



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS DATA KONSUMSI ENERGI *AIR CONDITIONING*  
DALAM MENDUKUNG MANAJEMEN ENERGI DI RUANG  
*EXHIBITION***

**TESIS**

**PATRICK THEOFILUS PARDAMEAN**

**1406507000**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI**

**DEPOK**

**JULI 2015**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS DATA KONSUMSI ENERGI *AIR CONDITIONING*  
DALAM MENDUKUNG MANAJEMEN ENERGI DI RUANG  
*EXHIBITION***

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik**

**PATRICK THEOFILUS PARDAMEAN**

**1406507000**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI**

**DEPOK**

**JULI 2015**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber, baik yang dikutip maupun dirujuk,  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Patrick Theofilus Pardamean

NPM : 1406507000

Tanda Tangan : 

Tanggal : 12 Juli 2016

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Patrick Theofilus Pardamean

NPM : 1406507000

Program Studi : Teknik Industri

Judul Tesis : Analisis data konsumsi energi *air conditioning* dalam mendukung manajemen energi di ruang *exhibition*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr.-Ing. Amalia Suzianti, ST, MSc

(Amalia<sup>3</sup>)

Pembimbing : Dr. Akhmad Hidayatno, ST, MBT

(Akhmad)

Penguji : Ir. Amat Rachman, MEIM

(Amat)

Penguji : Komarudin, ST, M.Eng, Ph.D.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Juli 2016

## KATA PENGANTAR

Pertama-tama, saya ingin mengucapkan rasa syukur saya kepada Tuhan Yesus Kristus, yang telah memberkati dan menyertai saya dalam proses studi magister di Universitas Indonesia maupun di National Taiwan University of Science and Technology. Saya juga mengucapkan rasa terima kasih kepada Tuhan, karena Ia selalu beserta saya dalam segala kondisi.

Saya juga ingin mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada pembimbing saya di National Taiwan University of Science and Technology, Prof. Shuo-Yan Chou dan Prof. Po-Hsun Kuo, yang telah membimbing saya selama proses studi saya di Taiwan. Para pembimbing saya ini juga telah mengarahkan saya dalam proses riset maupun tesis saya sehingga dapat selesai tepat waktu.

Ucapan syukur juga saya tujukan kepada seluruh keluarga saya yang berada di Indonesia maupun Australia dan juga kepada Yoan Sinar Liniara, yang telah menjadi pasangan, teman, serta sahabat yang selalu mendukung saya dalam menyelesaikan tesis ini. Seluruh teman dari Lab Information Technology Application and Integration (ITAI) yang selalu membantu dan mendukung saya dalam menyelesaikan semua project dan tesis ini. Saya juga mendedikasikan tesis ini kepada teman saya dari grup KTB NTUST, yang sudah saya anggap sebagai keluarga saya di Taiwan serta seluruh teman-teman Indonesia dari berbagai departemen lainnya. Saya juga berterima kasih kepada seluruh teman terdekat saya selama di Taipei dalam mendukung dan berbagi pengalaman selama menyelesaikan studi, yaitu Aditya Kemal, Adrian Ulza, Albert Daniel Saragih, Ade Nur Najman.

Patrick Theofilus Pardamean

Taipei, June 2016

## LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: Patrick Theofilus Pardamean

NPM: 1406507000

Program Studi: Teknik Industri

Departemen: Teknik Industri

Fakultas: Teknik

Jenis Karya: Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

### **ANALISIS DATA KONSUMSI ENERGI AIR CONDITIONING DALAM Mendukung MANAJEMEN ENERGI DI RUANG EXHIBITION**

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok

Pada tanggal: 12 Juli 2016

Yang Menyatakan



(Patrick Theofilus Pardamean)

## ABSTRAK

Nama : Patrick Theofilus Pardamean

Program Studi : Teknik Industri

Judul : Analisis data konsumsi energi *air conditioning* dalam mendukung manajemen energi di ruang *exhibition*

