



Buku Ajar

MEMAHAMI SISTEM LINGKUNGAN INDUSTRI

Nurhayati Sembiring





Nurhayati Sembiring lahir di Medan 14 Agustus 1968, ibu berputra 4 orang ini merupakan kepala Laboratorium Proses Manufaktur dan merupakan staf pengajar pada Departemen Teknik Industri Universitas Sumatera Utara sejak tahun 1994. Menyelesaikan S1 tahun 1992 dari Teknik dan Manajemen Industri USU dan S2 tahun 1996 dari Teknik Industri ITB.

Berbagai mata kuliah seperti Sistem Lingkungan Industri, Proses Manufaktur, Manajemen Proyek, Analisis Biaya, Perencanaan Eksperimen, dan mata kuliah lainnya pernah diampu pada Departemen tersebut. Namun, mata kuliah sistem lingkungan industri merupakan salah satu favorit penulis karena ilmu-ilmu pada mata kuliah tersebut sangat berkaitan dengan aktivitas kehidupan dan sumber daya yang bermanfaat bagi kelestarian lingkungan hidup sehingga dapat menciptakan suatu mekanisme yang terintegrasi dalam peningkatan kinerja lingkungan secara berkelanjutan



0858 5343 1992
eurekamediaaksara@gmail.com
Jl. Banjaran RT.20 RW.10
Bojongsari - Purbalingga 53362



**BUKU AJAR
MEMAHAMI SISTEM LINGKUNGAN
INDUSTRI**

Nurhayati Sembiring



PENERBIT CV. EUREKA MEDIA AKSARA

BUKU AJAR
MEMAHAMI SISTEM LINGKUNGAN INDUSTRI

Penulis : Nurhayati Sembiring

Desain Sampul : Ardyan Arya Hayuwaskita

Tata Letak : Nur Aisah

ISBN : 978-623-151-412-7

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, AGUSTUS 2023**
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH
NO. 225/JTE/2021

Redaksi:

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992

Surel : eurekamediaaksara@gmail.com

Cetakan Pertama : 2023

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh
isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun,
termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman
lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puja dan puji serta syukur senantiasa disenandungkan untuk Allah SWT yang tidak henti-hentinya senantiasa menganugerahkan banyak nikmat. Sholawat dan salam tiada putusnya disampaikan untuk Nabi Muhammad SAW.

Sebagai akademisi, penulis mencoba memaparkan disiplin ilmu Sistem Lingkungan Industri dan bagaimana melihat pengaruh industri terhadap lingkungan dalam kehidupan. Penulis pada buku ajar ini juga membuat uji kompetensi sebagai indikator kemajuan pembelajaran yang akan memperdalam pemahaman pembaca terhadap ilmu Sistem Lingkungan Industri.

Dikarenakan terbatasnya waktu yang dapat dialokasikan, maka dengan dukungan serta bantuan dari segenap keluarga juga rekan mahasiswa Departemen Teknik Industri Universitas Sumatera Utara, maka hadirilah buku ini. Penulis memahami bahwa terdapat banyak ketidaksempurnaan pada buku yang kini hadir dihadapan kita. Penulis tetap menginginkan kritik dan juga masukan berharga dari seluruh pembelajar.

Medan, Agustus 2023
Tertanda,

Nurhayati Sembiring
email: nurhayatipandia68@usu.ac.id

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1 TEKNOLOGI DAN SUSTAINABILITY	1
A. Pengertian Teknologi dan Sustainability	2
B. Teknologi Ramah Lingkungan.....	10
BAB 2 EKOLOGI INDUSTRI	41
A. Pendahuluan.....	42
B. Sejarah Ekologi Industri.....	43
C. Pengertian Ekologi Industri.....	44
D. Konsep dan Perangkat Ekologi Industri	50
E. Konsep Industri Hijau.....	53
F. Prinsip Keberlanjutan dalam Industri	55
G. Tantangan Ekologi Industri.....	61
BAB 3 GREEN MANUFACTURING	70
A. Definisi	70
B. Pembangunan Berkelanjutan	72
C. Prinsip <i>Green Manufacturing</i>	77
D. Manfaat <i>Green Manufacturing</i>	78
E. Studi Kasus dan Implementasi.....	81
BAB 4 PENDEKATAN LIFE CYCLE ASSESSMENT	97
A. Sejarah dan Definisi <i>Life Cycle Assessment</i>	98
B. Manfaat <i>Life Cycle Assessment</i>	101
C. Konsep Lingkungan Siklus Hidup	103
D. Tahapan <i>Life Cycle Assessment (LCA)</i>	108
E. Hubungan LCA pada Peraturan Lingkungan	112
F. Mikro Aplikasi pada Peningkatan LCA	116
G. Makro Level LCA pada Dukungan Kebijakan	117
H. Penerapan <i>Life Cycle Assessment</i>	120
BAB 5 EKOSISTEM INDUSTRI	124
A. Pengertian	125
B. Tujuan Ekosistem Industri.....	126
C. Produksi Bersih.....	128
D. Konsep Ekosistem Industri.....	139
E. Implementasi Ekosistem Industri	141

