

## Analisis Kelayakan Proyek Penggantian Mesin Otomasi pada PT. X

Eunike Apriliana Hartanti Mursalim<sup>1</sup>, Felecia<sup>2</sup>, Karina Agustin<sup>3</sup>

---

**Abstract:** PT. X is one of the transformer manufacturers in Indonesia. The difference in standard time at each workstation causes a bottleneck on the Core Coil Assembly (CCA) line resulting in late demand fulfillment. Coil LV has the longest processing time among others, therefore a semi automated machine replacement project is carried out to reduce the processing time. The purpose of this research is to find whether replacement on semi automated machine is the best option to be implemented for coil LV workstation. A Break Even Point (BEP) analysis will be used to compare the current state (manual machine) with two alternatives project (combination of semi automated machine). BEP value of alternative 1 is 2,292 units, while alternative 2 is 2,647 units. However, the replacement project is not feasible to be implemented this year because the use of manual machine has a lower cost to meet the demand of 1,601 units. Actually, the optimal capacity for semi automated machines is 8 coil units per shift, so the company can increase the output capacity by reviewing the number of demands.

**Keywords:** bottleneck; replacement analysis; automation

---

### Pendahuluan

PT. X merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak pada bidang produksi trafo. Salah satu jenis trafo yang sering diproduksi adalah trafo distribusi untuk Perusahaan Listrik Negara (PLN) atau biasa disebut JPROC dengan kapasitas sebesar 100 kVA. Permasalahan yang saat ini dihadapi oleh PT. X adalah terjadinya *bottleneck* pada proses produksi. *Bottleneck* terjadi pada proses *Core Coil Assembly* (CCA) yang mana dua komponen utama trafo yaitu inti besi (*core*) dan kumparan (*coil*) dirakit menjadi satu kesatuan. Penyebab terjadinya *bottleneck* dikarenakan waktu proses antar stasiun kerja tidak seimbang yang berakibat terlambatnya proses pemenuhan permintaan. *Bottleneck* dapat diatasi dengan menerapkan *line balancing* proses produksi untuk menyeimbangkan waktu antar stasiun kerja agar meminimumkan waktu menunggu (*idle time*).

Salah satu upaya untuk menyeimbangkan waktu operasi pada setiap stasiun kerja adalah dengan menerapkan sistem otomasi. Penerapan sistem otomasi pada proses produksi dapat mempercepat waktu operasi sehingga waktu menunggu berkurang dan *output* yang dihasilkan dapat meningkat. Penerapan sistem otomasi pada proses produksi dapat bermanfaat dalam peningkatan produktivitas,

tetapi membutuhkan biaya investasi yang besar pula. Sebuah penelitian oleh Weckenborg dan Spengler [1] menyimpulkan bahwa penempatan robot kolaboratif pada lini perakitan adalah opsi yang ekonomis untuk mengotomasikan proses yang biasa dikerjakan oleh operator secara manual.

Sebelum melakukan penggantian mesin dengan sistem otomasi, perlu dilakukan analisis kelayakan terhadap perencanaan proyek penggantian mesin tersebut. Analisis kelayakan proyek dilakukan dengan menggunakan metode analisis ekonomi teknik dengan *Break Even Point* (BEP) dan ditinjau berdasarkan kondisi kebutuhan perusahaan saat ini. Analisis efisiensi ekonomi sangat perlu dilakukan sebelum melakukan proyek dengan menganalisisnya dari segi biaya dan manfaat berdasarkan nilai waktu dari uang (Kádárová *et al.* [2]). Metode BEP dapat digunakan untuk menilai kelayakan sebuah proyek berdasarkan nilai waktu dari uang serta biaya dan manfaat yang akan diterima pada setiap alternatif proyek yang dirancang. Hasil analisis kelayakan proyek diharapkan dapat membantu perusahaan dalam proses pengambilan keputusan terhadap rencana penggantian mesin otomasi pada proses yang menjadi penyebab *bottleneck* agar pemenuhan permintaan konsumen dapat tercapai.

### Metode Penelitian

Metode yang akan digunakan pada penelitian ini berguna untuk mengetahui hasil kelayakan proyek penggantian mesin otomasi yang dapat mengurangi

---

<sup>1,2,3</sup> Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Petra. Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Email: nikeapriliana2404@gmail.com, felecia@petra.ac.id, karinaagustin@petra.ac.id

*bottleneck* pada proses produksi. Metode yang digunakan adalah *line balancing*, analisis ekonomi teknik, dan BEP. Evaluasi hasil kelayakan proyek dilakukan dengan membandingkan nilai BEP dengan jumlah permintaan trafo tahun ini.