Konsumsi energi di sektor bangunan merupakan salah satu isu yang penting tentang energi. Di Amerika Serikat, konsumsi energi pada gedung hampir 70% dari total listrik yang dihasilkan. *Heating, Ventilation & Air Conditioning* (HVAC) adalah bagian yang mengkonsumsi energi terbesar pada gedung di samping *lighting*. Pengembangan *framework* analisis data untuk mendukung manajemen energi di ruang *exhibition* diusulkan pada penelitian ini. *Framework* yang diusulkan adalah dengan menggunakan analisis deskriptif, klasifikasi data menggunakan *Classification and Regression Trees* (CART), dan metode *anomaly detection* menggunakan *generalized extreme studentized deviate* (GESD). Sebuah studi kasus dilakukan di *National Taiwan Science Education Center* dengan mengumpulkan data konsumsi energi AC dan mengembangkan strategi manajemen aset. Hasil yang ditemukan menunjukkan bahwa konsumsi energi AC sering mengkonsumsi lebih banyak energi tepat sebelum dan sesudah pembukaan dan penutupan dari museum.

Kata kunci: konsumsi energi *air conditioning*, manajemen energi, analisis data, klasifikasi data, *anomaly detection*.

## ABSTRACT

Name : Patrick Theofilus Pardamean

Study Program : Industrial Engineering

Title : Air conditioning energy consumption data analysis to support energy management in exhibition spaces

Energy consumption in buildings sector is an important issue about energy. In the US, buildings already consume almost 70% of total electricity generated. Heating, Ventilating & Air Conditioning (HVAC) is the biggest energy consumer in building beside lighting. This study proposed development a data analysis framework to support energy management in exhibition spaces. The proposed experimental framework is using descriptive analysis, data classification using classification and regression trees (CART), and anomaly detection method using generalized extreme studentized deviate (GESD). A case study was conducted in National Taiwan Science Education Center by collecting air conditioning energy consumption and developing asset management strategy. The main finding show that the air conditioning energy consumption sometimes consume more energy just right before and after the opening and closing of the museum.

Keywords: air conditioning energy consumption, energy management, data analysis, data classification, anomaly detection.

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
<b>Bab 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Penelitian .....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah Penelitian .....	2
1.4. Metodologi Penelitian .....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Sistem HVAC .....	5
2.1.1 Deskripsi .....	5
2.1.2 Tipe Sistem <i>Air Conditioning</i> .....	6
2.1.3 Penghematan Energi pada Sistem HVAC .....	8
2.2 <i>Data Mining</i> .....	9
2.2.1 <i>Classification and Regression Trees</i> .....	9
2.2.2 <i>Anomaly Detection</i> .....	10
<b>BAB 3 METODOLOGI.....</b>	<b>12</b>
3.1 Metodologi Penelitian .....	12
3.2 Pengumpulan Data .....	13
3.3 Analisis Deskriptif.....	14
3.4 <i>Data Pre-processing</i> .....	15
3.5 Identifikasi Konsumsi Energi yang Abnormal .....	15
3.5.1 <i>Classification and Regression Trees (CART)</i> .....	16

3.5.2	<i>Generalized Extreme Studentized Deviate (GESD)</i> .....	16
3.6	Manajemen Energi .....	18
<b>BAB 4 STUDI KASUS DAN ANALISIS .....</b>		<b>21</b>
4.1	Deskripsi Gedung .....	21
4.2	Analisis Deskriptif.....	24
4.2.1	Analisis Periode Pendek .....	24
4.2.2	Analisis Periode Panjang .....	27
4.2.3	Analisis Periode Musiman.....	29
4.2.4	Pengaruh Jumlah Pengunjung.....	32
4.3	Identifikasi Konsumsi Energi Abnormal.....	37
4.4	Implikasi Manajerial.....	43
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN PENELITIAN SELANJUTNYA .....</b>		<b>45</b>
5.1	Kesimpulan.....	45
5.2	Penelitian Selanjutnya .....	45
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>		<b>47</b>