F. Pembangunan <i>Industrial Park</i>	145
G. Air dan Lingkungan Industri.....	149
BAB 6 SISTEM MANAJEMEN INDUSTRI	166
A. Pengertian.....	167
B. Pentingnya Sistem Manajemen Lingkungan.....	168
C. Implementasi Sistem Manajemen Lingkungan.....	171
BAB 7 SISTEM ALIRAN MATERIAL	182
A. Definisi Aliran Material.....	184
B. Pentingnya Aliran Material yang Efisien.....	186
C. Rantai Pasokan Terintegrasi	188
D. Proses Pemodelan Aliran Material	190
E. Identifikasi Kendala dan Pemborosan	191
F. Perbaikan Proses	193
G. Pengukuran dan Monitoring	195
DAFTAR PUSTAKA	200
INDEKS	201
GLOSARIUM	205
TENTANG PENULIS	219

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR		HALAMAN
1.1.	Siklus Material	17
2.1.	Topologi Ekosistem	48
2.2.	Konsep Ekologi Industri	55
4.1.	Diagram Siklus Hidup pada Manajemen Limbah.....	103

BAB 1 | TEKNOLOGI DAN SUSTAINABILITY

Tujuan Instruksional Umum

Mahasiswa hendaknya mampu memahami teknologi dan *sustainability*

Tujuan Instruksional Khusus

1. Mahasiswa hendaknya mampu memahami defenisi teknologi
2. Mahasiswa hendaknya mampu memahami defenisi *sustainability*
3. Mahasiswa hendaknya mampu melihat keterkaitan antara teknologi dengan *sustainability*

Cara Belajar

1. Presentase
2. Diskusi

Sarana Penilaian

1. Tugas
2. Proyek
3. Kuis

BAB 2

EKOLOGI INDUSTRI

Tujuan Instruksional Umum

Mahasiswa hendaknya mampu memahami Ekologi Industri

Tujuan Instruksional Khusus

1. Mahasiswa hendaknya mampu memahami sejarah dari ekologi industri
2. Mahasiswa hendaknya mampu memahami pengertian ekologi industri
3. Mahasiswa hendaknya mampu memahami konsep industri hijau
4. Mahasiswa hendaknya mampu memahami bagaimana prinsip keberlanjutan dalam ekologi industri

Cara Belajar

1. Presentase
2. Diskusi

Sarana Penilaian

1. Tugas
2. Proyek
3. Kuis

BAB

3

GREEN MANUFACTURING

Tujuan Instruksional Umum

Mahasiswa hendaknya mampu memahami *Green Manufacturing*

Tujuan Instruksional Khusus

1. Mahasiswa hendaknya mampu memahami Defenisi *Green Manufacturing*
2. Mahasiswa hendaknya mampu mengimplementasikan *Green Manufacturing*

Cara Belajar

1. Presentase
2. Diskusi

Sarana Penilaian

1. Tugas
2. Proyek
3. Kuis

A. Definisi

Green manufacturing adalah suatu konsep produksi yang bertujuan untuk mengurangi efek negatif terhadap lingkungan dan meningkatkan

BAB

4

PENDEKATAN *LIFE CYCLE ASSESSMENT*

Tujuan Instruksional Umum

Mahasiswa hendaknya mampu memahami *Life Cycle Assesment*

Tujuan Instruksional Khusus

1. Mahasiswa hendaknya mampu memahami sejarah singkat *life cycle assesment*
2. Mahasiswa hendaknya mampu memahami konsep lingkungan siklus hidup
3. Mahasiswa hendaknya mampu memahami *life cycle assesment* dengan peraturan lingkungan
4. Mahasiswa hendaknya mampu memahami *Micro* aplikasi pada peningkatan LCA dan *Macro* aplikasi pada peningkatan LCA