### Perhitungan Waktu Baku

Waktu baku adalah waktu yang digunakan oleh operator untuk menyelesaikan pekerjaannya dalam kondisi dan kecepatan yang normal. Waktu baku dipengaruhi oleh nilai *allowance* operator sehingga sebelum melakukan perhitungan waktu baku perlu dilakukan perhitungan mengenai waktu siklus dan waktu normal terlebih dahulu (Sutalaksana *et al.* [3]). Perhitungan waktu siklus, waktu normal, dan waktu baku didapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W_s = \frac{\sum X_i}{N} \quad (1)$$

$$W_n = W_s \times P \quad (2)$$

$$W_b = W_n \times (1 + l) \quad (3)$$

Keterangan:

- W<sub>s</sub> = waktu siklus
- X<sub>i</sub> = waktu pengamatan
- N = jumlah replikasi pengamatan
- W<sub>n</sub> = waktu normal
- P = *performance rating*
- W<sub>b</sub> = waktu baku
- l = *allowance*

### Line Balancing

*Line balancing* merupakan penyeimbangan beban antar proses yang dikerjakan oleh pekerja dalam suatu lintasan produksi (Freivalds dan Niebel [4]) Pembagian beban yang seimbang pada setiap proses dapat mengurangi *idle time* atau waktu untuk menunggu keluarnya produk setengah jadi pada proses sebelumnya. Tujuan dilakukannya *line balancing* adalah mendapatkan efisiensi kerja yang tinggi di setiap stasiun kerja.

Salah satu alat dalam analisis *line balancing* adalah *precedence diagram* yang dapat menggambarkan hubungan antara dua atau lebih aktivitas dalam suatu jaringan. Alur proses produksi digambarkan secara menyeluruh pada *precedence diagram* guna menganalisis *bottleneck* dan membantu dalam proses penyusunan keseimbangan lintasan.

### Analisis Ekonomi Teknik

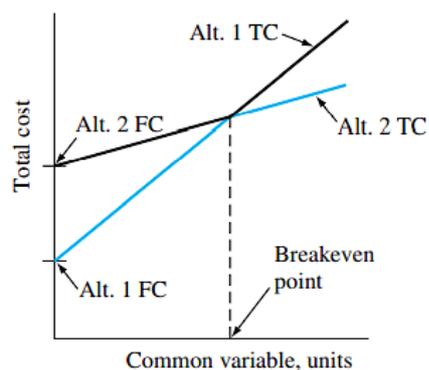
Ekonomi teknik merupakan suatu ilmu yang berorientasi pada pengungkapan dan perhitungan nilai-nilai ekonomis dari suatu usulan investasi atau

proyek yang bersifat teknis (Giatman [5]). Penggunaan analisis ekonomi teknik cocok digunakan pada pengambilan keputusan, yang mana kegiatannya membutuhkan investasi yang relatif besar dan memiliki dampak jangka panjang. Analisis ekonomi teknik sering dianggap sebagai sarana pendukung keputusan terlebih untuk perencanaan suatu proyek. Beberapa istilah yang akan dipakai dalam analisis menggunakan ekonomi teknik adalah P sebagai nilai uang pada masa kini (*present worth*), F sebagai nilai uang pada masa mendatang (*future worth*), A sebagai nilai uang yang akan dibayarkan untuk setiap tahunnya (*annual worth*), n sebagai periode waktu, dan i sebagai suku bunga tahunan.

Dalam analisis ekonomi teknik terdapat konsep ekuivalensi yang dapat membantu memahami nilai uang pada sebuah periode waktu (Blank dan Tarquin [6]). Hal ini berkaitan dengan istilah *time value of money* yang mana nilai uang berubah bersamaan dengan berjalannya waktu. Perubahan nilai uang dapat terjadi karena faktor inflasi, perubahan suku bunga, dan lain-lain. Beberapa metode ekuivalensi yang dapat digunakan adalah *single payment cash flow*, *annual cash flow*, dan *gradient cash flow*.

### Analisis Break Even Point (BEP)

Analisis BEP merupakan salah satu metode analisis dalam ekonomi teknik yang dapat membantu proses pemilihan sebuah alternatif yang memiliki tujuan yang sama. Analisis BEP digunakan untuk mencari sebuah nilai dari suatu parameter yang ingin dicari nilainya dengan membandingkan biaya pada setiap alternatif (Blank dan Tarquin [6]). Total biaya pada setiap alternatif dibuat kedalam bentuk persamaan *annual worth* (AW) atau *present worth* (PW) sebagai fungsi persamaan dari variabel yang akan dicari nilainya. Nilai BEP didapatkan dengan menyelesaikan persamaan yang telah dibuat pada masing-masing alternatif. Pemilihan alternatif terbaik tergantung dari kemiringan kurva pada biaya dan besarnya nilai parameter pada kondisi BEP (lihat Gambar 1).



