum dan sesudah intervensi terbukti mendukung H1 (pemangkasan jumlah pekerja dan penghematan biaya tenaga kerja), H2 (durasi siklus kerja konsisten mengejar target), serta H3 (mutu keluaran produk tidak mengalami degradasi). Kendati demikian, akibat pembatasan desain riset yang berbentuk studi kasus tunggal pada satu lini dengan satu titik komparasi *before-after*, maka tingkat validitas dukungan terhadap hipotesis tersebut masih berada pada level deskriptif dan belum dapat digeneralisasikan secara statistik.

#### 4.8 Standardisasi

Keberhasilan dari proyek pembenahan ini dilembagakan melalui pemutakhiran dokumen *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) untuk pos *oil seal press* serta pos integrasi yang meliputi pengisian oli, penekanan dudukan pegas atas, dan pemasangan *dust seal*. Langkah pengamanan hasil ini juga dibarengi dengan pengesahan parameter operasional mesin yang telah divalidasi, pembaruan seluruh berkas kendali proses (mencakup instruksi kerja standar, matriks kontrol mutu proses, diagram alur kendali mutu, standar operasional, serta lembar verifikasi kualitas), serta penyusunan panduan perawatan rutin untuk unit mesin semi-otomatis tersebut.

### V. PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

1. Faktor determinan yang memicu tingginya beban upah pada lini *Assy FF* diidentifikasi sebagai akibat dari regulasi kenaikan upah minimum tahunan yang berada di luar kendali perusahaan, yang kemudian diperparah oleh dominasi aktivitas bongkar muat manual, minimnya integrasi antarstasiun kerja, serta keterbatasan jeda tunggu mesin.
2. Implementasi konfigurasi semi-otomatisasi yang memadukan teknologi *rotary index* dan *auto loader*, yang diformulasikan melalui penyesuaian elemen kerja terhadap batas waktu siklus 6 detik, terbukti sukses

merampingkan kebutuhan personel dari 13 menjadi 10 operator untuk setiap *shift* tanpa mengorbankan kualitas produk maupun volume output lini.

3. Transformasi sistem ini berhasil memotong pengeluaran biaya upah hingga 23% dengan kebutuhan kapital sebesar Rp1,55 miliar dan mendatangkan efisiensi tahunan mencapai Rp993,6 juta. Karakteristik finansial proyek ini dinyatakan layak untuk dieksekusi dengan *simple payback period* berkisar  $\pm 18,7$  bulan dan pencapaian nilai NPV positif saat menginjak bulan ke-24.

#### 5.2 Keterbatasan dan Saran

Studi ini memiliki keterbatasan ruang lingkup karena hanya berfokus pada satu lini produksi dengan satu titik pembandingan komparatif. Selain itu, beberapa instrumen data kuantitatif (seperti pembobotan variabel penentu, data riil kecacatan produk, skala penilaian keahlian pekerja, serta persentase tingkat diskonto dan tabel arus kas) masih memerlukan pemaparan yang lebih komprehensif guna memperkuat kredibilitas hasil analisis. Sebagai rekomendasi untuk pengembangan riset selanjutnya:

1. Melengkapi seluruh sajian data kuantitatif pada fase sebelum dan sesudah perbaikan, serta menyertakan tabel proyeksi kas terdiskonto guna menyelaraskan kalkulasi periode pengembalian modal.
2. Memperluas cakupan wilayah pengamatan ke beberapa lini produksi atau varian produk yang berbeda guna menguji validitas generalisasi hasil melalui desain riset yang mengakomodasi pengujian statistik formal.
3. Melanjutkan agenda mekanisasi pada bagian perakitan sekunder (*sub-assy*) yang mencakup komponen *seat pipe comp*, *inner part*, serta *fork pipe comp* sebagai tahapan strategis berikutnya demi mengejar target efisiensi 10 operator pada skala operasional yang lebih luas.

### DAFTAR PUSTAKA

- Curralo, P. M. P., Campilho, R. D. S. G., Pereira, J. A. P., & Silva, F. J. G. (2024). Design of connector assembly equipment for the automotive industry. *Machines*, 12(10), 731. <https://doi.org/10.3390/machines12100731>
- Groover, M. P. (2015). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (4th ed.). Pearson Education.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: The key to Japan's competitive success*. McGraw-Hill.

- Ohno, T. (1988). Toyota production system: Beyond large-scale production. Productivity Press.
- Pujawan, I N. (2019). Ekonomi teknik (Edisi 3). Guna Widya.
- Septiadi, A., Dwi Satya, R. R., & Wiratmani, E. (2023). Line balancing analysis to optimize production line of bushing rubber using theory of constraints and heuristics method with Promodel simulation at PT Madya Putera Teknik. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 25(1), 97-111. <https://doi.org/10.32734/jsti.v25i1.9519>
- Shettigar, A. C., Hamritha, S., & Balakrishna, A. (2019). Efficiency improvement in the assembly line with the application of assembly line balancing method. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2S3), 848-853. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1159.0782S319>
- Siagian, W. H. R., Sulisty, A. B., & Juniarti, A. D. (2024). Line balancing pada produksi kabel serat optik dengan metode ranked positional weight. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, 9(2), 144. <https://doi.org/10.36722/sst.v9i2.2319>
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). The machine that changed the world. Rawson Associates.