

# Neraca Massa & Energi

untuk Rekayasa Termal  
dan Sistem Industri



Ir. Yusuf Dewantoro Herlambang, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.  
Dr. Eng, Ir. Irfan Mujahidin, S.T., M.T., M.Sc.  
Ir. Fatahul Arifin, S.T. Dipl.Eng.EPD., M.Eng.Sc., Ph.D.  
Nanang Apriandi Ms, S.T., M.T.

# NERACA

## MASSA dan ENERGI

---

untuk Rekayasa Termal dan Sistem Industri

---

Ir. Yusuf Dewantoro Herlambang, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.

Dr. Eng, Ir. Irfan Mujahidin., S.T., M.T., M.Sc.

Ir. Fatahul Arifin, ST.DiplEng.EPD., MEngSc., PhD.

Nanang Apriandi Ms, S.T., M.T.

### **PENERBIT KBM INDONESIA**

Adalah penerbit dengan misi memudahkan proses penerbitan buku buku penulis di tanah air Indonesia. Serta menjadi media sharing proses penerbitan buku.

# **NERACA MASSA DAN ENERGI**

## **untuk Rekayasa Termal dan Sistem Industri**

*Copyright @2025 By Yusuf Dewantoro Herlambang, S.T., M.T., Ph. D., IPM., ASEAN Eng., dkk.  
All right reserved*

### **Penulis**

Yusuf Dewantoro Herlambang, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.  
Dr. Eng. Ir. Irfan Mujahidin., S.T., M.T., M.Sc.  
Ir. Fatahul Arifin, ST.DiplEng.EPD., MEngSc., PhD.  
Nanang Apriandi Ms, S.T., M.T.

### **Desain Sampul**

Aswan Kreatif

### **Tata Letak**

Sofitahm

### **Editor**

Dr. Muhamad Husein Maruapey, Drs., M. Sc.  
Background isi buku di ambil dari <https://www.freepik.com/>

### **Official**

Depok, Sleman-Jogjakarta (Kantor)  
**Penerbit Karya Bakti Makmur (KBM) Indonesia**  
**Anggota IKAPI/No. IKAPI 279/JTI/2021**  
081357517526 (Tlpn/WA)

### **Website**

<https://penerbitkbm.com>  
[www.penerbitbukumurah.com](http://www.penerbitbukumurah.com)

### **Email**

[naskah@penerbitkbm.com](mailto:naskah@penerbitkbm.com)

### **Distributor**

<https://penerbitkbm.com/toko-buku/>

### **Youtube**

Penerbit KBM Sastrabook

### **Instagram**

@penerbit.kbmindonesia  
@penerbitbukujogja

**ISBN: 978-634-202-426-3**

Cetakan ke-1, Juli 2027  
15 x 23 cm, vi+ 134 halaman

Isi buku diluar tanggungjawab penerbit  
Hak cipta merek KBM Indonesia sudah terdaftar di DJKI-Kemenkumham dan isi  
buku dilindungi undang-undang.

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau  
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini  
tanpa seizin penerbit karena beresiko sengketa hukum

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113**  
**Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100. 000. 000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500. 000. 000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1. 000. 000. 000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4. 000. 000. 000,00 (empat miliar rupiah).



---

## KATA PENGANTAR

---

**P**enulis mengucapkan syukur ke hadirat Allah SWT karena buku *Neraca Massa dan Energi untuk Rekayasa Termal dan Sistem Industri* ini dapat terselesaikan. Buku ini pada awalnya sebagai buku pegangan untuk mata kuliah wajib bagi semua mahasiswa di Jurusan Teknik Mesin. Pada perkembangannya mata kuliah *Neraca Massa dan Energi untuk Rekayasa Termal dan Sistem Industri* juga menggunakan buku ini sebagai buku ajar. Buku ini bagus bagi semua mahasiswa Jurusan Teknik Mesin di Indonesia karena mereka juga harus bisa menguasai mesin - mesin pengonversi energi.

