



MANAJEMEN ENERGI DAN AUDIT ENERGI

Pendekatan Strategis
Menuju Efisiensi dan Konservasi

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.

MANAJEMEN ENERGI *dan* AUDIT ENERGI

Pendekatan Strategis Menuju Efisiensi dan Konservasi

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.

MANAJEMEN ENERGI DAN AUDIT ENERGI

Pendekatan Strategis Menuju Efisiensi dan Konservasi

Copyright @2025 By Ir. Yusuf Dewantoro Herlambang, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., dkk.

All right reserved

Penulis

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.

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

Email

naskah@penerbitkbm.com

Distributor

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

Youtube

Penerbit KBM Sastrabook

Instagram

@penerbit.kbmindonesia

@penerbitbukujogja

ISBN: 978-634-202-441-6

Cetakan ke-1, Oktober 2025

15 x 23 cm, xvi+ 428 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

Memanjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, buku Manajemen Energi dan Audit Energi: Pendekatan Strategis Menuju Efisiensi dan Konservasi telah selesai. Saya menyadari bahwa buku ajar ini masih belum sempurna, oleh karena itu masukan dan kritikan selalu kami harapkan.

Manajemen energi adalah suatu program yang direncanakan dan dilaksanakan secara sistematis untuk memanfaatkan energi secara efektif dan efisien dengan melakukan perencanaan, pencatatan, pengawasan dan evaluasi secara kontinu tanpa mengurangi kualitas produksi dan pelayanan.

Buku Manajemen Energi dan Audit Energi: Pendekatan Strategis Menuju Efisiensi dan Konservasi berisi tentang konsep manajemen energi, demand side management & supply side management, SME (Sistem Manajemen Energi) dan standar ISO 50001, manajemen energi pada sistem PLTU, PLTA, PLTS, dan PLTB, korosi pada komponen sistem pembangkit, konsep audit dan konservasi energi, audit dan konservasi energi di gedung, serta audit dan konservasi energi di industri. Semoga buku manajemen energi ini bisa bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, Oktober 2025

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 KONSEP MANAJEMEN ENERGI.....	1
1.1 Pengertian Manajemen Energi	1
1.2 Definisi Efisiensi Energi	4
1.3 Kuadran Efisiensi Energi.....	4
1.4 Mengelola Isu Manajemen Energi	7
1.5 Langkah-Langkah Sukses Dalam Manajemen Energi.....	11
1.6 Merumuskan Kebijakan Manajemen Energi Perusahaan	12
1.7 Mengembangkan Kebijakan Energi.....	15
1.8 Melaksanakan Audit Energi.....	16
BAB 2 DEMAND SIDE MANAGEMENT & SUPPLY SIDE MANAGEMENT.....	25
2.1 Supply Side Management (SSM)	25
2.1 Demand Side Management.....	26
2.2 SAIFI, SAIDI, CAIFI, CAIDI, MAIFI, Pada Sistem Keandalan Sistem Tenaga Listrik	34
BAB 3 SME (SISTEM MANAJEMEN ENERGI) DAN STANDAR ISO 50001	41
3.1 Pengertian SME (Sistem Manajemen Energi).....	41
3.2 Konsep Sistem Manajemen Energi Berdasarkan ISO 50001	42
3.4 EnMS ISO 50001	50

3.5	Pengertian Energy Baseline (EnB)	54
BAB 4	MANAJEMEN ENERGI PADA SISTEM PLTU	67
4.1	Pengertian Umum Effisiensi	67
4.2	Effisiensi PLTU	68
4.3	Effisiensi Ketel	70
4.4	Menghitung Effisiensi Ketel.....	73
4.5	Parameter yang Mempengaruhi Effisiensi	77
4.6	Alat – Alat Untuk Peningkatan Effisiensi Ketel	83
4.7	Pemanas Lanjut Uap atau Steam Superheater	83
4.8	Ekonomiser.....	94
4.9	Pemanas Udara dan Air Preheater	98
4.10	Pesawat Deairator	104
4.11	Kerugian-Kerugian Panas Pada Ketel Uap	106
BAB 5	MANAJEMEN ENERGI PADA SISTEM PLTA.....	131
5.1	Pengertian PLTA	131
5.2	Sistem Kerja PLTA.....	132
5.3	Pengukuran Manajemen Energi Pada PLTA	134
5.4	Pengoperasian dan Perawatan PLTA Mikrohidro.....	136
BAB 6	MANAJEMEN ENERGI PADA SISTEM PLTS	153
6.1	Sistem PLTS.....	153
6.2	Fungsi Komponen Utama PLTS.....	154
6.3	Prinsip Dasar Pengoperasian PLTS.....	154
6.4	Menghidupkan dan Mematikan PLTS Off-grid System DC Coupling	157
6.5	Kondisi Darurat pada PLTS	160
6.6	Pemeliharaan.....	161
BAB 7	MANAJEMEN ENERGI PADA SISTEM PLTB.....	165
7.1	Pengertian Pembangkit Tenaga Angin.....	165
7.2	Potensi Energi Angin.....	166
7.3	Pemilihan Tempat Penempatan Turbin Angin.....	169
7.4	Teori momentum Elementer Betz	171
7.5	<i>Tip Speed Ratio</i> (Perbandingan Kecepatan)	178
7.6	Solidity	181
7.7	Momen Puntir	181
7.7	Diameter Poros (Ds)	182
7.8	Torsi	183
7.9	Daya Turbin Angin.....	184

7.10 Daya Generator	185
BAB 8 KOROSI PADA KOMPONEN SISTEM	
PEMBANGKIT.....	187
8.1 Pengertian dan Kerugian Akibat Korosi.....	187
8.2 Bentuk-Bentuk Korosi.....	190
8.3 Penanggulangan Korosi (Corrosion Prevention)	197
8.4 Pemantauan Korosi Pada Industri.....	198
BAB 9 PENGANTAR AUDIT DAN KONSERVASI	
ENERGI.....	203
9.1 Pengertian Konservasi Energi	203
9.2 Pengertian Audit Energi.....	204
9.3 Dasar Hukum	206
9.4 Konsep Dasar (Pengertian, Sasaran, Tujuan, Ruang Lingkup)	206
9.5 Teknik, Metode, dan Tahapan Audit Energi.....	208
9.6 Peralatan Audit Energi (Utama, Pendukung, dan K3)....	215
BAB 10 AUDIT DAN KONSERVASI ENERGI DI BANGUNAN	
GEDUNG.....	219
10.1 Sistem Kelistrikan dan Transportasi Vertikal	219
10.2 Sistem Pengkondisian Udara dan Ventilasi	234
10.3 Sistem Pencahayaan.....	255
10.4 Sistem Selubung Bangunan	284
BAB 11 AUDIT DAN KONSERVASI ENERGI DI	
INDUSTRI.....	319
11.1 Sistem Pembangkitan Energi.....	319
11.2 Sistem Integrasi Proses	345
REFERENSI	377
GLOSARIUM.....	379
INDEX.....	383
LAMPIRAN.....	387
TENTANG PENULIS.....	425

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kuadran Efisiensi Energi.....	5
Gambar 1.2 Irisan Antara Konservasi & Efisiensi Energi Menghasilkan Penghematan Energi	6
Gambar 1.3 Pengelolaan Isu Manajemen Energi Seminar	9
Gambar 2.1 Hirarki dari sasaran-sasaran penerapan DSM (Sumber: Gellings, 1993)	31
Gambar 2.2 Perubahan Paradigma Pengelolaan Energi.....	34
Gambar 3.1 Siklus PDCA Manajemen Energi.....	42
Gambar 3.2 Keterlibatan Management dalam Manajemen Energi	44
Gambar 3.3 Struktur Tim Manajemen Energi	46
Gambar 3.4 Policy dalam Manajemen Energi.....	46
Gambar 3.5 Planning dalam Manajemen Energi	47
Gambar 3.6 Siklus PDCA Manajemen Energi Berdasarkan ISO 50001.....	51
Gambar 3.7 KPI (Key Performance Indicator).....	56
Gambar 4.1 Diagram Neraca Panas untuk Effisiensi 100%.....	69
Gambar 4.2 Diagram Neraca panas untuk efisiensi 35%	70
Gambar 4.3 Superheater konveksi arus searah.....	87
Gambar 4.4 Superheater Arus Berlawanan.....	88
Gambar 4.5 Perbandingan Antara Superheater Konveksi Arus Searah dan Superheater Konveksi Arus Berlawanan....	90
Gambar 4.6 Superheater Konveksi Arus Kombinasi	91
Gambar 4.7 Karakteristik atau sifat-sifat superheater pancaran.....	93
Gambar 4.8 Ekonomiser	97
Gambar 4.9 Air Preheater	101
Gambar 4.10 Pemanas Udara.....	102
Gambar 4.11 Pemanas Udara	103

Gambar 4.12 Pesawat Daerator atau Degasser.....	105
Gambar 4.13 Kurva Kerugian Radiasi	111
Gambar 5.1 Gambar 5.1 Sistem Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air	133
Gambar 7.1 Aliran Angin di Dunia	167
Gambar 7.2 Percepatan angin melewati bukit	170
Gambar 7.3 Turbulensi Angin	171
Gambar 7.4 Kondisi aliran karena pengeluaran energi mekanik dari arus bebas aliran udara	173
Gambar 7.5 Koefisien daya (Power coefficient) dengan rasio kecepatan aliran dari aliran sebelum dan sesudah konverter energy.....	176
Gambar 7.6 Betz limits (BWEA, 2002).....	177
Gambar 7.7 Gambar Desain TSR.....	179
Gambar 7.8 Variasi tip speed ratio dan koefisien daya Cp berbagai jenis turbin.....	180
Gambar 7.9	181
Gambar 7.10 Free body diagram poros turbin savonius.....	182
Gambar 7.11 Pengujian torsi turbin	183
Gambar 7.12 Nilai Torsi Untuk Berbagai Jenis Turbin Angin	184
Gambar 8.1 Korosi Pada Logam	188
Gambar 8.2 Uniform Corrosion	190
Gambar 8.3 Pitting Corrosion	191
Gambar 8.4 Crevice Corrosion	191
Gambar 8.5 Intergranular Corrosion	192
Gambar 8.6 Selective Leaching	192
Gambar 8.7 Erosion Corrosion.....	193
Gambar 8.8 Corrosion Fatigue.....	194
Gambar 8.9 Stress Corrosion Cracking.....	194
Gambar 8.10 Galvanic Corrosion.....	195
Gambar 8.11 Bacterial & Bio Fouling Corrosion	196
Gambar 8.12 Hydrogen Damage	197
Gambar 8.13 Corratel.....	199
Gambar 8.14 Corrosometer Transmitter.....	200
Gambar 8.15 Ultrasonic Glass Thickness Meter Gauge	201
Gambar 9.1 Skema Program Audit Energi	207
Gambar 9.2 Flowchart Proses Audit Energi.....	208
Gambar 9.3 Tahap awal dan Persiapan Audit	211

