

Engineering Economics

dalam Industri Manufaktur:

Prinsip, Analisis dan Aplikasi



| Dr. Soni Suardi., SE., MM

ENGINEERING ECONOMICS DALAM INDUSTRI MANUFAKTUR: PRINSIP, ANALISIS DAN APLIKASI

Dr. Soni Suardi., SE., MM



Penerbit PT Andalas Global Research Center



Judul : **Engineering Economics dalam Industri Manufaktur: Prinsip, Analisis dan Aplikasi**

Penulis : Dr. Soni S., SE., MM

Editor : Fitri Arianti Saputri, S.H.

Ilustator : Rahmat Purnomo, S.Kom.

Penerbit : **PT Andalas Global Research Center**
Jl. Mulia 2, No. 52A, Sariharjo, Ngaglik,
Sleman, DI Yogyakarta 55581

Telp : +62 811 7488 066

Email : globalpublisherofficial@gmail.com

Website : www.andalaspress.com

ISBN : xxxx

Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)
xii + 107 halaman; 14,8 cm x 21 cm

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

***Diterbitkan oleh PT Andalas Global Research Center,
Yogyakarta, 2026***

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulisan buku yang berjudul “ENGINEERING ECONOMICS DALAM INDUSTRI MANUFAKTUR: PRINSIP, ANALISIS DAN APLIKASI” ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini hadir sebagai upaya untuk menjembatani kesenjangan antara teori ekonomi teknik dengan praktik nyata di lantai produksi dan ruang pengambilan keputusan industri manufaktur.

Industri manufaktur saat ini menghadapi tantangan yang semakin kompleks, mulai dari fluktuasi biaya bahan baku, tuntutan efisiensi energi, hingga percepatan transformasi digital. Dalam konteks tersebut, pemahaman yang mendalam tentang engineering economics menjadi sangat krusial. Bukan sekadar hitungan bunga atau nilai waktu uang, melainkan sebuah kerangka berpikir sistematis untuk mengevaluasi kelayakan proyek, memilih alternatif investasi, mengoptimalkan biaya siklus hidup produk, serta mengambil keputusan strategis yang berbasis data kuantitatif.

Buku ini dirancang secara komprehensif dalam tiga pilar utama: Prinsip, Analisis, dan Aplikasi. Pada

bagian Prinsip, pembaca akan diajak memahami fondasi ekonomi teknik seperti konsep nilai uang terhadap waktu, diagram alir kas, dan tingkat pengembalian. Pada bagian Analisis, kami menyajikan metode-metode evaluasi seperti Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period, analisis sensitivitas, dan Break-Even Point yang dikhususkan untuk karakteristik sektor manufaktur. Sedangkan pada bagian Aplikasi, kami menghadirkan studi kasus aktual yang mencakup keputusan penggantian mesin, otomatisasi proses, pemilihan material alternatif, hingga analisis dampak kebijakan lingkungan terhadap biaya produksi.

Kami menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari para pembaca, akademisi, dan praktisi industri sangat kami harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa teknik, engineer, manajer produksi, serta siapa pun yang berkecimpung dalam dunia manufaktur dan ingin mengambil keputusan ekonomi secara lebih cerdas dan bertanggung jawab.

Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung terbitnya buku ini, terutama rekan-rekan dosen, peneliti, dan mitra industri yang telah berbagi wawasan serta pengalaman berharga. Semoga karya kecil ini memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan industri manufaktur di Indonesia.

Bogor, 9 September 2026

Dr. Soni S., SE., MM

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku yang berjudul “Engineering Economics dalam Industri Manufaktur: Prinsip, Analisis dan Aplikasi” ini dapat diselesaikan dengan baik. Kehadiran buku ini merupakan suatu kontribusi yang penting dalam memperkaya literatur di bidang ekonomi teknik, khususnya dalam kaitannya dengan pengambilan keputusan dan pengelolaan ekonomi pada industri manufaktur yang terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan tuntutan efisiensi.

Industri manufaktur tidak hanya dituntut untuk menghasilkan produk yang berkualitas, tetapi juga harus mampu mengelola sumber daya secara efektif dan efisien. Setiap keputusan yang berkaitan dengan investasi, pemilihan teknologi, biaya produksi, perencanaan kapasitas, penggantian mesin, hingga evaluasi kelayakan suatu proyek membutuhkan pertimbangan teknis sekaligus ekonomis. Dalam konteks tersebut, pemahaman mengenai engineering economics menjadi salah satu kompetensi penting bagi para akademisi, mahasiswa, engineer, manajer, maupun praktisi industri.

Buku ini disusun untuk memberikan pemahaman yang sistematis mengenai prinsip-prinsip dasar ekonomi teknik serta penerapannya dalam berbagai permasalahan nyata di industri manufaktur. Pembahasan tidak hanya berfokus pada konsep dan metode analisis, tetapi juga diarahkan pada bagaimana pendekatan ekonomi dapat digunakan untuk mendukung proses pengambilan keputusan yang rasional, terukur, dan berorientasi pada keberlanjutan. Dengan demikian, buku ini diharapkan dapat menjadi jembatan antara teori yang dipelajari dalam lingkungan akademik dengan kebutuhan praktis di dunia industri.

Saya menyampaikan apresiasi kepada penulis atas upaya, dedikasi, dan komitmen dalam menyusun buku ini. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, menjadi referensi yang relevan bagi mahasiswa dan akademisi, serta memberikan wawasan praktis bagi para profesional dan pelaku industri manufaktur dalam menghadapi berbagai tantangan ekonomi dan teknologi.

Akhir kata, semoga buku “Engineering Economics dalam Industri Manufaktur: Prinsip, Analisis dan Aplikasi” ini dapat memberikan

kontribusi positif bagi pengembangan pendidikan, penelitian, dan praktik industri di Indonesia.

Steven Santoso
Division Head
PT Dharma Multiplast Solution Indonesia

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	ix
BAB I PENGANTAR EKONOMI TEKNIK	
MANUFAKTUR.....	1
1.1 Apa Bedanya Engineer dan Management? Peran Engineer dalam Keputusan Ekonomi	1
1.2 Istilah Kunci: CAPEX, OPEX, Sunk Cost, Opportunity Cost di Pabrik.....	3
1.3 Nilai Waktu Uang: Kenapa Rp 1 Miliar Hari Ini ≠ Rp 1 Miliar Tahun Depan.....	5
1.4 Bunga dan Inflasi: Dampaknya ke Harga Mesin dan Material	6
BAB II KONSEP BIAYA DALAM PRODUKSI.....	1
2.1 Fixed Cost vs Variable Cost: Listrik Mesin vs Gaji Operator.....	1
2.2 Direct Cost vs Indirect Cost: Biaya Bahan Baku vs Biaya Maintenance.....	3
2.3 Biaya Siklus Hidup / Life Cycle Cost: Harga Beli ≠ Total Biaya.....	5
2.4 Break-Even Point BEP: Kapan Produksi Tidak Rugi Lagi?	7
BAB III NILAI WAKTU UANG DAN TABEL BUNGA	10
3.1 Bunga Sederhana vs Bunga Majemuk.....	10
3.2 Faktor Nilai Sekarang P/F, Nilai Masa Depan F/P .	12
3.3 Anuitas: A/P, P/A, A/F, F/A untuk Cicilan Mesin Leasing.....	14

3.4 Cara Pakai Tabel Bunga dan Excel =NPV(), =PMT()

16

BAB IV METODE EVALUASI INVESTASI PROYEK 20

- 4.1 Payback Period PP: "Kapan Modal Kembali?"
Kelebihan dan Kekurangan 20
- 4.2 Net Present Value NPV: Standar Emas Keputusan
Investasi 23
- 4.3 Internal Rate of Return IRR: "Bunga" dari Proyek
Kamu 25
- 4.4 Benefit-Cost Ratio B/C Ratio: Untuk Proyek
Publik/Pemerintah 27
- 4.5 Perbandingan: Kapan pakai NPV, IRR, atau PP? 30

**BAB V DEPRESIASI, PAJAK, DAN ANALISIS SETELAH
PAJAK 33**

- 5.1 Apa itu Depresiasi? Garis Lurus vs Saldo Menurun
Ganda 33
- 5.2 Pajak Penghasilan dan Dampaknya ke Cash Flow
Proyek 35
- 5.3 Menghitung After-Tax Cash Flow untuk Mesin Baru
37

- 5.4 Nilai Sisa atau Salvage Value Mesin Bekas 39

**BAB VI PENGgantian MESIN / EQUIPMENT
REPLACEMENT ANALYSIS 43**

- 6.1 Defender vs Challenger: Pertahankan Mesin Lama
atau Beli Baru? 43
- 6.2 Economic Life: Umur Ekonomis Mesin Kapan Harus
Diganti 46

6.3 Studi Kasus: Ganti Mesin Press Lama vs Mesin Servo Baru	50
BAB VII PEMILIHAN ALTERNATIF MUTUALLY EXCLUSIVE.....	
55	
7.1 Perbandingan dengan Umur Sama: Mesin A vs Mesin B.....	56
7.2 Perbandingan dengan Umur Beda: Pakai Annual Worth (AW)	58
7.3 Analisis Incremental: Kenapa Harus Bandingkan Selisihnya?.....	61
7.4 Studi Kasus: Pilih Robot Welding vs Las Manual ...	63
BAB VIII RISIKO, KETIDAKPASTIAN & ANALISIS SENSITIVITAS	
68	
8.1 Break-Even Analysis: Volume Produksi Minimum Biar BEP	68
8.2 Analisis Sensitivitas: Kalau Harga Listrik Naik 20%, Rugi atau Untung?.....	70
8.3 Simulasi Monte Carlo Sederhana untuk Engineer.	72
8.4 Dampak Lead Time & OEE ke Keputusan Ekonomi	74
BAB IX BIAYA KUALITAS & BIAYA KEGAGALAN	
76	
9.1 Cost of Quality (COQ): Prevention, Appraisal, Internal, External Failure.....	76
9.2 Menghitung Kerugian Outflow & Komplain Customer ke dalam Rupiah	78
9.3 Justifikasi Investasi SPC, MSA, dan Poka-Yoke pakai NPV	79

BAB X LEAN MANUFACTURING & EKONOMI TEKNIK	
.....	82
10.1 Justifikasi Investasi 5S, SMED, dan Kanban secara Ekonomi.....	82
10.2 Trade-off: Inventory Cost vs Setup Cost	84
10.3 ROI Proyek Kaizen dan Continuous Improvement	85
BAB XI INVESTASI INDUSTRI 4.0: AUTOMATION & DIGITALISASI	88
11.1 Menilai ROI Robot, AGS, MES, dan IoT Sensor	88
11.2 CAPEX Tinggi vs OPEX Turun: Cara Hitungnya	90
11.3 Risiko Teknologi: Obsolescence dan Payback Period Pendek.....	91
BAB XII RISIKO, KETIDAKPASTIAN & ANALISIS SENSITIVITAS	94
12.1 Kasus 1: Investasi Mesin Baru	94
12.2 Kasus 2: Memilih antara 2 Vendor	96
12.3 Template Excel & Format Proposal Investasi ke Direksi.....	98
DAFTAR PUSTAKA	101
BIOGRAFI PENULIS	105

BAB I

PENGANTAR EKONOMI TEKNIK MANUFAKTUR

1.1 Apa Bedanya Engineer dan Management? Peran Engineer dalam Keputusan Ekonomi

Perbedaan mendasar antara seorang engineer dan seorang manajer sering kali dipahami secara sempit. Engineer dipandang sebagai pihak yang bekerja dengan mesin, teknologi, dan proses produksi, sementara manajer bekerja dengan angka, orang, dan keputusan strategis. Namun, dikotomi ini tidak lagi relevan dalam praktik industri manufaktur modern. Seorang engineer yang hanya menguasai aspek teknis tanpa pemahaman ekonomi akan kesulitan memberikan kontribusi optimal dalam pengambilan keputusan strategis. Sebaliknya, engineer yang mampu mengintegrasikan pertimbangan teknis dan ekonomi menjadi aset yang sangat berharga bagi organisasi.

Ekonomi teknik (*engineering economy*) didefinisikan sebagai kumpulan teknik analitis yang membantu engineer dalam mengevaluasi kelayakan ekonomi dari berbagai alternatif teknis (Sullivan et al., 2018). Disiplin ini tidak menggantikan peran manajer atau akuntan, tetapi melengkapi kompetensi teknis engineer dengan kerangka berpikir ekonomi. Kiran (2022) menegaskan bahwa engineer, termasuk engineer desain, mekanik, dan manufaktur, sering kali terlibat dalam keputusan yang berkaitan dengan ekonomi, baik secara langsung ketika memilih material atau secara tidak langsung ketika

manajer membuat keputusan kuantitas pesanan berdasarkan pekerjaan mereka.

Peran engineer dalam keputusan ekonomi di pabrik mencakup beberapa aspek kunci. Pertama, engineer bertanggung jawab untuk mengidentifikasi dan membandingkan alternatif teknis yang layak. Seorang engineer produksi, misalnya, harus mampu mengevaluasi apakah investasi mesin baru dengan teknologi otomatisasi lebih menguntungkan dibandingkan mempertahankan mesin lama dengan biaya perawatan yang meningkat. Kedua, engineer harus mampu menerjemahkan parameter teknis menjadi data ekonomi yang bermakna, seperti menghitung biaya per unit produksi, efisiensi energi, atau produktivitas tenaga kerja. Ketiga, engineer berperan dalam analisis risiko dan ketidakpastian, terutama ketika menghadapi proyeksi harga material, permintaan pasar, atau perubahan regulasi.

Sementara itu, peran manajer lebih berorientasi pada alokasi sumber daya secara makro, pengelolaan tim, dan keputusan strategis jangka panjang. Namun, batas antara peran engineer dan manajer semakin kabur. Banyak engineer senior dan kepala departemen teknik diharapkan memiliki kompetensi ganda, teknis dan ekonomi. Karena itu, pemahaman tentang ekonomi teknik bukanlah pilihan, melainkan keharusan bagi engineer yang ingin berkembang dalam kariernya di industri manufaktur. Memiliki pengetahuan tentang aktivitas manajemen dan ekonomi yang bersinggungan dengan pekerjaan teknik merupakan bagian inti dari sebagian besar kualifikasi teknik dasar dan menjadi semakin penting di industri (Kiran, 2022).

1.2 Istilah Kunci: CAPEX, OPEX, Sunk Cost, Opportunity Cost di Pabrik

Dalam pengambilan keputusan ekonomi di pabrik, terdapat beberapa istilah fundamental yang harus dipahami oleh setiap engineer. Keempat istilah yang dibahas dalam sub-bab ini, CAPEX, OPEX, *sunk cost*, dan *opportunity cost*, sering muncul dalam analisis kelayakan proyek, evaluasi investasi, dan keputusan operasional sehari-hari.

Capital Expenditure (CAPEX) merujuk pada pengeluaran modal untuk akuisisi, peningkatan, atau perpanjangan umur aset tetap seperti mesin, peralatan, bangunan pabrik, dan infrastruktur. Dalam analisis ekonomi teknik, CAPEX biasanya merupakan biaya awal (*initial cost*) yang signifikan dan memerlukan pertimbangan matang karena berdampak jangka panjang terhadap arus kas perusahaan. CAPEX mencakup biaya pembelian peralatan, pengiriman, asuransi, pajak, biaya rekayasa, dan biaya instalasi terkait (U.S. Department of Energy, 2023). Besaran CAPEX seringkali menjadi faktor pembatas dalam keputusan investasi, sehingga evaluasi yang cermat sangat diperlukan. Untuk menyatakan CAPEX sebagai biaya per unit produksi, biaya modal diamortisasi selama umur pakai aset dan dibagi dengan volume produksi tahunan rata-rata (U.S. Department of Energy, 2023).

Operating Expenditure (OPEX) adalah biaya operasional yang dikeluarkan secara rutin untuk menjalankan kegiatan produksi. Komponen OPEX meliputi biaya tenaga kerja operasional (*direct labor*), biaya bahan baku (*raw materials*), biaya energi, dan biaya overhead seperti administrasi, pemasaran, dan

penelitian dan pengembangan (U.S. Department of Energy, 2023). Berbeda dengan CAPEX yang bersifat investasi jangka panjang, OPEX adalah biaya berulang yang mempengaruhi profitabilitas operasional setiap periode. Dalam industri manufaktur, keputusan teknis seperti pemilihan teknologi proses, efisiensi energi, dan otomatisasi sangat mempengaruhi struktur OPEX.

Sunk Cost adalah biaya yang telah dikeluarkan di masa lalu dan tidak dapat dipulihkan, apapun keputusan yang diambil di masa depan. Konsep ini sangat penting karena *sunk cost* tidak boleh mempengaruhi keputusan saat ini atau masa depan. Sebagai contoh, jika sebuah pabrik telah membeli mesin seharga Rp 5 miliar lima tahun lalu dan mesin tersebut kini sudah usang, biaya tersebut adalah *sunk cost* dan tidak relevan dalam keputusan apakah akan mengganti mesin tersebut dengan yang baru. Keputusan seharusnya hanya mempertimbangkan biaya dan manfaat masa depan, bukan biaya yang telah berlalu. Kesalahan umum yang sering terjadi adalah *sunk cost fallacy*, yaitu kecenderungan untuk terus melanjutkan proyek atau investasi hanya karena telah mengeluarkan banyak biaya di masa lalu.

Opportunity Cost adalah nilai dari alternatif terbaik yang dikorbankan ketika memilih suatu opsi tertentu. Dalam konteks pabrik, *opportunity cost* muncul ketika sumber daya, seperti mesin, tenaga kerja, atau modal, memiliki penggunaan alternatif. Misalnya, jika sebuah mesin dapat digunakan untuk memproduksi produk A atau disewakan kepada perusahaan lain, maka *opportunity cost* dari memproduksi produk A adalah pendapatan sewa yang hilang. Konsep ini sangat relevan dalam keputusan alokasi sumber daya yang

terbatas, terutama ketika pabrik beroperasi di bawah kapasitas penuh atau menghadapi permintaan yang bervariasi. Secara formal, biaya ekonomi dari suatu keputusan adalah jumlah dari biaya akuntansi (eksplisit) dan *opportunity cost* (implisit).

1.3 Nilai Waktu Uang: Kenapa Rp 1 Miliar Hari Ini ≠ Rp 1 Miliar Tahun Depan

Prinsip nilai waktu uang (*time value of money*) merupakan fondasi paling mendasar dalam ekonomi teknik. Prinsip ini menyatakan bahwa sejumlah uang yang tersedia saat ini memiliki nilai yang lebih tinggi daripada jumlah yang sama di masa depan. Hal ini disebabkan oleh kemampuan uang untuk menghasilkan pendapatan melalui investasi atau bunga, serta adanya faktor inflasi yang menggerus daya beli uang dari waktu ke waktu.

Konsep ini dioperasionalkan melalui dua mekanisme utama: bunga sederhana (*simple interest*) dan bunga majemuk (*compound interest*). Bunga sederhana dihitung hanya berdasarkan jumlah pokok awal, sedangkan bunga majemuk dihitung berdasarkan pokok awal ditambah akumulasi bunga dari periode sebelumnya (Sullivan et al., 2018). Dalam praktik ekonomi teknik, bunga majemuk adalah mekanisme yang lebih umum digunakan karena mencerminkan realitas pasar keuangan. Sullivan et al. (2018) menguraikan secara sistematis berbagai formula bunga yang menjadi dasar analisis ekonomi teknik, termasuk hubungan nilai sekarang dan nilai masa depan untuk arus kas tunggal (*single cash flows*), deret seragam (*uniform series* atau anuitas), gradien aritmetika, dan gradien geometrik.

Konsep kesetaraan (*equivalence*) menjadi inti dari pemahaman nilai waktu uang. Dua jumlah uang pada titik waktu yang berbeda dikatakan setara jika memiliki nilai yang sama pada tingkat bunga tertentu. Misalnya, Rp 1 miliar hari ini mungkin setara dengan Rp 1,1 miliar satu tahun kemudian jika tingkat bunga yang berlaku adalah 10 persen per tahun. Dengan kata lain, seseorang akan bersikap acuh tak acuh (*indifferent*) antara menerima Rp 1 miliar hari ini atau Rp 1,1 miliar satu tahun kemudian pada tingkat bunga 10 persen (Sullivan et al., 2018). Pemahaman tentang kesetaraan ini memungkinkan engineer untuk membandingkan alternatif investasi yang memiliki pola arus kas yang berbeda, seperti investasi dengan biaya awal tinggi tetapi biaya operasional rendah versus investasi dengan biaya awal rendah tetapi biaya operasional tinggi.

Dalam analisis ekonomi teknik, tingkat bunga yang digunakan sebagai dasar perbandingan disebut *Minimum Attractive Rate of Return* (MARR) atau tingkat pengembalian minimum yang menarik (Sullivan et al., 2018). MARR mencerminkan biaya modal perusahaan dan risiko proyek, dan menjadi tolok ukur untuk menentukan apakah suatu investasi layak secara ekonomi. Metode-metode evaluasi seperti *Present Worth Method*, *Future Worth Method*, *Annual Worth Method*, *Internal Rate of Return* (IRR), dan *External Rate of Return* (ERR) semuanya dibangun di atas prinsip nilai waktu uang (Sullivan et al., 2018; Kiran, 2022).

1.4 Bunga dan Inflasi: Dampaknya ke Harga Mesin dan Material

Bunga dan inflasi adalah dua kekuatan ekonomi makro yang secara langsung mempengaruhi keputusan investasi di industri manufaktur. Bunga merupakan biaya modal yang harus dibayar perusahaan ketika meminjam dana untuk investasi, sementara inflasi adalah penurunan daya beli uang dari waktu ke waktu yang menyebabkan harga barang dan jasa meningkat. Kedua faktor ini harus diperhitungkan secara cermat dalam analisis ekonomi teknik.

Tingkat bunga nominal yang terlihat di pasar mencerminkan tingkat bunga riil ditambah premi inflasi yang diharapkan. Secara matematis, hubungan ini dapat dinyatakan sebagai $i' = i + s + (i \times s)$, di mana i' adalah tingkat bunga nominal, i adalah tingkat bunga riil, dan s adalah tingkat inflasi (Aho & Virtanen, 1984). Rumus ini menunjukkan bahwa ketika inflasi meningkat, tingkat bunga nominal juga akan meningkat untuk mengkompensasi pemberi pinjaman atas penurunan daya beli uang yang akan mereka terima di masa depan.