Buku ini penulis susun berhubungan dengan pencapaian tujuan kurikulum baru yang akan diarahkan pada aplikasi ilmu Neraca Massa dan Energi pada alat-alat yang ada di Industri. Di dalam buku ini akan mempelajari mengenai dasar-dasar Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi, Neraca Massa, Neraca Energi dan Penerapan Neraca Massa dan Neraca Energi pada suatu sistem. Dengan buku ini diharapkan mahasiswa semakin mahir dalam menghitung Neraca Massa dan Neraca Energi pada system - system peralatan yang ada di Industri.

Demikian buku ini disusun dengan harapan bisa memenuhi pencapaian tujuan kurikulum dan bermanfaat bagi mahasiswa Teknik Konversi Energi. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan masukan dalam penulisan buku ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa dalam penulisan buku ini masih banyak terdapat banyak kekurangan.

Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan penulisan selanjutnya.

Semarang, Juli 2027

Penulis



---

## DAFTAR ISI

---

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| KATA PENGANTAR .....                                                                             | i   |
| DAFTAR ISI.....                                                                                  | iii |
| PENDAHULUAN .....                                                                                | 1   |
| BAB I KONVERSI SATUAN .....                                                                      | 5   |
| 1. 1 Pengertian.....                                                                             | 5   |
| 1. 2 Luasan.....                                                                                 | 6   |
| 1. 3 Kapasitas Panas, Heat Fluxs, Koefisien Perpindahan<br>Panas.....                            | 7   |
| 1. 4 Satuan panjang .....                                                                        | 8   |
| 1. 5 Massa .....                                                                                 | 8   |
| 1. 6 Momentum.....                                                                               | 9   |
| 1. 7 Power (Daya) .....                                                                          | 9   |
| 1. 8 Tekanan .....                                                                               | 9   |
| 1. 9 Temperatur.....                                                                             | 10  |
| 1. 10 Tahanan termal .....                                                                       | 10  |
| 1. 11 Volume.....                                                                                | 11  |
| 1. 12 Dimensi Dasar .....                                                                        | 11  |
| BAB II PEMBAKARAN .....                                                                          | 13  |
| 2. 1 Pengertian.....                                                                             | 13  |
| 2. 2 Bahan Bakar .....                                                                           | 14  |
| 2. 3 Menghitung Kebutuhan Oksigen dan Udara Teoritis<br>untuk Proses Pembakaran Bahan Bakar..... | 17  |
| 2. 4 Kendala – Kendala dalam Proses Pembakaran .....                                             | 20  |
| 2. 5 Pengaruh Udara Lebih ( <i>Excess Air</i> ).....                                             | 21  |
| 2. 6 Nilai Kalor Bahan Bakar .....                                                               | 24  |
| 2. 7 Pengaruh Kandungan Sulfur dalam Bahan Bakar.....                                            | 25  |
| 2. 8 Terbentuknya Asap .....                                                                     | 28  |
| 2. 9 Contoh Soal .....                                                                           | 32  |