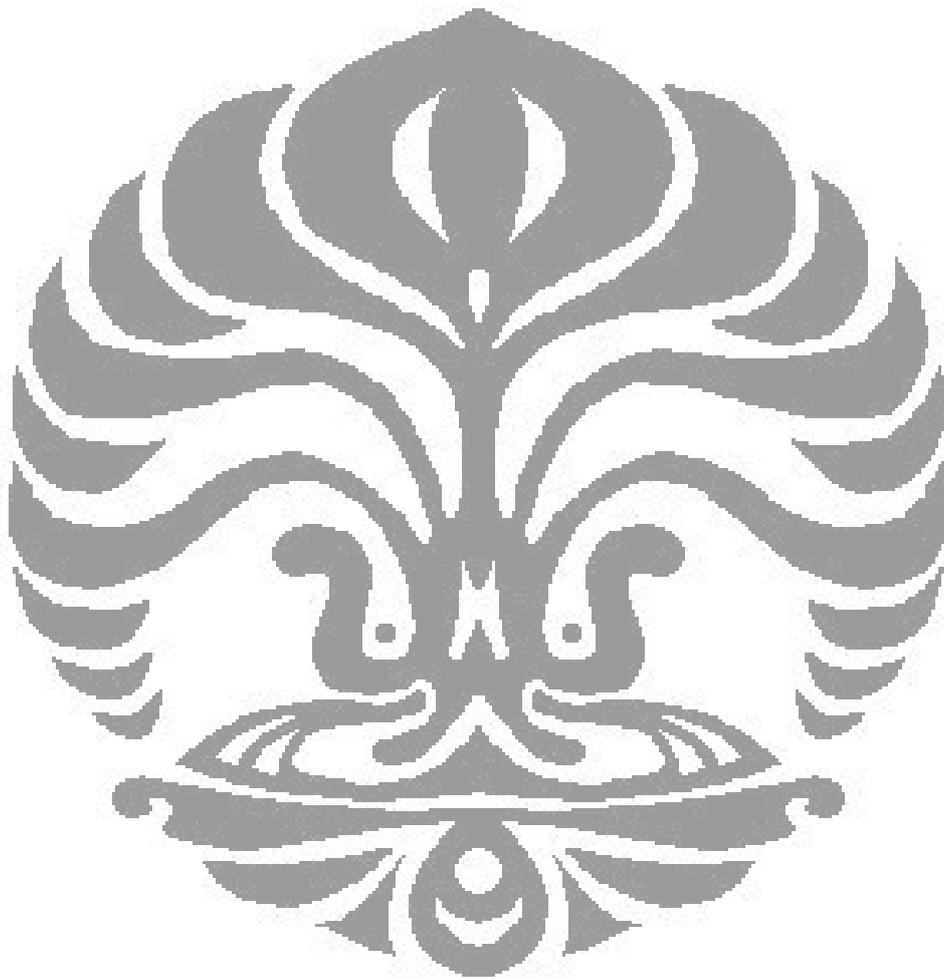
## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Konsumsi energi pada gedung residential (a) dan gedung komersial (b) di Amerika Serikat.....	1
<b>Gambar 2.1</b> Siklus Refrigerasi AC pada Sistem HVAC .....	6
<b>Gambar 2.2</b> Tipe Sistem Air Conditioning.....	6
<b>Gambar 3.1</b> Framework Flowchart.....	13
<b>Figure 3.2</b> Main Elements of Energy Management System.....	19
<b>Gambar 4.1</b> Peta Lantai Basement 1 .....	22
<b>Gambar 4.2</b> Peta Lantai 1 .....	23
<b>Gambar 4.3</b> Peta Lantai 2 <sup>nd</sup> , 4 <sup>th</sup> , 6 <sup>th</sup> , 8 <sup>th</sup> (kiri) dan 3 <sup>rd</sup> , 5 <sup>th</sup> , 7 <sup>th</sup> , 9 <sup>th</sup> , 10 <sup>th</sup> (kanan)....	23
<b>Gambar 4.4</b> Analisis Periode Pendek - Total Building Electricity, Electrical dan Mechanical Energy Consumption, and Air Conditioning Consumption.....	25
<b>Gambar 4.5</b> Analisis Korelasi Periode Pendek dengan Temperature S.....	26
<b>Gambar 4.6</b> Analisis Korelasi Periode Pendek dengan Temperatur .....	26
<b>Gambar 4.7</b> Analisis Periode Panjang - Total Building Electricity Consumption, Electrical and Mechanical Energy Consumption, dan Air Conditioning Consumption (kWh).....	28
<b>Gambar 4.8</b> Analisis Korelasi Periode Panjang dengan Temperature.....	28
<b>Gambar 4.9</b> Analisis Korelasi Periode Panjang dengan Kelembaban.....	29
<b>Gambar 4.10</b> Konsumsi Energi Air Conditioning pada Musim Spring .....	30
<b>Gambar 4.11</b> Konsumsi Energi Air Conditioning pada Musim Summer .....	31
<b>Gambar 4.12</b> Konsumsi Energi Air Conditioning pada Musim Fall.....	32
<b>Gambar 4.13</b> Konsumsi Energi Air Conditioning dan Indoor Temperature .....	35
<b>Gambar 4.14</b> Konsumsi Energi Air Conditioning dan Indoor Humidity .....	36
<b>Gambar 4.15</b> Konsumsi Energi Air Conditioning dan Konsentrasi Karbon Dioksida Indoor.....	37
<b>Gambar 4.16</b> Prediktor Independent Variabel.....	38
<b>Gambar 4.17</b> Classification and Regression Tree .....	39
<b>Gambar 4.18</b> Anomaly Detection pada musim summer weekdays (7 am – 8 am and 6 pm – 9 pm) .....	41
<b>Gambar 4.19</b> Anomaly Detection pada musim summer weekend (7 am – 8 am and 6 pm – 9 pm) .....	41