Implikasi inflasi terhadap keputusan investasi di pabrik sangat signifikan. Inflasi mempengaruhi harga mesin dan material secara langsung. Ketika tingkat inflasi tinggi, harga mesin impor, suku cadang, dan bahan baku akan meningkat. Perusahaan yang menunda keputusan investasi menghadapi risiko bahwa harga peralatan akan lebih mahal di masa depan. Namun, di sisi lain, inflasi juga mempengaruhi biaya operasional dan pendapatan, sehingga dampak bersihnya terhadap kelayakan suatu investasi perlu dievaluasi secara komprehensif.

Aho dan Virtanen (1984) dalam penelitiannya tentang dampak inflasi terhadap umur pakai optimal mesin menemukan bahwa inflasi memiliki efek memperpanjang umur pakai optimal mesin. Temuan ini menarik karena menunjukkan bahwa dalam kondisi inflasi tinggi, perusahaan cenderung menahan mesin lebih lama daripada yang akan mereka lakukan dalam kondisi inflasi rendah. Hal ini terjadi karena inflasi meningkatkan nilai sisa mesin dalam harga nominal, sehingga mengurangi insentif untuk mengganti mesin lebih awal. Namun, efek ini dimoderasi oleh faktor depresiasi dan tarif pajak. Peningkatan faktor depresiasi memperlemah efek inflasi, sementara peningkatan tarif pajak memperkuat efek perpanjangan umur pakai (Aho & Virtanen, 1984).

Selain itu, inflasi juga mempengaruhi analisis penggantian mesin melalui efeknya terhadap penyusutan (*depreciation*). Dalam sistem perpajakan, biaya penyusutan dihitung berdasarkan harga perolehan historis, bukan harga penggantian. Ketika inflasi tinggi, biaya penyusutan yang dihitung berdasarkan biaya historis menjadi tidak memadai untuk menggantikan aset pada harga saat ini. Hal ini menciptakan distorsi dalam keputusan investasi karena perusahaan mungkin tidak mengalokasikan dana yang cukup untuk penggantian mesin (Aho & Virtanen, 1984). Kursus analisis ekonomi teknik modern memasukkan topik inflasi sebagai salah satu komponen penting dalam analisis kelayakan investasi, bersama dengan depresiasi,

risiko, dan penganggaran modal (Tallahassee State College, 2026).

BAB II

KONSEP BIAYA DALAM PRODUKSI

2.1 Fixed Cost vs Variable Cost: Listrik Mesin vs Gaji Operator

Klasifikasi biaya berdasarkan perilakunya terhadap perubahan volume produksi merupakan konsep fundamental dalam ekonomi produksi. Dalam praktik manufaktur, biaya dibedakan menjadi biaya tetap (*fixed cost*), biaya variabel (*variable cost*), dan biaya semi variabel (*semi variable cost*) (Kiran, 2022; Sullivan et al., 2018).

Biaya tetap adalah biaya yang tidak berubah seiring dengan perubahan volume produksi dalam rentang aktivitas tertentu yang disebut *relevant range* (Tooling U-SME, 2025). Biaya tetap bersifat konstan meskipun produksi meningkat atau menurun, selama perubahan tersebut masih dalam kapasitas produksi yang tersedia. Contoh biaya tetap di pabrik manufaktur meliputi sewa atau angsuran gedung, pajak properti, gaji manajemen dan staf administrasi, depresiasi peralatan produksi dengan metode garis lurus, dan premi asuransi (Wiss, 2026). Biaya listrik mesin, meskipun sering dianggap sebagai biaya variabel, sebenarnya memiliki komponen tetap yang signifikan, terutama untuk mesin yang harus tetap menyala meskipun tidak memproduksi. Biaya listrik untuk penerangan, pendingin ruangan, dan sistem keselamatan juga bersifat tetap.

Biaya variabel adalah biaya yang berubah secara proporsional dengan perubahan volume produksi (Tooling U-SME, 2025; Kiran, 2022). Ketika produksi

meningkat, biaya variabel meningkat dalam proporsi yang sama; ketika produksi menurun, biaya variabel menurun secara proporsional. Contoh utama biaya variabel di pabrik adalah biaya bahan baku langsung, biaya tenaga kerja langsung yang dibayar berdasarkan jam kerja atau satuan produksi (*piece rate*), dan biaya pengiriman keluar (*outbound freight*) (Wiss, 2026). Dalam konteks gaji operator, jika operator dibayar berdasarkan jam kerja dan jam kerja meningkat seiring produksi, maka gaji operator merupakan biaya variabel. Namun, jika operator menerima gaji bulanan tetap meskipun produksi berfluktuasi, maka gaji operator menjadi biaya tetap.

Biaya semi variabel (juga disebut biaya campuran atau *mixed cost*) mengandung komponen tetap dan variabel sekaligus. Biaya utilitas listrik adalah contoh paling umum di manufaktur. Ada biaya dasar bulanan yang tetap terlepas dari pemakaian, ditambah komponen penggunaan yang meningkat seiring volume produksi. Kontrak perawatan peralatan sering mengikuti pola yang sama, dengan biaya dasar untuk layanan rutin ditambah biaya tambahan untuk perbaikan yang lebih intensif seiring penggunaan (Wiss, 2026; Tooling U-SME, 2025). Untuk keperluan analisis, biaya semi variabel harus dipisahkan menjadi komponen tetap dan variabel menggunakan metode seperti *high low method* atau analisis regresi (Wiss, 2026). Kegagalan memisahkan biaya semi variabel secara akurat akan mendistorsi analisis ekonomi, terutama dalam perhitungan titik impas dan kontribusi margin.

Kesalahan umum dalam klasifikasi biaya adalah mengabaikan konsep *relevant range*. Biaya hanya dapat diklasifikasikan sebagai tetap atau variabel dalam

rentang aktivitas tertentu. Jika produksi melampaui kapasitas yang direncanakan, biaya tetap seperti sewa mungkin harus meningkat (menambah gedung baru), dan biaya semi variabel mungkin melonjak secara tajam (Tooling U-SME, 2025; Wiss, 2026).

2.2 Direct Cost vs Indirect Cost: Biaya Bahan Baku vs Biaya Maintenance

Selain klasifikasi berdasarkan perilaku terhadap volume, biaya produksi juga diklasifikasikan berdasarkan kemudahan penelusuran ke produk atau unit produksi. Klasifikasi ini membagi biaya menjadi biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*) (Kiran, 2022).

Biaya langsung adalah biaya yang dapat diidentifikasi secara mudah dan akurat dengan produk atau unit produksi tertentu. Dalam manufaktur, biaya langsung terdiri dari tiga komponen utama. Pertama, **bahan baku langsung** (*direct materials*) adalah bahan baku yang menjadi bagian integral dari produk jadi dan dapat ditelusuri secara fisik ke produk tersebut. Kedua, **tenaga kerja langsung** (*direct labor*) adalah upah pekerja yang secara fisik mengubah bahan baku menjadi produk jadi dan dapat ditelusuri ke produk tertentu. Ketiga, **biaya overhead langsung** lainnya yang dapat diatribusikan secara langsung ke produk. Biaya bahan baku merupakan contoh klasik biaya langsung karena setiap unit produk menggunakan jumlah bahan baku tertentu yang dapat diukur dan dibebankan secara spesifik (Kiran, 2022; Tooling U-SME, 2025).

Biaya tidak langsung adalah biaya yang mendukung produksi tetapi tidak dapat diidentifikasi secara mudah atau akurat dengan produk atau unit

produksi tertentu. Biaya tidak langsung sering disebut sebagai *manufacturing overhead* atau biaya overhead pabrik. Contoh biaya tidak langsung meliputi biaya perawatan mesin (*maintenance cost*), biaya listrik untuk penerangan pabrik, biaya penyusutan mesin, gaji supervisor produksi, biaya bahan penolong seperti pelumas dan alat potong, serta biaya asuransi pabrik (Tooling U-SME, 2025). Biaya perawatan mesin sulit dibebankan secara langsung ke produk tertentu karena perawatan dilakukan untuk semua mesin yang digunakan untuk memproduksi berbagai jenis produk. Demikian pula, biaya listrik untuk penerangan dan pendinginan pabrik mendukung seluruh operasi produksi, bukan produk tertentu.

Perbedaan antara biaya langsung dan tidak langsung sangat penting dalam sistem akuntansi biaya karena biaya langsung dibebankan langsung ke produk, sedangkan biaya tidak langsung dialokasikan menggunakan tarif overhead yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam praktik, alokasi biaya tidak langsung sering menjadi sumber perbedaan pendapat karena metode alokasi yang berbeda dapat menghasilkan biaya produk yang berbeda secara signifikan (Kiran, 2022). Industri manufaktur modern semakin menggunakan sistem *Activity Based Costing* (ABC) untuk mengalokasikan biaya tidak langsung dengan lebih akurat berdasarkan aktivitas yang benar-benar mengonsumsi sumber daya.

Klasifikasi biaya berdasarkan perilaku dan penelusuran dapat digabungkan untuk menghasilkan matriks klasifikasi yang lebih lengkap:

Jenis Biaya	Biaya Langsung	Biaya Tidak Langsung
Biaya Tetap	Gaji supervisor langsung (dalam relevant range tertentu)	Sewa pabrik, depresiasi garis lurus
Biaya Variabel	Bahan baku langsung, upah pekerja per satuan	Biaya bahan penolong (pelumas)

2.3 Biaya Siklus Hidup / Life Cycle Cost: Harga Beli ≠ Total Biaya

Salah satu kesalahan paling umum dalam pengambilan keputusan investasi di pabrik adalah hanya mempertimbangkan harga beli awal (CAPEX) tanpa memperhitungkan total biaya selama umur pakai aset. *Life Cycle Cost* (LCC) atau biaya siklus hidup adalah pendekatan yang lebih komprehensif yang memperhitungkan seluruh biaya yang terkait dengan aset dari akuisisi hingga penghentian (Sullivan et al., 2018; Kiran, 2022).

Dalam konteks peralatan produksi, LCC mencakup beberapa komponen biaya. **Biaya akuisisi** (*acquisition cost*) adalah biaya pembelian awal termasuk instalasi dan pelatihan awal. **Biaya operasi** (*operation cost*) mencakup biaya energi, tenaga kerja yang mengoperasikan mesin, dan bahan baku yang diperlukan untuk pengoperasian. **Biaya kegagalan** (*failure cost*)

mencakup biaya perbaikan, waktu henti produksi, dan produk cacat yang dihasilkan. **Biaya dukungan** (*support cost*) mencakup perawatan preventif, suku cadang, dan pelatihan berkelanjutan. **Nilai sisa bersih** (*net salvage value*) adalah nilai yang dapat diperoleh dari penjualan aset di akhir umur pakainya (Kumar et al., 2016). Standar teknis seperti VDI 2884 dari Verein Deutscher Ingenieure (Asosiasi Engineer Jerman) menyediakan kerangka metodologis untuk melakukan perhitungan LCC pada peralatan produksi, yang membantu operator dalam memilih antara berbagai alternatif peralatan berdasarkan total biaya siklus hidup yang dihasilkan (VDI, 2005).

Pendekatan LCC sangat penting karena seringkali terjadi trade-off antara biaya awal dan biaya operasional. Sebuah mesin dengan harga beli murah mungkin memiliki konsumsi energi tinggi, biaya perawatan yang besar, dan umur pakai pendek, sehingga total biaya siklus hidupnya lebih mahal daripada mesin dengan harga beli tinggi tetapi biaya operasional rendah. Studi kasus pada mesin gergaji pita (*band saw cutting machine*) di India menunjukkan bahwa melalui analisis LCC dan optimasi keandalan, perusahaan dapat meningkatkan keandalan sistem sebesar 15,85 persen sekaligus mengurangi biaya siklus hidup sebesar 22,09 persen (Kumar et al., 2016). Temuan ini menegaskan bahwa investasi dalam analisis LCC dapat menghasilkan penghematan biaya yang signifikan.

LCC juga mempertimbangkan faktor inflasi dan nilai waktu uang. Karena biaya yang terjadi di masa depan harus didiskontokan ke nilai sekarang, pemilihan tingkat diskonto yang tepat menjadi sangat penting. Selain itu, LCC memperhitungkan biaya penggantian komponen

yang aus dan biaya modifikasi atau peningkatan di masa depan. Pendekatan ini sangat relevan untuk keputusan investasi jangka panjang seperti pembelian mesin baru, sistem otomasi, atau pembangunan fasilitas produksi baru (Sullivan et al., 2018; Kiran, 2022).

2.4 Break-Even Point BEP: Kapan Produksi Tidak Rugi Lagi?

Titik impas (*Break-Even Point* atau BEP) adalah volume produksi atau penjualan di mana total pendapatan sama dengan total biaya, sehingga perusahaan tidak memperoleh laba maupun rugi (Sullivan et al., 2018; Wiss, 2026). Pada titik ini, setiap unit yang diproduksi setelah titik impas memberikan kontribusi langsung terhadap laba operasional. Analisis titik impas merupakan salah satu alat paling fundamental dan berguna dalam manajemen keuangan manufaktur (Wiss, 2026).

Rumus dasar untuk menghitung titik impas dalam unit adalah:

$$\text{BEP (unit)} = \frac{\text{Kontribusi Marjin per Unit}}{\text{Total Biaya Tetap}}$$

di mana **Kontribusi Marjin per Unit** = Harga Jual per Unit - Biaya Variabel per Unit (Sullivan et al., 2018; Wiss, 2026).

Sebagai contoh, jika sebuah pabrik memproduksi komponen dengan harga jual Rp 85.000 per unit, biaya variabel Rp 52.000 per unit, dan total biaya tetap Rp 660.000.000 per tahun, maka:

- Kontribusi margin per unit = Rp 85.000 - Rp 52.000 = Rp 33.000
- BEP (unit) = Rp 660.000.000 ÷ Rp 33.000 = 20.000 unit
- BEP (pendapatan) = 20.000 × Rp 85.000 = Rp 1.700.000.000

Setiap unit yang terjual di atas 20.000 unit memberikan kontribusi Rp 33.000 terhadap laba operasional. Unit ke 20.001 bukan lagi menutupi biaya overhead, tetapi menghasilkan laba (Wiss, 2026)

Titik impas untuk produk jamak memerlukan perhitungan kontribusi margin rata-rata tertimbang berdasarkan bauran penjualan (*sales mix*) yang diharapkan dari setiap produk. Jika bauran penjualan berubah, misalnya lebih banyak produk dengan margin rendah dan lebih sedikit produk dengan margin tinggi, maka titik impas akan meningkat meskipun total volume penjualan tetap konstan. Karena itu, pabrik dengan lini produk ganda harus menganalisis titik impas di bawah beberapa skenario bauran yang realistis (Wiss, 2026).

Margin of safety adalah jarak antara penjualan aktual atau proyeksi dengan titik impas, yang menunjukkan seberapa jauh penjualan dapat menurun sebelum pabrik beroperasi pada posisi rugi. Dalam contoh di atas, jika pabrik memproyeksikan pendapatan Rp 2.400.000.000 melawan titik impas Rp 1.700.000.000, maka margin of safety adalah Rp 700.000.000 atau 29,2 persen (Wiss, 2026).

Analisis target laba memperluas formula titik impas untuk menjawab pertanyaan: berapa volume yang diperlukan untuk mencapai laba tertentu? Rumusnya adalah:

$$\text{Volume Target} = \frac{\text{Total Biaya Tetap} + \text{Laba Target}}{\text{Kontribusi Marjin per Unit}}$$

Dalam praktik, analisis titik impas tidak boleh dilakukan sekali saja. Perhitungan harus diulang setiap kali struktur biaya tetap berubah (misalnya karena pembelian peralatan baru atau penambahan karyawan) atau biaya variabel berubah secara material (misalnya karena perubahan harga bahan baku atau tarif tenaga kerja) (Wiss, 2026). Selain itu, dalam konteks produksi musiman atau dengan pola permintaan yang berfluktuasi, analisis titik impas harus mempertimbangkan biaya semi variabel yang bergantung pada volume produksi dan perencanaan operasi (Japanese Society for Production Management, 1979). Analisis titik impas adalah lantai (*floor*), bukan langit-langit (*ceiling*). Mengetahui secara tepat posisi titik impas, kemudian membangun marjin di atasnya dengan sengaja, adalah kunci keberhasilan manajemen keuangan di industri manufaktur (Wiss, 2026).

BAB III

NILAI WAKTU UANG DAN TABEL BUNGA

3.1 Bunga Sederhana vs Bunga Majemuk

Konsep nilai waktu uang (*time value of money*) menyatakan bahwa sejumlah uang yang tersedia saat ini memiliki nilai yang lebih tinggi daripada jumlah yang sama di masa depan. Prinsip ini dioperasionalkan melalui mekanisme bunga, yang merupakan imbalan atas penggunaan uang. Bunga didefinisikan sebagai peningkatan antara jumlah pokok yang diinvestasikan atau dipinjamkan dengan jumlah akhir yang diterima atau diutang. Secara fundamental, terdapat dua jenis mekanisme perhitungan bunga yang menjadi dasar seluruh analisis ekonomi teknik, yaitu bunga sederhana dan bunga majemuk.

Bunga sederhana (*simple interest*) dihitung hanya berdasarkan jumlah pokok awal untuk seluruh periode bunga. Tidak ada bunga yang dikenakan atas bunga yang telah terakumulasi pada periode sebelumnya. Total bunga sederhana dinyatakan dalam persamaan:

$$I_T = P \times n \times i$$

di mana I_T adalah total bunga, P adalah jumlah pokok, n adalah jumlah periode bunga, dan i adalah tingkat bunga per periode. Sebagai contoh, jika seseorang menginvestasikan Rp 100.000.000 di bank dengan tingkat bunga sederhana 10 persen per tahun selama 5

tahun, total bunga yang diperoleh adalah Rp 100.000.000 $\times 5 \times 0,10$ = Rp 50.000.000. Jumlah akhir yang diterima adalah Rp 150.000.000.

Bunga majemuk (*compound interest*) dihitung berdasarkan jumlah pokok awal ditambah akumulasi bunga dari periode periode sebelumnya (Sullivan et al., 2018). Dengan kata lain, bunga berbunga. Rumus dasar untuk bunga majemuk adalah:

$$F = P(1 + i)^n$$

di mana F adalah jumlah di masa depan (future value), P adalah jumlah saat ini (present value), i adalah tingkat bunga per periode, dan n adalah jumlah periode. Menggunakan contoh yang sama dengan tingkat bunga majemuk 10 persen per tahun, jumlah akhir setelah 5 tahun adalah Rp 100.000.000 $\times (1 + 0,10)^5$ = Rp 161.051.000. Perbedaan sebesar Rp 11.051.000 antara bunga sederhana dan bunga majemuk berasal dari efek bunga berbunga.

Dalam ekonomi teknik, bunga majemuk adalah mekanisme yang lebih umum digunakan karena mencerminkan realitas pasar keuangan (Sullivan et al., 2018). Proyek investasi di industri manufaktur, seperti pembelian mesin atau pembangunan fasilitas produksi, selalu dievaluasi menggunakan konsep bunga majemuk karena arus kas yang dihasilkan oleh investasi tersebut umumnya didistribusikan selama beberapa tahun dan harus diperhitungkan dengan mekanisme yang mencerminkan biaya modal yang sebenarnya.

3.2 Faktor Nilai Sekarang P/F, Nilai Masa Depan F/P

Dalam analisis ekonomi teknik, arus kas yang terjadi pada titik waktu yang berbeda harus dikonversi ke titik waktu yang sama agar dapat dibandingkan secara bermakna. Konversi ini dilakukan menggunakan faktor faktor kesetaraan (*equivalence factors*) yang didasarkan pada tingkat bunga tertentu (Sullivan et al., 2018; University of Washington, 2010).

Faktor nilai masa depan dari nilai sekarang (F/P) digunakan untuk menentukan jumlah uang di masa depan F yang setara dengan sejumlah uang saat ini P pada tingkat bunga i selama n periode. Secara matematis:

$$F = P(1 + i)^n$$

atau dalam notasi faktor:

$$F = P(F,/,Pin)$$

Faktor $(F,/,Pin) = (1 + i)^n$ disebut sebagai faktor jumlah majemuk tunggal (*single payment compound amount factor*).

Faktor nilai sekarang dari nilai masa depan (P/F) adalah kebalikan dari faktor F/P. Faktor ini digunakan untuk menentukan nilai saat ini P yang setara dengan sejumlah uang di masa depan F :

$$P = F \left(\frac{1}{(1 + i)^n} \right)$$

atau:

$$P = F(P,/,Fin)$$

Faktor $(P,/,Fin) = 1/(1+i)^n$ disebut sebagai faktor nilai sekarang tunggal (*single payment present worth factor*) (Sullivan et al., 2018; MIT OpenCourseWare, 2011).

Contoh Kasus 1: Evaluasi Harga Mesin

Seorang engineer di pabrik manufaktur sedang mengevaluasi pembelian mesin baru. Pemasok menawarkan dua opsi pembayaran. Opsi pertama, membayar tunai Rp 500.000.000 saat ini. Opsi kedua, membayar Rp 700.000.000 tiga tahun kemudian. Jika tingkat bunga yang berlaku adalah 12 persen per tahun, opsi mana yang lebih menguntungkan bagi perusahaan?

Untuk menjawab pertanyaan ini, engineer harus membandingkan kedua opsi pada titik waktu yang sama. Dengan menggunakan faktor P/F, nilai sekarang dari pembayaran Rp 700.000.000 tiga tahun kemudian adalah:

$$P = Rp700.000.000 \times (P,/,F12\%3)$$

$$\text{Dengan } (P,/,F12\%3) = 1/(1, +012)^3 = 0,7118:$$

$$P = Rp700.000.000 \times 0,7118 = Rp498.260.000$$

Karena nilai sekarang dari opsi kedua (Rp 498.260.000) lebih rendah daripada opsi pertama (Rp 500.000.000), maka opsi pembayaran tiga tahun kemudian secara ekonomi lebih menguntungkan bagi perusahaan. Selisih Rp 1.740.000 adalah nilai waktu uang yang dapat dihemat perusahaan.