|                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>BAB III NILAI KALOR .....</b>                                                                 | <b>37</b> |
| 3. 1 Pengertian.....                                                                             | 37        |
| 3. 2 Nilai Kalori Tinggi .....                                                                   | 38        |
| 3. 3 Nilai Kalor Rendah .....                                                                    | 39        |
| 3. 4 Contoh Soal .....                                                                           | 40        |
| <b>BAB IV PEMBAKARAN .....</b>                                                                   | <b>43</b> |
| 4. 1 Bahan Bakar .....                                                                           | 43        |
| 4. 2 Klasifikasi Bahan Bakar .....                                                               | 43        |
| 4. 3 Komposisi Udara .....                                                                       | 45        |
| 4. 4 Reaksi Pembakaran .....                                                                     | 46        |
| 4. 5 Menghitung Kebutuhan Oksigen dan Udara Teoritis<br>untuk Proses Pembakaran Bahan Bakar..... | 46        |
| 4. 6 Kendala-Kendala dalam Proses Pembakaran.....                                                | 49        |
| 4. 7 Pengaruh Udara Lebih ( <i>Excess Air</i> ).....                                             | 50        |
| 4. 8 Nilai Kalor Bahan Bakar .....                                                               | 53        |
| 4. 9 Pengaruh Kandungan Sulfur dalam Bahan Bakar.....                                            | 54        |
| 4. 10 <i>Desulphurizaiton Plant</i> .....                                                        | 55        |
| 4. 11 Terbentuknya Asap .....                                                                    | 57        |
| 4. 12 Pengukuran Kepekatan Asap dengan Kartu<br><i>Ringlemann</i> .....                          | 58        |
| 4. 13 Pengukuran Kepekatan Asap dengan Meter Asap.....                                           | 59        |
| 4. 15 Contoh Soal .....                                                                          | 61        |
| <b>BAB V ENTALPHI UNTUK PENGUAPAN.....</b>                                                       | <b>66</b> |
| 5. 1 Spesifik Entalpi untuk Zat Murni .....                                                      | 66        |
| 5. 2 Perubahan Entalpi dengan Temperatur .....                                                   | 67        |
| 5. 3 Perubahan Entalpi dengan Fase .....                                                         | 67        |
| 5. 4 Nilai absolut (relatif) dari h Memilih DATUM .....                                          | 68        |
| 5. 5 Entalpi Campuran .....                                                                      | 69        |
| 5. 6 Neraca Energi .....                                                                         | 71        |
| 5. 7 Saturasi Adiabatik .....                                                                    | 74        |
| 5. 8 Neraca Energi untuk Sistem dengan Reaksi Kimia.....                                         | 75        |
| 5. 9 Keseimbangan Energi dengan Reaksi Kimia – Pendekatan<br>“Panas Reaksi” .....                | 77        |
| 5. 10 Keseimbangan Energi pada Reaksi Kimia– Pendekatan<br>“Panas Pembentukan” .....             | 78        |

|                                                                                      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>BAB VI STEAM PLANT .....</b>                                                      | <b>81</b>  |
| 6. 1 Siklus Standar Udara untuk Penggerak Jet .....                                  | 81         |
| 6. 2 Siklus Daya dan Pendinginan S~fte .....                                         | 83         |
| 6. 3 Perhitungan Keseimbangan Energi untuk Merancang<br>Penukar Panas .....          | 85         |
| 6. 4 Contoh Soal .....                                                               | 87         |
| 6. 5 Neraca Massa dan Energi Menara pada Pendingin<br>( <i>Cooling Tower</i> ) ..... | 90         |
| 6. 6 Sistem Sirkulasi Air .....                                                      | 97         |
| 6. 7 Besaran Termodinamika .....                                                     | 102        |
| 6. 8 Neraca Massa dan Energi Menara Pendingin ( <i>Cooling<br/>Tower</i> ) .....     | 109        |
| 6. 9 Sistem Sirkulasi Air .....                                                      | 116        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                          | <b>129</b> |
| <b>TENTANG PENULIS .....</b>                                                         | <b>131</b> |

---

## DAFTAR PUSTAKA

R. S Khurmi, *“Heat Engine” Thermal Engineering.*

Pusdiklat PLN, *“Pembakaran”*

Syamsir A. Muin, Ir. , *“Pesawat – pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)”*, Rajawali Pers, Jakarta.

M. J. Djoko Setyardjo, *“Ketel Uap”*, PT. Pradaya Paramita Jakarta.

Sears, Zemansky et. al. , *University Physics*, Addison-Wessley Publishing Company, Sixth ed. , 1982, ISBN 0-201-07199-1



---

## TENTANG PENULIS

---



**Ir. Yusuf Dewantoro Herlambang, S. T., M. T., Ph. D., IPM., ASEAN Eng,** Penulis adalah tenaga pengajar di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang, Lahir di Klaten 1978. Pendidikan S1 di Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada diselesaikan tahun 2001 dan Insinyur (Ir) di Universitas Gadjah Mada tahun 2023.