**Gambar 4.20** Anomaly Detection pada musim fall weekend (7 am – 8 am and 6 pm – 9 pm) ..... 42

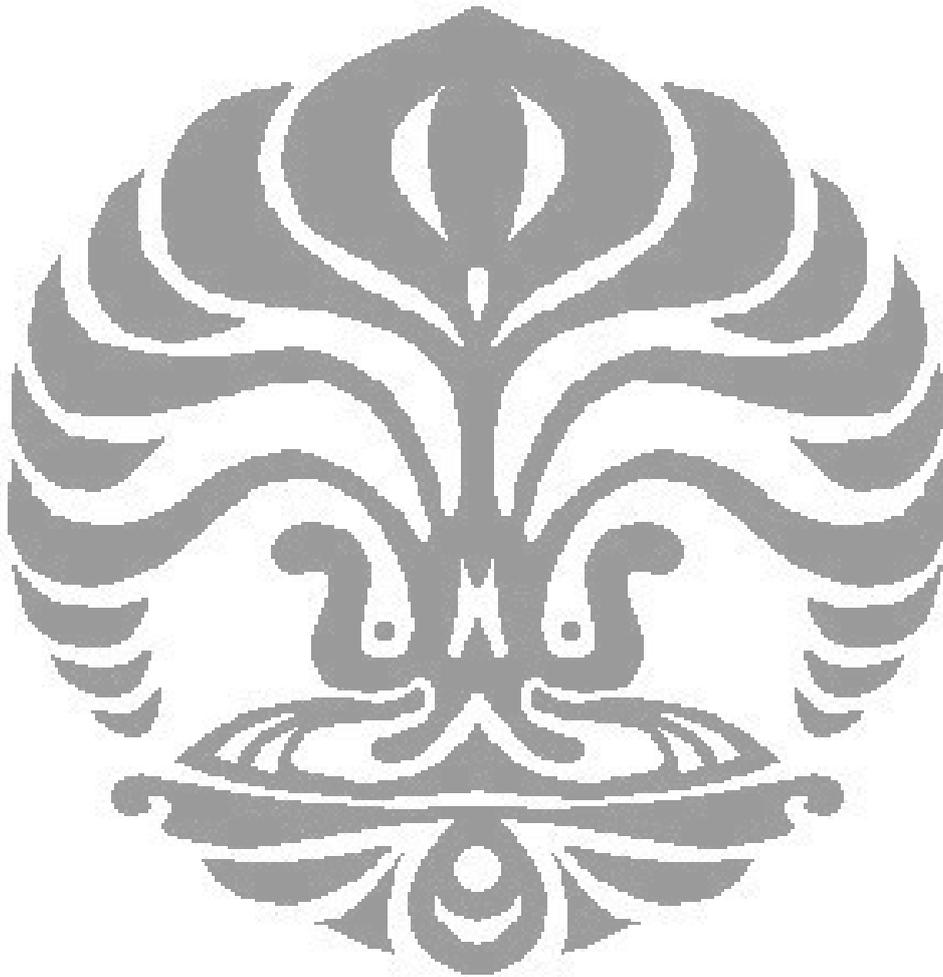
**Gambar 4.21** Anomaly Detection pada musim fall weekdays (8 am – 9 am)..... 43