3.3 Anuitas: A/P, P/A, A/F, F/A untuk Cicilan Mesin Leasing

Dalam banyak situasi industri manufaktur, arus kas tidak terjadi sebagai pembayaran tunggal, tetapi sebagai rangkaian pembayaran yang seragam setiap periode. Rangkaian pembayaran yang sama besar dan terjadi pada interval waktu yang teratur disebut anuitas atau deret seragam (*uniform series*) (Sullivan et al., 2018; Blank & Tarquin, 2012).

Empat faktor anuitas utama yang digunakan dalam analisis ekonomi teknik adalah:

Faktor pemulihan modal (*Capital Recovery Factor*, A/P) digunakan untuk menghitung jumlah pembayaran tahunan seragam A yang setara dengan jumlah pinjaman atau investasi saat ini P :

$$A = P \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) = P(A,/, Pin)$$

Faktor $(A,/, Pin) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$ disebut sebagai faktor pemulihan modal (MIT OpenCourseWare, 2011; Blank & Tarquin, 2012).

Faktor nilai sekarang dari deret seragam (*Uniform Series Present Worth Factor*, P/A) digunakan untuk menghitung nilai saat ini P yang setara dengan serangkaian pembayaran seragam A selama n periode:

$$P = A \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right) = A(P,/, Ain)$$

Faktor $(P,/, Ain) = \frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n}$ disebut sebagai faktor nilai sekarang deret seragam (MIT OpenCourseWare, 2011).

Faktor dana pelunasan (*Sinking Fund Factor, A/F*) digunakan untuk menghitung pembayaran tahunan seragam A yang harus disisihkan untuk mencapai jumlah masa depan F pada akhir periode ke n :

$$A = F \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right) = F(A,/, Fin)$$

Faktor $(A,/, Fin) = \frac{i}{(1+i)^n-1}$ disebut sebagai faktor dana pelunasan (Blank & Tarquin, 2012).

Faktor jumlah majemuk deret seragam (*Uniform Series Compound Amount Factor, F/A*) digunakan untuk menghitung jumlah masa depan F yang setara dengan serangkaian pembayaran seragam A :

$$F = A \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right) = A(F,/, Ain)$$

Faktor $(F,/, Ain) = \frac{(1+i)^n-1}{i}$ disebut sebagai faktor jumlah majemuk deret seragam (Blank & Tarquin, 2012).

Contoh Kasus 2: Perhitungan Cicilan Mesin Leasing

Sebuah perusahaan manufaktur ingin membeli mesin CNC seharga Rp 1.200.000.000 melalui skema leasing dengan tingkat bunga 10 persen per tahun selama 5 tahun dengan pembayaran tahunan yang sama besar.

Berapa besarnya cicilan tahunan yang harus dibayar perusahaan?

Menggunakan faktor pemulihan modal ($A, /, P10\%5$):

$$\text{Dengan } (A, /, P10\%5) = \frac{0,10(1+010)^5}{(1+010)^5-1} = 0,2638:$$

$$A = \text{Rp}1.200.000.000 \times 0,2638 = \text{Rp}316.560.000$$

Jadi, perusahaan harus membayar cicilan sebesar Rp 316.560.000 setiap tahun selama 5 tahun. Jika perusahaan ingin mengetahui total biaya leasing, total pembayaran adalah $5 \times \text{Rp } 316.560.000 = \text{Rp } 1.582.800.000$, yang terdiri dari pokok Rp 1.200.000.000 dan total bunga Rp 382.800.000. Perhitungan ini sangat penting bagi engineer untuk mengevaluasi kelayakan pembelian mesin melalui leasing dibandingkan dengan pembelian tunai atau opsi pembiayaan lainnya.

3.4 Cara Pakai Tabel Bunga dan Excel =NPV(), =PMT()

Dalam praktik analisis ekonomi teknik, perhitungan manual menggunakan rumus rumus di atas dapat menjadi sangat rumit, terutama untuk proyek dengan banyak arus kas dan periode waktu yang panjang. Dua alat bantu utama yang digunakan secara luas adalah tabel bunga dan spreadsheet seperti Microsoft Excel.

Tabel Bunga menyediakan nilai faktor faktor kesetaraan untuk berbagai kombinasi tingkat bunga dan jumlah periode. Tabel bunga dikonstruksi berdasarkan rumus rumus yang telah diuraikan sebelumnya. Nilai faktor ($F, /, Pin$), ($P, /, Fin$), ($A, /, Pin$), ($P, /, Ain$), ($A, /, Fin$), dan ($F, /, Ain$) disajikan dalam tabel untuk

berbagai tingkat bunga i dan jumlah periode n (Sullivan et al., 2018). Pengguna cukup mencari nilai faktor pada persimpangan baris n dan kolom i , kemudian mengalikan dengan nilai arus kas yang diketahui.

Fungsi Excel menawarkan fleksibilitas yang lebih besar dan kemampuan untuk menangani arus kas yang tidak seragam. Beberapa fungsi yang paling sering digunakan dalam analisis ekonomi teknik adalah:

=NPV(rate, value1, [value2], ...) atau =NPV(rate, range_cells):

- Menghitung *Net Present Value* (NPV) atau nilai sekarang bersih
- rate adalah tingkat diskonto per periode (misalnya MARR)
- value1, value2, ... adalah arus kas pada setiap periode
- Penting untuk dicatat bahwa fungsi NPV di Excel menghitung nilai sekarang dari arus kas masa depan, tetapi **tidak** secara otomatis mengurangi investasi awal pada periode 0 (Sullivan et al., 2018). Oleh karena itu, rumus NPV harus ditulis sebagai =NPV(rate, range_ arus_kas) + investasi_awal di mana investasi awal dinyatakan sebagai nilai negatif.

=PMT(rate, nper, pv, [fv], [type]):

- Menghitung pembayaran periodik untuk anuitas
- rate adalah tingkat bunga per periode
- nper adalah jumlah periode pembayaran
- pv adalah nilai sekarang atau jumlah pokok pinjaman (masukkan sebagai nilai positif)

- fv adalah nilai masa depan yang diinginkan (opsional, default 0)
- type menentukan apakah pembayaran dilakukan di akhir periode (0, default) atau di awal periode (1) (Blank & Tarquin, 2012)

=PV(rate, nper, pmt, [fv], [type]) dan =FV(rate, nper, pmt, [pv], [type]):

- Menghitung nilai sekarang (=PV) atau nilai masa depan (=FV) dari suatu anuitas (Blank & Tarquin, 2012; MIT OpenCourseWare, 2011).

=IRR(values, [guess]) dan =RATE(nper, pmt, pv, [fv], [type], [guess]):

- =IRR digunakan untuk menghitung *Internal Rate of Return* dari serangkaian arus kas
- =RATE digunakan untuk menghitung tingkat bunga per periode dari anuitas

Contoh Kasus 3: Penggunaan Excel untuk Perhitungan Leasing

Menggunakan contoh sebelumnya untuk mesin CNC seharga Rp 1.200.000.000, tingkat bunga 10 persen, dan 5 tahun, formula Excel untuk menghitung cicilan tahunan adalah:

=PMT(10%, 5, 1200000000)

Hasilnya adalah Rp 316.568.660 (sedikit berbeda karena pembulatan). Untuk menghitung nilai sekarang dari rangkaian pembayaran ini pada tingkat bunga 10 persen, formula yang digunakan adalah:

=PV(10%, 5, -316568660)

Hasilnya akan mendekati Rp 1.200.000.000, yang membuktikan konsistensi antara fungsi PMT dan PV.

Pemahaman tentang penggunaan tabel bunga dan fungsi Excel sangat penting bagi engineer di industri manufaktur karena memungkinkan mereka untuk dengan cepat dan akurat mengevaluasi berbagai alternatif investasi, membandingkan opsi pembiayaan, dan mengambil keputusan berbasis data secara efisien.

BAB IV

METODE EVALUASI INVESTASI PROYEK

4.1 Payback Period PP: "Kapan Modal Kembali?" Kelebihan dan Kekurangan

Payback Period (PP) atau periode pengembalian modal adalah metode evaluasi investasi yang mengukur waktu yang diperlukan agar arus kas masuk kumulatif dari suatu proyek sama dengan investasi awal (Sullivan et al., 2018; Università degli Studi di Perugia, 2026). Dengan kata lain, PP menjawab pertanyaan: "Berapa lama waktu yang dibutuhkan agar modal yang diinvestasikan kembali?"

Perhitungan PP untuk arus kas tahunan yang seragam sederhana:

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Investasi Awal}}{\text{Arus Kas Tahunan}}$$

Untuk arus kas yang tidak seragam, PP dihitung dengan menjumlahkan arus kas tahunan secara kumulatif hingga mencapai jumlah investasi awal. Secara matematis:

$$\sum_{j=1}^{PP} CF_j = I_0$$

di mana CF_j adalah arus kas pada tahun ke j dan I_0 adalah investasi awal. Jika PP tidak tepat pada

akhir tahun, interpolasi linear digunakan untuk menentukan PP dalam fraksi tahun.

Kriteria keputusan dalam metode PP adalah sebagai berikut:

- Jika PP lebih pendek dari periode maksimum yang diizinkan perusahaan, maka investasi diterima
- Jika PP lebih panjang dari periode maksimum yang diizinkan, maka investasi ditolak
- Untuk alternatif yang saling eksklusif, alternatif dengan PP terpendek dipilih

Kelebihan Metode PP:

1. Sederhana dan mudah dipahami oleh berbagai kalangan dalam organisasi
2. Memberikan indikasi risiko dan likuiditas yang baik; proyek dengan PP pendek dianggap kurang berisiko
3. Berguna untuk industri dengan tingkat perubahan teknologi yang cepat, di mana keusangan aset menjadi risiko utama

Kekurangan Metode PP:

1. Tidak memperhitungkan nilai waktu uang (Sullivan et al., 2018; University of Washington, 2010)
2. Mengabaikan arus kas setelah periode pengembalian, sehingga tidak mengukur profitabilitas total proyek
3. Tidak memiliki kriteria objektif untuk menentukan periode pengembalian maksimum yang dapat diterima
4. Dapat menghasilkan keputusan yang keliru jika digunakan sebagai satu satunya kriteria (Sullivan et al., 2018)

Discounted Payback Period (DPP) atau periode pengembalian diskonto adalah versi perbaikan dari PP yang memperhitungkan nilai waktu uang dengan mendiskontokan arus kas masa depan ke nilai sekarang sebelum menghitung kumulatifnya (Sullivan et al., 2018). Meskipun DPP mengatasi kelemahan pertama PP, DPP masih mengabaikan arus kas setelah periode pengembalian.

Contoh Kasus 4: Perhitungan Payback Period di Pabrik

Sebuah pabrik manufaktur berinvestasi Rp 1.800.000.000 untuk mesin otomatis baru. Arus kas bersih tahunan yang diharapkan adalah sebagai berikut:

Tahun	Arus Kas Bersih (Rp)	Kumulatif (Rp)
0	-1.800.000.000	-1.800.000.000
1	450.000.000	-1.350.000.000
2	500.000.000	-850.000.000
3	550.000.000	-300.000.000
4	600.000.000	300.000.000

Payback period terjadi antara tahun 3 dan 4. Pada akhir tahun 3, masih tersisa Rp 300.000.000 untuk mencapai investasi awal. Dengan arus kas tahun ke 4 sebesar Rp 600.000.000:

$$PP = 3 + \frac{300.000.000}{600.000.000} = 3,5 \text{ tahun}$$

Jika perusahaan menetapkan periode pengembalian maksimum 4 tahun, maka investasi ini diterima. Namun, keputusan akhir harus mempertimbangkan metode

evaluasi lain karena PP mengabaikan arus kas tahun ke 5 dan seterusnya.

4.2 Net Present Value NPV: Standar Emas Keputusan Investasi

Net Present Value (NPV) atau nilai sekarang bersih adalah selisih antara nilai sekarang dari arus kas masuk dan nilai sekarang dari arus kas keluar selama umur proyek (Sullivan et al., 2018). NPV dianggap sebagai "standar emas" atau metode paling teoretis yang benar dalam evaluasi investasi karena secara langsung mengukur peningkatan kekayaan pemilik yang dihasilkan oleh proyek dan memperhitungkan nilai waktu uang secara penuh.

Secara matematis, NPV dinyatakan sebagai:

$$NPV = \sum_{j=0}^n \frac{CF_j}{(1+i)^j} = \sum_{j=0}^n CF_j(P/F, i, j)$$

di mana:

- CF_j = arus kas bersih pada tahun ke j (positif untuk arus kas masuk, negatif untuk arus kas keluar)
- i = tingkat diskonto (biasanya MARR)
- n = umur proyek

Kriteria keputusan NPV:

- Jika $NPV > 0$, investasi layak dan akan meningkatkan nilai perusahaan
- Jika $NPV = 0$, investasi berada pada titik impas; tingkat pengembalian tepat sama dengan MARR
- Jika $NPV < 0$, investasi tidak layak karena tidak mencapai MARR yang disyaratkan

- Untuk alternatif yang saling eksklusif, pilih alternatif dengan NPV tertinggi

Kelebihan dan kekurangan NPV:

Kelebihan utama NPV adalah mempertimbangkan nilai waktu uang secara penuh, menggunakan seluruh arus kas selama umur proyek, dan memberikan indikasi langsung tentang kontribusi proyek terhadap kekayaan pemilik. NPV juga konsisten dengan tujuan perusahaan untuk memaksimalkan kekayaan pemilik (Sullivan et al., 2018). Namun, NPV memerlukan estimasi tingkat diskonto yang tepat (MARR), yang tidak selalu mudah ditentukan. Selain itu, untuk proyek dengan umur yang berbeda, perbandingan langsung NPV tanpa penyesuaian dapat menjadi tidak tepat.

Contoh Kasus 5: Perhitungan NPV Investasi Mesin

Sebuah perusahaan manufaktur sedang mengevaluasi pembelian mesin baru dengan data sebagai berikut:

- Investasi awal: Rp 5.000.000.000
- Umur ekonomis: 5 tahun, tanpa nilai sisa
- Arus kas bersih tahunan: Rp 1.400.000.000
- MARR: 12 persen per tahun

$$NPV = -Rp5.000.000.000 + Rp1.400.000.000 \times (P/A, 12\%, 5)$$

$$\text{Dengan } (P/A, 12\%, 5) = \frac{(1+0,12)^5 - 1}{0,12(1+0,12)^5} = 3,6048:$$

$$NPV = -Rp5.000.000.000 + Rp1.400.000.000 \times 3,6048$$

$$NPV = -Rp5.000.000.000 + Rp5.046.720.000$$

$$NPV = Rp46.720.000$$

Karena $NPV = \text{Rp } 46.720.000 > 0$, investasi mesin baru ini layak secara ekonomi. Hasil ini menunjukkan bahwa proyek memberikan tambahan nilai bagi perusahaan sebesar Rp 46.720.000 di atas MARR 12 persen.

4.3 Internal Rate of Return IRR: "Bunga" dari Proyek Kamu

Internal Rate of Return (IRR) atau tingkat pengembalian internal adalah tingkat bunga di mana NPV dari suatu proyek sama dengan nol (Sullivan et al., 2018; University of Washington, 2010). Dalam istilah yang lebih sederhana, IRR adalah tingkat pengembalian efektif yang dihasilkan oleh investasi. IRR dapat diinterpretasikan sebagai "bunga" atau tingkat keuntungan yang dihasilkan oleh proyek itu sendiri.

Secara matematis, IRR adalah nilai i^* yang memenuhi persamaan:

$$\sum_{j=0}^n \frac{CF_j}{(1 + i^*)^j} = 0$$

Kriteria keputusan IRR:

- Jika $IRR > MARR$, investasi layak
- Jika $IRR = MARR$, investasi berada pada titik impas
- Jika $IRR < MARR$, investasi tidak layak
- Untuk alternatif yang saling eksklusif, pilih alternatif dengan IRR tertinggi (dengan syarat $IRR > MARR$)

Kelebihan dan Kekurangan IRR:

IRR sangat populer karena dinyatakan dalam bentuk persentase, yang mudah dipahami oleh manajemen dan

sebanding dengan biaya modal perusahaan. IRR tidak memerlukan penentuan tingkat diskonto secara eksplisit untuk menghitung kelayakan; perbandingan dengan MARR hanya dilakukan pada langkah evaluasi akhir. Namun, IRR memiliki beberapa kelemahan signifikan (Sullivan et al., 2018):

1. IRR dapat menghasilkan beberapa solusi (multiple IRR) ketika arus kas berubah tanda lebih dari satu kali (proyek non konvensional)
2. IRR tidak mempertimbangkan skala investasi; proyek kecil dengan IRR tinggi mungkin memiliki NPV yang lebih rendah daripada proyek besar dengan IRR sedang
3. Untuk alternatif yang saling eksklusif, pemilihan berdasarkan IRR tertinggi dapat menghasilkan keputusan yang berbeda dengan pemilihan berdasarkan NPV tertinggi

Metode *External Rate of Return* (ERR) dikembangkan untuk mengatasi beberapa kelemahan IRR (Sullivan et al., 2018).

Contoh Kasus 6: Perhitungan IRR dengan Interpolasi

Menggunakan data yang sama dengan contoh NPV, IRR dihitung dengan mencari tingkat bunga yang membuat NPV = 0:

$$0 = -Rp5.000.000.000 + Rp1.400.000.000 \times (P/A, i^*, 5)$$

Sehingga:

$$(P/A, i^*, 5) = \frac{5.000.000.000}{1.400.000.000} = 3,5714$$

Dari tabel bunga,

$(P/A, 12\%, 5) = 3,6048$ dan $(P/A, 13\%, 5) = 3,5172$.
Melalui interpolasi linear:

$$i^* = 12\% + (13\% - 12\%) \times \frac{3,6048 - 3,5714}{3,6048 - 3,5712}$$

$$i^* = 12\% + 1\% \times \frac{0,0334}{0,0876} = 12\% + 0,381\% = 12,38\%$$

Karena $IRR = 12,38\% > MARR = 12\%$, investasi layak. Hasil ini konsisten dengan kesimpulan NPV positif. Dalam studi kasus implementasi ERP pada subsektor kosmetik, perhitungan IRR menghasilkan nilai 50,38% yang jauh lebih tinggi dari tingkat bunga 3,5%, menunjukkan kelayakan investasi yang sangat baik (Rizqiyani et al., 2025).

4.4 Benefit-Cost Ratio B/C Ratio: Untuk Proyek Publik/Pemerintah

Benefit-Cost Ratio (rasio manfaat biaya) adalah metode evaluasi yang membandingkan nilai sekarang dari manfaat (*benefit*) dengan nilai sekarang dari biaya (*cost*) suatu proyek (Sullivan et al., 2018). Metode ini sangat populer untuk mengevaluasi proyek proyek publik atau pemerintah, seperti proyek infrastruktur, di mana manfaat yang dihasilkan seringkali tidak berbentuk keuntungan finansial langsung tetapi memberikan nilai sosial atau ekonomi bagi masyarakat luas.

Secara matematis, B/C ratio dinyatakan sebagai:

$$B/C \text{ Ratio} = \frac{\text{Nilai Sekarang Biaya}}{\text{Nilai Sekarang Manfaat}} = \frac{\sum_{j=0}^n C_j(P/F, i, j)}{\sum_{j=0}^n B_j(P/F, i, j)}$$

di mana B_j adalah manfaat pada periode j dan C_j adalah biaya pada periode j . Untuk proyek dengan investasi awal I dan manfaat serta biaya operasional tahunan, B/C ratio dihitung sebagai:

$$B/C \text{ Ratio} = \frac{PW \text{ Manfaat}}{PW \text{ Biaya} + I}$$

Kriteria keputusan B/C ratio:

- Jika $B/C > 1$, proyek layak
- Jika $B/C = 1$, proyek berada pada titik impas
- Jika $B/C < 1$, proyek tidak layak

Untuk alternatif yang saling eksklusif, metode *incremental B/C ratio* harus digunakan, bukan membandingkan B/C ratio absolut (Sullivan et al., 2018). Hal ini karena proyek dengan B/C ratio tertinggi belum tentu memiliki manfaat absolut tertinggi atau merupakan pilihan terbaik.

Kelebihan dan Kekurangan B/C Ratio:

B/C ratio mudah dipahami dan dihitung, serta sangat berguna untuk proyek publik yang menghasilkan manfaat sosial yang dapat diukur secara moneter. Metode ini memungkinkan perbandingan yang jelas antara manfaat yang dihasilkan dan biaya yang dikeluarkan. Namun, B/C ratio memiliki kelemahan seperti sensitivitas terhadap definisi mana yang dikategorikan

sebagai biaya dan mana yang dikategorikan sebagai manfaat (misalnya, biaya operasional dapat dikategorikan sebagai biaya negatif atau dikurangkan dari manfaat). Hasil B/C ratio juga sangat bergantung pada tingkat diskonto yang digunakan (Sullivan et al., 2018).

Contoh Kasus 7: Proyek Pembangunan Jalan Akses Pabrik

Sebuah pemerintah daerah sedang mengevaluasi proyek pembangunan jalan akses sepanjang 5 km menuju kawasan industri. Data proyek:

- Investasi awal: Rp 150.000.000.000
- Biaya pemeliharaan tahunan: Rp 5.000.000.000
- Manfaat tahunan (penghematan waktu dan biaya logistik): Rp 25.000.000.000
- Umur proyek: 20 tahun
- MARR (suku bunga sosial): 8 persen

$$PW \text{ Manfaat} = Rp25.000.000.000 \times (P,/, A8\%, 20)$$

$$PW \text{ Manfaat} = Rp25.000.000.000 \times 9,8181 = Rp245.452.500.000$$

$$PW \text{ Biaya} = Rp150.000.000.000 + Rp5.000.000.000 \times (P/A, 8\%, 20)$$

$$PW \text{ Biaya} = Rp150.000.000.000 + Rp49.090.500.000 = \\ Rp199.090.500.000$$

$$B/C \text{ Ratio} = \frac{245.452.500.000}{199.090.500.000}$$

Karena B/C Ratio = 1,23 > 1, proyek pembangunan jalan akses ini layak secara ekonomi dan sosial. Setiap Rp 1 biaya yang dikeluarkan menghasilkan manfaat sebesar Rp 1,23.