Gambar 9.4 Teknik Audit Energi	213
Gambar 10.1 Lift silinder hidrolik	221
Gambar 10.2 Grafik Rata – rata suhu di luar ruangan Jakarta dibandingkan suhu ruangan yang direkomendasikan	234
Gambar 10.3 Grafik Penggunaan Energi Bangunan untuk beberapa bangunan di Jakarta	235
Gambar 10.4 Grafik Peningkatan kualitas udara meningkatkan produktivitas individu	236
Gambar 10.5 Potensi penghematan energi karena peningkatan efisiensi sistem pendingin	241
Gambar 10.6 Penghematan energi karena VAV.	243
Gambar 10.7 Penghematan Energi karena VSD pada Menara Pendingin pada Bangunan Gedung di Jakarta	244
Gambar 10.8 Penghematan daya dengan menggunakan VSD pompa.....	245
Gambar 10.9 Alternatif Pendingin yang Aman untuk CFC dan HCFC	247
Gambar 10.10 Sistem Pemantauan Karbon Monoksida (CO) pada Struktur Parkir 3 Tingkat.....	250
Gambar 10.11 Potensi pemanfaatan energi fitur dengan pasif di Jakarta.....	251
Gambar 10.12 Karakteristik Output dari beberapa jenis Lampu	255
Gambar 10.13 Rincian Konsumsi Energi untuk Berbagai Jenis Bangunan	256
Gambar 10.14 Zona Pencahayaan Perimeter yang harus dikendalikan oleh sensor cahaya	258
Gambar 10.15 Grafik antara persentase cahaya dengan waktu	261
Gambar 10.16 Diagram jalur matahari	262
Gambar 10.17 Fakultas ilmu sosial dan politik UIN Jakarta	263
Gambar 10.18 Beban Air Conditioning untuk 100,000 Lumen Cahaya	264
Gambar 10.19 Tipikal Bangunan Jakarta dengan Rasio Jendela ke Dinding	264
Gambar 10.20 Hubungan Antara Penetrasi Cahaya Alami dengan Konfigurasi Jendela.....	265
Gambar 10.21 Tirai (Blind) Horizontal untuk Mengarahkan Pantulan Cahaya	266
Gambar 10.22 Reflektor Cahaya.....	267

Gambar 10.23	Jika lightshelves digunakan, penetrasi cahaya alami bisa menjadi 2d	267
Gambar 10.24	Pilihan Desain Jendela untuk Pencahayaan Alami	268
Gambar 10.25	Ketinggian Jendela dan Penetrasi Cahaya Alami	269
Gambar 10.26	Gambar Denah yang Menunjukkan Kinerja Pencahayaan Alami pada Denah Bangunan Tipis vs Bangunan Tebal	269
Gambar 10.27	Partisi-Partisi Internal yang Transparan	270
Gambar 10.28	Tipikal Distribusi Cahaya dalam Sistem Peredupan Bertingkat (Stepped On-off System).....	271
Gambar 10.29	Penghematan Energi Melalui Pilihan Desain Pencahayaan dengan Tingkat Cahaya yang Sama.....	273
Gambar 10.30	Ruang Kerja di Kedutaan Austria Jakarta	274
Gambar 10.31	Efisiensi Sumber Cahaya - Luminous Efficacy (lm/W)	276
Gambar 10.32	Konfigurasi Distribusi Cahaya Rumah Lampu	279
Gambar 10.33	Lampu yang diarahkan ke bawah (downlight) yang sangat terarah dapat menciptakan lingkungan visual yang suram meskipun tingkat cahaya pada desktop adalah sangat tinggi.....	280
Gambar 10.34	Sistem Pencahayaan yang Digantung di Ruangan Kantor Terbuka	281
Gambar 10.35	Contoh Pengaruh “Hukum Kuadrat Terbalik” pada Ruangan yang Memiliki Ketinggian Langit-Langit Bervariasi	282
Gambar 10.36	Saklar Ganda (kiri) dan Saklar Strategis (kanan)	283
Gambar 10.37	Rincian konsumsi energi untuk berbagai tipe bangunan	285
Gambar 10.38	Beban Pendinginan untuk Tipikal Bangunan Kantor Jakarta	286
Gambar 10.39	Konstruksi Bata dan Jendela (Kiri) dan Konstruksi Dinding Tirai Kaca (Curtain Glass Wall)	286
Gambar 10.40	Kantor dengan Konstruksi Dinding Tirai Kaca dengan Tirai/Gorden yang Ditutup Sepenuhnya dan Lampu yang Menyala.....	287
Gambar 10.41	Potensi Penghematan Energi dari HVAC dan Pencahayaan Tipikal Gedung Perkantoran di Jakarta Melalui Strategi Desain Pasif.....	288

Gambar 10.42 Nilai OTTV untuk Berbagai WWR dan SHGC dan Delapan Orientasi Utama.....	293
Gambar 10.43 Komponen-komponen Perpindahan Panas Melalui Selubung Bangunan.....	298
Gambar 10.44 Rerata tahunan radiasi matahari yang diterima oleh permukaan Barat, Selatan, Timur, Utara, dan Permukaan Horisontal (W/m^2)	299
Gambar 10.45 Bentuk bangunan memanjang dari barat ke timur untuk meminimalkan perolehan panas matahari dan memaksimalkan pencahayaan alami. Kiri: Fakultas Ilmu Sosial dan Politik, UIN, Jakarta. Kanan: Kementerian Kelautan dan Perikanan, Kantor Pusat, Jakarta	299
Gambar 10.46 Gambar 10.44. Dampak Bentuk dan Orientasi Bangunan terhadap OTTV (W/m^2)	300
Gambar 10.47 Contoh Aplikasi Sirip Vertikal (kiri atas) ⁹ , Peneduh Horisontal (kanan atas) ¹⁰ , dan Fassade Ganda Eggcrate (bawah)	304
Gambar 10.48 Jenis Peneduh Eksternal Generik: Overhang dan Potensi Penghematan Energi	305
Gambar 10.49 Jenis Peneduh Eksternal Generik: Sirip Vertikal (atas) dan Eggcrate (bawah) dan Potensi Penghematan Energi	306
Gambar 10.50 Pengurangan Transmisi Panas dengan Peneduh Horisontal	307
Gambar 10.51 Contoh Kinerja Tipikal Reflektor Cahaya (Lightshelf).....	308
Gambar 10.52 Aplikasi Reflektor Cahaya (Lightshelf).....	308
Gambar 10.53 Kinerja termal sistem fenestrasi.....	309
Gambar 10.54 Pebandingan suhu permukaan untuk material kaca dan dondong bata	312
Gambar 10.55 Atap Hijau (kiri) dan Atap Logam dengan Lapisan Insulasi (kanan)	313
Gambar 10.56 Contoh Bahan Selubung Bangunan dan Transmisi Panasnya (W/m^2)	315
Gambar 10.57 Infiltrasi dan Eksfiltrasi Melalui Bukaannya Jendela dan Retak-retak.....	316

Gambar 11.1 Diagram satu garis sistem pembangkit energi listrik	320
Gambar 11.2 Tujuan operasi sistem tenaga listrik.....	321
Gambar 11.3 Kondisi Operasi sistem tenaga listrik.....	323
Gambar 11.4 Kurva masukan keluaran pembangkit listrik termal	327
Gambar 11.5 Kurva masukan keluaran pembangkit listrik hidro	327
Gambar 11.6 N buah unit termal yang melayani beban Pload	331
Gambar 11.7 Prakiraan beban dengan metode Least Square.....	338
Gambar 11.8 Prakiraan beban dengan metode Eksponensial.....	339
Gambar 11.9 Prakiraan beban dengan metode Curve Fit	340
Gambar 11.10 Prakiraan beban dengan metode Koefisien Beban.....	341
Gambar 11.11 Prakiraan beban dengan metode Pendekatan Linier	341
Gambar 11.12 Blok Diagram Ilustrasi Algoritma Pembelajaran Propagasi Balik.....	343
Gambar 11.13 Onion diagram untuk sintesa proses.	348
Gambar 11.14 Metode untuk integrasi proses.....	349
Gambar 11.15 Tahapan kunci analisis Pinch.	350
Gambar 11.16 Desain/retrofit berdasar performa yang sudah berjalan (a), Desain/retrofit berdasar target Pinch (b). [Manan, 2014].....	352
Gambar 11.17 Bentuk kurva komposit sederhana.....	352
Gambar 11.18 Aliran proses sederhana [Kemp, 2007].	353
Gambar 11.19 Aliran proses sederhana dengan pertukaran panas [Kemp, 2007].....	354
Gambar 11.20 Strategi penggunaan dan recycle air. (Manan, 2014).....	357
Gambar 11.21 Tahapan Kunci Pinch.....	359
Gambar 11.22 Proses Produksi Sederhana	360
Gambar 11.23 Kurva Individual Dingin.....	361
Gambar 11.24 Kurva Komposit Dingin.	362
Gambar 11.25 Kurva Individual Panas.	363
Gambar 11.26 Kurva komposit panas	364
Gambar 11.27 Kurva Komposit Total (Awal, sebelum ditemukan titik Pinch).	365

Gambar 11.28 Kurva Komposit Total (Akhir, dengan $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$).....	366
Gambar 11.29 Kurva Komposit Akhir	367
Gambar 11.30 Diagram grid untuk HEN-D	368
Gambar 11.31 Diagram grid untuk proses di atas Pinch.....	368
Gambar 11.32 Desain HE 1, 2, 3, dan QH	369
Gambar 11.33 Desain HE 4, 5, dan QC.....	370
Gambar 11.34 Aturan aliran masuk dan keluar di atas dan di bawah Pinch.....	370
Gambar 11.35 Susunan HEN-D pada diagram grid	371
Gambar 11.36 Susunan HEN-D pada diagram proses	371
Gambar 11.37 Aturan stream splitting di bawah titik Pinch.....	374

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan Superheater Konveksi Arus Searah dan Berlawanan.....	91
Tabel 4.2 Perbandingan Superheater Konveksi dan Pancaran ...	94
Tabel 5.1 Hal yang perlu diperhatikan dalam patroli harian	144
Tabel 5.2 Inspeksi Periodik	146
Tabel 5.3 Jenis gangguan, penyebab, dan perbaikan.....	151
Tabel 6.1 Perbandingan Batrai VRLA Gel, Lithium Ion, Zinc Air	156
Tabel 6.2 Pemeliharaan Harian.....	161
Tabel 6.3 Pemeliharaan Mingguan dan Bulanan.....	162
Tabel 6.4 Pemeliharaan 6 Bulan Sekali.....	163
Tabel 7.1 Harga kekasaran permukaan bumi (Zo).....	171
Tabel 7.2 Pemilihan Jumlah Sudu Berdasasrkan TSR	179
Tabel 10.1 Perbandingan beberapa jenis lift berbeda	221
Tabel 10.2 Efisiensi Minimum Peralatan Pendingin Listrik	241
Tabel 10.3 Rekomendasi efisiensi sistem pendingin.....	242
Tabel 10.4 Insulasi Minimum untuk Pipa Air Pendingin	246
Tabel 10.5 Default Ruangn dengan tingkat hunian tinggi.....	248
Tabel 10.6 Tingkat keracunan karbon monoksida dalam kaitannya dengan gejala kesehatan	249
Tabel 10.7 Penghematan energi dan pengembalian modal commisioning	252
Tabel 10.8 Zonasi Termal berdasarkan penggunaan ruangan ...	253
Tabel 10.9 Kepadatan daya pencahayaan maksimum	259
Tabel 10.10 Dampak Sistem Pencahayaan Alami yang Terintegrasi pada Total Penghematan Energi	271
Tabel 10.11 Dampak LPD (W/m ²) pada Total Penghematan Energi	272
Tabel 10.12 Potensi Penghematan Energi melalui Selubung Bangunan	288

