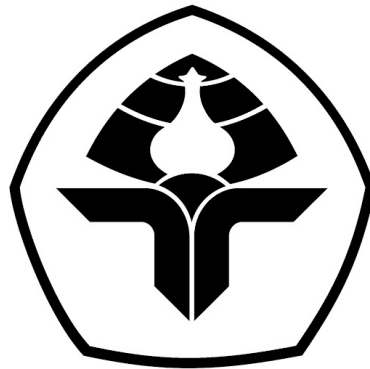


SKRIPSI

**ANALISA HUBUNGAN EFISIENSI *COOLING TOWER*
TERHADAP KAPASITAS PENDINGINAN DAN
KONSUMSI ENERGI AC TIPE *WATER-COOLED*
CHILLER PADA GEDUNG *SUPERMALL***



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

I GEDE SANJAYA PERDANA PUTRA

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI
REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2024

SKRIPSI

**ANALISA HUBUNGAN EFISIENSI *COOLING TOWER*
TERHADAP KAPASITAS PENDINGINAN DAN
KONSUMSI ENERGI AC TIPE *WATER-COOLED*
CHILLER PADA GEDUNG *SUPERMALL***



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

I GEDE SANJAYA PERDANA PUTRA
NIM. 2315264007

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI
REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

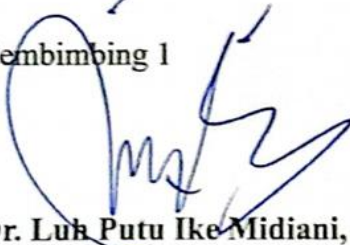
**ANALISA HUBUNGAN EFISIENSI *COOLING TOWER*
TERHADAP KAPASITAS PENDINGINAN DAN
KONSUMSI ENERGI AC TIPE *WATER-COOLED*
CHILLER PADA GEDUNG *SUPERMALL***

Oleh

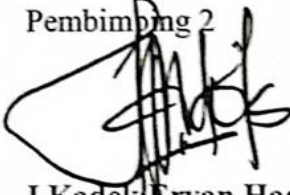
I GEDE SANJAYA PERDANA PUTRA
NIM. 2315264007

Diajukan sebagai syarat menyelesaikan Skripsi
Program Studi Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Bali

Disetujui oleh:

Pembimbing 1


Dr. Luh Putu Ike Midiani, S.T., M.T.
NIP. 197206021999032002

Pembimbing 2


I Kadek Ervan Hadi Wiryanta, S.T., M.T.
NIP. 198207102014041001



Disahkan oleh:
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Ir. I Gede Santosa, M.Erg.
NIP. 196609241993031003

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA HUBUNGAN EFISIENSI *COOLING TOWER* TERHADAP KAPASITAS PENDINGINAN DAN KONSUMSI ENERGI AC TIPE *WATER-COOLED* *CHILLER* PADA GEDUNG *SUPERMALL*

Oleh

I GEDE SANJAYA PERDANA PUTRA
NIM. 2315264007

Skripsi ini telah dipertahankan di depan Tim Penguji dan diterima untuk dapat
dicetak sebagai buku Skripsi pada hari/tanggal:
Senin, 2 September 2024

Tim Penguji

Tanda Tangan

Penguji I : Prof. Dr. Ir. Putu Wijaya Sunu, S.T., M.T., IPM, ASEAN, Eng.
NIP : 198006142006041004

Penguji II : Dr. Adi Winarta, S.T., M.T.
NIP : 197610102008121003

Penguji III : I Wayan Gede Santika, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP : 197402282005011002

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : I Gede Sanjaya Perdana Putra
NIM : 2315264007
Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Utilitas
Judul Proyek Akhir : Analisa Hubungan Efisiensi *Cooling Tower* terhadap Kapasitas Pendinginan dan Konsumsi Energi AC Tipe *Water-Cooled Chiller* pada Gedung *Supermall*

Dengan ini menyatakan bahwa karya ilmiah buku Skripsi ini bebas plagiat. Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam buku Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai Peraturan Mendiknas RI No. 17 Tahun 2010 dan Perundang-undangan yang berlaku.

Badung, 2 September 2024

Yang membuat pernyataan



I Gede Sanjaya Perdana Putra

NIM. 23152654007

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan buku Skripsi ini, penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk dan bantuan serta dorongan dari berbagai pihak baik yang bersifat moral maupun material. Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu. Dengan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, penulis pada kesempatan ini menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak I Nyoman Abdi, S.E., M.eCom. selaku Direktur Politeknik Negeri Bali.
2. Bapak Dr. Ir. I Gede Santosa, M.Erg. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak I Kadek Ervan Hadi Wiyanta, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Dr. Made Ery Arsana, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Utilitas
5. Ibu Dr. Luh Putu Ike Midiani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing-1 yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat kepada penulis, sehingga Buku Skripsi ini dapat terselesaikan
6. Bapak I Kadek Ervan Hadi Wiyanta, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing-2 yang selalu memberikan dukungan, perhatian, semangat dari awal menjadi mahasiswa hingga saat ini
7. Bapak Prof. I Nyoman Suamir, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen yang secara khusus telah membantu dalam proses penyusunan Buku Skripsi ini
8. Segenap dosen dan seluruh staf akademik serta PLP yang selalu membantu dalam memberikan fasilitas, ilmu, serta pendidikan pada penulis hingga dapat menunjang dalam penyelesaian Buku Skripsi ini
9. Kedua orang tua tersayang dan adik, yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa demi kelancaran dan kesuksesan dalam menyelesaikan Skripsi ini
10. Kemudian terima kasih banyak untuk satu-satunya calon istri yang semoga jadi ibu dari anak-anak kita nantinya, yang telah memberikan dukungan serta perhatian kepada penulis
11. Teman-teman seperjuangan Angkatan Pertama RPL Sarjana Terapan TRU dalam menyelesaikan Skripsi yang telah memberikan banyak masukan serta dukungan kepada penulis

12. Teman-teman kantor yang telah membantu menggantikan pekerjaan ketika sedang bimbingan ke kampus
13. Seluruh *coffee shop* yang telah memberikan inspirasi dan menjadi saksi bisu dalam penyusunan Buku Skripsi ini
14. Serta masih banyak lagi pihak-pihak yang sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian skripsi yang yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa senantiasa membalas semua kebaikan yang telah diberikan.