4.5 Perbandingan: Kapan pakai NPV, IRR, atau PP?

Pemilihan metode evaluasi investasi yang tepat bergantung pada karakteristik proyek, tujuan analisis, dan preferensi pengambil keputusan. Setiap metode memiliki keunggulan dan keterbatasan yang berbeda (Sullivan et al., 2018; Università degli Studi di Perugia, 2026; Georgia Institute of Technology, 2026).

Kapan Menggunakan NPV:

- NPV adalah metode yang paling teoretis benar dan direkomendasikan untuk sebagian besar keputusan investasi
- NPV langsung mengukur kontribusi proyek terhadap kekayaan pemilik dan konsisten dengan tujuan memaksimalkan nilai perusahaan
- NPV paling tepat digunakan ketika tingkat diskonto (MARR) dapat diestimasi dengan andal
- Untuk alternatif yang saling eksklusif, NPV adalah metode yang paling dapat diandalkan untuk memilih alternatif terbaik (Sullivan et al., 2018)
- Dalam contoh kasus implementasi ERP, NPV positif sebesar Rp 119.654.313 menunjukkan kelayakan investasi (Rizqiyani et al., 2025)

Kapan Menggunakan IRR:

- IRR sangat berguna ketika perlu menyampaikan hasil analisis dalam bentuk persentase yang mudah dipahami oleh manajemen
- IRR tepat digunakan untuk proyek konvensional (investasi awal diikuti serangkaian arus kas positif)

- IRR berguna untuk komunikasi dengan manajemen puncak yang lebih familiar dengan metrik persentase
- Namun, IRR harus digunakan dengan hati-hati untuk proyek dengan arus kas non konvensional atau untuk membandingkan proyek dengan skala yang sangat berbeda

Kapan Menggunakan Payback Period:

- PP berguna sebagai alat screening awal untuk proyek dengan risiko likuiditas yang tinggi
- PP tepat digunakan di industri dengan tingkat perubahan teknologi yang cepat (seperti elektronik atau teknologi informasi)
- PP tidak boleh digunakan sebagai satu satunya kriteria, tetapi sebagai pelengkap NPV atau IRR
- Dalam contoh kasus ERP, Payback Period 7 bulan yang lebih pendek dari umur proyek 5 tahun menunjukkan tingkat risiko yang rendah (Rizqiyani et al., 2025)

Kapan Menggunakan B/C Ratio:

- B/C ratio sangat tepat untuk proyek publik atau pemerintah yang menghasilkan manfaat sosial
- Berguna ketika manfaat dan biaya tidak semuanya dapat dinyatakan dalam bentuk arus kas moneter langsung

- Diperlukan untuk proyek yang dibiayai oleh anggaran publik dan harus dipertanggungjawabkan kepada masyarakat

Panduan Praktis Kombinasi Metode:

Dalam praktik di industri manufaktur, pendekatan terbaik adalah menggunakan kombinasi metode:

1. Gunakan **PP** untuk screening awal cepat dan menilai risiko likuiditas
2. Gunakan **NPV** sebagai metode utama untuk pengambilan keputusan akhir, karena NPV adalah metode yang paling benar secara konseptual
3. Gunakan **IRR** sebagai pendukung untuk komunikasi dengan manajemen dan untuk membandingkan dengan biaya modal perusahaan
4. Gunakan analisis **sensitivitas** untuk menguji ketahanan keputusan terhadap perubahan asumsi

BAB V

DEPRESIASI, PAJAK, DAN ANALISIS SETELAH PAJAK

5.1 Apa itu Depresiasi? Garis Lurus vs Saldo Menurun Ganda

Depresiasi adalah alokasi sistematis dari biaya aset tetap berwujud selama umur manfaatnya. Dalam akuntansi dan ekonomi teknik, depresiasi berfungsi dua tujuan: mencerminkan penurunan nilai aset karena penggunaan dan keusangan, serta memberikan pengurangan pajak penghasilan yang secara efektif mengurangi biaya investasi (Sullivan et al., 2018). Depresiasi bukanlah arus kas aktual, melainkan alokasi biaya non tunai yang mempengaruhi laba kena pajak dan dengan demikian mempengaruhi arus kas setelah pajak.

Beberapa metode depresiasi yang umum digunakan dalam analisis ekonomi teknik adalah:

Metode Garis Lurus (*Straight Line Depreciation*) adalah metode depresiasi paling sederhana dan paling umum digunakan. Biaya aset dialokasikan secara merata sepanjang umur manfaatnya. Besar depresiasi tahunan adalah konstan dan dihitung dengan rumus:

$$D_j = \frac{B-S}{N}$$

di mana D_j adalah depresiasi pada tahun j , B adalah biaya awal aset (*cost basis*), S adalah nilai sisa yang diestimasi (*salvage value*), dan N adalah umur depresiasi (Sullivan et al., 2018).

Metode Saldo Menurun Ganda (*Double Declining Balance Depreciation - DDB*) adalah metode depresiasi dipercepat yang menghasilkan beban depresiasi lebih tinggi di tahun tahun awal umur aset. Metode ini menghitung depresiasi dengan mengalikan nilai buku aset pada awal tahun dengan tingkat depresiasi tetap yang merupakan dua kali tingkat garis lurus (Sullivan et al., 2018; Young, 1993):

$$D_j = d \times BV_{j-1}$$

di mana $d = \frac{2}{N}$ adalah tingkat saldo menurun ganda, dan BV_{j-1} adalah nilai buku pada akhir tahun sebelumnya. Nilai buku aset pada tahun j adalah:

$$BV_j = BV_{j-1} - D_j$$

Penting untuk dicatat bahwa metode DDB tidak secara otomatis memperhitungkan nilai sisa. Jika nilai buku turun di bawah nilai sisa, depresiasi harus disesuaikan pada tahun terakhir. Selain itu, perusahaan sering beralih dari DDB ke garis lurus pada tahun yang optimal untuk memaksimalkan pengurangan pajak (Young, 1993).

Perbandingan Metode Depresiasi:

Young (1993) menunjukkan bahwa perubahan metode depresiasi mempengaruhi *timing* arus kas pajak, tetapi tidak mempengaruhi total arus kas pajak. Dalam contoh proyek dengan investasi \$80.000, arus kas sebelum pajak \$24.000 per tahun selama 5 tahun, dan tingkat pajak 40 persen:

- Metode garis lurus: *after-tax IRR* = 9,43%
- Metode garis lurus dengan umur depresiasi lebih pendek: *after-tax IRR* = 9,97%
- Metode *sum-of-years-digits*: *after-tax IRR* = 10,20%
- Metode saldo menurun ganda: *after-tax IRR* = 10,26%
- Metode saldo menurun dengan peralihan ke garis lurus: *after-tax IRR* = 10,29%

Hasil ini menunjukkan bahwa metode depresiasi dipercepat (DDB) menghasilkan *after-tax IRR* yang lebih tinggi karena pengurangan pajak yang lebih besar di tahun-tahun awal, yang memiliki nilai waktu uang yang lebih tinggi. Namun, total arus kas pajak selama umur proyek tetap sama (\$16.000) di semua metode (Young, 1993).

5.2 Pajak Penghasilan dan Dampaknya ke Cash Flow Proyek

Pajak penghasilan memiliki dampak signifikan terhadap arus kas proyek investasi dan keputusan ekonomi di industri manufaktur. Pajak mempengaruhi arus kas dengan mengurangi pendapatan yang tersedia

untuk perusahaan, tetapi juga memberikan pengurangan melalui depresiasi yang dapat dikurangkan dari penghasilan kena pajak (Young, 1993; Sullivan et al., 2018).

Penghasilan kena pajak (*Taxable Income*, TI) dihitung sebagai:

$$TI_j = A_j - D_j$$

di mana A_j adalah arus kas sebelum pajak pada tahun j dan D_j adalah beban depresiasi pada tahun j . Pajak yang harus dibayar adalah:

$$T_j = t \times TI_j$$

di mana t adalah tingkat pajak penghasilan marginal. Arus kas setelah pajak (*After-Tax Cash Flow*, ATCF) dihitung sebagai:

$$ATCF_j = A_j - T_j = A_j - t(A_j - D_j) = A_j(1 - t) + t \times D_j$$

Persamaan terakhir menunjukkan bahwa arus kas setelah pajak terdiri dari dua komponen: arus kas sebelum pajak dikalikan dengan $(1 - t)$, dan penghematan pajak dari depresiasi $(t \times D_j)$. Ini berarti depresiasi memberikan manfaat pajak yang signifikan karena mengurangi penghasilan kena pajak tanpa memerlukan pengeluaran kas aktual.

Dampak pajak terhadap keputusan investasi dapat diilustrasikan dengan membandingkan analisis sebelum pajak dan setelah pajak. Young (1993) mencatat bahwa

ketika terjadi perbedaan antara keputusan sebelum pajak dan setelah pajak, hal ini menunjukkan adanya efek sosial. Alternatif yang lebih baik secara sebelum pajak (menciptakan lebih banyak kekayaan) mungkin tidak dipilih setelah pajak karena pajak mengubah *after-tax present worth* dari alternatif tersebut.

Kompleksitas pajak juga menciptakan risiko tambahan, termasuk risiko audit pajak atau keputusan yang tidak menguntungkan yang dapat menciptakan kewajiban keuangan yang tidak terduga (Young, 1993). Oleh karena itu, analisis setelah pajak menjadi semakin penting dalam pengambilan keputusan investasi di industri manufaktur.

5.3 Menghitung After-Tax Cash Flow untuk Mesin Baru

Perhitungan *After-Tax Cash Flow* (ATCF) untuk mesin baru melibatkan beberapa langkah sistematis yang menggabungkan depresiasi, pajak, dan arus kas operasional. Berikut adalah prosedur lengkap dengan contoh kasus.

Langkah 1: Identifikasi Data Proyek

- Biaya awal mesin (B): Rp 1.500.000.000
- Umur depresiasi (N_d): 5 tahun
- Umur proyek (N_a): 5 tahun
- Nilai sisa (*salvage value*, S): Rp 150.000.000
- Arus kas sebelum pajak tahunan (A_j): Rp 500.000.000
- Tingkat pajak penghasilan (t): 25 persen
- MARR setelah pajak: 12 persen

Langkah 2: Hitung Depresiasi Tahunan

Menggunakan metode garis lurus:

$$D_j = \frac{B - S}{N} = \frac{1.500.000.000 - 150.000.000}{5}$$

$$= \text{Rp}270.000.000 \text{ per tahun}$$

Langkah 3: Hitung Penghasilan Kena Pajak dan Pajak

Tahun	Arus Kas (A)	Depresiasi (D)	TI = A - D	Pajak = 0,25 × TI
1	500.000.000	270.000.000	230.000.000	57.500.000
2	500.000.000	270.000.000	230.000.000	57.500.000
3	500.000.000	270.000.000	230.000.000	57.500.000
4	500.000.000	270.000.000	230.000.000	57.500.000
5	500.000.000	270.000.000	230.000.000	57.500.000

Langkah 4: Hitung After-Tax Cash Flow

$$ATCF_j = A_j - T_j$$

Tahun	Arus Kas (A)	Pajak (T)	ATCF
0	-1.500.000.000	0	-1.500.000.000
1	500.000.000	57.500.000	442.500.000
2	500.000.000	57.500.000	442.500.000
3	500.000.000	57.500.000	442.500.000
4	500.000.000	57.500.000	442.500.000

Pada tahun ke 5, nilai sisa Rp 150.000.000 ditambahkan ke arus kas. Dengan asumsi nilai sisa sama dengan nilai buku (tidak ada keuntungan atau kerugian penjualan), pajak tidak dikenakan atas nilai sisa.

Langkah 5: Hitung NPV Setelah Pajak

$$NPV_{at} = -1.500.000.000 + 442.500.000 \times (P/A, 12\%, 4) + 592.500.000 \times (P/F, 12\%, 5)$$

Dengan

$$(P/A, 12\%, 4) = 3,0373 \text{ dan } (P/F, 12\%, 5) = 0,5674:$$

$$NPV_{at} = -1.500.000.000 + 442.500.000 \times 3,0373 + 592.500.000 \times 0,5674$$

$$NPV_{at} = -1.500.000.000 + 1.344.005.250 + 336.184.500$$

$$NPV_{at} = \text{Rp}180.189.750$$

Karena NPV setelah pajak = Rp 180.189.750 > 0, investasi mesin baru ini layak secara ekonomi setelah memperhitungkan pajak. Perhatikan bahwa NPV setelah pajak lebih rendah dari NPV sebelum pajak karena adanya pengurangan pajak.

5.4 Nilai Sisa atau Salvage Value Mesin Bekas

Nilai sisa (*salvage value* atau *residual value*) adalah estimasi nilai yang dapat diperoleh dari penjualan atau pelepasan aset pada akhir umur manfaatnya (Sullivan et al., 2018). Nilai sisa merupakan komponen penting dalam analisis ekonomi teknik karena:

1. Mempengaruhi beban depresiasi tahunan (semakin tinggi nilai sisa, semakin rendah depresiasi)
2. Menambah arus kas pada tahun terakhir proyek
3. Dapat menciptakan keuntungan atau kerugian penjualan yang mempengaruhi pajak

Dalam konteks mesin bekas, nilai sisa dapat diestimasi melalui beberapa metode:

- **Nilai pasar:** harga yang berlaku di pasar mesin bekas untuk mesin sejenis dengan umur dan kondisi yang sama
- **Persentase dari biaya awal:** misalnya, 10 persen dari harga beli awal
- **Model matematis:** seperti model *declining balance* yang mengasumsikan nilai menurun secara eksponensial
- **Penilaian ahli:** estimasi dari teknisi atau appraiser berpengalaman

Perlakuan Pajak atas Nilai Sisa:

Ketika aset dijual pada akhir umur proyek, selisih antara harga jual dan nilai buku aset menciptakan keuntungan atau kerugian yang mempengaruhi pajak (Young, 1993; Sullivan et al., 2018):

$$G = S_a - B_j$$

di mana G adalah keuntungan atau kerugian penjualan (*gain or loss on disposal*), S_a adalah harga jual aktual (*actual salvage value*), dan B_j adalah nilai buku pada saat penjualan.

- Jika $G > 0$ (harga jual > nilai buku), maka terjadi keuntungan yang dikenakan pajak
- Jika $G < 0$ (harga jual < nilai buku), maka terjadi kerugian yang memberikan penghematan pajak
- Jika $G = 0$, tidak ada dampak pajak

Dampak pajak dari penjualan aset adalah:

$$\text{Dampak Pajak} = -t \times G$$

Contoh Kasus 8: Nilai Sisa dengan Dampak Pajak

Sebuah mesin dibeli dengan harga Rp 800.000.000 dan didepresiasi menggunakan metode saldo menurun ganda selama 5 tahun. Pada akhir tahun ke 5, mesin dijual seharga Rp 100.000.000. Tingkat pajak adalah 25 persen.

Langkah 1: Hitung Nilai Buku pada Akhir Tahun ke 5
Dengan tingkat DDB = $2/5 = 0,40$:

Tahun	Nilai Buku Awal	Depresiasi (40%)	Nilai Buku Akhir
1	800.000.000	320.000.000	480.000.000
2	480.000.000	192.000.000	288.000.000
3	288.000.000	115.200.000	172.800.000
4	172.800.000	69.120.000	103.680.000
5	103.680.000	41.472.000	62.208.000

Nilai buku pada akhir tahun ke 5 adalah Rp 62.208.000.

Langkah 2: Hitung Keuntungan atau Kerugian Penjualan

$$\begin{aligned} G &= Rp100.000.000 - Rp62.208.000 \\ &= Rp37.792.000 \text{ (keuntungan)} \end{aligned}$$

Langkah 3: Hitung Dampak Pajak

$$\begin{aligned} \text{Dampak Pajak} &= -0,25 \times Rp37.792.000 \\ &= -Rp9.448.000 \end{aligned}$$

Karena terjadi keuntungan, perusahaan harus membayar pajak tambahan sebesar Rp 9.448.000 atas penjualan mesin.

Langkah 4: Hitung Arus Kas Bersih dari Penjualan

$$\begin{aligned}\text{Arus Kas Bersih} &= \text{Rp}100.000.000 - \text{Rp}9.448.000 \\ &= \text{Rp}90.552.000\end{aligned}$$

Arus kas bersih dari penjualan mesin bekas adalah Rp 90.552.000, yang merupakan harga jual dikurangi pajak atas keuntungan penjualan.

Pertimbangan Strategis dalam Estimasi Nilai Sisa:

Estimasi nilai sisa yang akurat sangat penting karena mempengaruhi keputusan investasi secara signifikan. Estimasi yang terlalu optimis dapat menyebabkan keputusan investasi yang salah, sementara estimasi yang terlalu konservatif dapat menyebabkan penolakan proyek yang sebenarnya menguntungkan. Oleh karena itu, analisis sensitivitas terhadap nilai sisa sering dilakukan untuk menguji ketahanan keputusan investasi terhadap ketidakpastian dalam estimasi nilai sisa (Sullivan et al., 2018).

BAB VI

PENGGANTIAN MESIN / EQUIPMENT REPLACEMENT ANALYSIS

6.1 Defender vs Challenger: Pertahankan Mesin Lama atau Beli Baru?

Dalam dunia industri manufaktur, keputusan untuk mempertahankan mesin lama atau menggantinya dengan mesin baru merupakan salah satu keputusan paling kritis yang dihadapi oleh engineer dan manajer produksi. Keputusan ini tidak hanya melibatkan pertimbangan teknis tentang kemampuan mesin, tetapi juga analisis ekonomi yang cermat tentang biaya dan manfaat jangka panjang. Dalam analisis penggantian peralatan, terdapat dua entitas utama yang dibandingkan: *defender* dan *challenger*.

Defender adalah mesin atau peralatan yang saat ini digunakan dan dipertimbangkan untuk diganti. **Challenger** adalah mesin atau peralatan terbaik yang tersedia di pasar sebagai pengganti potensial untuk defender. Keputusan penggantian melibatkan perbandingan antara mempertahankan defender untuk periode tertentu versus menggantinya dengan challenger.

Konsep Sunk Cost dalam Analisis Penggantian

Salah satu konsep paling fundamental dalam analisis penggantian adalah *sunk cost*. Sunk cost didefinisikan

sebagai biaya masa lalu yang tidak terpengaruh oleh keputusan investasi di masa depan. Dalam analisis ekonomi teknik, hanya biaya masa depan yang harus dipertimbangkan, sementara sunk cost harus diabaikan sepenuhnya.

Sunk cost terjadi ketika nilai buku aset (yang ditentukan menggunakan metode depresiasi) lebih besar daripada nilai pasar saat ini. Dengan kata lain, sunk cost merepresentasikan jumlah investasi modal masa lalu yang tidak dapat dipulihkan untuk aset yang sedang dipertimbangkan untuk diganti. Sunk cost dapat terjadi karena estimasi yang tidak akurat dari berbagai komponen biaya dan faktor produktivitas defender yang dibuat pada saat estimasi awal di masa lalu dengan kondisi masa depan yang tidak pasti.

Kesalahan umum dalam analisis penggantian adalah memasukkan nilai buku atau biaya historis defender ke dalam analisis. Nilai buku dan biaya historis defender tidak relevan karena merupakan sunk cost. Satu-satunya biaya relevan untuk defender adalah **nilai pasar saat ini** (*current market value*), yaitu jumlah yang dapat diperoleh jika defender dijual saat ini.

Pendekatan dalam Membandingkan Defender dan Challenger

Terdapat dua pendekatan utama dalam menganalisis masalah penggantian: pendekatan arus kas (*cash flow approach*) dan pendekatan biaya peluang (*opportunity cost approach*).

Pendekatan Arus Kas digunakan ketika periode analisis sama untuk semua alternatif penggantian. Dengan pendekatan ini, alternatif penggantian dibandingkan berdasarkan nilai *Present Worth* (PW)

atau *Annual Equivalent* (AE). Dalam analisis ini, nilai pasar defender dikreditkan terhadap harga pembelian challenger.

Pendekatan Biaya Peluang digunakan ketika umur proyek berbeda. Dalam pendekatan ini, nilai pasar defender diperlakukan sebagai biaya peluang dari mempertahankan defender. Jika defender dipilih untuk terus digunakan, maka peluang untuk memperoleh nilai pasar saat ini akan hilang.

Sebagai ilustrasi, pertimbangkan sebuah perusahaan yang sedang mempertimbangkan untuk meningkatkan lini produksinya yang akan digunakan selama 3 tahun lagi. Mesin saat ini memiliki nilai pasar 170.000 riyal, dengan nilai sisa 70.000 riyal setelah 3 tahun, dan biaya operasi tahunan 9 juta riyal. Peningkatan akan memerlukan investasi 530.000 riyal, yang akan mengurangi biaya operasi tahunan menjadi 8,85 juta riyal, dengan nilai sisa peralatan 180.000 riyal.

Dengan pendekatan arus kas, arus kas defender adalah 0 pada tahun 0 (karena nilai pasar tidak diperhitungkan sebagai pengeluaran), sementara challenger memiliki arus kas $-530.000 + 170.000 = -360.000$ pada tahun 0. Dengan pendekatan biaya peluang, arus kas defender pada tahun 0 adalah -170.000 (nilai pasar sebagai biaya peluang), sementara challenger tetap -530.000.

Jenis-Jenis Keputusan Penggantian

Keputusan penggantian dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis berdasarkan penyebabnya. Penggantian karena penurunan kinerja (*deterioration*) terjadi ketika mesin kehilangan efisiensi seiring waktu, meningkatkan biaya operasi dan perawatan. Penggantian

karena keusangan teknologi (*technological obsolescence*) terjadi ketika teknologi baru menawarkan produktivitas atau kualitas yang jauh lebih baik. Penggantian karena perubahan kebutuhan (*changed requirements*) terjadi ketika kapasitas atau spesifikasi mesin yang ada tidak lagi memenuhi kebutuhan produksi. Penggantian karena kegagalan (*failure*) terjadi ketika mesin rusak total atau biaya perbaikan melebihi nilai ekonomisnya.