Cara Belajar

1. Presentase
2. Diskusi

Sarana Penilaian

1. Tugas
2. Proyek
3. Kuis

BAB

5

EKOSISTEM INDUSTRI

Tujuan Instruksional Umum

Mahasiswa hendaknya mampu memahami Ekosistem Industri

Tujuan Instruksional Khusus

1. Mahasiswa hendaknya mampu memahami pengertian ekosistem industri
2. Mahasiswa hendaknya mampu memahami tujuan ekosistem industri
3. Mahasiswa hendaknya mampu menjelaskan konsep ekosistem industri
4. Mahasiswa hendaknya mampu menjelaskan produksi bersih
5. Mahasiswa hendaknya mampu menjelaskan kaitan air dan lingkungan

Cara Belajar

1. Presentase
2. Diskusi

Sarana Penilaian

1. Tugas
2. Proyek
3. Kuis

BAB 6

SISTEM MANAJEMEN INDUSTRI

Tujuan Instruksional Umum

Mahasiswa hendaknya mampu memahami tentang sistem manajemen lingkungan

Tujuan Instruksional Khusus

1. Mahasiswa hendaknya mampu menjelaskan pengertian sistem manajemen lingkungan
2. Mahasiswa hendaknya mampu menjelaskan pentingnya sistem manajemen lingkungan
3. Mahasiswa hendaknya mampu menjelaskan konsep implementasi sistem manajemen lingkungan

Cara Belajar

1. Presentase
2. Diskusi

Sarana Penilaian

1. Tugas
2. Proyek
3. Kuis

BAB

7

SISTEM ALIRAN MATERIAL

Tujuan Instruksional Umum

Mahasiswa hendaknya mampu memahami sistem aliran material.

Tujuan Instruksional Khusus

1. Mahasiswa hendaknya mampu memahami pengertian sistem manajemen lingkungan
2. Mahasiswa hendaknya mampu memahami pentingnya sistem aliran material yang efisien
3. Mahasiswa hendaknya mampu memahami rantai pasokan terintegrasi
4. Mahasiswa hendaknya mampu memahami proses pemodelan aliran material
5. Mahasiswa hendaknya mampu mengidentifikasi kendala dan pemborosan
6. Mahasiswa hendaknya mampu memahami perbaikan proses dalam sistem aliran material
7. Mahasiswa hendaknya mampu memahami pengukuran dan monitoring

DAFTAR PUSTAKA

- Ayres, R.U. dan L.W. Ayres. 2002. *A Handbook of Industrial Ecology*. 1st ed. Edward Elgar Publishing Limited. USA
- Curran, M.A. 2012. *Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products*. 1st ed. USA. Scrivener Publishing LLC
- Frosch, Robert A. and Nicholas E. Gallopoulos. 1989. Strategies for Manufacturing. *Scientific American*. 261(3): 94-102. (Special issue on 'Managing Planet Earth'.)
- Guinee, J. B. (Ed.). (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*. Kluwer Academic Publishers.
- Heikkurinen, P. dan T. Ruuska. 2021. Sustainability Beyond Technologi: *Philosophy, Critique, and Implications for Human Organization*. Offord University Press
- Huber, J. 2000. Towards Industrial Ecology: Sustainable Development as a Concept of Ecological Modernization. *Journal of Environmental Policy and Planning*. 2(4): 269-285

A

Aksesibel · 39, 206
Aksesibilitas · 200, 206
Atmosfer · 4, 206

B

Biofuel · 53, 118, 206
Biomassa · 4, 25, 26, 27, 28, 57,
206
Biomedis · 43, 67, 207
Birokrasi · 140, 207

D

Defisit · 207
Degradasi · 134, 173, 207
Dematerialisasi · 46, 50, 51, 52,
56, 207
Devisa · 61, 207
Digital · 5, 34, 36, 37, 38, 39, 208
Dosis · 164, 208