Gambar 1. BEP pada 2 alternatif

Grafik pada Gambar 1 menunjukkan bahwa alternatif 1 memiliki garis kemiringan yang lebih besar daripada alternatif 2. Hal ini dapat diartikan bahwa alternatif 1 akan lebih menguntungkan apabila nilai yang diharapkan pada pelaksanaan proyek berada dibawah nilai BEP. Sebaliknya apabila nilai yang diharapkan pada suatu proyek melebihi nilai BEP, maka alternatif 2 merupakan pilihan yang terbaik karena total biaya yang akan dikeluarkan lebih rendah dibanding alternatif 1.

### Hasil dan Pembahasan

#### Alur Proses Produksi

Proses produksi trafo JPROC 100 kVA diawali dengan proses pembuatan *coil* dan *core* trafo. Proses pembuatan *coil* dibagi kedalam dua elemen proses yaitu proses pembuatan kumparan tegangan rendah (*coil* LV) dan tegangan tinggi (*coil* HV). Proses pembuatan *core* trafo diawali dengan proses pemotongan gulungan *core* (*cutting*) menjadi bentuk lembaran yang kemudian hasil potongannya akan disusun (*stacking*) sesuai dengan desain trafo yang telah dibuat oleh *drafter*. *Core* dan *coil* trafo yang telah diproses pada masing-masing stasiun kerja kemudian dirakit menjadi satu kesatuan. Proses perakitan trafo JPROC 100 kVA dilakukan dengan merakit tiga buah *coil* ke dalam satu buah *core*. Proses perakitan *core* dan *coil* trafo disebut juga dengan CCA.

#### Perhitungan Waktu Baku

Data pengukuran waktu kerja pada setiap stasiun kerja yang telah didapatkan perlu diuji kenormalan, keseragaman, dan kecukupannya agar mendapatkan pengukuran waktu baku yang standar. Setelah seluruh data lolos pengujian, perhitungan waktu baku pada setiap stasiun kerja dapat dilakukan menggunakan persamaan 3. Hasil perhitungan waktu baku pada setiap stasiun kerja sebelum proses CCA dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil perhitungan waktu baku

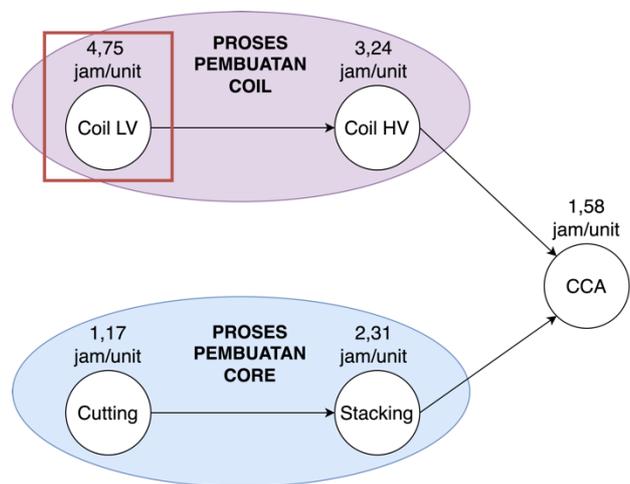
Stasiun Kerja	Waktu Baku (jam)	Waktu Baku/Unit Trafo (jam)
<i>Coil</i> LV	1,58	4,75
<i>Coil</i> HV	1,08	3,24
<i>Cutting</i>	1,17	1,17
<i>Stacking</i>	2,31	2,31

Hasil perhitungan waktu baku pada proses pembuatan *coil* LV dan HV memiliki satuan per satu buah *coil*, sedangkan untuk melakukan proses CCA dibutuhkan tiga buah *coil* dan satu buah *core* untuk

dirakit menjadi satu kesatuan. Waktu baku pada stasiun kerja *coil* LV dan HV perlu dikali dengan 3 unit agar menjadi waktu baku per unit trafo, sehingga didapatkan untuk waktu baku per unit trafo pada stasiun kerja *coil* LV adalah 4,74 jam sedangkan *coil* HV adalah 3,45 jam.

#### Analisis Assembly Line

Lini perakitan terjadi pada proses CCA yang mana operator akan merakit tiga buah *coil* dan satu buah *core* menjadi satu kesatuan. Sebelum operator melakukan proses CCA, *core* dan *coil* diproses terlebih dahulu pada stasiun kerja masing-masing. Hasil perhitungan waktu baku pada masing-masing stasiun kerja digambarkan ke dalam sebuah *precedence diagram* untuk menganalisis proses yang mengalami *bottleneck* (lihat Gambar 2).