**Gambar 4.22** Anomaly Detection pada musim fall weekend (8 am – 9am) ..... 43



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b> Rangkuman Data pada Musim Spring.....	33
<b>Tabel 4.2</b> Rangkuman Data pada Musim Pre-Summer Break .....	33
<b>Tabel 4.3</b> Rangkuman Data pada Musim Summer Break .....	34
<b>Tabel 4.4</b> Rangkuman Data pada Musim Fall .....	34
<b>Tabel 4.5</b> Rangkuman Classification and Regression Tree.....	40

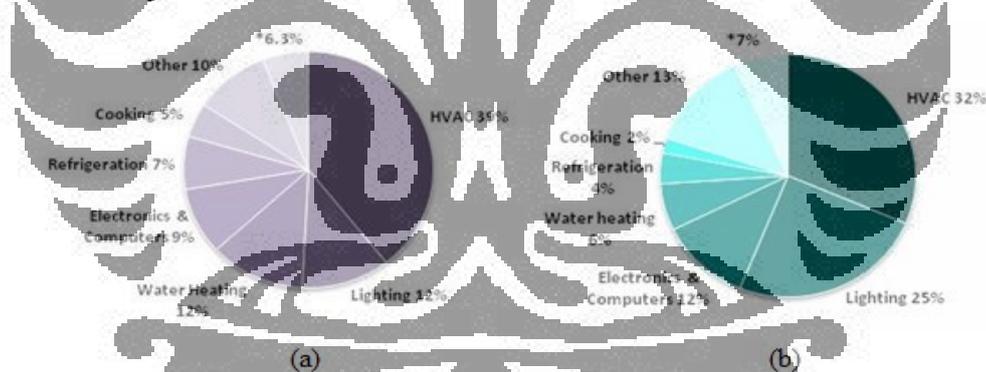


## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang Penelitian

Konsumsi energi di sektor gedung merupakan isu penting tentang energi. Di AS, sektor gedung mengkonsumsi hampir 40% dari total listrik yang dihasilkan (Weng & Agarwal, 2012). *Heating, Ventilating & Air Conditioning* (HVAC) adalah konsumen energi terbesar pada gedung disamping *lighting*. Gambar 1.1 menunjukkan data bahwa sistem HVAC di AS mengkonsumsi sekitar 32-39% dari total konsumsi listrik. Tingginya konsumsi energi dari sistem HVAC menimbulkan biaya ekstra serta masalah lingkungan. Oleh karena itu, pengurangan energi melalui sistem kontrol HVAC merupakan masa depan pada *smart buildings*. Misalnya, sistem HVAC dapat dipahami sebagai suatu sistem otomatis yang dapat menyesuaikan suhu ruangan dari lokasi yang berbeda di gedung berdasarkan jumlah orang.



**Gambar 1.1** Konsumsi energi pada gedung residential (a) dan gedung komersial (b) di Amerika Serikat

Sumber: (DOE, 2008)

Bangunan publik memiliki pola yang unik, yang dapat membuat bangunan tersebut menjadi obyek yang ideal untuk mengukur efisiensi energi. Pada banyak negara, bangunan public di desain dengan karakteristik yang sesuai dengan jenis servis yang ditawarkan, seperti museum, sekolah, rumah sakit, dan perkantoran. Pada tiap jenis servis, penggunaan energi pa 1 asanya memiliki karakteristik yang

serupa. Pada gedung perkantoran umum, konsumsi energi paling besar adalah untuk *cooling*, diikuti oleh *lighting* (Wade, Pett, & Ramsay, 2003). Selain itu, bangunan untuk pelayanan publik, seperti museum, biasanya ditandai dengan jadwal operasional mingguan yang tetap dan dengan jam buka yang telah ditentukan pada hari kerja dan tidak ada aktivitas selama libur.