Semoga Buku Skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca umumnya, penulis, dan khususnya kepada civitas akademik Politeknik Negeri Bali.

Badung, 2 September 2024



I Gede Sanjaya Perdana Putra

ABSTRAK

Studi analisis terhadap hubungan efisiensi cooling tower terhadap kapasitas pendinginan dan konsumsi energi AC tipe water-cooled chiller di bangunan supermal telah dilakukan. Analisa dilakukan dengan memanfaatkan software EES untuk membuat model numerik pengolahan data dan software SPSS untuk melakukan analisa hubungan tersebut. Dalam penelitian ini telah dilakukan analisa terhadap efisiensi pada cooling tower, diantaranya dari parameter temperatur air pendingin dan dari sisi energi. Dalam dilakukannya penelitian selama tujuh hari, didapatkan efisiensi cooling tower tertinggi sebesar 80,8%, sedangkan nilai terendah sebesar 46%. Pada nilai efisiensi cooling tower dari sisi energi dengan satuan kW/TR didapatkan nilai tertinggi yaitu 0,14 kW/TR dengan 0,11 kW/TR menjadi nilai terendah. Analisa terhadap hubungan efisiensi cooling tower terhadap kapasitas pendinginan chiller plant telah dilakukan menggunakan pendekatan uji regresi linier berganda dengan menggunakan SPSS sebagai instrumennya. Berdasarkan hasil uji T, dapat dikatakan adanya hubungan parsial dari masing-masing variabel bebas terhadap kapasitas pendinginan chiller. Dilakukannya uji F mendapatkan bahwa adanya hubungan signifikan secara simultan terhadap kapasitas pendinginan chiller sebesar 99,2% Analisa terhadap hubungan efisiensi cooling tower dengan konsumsi energi chiller plant juga telah dilakukan pendekatan uji regresi linier berganda. Berdasarkan hasil uji T, dapat dikatakan adanya hubungan parsial dari efisiensi cooling tower sisi energi terhadap konsumsi energi chiller plant. Dilakukannya uji F mendapatkan bahwa adanya hubungan signifikan secara simultan terhadap konsumsi chiller plant sebesar 79,9% Analisa juga telah dilakukan untuk memperoleh pengaruh konsumsi energi chiller plant terhadap emisi CO₂. Total konsumsi energi harian yang dikeluarkan untuk pengoperasian sistem chiller selama 7 (tujuh) hari ialah sebesar 22,84 MWh. Sehingga didapatkan bahwa adanya pengaruh konsumsi energi harian AC chiller plant terhadap emisi CO₂ berupa peningkatan emisi CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan energi pada chiller plant sebesar 20,74 tCO₂ di setiap harinya.

Kata kunci: *chiller, water-cooled, cooling tower, SPSS, emisi CO₂.*

**ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP OF COOLING TOWER
EFFICIENCY TO COOLING CAPACITY AND ENERGY
CONSUMPTION OF WATER-COOLED CHILLER TYPE AC IN
SUPERMALL BUILDING**

ABSTARCT

An analytical study of the relationship of cooling tower efficiency on the cooling capacity and energy consumption of water-cooled chiller type AC in supermall buildings has been carried out. The analysis was carried out by utilizing EES software to create a numeric model for data processing and SPSS software to analyze the influence. In this research, an analysis of the efficiency of the cooling tower has been carried out, including from the cooling water temperature parameter and from the energy side. In carrying out research for seven days, the highest cooling tower efficiency was found to be 80.8%, while the lowest value was 46%. In the cooling tower efficiency value in terms of energy in kW/TR units, the highest value was obtained, namely 0.14 kW/TR with 0.11 kW/TR being the lowest value. Analysis of the relationship of cooling tower efficiency on chiller plant cooling capacity has been carried out using a multiple linear regression test approach using SPSS as the instrument. Based on the T test results, it could be said that there was a partial influence of each independent variable toward the chiller cooling capacity. Regarding the F test found that there was a significant simultaneous influence on the chiller cooling capacity of 99.2%. Analysis of the relationship of cooling tower efficiency on chiller plant energy consumption was also carried out with a multiple linear regression test approach. Based on the T test results, it could be said that there was a partial influence of the cooling tower efficiency on the energy side of the chiller plant energy consumption. Carrying out the F test found that there was a significant simultaneous influence on chiller plant consumption of 79.9%. Analysis was also carried out to obtain the relationship of chiller plant energy consumption on CO₂ emissions. The total daily energy consumption by operating the chiller system for 7 (seven) days is 22.84 MWh. Thus, it was found that there was an influence of daily energy consumption in the chiller plant toward CO₂ emissions by increment in CO₂ emissions in the amount of 20.74 tCO₂ each day.

Kata kunci: *chiller, water-cooled, cooling tower, SPSS, CO₂ emissions.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadapan Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini yang berjudul “Analisa Hubungan Efisiensi *Cooling Tower* terhadap Kapasitas Pendinginan dan Konsumsi Energi AC Tipe *Water-Cooled Chiller* pada Gedung *Supermall*” tepat pada waktunya. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk kelulusan program pendidikan pada jenjang Sarjana Terapan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

Penulis menyadari Proposal Skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran sebagai pembelajaran demi penyempurnaan karya-karya ilmiah penulis di masa yang akan datang.