Tabel 10.13 Dampak WWR pada penghematan energi (%) untuk berbagai jenis bangunan.....	301
Tabel 10.14 Nilai U, Transmisi Cahaya dan Nilai SHGC dari Tipikal Material Kaca.....	302
Tabel 10.15 Dampak SHGC pada Penghematan Energi (%) untuk Tipikal Bangunan di Jakarta	303
Tabel 11. 1 Prakiraan beban berdasarkan pembagian waktu	337
Tabel 11.2 [Manan, 2014]	350
Tabel 11.3 Data untuk 2 contoh aliran	354
Tabel 11.4 Target.....	361
Tabel 11.5 Target irisan aliran dingin	362
Tabel 11.6 Target irisan aliran panas	363
Tabel 11.7 Target irisan aliran panas 2.....	364

REFERENSI

- Sodiq, Dja'far. 2009. *Handout Pengenalan PLTMH*. Bandung, Jawa Barat: Politeknik Negeri Bandung
- Herlambang, Yusuf Dewantoro. 2017. *Hand out Manajemen Energi*. Politeknik Negeri Semarang.
- Muldani. (2009). *Cerobong Asap Ketel Uap (Draught Draft)*. Indonesia
- Muldani. (2009). *Perhitungan Efisiensi Pada Ketel Uap*. Indonesia
- Muldani. (2009). *Heat Losses Pada Ketel Uap*. Indonesia
- Santoso, H.M.Dradjat. (Tanpa Tahun). *Handout Korosi*. Indonesia
- Ghurri, A. (2016). *Konsep Manajemen Energi*. Bali: Universitas Udayana.
- Widharanti, A., & Ciptomulyono, U. (n.d.). Pemilihan Sektor Pelanggan Dalam Penerapan Demand Side Manajemen Untuk Pengaturan Beban Listrik Dengan Pendekatan Delphi di PLN Distribusi Jawa Timur. 1-15.
- Wijayanti, F. (2016). *Demand Side Management (DSM) dan Supply Side Management (SSM)*. Bandung, Jawa Barat: Universitas Padjajaran.
- Mull, Thomas E. 2005. *Energy Management for Facilities Engineers and Plant Managers*. ASME Press, USA
- Turner, Wayne C. & Doty S. 2007. *Energy Management Handbook*, 6th. edition. The Fairmont Press Inc., USA
- Smith, Craig B., 2015. *Energy Managemet Principles (Applications, Benefits, Savings)*. 2th ed. Pergamon Press, USA.

SNI 03 - 6196 - 2000 atau SNI 6196 – 2011 tentang “Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung”

Pedoman Teknis Audit Energi dan Pedoman Tim Aksi Energi dalam implementasi konservasi energi dan pengurangan emisi CO₂ di sektor industri (Fase 1), Kemenperin, 2011.

Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi di Industri, BPPT B2TE, 2015.

Jakarta Green Building User Guide, DPPB Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, 2016.

Energy Efficiency in Indonesia, International Energy Agency (IEA), 2017.

Indonesia Energy Outlook, ESDM, 2016.

Energy Auditing Manual, GIZ – PAKLIM, 2012.

Herlambang, Yusuf Dewantoro. 2017. Hand out Audit Energi. Politeknik Negeri Semarang.

GLOSARIUM

Ahli orang yang mahir, menguasai, paham sekali dalam suatu ilmu; orang yang memiliki kemampuan dalam menelaah, menganalisis, menginterpretasi suatu ilmu

Anggaran taksiran mengenai penerimaan dan pengeluaran kas yang diharapkan untuk periode yang akan datang.

Asuransi adalah pertanggungan atau perjanjian antara dua belah pihak, dimana pihak satu berkewajiban membayar iuran/kontribusi/premi.

Audit aktivitas pengumpulan dan pemeriksaan bukti terkait suatu informasi untuk menentukan dan membuat laporan tentang tingkat kesesuaian antara informasi dengan kriteria yang ditetapkan.

Auditor adalah sebuah profesi seseorang yang memiliki kualifikasi tertentu dalam melakukan tugas audit atas laporan keuangan dan kegiatan suatu perusahaan, organisasi, lembaga, atau instansi.

Depresiasi adalah alokasi sistematis jumlah yang dapat disusutkan dari suatu aset selama umur manfaatnya.

Efektif adalah sebuah usaha untuk mendapatkan tujuan, hasil dan target yang diharapkan dengan tepat waktu.

Efisien adalah melakukan pekerjaan dengan tepat dan mampu menjalankan tugas dengan cermat, dan berdaya guna.

Energi adalah sesuatu yang dibutuhkan oleh benda agar benda dapat melakukan usaha.

Engineer adalah orang yang memiliki kemampuan menerapkan ilmu-ilmu dasar sains ke dalam kehidupan nyata.

Evaluasi adalah suatu kegiatan mengumpulkan informasi mengenai kinerja sesuatu (metode, manusia, peralatan), dimana informasi tersebut akan dipakai untuk menentukan alternatif terbaik dalam membuat keputusan.

Fasilitas adalah segala sesuatu yang dapat memudahkan dan melancarkan pelaksanaan suatu usaha dan merupakan sarana dan prasarana yang dibutuhkan dalam melakukan atau memperlancar suatu kegiatan.

Implementasi adalah tindakan-tindakan yang dilakukan oleh individu atau pejabat-pejabat, kelompok-kelompok pemerintah atau swasta yang diarahkan pada terciptanya tujuan-tujuan yang telah digariskan dalam keputusan kebijakan.

Integritas adalah sifat atau keadaan yang menunjukkan kesatuan yang utuh sehingga memiliki potensi dan kemampuan yang memancarkan kewibawaan dan kejujuran.

Intensif adalah secara sungguh-sungguh dan terus menerus dalam mengerjakan sesuatu hingga memperoleh hasil yang optimal.

Investasi adalah suatu kegiatan menanamkan modal, baik langsung maupun tidak, dengan harapan pada waktu nanti pemilik modal mendapatkan sejumlah keuntungan dari hasil penanaman modal tersebut.

Jasa atau layanan adalah aktivitas ekonomi yang melibatkan sejumlah interaksi dengan konsumen atau dengan barang-barang milik, tetapi tidak menghasilkan transfer kepemilikan.

Karyawan adalah orang yang bekerja di suatu perusahaan atau lembaga dan di gaji dengan uang.

Komite adalah sejumlah orang yang ditunjuk untuk melaksanakan tugas tertentu (terutama dalam hubungan dengan pemerintahan).

Komitmen adalah tindakan untuk melakukan sesuatu.

Konsultan adalah seorang tenaga profesional yang menyediakan jasa kepenasihatan (*consultancy service*) dalam bidang keahlian tertentu, misalnya akuntansi, pajak, lingkungan, biologi, hukum, koperasi dan lain-lain.

Konsumsi adalah kegiatan menggunakan barang dan jasa di mana untuk mendapatkannya perlu melakukan pengorbanan atau pembelian.

Konversi adalah suatu proses perubahan dari satu sistem ke sistem lainnya yang lebih baik

Logistik merupakan seni dan ilmu, barang, energi, informasi, dan sumber daya lainnya, seperti produk, jasa, dan manusia, dari sumber produksi ke pasar dengan tujuan mengoptimalkan penggunaan modal.

Manajemen adalah sebuah proses perencanaan, pengorganisasian, dan pengawasan terhadap sumber daya yang ada untuk mencapai tujuan yang efektif dan efisien.

Metode adalah cara atau prosedur yang ditempuh untuk mencapai tujuan tertentu.

Monitoring adalah aktifitas yang ditujukan untuk memberikan informasi tentang sebab dan akibat dari suatu kebijakan yang sedang dilaksanakan.

Organisasi adalah suatu perkumpulan atau wadah bagi sekelompok orang yang bekerjasama dengan terstruktur untuk mencapai tujuan tertentu.

Pajak adalah pungutan wajib dari rakyat untuk negara.

Pelatihan adalah sesuatu proses pendidikan jangka pendek dengan menggunakan prosedur yang sistematis dan terorganisir, sehingga karyawan operasional belajar pengetahuan teknik pengerjaan dan keahlian untuk tujuan tertentu.

Rebate adalah sebuah bonus ekstra yang diberikan kepada trader di setiap posisi tanpa melihat apakah posisi tersebut mengalami profit atau loss.

Retail adalah penjualan barang kepada pengguna akhir, bukan untuk dijual kembali, tetapi untuk digunakan dan dikonsumsi oleh pembeli.

Sistematis adalah segala usaha untuk menguraikan dan merumuskan sesuatu dalam hubungan yang teratur dan logis sehingga membentuk suatu sistem yang berarti secara utuh, menyeluruh, terpadu, mampu menjelaskan rangkaian sebab akibat menyangkut obyeknya

Standar adalah persyaratan yang dibuat oleh lembaga berwenang yang diakui oleh banyak pihak, biasanya berisi suatu kriteria, metode, proses atau teknis.

Supervisor adalah seseorang yang diberi wewenang atau mempunyai otoritas untuk mengawasi, mengarahkan suatu teknis atau tata cara secara sistematis dan mengendalikan suatu pelaksanaan tata cara lainnya yaitu dengan cara memberikan perintah kepada staf bawahannya yang berada di bawah arahan jabatan atasannya.

Supplier adalah pihak perorangan atau perusahaan yang memasok atau menjual bahan mentah ke pihak lain, baik itu ke perorangan atau perusahaan agar bisa dijadikan produk barang atau jasa yang matang.

Trend adalah segala sesuatu yang saat ini sedang di bicarakan, diperhatikan, dikenakan atau dimanfaatkan oleh banyak masyarakat pada saat tertentu.