Pascasarjana S2 juga diselesaikan di Universitas Gadjah Mada pada tahun 2006 di bidang Teknik Elektro. Pendidikan terakhir S3 Teknik Mesin bidang Renewable Energy diselesaikan pada tahun 2017 di National Kaohsiung University of Applied Sciences, Taiwan Republic of China melalui Beasiswa Program Pascasarjana (BPPS) skema 3+1 Indonesia-Taiwan ROC, Direktorat Pendidik dan Tenaga Kependidikan Kemenristekdikti tahun 2013. Penulis bergabung di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang sejak tahun 2001 yang mengajar dalam beberapa mata kuliah antara lain Pembangkit Tenaga Alternatif, Termodinamika, Neraca Massa dan Energi, Audit Energi, Manajemen Energi, Praktikum Mesin Konversi Energi, dan Praktikum Termodinamika & Perpindahan Panas. Penulis juga aktif dalam Seminar Nasional dan Seminar Internasional serta menulis karya ilmiah di Jurnal Nasional Terakreditasi dan Jurnal Internasional Bereputasi terindeks Scopus dan Web of Science. Penulis menjabat sebagai Lektor Kepala sejak tahun 2012 dan menjabat sebagai Kepala Laboratorium Mesin Fluida sejak tahun 2018 sampai dengan 2020 dan sekarang menjabat sebagai Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang periode 2020-2024. Saat ini penulis bekerja sebagai asesor BANPT

dan asesor LAM Teknik. Selain itu, aktif dalam kegiatan organisasi Ikatan Cendekiawan Muslim Indonesia (ICMI), Dewan Dakwah Islam Indonesia (DDII) Kota Semarang, Indonesia Fuel Cell Hydrogen Energy (IFHE).

Lebih lengkap bisa di telusuri melalui akun repositori publikasi berikut:  0000-0002-6838-2055,  TTi5IpQAAAAJ,  57194209980,  CAF-7021-2022.

Penulis dapat dihubungi di email: [masyusufdh@polines.ac.id](mailto:masyusufdh@polines.ac.id)



**Dr. Eng, Ir. Irfan Mujahidin., S. T., M. T., M. Sc.,** Penulis adalah seorang dosen program studi Teknik telekomunikasi, Politeknik Negeri Semarang. Penulis lahir di Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia, pada tahun 1992. Latar Pendidikan penulis adalah memperoleh gelar doctoral di Teknik Elektro dan Ilmu Komputer di Universitas Kanazawa, Jepang, pada tahun 2022. Penulis

memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro dari Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, pada tahun 2015. Master of Science dari Institut Teknik Komunikasi, National Sun Yat-sen University, Kaohsiung, Taiwan, Republik Tiongkok, pada tahun 2018 dan gelar profesi insinyur pada tahun 2021 sebagai praktisi dan peneliti bidang antenna dan propagasi. Minat penelitiannya saat ini meliputi desain antena pada pemanenan energi RF, jaringan sensor nirkabel, aplikasi Internet-of-Things, transmisi daya nirkabel, dan desain sirkuit RF. Lebih lengkap bisa di telusuri melalui akun repositori publikasi berikut:  0000-0002-5451-941X,  4O28CH8AAAAJ,  57163783300,  AAM-4798-2020.