Badung, 22 Agustus 2024



I Gede Sanjaya Perdana Putra

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	vi
ABSTARCT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.4.1. Tujuan Umum.....	4
1.4.2. Tujuan Khusus.....	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.5.1. Manfaat bagi penulis	5
1.5.2. Manfaat bagi mahasiswa	5
1.5.3. Manfaat bagi Polteknik Negeri Bali.....	5
1.5.4. Manfaat bagi masyarakat	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1 Siklus Kompresi Uap	7
2.2 Komponen Utama Sistem Refrigerasi.....	8
2.3 Refrigeran.....	19
2.4 <i>AC Water-Cooled Chiller</i>	21
2.4.1 Karakteristik <i>AC water-cooled chiller</i>	23

2.5	Sistem AC <i>Water Chiller</i>	24
2.5.1	Sistem <i>single chiller</i>	24
2.5.2	Sistem <i>multichiller</i>	25
2.6	Konfigurasi Sistem AC <i>Water Chiller</i>	26
2.6.1	Konfigurasi paralel satu pompa	26
2.6.2	Konfigurasi paralel beberapa pompa	28
2.6.3	Konfigurasi paralel primer–sekunder	28
2.7	<i>Cooling Tower</i>	31
2.7.1	Komponen pada <i>cooling tower</i>	35
2.7.2	Parameter kapasitas dan kinerja <i>cooling tower</i>	43
2.8	<i>Psychrometry</i>	45
2.9	Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)	47
2.10	TEWI (<i>Total Equivalent Warming Impact</i>)	48
2.11	Konsumsi Energi	50
2.12	<i>Engineering Equation Software</i> (EES)	50
2.13	SPSS	51
BAB III METODE PENELITIAN		53
3.1	Jenis Penelitian	53
3.2	Alur Penelitian	53
3.3	Lokasi dan Waktu Penelitian	54
3.4	Penentuan Sumber Data	55
3.5	Sumber Daya Penelitian	56
3.6	Instrumen Penelitian	61
3.7	Prosedur Penelitian	62
3.7.1	Langkah pengumpulan data	63
3.7.2	Langkah pembuatan model numerik pada <i>software</i> EES	63
3.7.3	Langkah pengolahan data	64
3.7.4	Langkah analisis data	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		66
4.1	Hasil Penelitian	66
4.1.1	Model numerik kinerja <i>cooling tower</i> dan <i>water-cooled chiller</i>	66

4.1.2	Parameter <i>cooling tower</i>	69
4.1.3	Parameter <i>water-cooled chiller</i>	73
4.2	Pembahasan	76
4.2.1	Efisiensi <i>cooling tower AC water-cooled chiller</i> di <i>supermall</i>	76
4.2.2	Hubungan efisiensi <i>cooling tower</i> terhadap kapasitas pendinginan <i>chiller</i>	78
4.2.3	Hubungan efisiensi <i>cooling tower</i> terhadap konsumsi energi <i>chiller plant</i>	83
4.2.4	Pengaruh konsumsi energi <i>chiller</i> terhadap emisi CO ₂	86
BAB V PENUTUP		88
5.1.	Kesimpulan	88
5.2.	Saran.....	90
DAFTAR PUSTAKA		91

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Waktu Penelitian.....	55
Tabel 3.2	Tabel parameter data BMS	62
Tabel 3.3	Tabel parameter data pengukuran manual.....	62
Tabel 4.1	Hasil uji regresi linier SPSS <i>model summary</i> efisiensi CT dan kapasitas pendinginan	79
Tabel 4.2	Hasil SPSS uji regresi linier <i>Coefficients</i> efisiensi CT dan kapasitas pendinginan	79
Tabel 4.3	Hasil uji regresi linier SPSS <i>ANOVA</i> efisiensi CT dan kapasitas pendinginan	79
Tabel 4.4	Hasil uji regresi linier SPSS <i>model summary</i> efisiensi CT dan konsumsi energi <i>chiller plant</i>	83
Tabel 4.5	Hasil uji regresi linier SPSS <i>Coefficients</i> efisiensi CT dan konsumsi energi <i>chiller plant</i>	83
Tabel 4.6	Hasil uji regresi linier SPSS <i>ANOVA</i> efisiensi CT dan konsumsi energi <i>chiller plant</i>	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus kompresi uap	7
Gambar 2.2	Kompresor hermetik.....	10
Gambar 2.3	Kompresor semi hermetik	10
Gambar 2.4	Kompresor terbuka.....	11
Gambar 2.5	Kondensor pipa ganda (<i>tube and tube</i>)	12
Gambar 2.6	Kondensor tabung dan koil (<i>shell and coil</i>)	12
Gambar 2.7	Kondensor pendingin udara (<i>fin and tube</i>).....	13
Gambar 2.8	Kondensor tabung dan pipa horisontal (<i>shell and tube</i>).....	13
Gambar 2.9	Katup ekspansi manual.....	15
Gambar 2.10	Katup ekspansi otomatis	15
Gambar 2.11	Katup ekspansi termostatik	16
Gambar 2.12	Evaporator kering (<i>dry expansion evaporator</i>)	17
Gambar 2.13	Evaporator basah (<i>flooded evaporator</i>)	17
Gambar 2.14	<i>Plate evaporator</i>	18
Gambar 2.15	<i>Bare evaporator</i>	18
Gambar 2.16	<i>Evaporator sirip</i>	19
Gambar 2.17	Tabung refrigeran	19
Gambar 2.18	<i>AC water-cooled chiller</i>	22
Gambar 2.19	Sistem <i>single chiller</i>	24
Gambar 2.20	Sistem <i>multichiller</i>	25
Gambar 2.21	Konfigurasi <i>chiller</i> paralel satu pompa	27
Gambar 2.22	Konfigurasi <i>chiller</i> paralel satu pompa dengan <i>isolation valve</i>	28
Gambar 2.23	Konfigurasi <i>chiller</i> paralel beberapa pompa	28
Gambar 2.24	Konfigurasi <i>chiller</i> paralel primer-sekunder	29
Gambar 2.25	Konfigurasi <i>chiller</i> paralel primer-sekunder dengan VFD pada pompa	30
Gambar 2.26	<i>Cooling tower</i>	31
Gambar 2.27	Karakteristik <i>cooling tower</i>	31