E

Eco-efficiency · 51, 208

Eco-Industrial · 67, 142, 166, 208
Ekodesain · 51, 209
Ekoefisiensi · 132, 209
Ekologi · 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47,
49, 50, 51, 209
Ekosistem · 124, 126, 127, 128,
140, 141, 142, 145, 146, 160,
165, 166, 209
Eksplorasi · 168, 209
Emisi · 2, 3, 4, 10, 11, 12, 13, 14,
18, 24, 26, 27, 28, 29, 40, 56, 57,
64, 78, 79, 85, 91, 92, 93, 100,
103, 104, 115, 125, 129, 136,
146, 159, 165, 210
Empiris · 50, 210
Energi · 2, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 13,
14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22,
23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31,
34, 37, 38, 40, 43, 44, 45, 46, 47,
49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 67, 75,
76, 77, 78, 79, 80, 82, 83, 84, 90,
91, 92, 93, 95, 102, 103, 107,
112, 120, 125, 126, 129, 130,
132, 133, 134, 135, 136, 140,
141, 142, 143, 144, 146, 154,
165, 166, 174, 182, 206, 208,
209, 210, 211, 218
Evolusi · 46, 141, 210

F

Fenomena · 142, 212, 213, 210
Fermentasi · 26, 27, 48, 87, 210
Flokulasi · 160, 162, 163, 211, 215
Fosil · 3, 6, 10, 12, 19, 20, 24, 25,
26, 57, 80, 82, 92, 107, 125, 206,
211
Fotovoltaik · 11, 18, 211
Fraksi · 82, 84, 211

G

Gamifikasi · 35, 211

I

Implementasi · 42, 61, 81, 88, 90,
91, 92, 120, 129, 130, 139, 142,
146, 166, 167, 168, 170, 171,
172, 173, 175, 177, 178, 179,
180, 181, 211
Indikator · 62, 109, 110, 149, 152,
158, 194, 195, 199, 212
Inklusif · 2, 5, 6, 9, 40, 60, 128,
212
Insentif · 9, 17, 20, 22, 25, 28, 33,
65, 67, 88, 144, 212
Instalasi · 160, 162, 163, 212
Integrasi · 6, 10, 189, 212

Intensitas · 212
Investasi · 28, 87, 139, 148, 213

K

Kalibrasi · 179, 213
Koloid · 160, 163, 211, 213
Komersial · 14, 19, 213
Komprehensif · 9, 43, 65, 106,
107, 122, 169, 213
Konseptual · 49, 112, 213
Konservasi · 38, 60, 135, 213
Konvensional · 11, 12, 19, 22, 91,
139, 185, 214
Korektif · 136, 214
Korosif · 214
Krusial · 54, 108, 150, 214

L

Limbah · 2, 4, 6, 14, 25, 26, 27, 29,
30, 31, 32, 33, 34, 38, 40, 42, 43,
44, 45, 47, 48, 52, 53, 55, 58, 59,
62, 63, 66, 68, 71, 78, 81, 83, 86,
87, 88, 90, 91, 92, 93, 95, 100,
102, 103, 112, 114, 125, 126,
128, 129, 130, 131, 132, 133,
134, 135, 136, 137, 140, 141,
142, 143, 144, 145, 146, 151,
152, 155, 156, 157, 158, 159,
160, 161, 162, 163, 164, 165,

166, 173, 174, 179, 182, 206,
209, 214, 215, 217
Linear · 44, 215

M

Manajemen · 3, 13, 14, 15, 16, 20,
21, 23, 49, 50, 58, 59, 68, 75, 91,
92, 101, 103, 113, 122, 136, 139,
140, 147, 148, 149, 167, 168,
169, 170, 171, 172, 173, 174,
175, 176, 177, 178, 179, 180,
181, 183, 188, 193, 194, 196,
198, 215, 220
Mikroflok · 163, 215

O

Operasional · 16, 29, 30, 54, 57,
92, 99, 115, 117, 127, 131, 136,
137, 148, 169, 177, 182, 188,
215

P

Partikel · 152, 160, 163, 211, 213,
215
Pasokan · 12, 82, 86, 92, 93, 113,
129, 151, 157, 183, 188, 189,
198, 199, 215

Payau · 153, 216
Pembangunan · 2, 6, 24, 25, 40,
42, 44, 51, 54, 60, 62, 65, 66, 72,
73, 74, 75, 76, 85, 89, 95, 100,
102, 123, 128, 134, 135, 141,
146, 150, 155, 169, 173, 216
Perovskit · 19, 216
Platform · 34, 35, 36, 37, 38, 39,
216
Portable · 216