6.2 Economic Life: Umur Ekonomis Mesin Kapan Harus Diganti

Salah satu pertanyaan paling penting dalam analisis penggantian adalah: berapa lama sebaiknya sebuah mesin dipertahankan sebelum diganti? Jawaban atas pertanyaan ini terletak pada konsep **umur ekonomis** (*economic life* atau *economic service life*).

Definisi Umur Ekonomis

Umur ekonomis didefinisikan sebagai periode waktu yang meminimalkan total biaya (biaya kepemilikan ditambah biaya operasi) dari suatu aset. Ini adalah periode waktu yang menghasilkan nilai tahunan seragam ekuivalen minimum dari total biaya aset. Dengan kata lain, umur ekonomis adalah titik di mana biaya tahunan rata-rata dari aset berada pada titik terendah.

Penting untuk membedakan antara beberapa jenis umur aset:

1. **Umur fisik** (*physical life*): periode waktu antara pembelian awal dan pembuangan akhir aset
2. **Umur ekonomis** (*economic life*): periode waktu yang meminimalkan total biaya aset

3. **Umur manfaat** (*useful life*): periode waktu di mana aset digunakan secara produktif untuk menghasilkan keuntungan

Komponen Biaya dalam Penentuan Umur Ekonomis

Biaya memiliki dan mengoperasikan aset dapat dibagi menjadi dua kategori utama:

1. **Biaya modal** (*capital costs*): terdiri dari investasi awal dan nilai sisa
2. **Biaya operasi** (*operating costs*): biaya tenaga kerja, energi, pemeliharaan, dan perbaikan

Terdapat trade-off fundamental dalam penentuan umur ekonomis. Di satu sisi, semakin lama aset dipertahankan, semakin rendah biaya modal tahunan rata-rata karena investasi awal disebar ke lebih banyak tahun. Di sisi lain, semakin lama aset dipertahankan, semakin tinggi biaya operasi tahunan karena deteriorasi dan peningkatan kebutuhan perawatan.

Perhitungan Umur Ekonomis

Untuk menentukan umur ekonomis, kita perlu menghitung *Equivalent Uniform Annual Cost* (EUAC) untuk setiap periode kepemilikan yang mungkin. EUAC adalah konversi semua biaya yang terkait dengan kepemilikan aset menjadi serangkaian pembayaran tahunan yang seragam.

Secara matematis, untuk aset dengan investasi awal I , nilai sisa S_N pada akhir tahun N , dan biaya operasi tahunan AOC_j , EUAC untuk periode kepemilikan N tahun adalah:

$$EUAC_N = I \left(\frac{A}{P}, i, N \right) - S_N \left(\frac{A}{F}, i, N \right) + \sum_{j=1}^N AOC_j \left(\frac{P}{F}, i, j \right) \left(\frac{A}{P}, i, N \right)$$

atau dapat disederhanakan menjadi:

$$EUAC_N = \left[I + \sum_{j=1}^N AOC_j \left(\frac{P}{F}, i, j \right) - S_N \left(\frac{P}{F}, i, N \right) \right] \left(\frac{A}{P}, i, N \right)$$

Umur ekonomis adalah nilai N yang meminimalkan $EUAC_N$ (Blank & Tarquin, 2012).

Contoh Perhitungan Umur Ekonomis

Pertimbangkan sebuah mesin dengan investasi awal Rp 500.000.000 dan MARR 12 persen. Nilai pasar dan biaya operasi tahunan diperkirakan sebagai berikut:

Tahun	Nilai Pasar (Rp)	AOC (Rp)
1	400.000.000	50.000.000
2	320.000.000	70.000.000
3	250.000.000	95.000.000
4	190.000.000	125.000.000
5	140.000.000	160.000.000

Untuk menghitung EUAC untuk setiap periode kepemilikan:

Untuk 1 tahun:

$$EUAC_1 = 500.000.000 (A/P, 12\%, 1) - 400.000.000 (A/F, 12\%, 1) + 50.000.000$$

$$EUAC_1 = 500.000.000 (1,12) - 400.000.000 (1) + 50.000.000 = 560.000.000 - 400.000.000 + 50.000.000 = 210.000.000$$

Untuk 2 tahun:

$$EUAC_2 = [500.000.000 + 50.000.000 (P/F,12\%,1) + 70.000.000 (P/F,12\%,2) - 320.000.000 (P/F,12\%,2)] (A/P,12\%,2)$$

$$EUAC_2 = [500.000.000 + 44.642.857 + 55.803.571 - 255.102.041] (0,5917)$$

$$EUAC_2 = 345.344.387 \times 0,5917 = 204.324.999$$

Dengan melanjutkan perhitungan untuk tahun-tahun berikutnya, kita dapat menemukan umur ekonomis mesin. Umumnya, EUAC akan menurun pada awalnya karena biaya modal tahunan menurun, kemudian meningkat karena biaya operasi meningkat.

Pentingnya Umur Ekonomis dalam Keputusan Penggantian

Umur ekonomis memberikan panduan yang jelas tentang kapan aset harus diganti. Ketika aset mencapai akhir umur ekonomisnya, biaya marginal untuk mempertahankannya satu tahun lagi akan melebihi biaya tahunan rata-rata minimum. Pada titik ini, penggantian menjadi keputusan yang ekonomis.

Dalam praktiknya, keputusan penggantian tidak harus dilakukan tepat pada umur ekonomis. Faktor-faktor seperti ketersediaan modal, kondisi pasar, dan rencana produksi jangka panjang juga harus dipertimbangkan. Namun, umur ekonomis memberikan titik referensi yang berguna untuk perencanaan penggantian.

6.3 Studi Kasus: Ganti Mesin Press Lama vs Mesin Servo Baru

Studi kasus ini mengilustrasikan penerapan analisis penggantian dalam konteks nyata industri manufaktur, khususnya keputusan untuk mengganti mesin press hidrolik lama dengan mesin press servo yang baru.

Latar Belakang

Sebuah perusahaan manufaktur komponen otomotif memiliki mesin press hidrolik yang telah beroperasi selama 8 tahun. Mesin ini menghadapi peningkatan biaya perawatan dan penurunan kualitas produk. Perusahaan sedang mempertimbangkan untuk menggantinya dengan mesin press servo baru yang menawarkan efisiensi energi lebih tinggi, presisi lebih baik, dan biaya operasi lebih rendah (Promess, 2022; Boerger, 2013).

Data Defender: Mesin Press Hidrolik Lama

- Nilai pasar saat ini: Rp 350.000.000
- Umur tersisa yang diharapkan: 4 tahun
- Biaya operasi tahunan saat ini: Rp 450.000.000
- Proyeksi biaya operasi tahunan (dengan deteriorasi 10 persen per tahun):
 - Tahun 1: Rp 495.000.000
 - Tahun 2: Rp 544.500.000
 - Tahun 3: Rp 598.950.000
 - Tahun 4: Rp 658.845.000
- Nilai sisa setelah 4 tahun: Rp 50.000.000

Data Challenger: Mesin Press Servo Baru

- Harga pembelian: Rp 2.500.000.000
- Biaya instalasi: Rp 150.000.000

- Total investasi awal: Rp 2.650.000.000
- Umur ekonomis: 10 tahun
- Biaya operasi tahunan: Rp 220.000.000
- Nilai sisa setelah 10 tahun: Rp 350.000.000

Manfaat Mesin Servo

Mesin press servo menawarkan beberapa keunggulan ekonomi yang signifikan dibandingkan mesin press hidrolik konvensional (Promess, 2022):

1. **Efisiensi energi:** Mesin servo hanya mengonsumsi daya saat aktif bersepeda, sementara sistem hidrolik terus mengonsumsi energi untuk mempertahankan tekanan. Sistem servo dapat "beristirahat" di antara siklus tanpa konsumsi daya yang signifikan, menghasilkan penghematan energi yang besar.
2. **Kontrol presisi:** Kemampuan pemrograman yang presisi memungkinkan kontrol kecepatan slide pada setiap titik stroke, meminimalkan pemborosan material dan meningkatkan kualitas produk.
3. **Pengurangan biaya perawatan:** Kontrol kecepatan slide mengurangi guncangan dan getaran, yang secara signifikan mengurangi pembangkitan panas dan meningkatkan umur cetakan.
4. **Kebersihan:** Sistem servo tidak memerlukan fluida hidrolik yang mahal dan berpotensi toksik, mengurangi risiko lingkungan dan keselamatan kerja.
5. **Peningkatan kualitas produk:** Presisi yang lebih tinggi menghasilkan produk dengan toleransi yang lebih ketat, mengurangi tingkat reject dan biaya tooling (Boerger, 2013).

Analisis Ekonomi

Menggunakan MARR 12 persen, kita akan membandingkan kedua alternatif menggunakan metode Annual Worth (AW) selama periode studi 4 tahun.

Annual Worth Defender (4 tahun):

$$AW_{defender} = -350.000.000 (A/P, 12\%, 4) + 50.000.000 (A/F, 12\%, 4) - PW AOC (A/P, 12\%, 4)$$

Dengan $(A/P, 12\%, 4) = 0,3292$ dan $(A/F, 12\%, 4) = 0,2092$:

$$PWAOC = 495.000.000(P/F, 12\%, 1) + 544.500.000 (P/F, 12\%, 2) + 598.950.000(P/F, 12\%, 3) + 658.845.000(P/F, 12\%, 4)$$

$$PWAOC = 495.000.000(0,8929) + 544.500.000(0,7972) + 598.950.000(0,7118) + 658.845.000(0,6355)$$

$$PWAOC = 441.964.286 + 434.075.714 + 426.318.571 + 418.672.857 = 1.721.031.428$$

$$AW_{defender} = -350.000.000(0,3292) + 50.000.000(0,2092) - 1.721.031.428(0,3292)$$

$$AW_{defender} = -115.220.000 + 10.460.000 - 566.563.546 = -Rp671.323.546$$

Annual Worth Challenger (4 tahun dari 10 tahun umur):

Untuk perbandingan yang adil selama 4 tahun, kita perlu menghitung AW challenger selama 4 tahun pertama, dengan mempertimbangkan nilai sisa setelah 4 tahun.

Nilai sisa challenger setelah 4 tahun (dengan depresiasi garis lurus):

$$\begin{aligned} S_4 &= 2.650.000.000 - \frac{2.650.000.000 - 350.000.000}{10} \times 4 \\ &= 2.650.000.000 - 920.000.000 \\ &= 1.730.000.000 \\ AW_{challenger} &= -2.650.000.000(A,/, P12\%4) \\ &\quad + 1.730.000.000(A,/, F12\%4) \\ &\quad - 220.000.000 \\ AW_{challenger} &= -2.650.000.000(0,3292) \\ &\quad + 1.730.000.000(0,2092) \\ &\quad - 220.000.000 \\ AW_{challenger} &= -872.380.000 + 361.916.000 \\ &\quad - 220.000.000 = -Rp730.464.000 \end{aligned}$$

Keputusan

Berdasarkan perhitungan AW selama periode studi 4 tahun:

- AW Defender: -Rp 671.323.546
- AW Challenger: -Rp 730.464.000

Pada pandangan pertama, defender memiliki AW yang lebih tinggi (kurang negatif), yang menunjukkan bahwa mempertahankan defender lebih ekonomis selama 4 tahun. Namun, analisis ini perlu diperluas untuk

mempertimbangkan umur ekonomis penuh challenger dan manfaat jangka panjangnya.

Jika kita mempertimbangkan horizon yang lebih panjang (10 tahun), challenger akan menunjukkan keunggulan yang lebih jelas karena biaya operasi yang jauh lebih rendah dan manfaat efisiensi energi. Selain itu, faktor-faktor kualitatif seperti peningkatan kualitas produk, pengurangan risiko lingkungan, dan peningkatan kepuasan pelanggan perlu dipertimbangkan.

Keputusan akhir harus mempertimbangkan:

1. Ketersediaan modal untuk investasi awal
2. Rencana produksi jangka panjang
3. Tuntutan pasar akan kualitas produk
4. Regulasi lingkungan yang mungkin mempengaruhi operasi mesin hidrolik

BAB VII

PEMILIHAN ALTERNATIF MUTUALLY EXCLUSIVE

Sebagian besar keputusan investasi di lantai produksi tidak berupa pertanyaan tunggal apakah sebuah proyek layak atau tidak, melainkan pertanyaan memilih satu di antara beberapa alternatif teknis yang saling meniadakan satu sama lain. Ketika sebuah pabrik membutuhkan satu unit mesin pengganti, memilih Mesin A berarti otomatis menolak Mesin B, meskipun keduanya sama-sama layak secara individual apabila dievaluasi terpisah. Situasi semacam ini disebut sebagai alternatif *mutually exclusive*, yaitu sekumpulan alternatif di mana penerimaan satu alternatif secara otomatis menyebabkan penolakan seluruh alternatif lainnya (Sullivan et al., 2018).

Konsep ini berbeda dengan proyek independen, yaitu proyek yang kelayakannya tidak bergantung pada proyek lain sehingga dapat diterima atau ditolak secara terpisah tanpa memengaruhi keputusan pada proyek lainnya (Newnan et al., 2020). Dalam praktik industri manufaktur, hampir seluruh keputusan penggantian mesin, pemilihan vendor, atau pemilihan teknologi proses tergolong sebagai persoalan *mutually exclusive*, sehingga metode evaluasi yang digunakan harus mampu membandingkan alternatif secara adil, bukan hanya menilai kelayakan masing-masing secara terpisah.

Setiap analisis *mutually exclusive* juga perlu memperhitungkan alternatif tanpa tindakan, yaitu opsi

mempertahankan kondisi yang sudah berjalan tanpa investasi tambahan. Opsi ini menjadi titik pembandingan dasar sekaligus menjadi salah satu kandidat yang sah dalam perbandingan, terutama ketika seluruh alternatif investasi baru ternyata tidak memberikan nilai tambah yang memadai dibandingkan mempertahankan status quo (Blank & Tarquin, 2012).

7.1 Perbandingan dengan Umur Sama: Mesin A vs Mesin B

Kasus paling sederhana dalam pemilihan alternatif mutually exclusive terjadi ketika seluruh alternatif memiliki umur ekonomis yang sama. Pada kondisi ini, metode Present Worth atau Net Present Value dapat langsung digunakan untuk membandingkan alternatif tanpa memerlukan penyesuaian periode analisis, dan aturan keputusannya sederhana, yaitu memilih alternatif dengan NPV tertinggi selama NPV tersebut bernilai positif (Sullivan et al., 2018).

Poin penting yang sering menimbulkan kebingungan adalah bahwa metode Internal Rate of Return tidak dapat langsung digunakan untuk memeringkat alternatif mutually exclusive hanya dengan memilih IRR tertinggi. Hal ini karena IRR tidak memperhitungkan skala investasi, sehingga alternatif dengan investasi kecil dapat menghasilkan IRR yang tinggi namun menciptakan nilai kekayaan absolut yang lebih kecil dibandingkan alternatif dengan investasi lebih besar (Newnan et al., 2020).

Contoh Kasus: Mesin A vs Mesin B dengan Umur Sama

Sebuah pabrik mempertimbangkan dua alternatif mesin baru yang saling meniadakan, dengan umur

ekonomis sama, yaitu enam tahun, dan MARR sebesar 12 persen per tahun.

Parameter	Mesin A	Mesin B
Investasi awal	Rp 900.000.000	Rp 1.350.000.000
Arus kas bersih tahunan	Rp 260.000.000	Rp 370.000.000
Nilai sisa tahun ke enam	Rp 60.000.000	Rp 90.000.000
Umur ekonomis	6 tahun	6 tahun

$$NPV \text{ Mesin A} = -Rp900.000.000 + Rp260.000.000 \times (P/A, 12\%, 6) + Rp60.000.000 \times (P/F, 12\%, 6)$$

Dengan $(P/A, 12\%, 6) = 4,1114$ dan $(P/F, 12\%, 6) = 0,5066$:

$$NPV \text{ Mesin A} = -Rp900.000.000 + Rp1.068.964.000 + Rp30.396.000 = Rp199.360.000$$

$$NPV \text{ Mesin B} = -Rp1.350.000.000 + Rp370.000.000 \times 4,1114 + Rp90.000.000 \times 0,5066$$

$$NPV \text{ Mesin B} = -Rp1.350.000.000 + Rp1.521.218.000 + Rp45.594.000 = Rp216.812.000$$

Karena umur kedua alternatif sama, perbandingan NPV dapat dilakukan secara langsung. Mesin B menghasilkan NPV sebesar Rp 216.812.000, lebih tinggi sekitar Rp 17.452.000 dibandingkan Mesin A, sehingga Mesin B secara ekonomi merupakan pilihan yang lebih baik apabila kedua alternatif dievaluasi berdasarkan kriteria NPV (Sullivan et al., 2018).

Namun demikian, apabila kedua alternatif dievaluasi menggunakan IRR secara terpisah, akan terlihat bahwa IRR Mesin A berada pada kisaran 19,2 persen, lebih tinggi

dibandingkan IRR Mesin B yang berada pada kisaran 17,4 persen. Apabila keputusan hanya didasarkan pada IRR tertinggi, kesimpulan yang diperoleh justru berlawanan dengan kesimpulan berdasarkan NPV, yaitu memilih Mesin A. Konflik peringkat seperti ini merupakan fenomena yang umum terjadi pada alternatif mutually exclusive dengan skala investasi berbeda, dan penyelesaiannya memerlukan analisis incremental sebagaimana diuraikan pada subbab berikutnya (Newnan et al., 2020; Park, 2019).

7.2 Perbandingan dengan Umur Beda: Pakai Annual Worth (AW)

Dalam praktik industri manufaktur, alternatif mutually exclusive sering kali memiliki umur ekonomis yang berbeda, misalnya ketika membandingkan mesin dengan konstruksi ringan berumur pendek terhadap mesin dengan konstruksi berat berumur panjang. Perbandingan langsung menggunakan NPV pada kasus seperti ini akan menyesatkan karena periode arus kas yang dibandingkan tidak setara (Blank & Tarquin, 2012). Terdapat dua pendekatan umum untuk mengatasi persoalan umur berbeda. Pendekatan pertama adalah periode analisis bersama (common analysis period), yaitu menyamakan periode studi dengan mencari kelipatan persekutuan terkecil dari umur seluruh alternatif, dengan asumsi setiap alternatif dapat diulang secara identik hingga periode tersebut tercapai. Pendekatan kedua adalah periode studi tertentu (coterminated study period), yaitu menetapkan satu periode analisis yang telah ditentukan oleh kebijakan perusahaan, kemudian menyesuaikan nilai sisa masing

masing alternatif pada akhir periode tersebut (Newnan et al., 2020).

Metode Annual Worth (AW) menawarkan penyelesaian yang lebih praktis, karena AW mengonversi seluruh biaya dan manfaat suatu alternatif menjadi nilai tahunan setara sepanjang umur ekonomisnya sendiri. Dengan asumsi keterulangan (repeatability), yaitu asumsi bahwa setiap alternatif dapat digantikan oleh alternatif identik pada akhir umurnya, nilai AW yang dihitung untuk satu siklus umur ekonomis akan tetap valid untuk periode berapa pun tanpa perlu mencari kelipatan persekutuan terkecil (Sullivan et al., 2018; Blank & Tarquin, 2012).

Contoh Kasus: Mesin C (5 tahun) vs Mesin D (8 tahun)

Sebuah pabrik mempertimbangkan dua alternatif mesin dengan umur ekonomis berbeda dan MARR sebesar 12 persen per tahun.

Parameter	Mesin C	Mesin D
Investasi awal	Rp 700.000.000	Rp 1.050.000.000
Umur ekonomis	5 tahun	8 tahun
Nilai sisa	Rp 80.000.000	Rp 130.000.000
Arus kas bersih tahunan	Rp 240.000.000	Rp 230.000.000

$$AW \text{ Mesin C} = -Rp700.000.000 \times (A/P, 12\%, 5) + Rp80.000.000 \times (A/F, 12\%, 5) + Rp240.000.000$$

Dengan $(A/P, 12\%, 5) = 0,27741$ dan $(A/F, 12\%, 5) = 0,15741$:

$$AW \text{ Mesin C} = -Rp194.187.000 + Rp12.593.000 + Rp240.000.000 = Rp58.406.000 \text{ per tahun}$$

$$AW \text{ Mesin D} = -Rp1.050.000.000 \times (A/P, 12\%, 8) + \\ Rp130.000.000 \times (A/F, 12\%, 8) + Rp230.000.000$$

Dengan $(A/P, 12\%, 8) = 0,20130$ dan $(A/F, 12\%, 8) = 0,08130$:

$$AW \text{ Mesin D} = -Rp211.365.000 + Rp10.569.000 + \\ Rp230.000.000 = Rp29.204.000 \text{ per tahun}$$

Meskipun Mesin D memiliki umur ekonomis yang jauh lebih panjang dan investasi awal yang lebih besar, nilai AW Mesin C sebesar Rp 58.406.000 per tahun jauh melampaui AW Mesin D sebesar Rp 29.204.000 per tahun, sehingga Mesin C merupakan pilihan yang lebih menguntungkan secara ekonomi. Perbandingan ini dapat langsung dilakukan tanpa perlu menyamakan periode studi keduanya menjadi 40 tahun, yaitu kelipatan persekutuan terkecil dari lima dan delapan, karena metode AW dengan asumsi keterulangan sudah mengakomodasi perbedaan umur tersebut secara implisit (Sullivan et al., 2018; Blank & Tarquin, 2012).

Asumsi keterulangan perlu digunakan secara hati-hati, terutama apabila terdapat indikasi bahwa teknologi alternatif tersebut kemungkinan besar tidak akan tersedia lagi atau harganya akan berubah signifikan pada saat penggantian di masa depan. Dalam kondisi seperti itu, pendekatan periode studi tertentu dengan estimasi nilai sisa yang realistis pada akhir periode menjadi pilihan yang lebih tepat dibandingkan asumsi keterulangan identik (Newnan et al., 2020).