Diperkirakan dalam peningkatan efisiensi energi dapat berkontribusi pada pengurangan konsumsi energi sektor gedung saat ini, setidaknya 20%, di Uni Eropa, yang setara dengan penghematan 60 miliar Euro per tahun (Li, Bower, & Schnier, 2010). Data konsumsi energi yang abnormal dapat membantu manajemen gedung untuk mengidentifikasi pola konsumsi yang tidak wajar. Di gedung-gedung publik, konsumsi energi yang abnormal dapat terjadi karena beberapa alasan, misalnya peralatan yang tidak efisien atau kebijakan perilaku konsumsi tidak efisien.

Beberapa metode telah diusulkan untuk menganalisa data konsumsi energi pada sistem manajemen energi sebuah bangunan. Untuk memastikan energi yang digunakan secara efisien, perbandingan antara konsumen energi yang sama dapat digunakan untuk memeriksa perilaku konsumsi.

### **1.2. Tujuan Penelitian**

Konsumsi energi di gedung merupakan salah satu bidang yang paling dan banyak dijadikan penelitian dalam efisiensi energi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan analisis data untuk mendukung manajemen energi untuk menghemat konsumsi energi dan mengoptimalkan kinerja energi dari sistem HVAC. Penelitian ini juga akan melakukan studi kasus untuk meninjau konsumsi energi dari salah satu gedung. *Output* dari penelitian ini, berdasarkan studi kasus, adalah untuk memberikan implikasi manajerial dan rekomendasi kepada manajemen gedung tentang perilaku konsumsi energi gedung tersebut.

### **1.3. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah Penelitian**

Ruang lingkup dalam penelitian ini difokuskan pada masalah teknis daripada isu-isu non-teknis dalam konsumsi energi. Karena dalam studi kasus ini tidak terdapat

data historis *maintenance*, maka batasan dalam penelitian ini hanya difokuskan pada manajemen energi dari konsumsi energi, bukan *asset maintenance*. Batasan lain pada penelitian ini adalah penelitian ini tidak menggunakan data jumlah pengunjung, dikarenakan keterbatasan sumber data.

#### **1.4. Metodologi Penelitian**

Metodologi pada penelitian ini adalah dengan mengusulkan suatu *framework* analisis data untuk manajemen energi dan menerapkan *framework* tersebut dengan menggunakan studi kasus pada konsumsi energi *air conditioning* di sebuah museum di Taipei. Setelah menerapkan kerangka kerja untuk studi kasus, hasil dari analisis akan digunakan sebagai panduan untuk membuat strategi manajemen energi atau implikasi manajerial untuk pengelolaan gedung.

#### **1.5. Sistematika Penulisan**

##### **BAB 1: PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan latar belakang, tujuan, ruang lingkup dan batasan masalah, dan metodologi penelitian ini.

##### **BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini meninjau literatur yang berhubungan dengan topik penelitian, seperti sistem HVAC dan metodologi yang ada untuk menganalisis data konsumsi energi.