R

Recovery · 52, 131, 132, 133, 165,
216
Recycle · 52, 131, 132, 133, 165,
217
Residu · 142, 217
Reuse · 52, 131, 132, 133, 165, 217

S

Sintetis · 162, 163, 217
Sustainability · 1, 2, 95, 132, 200,
217

T

Teknologi · 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,
10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18,

20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29,
30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39,
40, 43, 44, 46, 50, 53, 56, 67, 71,
78, 80, 81, 90, 91, 92, 93, 95,
125, 126, 127, 137, 139, 160,
187, 189, 190, 192, 193, 196,
198, 199, 207, 211, 216, 217,
218

Timbulan · 47, 218

Topologi · vi, 48, 218

Turbin · 10, 11, 12, 20, 21, 23, 25,
26, 91, 93, 218

U

Utilitas · 19, 147, 218

V

Virtual · 35, 207, 218

Y

Yurisdiksi · 149, 200, 218

- Aksesibel : Sebuah kata sifat yang dipergunakan untuk menggambarkan hal yang mudah dijangkau, diakses, atau dimanfaatkan oleh orang-orang dengan berbagai kondisi fisik, kognitif, atau sensorik.
- Aksesibilitas : Kemampuan untuk dijangkau dan dimanfaatkan oleh semua orang, termasuk mereka yang memiliki berbagai jenis kebutuhan dan keterbatasan.
- Atmosfer : Lapisan gas yang mengelilingi planet atau benda langit lainnya dan berperan penting dalam menjaga kehidupan dan mengatur kondisi cuaca di permukaan.
- Biofuel : Bahan bakar yang dihasilkan dari sumber-sumber organik, seperti tanaman, limbah pertanian, atau sisa-sisa biomassa, yang digunakan sebagai alternatif untuk bahan bakar fosil.
- Biomassa : Merujuk pada materi organik, seperti tumbuhan, limbah pertanian, kayu, atau limbah organik lainnya, yang dapat digunakan sebagai sumber energi atau bahan baku untuk produksi biofuel atau produk lainnya.

- Biomedis : Merujuk pada bidang atau studi yang berkaitan dengan aplikasi ilmu biologi dan kedokteran untuk pengembangan dan pemahaman teknologi medis, diagnosa, pengobatan, dan perawatan pasien.
- Birokrasi : Merujuk pada sistem administrasi yang kompleks yang melibatkan struktur hierarkis, prosedur formal, dan aturan yang ketat dalam pengelolaan organisasi atau pemerintahan.
- Defisit : Merujuk pada keadaan ketika jumlah pengeluaran melebihi jumlah pemasukan, mengakibatkan kekurangan atau hutang dalam konteks keuangan atau anggaran.
- Degradasi : Merujuk pada proses atau kondisi penurunan kualitas, nilai, atau kondisi suatu benda, lingkungan, atau sistem menjadi lebih rendah atau buruk dari sebelumnya.
- Dematerialisasi : Merujuk pada pergeseran dari penggunaan bahan fisik atau materi menjadi penggunaan informasi digital atau virtual untuk menggantikan atau mengurangi kebutuhan akan benda nyata.
- Devisa : Merujuk pada mata uang asing atau aset keuangan yang dimiliki oleh suatu

negara sebagai hasil dari kegiatan perdagangan internasional, investasi, atau sumber pendapatan lainnya.

Digital : Merujuk pada representasi atau penyampaian informasi, data, atau konten dalam bentuk angka atau kode biner, yang dapat diproses, disimpan, dan dikomunikasikan melalui perangkat elektronik atau komputer.

Dosis : Jumlah tertentu dari suatu zat, seperti obat atau bahan kimia, yang diberikan atau direkomendasikan untuk dikonsumsi atau diberikan kepada seseorang dalam rangka mencapai efek terapeutik yang diinginkan atau hasil yang diharapkan.

Eco-efficiency : Konsep yang mengacu pada upaya untuk mencapai efisiensi dalam penggunaan sumber daya alam dan energi, serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dengan tetap mencapai pertumbuhan ekonomi dan keuntungan bisnis yang berkelanjutan.