**Gambar 2.** *Precedence diagram* pembuatan trafo JPROC 100 kVA

Berdasarkan *precedence diagram* yang sudah dibuat, terjadi ketidakseimbangan pada proses produksi. Waktu proses pembuatan *core* trafo lebih lama dibandingkan proses pembuatan *coil* dengan selisih waktunya sebesar 4,51 jam. Hal ini disebabkan karena satu unit trafo tersusun atas tiga buah *coil* dan satu buah *core*, sehingga proses pembuatan tiga buah *coil* tentu lebih lama dibandingkan proses pembuatan satu buah *core*. Waktu proses terlama berada pada stasiun kerja *coil* LV dengan waktu prosesnya sebesar 4,75 jam untuk memproduksi 3 unit *coil*. Adanya keterbatasan tenaga kerja dan mesin yang harus fleksibel terhadap proses produksi, maka salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menurunkan waktu baku pada stasiun kerja *coil* LV.

Pada kondisi saat ini, seluruh proses pengerjaan *coil* LV masih dilakukan dengan menggunakan mesin manual. Penurunan waktu baku pada proses *coil* LV

akan dapat dicapai dengan menerapkan sistem otomasi untuk menggantikan operasi manual tersebut. Penerapan sistem otomasi pada proses *coil* LV dilakukan dengan menempatkan mesin LV *semi automated* pada stasiun kerja *coil* LV. Hal yang membedakan antara mesin LV manual dan *semi automated* adalah fitur *pressing roller*. Fitur *pressing roller* pada mesin *semi automated* bertujuan untuk menggantikan operasi yang biasa dilakukan secara manual oleh operator yaitu pemukulan *wire* dengan palu nilon.

### Hasil Pengukuran Waktu Kerja *Coil* LV Menggunakan Mesin *Semi Automated*

Prinsip kerja *pressing roller* menggunakan sistem pneumatik dan diatur menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) untuk menyinkronkan motor penggerak *winding* dan *pressing roller*. Pada saat proses *winding*, *pressing roller* akan menekan *wire* dengan tekanan yang stabil sambil motor penggerak bergerak.

Pada kondisi saat ini, perusahaan memiliki sebuah mesin LV *semi automated*, tetapi jarang digunakan untuk memproduksi *coil* LV. Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran waktu kerja pada proses pembuatan *coil* LV menggunakan mesin *semi automated* agar dapat dianalisis lebih lanjut. Data pengukuran waktu kerja yang telah didapat kemudian diolah untuk mendapatkan waktu baku proses *coil* LV menggunakan mesin *semi automated*. Hasil perhitungan waktu baku menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu unit *coil* dengan menggunakan mesin *semi automated* sebesar 1,41 jam, sehingga waktu baku per unit trafonya menjadi sebesar 4,22 jam. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan waktu baku *coil* LV dengan menggunakan mesin manual. Perbandingan waktu baku antar mesin dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perbandingan waktu baku *coil* LV

Mesin	Waktu Baku (jam)	Waktu Baku/Unit Trafo (jam)
Manual	1,58	4,75
<i>Semi automated</i>	1,41	4,22

Perbandingan waktu baku *coil* LV antara penggunaan mesin manual dan *semi automated* memiliki selisih waktunya sebesar 0,52 jam. Hal ini membuktikan bahwa penerapan sistem otomasi memang dapat menurunkan waktu baku pengerjaan proses *coil* LV, akan tetapi perlu dilakukan juga analisis kelayakan dengan menggunakan ilmu ekonomi teknik. Hasil analisis kelayakan tersebut nantinya dapat digunakan perusahaan sebagai dasar keputusan terhadap proyek penggantian mesin *semi automated* pada proses *coil* LV.

### Perancangan Alternatif Penggantian Mesin

Analisis proyek penggantian mesin *semi automated* pada proses *coil* LV dilakukan dengan cara membandingkan kondisi pengerjaan *coil* LV saat ini dan kondisi usulan. Proses pengerjaan *coil* LV pada kondisi saat ini dikerjakan dengan menggunakan mesin manual. Diasumsikan seluruh kapasitas tenaga kerja yang tersedia untuk membuat trafo 100 kVA digunakan, sehingga proses pembuatan *coil* LV dilakukan dengan 6 mesin manual sesuai dengan kapasitas operator yang tersedia. Proses produksi *coil* LV dengan 6 mesin manual akan dibandingkan dengan alternatif bila menggunakan mesin *semi automated*. Alternatif yang dirancang untuk mengganti mesin pada *coil* LV menjadi *semi automated* terdapat dua. Alternatif pertama adalah dengan menggunakan 5 mesin manual dan 1 *semi automated*. Alternatif kedua dengan menggunakan 4 mesin manual dan 2 *semi automated*.

Pada alternatif kedua, proses produksi *coil* LV dikerjakan dengan kombinasi 4 mesin manual dan 2 mesin *semi automated*. Apabila saat ini perusahaan sudah memiliki sebuah mesin *semi automated*, maka artinya perusahaan perlu menginvestasikan kembali sebuah mesin *semi automated* baru. Proses pemilihan alternatif terbaik dapat dilakukan dengan analisis ekonomi teknik dengan metode BEP. Tingkat produksi yang berbeda dapat mempengaruhi total biaya yang akan dikeluarkan. Alternatif yang memiliki biaya variabel lebih kecil akan lebih menguntungkan pada tingkat produksi tertentu sehingga fokus penelitian ini akan membandingkan kondisi saat ini dengan alternatif 1 dan 2 menggunakan metode BEP.