Gambar 2.28	Grafik hubungan perubahan nilai <i>approach</i> terhadap <i>tower size factor</i>	32
Gambar 2.29	Grafik hubungan perubahan <i>flow</i> terhadap <i>tower size factor</i>	32
Gambar 2.30	Grafik hubungan perubahan nilai <i>range</i> terhadap <i>tower size factor</i>	33
Gambar 2.31	Konfigurasi <i>Cooling tower</i> (a) aliran udara/air (b) posisi fan	34
Gambar 2.32	(a) <i>Flat splash fill</i> (b) <i>tringular splash fill</i>	36
Gambar 2.33	<i>Film fill</i>	37
Gambar 2.34	(a) <i>centrifugal fan</i> (b) <i>axial propeller fan</i>	41
Gambar 2.35	Karakteristik performasi fan: (1) CFM/kurva <i>static pressure</i> ; (2) kurva <i>brake horsepower</i> ; dan (3) kurva efisiensi mekanikal	41
Gambar 2.36	<i>Range</i> dan <i>approach</i> pada sistem <i>condenser water</i>	44
Gambar 2.37	<i>Greenhouse Gas Emission</i>	47
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	54
Gambar 3.2	<i>Water-cooled chiller</i> pada gedung <i>supermall</i>	56
Gambar 3.3	Skematik Diagram <i>water-cooled chiller</i> pada gedung <i>supermall</i> ...	57
Gambar 3.4	<i>Cooling water pump</i> (CWP) pada gedung <i>supermall</i>	57
Gambar 3.5	<i>Chilled water pump</i> (ChWP) pada gedung <i>supermall</i>	58
Gambar 3.6	Sistem BMS pada <i>chiller</i> gedung <i>supermall</i>	58
Gambar 3.7	<i>Cooling tower</i> pada gedung <i>supermall</i>	59
Gambar 4.1	Tampilan utama model EES parameter <i>cooling tower</i>	66
Gambar 4.2	<i>Sub-window (CT Performance)</i> dari model EES untuk efiseinsi <i>cooling tower</i>	67
Gambar 4.3	<i>Model EES</i> untuk kapasitas pendinginan <i>chiller</i>	67
Gambar 4.4	<i>Model EES energy consumption chiller</i>	68
Gambar 4.5	Data temperatur udara bola kering (<i>dry bulb</i>) masuk ke <i>cooling tower</i>	69
Gambar 4.6	Data RH udara masuk ke <i>cooling tower</i>	69
Gambar 4.7	Data temperatur bola basah udara (<i>wet bulb</i>) masuk <i>cooling tower</i>	70
Gambar 4.8	Data temperatur air (<i>cooling water</i>) masuk <i>cooling tower</i>	72
Gambar 4.9	Data temperatur air (<i>cooling water</i>) keluar <i>cooling tower</i>	72

Gambar 4.10	Data daya listrik pada <i>cooling tower</i>	73
Gambar 4.11	Data temperatur air dingin (<i>chilled water</i>) masuk <i>evaporator</i>	74
Gambar 4.12	Data temperatur air dingin (<i>chilled water</i>) keluar <i>evaporator</i>	74
Gambar 4.13	Data debit aliran air dingin (<i>chilled water</i>).....	75
Gambar 4.14	Data konsumsi energi <i>sistem chiller</i>	76
Gambar 4.15	Efisiensi <i>cooling tower</i> parameter temperatur air.....	77
Gambar 4.16	Efisiensi <i>cooling tower</i> dari sisi energi (kW/TR).....	78
Gambar 4.17	Kapasitas pendinginan <i>chiller</i> di sisi air.....	79
Gambar 4.18	Grafik uji regresi linier hubungan efisiensi CT parameter temperatur air pendingin terhadap kapasitas pendinginan <i>chiller</i> (TR).....	81
Gambar 4.19	Grafik uji regresi linier hubungan efisiensi CT sisi energi (kW/TR) terhadap kapasitas pendinginan <i>chiller</i> (TR).....	82
Gambar 4.20	Uji regresi linier hubungan efisiensi CT sisi air terhadap konsumsi energi <i>chiller plant</i>	85
Gambar 4.21	Uji regresi linier hubungan efisiensi CT sisi energi (kW/TR) terhadap konsumsi energi <i>chiller plant</i>	85
Gambar 4.22	Jumlah Emisi CO ₂ dari konsumsi energi <i>chiller</i>	87

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan energi bagi sebuah negara mengambil peran sangat krusial. Suplai energi di Indonesia mengalami peningkatan sebesar 19% dari tahun 2012 sebelumnya, dimana hal tersebut merupakan peningkatan tertinggi (Adi et al., 2022). Menurut data Peraturan Pemerintah RI (2017) tentang Rencana Umum Energi Nasional, proyeksi kebutuhan energi pada sektor komersial di Indonesia pada tahun 2025 yaitu sebesar 12,2 *million tonne of oil equivalent* (MTOE) atau 4,9% dari total kebutuhan energi. Sektor komersil yang dimaksud mencakup antara lain; supermarket, hotel, rumah sakit, rumah makan, dan bandara. Kebutuhan energi tersebut diproyeksikan akan meningkat sebesar 6,5% (73 MTOE) di tahun 2050. Dari data tersebut, sebesar 87,4% atau 63,8 MTOE merupakan berasal dari penggunaan energi listrik dan diikuti penggunaan gas sebesar 5,1 MTOE (7%) (Peraturan Pemerintah RI, 2017).