Eco-Industrial : Pendekatan yang mendorong kolaborasi antara perusahaan dan pemangku kepentingan lainnya dalam suatu wilayah geografis tertentu, dengan tujuan mengoptimalkan efisiensi sumber daya, mengurangi

limbah, dan mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dengan mempertimbangkan dampak lingkungan.

Ekodesain : Pendekatan desain yang mempertimbangkan dampak lingkungan sepanjang siklus hidup suatu produk atau sistem.

Ekofisiensi : Pendekatan yang bertujuan untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi dalam penggunaan sumber daya alam dan energi, serta mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh kegiatan ekonomi.

Ekologi : Ilmu yang mempelajari adanya interaksi antara organisme hidup dengan lingkungan mereka, termasuk hubungan antarorganisme dan hubungan organisme dengan faktor non-hidup seperti iklim, tanah, air, dan sumber daya lainnya.

Ekosistem : Suatu sistem kompleks yang terdiri dari komunitas organisme hidup (baik tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme) yang berinteraksi dengan lingkungan fisiknya (termasuk faktor abiotik seperti tanah, air, udara, dan cahaya matahari).

Eksplorasi : Proses penelusuran, pemeriksaan, atau penjelajahan suatu daerah yang belum

dikenal atau belum sepenuhnya dipahami, dengan tujuan untuk menemukan atau mendapatkan pengetahuan baru tentang hal tersebut.

- Emisi : Merujuk pada pelepasan atau pelepasan zat atau energi ke lingkungan, khususnya dalam konteks pelepasan polutan atau gas rumah kaca ke atmosfer.
- Empiris : Pendekatan atau metode pengetahuan yang didasarkan pada pengamatan, pengalaman, dan fakta yang dapat diamati secara langsung atau diperoleh melalui pengujian dan pengalaman praktis.
- Energi : Kemampuan untuk melakukan pekerjaan atau menyebabkan perubahan.
- Evolusi : Proses perubahan dan pengembangan bertahap organisme hidup dari generasi ke generasi melalui mekanisme seleksi alam.
- Fenomena : Peristiwa, kejadian, atau keadaan yang dapat diamati atau dirasakan dan merupakan objek studi atau penelitian dalam ilmu pengetahuan.
- Fermentasi : Proses biokimia di mana mikroorganisme, seperti bakteri atau ragi, menguraikan bahan organik yang

- kompleks menjadi suatu senyawa lebih sederhana, seringkali dengan menghasilkan produk sampingan seperti gas atau alkohol.
- Flokulasi : Proses fisik atau kimia di mana partikel-partikel kecil atau koloid yang terdispersi dalam suatu medium (seperti air) membentuk gumpalan yang lebih besar yang disebut flok.
- Fosil : Sisa-sisa atau jejak organisme hidup yang telah mati dan tertanam dalam batuan atau endapan geologis selama periode waktu yang lama.
- Fotovoltaik : Teknologi yang menggunakan sel surya atau panel surya untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik.
- Fraksi : Bagian atau pecahan dari keseluruhan yang merupakan bagian yang lebih kecil atau terpisah.
- Gamifikasi : Penerapan elemen dan prinsip permainan dalam konteks non-permainan, seperti pendidikan, bisnis, atau lingkungan kerja, dengan tujuan untuk meningkatkan motivasi, keterlibatan, dan interaksi pengguna.
- Implementasi : Proses menerapkan atau melaksanakan suatu kebijakan, rencana, program, atau tindakan dalam praktik atau kenyataan.

- Indikator : Variabel, ukuran, atau tanda yang digunakan untuk mengukur atau menunjukkan fenomena tertentu, kondisi, atau progres dalam suatu sistem atau konteks.
- Inklusif : Prinsip atau pendekatan yang mendorong penerimaan, partisipasi, dan keterlibatan semua individu atau kelompok dalam suatu lingkungan atau kegiatan, tanpa diskriminasi atau pengecualian berdasarkan perbedaan sosial, budaya, ekonomi, atau kondisi fisik.
- Insentif : Suatu stimulus atau rangsangan yang dirancang untuk mendorong atau memotivasi individu atau kelompok untuk melakukan tindakan tertentu atau mengubah perilaku mereka.
- Instalasi : Proses atau tindakan memasang, menyusun, atau mengatur suatu sistem, peralatan, atau komponen dengan tujuan agar berfungsi sesuai dengan yang diinginkan.
- Integrasi : Proses penggabungan atau penggabungan dua atau lebih bagian, elemen, atau sistem yang berbeda menjadi satu kesatuan yang terkoordinasi dan saling berhubungan.
- Intensitas : Ukuran atau tingkat dari sesuatu yang berhubungan dengan kekuatan,