Keputusan layak atau tidaknya implementasi proyek penggantian mesin didapat dengan membandingkan nilai BEP pada setiap alternatif dengan data permintaan (*demand*) trafo JPROC 100 kVA tahun ini. Pada proses pencarian nilai BEP, tingkat bunga yang dipakai pada penelitian ini merupakan suku bunga acuan Indonesia saat ini yaitu 3,5% dan lama periode pengukuran (*n*) yang digunakan adalah 5 tahun.

### Pengumpulan Data Perbandingan Mesin Manual dan *Semi Automated*

Pengumpulan data perlu dilakukan sebelum melakukan perhitungan BEP. Variabel yang akan dibandingkan pada analisis BEP adalah tingkat *output* dan total biaya yang dikeluarkan pada setiap alternatif sehingga data yang dikumpulkan antara lain adalah kapasitas produksi, biaya listrik, *maintenance*, upah pegawai, nilai buku (*nb*) mesin tahun 2022, dan nilai sisa (*ns*) mesin akhir periode 2026.

**Tabel 3.** Data komponen biaya

No	Komponen Biaya	Mesin Manual	Mesin Semi Automated Lama	Mesin Semi Automated Baru
1.	Listrik	Rp 1.722.523	Rp 1.665.465	Rp 1.665.465
2.	Maintenance	Rp 270.240	Rp 283.778	Rp 283.778
3.	Gaji Pegawai	Rp 52.505.748	Rp 52.505.748	Rp 52.505.748
4.	Nilai Buku Tahun 2021	Rp 84.000.000	Rp 400.000.000	Rp 712.611.783
5.	Nilai Sisa Tahun 2026	Rp 14.000.000	Rp 200.000.000	Rp 512.611.783

Data untuk komponen biaya pada masing-masing mesin dapat dilihat pada Tabel 3. Kapasitas mesin per tahun dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Kapasitas Mesin} = \left( \frac{\text{Jam Kerja}}{\text{Waktu Baku}} \right) \times \text{Hari Kerja} \quad (4)$$

Perusahaan menerapkan sistem 7 jam kerja selama 22 hari dan 5 jam kerja selama 4 hari dalam sebulan. Perhitungan kapasitas mesin manual menggunakan persamaan 4 sebesar 444 unit per tahun, sedangkan mesin *semi automated* memiliki kapasitas sebesar 496 unit per tahun.

### Perhitungan AW

Data perbandingan biaya pada setiap mesin yang telah didapat kemudian diolah kedalam bentuk AW. Tujuannya agar aliran kas yang masuk dan keluar didistribusikan dalam nilai uang tahunan yang sama besarnya pada setiap periode, sehingga nilai BEP yang didapatkan merupakan nilai yang sudah dipengaruhi oleh biaya tahunan. Nilai BEP tersebut layak digunakan sebagai dasar keputusan alternatif perusahaan selama 5 tahun kedepan. Perhitungan AW dilakukan pada seluruh komponen biaya yang masuk kedalam perhitungan total biaya. Hasil perhitungan AW dapat dilihat pada Tabel 4.

### Persamaan AW Pada Setiap Mesin

Seluruh nilai AW dari setiap komponen biaya yang telah dicari kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan nilai AW dari total biaya pada masing-masing alternatif mesin. Total AW pada setiap mesin akan membentuk sebuah persamaan yang nantinya akan digunakan untuk mencari nilai BEP pada tiap alter-

natif dengan menggunakan persamaan:

$$AW = AW_{nb} + AW_{ns} + AW_{maintenance} + \left( \frac{AW_{gaji} + AW_{listrik}}{Output} \right) \quad (5)$$

Gaji pegawai dan biaya listrik merupakan biaya variabel yang mana biaya tersebut bergantung pada jumlah *output* yang dihasilkan. Nilai *x* merupakan jumlah *output* yang akan dicari nilainya, yang mana pada nilai *x*, total biaya pada kondisi saat ini dengan usulan alternatif bernilai sama. Persamaan AW pada mesin manual dan semi automated menggunakan persamaan 5 sebagai berikut:

$$AW_{\text{manual}} = -Rp16.282.842 - Rp145.782x \quad (6)$$

$$AW_{\text{semi lama}} = -Rp51.599.905 - Rp130.375x \quad (7)$$

$$AW_{\text{semi baru}} = -Rp62.541.318 - Rp130.375x \quad (8)$$

### Perhitungan BEP

Fungsi persamaan AW yang telah didapat untuk ketiga jenis mesin digunakan untuk mendapatkan persamaan total biaya tiap alternatif dengan mengalikan jumlah mesin. Perhitungan BEP dilakukan dengan membandingkan AW kondisi saat ini dengan alternatif 1 dan alternatif 2.