##### **BAB 3: METODOLOGI PENELITIAN**

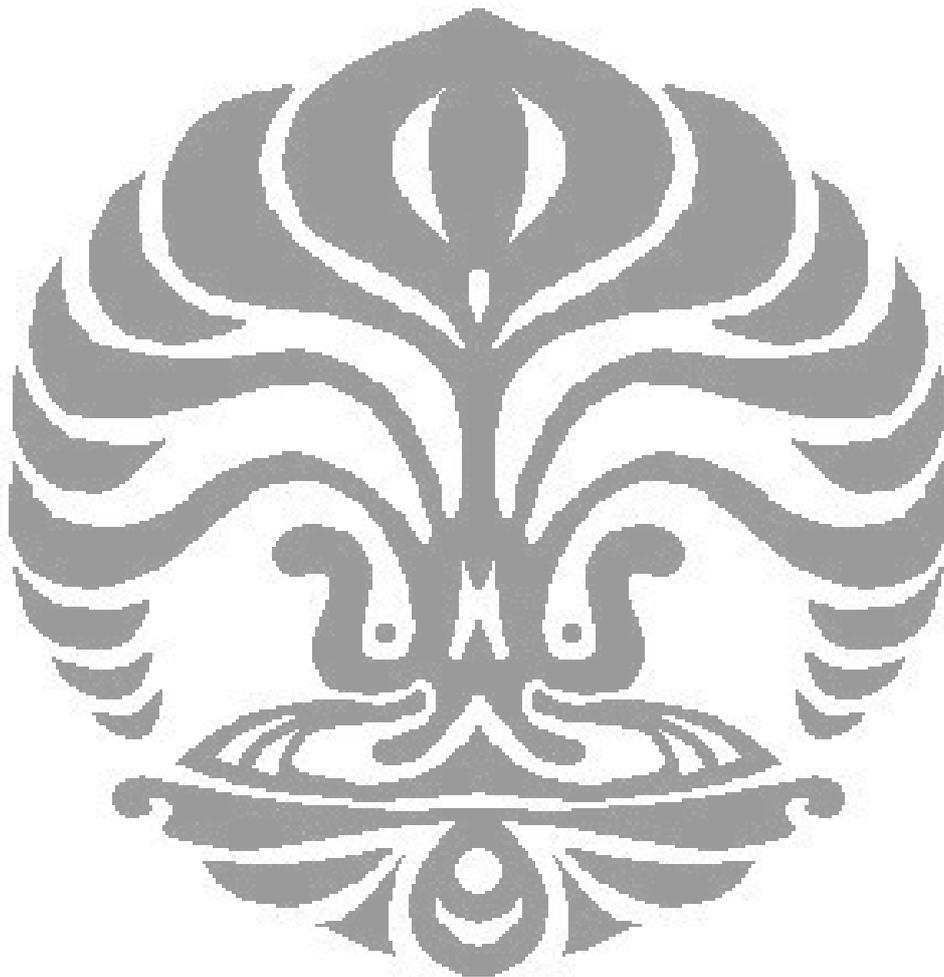
Bab ini menjelaskan *framework* yang akan digunakan pada penelitian ini. Bab ini juga membahas setiap bagian dari *conceptual framework*. Studi kasus juga dilakukan dengan menggunakan metodologi ini.

##### **BAB 4: STUDI KASUS DAN ANALISIS**

Bab ini menjelaskan studi kasus konsumsi AC dari museum *National Taiwan Science Education Center* di Taipei. Analisis konsumsi energi juga dilakukan pada bab ini. Hasil analisis tersebut akan memberikan manajerial implikasi untuk pengelolaan gedung.

## **BAB 5: KESIMPULAN**

Bab ini memaparkan kesimpulan dari penelitian ini, serta memberikan manajerial implikasi terhadap manajemen gedung *National Taiwan Science Education Center* tentang konsumsi AC mereka, dan memberikan implikasi pada penelitian selanjutnya dari studi ini.