- tingkat, atau kehebatan suatu fenomena atau aktivitas.
- Investasi : Tindakan atau proses menempatkan dana, sumber daya, atau aset dalam suatu proyek, bisnis, atau instrumen keuangan dengan harapan mendapatkan keuntungan di masa depan.
- Kalibrasi : Proses membandingkan dan menyesuaikan skala atau pengukuran suatu perangkat atau instrumen dengan standar referensi yang diketahui secara akurat.
- Koloid : Sistem dispersi yang terdiri dari partikel-partikel kecil yang terdispersi secara homogen dalam medium pembawa.
- Komersial : Istilah yang merujuk pada segala sesuatu yang terkait dengan bisnis atau kegiatan yang dilakukan dengan tujuan keuntungan atau perdagangan.
- Komprehensif : Istilah yang mengacu pada keseluruhan atau lengkapnya suatu hal atau konsep.
- Konseptual : Istilah yang mengacu pada sesuatu yang berkaitan dengan konsep atau ide-ide abstrak, bukan hal-hal yang konkret atau nyata secara fisik.
- Konservasi : Tindakan atau upaya untuk melindungi, mempertahankan, dan

mengelola secara bijaksana sumber daya alam, lingkungan, atau warisan budaya agar tetap terjaga, lestari, dan dapat dimanfaatkan oleh generasi saat ini dan masa depan.

Konvensional : Istilah yang merujuk pada sesuatu yang berhubungan dengan atau mengikuti konvensi atau tradisi yang sudah mapan, umum, atau umumnya diterima oleh masyarakat atau kelompok tertentu.

Korektif : Istilah yang merujuk pada tindakan atau proses perbaikan atau penyesuaian yang dilakukan untuk mengatasi kesalahan, kegagalan, atau kekurangan dalam suatu sistem, proses, atau kinerja.

Korosif : Istilah yang merujuk pada sifat atau kemampuan suatu zat untuk menyebabkan korosi atau kerusakan pada bahan atau permukaan yang berinteraksi dengannya.

Krusial : Istilah yang merujuk pada sesuatu yang sangat penting, kritis, atau menentukan dalam suatu situasi atau konteks tertentu.

Limbah : Istilah yang merujuk pada bahan atau material yang dihasilkan sebagai hasil sampingan dari berbagai proses

- manusia, termasuk produksi, konsumsi, atau aktivitas industri.
- Linear : Istilah yang merujuk pada sesuatu yang memiliki hubungan atau pola yang berjalan sejajar atau sejajar lurus.
- Manajemen : Istilah yang merujuk pada proses perencanaan, pengorganisasian, pengarahan, dan pengendalian sumber daya manusia, keuangan, fisik, dan informasi dalam suatu organisasi dengan tujuan mencapai tujuan yang ditetapkan.
- Mikroflok : Istilah yang merujuk pada partikel-partikel kecil atau agregat yang terbentuk dalam proses flokulasi dalam pengolahan air atau pengolahan limbah.
- Operasional : Istilah yang merujuk pada segala hal yang terkait dengan pelaksanaan atau kegiatan yang dilakukan dalam suatu organisasi, perusahaan, atau sistem.
- Partikel : Istilah yang merujuk pada benda atau zat yang memiliki ukuran atau dimensi yang sangat kecil, tidak terlihat dengan mata telanjang, tetapi masih dapat berinteraksi dengan benda lain atau lingkungannya.
- Pasokan : Istilah yang merujuk pada ketersediaan atau kuantitas barang atau jasa yang tersedia di pasar atau