INDEX

A

Act, 39, 47, 48

Ahli, 194, 356

Anggaran, 356

Asuransi, 356

Audit, ii, 10, 14, 15, 16, 21, 48,
186, 189, 190, 191, 194, 195,
196, 197, 199, 201, 299, 329,
354, 355, 356, 362

Auditor, 123, 356

B

Bahan Bakar, 64, 102, 104,
106, 114, 117

Beban Puncak, 26, 27

Boiler, 70

C

Captive Power, 23

Check, 38, 47, 48

Consumer, 33, 34

D

Demand Side

Management, 23, 24, 29,
31, 35, 36, 354

Denah, 197, 252

Depresiasi, 356

Disinsentif, 197

Do, 38, 47

E

Efisiensi, vii, 3, 4, 5, 6, 21,
57, 87, 162, 164, 169, 192,
197, 220, 223, 258, 260,
261, 301

Ekonomiser, vii, 71, 86, 87,
89

Energi, i, vii, viii, 1, 3, 4, 6, 8,
9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,
19, 23, 30, 31, 37, 38, 39, 40,
41, 42, 43, 44, 47, 49, 51,
57, 58, 59, 123, 142, 152,
154, 157, 158, 159, 185, 186,
187, 188, 189, 190, 192, 193,
195, 196, 197, 199, 201, 205,
206, 212, 215, 217, 227, 239,
243, 254, 255, 256, 271, 272,
285, 287, 288, 295, 299,
300, 354, 355, 356, 362

Energy Baseline, 50

Engineer, 356

Evaluasi, 191, 192, 195, 197

Excess Air, 72

F

Financial Performance, 24

I

Implementasi, 10, 13, 17, 37, 38, 357

Industri, 212, 299, 355

Insentif, 197

Integritas, 357

Intensitas, 187, 191, 263

Investasi, 357

J

Jasa, 357

K

Karyawan, 357

Ketel, 64, 66, 75, 76, 78, 96, 101, 104, 111, 117, 354

Komitmen, 39, 40, 42, 59, 357

Kondensor, 70, 71

Konservasi, vii, 2, 5, 6, 27, 30, 35, 185, 188, 201, 272, 295, 299

Konsultan, 357

Konsumsi, 5, 43, 56, 357

Konveksi, vii, ix, 76, 77, 81, 82, 83, 85, 86

Korosi, viii, 171, 172, 173, 181, 184, 185, 354

L

Listrik, vii, 30, 31, 123, 131, 151, 152, 170, 354

Logistik, 18, 357

M

Manager Representative, 40

Manajemen, i, vii, 1, 2, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 20, 23, 37, 38, 39, 40, 41, 47, 48, 49, 51, 59, 123, 188, 193, 197, 304, 358, 362

Metode, 55, 58, 62, 66, 68, 124, 125, 358

Monitoring, 13, 197, 358

N

Neraca, 187

O

Optimasi, 336, 337

Organisasi, 12, 19, 57, 131, 358

P

Pajak, 358

Pelatihan, 358

Performance Indicator, vii, 44, 51, 59

Plan, 38, 42, 47

Potensi, 223, 234, 271, 287, 288

Program, 186, 189, 197

R

Rasio, 44, 57

Rebate, 358

Regresi, 44

Rekomendasi, 191, 192, 195,
225

Retail, 358

S

Selubung, 267, 271, 272, 280,
293, 295, 297, 298

Significan Energy Use, 43,
59

Sistem, i, vii, 17, 25, 31, 37,
39, 48, 50, 51, 59, 60, 95,
122, 123, 131, 141, 151, 169,
186, 197, 199, 200, 202,
204, 205, 215, 220, 225,
226, 228, 230, 231, 233, 238,
240, 254, 255, 264, 265,
266, 267, 298, 299, 300,
301, 302, 303, 304, 307,
308, 311, 315, 316, 323, 352

Sistematis, 358

Standar, 32, 37, 46, 47, 49,
358

Sumber Daya, 37, 40

Superheater, vii, ix, 76, 77,
78, 79, 80, 81, 82, 83, 84,
85, 86

Supervisor, 358

Supplier, 358

Supply Side Management,
23, 31, 35, 36, 354

T

Tim, i, vii, 9, 10, 41, 47, 59

U

Uap, 66, 69, 70, 76, 78, 96,
98, 99, 104, 106, 117, 354

Usaha, 187

V

Verifikasi, 198

1. MERENCANAKAN AUDIT ENERGI TERMAL DAN MEKANIKAL

1. Kesepakatan Audit Energi Dengan Organisasi
2. Informasi awal terkait pelaksanaan audit
3. Penyampaian kepada organisasi terkait audit energi

KESEPAKATAN AUDIT ENERGI DENGAN ORGANISASI

KUK & EK: Tujuan, batasan dan Ruang Lingkup

Audit energi adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta penetapan rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang.

Area Audit:

AC Cental Lab Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

Ruang Lingkup dan Batasan:

Unit Chiller di Lab Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin

KUK & EK: Komitmen Waktu Dan Sumber Daya

Deskripsi Kegiatan	Tahun 2024	
	23 April 2024	24 April 2024
Merencanakan Audit Energi Sistem Termal dan Mekanikal		
Melakukan Rapat Pembukaan Audit (Kick of Meeting) Untuk Penjelasan audit energi & scope audit energi		
Melakukan Pengumpulan Data Termal dan Mekanikal (Form audit energi)		
Melakukan Pengukuran Energi Termal dan Mekanikal		
Kunjungan Survei Lapangan pada Sistem Termal dan Mekanikal		
Melakukan Analisis Termal dan Mekanikal		
Melaporkan Hasil Audit Energi		

Komitmen Waktu: 23-24 April 2024 Sumber Daya:

1. Abdul Syukur (Penanggung Jawab Audit Energi Organisasi)
2. Adang Kurniawan (Teknisi Lab Konversi Energi)
3. Bono (Penanggung Jawab Dokumen)
4. Purnawan (Penanggung Jawab Peralatan & Perlengkapan)

INFORMASI AWAL TERKAIT PELAKSANAAN AUDIT

KUK & EK: Persyaratan Perundang undangan PP 70/2009 Pasal 12 jo PP Nomor 33 Tahun 2023

Mewajibkan pengguna energi pada industry > 4,000 TOE*
per tahun
untuk menerapkan manajemen energi antara lain:

1. Menunjuk manajer energi
2. Menyusun program konservasi energi
3. Melaksanakan audit energi secara berkala
4. Melaksanakan rekomendasi hasil audit energi;

*4000 TOE setara dengan 167.472 Giga Joule (GJ) atau 46.444.000
Mega Watt hour (MWh).

KUK & EK: Persyaratan Perundang-undangan PERMEN ESDM No. 14 /2012 Tentang Manajemen Energi

Pelaksanaan Audit Energi:

1. Dilaksanakan Secara Berkala Paling Sedikit 1 (Satu) Kali Dalam
3 (Tiga) Tahun.
2. Dilakukan oleh Auditor Energi Internal dan/atau Lembaga
Yang Telah Terakreditasi.
3. Auditor Wajib Memiliki Sertifikat Kompetensi

PENYAMPAIAN KEPADA ORGANISASI TERKAIT PELAKSANAAN AUDIT

KUK & EK: Fasilitas, peralatan dan jasa untuk kebutuhan pelaksanaan audit

Alat Pelindung Diri (APD):

1. Helmet
2. Gloves

3. Safety Glasses
4. Face Shield
5. Electrician Safety Shoes



Alat Ukur:

1. Temperatur
2. Tekanan
3. Flowmeter

2. MELAKSANAKAN RAPAT PEMBUKAAN

Minutes of Meeting (MoM)	Rapat KOM Pembukaan Audit Sistem Termal dan Mekanikal\]	Date : 24 April, mber 2023Time: 08:00 – Selesai Place : Kantor Lab Konversi Energi	
Present / Daftar Hadir	Terlampir		

Status  In Progress  Late  Completed				
No	Issues Discussed	Information/Decision/ Follow Up	PIC	Remarks/Next Action
1	Rencana Audit Energi	- Tim auditor menyampaikan kesepakatan lingkup dan Batasan dalam Audit Sistem Termal dan Mekanikal di Lab Konversi Energi - Rencana Audit Energi akan dilakukan pada bulan November sesuai dengan timeline yang sudah di paparkan oleh tim Audit. - Personal yang akan melakukan Audit adalah: 1. F Gatot, Emack Pancar Sakti (Koordinator tim Audit) 2. Bono (Auditor Energi Sistem Kelistrikan) 3. Baktiyar (Auditor Energi Sistem Termal dan Mekanikal) - Peralatan yang digunakan sudah terkalibrasi.	Tim Audit Energi	

2	Kesepakatan Pengaturan Audit Energi termal dan mekanikal	• Personel yang memasuki Lab Konversi Energi harus memiliki Surat Izin Masuk Lapangan Laboratorium. • Tim Auditor akan menyerahkan persyaratan pengurusan SIM L ke Instansi. • Tim Auditor meminta data eksisting terkait termal dan mekanikal untuk referensi sebagai Analisa awal peluang penghematan dan baseline. • Tim auditor diminta untuk menjaga kerahasiaan data yang di berikan perusahaan • Tim Auditor memaparkan merencanakan titik pengukuran termal dan mekanikal di sistem Chiller	Tim Audit Energi	
---	---	---	---------------------	--

DAFTAR HADIR KICK OF MEETING

Agenda : Audit Sistem Termal dan Mekanikal

Tanggal : 24 April 2024

Pukul : 08.00 WIB s/d selesai

[illegible]

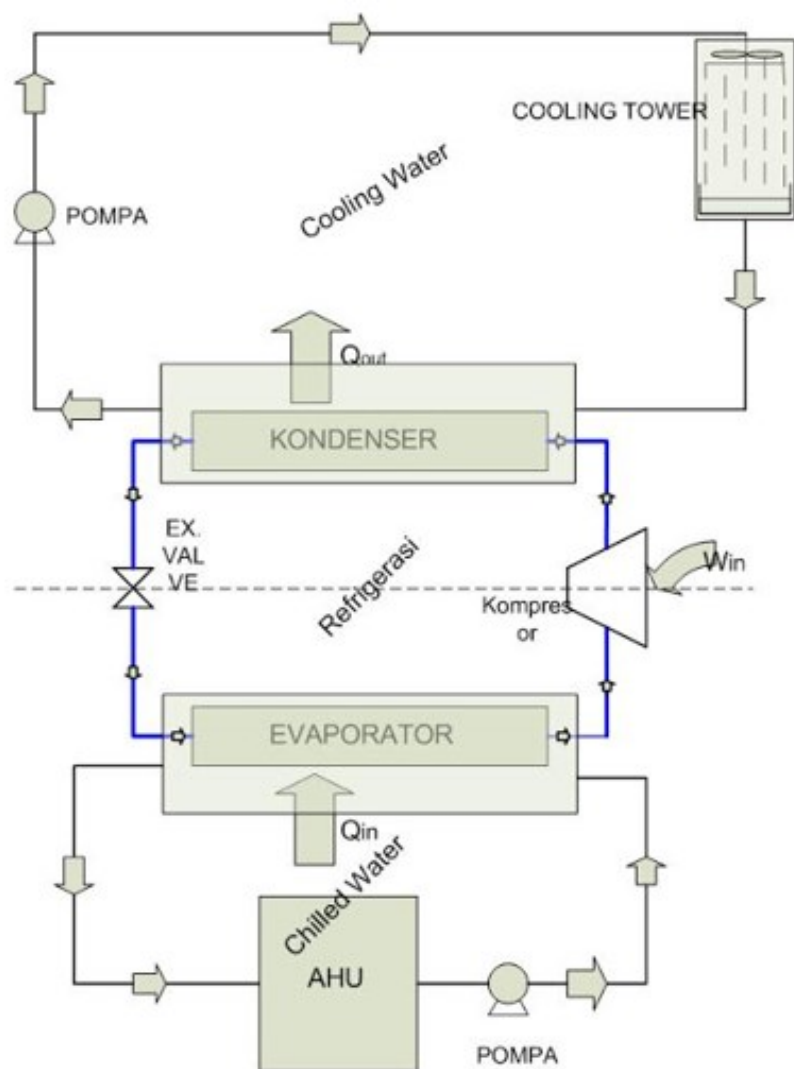
3. MENGUMPULKAN DATA SISTEM TERMAL DAN MEKANIKAL

1. Melakukan Verifikasi Data Termal dan Mekanikal

KUK: DAFTAR SISTEM TERMAL DAN MEKANIKAL

Pengumpulan data adalah pengumpulan data - data sekunder sebagai data pendukung penyusunan laporan maupun data pendukung sebelum melakukan kunjungan lapangan untuk mempersiapkan alat ukur yang akan digunakan auditor dalam melakukan pengukuran lapangan. Data sekunder meliputi data historis produksi dan konsumsi energi Laboratorium, data spesifikasi peralatan, data desain suatu unit proses, dan lainnya.