Penulis dapat dihubungi di email: [irfan.mujahidin@polines.ac.id](mailto:irfan.mujahidin@polines.ac.id)



**Ir. Fatahul Arifin, ST. DiplEng. EPD., MEngSc., PhD**, Penulis adalah tenaga pengajar di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya, Lahir di Palembang 1972. Pendidikan DIII Politeknik Universitas Sriwijaya diselesaikan tahun 1994, Pendidikan S1 di Teknik Mesin Universitas Sriwijaya diselesaikan tahun 1997. Post Graduate Diploma Hogestshool

van Utrecht Belanda bidang Product Design Tahun 2002 melalui beasiswa STUNED, Master Engineering Science di Curtin University Perth Australia tahun 2007 melalui beasiswa TPSDP, Doctoral Philosophy S3 Teknik Mesin diselesaikan pada tahun 2019 di National Kaohsiung University of Applied Sciences, Taiwan Republic of China melalui Beasiswa Program Pascasarjana (BPPS) skema 3+1 Indonesia-Taiwan ROC, Direktorat Pendidik dan Tenaga Kependidikan Kemenristekdikti tahun 2013. Dan telah menyelesaikan Pendidikan Profesi Insinyur di Universitas Atmajaya Jakarta. Berpengalaman di bidang Energi terbarukan, alat berat, pengelasan, serta manufaktur. Penulis bergabung di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya sejak tahun 1997 yang mengajar dalam beberapa mata kuliah antara lain: Gambar Teknik, Program Komputer, Pemodelan dan Simulasi serta Mengajar Program Magister Terapan Teknik (S2) Energi Terbarukan di Politeknik Negeri Sriwijaya. Penulis juga aktif dalam Seminar Nasional dan Seminar Internasional serta menulis karya ilmiah di Jurnal Nasional Terakreditasi dan Jurnal Internasional Bereputasi terindeks Scopus dan Web of Science. Penulis saat aktif juga sebagai reviewer di berbagai Jurnal Nasional dan Internasional. Saat ini menjadi senat wakil Dosen Politeknik Negeri Sriwijaya periode 2020-2024. Selain merupakan Asesor BNSP, untuk bidang K3 Kelistrikan, Lifting Gear, dan Welding. Lebih lengkap bisa di telusuri melalui akun repositori publikasi berikut: Orcid ID: 0000-0002-8973-0709, Scopus Author ID: 55489401300, ResearcherID: Q-1174-2018.

Penulis dapat dihubungi di email: [farifinus@polsri.ac.id](mailto:farifinus@polsri.ac.id)





**Nanang Apriandi Ms, S. T., M. T.**, Penulis adalah tenaga pengajar di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang, Jawa Tengah. Lahir di Rensing, Lombok Timur - Nusa Tenggara Barat, pada tanggal 9 April 1985. Pendidikan S1 dan S2 diselesaikan masing-masing pada tahun 2008 dan 2013, mengambil Jurusan Teknik Mesin di Universitas Udayana, dengan minat pada

bidang Konversi Energi. Saat ini, penulis sedang menempuh studi Doktorat (S3) Jurusan Teknik Mesin dengan bidang minat yang sama (Konversi Energi) di Universitas Diponegoro sejak tahun 2024. Sebagai informasi tambahan, penulis bergabung di Jurusan Teknik Mesin - Politeknik Negeri Semarang sejak tahun 2019, dengan mengampu beberapa mata kuliah antara lain: Termodinamika, Neraca Massa dan Energi, Manajemen Energi, Praktikum Mesin Konversi Energi, dan Praktikum Termodinamika & Perpindahan Panas. Penulis juga aktif menulis karya ilmiah, baik di Jurnal Nasional Terakreditasi maupun Jurnal Internasional Bereputasi, dengan berbagai area seperti Energi Terbarukan, Alat Penukar Kalor, Teknologi Pengering, Penyimpanan Energi, dan Teknologi Desalinasi.

Lebih lengkap bisa di telusuri melalui akun repositori publikasi berikut:  0000-0002-5404-8419,  58563183600.

Penulis dapat dihubungi di email: [nanang\\_apriandi@polines.ac.id](mailto:nanang_apriandi@polines.ac.id)