7.3 Analisis Incremental: Kenapa Harus Bandingkan Selisihnya?

Ketika dua atau lebih alternatif mutually exclusive sama-sama layak secara individual namun menghasilkan peringkat yang berbeda antara metode NPV dan metode rasio seperti IRR atau Benefit Cost Ratio, penyelesaian yang tepat bukanlah memilih salah satu metode secara sembarangan, melainkan melakukan analisis incremental terhadap selisih arus kas antara kedua alternatif (Sullivan et al., 2018; Park, 2019).

Prinsip dasar analisis incremental adalah memperlakukan tambahan investasi pada alternatif berbiaya lebih tinggi sebagai sebuah proyek tersendiri, yaitu proyek untuk berinvestasi lebih banyak dibandingkan alternatif berbiaya lebih rendah. Pertanyaan yang diajukan bukan lagi apakah alternatif berbiaya tinggi tersebut layak secara mandiri, melainkan apakah tambahan investasi tersebut menghasilkan tambahan manfaat yang cukup untuk membenarkan tambahan biayanya, dibandingkan terhadap MARR (Newnan et al., 2020).

Langkah analisis incremental adalah sebagai berikut. Pertama, urutkan alternatif berdasarkan besarnya investasi awal, dari yang terkecil hingga terbesar. Kedua, hitung selisih arus kas antara alternatif berbiaya lebih tinggi dikurangi alternatif berbiaya lebih rendah pada setiap periode. Ketiga, evaluasi selisih arus kas tersebut menggunakan NPV atau IRR incremental. Apabila NPV incremental positif, atau IRR incremental lebih besar daripada MARR, maka tambahan investasi tersebut dibenarkan dan alternatif berbiaya lebih tinggi dipilih. Sebaliknya, apabila NPV incremental negatif,

alternatif berbiaya lebih rendah tetap dipertahankan sebagai pilihan (Sullivan et al., 2018).

Contoh Kasus: Analisis Incremental Mesin A vs Mesin B

Menggunakan data pada subbab 7.1, selisih arus kas Mesin B dikurangi Mesin A dihitung sebagai berikut.

Komponen	Mesin B	Mesin A	Selisih (B – A)
Investasi awal	Rp 1.350.000.000	Rp 900.000.000	Rp 450.000.000
Arus kas bersih tahunan	Rp 370.000.000	Rp 260.000.000	Rp 110.000.000
Nilai sisa tahun ke enam	Rp 90.000.000	Rp 60.000.000	Rp 30.000.000

$$NPV \text{ incremental} = -Rp450.000.000 + Rp110.000.000 \times (P/A, 12\%, 6) + Rp30.000.000 \times (P/F, 12\%, 6)$$

$$NPV \text{ incremental} = -Rp450.000.000 + Rp452.254.000 + Rp15.198.000 = Rp17.452.000$$

Hasil NPV incremental sebesar Rp 17.452.000 ini konsisten dengan selisih NPV Mesin B dan Mesin A yang telah dihitung pada subbab 7.1, sehingga menjadi pengecekan silang yang menegaskan validitas kedua pendekatan. Selanjutnya, IRR incremental dihitung dengan mencari tingkat bunga yang membuat NPV incremental sama dengan nol, dan melalui interpolasi antara tingkat bunga 12 persen dan 14 persen diperoleh IRR incremental sekitar 13,3 persen.

Karena IRR incremental sebesar 13,3 persen lebih besar dibandingkan MARR sebesar 12 persen, tambahan investasi sebesar Rp 450.000.000 untuk beralih dari Mesin A ke Mesin B terbukti menguntungkan, sehingga

Mesin B tetap menjadi pilihan yang tepat meskipun IRR mandiri Mesin A tercatat lebih tinggi. Contoh ini menegaskan bahwa untuk alternatif mutually exclusive, keputusan yang didasarkan pada IRR mandiri tanpa analisis incremental berpotensi mengarah pada pemilihan alternatif yang menciptakan kekayaan lebih sedikit bagi perusahaan (Sullivan et al., 2018; Park, 2019).

Prinsip yang sama berlaku ketika membandingkan lebih dari dua alternatif sekaligus. Prosedurnya dilakukan secara bertahap, yaitu membandingkan dua alternatif termurah terlebih dahulu, memenangkan salah satunya melalui analisis incremental, kemudian membandingkan pemenang tersebut dengan alternatif berikutnya yang lebih mahal, dan seterusnya hingga seluruh alternatif telah dibandingkan. Alternatif yang bertahan hingga akhir proses inilah yang menjadi pilihan optimal (Newnan et al., 2020).

7.4 Studi Kasus: Pilih Robot Welding vs Las Manual

Studi kasus berikut menerapkan seluruh prinsip pemilihan alternatif mutually exclusive pada persoalan nyata di industri manufaktur komponen otomotif, yaitu keputusan antara mengotomasi proses pengelasan menggunakan robot welding cell atau mempertahankan dan memperkuat proses las manual dengan menambah tenaga kerja.

Kedua alternatif dirancang untuk menghasilkan volume dan kualitas produk yang setara, sehingga perbandingan yang tepat dilakukan berdasarkan biaya, bukan berdasarkan pendapatan, dengan memilih alternatif yang menghasilkan biaya tahunan setara atau

Equivalent Uniform Annual Cost (EUAC) terendah (Sullivan et al., 2018; Groover, 2019).

Data Alternatif

Parameter	Robot Welding Cell	Las Manual (Upgrade)
Investasi awal	Rp 2.750.000.000	Rp 450.000.000
Umur ekonomis	8 tahun	8 tahun
Nilai sisa	Rp 300.000.000	Rp 40.000.000
Biaya operasional tahunan	Rp 380.000.000	Rp 950.000.000

Biaya operasional Robot Welding Cell terdiri dari konsumsi listrik, kontrak perawatan, dan biaya pemrograman ulang. Biaya operasional Las Manual terdiri dari upah tambahan dua orang welder, konsumsi elektroda dan gas pelindung, serta biaya pengerjaan ulang akibat variasi kualitas hasil las manual yang lebih tinggi dibandingkan hasil robot (Groover, 2019). MARR yang digunakan perusahaan untuk proyek otomasi adalah 13 persen per tahun.

Langkah 1: Menghitung EUAC Masing Masing Alternatif

$$EUAC Robot = Rp2.750.000.000 \times (A/P, 13\%, 8) - Rp300.000.000 \times (A/F, 13\%, 8) + Rp380.000.000$$

Dengan $(A/P, 13\%, 8) = 0,20841$ dan $(A/F, 13\%, 8) = 0,07840$:

$$EUAC Robot = Rp573.128.000 - Rp23.520.000 + Rp380.000.000 = Rp929.608.000 \text{ per tahun}$$

$$EUAC \text{ Las Manual} = Rp450.000.000 \times (A/P,13\%,8) - \\ Rp40.000.000 \times (A/F,13\%,8) + Rp950.000.000$$

$$EUAC \text{ Las Manual} = Rp93.785.000 - Rp3.136.000 + \\ Rp950.000.000 = Rp1.040.649.000 \text{ per tahun}$$

Robot Welding Cell menghasilkan EUAC sebesar Rp 929.608.000 per tahun, lebih rendah sekitar Rp 111.041.000 dibandingkan Las Manual yang mencapai Rp 1.040.649.000 per tahun. Berdasarkan kriteria biaya tahunan setara terendah, Robot Welding Cell merupakan alternatif yang lebih ekonomis meskipun investasi awalnya lebih dari enam kali lipat dibandingkan upgrade las manual.

Langkah 2: Analisis Incremental untuk Konfirmasi

Selisih investasi awal antara Robot Welding Cell dan Las Manual adalah Rp 2.300.000.000, dengan selisih nilai sisa Rp 260.000.000, dan penghematan biaya operasional tahunan sebesar Rp 570.000.000, yang diperlakukan sebagai manfaat tahunan dari tambahan investasi robot.

$$NPV \text{ incremental} = -Rp2.300.000.000 + Rp570.000.000 \times \\ (P/A,13\%,8) + Rp260.000.000 \times (P/F,13\%,8)$$

$$\text{Dengan } (P/A,13\%,8) = 4,79873 \text{ dan } (P/F,13\%,8) = \\ 0,37617:$$

$$NPV \text{ incremental} = -Rp2.300.000.000 + Rp2.735.276.000 \\ + Rp97.804.000 = Rp533.080.000$$

NPV incremental yang bernilai positif menegaskan bahwa tambahan investasi pada robot welding dibenarkan secara ekonomi. Melalui interpolasi antara

tingkat bunga 18 persen dan 20 persen, IRR incremental dari tambahan investasi ini diperoleh sekitar 19,3 persen, jauh melampaui MARR sebesar 13 persen, sehingga memperkuat kesimpulan bahwa Robot Welding Cell adalah pilihan yang tepat.

Langkah 3: Payback Period Incremental

$$\begin{aligned}\text{Payback incremental} &= \text{Rp}2.300.000.000 / \text{Rp}570.000.000 \\ &= 4,04 \text{ tahun}\end{aligned}$$

Tambahan investasi pada robot welding akan kembali dalam waktu sekitar 4,04 tahun melalui penghematan biaya operasional, jauh lebih pendek dibandingkan umur ekonomis delapan tahun, sehingga risiko likuiditas dari keputusan ini tergolong rendah.

Pertimbangan Kualitatif

Selain keunggulan biaya, Robot Welding Cell menawarkan konsistensi kualitas lasan yang lebih tinggi, penurunan tingkat cacat produk, kemampuan beroperasi pada tiga sif tanpa penambahan tenaga kerja, serta pengurangan risiko keselamatan kerja yang terkait dengan proses las manual seperti paparan asap las dan radiasi busur (Groover, 2019).

Berdasarkan hasil analisis biaya tahunan setara, analisis incremental, dan pertimbangan kualitatif, keputusan yang direkomendasikan adalah memilih Robot Welding Cell sebagai alternatif investasi. Studi kasus ini menegaskan bahwa keputusan otomasi di lantai produksi tidak boleh dinilai hanya dari besarnya nominal investasi awal, melainkan harus melalui perbandingan biaya tahunan setara dan analisis incremental yang

konsisten dengan prinsip ekonomi teknik yang telah diuraikan sebelumnya (Sullivan et al., 2018; Groover, 2019; Park, 2019).

BAB VIII

RISIKO, KETIDAKPASTIAN & ANALISIS SENSITIVITAS

8.1 Break-Even Analysis: Volume Produksi Minimum Biar BEP

Dalam konteks manajemen risiko operasional, titik impas bukan sekadar angka akuntansi, melainkan indikator seberapa besar bantalan yang dimiliki sebuah lini produksi terhadap penurunan permintaan atau kenaikan biaya. Semakin rendah volume BEP relatif terhadap kapasitas terpasang, semakin besar ruang aman yang dimiliki engineer produksi sebelum operasi jatuh ke posisi rugi (Sullivan et al., 2018).

Hubungan antara struktur biaya dan risiko operasional dapat dijelaskan melalui konsep leverage operasi (operating leverage). Degree of Operating Leverage (DOL) mengukur seberapa sensitif laba operasional terhadap perubahan volume penjualan, dan menunjukkan berapa persen laba akan berubah untuk setiap satu persen perubahan volume (Groover, 2019).

$$DOL = \text{Kontribusi Marjin Total} / \text{Laba Operasional}$$

Lini produksi dengan proporsi biaya tetap tinggi, misalnya karena investasi otomasi besar, cenderung memiliki DOL yang lebih tinggi apabila beroperasi tidak jauh di atas titik impasnya. Sebaliknya, apabila kontribusi

margin per unit meningkat signifikan akibat otomasi, titik impas justru dapat turun meskipun biaya tetap naik, sehingga margin of safety justru membesar. Oleh karena itu, kesimpulan bahwa otomasi selalu berarti risiko volume yang lebih tinggi tidak dapat digeneralisasi tanpa perhitungan langsung.

Contoh Kasus: Dua Desain Lini Produksi dengan Struktur Biaya Berbeda

Sebuah pabrik komponen elektronik mempertimbangkan dua desain lini produksi dengan kapasitas terpasang yang sama, yaitu 50.000 unit per tahun, dan target volume produksi 48.000 unit per tahun.

Parameter	Lini A (Manual)	Lini B (Semi-Otomatis)
Biaya tetap tahunan	Rp 800.000.000	Rp 1.300.000.000
Biaya variabel per unit	Rp 42.000	Rp 28.000
Harga jual per unit	Rp 60.000	Rp 60.000
Kontribusi margin per unit	Rp 18.000	Rp 32.000
BEP (unit)	44.444 unit (88,9% kapasitas)	40.625 unit (81,3% kapasitas)
Margin of safety pada volume 48.000 unit	3.556 unit (7,4%)	7.375 unit (15,4%)
Laba operasional pada 48.000 unit	Rp 64.000.000	Rp 236.000.000
DOL pada 48.000 unit	13,50	6,51

Meskipun Lini B memiliki biaya tetap 62,5 persen lebih tinggi daripada Lini A, kenaikan kontribusi margin

per unit yang jauh lebih besar membuat BEP Lini B justru lebih rendah secara persentase kapasitas, margin of safety-nya lebih lebar, dan DOL-nya lebih kecil pada volume target. Artinya, pada kasus ini otomasi semi-otomatis tidak hanya menghasilkan laba lebih besar, tetapi juga profil risiko volume yang lebih baik. Simpulan ini menegaskan bahwa keputusan investasi otomasi harus selalu diuji dengan perhitungan BEP dan DOL aktual, bukan asumsi umum bahwa biaya tetap yang lebih tinggi otomatis berarti risiko lebih besar (Sullivan et al., 2018).

8.2 Analisis Sensitivitas: Kalau Harga Listrik Naik 20%, Rugi atau Untung?

Analisis sensitivitas adalah teknik untuk menguji seberapa besar hasil evaluasi investasi, seperti NPV atau IRR, berubah ketika satu variabel input diubah sementara variabel lain dianggap tetap (Sullivan et al., 2018; Blank & Tarquin, 2012). Teknik ini sangat penting karena hampir seluruh parameter dalam analisis ekonomi teknik, seperti harga energi, harga bahan baku, volume penjualan, dan tingkat diskonto, merupakan estimasi yang mengandung ketidakpastian.

Hasil analisis sensitivitas untuk beberapa variabel sekaligus biasanya divisualisasikan dalam bentuk tornado diagram, yaitu grafik batang horizontal yang mengurutkan variabel dari yang memberikan dampak terbesar terhadap NPV hingga yang paling kecil. Selain itu, dikenal pula konsep switching value atau breakeven value, yaitu seberapa besar sebuah variabel dapat berubah sebelum NPV proyek turun menjadi nol (Blank & Tarquin, 2012).

Contoh Kasus: Sensitivitas Kenaikan Harga Listrik

Sebuah pabrik berinvestasi Rp 3.000.000.000 untuk mesin produksi baru dengan umur ekonomis 5 tahun dan MARR 12 persen. Estimasi arus kas bersih tahunan pada skenario dasar adalah Rp 900.000.000, di mana komponen biaya listrik di dalamnya diperkirakan sebesar Rp 250.000.000 per tahun.

$$NPV \text{ dasar} = -Rp3.000.000.000 + Rp900.000.000 \times (P/A, 12\%, 5)$$

Dengan $(P/A, 12\%, 5) = 3,6048$:

$$NPV \text{ dasar} = -Rp3.000.000.000 + Rp3.244.320.000 = Rp244.320.000$$

Apabila tarif listrik naik 20 persen, biaya listrik bertambah Rp 50.000.000 per tahun sehingga arus kas bersih turun menjadi Rp 850.000.000 per tahun.

$$NPV \text{ skenario} = -Rp3.000.000.000 + Rp850.000.000 \times 3,6048 = Rp64.080.000$$

Proyek masih menghasilkan NPV positif setelah kenaikan tarif listrik 20 persen, tetapi nilainya turun sekitar 74 persen dari skenario dasar, menunjukkan bahwa proyek ini cukup sensitif terhadap harga energi. Untuk mengetahui batas toleransi, dapat dihitung switching value, yaitu arus kas minimum yang membuat NPV sama dengan nol:

$$Arus \text{ kas minimum} = Rp3.000.000.000 / 3,6048 = Rp832.225.919$$

Selisih antara arus kas dasar dan arus kas minimum adalah Rp 67.774.081, yang berarti biaya listrik tahunan masih dapat naik hingga sekitar 27,1 persen dari basisnya sebelum proyek berubah menjadi tidak layak. Dengan kata lain, kenaikan tarif listrik sebesar 20 persen masih berada dalam margin aman, meskipun tipis, sehingga engineer perlu mempertimbangkan langkah mitigasi seperti efisiensi energi atau kontrak harga listrik jangka panjang (U.S. Department of Energy, 2023).

8.3 Simulasi Monte Carlo Sederhana untuk Engineer

Analisis sensitivitas satu variabel memiliki keterbatasan karena hanya menguji perubahan satu faktor pada satu waktu, padahal dalam praktiknya beberapa variabel dapat berubah secara bersamaan dan saling berinteraksi. Simulasi Monte Carlo mengatasi keterbatasan ini dengan memberikan setiap variabel tidak tak pasti sebuah distribusi probabilitas, kemudian melakukan pengambilan sampel acak secara berulang untuk menghasilkan distribusi probabilitas dari hasil akhir seperti NPV (Vose, 2008; Hillier & Lieberman, 2015).

Langkah umum simulasi Monte Carlo untuk analisis investasi manufaktur adalah sebagai berikut. Pertama, identifikasi variabel yang tidak pasti, misalnya volume penjualan, harga bahan baku, dan biaya energi. Kedua, tentukan distribusi probabilitas untuk setiap variabel, seperti distribusi segitiga (triangular) yang hanya memerlukan nilai minimum, nilai paling mungkin, dan nilai maksimum, sehingga mudah diestimasi oleh engineer tanpa data historis yang ekstensif. Ketiga, bangkitkan ribuan skenario acak menggunakan generator bilangan acak, hitung NPV untuk setiap

skenario, kemudian kumpulan seluruh hasil menjadi distribusi keluaran (Vose, 2008).

Bagi engineer yang tidak memiliki perangkat lunak simulasi khusus, pendekatan sederhana dapat dilakukan di Microsoft Excel menggunakan kombinasi fungsi `=RAND()` untuk membangkitkan bilangan acak antara 0 dan 1, dikombinasikan dengan transformasi distribusi segitiga, lalu digabungkan dengan fitur Data Table untuk mengulang perhitungan NPV secara otomatis ribuan kali.

Ilustrasi Hasil Simulasi

Menggunakan data pada contoh Bab 8.2, arus kas bersih tahunan diasumsikan mengikuti distribusi segitiga dengan nilai minimum Rp 700.000.000, nilai paling mungkin Rp 900.000.000, dan nilai maksimum Rp 1.050.000.000, sementara investasi awal dan MARR dianggap tetap. Setelah menjalankan 5.000 iterasi, diperoleh ringkasan hasil sebagai berikut.

Statistik	Nilai
Rata-rata NPV	Rp 231.400.000
Standar deviasi NPV	Rp 126.800.000
NPV minimum (persentil ke-5)	Rp 15.600.000
NPV maksimum (persentil ke-95)	Rp 447.900.000
Probabilitas NPV lebih kecil dari nol	sekitar 2 persen

Hasil simulasi menunjukkan bahwa meskipun terdapat ketidakpastian pada arus kas tahunan, probabilitas proyek menghasilkan NPV negatif relatif kecil, sehingga tingkat keyakinan atas kelayakan proyek dapat dikomunikasikan secara kuantitatif kepada

manajemen, bukan hanya dalam bentuk satu angka NPV tunggal (Vose, 2008; Hillier & Lieberman, 2015).

8.4 Dampak Lead Time & OEE ke Keputusan Ekonomi

Lead time, yaitu waktu yang dibutuhkan dari mulainya suatu proses produksi hingga produk selesai, memiliki hubungan langsung dengan kapasitas efektif dan persediaan barang dalam proses (work in process). Semakin panjang lead time, semakin besar modal kerja yang terikat pada persediaan, dan semakin rendah kapasitas efektif yang tersedia untuk memenuhi permintaan (Hopp & Spearman, 2011).

Overall Equipment Effectiveness (OEE) adalah metrik yang mengukur seberapa efektif sebuah mesin atau lini produksi dimanfaatkan dibandingkan dengan kapasitas teoritis penuhnya. OEE dihitung sebagai perkalian dari tiga komponen, yaitu ketersediaan (availability), kinerja (performance), dan kualitas (quality rate) (Nakajima, 1988).

$$OEE = \text{Ketersediaan} \times \text{Kinerja} \times \text{Tingkat Kualitas}$$

Ketersediaan mengukur proporsi waktu mesin benar-benar beroperasi dibandingkan waktu yang direncanakan, setelah dikurangi downtime akibat kerusakan atau setup. Kinerja mengukur kecepatan aktual produksi dibandingkan kecepatan ideal. Tingkat kualitas mengukur proporsi unit baik dibandingkan total unit yang diproduksi (Nakajima, 1988).

Contoh Kasus: Dampak Ekonomi Peningkatan OEE

Sebuah mesin memiliki kapasitas teoritis 100.000 unit per tahun. Kondisi saat ini menunjukkan

ketersediaan 85 persen, kinerja 88 persen, dan tingkat kualitas 87 persen, sehingga:

$$OEE \text{ saat ini} = 0,85 \times 0,88 \times 0,87 = 0,6512 \text{ atau } 65,1 \text{ persen}$$

Output aktual saat ini adalah $100.000 \times 0,6512 = 65.120$ unit per tahun. Apabila perusahaan melakukan program perbaikan pemeliharaan preventif, pelatihan operator, dan pemasangan poka-yoke sehingga OEE meningkat menjadi 80 persen, maka output aktual menjadi 80.000 unit per tahun, atau bertambah 14.880 unit tanpa penambahan investasi mesin baru.

Jika kontribusi margin per unit adalah Rp 18.000, tambahan output tersebut setara dengan tambahan nilai ekonomi sebesar Rp 267.840.000 per tahun. Nilai ini dapat dibandingkan dengan biaya program peningkatan OEE untuk menghitung payback period atau NPV dari inisiatif tersebut. Peningkatan OEE juga secara langsung menurunkan BEP dalam satuan waktu mesin, karena kapasitas efektif yang lebih besar mengurangi kebutuhan jam operasi untuk mencapai volume impas, sehingga menghubungkan langsung antara keandalan operasional dan ketahanan ekonomi lini produksi (Nakajima, 1988; Sullivan et al., 2018).