Hampir sama dengan Chilled water, pertukaran kalor chiller pada kondensernya juga melalui perantara air. Air dialirkan melalui kondenser. Kondenser ini juga merupakan *Heat exchanger* berupa pipa yang didalamnya terdapat pipa. Pipa yang lebih besar untuk aliran air dan pipa yang lebih kecil untuk aliran refrigeran. Di *Heat exchanger* ini terjadi pertukaran kalor dimana kalor yang dibuang kondenser diambil oleh air. Akibatnya air yang telah melewati kondenser akan menjadi lebih hangat. Kemudian air ini dialirkan ke cooling tower untuk didinginkan dengan udara luar. Setelah air ini menjadi lebih dingin, kemudian alirkan kembali ke kondenser untuk mengambil kalor yang dibuang kondenser. Jadi di dalam sistem Chiller yang dijelaskan diatas dapat dijadikan satu kesatuan sistem yang terdiri dari tiga buah siklus, yaitu: siklus refrigerasi (Chiller), Siklus Chilled Water, dan siklus Cooling Water.



Data Sheet Pengukuran Chiller

	Unit	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
<i>Water/Brine</i>									
<i>Setpoint</i>	oC	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
<i>Cont.Point</i>	oC	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
<i>Ent. Chilled Water</i>	oC	14.6	14.6	14.7	14.3	14.2	14.1	13.8	13.6

	Unit	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
<i>Water/Brine</i>									
<i>Setpoint</i>	oC	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
<i>Cont.Point</i>	oC	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
<i>Ent. Chilled Water</i>	oC	14.6	14.6	14.7	14.3	14.2	14.1	13.8	13.6

Name Plate Chiller:

	Satuan	Value	Std
Model: 19 XL-4141 453 CL			
Refr.: HFC 134a			
Daya Kompresor (<i>running</i>)	kWe	235	-
Load %		97.6	100
Current	Amp	375.1	374
Load	TR	350	350
	kWt	1231	1231
T.refrig. (<i>Cooler</i>)	°C	5.4	5.56
T.refrig. <i>Cond.</i>	°C	35.7	36.1
T.refrig.out Kompresor	°C	45.5	-
T.water.in (<i>Cooler</i>)	°C	14.2	12.2
T.water.out (<i>Cooler</i>)	°C	10.5	6.67
T.water.in <i>Cond.</i>	°C	28.9	29.4
T.water.out <i>Cond.</i>	°C	33.9	35.0
Laju alir massa	kg/s	7.7	
Data dari software coolpack			
Qe (Kapasitas <i>pendinginan</i>)	kWt	1231	-
Qc (Kapasitas <i>Condenser</i>)	kWt	1449	-
COP -		5.351	6.10
Daya Kompresor	kWe	230.1	-
kW/TR -		0.66	0.56-0.58

4. MERENCANAKAN PENGUKURAN SISTEM TERMAL DAN MEKANIKAL

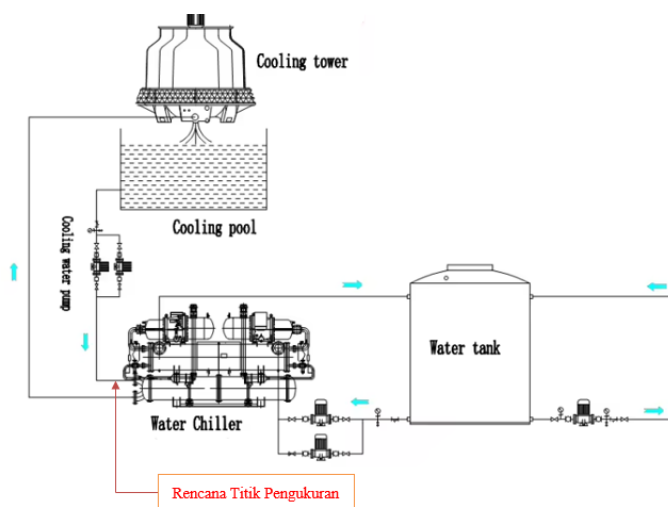
Rencana pengukuran memiliki tujuan untuk menyepakati apa saja pengukuran yang akan dilakukan dan bagaimana pengukuran akan dilakukan. Beberapa hal yang dilakukan pada kegiatan rencana pengukuran antara lain. Menyepakati titik pengukuran, Menentukan alat ukur yang akan digunakan, Melakukan identifikasi awal pada lokasi titik pengukuran, Menentukan lama durasi pengukuran yang akan dilakukan, dan hal lainnya yang diperlukan.

Titik pengukuran yang disepakati untuk dilakukan audit adalah Panel Sistem Chiller Lab Konversi Energi.

Berdasarkan kesepakatan titik pengukuran yang akan diaudit, peralatan yang akan digunakan pada saat pengukuran langsung adalah alat ukur temperatur, tekanan, dan laju aliran fluida yang terpasang pada sistem Chiller.

Rencana Titik Pengukuran:

Rencana titik pengukuran akan dilakukan pada panel sistem Chiller Lab Koversi Energi:



Range dan Batasan Beberapa Parameter Termal dan Mekanikal

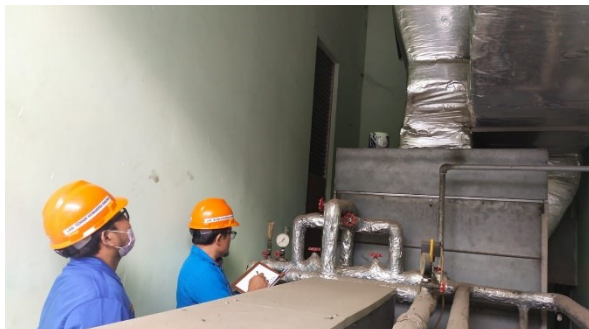
- Temperatur Ref. (Cooler) = $5,4^{\circ}\text{C} - 5,56^{\circ}\text{C}$
- Temperatur Ref. Condensor = $35,7 - 36,1^{\circ}\text{C}$
- Temperatur Ref. Keluar Kompresor = $45,5^{\circ}\text{C}$
- Temperatur Air Masuk (Cooler) = $14,2^{\circ}\text{C} - 12,2^{\circ}\text{C}$
- Temperatur Air Keluar (Cooler) = $10,5^{\circ}\text{C} - 6,67^{\circ}\text{C}$
- Temperatur Air Masuk Kondenser = $28,9^{\circ}\text{C} - 29,4^{\circ}\text{C}$
- Temperatur Air Keluar Kondenser = $33,9 - 35,0^{\circ}\text{C}$
- Temperatur Air Keluar Kondenser = $33,9^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$
- Laju Aliran massa Fluida = $7,7 \text{ kg/s}$

Batasan Sistem Termal dan mekanikal Audit Sistem Chiller Berdasarkan Standar ANSI/ASHRAE Standard 111-2008 (RA 2017) tentang Measurement, Testing, Adjusting, and Balancing of Building HVAC Systems

5. MELAKUKAN SURVEI LAPANGAN PADA SISTEM TERMAL DAN MEKANIKAL



Melakukan Pengukuran Pada Panel Sistem Chiller Lab Konversi Energi



Melakukan Pengukuran Temperatur dan Tekanan



Melakukan Pengukuran Laju Aliran Fluida

6. MELAKUKAN ANALISIS SISTEM TERMAL DAN MEKANIKAL

6.1. Hasil Pengukuran Panel Sistem Chiller di Lab Konversi Energi

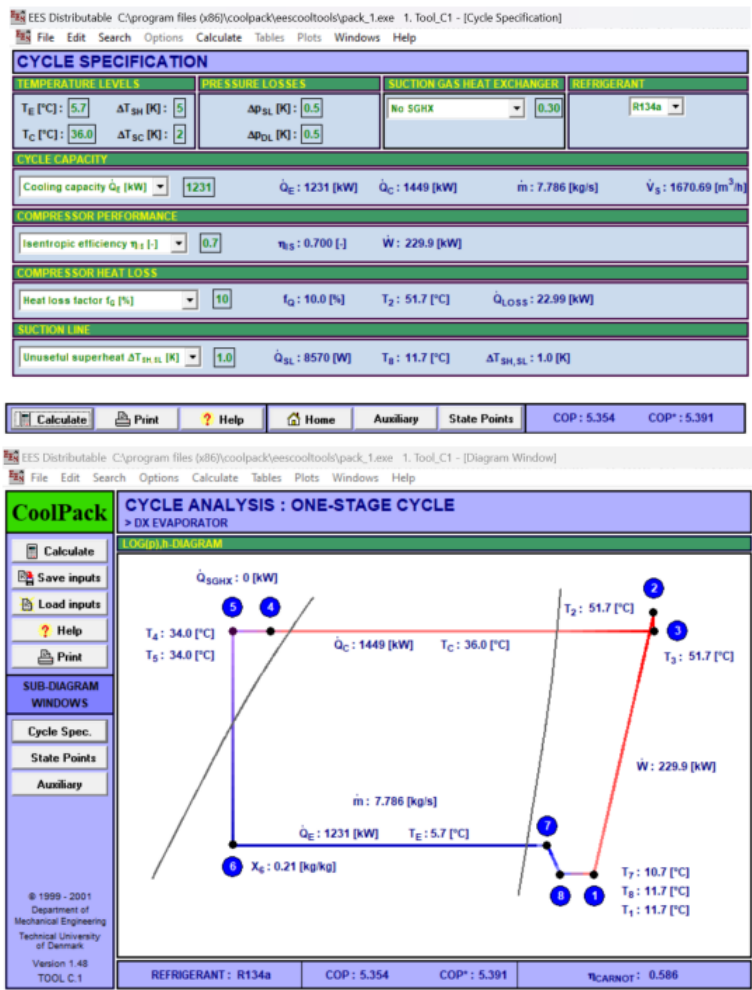
Pengukuran sistem Termal dan Mekanikal pada panel sistem Chiller di Lab Konversi Energi dilakukan pada 24 April 2024 selama dua jam pengukuran mulai dari pukul 14.00 – 16.00 WIB. Hasil pengukuran sistem Termal dan Mekanikal pada panel *station board sistem Chiller* dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel 6.1. Data Histori Pengukuran Chiller