- untuk memenuhi kebutuhan dan permintaan konsumen.
- Payau* : Istilah yang merujuk pada lingkungan atau habitat yang memiliki kandungan garam yang lebih tinggi daripada air tawar, tetapi lebih rendah daripada air laut.
- Pembangunan* : Istilah yang merujuk pada proses perubahan positif dan progresif dalam berbagai aspek kehidupan sosial, ekonomi, dan infrastruktur suatu negara atau wilayah.
- Perovskit* : Istilah yang merujuk pada jenis struktur kristal yang memiliki komposisi kimia tertentu dan karakteristik yang khas.
- Platform* : Istilah yang merujuk pada suatu sistem atau kerangka kerja yang menyediakan fondasi atau infrastruktur untuk membangun, mengintegrasikan, atau menjalankan aplikasi, layanan, atau teknologi lainnya.
- Portable* : Istilah yang mengacu pada kemampuan suatu barang atau perangkat untuk dipindahkan atau dibawa dengan mudah dari satu tempat ke tempat lain.
- Recovery* : Istilah yang merujuk pada proses pemulihan atau kembalinya sesuatu ke

- kondisi normal setelah mengalami kerusakan, gangguan, atau situasi yang sulit.
- Recycle* : Istilah yang merujuk pada proses mengubah bahan bekas atau limbah menjadi bahan yang dapat digunakan kembali atau dimanfaatkan untuk tujuan lain.
- Residu* : Istilah yang merujuk pada sisa atau sisa-sisa yang tersisa setelah suatu proses atau kejadian.
- Reuse* : Istilah yang merujuk pada praktik menggunakan kembali suatu barang atau bahan tanpa mengubahnya secara signifikan.
- Sintetis* : Istilah yang merujuk pada sesuatu yang dibuat atau diproduksi secara buatan atau artifisial, tidak berasal dari alam secara alami.
- Sustainability* : Istilah yang merujuk pada upaya menjaga dan mempertahankan keseimbangan jangka panjang antara kebutuhan manusia, perlindungan lingkungan, dan keberlanjutan sosial.
- Teknologi* : Istilah yang merujuk pada penerapan pengetahuan, keterampilan, alat, dan sistem untuk menciptakan, mengubah, atau meningkatkan barang, layanan, proses, atau lingkungan yang ada

- dengan tujuan memenuhi kebutuhan manusia.
- Timbulan : Istilah yang merujuk pada jumlah atau volume suatu barang atau bahan yang dihasilkan atau dibuang oleh individu, rumah tangga, perusahaan, atau suatu wilayah dalam suatu periode waktu tertentu.
- Topologi : Istilah yang merujuk pada susunan atau konfigurasi fisik dari jaringan komputer atau sistem komunikasi.
- Turbin : Sebuah perangkat mekanis yang digunakan untuk mengkonversi energi aliran fluida, seperti air, uap, atau gas, menjadi energi mekanik yang dapat dipergunakan untuk melakukan suatu pekerjaan.
- Utilitas : Istilah yang merujuk pada kegunaan, manfaat, atau nilai yang diperoleh dari penggunaan atau konsumsi suatu produk, layanan, atau sumber daya.
- Virtual : Istilah yang merujuk pada sesuatu yang ada atau terjadi secara tidak nyata atau tidak fisik, namun dapat disimulasikan atau diakses melalui media atau teknologi tertentu.
- Yurisdiksi : Otoritas atau kekuasaan hukum yang dimiliki oleh suatu lembaga atau badan untuk membuat keputusan hukum, mengatur perilaku, dan

menegakkan hukum di dalam suatu wilayah atau lingkup tertentu.

TENTANG PENULIS



Nurhayati Sembiring lahir di Medan 14 Agustus 1968, ibu berputra 4 orang ini merupakan kepala Laboratorium Proses Manufaktur dan merupakan staf pengajar pada Departemen Teknik Industri Universitas Sumatera Utara sejak tahun 1994. Menyelesaikan S1 tahun 1992 dari Teknik dan Manajemen Industri USU dan S2 tahun 1996 dari Teknik Industri ITB. Berbagai mata kuliah seperti Sistem Lingkungan Industri, Proses Manufaktur, Manajemen Proyek, Analisis Biaya, Perencanaan Eksperimen, dan mata kuliah lainnya pernah diampu pada Departemen tersebut. Namun, mata kuliah sistem lingkungan industri merupakan salah satu favorit penulis karena ilmu-ilmu pada mata kuliah tersebut sangat berkaitan dengan aktivitas kehidupan dan sumber daya yang bermanfaat bagi kelestarian lingkungan hidup sehingga dapat menciptakan suatu mekanisme yang terintegrasi dalam peningkatan kinerja lingkungan secara berkelanjutan.