González-Torres et al. (2022) dan Pérez-Lombard et al. (2008) melaporkan bahwa sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) bertanggung jawab 38% sampai lebih dari 50% penggunaan energi listrik dalam sebuah gedung di dunia. HVAC dalam gedung komersial dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan akan pendinginan dan juga pemanasan untuk mencapai kenyamanan pengguna. Di Eropa, dari total kebutuhan energi dalam gedung digunakan sebanyak 40%-60% untuk memenuhi kebutuhan akan HVAC, sedangkan di Amerika Serikat, HVAC berkontribusi sebanyak 50% dari penggunaan energi di gedung (Pérez-Lombard et al., 2008). Di negara tropis seperti halnya Negara Timur Tengah dan Singapura memerlukan 60% dari total konsumsi energi, dimana hal tersebut merupakan jumlah energi yang masif untuk pengoperasian sistem HVAC (Jing et al., 2019 dan Vakiloroaya et al., 2014).

Adanya kebutuhan akan energi yang intensif pada sektor tersebut maka diperlukan usaha-usaha yang mendorong penghematan pada penggunaan energi.

Penghematan penggunaan energi tersebut juga salah satu upaya pemerintah dalam menjaga jumlah emisi gas rumah kaca (GRK) pada sektor energi tidak mengalami peningkatan sehingga dapat tercapainya target Indonesia dalam menurunkan emisi GRK sebesar 29% pada tahun 2030 mendatang (Bonifasius et al., 2023). Peluang Indonesia dalam penghematan dengan melakukan konservasi energi cukup besar, dimana diperkirakan adanya potensi penghematan energi berdasarkan sektor komersial sebesar 10-30% dengan target menjadi 15% pada tahun 2025 (Prabowo et al., 2017).

Menjabarkan peralatan penggunaan energi dalam sebuah gedung menjadi langkah awal dalam mengidentifikasi peluang konservasi tersebut. Peningkatan efektivitas kinerja dari peralatan HVAC tampaknya menjadi sebuah langkah yang berkelanjutan dalam rangka mengoptimisasi potensi penghematan energi. Berbagai pendekatan telah digunakan untuk memperoleh efisiensi kerja dari sistem AC *water-cooled chiller* pada bangunan komersial. Suamir et al. (2015) melakukan integrasi pada *heat pump* beserta *heat recovery* dari sebuah sistem AC *water-cooled chiller* yang berfokus pada penurunan konsumsi energi. Pendekatan lainnya juga dilakukan oleh Suamir et al. (2018) pada *heat recovery* dalam sistem AC *water-cooled chiller* untuk selanjutnya dimanfaatkan sebagai pemenuhan kebutuhan akan air panas. Kedua pendekatan tersebut pada dasarnya memanfaatkan buangan panas yang berasal dari proses refrigerasi sehingga menjadikan adanya peluang konservasi energi dalam utilitas air panas.

Dengan berpatokan pada pemanfaatan buangan panas pada sistem AC *water-cooled chiller*, maka kondensor salah satu komponen dari sistem refrigerasi yang memiliki peran untuk membuang panas menjadi salah satu potensi dalam penurunan konsumsi energi. Pada sistem AC *water-cooled chiller*, panas dibuang ke lingkungan yang dilakukan oleh *cooling tower*. Komponen ini merupakan bagian yang penting dan tidak dapat dilepaskan dari sistem energi pada AC tipe tersebut (Akbarpour Ghazani et al., 2017). Performansi dari suatu *cooling tower* sangat berdampak terhadap proses pembuangan panas pada kondenser. Pendekatan terhadap peningkatan performansi pada *cooling tower* telah dilakukan oleh Naik et al. (2015) dan (2017) dengan mengasesmen performansi

menggunakan berbagai pendekatan matematika. Strategi optimalisasi penggunaan energi lainnya juga dilakukan oleh Suamir et al. (2018), dimana dalam penelitiannya menemukan adanya pengaruh kinerja dari *cooling tower* terhadap penggunaan energi dan kapasitas pendinginan AC *water-cooled chiller* pada bangunan kantor di salah satu daerah di Indonesia.

Seiring dengan peningkatan kebutuhan dan konsumsi listrik pada sektor komersial di Indonesia, berdampak juga secara langsung pada peningkatan emisi GRK. Emisi GRK menyebabkan memburuknya kualitas udara dan berdampak buruk terhadap lingkungan. Berdasarkan pernyataan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan melalui investigasi terhadap pengaruh efisiensi *cooling tower* di terhadap kapasitas pendinginan, konsumsi energi dan emisi GRK pada sistem AC *water-cooled chiller* di sebuah gedung *supermall* di Indonesia.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang dibahas pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana efisiensi *cooling tower* dari AC *water-cooled chiller* pada gedung *supermall*?
2. Bagaimana hubungan efisiensi *cooling tower* terhadap kapasitas pendinginan dari AC *water-cooled chiller* pada gedung *supermall*?
3. Bagaimana hubungan efisiensi *cooling tower* terhadap konsumsi energi dari AC *water-cooled chiller* pada gedung *supermall*?
4. Bagaimana pengaruh konsumsi energi pada AC *water-cooled chiller* di gedung *supermall* terhadap emisi GRK berupa emisi CO₂?