	Unit	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
<i>Water/Brine</i>									
<i>Setpoint</i>	oC	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
<i>Cont.Point</i>	oC	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
<i>Ent. Chilled Water</i>	oC	14.6	14.6	14.7	14.3	14.2	14.1	13.8	13.6
<i>Leav. Chilled Water</i>	oC	10.7	10.8	10.6	10.9	10.7	10.5	10.2	9.9
<i>Ent. Cond. Water</i>	oC	29.1	28.8	29.0	29.1	29.7	28.6	29.2	28.6
<i>Leav. Cond. Water</i>	oC	34.1	33.8	33.9	34.1	34.5	33.6	34.0	33.7
<i>Evap. Refrig. Temp</i>	oC	5.9	6.0	5.8	5.9	5.7	6.0	5.2	4.9
<i>Evap. Press,</i>	kPa	253.8	259.1	253.6	253.8	253.8	248.4	248.5	242.6
<i>Cond. Refrig. Temp,</i>	oC	36.2	35.9	36.1	35.8	36.7	35.9	35.8	35.5
<i>Cond. Press.</i>	kPa	801.1	795.4	795.6	795.6	812.2	784.8	801.2	784.8
<i>Disch. Temp.</i>	oC	45.8	45.5	45.6	45.7	46.2	45.2	45.4	45.1

6.2. Analisa

Sebagian besar kebutuhan pengkondisian udara di gedung disediakan melalui sistem AC sentral yang menggunakan centrifugal chiller bertipe watercooled. Analisis yang dilakukan dengan menggunakan software Coolpack menghasilkan data berikut:



Gambar 6.1. Diagram P-h sistem Chiller

Tabel 6.2. Spesifikasi Chiller

	Satuan	Value	Std
Model: 19 XL-4141 453 CL			
Refr.: HFC 134a			
Daya Kompresor (<i>running</i>)	kWe	235	-
Load %		97.6	100
Current	Amp	375.1	374
Load	TR	350	350
	kWt	1231	1231
T.refrig. (<i>Cooler</i>)	°C	5.4	5.56
T.refrig. <i>Cond.</i>	°C	35.7	36.1
T.refrig.out Kompresor	°C	45.5	-
T.water.in (<i>Cooler</i>)	°C	14.2	12.2
T.water.out (<i>Cooler</i>)	°C	10.5	6.67
T.water.in <i>Cond.</i>	°C	28.9	29.4
T.water.out <i>Cond.</i>	°C	33.9	35.0
Laju alir massa	kg/s	7.7	
Data dari software coolpack			
Qe (Kapasitas <i>pendinginan</i>)	kWt	1231	-
Qc (Kapasitas <i>Condenser</i>)	kWt	1449	-
COP -		5.351	6.10
Daya Kompresor	kWe	230.1	-
kW/TR -		0.66	0.56-0.58

Dalam sistem AC sentral yang menggunakan centrifugal chiller watercooled, satuan Ton of Refrigeration (TR) didefinisikan sebagai 3,51685 kWh. Menurut standar ARI (Air Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute), nilai efisiensi yang umum adalah 550/590 kW/TR, dan nilai efisiensi yang diharapkan berkisar antara 0,56 hingga 0,58 kW/TR. Namun, berdasarkan perhitungan yang dilakukan, nilai efisiensi sistem

chiller ini adalah 0,66 kW/TR, yang menunjukkan bahwa sistem ini lebih boros dibandingkan standar yang ada.

Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis lebih lanjut untuk mengeksplorasi Peluang Penghematan Energi (PHE). Ini akan membantu menentukan langkah-langkah yang dapat diambil untuk meningkatkan efisiensi sistem, sehingga mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional secara keseluruhan.

6.3. Peluang Hemat Energi (PHE)

Berdasarkan analisis efisiensi sistem pengkondisian udara yang dilakukan, beberapa peluang untuk menghemat energi telah diidentifikasi, di antaranya adalah:

1. **Penggantian Refrigerant:** Saat ini sistem menggunakan refrigerant R-134a. Dipertimbangkan untuk mengganti refrigerant ini dengan hidrokarbon, yang menurut studi dapat mengurangi konsumsi energi listrik antara 10-20%. Hidrokarbon memiliki sifat fisik yang memungkinkan penggantian langsung tanpa perlu mengubah komponen sistem pendingin eksisting. Penggantian ini idealnya dilakukan pada akhir pekan, saat gedung tidak digunakan, yaitu pada hari Sabtu atau Minggu. Dengan konsumsi rata-rata chiller sebesar 229,9 kWh, penggantian ini bisa menurunkan konsumsi menjadi sekitar 195,415 kWh, menghemat sekitar 15%.
2. **Mengatur Temperatur Air Keluar (Leaving Chilled Water Temperature - LCWT):** Menyesuaikan LCWT pada chiller dapat mengurangi kapasitas pendinginan, yang secara langsung akan mengurangi konsumsi listrik. Meskipun penyesuaian ini akan menyebabkan suhu ruangan sedikit meningkat, pengaturan harus dilakukan dengan hati-hati agar tetap menciptakan kondisi ruangan yang nyaman bagi pengguna.

6.4. Langkah-Langkah yang Dilakukan

Langkah-langkah ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional sistem pengkondisian udara di gedung tersebut.

Jika temperatur pada LCWT dinaikkan 1 derajat maka:

$$Q_e = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$
$$Q_e = 89,24 \text{ kg/s} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (14,24 - 11,54) \text{ } ^\circ\text{C}$$
$$Q_e = 1007.16 \text{ kW}$$

Nilai Qe yang baru dimasukan kembali kedalam software coolpack, maka didapatkan:

EES Distributable: C:\program files (x86)\coolpack\eescooltools\pack_1.exe 1. Tool_C1 - [Cycle Specification]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

CYCLE SPECIFICATION

TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER		REFRIGERANT		
T _E [°C]:	5.7	ΔT _{SH} [K]:	5	ΔP _{SL} [K]:	0.5	No SGHX	0.30	R134a
T _C [°C]:	36.0	ΔT _{SC} [K]:	2	ΔP _{OL} [K]:	0.5			

CYCLE CAPACITY

Cooling capacity Q _E [kW]	1007	Q _E : 1007 [kW]	Q _C : 1185 [kW]	ṁ: 6.37 [kg/s]	V̇ _S : 1366.90 [m³/m]
--------------------------------------	------	----------------------------	----------------------------	-----------------	----------------------------------

COMPRESSOR PERFORMANCE

Isentropic efficiency η _s [-]	0.7	η _s : 0.700 [-]	Ẇ: 188.1 [kW]
--	-----	----------------------------	----------------

COMPRESSOR HEAT LOSS

Heat loss factor f _Q [%]	10	f _Q : 10.0 [%]	T ₂ : 51.7 [°C]	Q̇ _{LOSS} : 18.81 [kW]
-------------------------------------	----	---------------------------	----------------------------	---------------------------------

SUCTION LINE

Unuseful superheat ΔT _{SH,SL} [K]	1.0	Q̇ _{SL} : 7012 [W]	T ₈ : 11.7 [°C]	ΔT _{SH,SL} : 1.0 [K]
--	-----	-----------------------------	----------------------------	-------------------------------

Sehingga diperoleh data Chiller setelah dilakukan penghematan, dibawah ini

Calculate Print Help Home Auxiliary State Points COP: 5.354 COP*: 5.391

Setelah menerapkan strategi penghematan energi melalui penyesuaian Leaving Chilled Water Temperature (LCWT) pada chiller, pemakaian energi listrik berhasil diturunkan menjadi 188,1 kW. Ini menunjukkan penurunan signifikan dari konsumsi sebelumnya yang adalah 229,9 kW. Oleh karena itu, penghematan yang berhasil dicapai adalah sebesar 41,8 kWh. Langkah ini menunjukkan efektivitas dari menaikkan LCWT sebagai metode untuk mengurangi konsumsi energi dalam sistem pengkondisian

udara, yang tidak hanya efisien tetapi juga mengurangi biaya operasional secara keseluruhan.

6.5. Kesimpulan

Peluang Penghematan Energi (PHE) dapat berhasil diimplementasikan dengan dua langkah utama:

1. Penggantian Refrigerant: Mengganti refrigerant R-134a dengan hidrokarbon yang lebih efisien, yang dapat mengurangi konsumsi energi listrik sekitar 15%.
2. Penyesuaian Temperatur Air Keluar (LCWT) pada Chiller: Mengatur setup LCWT dapat mengurangi kapasitas pendinginan chiller, yang menghasilkan penghematan energi signifikan, seperti yang ditunjukkan oleh penurunan konsumsi energi dari 229,9 kW menjadi 188,1 kW.

6.6. Rekomendasi

Dianjurkan untuk melakukan audit energi yang lebih menyeluruh pada sistem pengkondisian udara secara keseluruhan. Audit ini akan membantu mengidentifikasi lebih banyak lagi area potensial untuk penghematan energi, memastikan semua komponen sistem bekerja dengan efisiensi maksimal, dan memvalidasi efektivitas perubahan yang telah dilakukan. Selain itu, audit yang menyeluruh akan memberikan wawasan lebih lanjut tentang kemungkinan peningkatan atau modifikasi lain yang mungkin diperlukan untuk mendukung keberlanjutan dan efisiensi jangka panjang.

LAPORAN PRAKTIK AUDIT ENERGI
PADA UNIT *CHILLER* DI LABORATORIUM TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI SEMARANG



Tim Audit (Kelompok 1):

NANANG APRIANDI MS
YUSUF DEWANTORO HERLAMBAH

SEMARANG

2024

1

EXECUTIVE SUMMARY

Energi listrik memainkan peran penting dalam mendukung aktivitas di gedung perkantoran, khususnya dalam operasional sehari-hari. Salah satu peralatan yang paling banyak mengonsumsi energi listrik adalah sistem pengkondisian udara, yang mencakup hampir 57% dari total penggunaan energi listrik. Penggunaan yang tidak efisien dari sistem ini dapat menyebabkan pemborosan energi yang signifikan.

Untuk mengatasi masalah ini, efisiensi energi menjadi solusi penting. Metode yang umum digunakan adalah konservasi energi, yang melibatkan peningkatan efisiensi penggunaan energi dan proses penghematan energi. Salah satu langkah dalam proses ini adalah melakukan audit energi, yang berfungsi untuk mengukur intensitas konsumsi energi dalam gedung atau bangunan.