### Kondisi Saat Ini dengan Alternatif 1

Kondisi pengerjaan *coil LV* saat ini dikerjakan dengan 6 mesin manual sehingga persamaan fungsi persamaan 6 akan dikali dengan 6 sebagai AW pada kondisi sekarang. Kondisi pengerjaan *coil LV* dengan alternatif 1 menggunakan 5 buah mesin manual dan sebuah mesin *semi automated* lama. Nilai BEP dapat didapatkan dengan menyelesaikan fungsi persamaan dari  $AW=AW$ , sehingga didapatkan nilai *x* sebesar 2.292 unit.

**Tabel 4.** AW komponen biaya

No	Komponen Biaya	Mesin Manual	Mesin Semi Automated Lama	Mesin Semi Automated Baru
1.	Listrik	-Rp 1.843.028	-Rp 1.781.979	-Rp 1.781.979
2.	Maintenance	-Rp 289.146	-Rp 303.631	-Rp 303.631
3.	Gaji Pegawai	-Rp 62.884.161	-Rp 62.884.161	-Rp 62.884.161
4.	Nilai Buku Tahun 2021	-Rp 18.604.435	-Rp 88.592.549	-Rp 157.830.236
5.	Nilai Sisa Tahun 2026	+Rp 2.610.739	+Rp 37.296.275	+Rp 95.592.549

Besarnya nilai  $x$  tersebut dapat diartikan bahwa apabila tingkat produksi kurang dari 2.292 unit per tahun, maka kondisi pengerjaan *coil* saat ini yaitu dengan 6 mesin manual merupakan pilihan yang terbaik karena memiliki total biaya yang lebih kecil dibandingkan alternatif 1. Sebaliknya, apabila tingkat produksi lebih dari 2.292 unit per tahun, maka kondisi pengerjaan alternatif 1 merupakan alternatif yang terbaik karena memiliki total biaya paling minimum.

### **Kondisi Saat Ini dengan Alternatif 2**

Alternatif 2 merupakan perencanaan proyek otomasi pada proses *coil* LV yang menggunakan 4 buah mesin manual dan dua buah mesin *semi automated* yang terdiri dari mesin lama dan baru. Hasil perhitungan nilai BEP menggunakan persamaan  $AW=AW$  pada perbandingan kondisi saat ini dengan alternatif 2 sebesar 2.647 unit.

Nilai BEP tersebut dapat diartikan bahwa apabila perusahaan memproduksi trafo JPROC 100 kVA kurang dari 2.647 unit per tahun, maka kondisi pengerjaan *coil* saat ini merupakan pilihan yang terbaik karena memiliki total biaya yang lebih kecil. Sebaliknya, apabila perusahaan memproduksi trafo lebih dari 2.647 unit per tahun, maka alternatif 2 memiliki total biaya yang paling minimum dalam proses pembuatan *coil* LV.

### **Evaluasi Kelayakan Penggantian Mesin**

Nilai BEP yang didapatkan pada masing-masing alternatif akan dibandingkan dengan besarnya jumlah permintaan trafo tahun ini. Tujuannya agar dapat mengetahui pilihan pengerjaan *coil* LV terbaik yang memiliki total biaya paling minimum. Data permintaan trafo JPROC selama tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Data permintaan trafo JPROC tahun 2022

Kode Trafo	kVA	Jumlah Permintaan
TR-O3DA7A7-AABA	50	1.021
TR-O3EA7A7-AABA	100	1.601
TR-O3FA7A7-AABA	160	203
TR-O3HA7A4-AABA	250	808
TR-O3JA7A4-AABA	400	27
TR-O3JA7A4-OABA	400	53
TR-O3LA7A4-OABA	630	71

Besarnya permintaan trafo JPROC 100 KVA adalah 1.601 unit sehingga dapat disimpulkan bahwa proses pengerjaan *coil* LV pada kondisi saat ini yaitu dengan 6 buah mesin manual lebih menguntungkan. Total biaya untuk memenuhi permintaan 1.601 unit trafo

dengan menggunakan 6 buah mesin manual pada proses *coil* LV, memiliki nilai yang lebih kecil dibanding total biaya alternatif 1 dan 2. Nilai  $x$  pada fungsi persamaan 6 dimasukkan sebagai jumlah permintaan trafo JPROC tahun ini, maka total biaya pada penggunaan 6 mesin LV manual sebesar Rp 1.498.078.544. Proses pembuatan *coil* LV dengan menggunakan alternatif 1 dan 2 memiliki total biaya masing-masing sebesar Rp 1.508.729.518 dan Rp 1.530.321.905.