1.3. Batasan Masalah

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan adanya pembatasan cakupan penelitian karena mengingat waktu yang terbatas. Adapun batasan-batasan masalah pada penelitian ini di antaranya:

1. Hanya melakukan analisa untuk mencari hubungan antara efisiensi *cooling tower* pada sistem AC *water-cooled chiller* di sebuah gedung supermall di Indonesia terhadap kapasitas pendinginan, konsumsi energi dan emisi GRK.
2. Proses pengambilan data dilakukan dengan 2 buah sistem *chiller* bekerja sekaligus
3. Hanya melakukan pengolahan data yang didapatkan dari hasil pengukuran dan akuisisi sistem *building automation system* (BMS)
4. Hanya melakukan pembuatan model numerik di EES untuk mengolah data

1.4. Tujuan Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini, penulis memiliki tujuan yang diharapkan dapat tercapai ke depannya. Adapun tujuan yang diharapkan yaitu berupa tujuan umum dan tujuan khusus

1.4.1. Tujuan Umum

Tujuan yang umum diharapkan oleh penulis dalam melaksanakan penelitian ini di antaranya sebagai berikut:

1. Untuk memenuhi salah satu persyaratan akademik dalam menyelesaikan pendidikan pada jenjang Sarjana Terapan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas (TRU) di Politeknik Negeri Bali.
2. Untuk mengaplikasikan ilmu-ilmu yang selama ini diperoleh dari mengikuti perkuliahan baik secara teori maupun praktik di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.
3. Mengembangkan ilmu pengetahuan yang diperoleh di masa perkuliahan, menerapkan dan menuangkan ke dalam bentuk laporan skripsi.

1.4.2. Tujuan Khusus

Tujuan khusus yang ingin dicapai pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Dapat menentukan efisiensi *cooling tower* dari AC *water-cooled chiller* pada gedung *supermall*
2. Dapat mengidentifikasi hubungan efisiensi *cooling tower* terhadap kapasitas pendinginan dari AC *water-cooled chiller* pada gedung *supermall*

3. Dapat diperoleh hubungan efisiensi *cooling tower* terhadap konsumsi energi dari AC *water-cooled chiller* pada gedung *supermall*
4. Dapat menentukan pengaruh konsumsi energi pada AC *water-cooled chiller* di gedung *supermall* terhadap emisi GRK berupa emisi CO₂.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan tentu dengan harapan memiliki manfaat yang dapat dirasakan kedepannya. Manfaat tersebut diharapkan dapat dirasakan oleh penulis sendiri, mahasiswa, Politeknik Negeri Bali, dan juga tentunya masyarakat.

1.5.1. Manfaat bagi penulis

Bagi penulis, dengan dilaksanakannya penelitian ini bermanfaat untuk mengaplikasikan ilmu dan pengetahuan yang selama ini diperoleh pada masa perkuliahan dan dengan terlaksananya penelitian ini, maka secara tidak langsung menambah wawasan penulis mengenai topik permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini.

1.5.2. Manfaat bagi mahasiswa

Mahasiswa secara umum dan khususnya di lingkungan Politeknik Negeri Bali dapat memanfaatkan penelitian ini sebagai referensi dan juga media pembelajaran dalam hal melakukan penyusunan laporan skripsi kedepannya analisa pada hubungan efisiensi *cooling tower* terhadap kapasitas pendinginan dan konsumsi energi pada AC tipe *water-cooled chiller*.

1.5.3. Manfaat bagi Polteknik Negeri Bali

Penelitian ini juga diharapkan dapat bermanfaat bagi instansi yang memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian ini. Politeknik Negeri Bali dapat memanfaatkan penelitian ini sebagai bahan pendidikan di bidang Teknik Mesin di kemudian hari sehingga menjadi suatu pertimbangan untuk dapat dikembangkan lebih lanjut.

1.5.4. Manfaat bagi masyarakat

Dengan terselesaikannya penelitian ini nantinya, masyarakat dapat memanfaatkan dan mengetahui apakah ada hubungan dari efisiensi *cooling tower*

terhadap kapasitas pendinginan dan konsumsi energi pada AC tipe *water-cooled chiller* sehingga dapat memiliki keuntungan apabila diterapkan pada kehidupan sehari-hari.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Studi analisis terhadap hubungan efisiensi *cooling tower* terhadap kapasitas pendinginan dan konsumsi energi AC tipe *water-cooled chiller* di bangunan *supermall* telah dilakukan. Analisa dilakukan dengan memanfaatkan *software* EES untuk membuat simulator pengolahan data dan *software* SPSS untuk melakukan analisa hubungan tersebut. Pengumpulan data pada parameter *cooling tower, chiller*, dan konsumsi energi telah dilakukan selama periode 7 (tujuh) hari.

Dalam penelitian ini telah dilakukan analisa terhadap efisiensi pada *cooling tower*, diantaranya dari sisi parameter temperatur air pendingin dan dari sisi energi. Pada hari pertama, rata-rata nilai efisiensi *cooling tower* setiap harinya masing-masing sebesar 59,9%, 69,2%, 64,9%, 64,4%, 65,6%, 58,7%, dan 65,3%. Dalam jangka waktu tujuh hari, didapatkan efisiensi *cooling tower* tertinggi sebesar 80,8%, sedangkan nilai terendah sebesar 46%. Sedangkan nilai efisiensi *cooling tower* dari sisi energi dengan satuan kW/TR didapatkan sebesar 0,13 kW/TR di hari pertama, sedangkan di hari kedua dan seterusnya masing-masing sebesar 0,13 kW/TR, 0,13 kW/TR, 0,12 kW/TR, 0,12 kW/TR, 0,13 kW/TR, dan di hari terakhir nilai rata-ratanya sebesar 0,13 kW/TR. Dalam periode penelitian selama tujuh hari didapatkan nilai tertinggi yaitu 0,14 kW/TR dengan 0,11 kW/TR.