Audit awal menunjukkan bahwa beberapa peluang untuk melakukan penghematan energi (PHE) pada unit chiller telah diidentifikasi, seperti melakukan penggantian refrigerant dan pengaturan suhu air keluar pada *chiller (Leaving Chilled Water Temperature - LCWT)*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertimbangan terhadap penggunaan energi di gedung atau bangunan sangatlah penting, khususnya energi listrik. Sebagian besar anggaran dana dialokasikan untuk penyediaan energi ini karena peralatan seperti lampu, peralatan elektronik, pompa, dan sistem pengkondisian udara memiliki penggunaan energi yang dominan.

Untuk menghindari pemborosan energi yang berdampak pada kenaikan biaya listrik, efisiensi energi perlu diperhatikan. Salah satu metode yang digunakan saat ini adalah konservasi energi, yang melibatkan peningkatan efisiensi energi dan penghematan energi. Audit energi adalah salah satu pendekatan yang digunakan untuk mengukur konsumsi energi suatu gedung atau bangunan. Hasil audit akan dibandingkan dengan standar yang ada, dan solusi penghematan energi akan dicari jika konsumsi energinya melebihi standar yang ditetapkan.

1.2. Tim Audit

1. Nanang Apriandi MS
2. Yusuf Dewatono Herlambang

1.3. Tujuan Melakukan Audit

Tujuan dari Audit energi ini adalah:

- a. Untuk mengetahui kinerja peralatan;
- b. Untuk mengetahui efisiensi peralatan;
- c. Untuk mengetahui potensi peluang penghematan energi;
- d. Untuk memberikan rekomendasi peluang penghematan energi;
- e. Sebagai prasyarat uji kompetensi auditor energy.

1.4. Ruang Lingkup Pekerjaan

Ruang lingkup pekerjaan audit energi adalah pada unit *chiller* pada sistem pendingin udara di gedung labotarium teknik mesin.

1.5. Lokasi Pekerjaan Ruang Lingkup Pekerjaan

Laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang.

1.6. Durasi Pekerjaan dan Jadwal Pelaksanaan

Audit energi pada unit *chiller* dilakukan pada hari Selasa - Rabu, 23 – 24 April 2024 dengan jadwal pelaksanaan sebagai berikut:

Tabel 1. *Time Line* Pelaksanaan Audit

No	Kegiatan	Waktu
Selasa, 23 April 2024		
1.	Persiapan Audit	09.00 – 12.00
2.	Induksi Keselamatan dan Pembagian Peran Tim	13.30 – 14.30
3.	Istirahat	14.30 – 15.00
4.	Pengumpulan Data Audit <i>chiller</i>	15.00 – 17.00
Rabu, 24 April 2024		
1.	Pengolahan Data Audit	09.00 – 11.00
2.	Pembuatan Draft Laporan Audit	11.00 – 15.00
3.	Presentasi Laporan	15.00 – 16.00
4.	Finalisasi Laporan Audit	16.00 – 18.00

BAB II

DESKRIPSI OBYEK AUDIT

(SISTEM TATA UDARA)

Tujuan utama dari sistem tata udara adalah untuk menghasilkan kondisi udara dalam ruangan yang sehat, nyaman, dan efisien. Kenyamanan dalam sebuah bangunan dapat dirasakan baik secara fisik maupun non fisik. Kenyamanan fisik berdasarkan standar yang telah ditetapkan, sementara kenyamanan non fisik lebih berkaitan dengan persepsi individu.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6572-2001, kenyamanan termal dalam suatu ruangan ditentukan oleh tiga faktor utama, yaitu: 1) Suhu, dengan kisaran sejuk nyaman antara 20,5 hingga 22,8 °C, nyaman optimal antara 22,8 hingga 25,8 °C, dan hangat nyaman antara 25,8 hingga 27,1 °C; 2) Kelembaban, yang idealnya berkisar antara 40 hingga 50%; dan 3) Aliran udara, di mana kecepatan udara yang jatuh di atas kepala tidak boleh lebih dari 0,25 meter per detik dan idealnya lebih rendah dari 0,15 meter per detik.

2.1. Sistem Pengkondisian Udara Sentral



Gambar 2.1 Pengamatan sistem pengkondisian udara sentral

Dalam sistem pengkondisian udara sentral, proses pendinginan udara dilakukan secara terpusat di satu lokasi dan kemudian udara yang sudah didinginkan didistribusikan ke berbagai ruangan. Sistem ini melibatkan tiga komponen utama, yaitu unit pendingin atau *chiller*, unit penanganan udara (AHU), dan menara pendingin.

Chiller, sebagai komponen utama, terdiri dari empat bagian kunci yang meliputi kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator, beroperasi berdasarkan prinsip kompresi uap. Kondensor dalam *chiller* biasanya merupakan kondensor yang didinginkan oleh air, dan air ini kemudian didinginkan kembali melalui proses evaporatif di menara pendingin.

2.2. *Chiller*

Sistem pengkondisian udara mendapat dukungan dari teknologi *Air Conditioning* (AC), yang secara umum dibagi menjadi dua kelompok besar berdasarkan metode pendinginan dan kondensasi udara: a) Sistem *Direct Expansion* (DX), di mana udara yang akan dikondisikan langsung didinginkan oleh refrigeran dalam evaporator. Ini memungkinkan transfer panas yang langsung dan efisien dari udara ke refrigeran; dan b) Sistem *Indirect* atau *Chilled Water System*, di mana udara yang akan dikondisikan didinginkan menggunakan air dingin. Air ini didinginkan di *cooler* atau evaporator *chiller*, dan kemudian dialirkan melalui *cooling coil* yang mengandung air dingin, bukan refrigeran. Ini memfasilitasi proses pendinginan yang melibatkan medium perantara antara refrigeran dan udara.

2.3. *Air Handling Unit*

Untuk mendistribusikan udara yang sudah dikondisikan ke dalam ruangan, digunakan unit yang dikenal sebagai *Air Handling Unit* (AHU). AHU sering digunakan dalam situasi dengan beban pendinginan yang besar. Dalam sistem ini, AHU bertugas mengkondisikan udara segar dari luar sebelum mendistribusikannya ke dalam ruangan sebagai tambahan udara segar. Ini memastikan bahwa udara dalam ruangan tetap segar dan nyaman.

2.4. *Cooling Tower*

Unit ini berperan penting dalam mendinginkan unit kondensor pada *Chiller*, menggunakan air sebagai medium pendinginan. Proses kerja *Cooling Tower* dapat dijelaskan sebagai berikut: kondensor di unit *Chiller* mengalami peningkatan suhu dan tekanan yang signifikan akibat kerja dari kompresor. Oleh karena itu, diperlukan suatu medium pendingin untuk mengubah fase refrigeran di kondensor tersebut. Sistem pendinginan ini menggunakan air yang dipompa ke *Cooling Tower*. Di sana, air yang disirkulasikan akan menyerap panas dari kondensor dan melepaskan panas tersebut ke udara di *Cooling Tower*, sehingga suhu air menurun. Air yang sudah mendingin ini kemudian akan disirkulasikan kembali ke unit kondensor.

BAB III

METODE AUDIT

Audit awal merupakan metodologi yang digunakan dalam proses audit untuk mendapatkan pemahaman awal tentang konsumsi energi, mengidentifikasi potensi penghematan, dan memberikan rekomendasi yang dapat segera diimplementasikan. Dalam melakukan evaluasi cepat dan umum terhadap penggunaan energi, pendekatan yang diambil melibatkan penggunaan data sekunder dan wawancara. Pengukuran langsung hanya dilakukan untuk memverifikasi data yang tampak tidak logis. Selain itu, *software Coolpack* digunakan untuk membantu dalam perhitungan.

Berikut adalah langkah-langkah yang diambil dalam audit awal:

1. **Persiapan:** Fase ini melibatkan pembentukan tim, penyusunan jadwal, dan memastikan penerapan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) selama audit.
2. **Survei Lapangan:** Mengumpulkan data lapangan yang mencakup informasi tentang desain proses dan operasi peralatan, data konsumsi energi, serta melakukan observasi lapangan untuk menilai potensi pemborosan, memeriksa peralatan pengukuran, dan kondisi peralatan fisik. Wawancara dengan operator juga dilakukan untuk mendapatkan informasi lebih lanjut.
3. **Evaluasi Data:** Tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi profil penggunaan energi, melihat fluktuasi dan neraca energi, melakukan *benchmarking* terhadap intensitas konsumsi, dan mengidentifikasi pemborosan energi.
4. **Kesimpulan dan Rekomendasi:** Tahap ini bertujuan untuk menyimpulkan peluang penghematan energi berdasarkan data yang telah dikumpulkan, memberikan rekomendasi awal, dan menyusun detail kebutuhan untuk audit yang lebih mendetail termasuk menentukan lokasi, parameter, dan titik pengukuran yang diperlukan.

BAB IV DATA DAN ANALISA

4.1 Data

Audit awal pada sistem termal dan mekanikal di laboratorium teknik mesin, khususnya menfokuskan pada unit *chiller*, dilakukan di Gedung Laboratorium Jurusan Teknik Mesin di Politeknik Negeri Semarang. Laboratorium ini menggunakan sistem pengkondisian udara sentral untuk memastikan suhu kerja yang nyaman. Dalam sistem AC sentral ini, proses pendinginan udara diinisiasi di satu lokasi utama dan kemudian disalurkan ke berbagai ruangan.

Sistem AC di laboratorium ini terdiri dari tiga komponen utama: unit pendingin atau *chiller*, unit penanganan udara (AHU), dan menara pendingin. Spesifikasinya melibatkan penggunaan *Centrifugal Water Cooled Chiller* dari Mitsubishi (model R-12, tahun 1984) dengan kapasitas 315 TR. Data historis mengenai pengoperasian *chiller* tersebut tercatat dalam Tabel 4.1, sedangkan spesifikasi teknis *chiller* dicantumkan dalam Tabel 4.2.

Untuk mendukung kebutuhan air dingin, sistem ini dioperasikan dengan satu unit *Chiller*, dua unit pompa *chilled water*, dua unit pompa *condenser water*, dan dua unit menara pendingin. Sementara itu, kenyamanan termal di dalam gedung dijaga melalui distribusi udara segar yang disalurkan oleh AHU melalui saluran udara yang berada di atas *plafond* menuju ke setiap ruangan.