Penggunaan mesin *semi automated* pada proyek penggantian mesin otomasi di *coil* LV dinilai kurang menguntungkan bagi perusahaan bila dibandingkan dengan jumlah permintaan tahun ini. Hal tersebut dapat terjadi karena jumlah *output coil* LV yang dapat dihasilkan dengan menggunakan mesin *semi automated* tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan mesin manual. Hasil perhitungan waktu baku pada kedua mesin menunjukkan bahwa *output* yang mampu dihasilkan seorang operator apabila menggunakan mesin manual adalah 4,5 unit *coil*, sedangkan pada penggunaan mesin *semi automated* mampu menghasilkan 5 unit *coil*.

Salah satu faktor yang menyebabkan perbedaan jumlah *output* mesin *semi automated* tidak signifikan adalah faktor manusia. Operator dinilai belum terbiasa membuat *coil* LV dengan menggunakan mesin *semi automated*. Selama ini operator terbiasa membuat *coil* LV dengan menggunakan mesin manual sehingga operator tentu membutuhkan sejumlah waktu agar dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan dan metode kerja yang baru pada mesin *semi automated*.

Jumlah *output* optimal yang seharusnya dapat dihasilkan dapat dicari dengan membandingkannya dengan kecepatan *winding*. Besarnya kecepatan *winding* pada mesin manual pada kondisi normal adalah 6 RPM, sedangkan pada mesin *semi automated* memiliki kecepatan putaran sebesar 11 RPM. Besarnya kecepatan putaran pada mesin *semi automated* lebih besar dua kali lipat dibandingkan mesin manual. Data kecepatan *winding* tersebut digunakan untuk mengetahui jumlah *output* optimal yang seharusnya dapat dihasilkan mesin *semi automated* dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{\text{Output Manual}}{\text{RPM Manual}} = \frac{\text{Output Semi Automated}}{\text{RPM Semi Automated}} \quad (9)$$

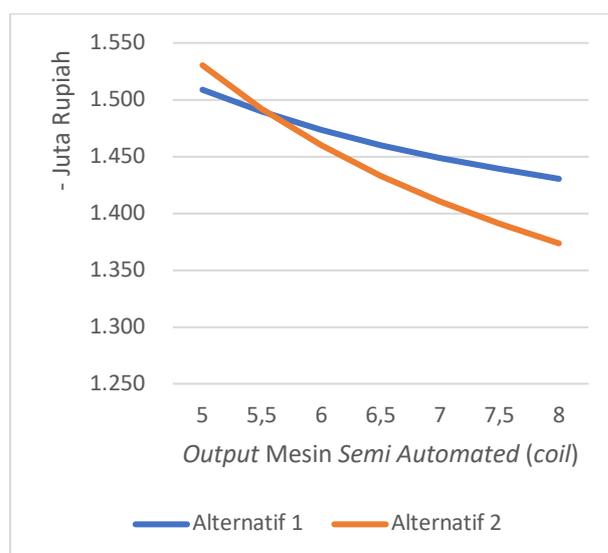
Perhitungan jumlah *output* optimal yang mampu dihasilkan mesin *semi automated* dengan persamaan 9 memberikan hasil sebesar 8 unit *coil*. Hal tersebut dapat diartikan bahwa kapasitas *output* yang optimal pada mesin *semi automated* dapat mencapai 8 unit *coil* apabila dikerjakan oleh operator dengan

kondisi normal (operator sudah beradaptasi dengan lingkungan kerja yang baru). Peningkatan kapasitas *output* pada mesin *semi automated* harus dilakukan secara bertahap untuk mencapai kondisi yang optimal sehingga dilakukan simulasi perhitungan nilai BEP. Simulasi perhitungan BEP pada alternatif 1 dan 2 dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Simulasi perhitungan BEP

Output Mesin <i>Semi Automated</i>	BEP Alt 1	BEP Alt 2
5	2.292	2.647
5,5	1.287	1.487
6	945	1.091
6,5	772	892
7	668	772
7,5	599	691
8	549	634

Hasil simulasi perhitungan BEP pada Tabel 6 menunjukkan bahwa semakin besar *output* yang dihasilkan mesin *semi automated*, maka semakin kecil juga nilai BEP pada masing-masing alternatif. Hal tersebut dapat diartikan bahwa kelayakan dari proyek penggantian mesin *semi automated* akan lebih mudah dicapai apabila *output* yang dihasilkan mesin *semi automated* semakin banyak. Tingkat *output* yang dihasilkan mesin *semi automated* dapat mempengaruhi dari total biaya pada masing-masing alternatif, sehingga dilakukan simulasi perhitungan AW pada tingkat *output* yang berbeda untuk mengetahui perbedaan total biaya antar alternatif. Simulasi perbandingan AW untuk alternatif 1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Grafik perbandingan AW

Grafik perbandingan AW menunjukkan bahwa semakin banyak *output* yang dihasilkan mesin *semi automated* maka total biaya pada kedua alternatif

akan semakin kecil. Alternatif 1 akan memiliki total biaya yang lebih kecil dibandingkan alternatif 2 apabila *output* yang dihasilkan mesin *semi automated* per *shift* kurang dari sama dengan 5,5 unit *coil*, sedangkan pada alternatif 2 akan lebih menguntungkan apabila *output* yang dihasilkan mesin *semi automated* lebih dari 5,5 unit *coil* per *shift*.