Analisa terhadap hubungan efisiensi *cooling tower* terhadap kapasitas pendinginan *chiller* telah dilakukan menggunakan pendekatan uji regresi linier berganda dengan menggunakan SPSS sebagai instrumennya. Berdasarkan pendekatan tersebut, maka didapatkan persamaan regresi pada hubungan dari X1 dan X2 terhadap Y yaitu, $Q_{\text{evap}} = 394,76 \text{ Eff}_{\text{CT}} - 20369,7 \text{ kWTR}_{\text{CT}} + 4504$. Uji T dan F dilakukan untuk mendapatkan pengaruh secara simultan dan juga secara parsial dari masing-masing variabel. Berdasarkan hasil uji T pada masing-masing variabel efisiensi *cooling tower* parameter temperatur air pendingin (X1) dan

efisiensi *cooling tower* sisi energi terhadap kapasitas pendinginan *chiller* (Y) adalah $T_{hitung} > T_{tabel}$, maka dapat disimpulkan bahwa kedua variabel bebas tersebut masing-masing memiliki hubungan terhadap kapasitas pendinginan *chiller*. Dimana adanya asosiasi positif efisiensi *cooling tower* parameter temperatur air dingin terhadap kapasitas pendinginan, sedangkan asosiasi negatif terjadi pada efisiensi *cooling tower* sisi energi (kW/TR) terhadap kapasitas pendinginan *chiller*. Berdasarkan uji F pada variabel bebas X1 dan X2 menghasilkan $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga dapat dikatakan bahwa adanya asosiasi signifikan secara simultan terhadap kapasitas pendinginan dengan signifikansi $0,000 < 0,050$ dan nilai koefisien determinasi sebesar 99,2% atau adanya 0,8% asosiasi oleh variabel lain yang tidak diteliti.

Analisa terhadap hubungan efisiensi *cooling tower* terhadap konsumsi energi *chiller plant* telah dilakukan menggunakan pendekatan uji regresi linier berganda dengan menggunakan SPSS sebagai instrumennya. Berdasarkan pendekatan tersebut, maka didapatkan persamaan regresi pada hubungan dari X1 dan X2 terhadap Y yaitu, $Energi = 6,335 \text{ Eff}_{CT} - 171,014 \text{ kWTR}_{CT} + 41,237$. Uji T dan F dilakukan untuk mendapatkan pengaruh secara simultan dan juga secara parsial dari masing-masing variabel. Berdasarkan hasil uji T pada variabel efisiensi *cooling tower* parameter temperatur air pendingin (X1) terhadap konsumsi energi *chiller plant* (Y) adalah $T_{hitung} < T_{tabel}$, maka dapat disimpulkan bahwa variabel X1 tidak berasosiasi terhadap konsumsi energi *chiller plant*. Hal tersebut terjadi dikarenakan perubahan nilai efisiensi *cooling tower* dari parameter temperatur air dingin tidak berdampak secara langsung terhadap konsumsi energi pada waktu yang bersamaan. Namun adanya asosiasi negatif yang ditemukan pada efisiensi *cooling tower* sisi energi (kW/TR) terhadap kapasitas pendinginan *chiller*. Berdasarkan uji F pada variabel bebas X1 dan X2 menghasilkan $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga dapat dikatakan bahwa adanya asosiasi signifikan secara simultan terhadap kapasitas pendinginan dengan signifikansi $0,040 < 0,050$ dan nilai koefisien determinasi sebesar 79,9% atau adanya 20,1% asosiasi oleh variabel lain yang tidak dianalisa pada penelitian ini.

Analisa telah dilakukan untuk memperoleh pengaruh konsumsi energi *chiller plant* terhadap emisi CO₂. Total konsumsi energi yang dikeluarkan untuk pengoperasian sistem *chiller* selama 7 (tujuh) hari ialah sebesar 166894 kWh dengan konsumsi energi hariannya sebesar 23842 kWh atau 23,84 MWh. Berdasarkan total energi harian tersebut, maka didapatkan bahwa adanya pengaruh konsumsi energi harian AC *chiller plant* terhadap emisi CO₂. Pengaruh tersebut berupa adanya peningkatan emisi CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan energi pada *chiller plant* sebesar 20,74 tCO₂ di setiap harinya.

5.2. Saran

Adapun saran yang didapat dari penelitian ini, yang dapat dijadikan panduan dan perbaikan kedepannya untuk memperoleh hasil yang lebih baik yaitu sebagai berikut:

1. Mencari hubungan variabel lain di parameter *cooling tower* terhadap kapasitas pendinginan
2. Mencari hubungan variabel lain di parameter *cooling tower* terhadap konsumsi energi
3. Mengumpulkan data dengan periode durasi yang lebih lama
4. Membuat model numerik dengan menggunakan *software* lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, C. A., Lasnawatin, F., Pranoto, A. B., Halim, L., Anutomo, I. G., Anggraeni, D., Indrawari, F., Yusuf, M., Ambasari, L., & Yuanningrat, H. (2022). *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2022*. Center for Data and Information Technology on Energy and Mineral Resources.
- Akbarpour Ghazani, M., Hashem-ol-Hosseini, A., & Emami, M. D. (2017). A comprehensive analysis of a laboratory scale counter flow wet cooling tower using the first and the second laws of thermodynamics. *Applied Thermal Engineering*, *125*, 1389–1401. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.090>
- ASHRAE. (2016). *Handbook HVAC System and Equipment (SI)*. GA.
- ASHRAE. (2017). *ASHRAE Handbook Fundamental 2017*. GA.
- Bhirawa, W. T. (2020). Proses Pengolahan Data Dari Model Persamaan Regresi Dengan Menggunakan Statistical Product and Service Solution (SPSS). *Jurnal Mitra Manajemen*, *7*(1).
- BlueCold. (2021). *Shell and Tube Condenser*. <https://www.bluecoldref.com/blue-cold-products/shell-n-tube-condenser>
- Bonifasius, P. S. J., Hairani, A. M., Hikmaasih, U., Tania, A., Andriani, D., & Hartono, R. A. P. (2023). *Infogatrik Buletin Ditjen Ketenagalistrikan: Vol. XIX* (1st ed.). Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- BSI Standard. (2016). *Refrigerating systems and heat pumps-Safety and environmental requirements BSI Standards Publication (BS EN-378-1-2016)*.
- ESDM. (2019). *Faktor Emisi GRK Sistem Ketenagalistrikan Tahun 2019*. https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/96d7c-nilai-fe-grk-sistem-ketenagalistrikan-tahun-2019.pdf
- F-Chart Software. (2024). *Program Details*. <https://www.fchart.com/ees/program-details.php#:~:text=EES%20is%20particularly%20useful%20for,values%20in%20the%20table%20cells>.
- Gatley, D. P. (2013). *Understanding Psychrometrics Third Edition* (3rd ed.). GA.
- Gineersnow. (2018). *Type of Refrigerant and Their Environmental Impact*. <https://gineersnow.com/industries/types-refrigerants-environmental-impact>

- González-Torres, M., Pérez-Lombard, L., Coronel, J. F., Maestre, I. R., & Yan, D. (2022). A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers. In *Energy Reports* (Vol. 8, pp. 626–637). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.11.280>
- Haris, D., & Hs, D. S. (2022). Performance Study Of 1.3 Ton Slurry Ice Machine Capacity In Cold Chain Fish Handling. *Barakuda 45: Jurnal Ilmu Perikanan Dan Kelautan*, 4(2), 168–179. <https://doi.org/10.47685/barakuda45.v4i2.273>
- IBM. (2018). *Why IBM SPSS software?* <https://www.ibm.com/spss>
- IPCC. (2014). *Climate change 2014: mitigation of climate change: Working Group III contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Jing, G., Cai, W., Zhang, X., Cui, C., Yin, X., & Xian, H. (2019). An energy-saving oriented air balancing strategy for multi-zone demand-controlled ventilation system. *Energy*, 172, 1053–1065. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.044>
- Naik, B. K., Choudhary, V. K., & Somayaji, C. (2015, October). Performance Assessment of A Cross Flow Cooling Tower-A Simplified Approach. *4 Th National Conference on Refrigeration and Air Conditioning (NCRAC-2015)*. <https://www.researchgate.net/publication/285591661>
- Naik, B. K., Choudhary, V., Muthukumar, P., & Somayaji, C. (2017). Performance Assessment of a Counter Flow Cooling Tower - Unique Approach. *Energy Procedia*, 109, 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.056>
- Peraturan Pemerintah RI. (2017). *Peraturan Presiden Republik Indonesia tentang Rencana Umum Energi Nasional (PP No 22 Tahun 2017)*.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Prabowo, S. E., Ajiwihanto, N. E., Baruna, E. S., Indrawati, F., Anutomo, I. G., Thaib, Z., Ambarsari, L., Yusuf, M., Suzanty, V. M., & Yuanningrat, H. (2017). *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2017* (15th ed.). Center for Data and Information Technology on Energy and Mineral Resources.
- RJM. (2024). *Bitzer: Reciprocating Compressors*. <https://www.rokindojayamandiri.com/bitzer-reciprocating-compressors/>
- Suamir, I. N., Ardita, I. N., & Dewi, N. I. K. (2015). Integration of heat pump and heat recovery of central ac system for energy use reduction of hotel industry.

Refrigeration Science and Technology, 3581–3588.
<https://doi.org/10.18462/iir.icr.2015.0096>

- Suamir, I. N., Ardita, I. N., & Rasta, M. (2018). Effects of Cooling Tower Performance to Water Cooled Chiller Energy Use: A Case Study toward Energy Conservation of Office Building. *Proceedings - 2018 International Conference on Applied Science and Technology, ICAST 2018*, 712–717. <https://doi.org/10.1109/iCAST1.2018.8751530>
- Sugara, F., & Khoerun, B. (2021). Perbandingan Performansi Mesin Refrigerasi Kompresi Uap Chest Freezer Menggunakan Pipa Kapiler dan Orifice. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 7(1).
- TRANE. (2008). *Gear-Driven Centrifugal Water-Cooled Liquid Chillers with AdaptiView Controls CVGF-SVX03A-EN Installation Operation Maintenance Manual*.
- Truwater. (2020). *Multi-Cell 100-2600 HRT Cooling Capacity*.
- Vakiloroaya, V., Samali, B., Fakhar, A., & Pishghadam, K. (2014). A review of different strategies for HVAC energy saving. *Energy Conversion and Management*, 77, 738–754. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.10.023>
- W. Standford III, H. (2011). *HVAC Water Chillers and Cooling Towers Fundamentals, Application, and Operation Second Edition* (2nd ed.). CRC Press.
- Widodo, S., & Hasan, S. (2008a). *Sistem Refrigerasi dan Tata Udara Jilid 1 SMK* (Vol. 1). Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Widodo, S., & Hasan, S. (2008b). *Sistem Refrigerasi dan Tata Udara Jilid 2 SMK* (2nd ed., Vol. 2). Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.