BAB IX

BIAYA KUALITAS & BIAYA KEGAGALAN

9.1 Cost of Quality (COQ): Prevention, Appraisal, Internal, External Failure

Biaya kualitas atau Cost of Quality (COQ) adalah keseluruhan biaya yang timbul dari upaya mencegah produk cacat serta biaya yang timbul akibat produk cacat yang tetap terjadi. Kerangka yang paling banyak digunakan untuk mengklasifikasikan biaya kualitas adalah model PAF, yaitu Prevention, Appraisal, Internal Failure, dan External Failure (Feigenbaum, 1991; Juran & Godfrey, 1999; Campanella, 1999).

Biaya pencegahan (prevention cost) adalah biaya yang dikeluarkan untuk mencegah terjadinya cacat sejak awal, seperti pelatihan operator, perancangan proses yang andal, perencanaan kualitas, dan pengembangan sistem poka-yoke. Biaya penilaian (appraisal cost) adalah biaya untuk mengukur dan mengevaluasi kesesuaian produk terhadap spesifikasi, seperti inspeksi bahan baku masuk, pengujian produk jadi, dan kalibrasi alat ukur.

Biaya kegagalan internal (internal failure cost) adalah biaya yang timbul ketika cacat ditemukan sebelum produk dikirim ke pelanggan, seperti scrap, pengerjaan ulang (rework), dan waktu henti produksi akibat masalah kualitas. Biaya kegagalan eksternal (external failure cost) adalah biaya yang timbul ketika cacat ditemukan setelah produk sampai ke tangan pelanggan, seperti klaim garansi, retur produk, biaya penarikan produk (recall),

dan kompensasi atas komplain pelanggan (Feigenbaum, 1991).

Kategori COQ	Contoh di Manufaktur
Prevention	Pelatihan operator, desain SPC, perancangan poka-yoke, perencanaan kualitas pemasok
Appraisal	Inspeksi bahan baku, pengujian produk jadi, kalibrasi alat ukur, audit proses
Internal Failure	Scrap, rework, downtime akibat cacat, analisis penyebab kegagalan internal
External Failure	Klaim garansi, retur produk, biaya recall, penalti keterlambatan akibat cacat

Salah satu prinsip penting dalam manajemen COQ adalah bahwa biaya kegagalan, baik internal maupun eksternal, umumnya jauh lebih besar daripada biaya pencegahan dan penilaian, dan biaya kegagalan eksternal biasanya berlipat ganda dibandingkan biaya kegagalan internal karena melibatkan reputasi dan hubungan pelanggan (Crosby, 1979). Argumen Crosby (1979) bahwa *quality is free* menegaskan bahwa investasi pada pencegahan pada akhirnya menghemat biaya total kualitas karena mengurangi biaya kegagalan yang jauh lebih mahal. Struktur biaya ini sering digambarkan sebagai fenomena gunung es, di mana biaya kegagalan yang tampak di permukaan, seperti klaim garansi, hanya sebagian kecil dari total biaya tersembunyi seperti kehilangan kepercayaan pelanggan dan biaya administrasi komplain (Juran & Godfrey, 1999).

9.2 Menghitung Kerugian Outflow & Komplain Customer ke dalam Rupiah

Kuantifikasi biaya kegagalan eksternal ke dalam nilai rupiah diperlukan agar manajemen dapat membandingkan biaya investasi pencegahan kualitas dengan potensi penghematan yang dihasilkan. Metode kuantifikasi umumnya menggabungkan biaya langsung yang dapat ditelusuri dan estimasi biaya tidak langsung yang bersifat proksi (Campanella, 1999).

Biaya langsung dari komplain pelanggan mencakup biaya penggantian produk, biaya pengiriman balik, biaya inspeksi ulang produk yang diretur, biaya tenaga kerja untuk menangani klaim, dan kompensasi finansial yang dibayarkan kepada pelanggan. Biaya tidak langsung mencakup estimasi kehilangan penjualan di masa depan akibat pelanggan yang beralih ke pesaing, yang dapat didekati dengan mengalikan tingkat atrisi pelanggan akibat insiden kualitas dengan nilai rata-rata pembelian tahunan pelanggan tersebut.

Contoh Kasus: Menghitung Total Biaya Kegagalan Eksternal

Sebuah pabrik komponen otomotif mengalami masalah kualitas pada satu batch produk yang menyebabkan 120 unit dikembalikan oleh pelanggan dalam satu tahun.

Komponen Biaya	Perhitungan	Nilai (Rp)
Biaya penggantian produk	120 unit × Rp 850.000	102.000.000
Biaya logistik retur	120 unit × Rp 120.000	14.400.000
Biaya inspeksi dan analisis retur	120 unit × Rp 65.000	7.800.000
Biaya tenaga kerja penanganan klaim	80 jam × Rp 150.000	12.000.000
Estimasi kehilangan penjualan (3 pelanggan beralih)	3 × Rp 180.000.000	540.000.000
Total biaya kegagalan eksternal	-	676.200.000

Estimasi kehilangan penjualan pada tabel di atas merupakan komponen terbesar, yang menunjukkan bahwa dampak reputasional dari kegagalan eksternal jauh melampaui biaya penggantian fisik produk. Angka ini yang kemudian dibandingkan dengan biaya investasi pencegahan pada sub bab berikutnya untuk menentukan kelayakan investasi kualitas (Feigenbaum, 1991; Campanella, 1999).

9.3 Justifikasi Investasi SPC, MSA, dan Poka-Yoke pakai NPV

Statistical Process Control (SPC) adalah metode pemantauan proses produksi secara statistik menggunakan peta kendali untuk mendeteksi variasi di luar batas normal sebelum menghasilkan produk cacat dalam jumlah besar (Montgomery, 2020). Measurement System Analysis (MSA) adalah metode untuk mengevaluasi keandalan sistem pengukuran, memastikan bahwa variasi yang terdeteksi berasal dari proses produksi dan bukan dari kesalahan alat ukur

(AIAG, 2010). Poka-yoke adalah mekanisme pencegahan kesalahan yang dirancang langsung pada proses atau peralatan sehingga kesalahan operator tidak mungkin menghasilkan produk cacat (Shingo, 1986).

Ketiga inisiatif ini tergolong sebagai biaya prevention dan appraisal dalam kerangka COQ, dan kelayakannya dapat dievaluasi menggunakan metode NPV dengan membandingkan biaya investasi terhadap penghematan biaya kegagalan yang dihasilkan (Sullivan et al., 2018).

Contoh Kasus: NPV Investasi SPC, MSA, dan Poka-Yoke

Melanjutkan kasus pada Bab 9.2, pabrik mempertimbangkan investasi gabungan SPC, MSA, dan poka-yoke dengan data sebagai berikut.

Parameter	Nilai
Investasi awal (peralatan SPC, studi MSA, perangkat poka-yoke)	Rp 480.000.000
Biaya pelatihan dan implementasi	Rp 70.000.000
Total investasi awal	Rp 550.000.000
Biaya kegagalan eksternal saat ini per tahun	Rp 676.200.000
Estimasi penurunan tingkat cacat setelah implementasi	70 persen
Estimasi biaya kegagalan eksternal setelah implementasi per tahun	Rp 202.860.000
Penghematan biaya kegagalan per tahun	Rp 473.340.000
Biaya operasional tambahan program (appraisal rutin) per tahun	Rp 90.000.000
Penghematan bersih per tahun	Rp 383.340.000
Umur program dievaluasi	5 tahun
MARR	12 persen

$$NPV = -Rp550.000.000 + Rp383.340.000 \times (P/A, 12\%, 5)$$

Dengan $(P/A, 12\%, 5) = 3,6048$:

$$NPV = -Rp550.000.000 + Rp1.381.799.232 = \\ Rp831.799.232$$

Karena NPV bernilai positif dan jauh melampaui investasi awal, program SPC, MSA, dan poka-yoke ini layak secara ekonomi. Hasil ini konsisten dengan prinsip bahwa investasi pencegahan kualitas umumnya menghasilkan pengembalian yang jauh lebih besar dibandingkan biaya kegagalan yang dihindarkan, sejalan dengan argumen bahwa kualitas yang baik pada dasarnya menghemat biaya perusahaan secara keseluruhan (Crosby, 1979; Montgomery, 2020; AIAG, 2010).

BAB X

LEAN MANUFACTURING & EKONOMI TEKNIK

10.1 Justifikasi Investasi 5S, SMED, dan Kanban secara Ekonomi

Lean manufacturing adalah filosofi produksi yang berfokus pada eliminasi pemborosan (waste) untuk meningkatkan nilai bagi pelanggan dengan sumber daya yang lebih sedikit (Womack & Jones, 2003; Ohno, 1988). Tiga perangkat lean yang paling sering diimplementasikan di rantai produksi adalah 5S, Single Minute Exchange of Die (SMED), dan Kanban, dan ketiganya dapat dijustifikasi secara ekonomi meskipun sering dianggap sebagai inisiatif kualitatif.

5S, yang terdiri dari Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, dan Shitsuke, adalah metode penataan tempat kerja yang bertujuan mengurangi waktu pencarian alat, mengurangi kecelakaan kerja, dan meningkatkan efisiensi gerakan operator (Osada, 1991). Manfaat ekonomi 5S dapat dihitung dari pengurangan waktu non produktif operator dan penurunan biaya akibat kerusakan alat atau kecelakaan kerja.

SMED adalah metodologi untuk mengurangi waktu pergantian (changeover) mesin dari satu jenis produk ke jenis produk lain, idealnya hingga kurang dari sepuluh menit (Shingo, 1985). Pengurangan waktu changeover secara langsung meningkatkan waktu produktif mesin, yang setara dengan penambahan kapasitas tanpa investasi mesin baru.

Kanban adalah sistem kendali produksi berbasis kartu atau sinyal visual yang mengatur aliran material sesuai dengan prinsip tarik (pull system), sehingga produksi hanya dilakukan sesuai kebutuhan aktual dan persediaan barang dalam proses dapat ditekan seminimal mungkin (Ohno, 1988).

Contoh Kasus: Nilai Ekonomi SMED

Sebuah mesin press mengalami waktu changeover rata-rata 90 menit setiap pergantian jenis produk, dengan frekuensi 4 kali changeover per hari, 300 hari kerja per tahun. Melalui penerapan SMED, waktu changeover berhasil dikurangi menjadi 15 menit.

Parameter	Sebelum SMED	Setelah SMED
Waktu changeover per kali	90 menit	15 menit
Total waktu changeover per hari (4 kali)	360 menit	60 menit
Waktu produktif tambahan per hari	-	300 menit (5 jam)
Waktu produktif tambahan per tahun	-	1.500 jam

Apabila kapasitas produksi mesin adalah 40 unit per jam dengan kontribusi margin Rp 25.000 per unit, tambahan 1.500 jam produktif setara dengan tambahan 60.000 unit per tahun, atau tambahan nilai ekonomi sebesar Rp 1.500.000.000 per tahun, jauh melampaui biaya implementasi SMED yang umumnya berkisar pada pelatihan dan modifikasi perkakas cepat pasang (Shingo, 1985).

10.2 Trade-off: Inventory Cost vs Setup Cost

Hubungan antara biaya persediaan dan biaya setup dijelaskan secara formal melalui model Economic Order Quantity (EOQ), yang menentukan ukuran lot produksi optimal yang meminimalkan total biaya penyimpanan dan biaya setup (Hillier & Lieberman, 2015).

$$EOQ = \text{akar dari } (2 \times D \times S / H)$$

di mana D adalah permintaan tahunan dalam unit, S adalah biaya setup atau biaya pemesanan per batch, dan H adalah biaya penyimpanan per unit per tahun. Semakin besar biaya setup, semakin besar pula ukuran lot optimal, karena perusahaan perlu menyebar biaya setup ke lebih banyak unit untuk meminimalkan biaya rata-rata per unit. Sebaliknya, ketika biaya setup berhasil ditekan melalui SMED, ukuran lot optimal menjadi lebih kecil, sehingga perusahaan dapat memproduksi lebih sering dalam jumlah kecil tanpa menambah biaya setup total secara signifikan (Hillier & Lieberman, 2015).

Hubungan inilah yang menjadi jembatan konseptual antara lean manufacturing dan ekonomi teknik, karena SMED pada dasarnya adalah investasi untuk menurunkan parameter S dalam formula EOQ, yang berdampak pada penurunan biaya persediaan total meskipun frekuensi setup meningkat.

Contoh Kasus: Dampak SMED terhadap EOQ

Sebuah produk memiliki permintaan tahunan 60.000 unit, biaya penyimpanan Rp 4.000 per unit per tahun. Sebelum SMED, biaya setup per batch adalah Rp 3.500.000. Setelah SMED, biaya setup turun menjadi Rp 400.000 per batch.

Parameter	Sebelum SMED	Setelah SMED
Biaya setup per batch (S)	Rp 3.500.000	Rp 400.000
EOQ	10.247 unit	3.464 unit
Frekuensi produksi per tahun	sekitar 6 kali	sekitar 17 kali
Rata-rata persediaan (EOQ/2)	5.124 unit	1.732 unit
Biaya penyimpanan tahunan rata-rata	Rp 20.494.000	Rp 6.928.000

Penurunan biaya setup melalui SMED menghasilkan penurunan ukuran lot optimal sebesar sekitar 66 persen dan penurunan biaya penyimpanan rata-rata sekitar Rp 13.566.000 per tahun untuk satu jenis produk saja. Pada pabrik dengan puluhan jenis produk, akumulasi penghematan ini menjadi salah satu argumen ekonomi terkuat untuk investasi lean manufacturing (Hillier & Lieberman, 2015; Shingo, 1985).

10.3 ROI Proyek Kaizen dan Continuous Improvement

Kaizen adalah filosofi perbaikan berkelanjutan yang dilakukan secara bertahap dan melibatkan seluruh tingkatan karyawan, berbeda dengan proyek investasi besar yang bersifat sekali jalan (Imai, 1986). Meskipun setiap inisiatif kaizen secara individual sering kali bernilai kecil, akumulasi dari banyak inisiatif kaizen dalam satu tahun dapat menghasilkan dampak finansial yang signifikan.

Return on Investment (ROI) untuk program kaizen dihitung dengan membandingkan total penghematan atau tambahan nilai yang dihasilkan terhadap total biaya

fasilitasi program, seperti waktu tim, pelatihan, dan modifikasi kecil pada proses.

$$\text{ROI} = (\text{Total Manfaat} - \text{Total Biaya Fasilitasi}) / \text{Total Biaya Fasilitasi} \times 100\%$$

Contoh Kasus: Rekapitulasi Proyek Kaizen Tahunan

Inisiatif Kaizen	Penghematan Tahunan (Rp)	Biaya Implementasi (Rp)
Penataan ulang stasiun perakitan (5S)	85.000.000	15.000.000
Perbaikan jig pengelasan	120.000.000	40.000.000
Standarisasi prosedur ganti pahat	65.000.000	10.000.000
Perbaikan tata letak konveyor	95.000.000	35.000.000
Penyederhanaan visual inspeksi	40.000.000	8.000.000
Total	405.000.000	108.000.000

$$\text{ROI} = (\text{Rp}405.000.000 - \text{Rp}108.000.000) / \text{Rp}108.000.000 \times 100\% = 275\%$$

Program kaizen tahunan pada contoh ini menghasilkan ROI sebesar 275 persen, yang jauh melampaui ambang batas kelayakan investasi konvensional. Karena skala biaya kaizen umumnya kecil dan siklus implementasinya cepat, evaluasi ROI sederhana seperti ini lebih praktis digunakan dibandingkan NPV penuh, meskipun untuk inisiatif kaizen berskala besar dengan dampak multi tahun,

pendekatan NPV tetap dapat diterapkan sebagaimana dibahas pada bab-bab sebelumnya (Imai, 1986; Sullivan et al., 2018).

10.4 Integrasi Teknologi Otomasi dan Digitalisasi untuk Efisiensi Ekonomi Manufaktur



Gambar tersebut menunjukkan penerapan robot, AGV, dan MES dalam manufaktur untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi pemborosan, mengoptimalkan sumber daya, serta mendukung pengendalian biaya melalui prinsip Lean Manufacturing.

BAB XI

INVESTASI INDUSTRI 4.0: AUTOMATION & DIGITALISASI

11.1 Menilai ROI Robot, AGS, MES, dan IoT Sensor

Transformasi menuju Industri 4.0 melibatkan integrasi teknologi otomasi fisik dan digital ke dalam proses manufaktur, termasuk robot industri, Automated Guided Vehicle (AGV), Manufacturing Execution System (MES), dan sensor Internet of Things (IoT) (Kagermann et al., 2013). Setiap teknologi ini memiliki profil biaya dan manfaat yang berbeda, sehingga evaluasi kelayakannya memerlukan pendekatan yang disesuaikan.

Robot industri umumnya dijustifikasi melalui penggantian tenaga kerja manual pada tugas repetitif, dengan manfaat berupa penghematan biaya tenaga kerja, peningkatan konsistensi kualitas, dan kemampuan beroperasi di luar jam kerja normal (Groover, 2019). AGV memberikan manfaat melalui pengurangan tenaga kerja material handling dan peningkatan akurasi pergerakan material. MES memberikan manfaat berupa visibilitas real time terhadap kinerja produksi, pengurangan downtime yang tidak terdeteksi, dan peningkatan akurasi data untuk pengambilan keputusan. Sensor IoT memberikan manfaat melalui pemeliharaan prediktif yang mengurangi kegagalan mesin mendadak (Rüßmann et al., 2015).

Contoh Kasus: ROI Investasi Robot Pengelasan

Sebuah pabrik mempertimbangkan investasi robot pengelasan untuk menggantikan dua operator las manual pada satu stasiun kerja.

Parameter	Nilai
Investasi awal robot dan instalasi	Rp 1.850.000.000
Umur ekonomis	8 tahun
Nilai sisa	Rp 150.000.000
Penghematan biaya tenaga kerja per tahun (2 operator)	Rp 420.000.000
Peningkatan output akibat kecepatan dan konsistensi robot	Rp 180.000.000
Biaya operasional tambahan (listrik, perawatan, pemrograman)	Rp 145.000.000
Manfaat bersih tahunan	Rp 455.000.000
MARR	12 persen

$$NPV = -Rp1.850.000.000 + Rp455.000.000 \times (P/A, 12\%, 8) + Rp150.000.000 \times (P/F, 12\%, 8)$$

Dengan $(P/A, 12\%, 8) = 4,9676$ dan $(P/F, 12\%, 8) = 0,4039$:

$$NPV = -Rp1.850.000.000 + Rp2.260.358.000 + Rp60.585.000 = Rp470.943.000$$

Karena NPV bernilai positif dan cukup besar, investasi robot pengelasan ini layak secara ekonomi. Payback period sederhana dapat dihitung sebagai Rp 1.850.000.000 dibagi Rp 455.000.000, yaitu sekitar 4,1 tahun, yang masih berada dalam separuh pertama umur

ekonomisnya, menunjukkan tingkat risiko likuiditas yang moderat (Groover, 2019; Sullivan et al., 2018).

11.2 CAPEX Tinggi vs OPEX Turun: Cara Hitungnya

Investasi otomasi dan digitalisasi pada umumnya memiliki karakteristik CAPEX awal yang tinggi diimbangi dengan penurunan OPEX yang signifikan selama umur operasionalnya, berbeda dengan operasi manual yang memiliki CAPEX rendah tetapi OPEX tinggi dan berulang setiap tahun (U.S. Department of Energy, 2023). Evaluasi trade-off ini memerlukan konversi seluruh aliran biaya ke dalam basis yang dapat dibandingkan, baik melalui NPV, Annual Worth, maupun titik impas dalam tahun.

Langkah evaluasi yang direkomendasikan adalah pertama, menghitung Annual Worth dari opsi otomasi dengan menyertakan pemulihan modal atas CAPEX menggunakan faktor A/P dan mengurangi nilai sisa menggunakan faktor A/F, sebagaimana dijelaskan pada Bab III. Kedua, menghitung Annual Worth dari opsi mempertahankan proses manual, yang umumnya hanya terdiri dari OPEX tahunan tanpa komponen CAPEX signifikan. Ketiga, membandingkan kedua Annual Worth tersebut, serta menghitung titik impas dalam tahun operasi di mana total biaya kedua opsi menjadi sama.

Contoh Kasus: Titik Impas antara Otomasi dan Proses Manual

Opsi otomasi memerlukan CAPEX Rp 1.850.000.000 dengan OPEX tahunan Rp 145.000.000, sedangkan opsi mempertahankan proses manual memiliki OPEX tahunan (upah dua operator beserta tunjangan) sebesar Rp 420.000.000, tanpa memperhitungkan CAPEX signifikan. Titik impas dalam

tahun n dapat dihitung dengan menyamakan total biaya kumulatif tanpa pendiskontoan untuk estimasi cepat.

$$\begin{aligned} \text{Rp}1.850.000.000 + (\text{Rp}145.000.000 \times n) &= \\ \text{Rp}420.000.000 \times n & \\ \text{Rp}1.850.000.000 &= \text{Rp}275.000.000 \times n \\ n &= 6,7 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan sederhana tanpa pendiskontoan ini menunjukkan bahwa investasi otomasi akan lebih murah dibandingkan mempertahankan proses manual setelah sekitar 6,7 tahun jika dilihat murni dari kas nominal. Namun, perhitungan berbasis NPV pada sub bab 11.1 yang telah memperhitungkan nilai waktu uang dan manfaat tambahan output menunjukkan kelayakan yang lebih cepat, yaitu payback sekitar 4,1 tahun, karena turut memasukkan manfaat tambahan produktivitas robot, bukan hanya penghematan tenaga kerja. Hal ini menegaskan pentingnya memasukkan seluruh komponen manfaat, bukan hanya penghematan biaya langsung, dalam perbandingan CAPEX tinggi versus OPEX rendah (Sullivan et al., 2018).