Peningkatan kapasitas mesin *semi automated* hingga mencapai kondisi optimal harus dilakukan secara bertahap dan ditinjau berdasarkan kebutuhan perusahaan. Peningkatan kapasitas pada mesin *semi automated* cocok dilakukan apabila diikuti juga dengan peningkatan permintaan trafo JPROC 100 kVA, sehingga perusahaan perlu menganalisis kebutuhannya terhadap proyek penggantian mesin *semi automated* pada proses *coil* LV. Jumlah permintaan trafo dan nilai BEP yang telah disimulasikan pada tingkat *output* yang berbeda-beda dapat membantu perusahaan dalam proses pengambilan keputusan mengenai implementasi proyek penggantian mesin *semi automated* pada proses *coil* LV.

## Simpulan

Penyebab terjadinya *bottleneck* pada proses CCA karena proses *coil* LV memiliki waktu operasi terlama. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi *bottleneck* adalah menurunkan waktu baku pada *coil* LV dengan penerapan sistem otomasi. Penerapan sistem otomasi pada stasiun kerja *coil* LV dilakukan dengan cara menempatkan sejumlah mesin *semi automated* untuk digunakan dalam proses pembuatan *coil* LV.

Hasil implementasi mesin *semi automated* pada *coil* LV dapat menurunkan waktu baku menjadi 4,22 jam, tetapi perlu dilakukan analisis kelayakan untuk mengetahui kelayakan dari penggunaan mesin tersebut secara ekonomi. Analisis kelayakan proyek penggantian mesin otomasi dilakukan dengan membandingkan kondisi pengerjaan *coil* LV saat ini (mesin manual) dan alternatif usulan (kombinasi dengan mesin *semi automated*) dengan metode BEP.

Hasil perhitungan BEP menunjukkan bahwa proyek penggantian mesin belum layak dilaksanakan oleh perusahaan tahun ini. Hal tersebut disebabkan jumlah *output* mesin *semi automated* tidak jauh berbeda dengan mesin manual. Kapasitas optimal pada mesin *semi automated* berdasarkan kecepatan putarannya adalah 8 unit *coil*.

Peningkatan kapasitas *output* hingga mencapai kondisi optimal dapat dilakukan secara bertahap dan perlu dilakukan peninjauan agar sesuai dengan kebutuhan perusahaan. Peningkatan kapasitas mesin

*semi automated* cocok dilakukan apabila terjadi peningkatan permintaan trafo JPROC 100 kVA. Jumlah permintaan trafo dan nilai BEP yang telah disimulasikan pada tingkat *output* berbeda dapat membantu dalam proses pengambilan keputusan mengenai implementasi proyek penggantian mesin otomasi pada proses *coil LV*.

Peningkatan kapasitas *output* pada mesin *semi automated* harus ditinjau dari kebutuhan perusahaan dalam proses pemenuhan permintaan konsumen. Peningkatan *output* dapat dilakukan secara bertahap dengan melakukan *improvement*. *Improvement* yang dapat dilakukan seperti dengan memperbaiki metode kerja agar lebih efektif dan efisien, merencanakan serta melakukan pelatihan kepada operator, dan menciptakan kondisi lingkungan yang dapat mendorong operator melakukan *continuous improvement*. Selain itu, *improvement* kualitas juga perlu dilakukan agar jumlah *output* yang dihasilkan dapat optimal dan memiliki kualitas produk terbaik.

## Daftar Pustaka

1. Weckenborg, C., and Spengler, T. S., Assembly Line Balancing with Collaborative Robots under Consideration of Ergonomics: A Cost-Oriented Approach, *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2019, pp. 1860-1865.
2. Kádárová, J., Janeková, J., and Suhányiová, A., Possibilities to Increase Assembly Line Productivity Using Different Management Approaches, *Processes*, 10(3), 2022, pp. 1-19.
3. Sitalaksana, I. Z., Anggawisastra, R., and Tjakraatmadja, J. H., *Teknik Perancangan Sistem Kerja*, 2<sup>nd</sup> ed., ITB Press, 2006.
4. Freivalds, A., and Niebel, B.W., *Methods, Standards and Design*, 12<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill Companies, 2009.
5. Giatman, M., *Ekonomi Teknik*, PT RajaGrafindo Persada, 2011.
6. Blank, L., and Tarquin, A. *Engineering Economy*, 8<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, 2018.