Tabel 4.1 Data Histori Pengukuran *Chiller*

	Unit	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
<i>Water/Brine</i>									
<i>Setpoint</i>	oC	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
<i>Cont.Point</i>	oC	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
<i>Ent. Chilled Water</i>	oC	14.6	14.6	14.7	14.3	14.2	14.1	13.8	13.6

<i>Leav. Chilled Water</i>	oC	10.7	10.8	10.6	10.9	10.7	10.5	10.2	9.9
<i>Ent. Cond. Water</i>	oC	29.1	28.8	29.0	29.1	29.7	28.6	29.2	28.6
<i>Leav. Cond. Water</i>	oC	34.1	33.8	33.9	34.1	34.5	33.6	34.0	33.7
<i>Evap. Refrig. Temp</i>	oC	5.9	6.0	5.8	5.9	5.7	6.0	5.2	4.9
<i>Evap. Press,</i>	kPa	253.8	259.1	253.6	253.8	253.8	248.4	248.5	242.6
<i>Cond. Refrig. Temp,</i>	oC	36.2	35.9	36.1	35.8	36.7	35.9	35.8	35.5
<i>Cond. Press.</i>	kPa	801.1	795.4	795.6	795.6	812.2	784.8	801.2	784.8
<i>Disch. Temp.</i>	oC	45.8	45.5	45.6	45.7	46.2	45.2	45.4	45.1

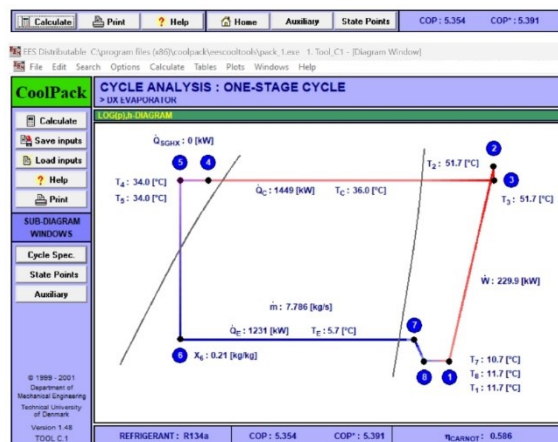
4.2 Analisa

Sebagian besar kebutuhan pengkondisian udara di gedung disediakan melalui sistem AC sentral yang menggunakan *centrifugal chiller* bertipe *water-cooled*. Analisis yang dilakukan dengan menggunakan *software Coolpack* menghasilkan data berikut:

IES Distributable C:\program files (x86)\coolpack\cooltools\pack_1.exe 1: Tool_C1 - [Cycle Specification]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

CYCLE SPECIFICATION					
TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER	
T_g [°C]:	5.7	ΔT_{sh} [K]:	5	AP _{sh} [K]:	0.5
T_c [°C]:	36.0	ΔT_{sc} [K]:	2	AP _{sc} [K]:	0.5
REFRIGERANT					
				No SGRX	0.30
				R134a	
CYCLE CAPACITY					
Cooling capacity $\dot{Q}_c$ [kW]:	1231	$\dot{Q}_e$: 1231 [kW]	$\dot{Q}_c$: 1449 [kW]	$\dot{m}$: 7.786 [kg/s]	$\dot{V}_g$: 1670.69 [m³/h]
COMPRESSOR PERFORMANCE					
Isentropic efficiency η_s [%]:	0.7	η_s : 0.700 [-]	W : 229.9 [kW]		
COMPRESSOR HEAT LOSS					
Heat loss factor f_q [%]:	10	f_q : 10.0 [%]	T_2 : 51.7 [°C]	$\dot{Q}_{loss}$: 22.99 [kW]	
SUCTION LINE					
Unsat'd superheat $\Delta T_{sh,sl}$ [K]:	1.0	$\dot{Q}_{sl}$: 8570 [W]	T_g : 11.7 [°C]	$\Delta T_{sh,sl}$: 1.0 [K]	



Gambar 4.1 Diagram p-h *Chiller*

Tabel 4.2 Data Spesifikasi *Chiller*

	Satuan	Value	Std
Model: 19 XL-4141 453 CL			
Refr.: HFC 134a			
Daya Kompresor (<i>running</i>)	kWe	235	-
Load	%	97.6	100
Current	Amp	375.1	374
Load	TR	350	350
	kWt	1231	1231
T.refrig. (<i>Cooler</i>)	oC	5.4	5.56
T.refrig. <i>Cond.</i>	oC	35.7	36.1
T.refrig.out Kompresor	oC	45.5	-
T.water.in (<i>Cooler</i>)	oC	14.2	12.2
T.water.out (<i>Cooler</i>)	oC	10.5	6.67
T.water.in <i>Cond.</i>	oC	28.9	29.4
T.water.out <i>Cond.</i>	oC	33.9	35.0
Laju alir massa	kg/s	7.7	
Data dari software coolpack			
Qe (Kapasitas pendinginan)	kWt	1231	-
Qc (Kapasitas Condenser)	kWt	1449	-
COP	-	5.351	6.10
Daya Kompresor	kWe	230.1	-
kW/TR	-	0.66	0.56-0.58

Dalam sistem AC sentral yang menggunakan *centrifugal chiller water-cooled*, satuan *Ton of Refrigeration* (TR) didefinisikan sebagai 3,51685 kWh. Menurut standar ARI (*Air Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute*), nilai efisiensi yang umum adalah 550/590 kW/TR, dan nilai efisiensi yang diharapkan

berkisar antara 0,56 hingga 0,58 kW/TR. Namun, berdasarkan perhitungan yang dilakukan, nilai efisiensi sistem *chiller* ini adalah 0,66 kW/TR, yang menunjukkan bahwa sistem ini lebih boros dibandingkan standar yang ada.

Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis lebih lanjut untuk mengeksplorasi Peluang Penghematan Energi (PHE). Ini akan membantu menentukan langkah-langkah yang dapat diambil untuk meningkatkan efisiensi sistem, sehingga mengurangi konsumsi energi dan biaya operasional secara keseluruhan.

BAB V

PELUANG PENGHEMATAN ENERGI

Berdasarkan analisis efisiensi sistem pengkondisian udara yang dilakukan, beberapa peluang untuk menghemat energi telah diidentifikasi, di antaranya adalah:

1. **Penggantian Refrigerant:** Saat ini sistem menggunakan refrigerant R-134a. Dipertimbangkan untuk mengganti refrigerant ini dengan hidrokarbon, yang menurut studi dapat mengurangi konsumsi energi listrik antara 10 - 20%. Hidrokarbon memiliki sifat fisik yang memungkinkan penggantian langsung tanpa perlu mengubah komponen sistem pendingin eksisting. Penggantian ini idealnya dilakukan pada akhir pekan, saat gedung tidak digunakan, yaitu pada hari Sabtu atau Minggu. Dengan konsumsi rata-rata *chiller* sebesar 229,9 kWh, penggantian ini bisa menurunkan konsumsi menjadi sekitar 195,415 kWh, menghemat sekitar 15%.
2. **Mengatur Temperatur Air Keluar (*Leaving Chilled Water Temperature - LCWT*):** Menyesuaikan LCWT pada *chiller* dapat mengurangi kapasitas pendinginan, yang secara langsung akan mengurangi konsumsi listrik. Meskipun penyesuaian ini akan menyebabkan suhu ruangan sedikit meningkat, pengaturan harus dilakukan dengan hati-hati agar tetap menciptakan kondisi ruangan yang nyaman bagi pengguna.

Langkah-langkah ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional sistem pengkondisian udara di gedung tersebut.

Jika temperatur pada LCWT dinaikkan 1 derajat maka:

$$Q_e = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_e = 89,24 \text{ kg/s} \cdot 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (14,24 - 11,54) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_e = 1007,16 \text{ kW}$$

Nilai Q_e yang baru dimasukkan kembali kedalam *software coolpack*, maka didapatkan:

ES: Distributable: C:\Program Files (x86)\coolpak\coolpakpack.exe, Line: 1, Tool: C1 [Cycle Specification]

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help

CYCLE SPECIFICATION

TEMPERATURE LEVELS		PRESSURE LOSSES		SUCTION GAS HEAT EXCHANGER		REFRIGERANT	
T _g [°C]:	5.7	ΔT _{gH} [K]:	5	ΔP _{gH} [K]:	0.5	No SGHX	0.50
T _c [°C]:	36.0	ΔT _{gC} [K]:	2	ΔP _{gC} [K]:	0.5		R134a

CYCLE CAPACITY

Cooling capacity Q _g [kW]:	1007	Q _g : 1007 [kW]	Q _c : 1185 [kW]	m: 6.37 [kg/s]	V _g : 1366.90 [m³/h]
---------------------------------------	------	----------------------------	----------------------------	----------------	---------------------------------

COMPRESSOR PERFORMANCE

Isentropic efficiency η _s [%]:	0.7	η _s : 0.700 [-]	W: 188.1 [kW]
---	-----	----------------------------	---------------

COMPRESSOR HEAT LOSS

Heat loss factor f _g [%]:	10	f _g : 10.0 [%]	T ₂ : 54.7 [°C]	Q _{LOSS} : 18.81 [kW]
--------------------------------------	----	---------------------------	----------------------------	--------------------------------

SUCTION LINE

Unwanted superheat ΔT _{gH,SL} [K]:	1.0	Q _{g,SL} : 7012 [W]	T _g : 11.7 [°C]	ΔT _{gH,SL} : 1.0 [K]
---	-----	------------------------------	----------------------------	-------------------------------

Calculate Print Help Home Auxiliary State Points COP: 5.354 COP*: 5.391

Gambar 5.1 Data *chiller* setelah dilakukan penghematan

Setelah menerapkan strategi penghematan energi melalui penyesuaian *Leaving Chilled Water Temperature* (LCWT) pada *chiller*, pemakaian energi listrik berhasil diturunkan menjadi 188,1 kW. Ini menunjukkan penurunan signifikan dari konsumsi sebelumnya yang adalah 229,9 kW. Oleh karena itu, penghematan yang berhasil dicapai adalah sebesar 41,8 kWh. Langkah ini menunjukkan efektivitas dari menaikkan LCWT sebagai metode untuk mengurangi konsumsi energi dalam sistem pengkondisian udara, yang tidak hanya efisien tetapi juga mengurangi biaya operasional secara keseluruhan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

Peluang Penghematan Energi (PHE) dapat berhasil diimplementasikan dengan dua langkah utama:

1. **Penggantian Refrigerant:** Mengganti refrigerant R-134a dengan hidrokarbon yang lebih efisien, yang dapat mengurangi konsumsi energi listrik sekitar 15%.
2. **Penyesuaian Temperatur Air Keluar (LCWT) pada Chiller:** Mengatur setup LCWT dapat mengurangi kapasitas pendinginan chiller, yang menghasilkan penghematan energi signifikan, seperti yang ditunjukkan oleh penurunan konsumsi energi dari 229,9 kW menjadi 188,1 kW.

Rekomendasi

Dianjurkan untuk melakukan audit energi yang lebih menyeluruh pada sistem pengkondisian udara secara keseluruhan. Audit ini akan membantu mengidentifikasi lebih banyak lagi area potensial untuk penghematan energi, memastikan semua komponen sistem bekerja dengan efisiensi maksimal, dan memvalidasi efektivitas perubahan yang telah dilakukan. Selain itu, audit yang menyeluruh akan memberikan wawasan lebih lanjut tentang kemungkinan peningkatan atau modifikasi lain yang mungkin diperlukan untuk mendukung keberlanjutan dan efisiensi jangka panjang.

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



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



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



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