11.3 Risiko Teknologi: Obsolescence dan Payback Period Pendek

Investasi teknologi digital dan otomasi menghadapi risiko keusangan teknologi (technological obsolescence) yang lebih tinggi dibandingkan aset manufaktur konvensional, karena siklus inovasi perangkat keras dan perangkat lunak Industri 4.0 berlangsung jauh lebih cepat dibandingkan siklus hidup mesin produksi tradisional (Schuh et al., 2017). Sebuah sistem MES atau sensor IoT yang canggih pada saat

pembelian dapat menjadi usang secara fungsional dalam waktu tiga hingga lima tahun akibat kemunculan standar komunikasi baru, platform analitik yang lebih baik, atau persyaratan interoperabilitas dari mitra rantai pasok.

Sebagai respons terhadap risiko ini, banyak perusahaan manufaktur menetapkan ambang batas payback period yang jauh lebih pendek untuk investasi digital dibandingkan investasi mesin produksi konvensional, umumnya berkisar dua hingga tiga tahun, dibandingkan lima hingga delapan tahun untuk mesin produksi utama (Kagermann et al., 2013; Schuh et al., 2017). Kebijakan ini berfungsi sebagai mekanisme mitigasi risiko implisit, karena proyek dengan payback pendek memiliki eksposur yang lebih kecil terhadap risiko keusangan sebelum investasi tersebut kembali.

Pendekatan lain yang semakin banyak diadopsi adalah investasi bertahap (staged investment) atau kerangka opsi riil (real options), di mana perusahaan melakukan investasi awal dalam skala kecil sebagai proyek percontohan, kemudian mengevaluasi hasilnya sebelum melakukan investasi skala penuh. Pendekatan ini memberikan fleksibilitas untuk menghentikan, memperlambat, atau mempercepat investasi lanjutan berdasarkan informasi baru yang diperoleh selama tahap awal, sehingga mengurangi risiko kerugian besar akibat keusangan teknologi yang tidak terduga (Schuh et al., 2017). Selain aspek finansial, evaluasi risiko teknologi juga perlu mempertimbangkan kesiapan infrastruktur digital pendukung, ketersediaan talenta yang mampu mengoperasikan sistem baru, dan kompatibilitas dengan sistem yang sudah ada di pabrik, karena kegagalan pada faktor-faktor non finansial ini sering kali menjadi penyebab utama kegagalan proyek Industri 4.0 meskipun

analisis finansialnya menunjukkan kelayakan (Rüßmann et al., 2015).

BAB XII

RISIKO, KETIDAKPASTIAN & ANALISIS SENSITIVITAS

12.1 Kasus 1: Investasi Mesin Baru

Studi kasus ini mengintegrasikan seluruh metode yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya, mulai dari depresiasi, pajak, NPV, IRR, payback period, hingga titik impas, ke dalam satu evaluasi investasi yang utuh.

Data Proyek

Parameter	Nilai
Investasi awal mesin	Rp 2.400.000.000
Biaya instalasi dan commissioning	Rp 100.000.000
Total investasi awal	Rp 2.500.000.000
Umur ekonomis dan umur depresiasi	5 tahun
Nilai sisa	Rp 200.000.000
Kapasitas produksi tambahan	45.000 unit per tahun
Harga jual per unit	Rp 95.000
Biaya variabel per unit	Rp 58.000
Biaya tetap tunai tambahan per tahun (di luar depresiasi)	Rp 380.000.000
Tingkat pajak penghasilan	25 persen
MARR setelah pajak	12 persen

Langkah 1: Arus Kas Sebelum Pajak

$$\text{Kontribusi margin per unit} = \text{Rp}95.000 - \text{Rp}58.000 = \text{Rp}37.000$$

$$\text{Kontribusi margin total} = 45.000 \times \text{Rp}37.000 = \text{Rp}1.665.000.000$$

$$\text{Arus kas sebelum pajak} = \text{Rp}1.665.000.000 - \text{Rp}380.000.000 = \text{Rp}1.285.000.000$$

Langkah 2: BEP Proyek

$$\text{BEP (unit)} = \text{Rp}380.000.000 / \text{Rp}37.000 = 10.271 \text{ unit}$$

(22,8% dari kapasitas 45.000 unit)

Margin of safety proyek ini sangat lebar, yaitu sekitar 77,2 persen dari kapasitas, menunjukkan risiko volume yang rendah.

Langkah 3: Depresiasi Garis Lurus

$$D = (\text{Rp}2.500.000.000 - \text{Rp}200.000.000) / 5 = \text{Rp}460.000.000 \text{ per tahun}$$

Langkah 4: Arus Kas Setelah Pajak

Tahun	Arus Kas Sebelum Pajak	Depresiasi	Laba Kena Pajak	Pajak (25%)	ATCF
1	1.285.000.000	460.000.000	825.000.000	206.250.000	1.078.750.000
2	1.285.000.000	460.000.000	825.000.000	206.250.000	1.078.750.000
3	1.285.000.000	460.000.000	825.000.000	206.250.000	1.078.750.000
4	1.285.000.000	460.000.000	825.000.000	206.250.000	1.078.750.000
5	1.285.000.000	460.000.000	825.000.000	206.250.000	1.078.750.000 + 200.000.000 nilai sisa

Langkah 5: NPV, IRR, dan Payback Period

$$NPV = -Rp2.500.000.000 + Rp1.078.750.000 \times (P/A, 12\%, 4) + Rp1.278.750.000 \times (P/F, 12\%, 5)$$

Dengan $(P/A, 12\%, 4) = 3,0373$ dan $(P/F, 12\%, 5) = 0,5674$:

$$NPV = -Rp2.500.000.000 + Rp3.276.984.000 + Rp725.427.750 = Rp1.502.411.750$$

Payback period sederhana dihitung sebagai Rp 2.500.000.000 dibagi Rp 1.078.750.000, yaitu sekitar 2,3 tahun. Karena NPV bernilai positif dengan margin yang besar dan payback period relatif singkat, IRR proyek ini dapat dipastikan berada jauh di atas MARR 12 persen, sehingga estimasi lebih lanjut melalui interpolasi tabel bunga menunjukkan IRR berada pada kisaran 34 hingga 35 persen. Kombinasi hasil BEP, NPV, payback period, dan IRR secara konsisten mengarah pada kesimpulan bahwa investasi mesin baru ini sangat layak untuk dijalankan (Sullivan et al., 2018).

12.2 Kasus 2: Memilih antara 2 Vendor

Studi kasus ini mengilustrasikan penerapan analisis biaya siklus hidup dan Annual Worth untuk memilih antara dua vendor mesin dengan karakteristik harga, umur, dan biaya operasi yang berbeda, sehingga tidak dapat dibandingkan hanya dari harga beli.

Parameter	Vendor X	Vendor Y
Harga pembelian	Rp 1.600.000.000	Rp 2.100.000.000
Umur ekonomis	6 tahun	9 tahun
Nilai sisa	Rp 100.000.000	Rp 250.000.000
Biaya operasi dan perawatan tahunan	Rp 320.000.000	Rp 210.000.000

Konsumsi energi tahunan	Rp 95.000.000	Rp 60.000.000
Total biaya operasi tahunan (perawatan energi) +	Rp 415.000.000	Rp 270.000.000

Karena kedua vendor menawarkan mesin dengan umur ekonomis yang berbeda, perbandingan yang tepat menggunakan pendekatan Annual Worth (AW), yang secara otomatis menyelaraskan kedua alternatif ke dalam basis biaya tahunan setara tanpa memerlukan asumsi periode studi bersama, dengan MARR 12 persen (Sullivan et al., 2018; Blank & Tarquin, 2012).

$$AW \text{ Vendor X} = Rp1.600.000.000 \times (A/P, 12\%, 6) - Rp100.000.000 \times (A/F, 12\%, 6) + Rp415.000.000$$

Dengan $(A/P, 12\%, 6) = 0,2432$ dan $(A/F, 12\%, 6) = 0,1232$:

$$AW \text{ Vendor X} = Rp389.120.000 - Rp12.320.000 + Rp415.000.000 = Rp791.800.000 \text{ per tahun}$$

$$AW \text{ Vendor Y} = Rp2.100.000.000 \times (A/P, 12\%, 9) - Rp250.000.000 \times (A/F, 12\%, 9) + Rp270.000.000$$

Dengan $(A/P, 12\%, 9) = 0,1877$ dan $(A/F, 12\%, 9) = 0,0677$:

$$AW \text{ Vendor Y} = Rp394.170.000 - Rp16.925.000 + Rp270.000.000 = Rp647.245.000 \text{ per tahun}$$

Meskipun harga beli Vendor Y lebih mahal sekitar 31 persen dibandingkan Vendor X, biaya tahunan setara Vendor Y justru lebih rendah sekitar Rp 144.555.000 per tahun, atau sekitar 18 persen lebih murah, karena umur ekonomis yang lebih panjang serta biaya operasi dan

energi yang jauh lebih efisien. Kesimpulannya, Vendor Y adalah pilihan yang lebih ekonomis secara total biaya siklus hidup, meskipun harga belinya lebih tinggi, sehingga menegaskan kembali prinsip bahwa harga beli tidak sama dengan total biaya kepemilikan (Sullivan et al., 2018; VDI, 2005).

12.3 Template Excel & Format Proposal Investasi ke Direksi

Bagian penutup ini menyajikan struktur praktis yang dapat digunakan engineer untuk menyusun perangkat kerja Excel dan dokumen proposal investasi yang siap diajukan kepada direksi.

Struktur Template Excel

- Sheet Input: berisi seluruh asumsi dasar seperti investasi awal, umur proyek, MARR, tingkat pajak, harga jual, biaya variabel, dan biaya tetap, disusun sebagai sel terpisah agar mudah diubah untuk analisis skenario.
- Sheet Depresiasi & Pajak: menghitung jadwal depresiasi tahunan, laba kena pajak, dan arus kas setelah pajak menggunakan referensi langsung ke sheet Input.
- Sheet Arus Kas: menyusun proyeksi arus kas tahun per tahun, termasuk investasi awal, arus kas operasional, dan nilai sisa pada tahun terakhir.
- Sheet Evaluasi: menghitung NPV menggunakan fungsi `=NPV()` yang dikombinasikan dengan investasi awal, IRR menggunakan fungsi `=IRR()`, payback period melalui perhitungan kumulatif manual, dan BEP menggunakan formula kontribusi margin.

- Sheet Sensitivitas: menggunakan fitur Data Table dua arah untuk menguji dampak perubahan MARR dan volume penjualan terhadap NPV secara simultan.
- Sheet Dashboard: merangkum seluruh hasil utama dalam satu tampilan ringkas berupa tabel dan grafik untuk memudahkan komunikasi kepada manajemen.

Format Proposal Investasi ke Direksi

- Ringkasan Eksekutif: satu halaman berisi rekomendasi, nilai investasi, NPV, IRR, payback period, dan risiko utama.
- Latar Belakang dan Permasalahan: kondisi saat ini, keterbatasan kapasitas atau kualitas, dan urgensi investasi.
- Alternatif yang Dipertimbangkan: minimal dua alternatif termasuk opsi mempertahankan kondisi saat ini (status quo) sebagai pembanding.
- Analisis Finansial: tabel arus kas lengkap, hasil NPV, IRR, payback period, BEP, dan perbandingan antar alternatif.
- Analisis Risiko: hasil analisis sensitivitas, simulasi Monte Carlo bila relevan, serta mitigasi risiko teknologi dan operasional.
- Rekomendasi dan Rencana Implementasi: alternatif yang direkomendasikan beserta jadwal implementasi dan kebutuhan sumber daya.
- Lampiran: rincian perhitungan, asumsi teknis, dan penawaran harga dari vendor.

Struktur ini memastikan bahwa proposal investasi tidak hanya menyajikan angka kelayakan, tetapi juga

narasi yang koheren mulai dari permasalahan operasional hingga rekomendasi keputusan, sehingga memudahkan direksi dalam menilai dan menyetujui usulan investasi secara cepat dan tepat (Sullivan et al., 2018; Blank & Tarquin, 2012).

DAFTAR PUSTAKA

- Aho, T., & Virtanen, I. (1984). The impact of inflation on the optimal service life of a machine. *The Finnish Journal of Business Economics*, 1(1984), 60-80.
- Japanese Society for Production Management. (1979). An engineering economic approach to production systems producing the strictly seasonal product. *Journal of Japan Industrial Management Association*, 30(3), 258-264.
- Kiran, D. R. (2022). *Principles of economics and management for manufacturing engineering*. Butterworth-Heinemann.
- Kumar, U., Kumar, V., & Singh, J. (2016). Reliability analysis and life cycle cost optimization: A case study from Indian industry. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 33(4), 520-540.
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2018). *Engineering economy* (17th ed.). Pearson.
- Tallahassee State College. (2026). *ETI2670 Technical Economic Analysis*. <https://catalog.tsc.fl.edu>
- Tooling U-SME. (2025). *Introduction to manufacturing costs 140*. <https://learn.toolingu.com>
- U.S. Department of Energy. (2023). *Estimating manufacturing costs for pre-commercial technologies*.
- VDI. (2005). *VDI 2884: Purchase, operating and maintenance of production equipment using Life Cycle Costing (LCC)*. Verein Deutscher Ingenieure.
- Wiss. (2026). *Break-even analysis for manufacturing: A CFO's guide*. <https://wiss.com>

- Blank, L. T., & Tarquin, A. J. (2012). *Engineering economy* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Georgia Institute of Technology. (2026). *ISYE 3025: Essentials of engineering economy*. <https://www.isye.gatech.edu>
- MIT OpenCourseWare. (2011). *Project evaluation* [Lecture notes]. Massachusetts Institute of Technology. <https://mitocw.ups.edu.ec>
- Rizqiyani, N., et al. (2025). Engineering economy application in investment evaluation: A simulation approach. *JISTE*, 3(4). <https://doi.org/10.61487/jiste.v3i4.248>
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2018). *Engineering economy* (17th ed.). Pearson.
- Università degli Studi di Perugia. (2026). *Engineering economy course catalogue 2026-27*. <https://www.unipg.it>
- University of Washington. (2010). *Chapter 18: Engineering economic analysis* [Lecture notes]. <https://courses.washington.edu>
- Young, D. (1993). *Modern engineering economy*. John Wiley & Sons.
- AIAG. (2010). *Measurement systems analysis (MSA) reference manual* (4th ed.). Automotive Industry Action Group.
- Blank, L. T., & Tarquin, A. J. (2012). *Engineering economy* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Campanella, J. (Ed.). (1999). *Principles of quality costs: Principles, implementation, and use* (3rd ed.). ASQ Quality Press.
- Crosby, P. B. (1979). *Quality is free: The art of making quality certain*. McGraw-Hill.

- Feigenbaum, A. V. (1991). Total quality control (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Groover, M. P. (2019). Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing (5th ed.). Pearson.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2015). Introduction to operations research (10th ed.). McGraw-Hill.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2011). Factory physics (3rd ed.). Waveland Press.
- Imai, M. (1986). Kaizen: The key to Japan's competitive success. McGraw-Hill.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (Eds.). (1999). Juran's quality handbook (5th ed.). McGraw-Hill.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Acatech.
- Montgomery, D. C. (2020). Introduction to statistical quality control (8th ed.). Wiley.
- Nakajima, S. (1988). Introduction to TPM: Total productive maintenance. Productivity Press.
- Ohno, T. (1988). Toyota production system: Beyond large-scale production. Productivity Press.
- Osada, T. (1991). The 5S's: Five keys to a total quality environment. Asian Productivity Organization.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston Consulting Group.
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M., & Wahlster, W. (Eds.). (2017). Industrie 4.0 maturity

- index: Managing the digital transformation of companies. Acatech Study.
- Shingo, S. (1985). A revolution in manufacturing: The SMED system. Productivity Press.
- Shingo, S. (1986). Zero quality control: Source inspection and the poka-yoke system. Productivity Press.
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2018). Engineering economy (17th ed.). Pearson.
- U.S. Department of Energy. (2023). Estimating manufacturing costs for pre-commercial technologies.
- VDI. (2005). VDI 2884: Purchase, operating and maintenance of production equipment using life cycle costing (LCC). Verein Deutscher Ingenieure.
- Vose, D. (2008). Risk analysis: A quantitative guide (3rd ed.). Wiley.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation (Rev. ed.). Free Press.
- Blank, L. T., & Tarquin, A. J. (2012). Engineering economy (7th ed.). McGraw-Hill.
- Groover, M. P. (2019). Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing (5th ed.). Pearson.
- Newnan, D. G., Eschenbach, T. G., & Lavelle, J. P. (2020). Engineering economic analysis (14th ed.). Oxford University Press.
- Park, C. S. (2019). Contemporary engineering economics (6th ed.). Pearson.
- Sullivan, W. G., Wicks, E. M., & Koelling, C. P. (2018). Engineering economy (17th ed.). Pearson.

BIOGRAFI PENULIS



Dr. Soni Suardi., SE., MM., lahir di Jakarta, 22 Juni 1973. Putra dari pasangan ayah Drs. Suardi Yahya dan ibu Zulhana Bakri. Anak ke 2 dari 4 bersaudara. Istri Amilia Mutiandari., SP., MM, alumni S1 dan S2 IPB. Dikaruniai 2 orang anak Ahsan Al Fikri., S.Hum (alumni UI Program S1 Sastra Jepang) sudah menikah dan sudah bekerja dan Fauzan Nadzir Mubin (mahasiswa S1 Teknik Elektro UNAND).

Jenjang Pendidikan Lulus SD tahun 1984 di SDN 07 Kebon Pala Jakarta Timur, Lulus SMP tahun 1987 di SMP 20 Kramat Jati Jakarta Timur, Lulus SMA tahun 1991 di SMA 14 Jakarta Timur. Lulus Diploma di Polytechnic Shizuoka Japan tahun 1993, Lulus S1 (SE) tahun 2005 Fakultas Ekonomi Prodi Manajemen konsentrasi Finance di STIE Kusuma Negara Jakarta, Lulus S2 (MM) tahun 2014 Fakultas Ekonomi konsentrasi Marketing di kampus yang sama. Lulus S3 Doktor Ilmu Ekonomi di Universitas Borobudur Jakarta Timur.

Pengalaman Kerja : Product Engineer di Nikkei Saisakusho Co. Ltd Japan tahun 1993 – 1995, Supervisor Manufacture di PT Katsushiro Matex Cikarang tahun 1995 – 1999, Assembly Dept Manager di Precision Plastic Industry Sdn. Bhd tahun 1999-2001 di Johor Malaysia, Business Development Senior Manager di PT Space Indonesia di Cikarang tahun 2001 – 2008, Marketing Manager di PT Dae Hwa Indonesia di Cikarang tahun 2008 – 2014, QA Manager di PT Dharma Multiplast Solution

Indonesia 2014 – hingga sekarang. Menjadi Dosen Tetap dengan jabatan fungsional sebagai Lektor di Universitas Pelita Bangsa terhitung dari tahun 2014 mengampu mata kuliah Ekonomi Internasional, Bank dan Lembaga Keuangan, Pengantar Ilmu Ekonomi, Ekonomi Makro, Ekonomi Mikro dan Manajemen Keuangan.

Karya Tulis Buku yang dihasilkan antara lain :

1. Kebijakan Publik di Era Digital (Nov 2023)
2. Supply Chain Management (Januari 2024)
3. Ekonomi Digital: Transformasi dan Inovasi di Era Teknologi (Januari 2025)
4. Ekonometrika (Agustus 2025)
5. Manajemen Risiko (Oktober 2025)
6. Analisis Risiko Bisnis (Februari 2026)
7. Fintech Syariah: Peluang dan Tantangan Regulasi (Juni 2026)
8. Manajemen Ekonomi Industri Manufaktur (Sept 2026)

Karya Tulis Jurnal yang dihasilkan antara lain :

1. Keberhasilan Usaha Daur Ulang Limbah Plastik : Karakteristik Usaha, Kreativitas dan Inovasi (Agustus 2018)
2. Hokben Jababeka's Business Strategy in Creating Customer Sastisfaction (Juni 2023)
3. Dynamics of Entrepreneurial Actors: A Study of Economic Conditions and Psychological Capital (Januari 2024)
4. Optimizing the Use of Working Capital in an Effort to Increase Company Profitability (Maret 2024)
5. Border Area Economic Development Strategy: A Sustainable Approach (April 2024)

6. Business sustainability challenges in the face of technology and digital literacy: a study of Micro, Small, and Medium Enterprises (April 2024)
7. Decentralizing the Halal Economy: Blockchain-Based Certification Models for Ethical Global Trade (April 2025)
8. Decentralization and Democracy: Evaluating the Performance of Regional Autonomy in Improving Public Welfare (November 2025)
9. Implementation Of Green Human Resource Management In Improving Green Brand Image: The Role of Environmental Behavior As A Moderating Variable (Mei 2026)
10. Struktur Modal dan Nilai Perusahaan: Peran Moderasi Good Corporate Governance pada Perusahaan Sektor Manufaktur yang Terdaftar di BEI (Juni 2026)
11. Manajemen Rantai Pasok Berkelanjutan (Sustainable Supply Chain) dan Kinerja Ekonomi Perusahaan (September 2026)

Email : sonisuardi@pelitabangsa.ac.id

No HP : 081511111097

Engineering Economics dalam Industri Manufaktur: Prinsip, Analisis dan Aplikasi

Buku ini membahas penerapan prinsip-prinsip ekonomi teknik dalam konteks industri manufaktur, mulai dari dasar-dasar ekonomi teknik, analisis kelayakan investasi, hingga penerapan metode analisis untuk mendukung pengambilan keputusan yang efektif dan efisien. Dengan pendekatan yang sistematis, buku ini menyajikan konsep, teori, serta contoh aplikasi nyata yang relevan dengan tantangan di dunia industri manufaktur saat ini.

Ditujukan bagi mahasiswa, akademisi, praktisi industri, maupun pembaca umum yang ingin memahami bagaimana prinsip ekonomi dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan daya saing dalam industri manufaktur.



-  Jl. Mulia 2, No. 52A, Sariharjo, Ngaglik, Sleman, DI Yogyakarta 55581
-  Telp : +62 811 7488 066
-  Email : globalpublisherofficial@gmail.com
-  Website : www.andalaspress.com