## BAB 2

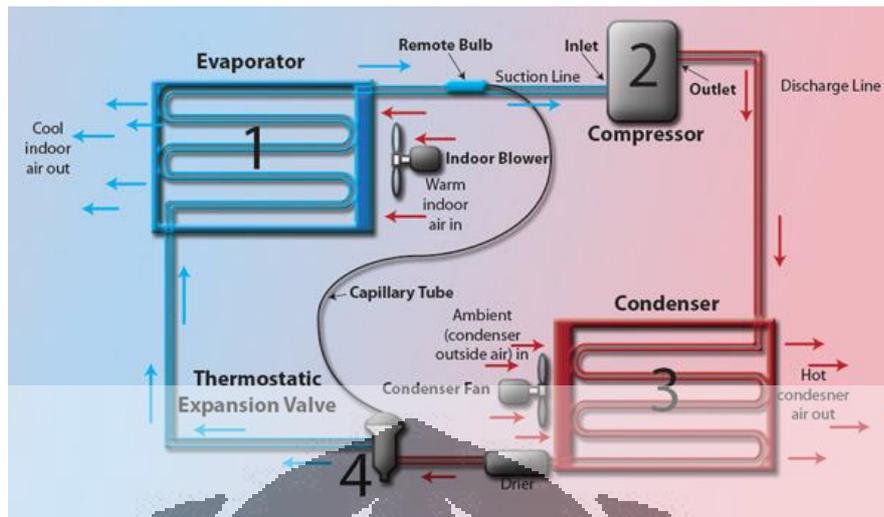
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem HVAC

##### 2.1.1 Deskripsi

*Heating, Ventilating and Air Conditioning* (HVAC) menghasilkan pemanas dan pendingin untuk bangunan tempat tinggal, komersial atau industri (Florida Solar Energy Center, n.d.). Sistem HVAC berfungsi untuk menjaga tingkat kenyamanan di dalam gedung. HVAC menggunakan refrigerant untuk pertukaran panas yang akan menghasilkan udara dingin.

Gambar 2.1 menjelaskan siklus pendinginan AC pada sistem HVAC. Pertama pada evaporator, refrigeran mengubahnya fase dari cair menjadi gas dengan menyerap panas dari *cooling coil* dan menghasilkan udara dingin. *Blower* akan meniup udara dingin ke dalam *air handling unit* ke gedung. Setelah dari evaporator, untuk membuat *closed cycle*, refrigeran dalam fase gas akan masuk ke kompresor untuk diubah dari gas menjadi cairan. Kompresor akan memampatkan gas ke tekanan tinggi dan suhu tinggi. Setelah itu refrigeran dalam fase cair akan masuk ke kondensor. Dalam kondensor, kipas akan meniup refrigeran yang akan mengurangi suhu yang berlebihan. Dalam tahap ini, tekanan dan suhu masih tinggi. Kemudian, refrigeran akan pergi ke *expansion valve* untuk berubah fase dari cair ke gas dan untuk menurunkan suhu dan tekanan. *Expansion valve* akan mengontrol jumlah refrigeran yang akan masuk evaporator.

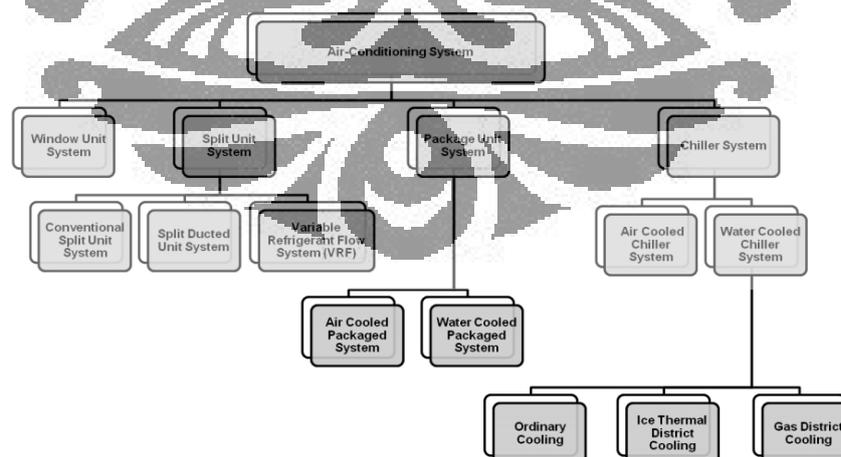


**Gambar 2.1** Siklus Refrigerasi AC pada Sistem HVAC

Sumber: (Services, 2016)

### 2.1.2 Tipe Sistem Air Conditioning

Sistem *air conditioning* biasanya dikategorikan berdasarkan spesifikasi dari sejumlah faktor seperti ukuran ruang, *heat generation* dan sebagainya (Saleh & Fadzli, 2013). Secara umum, sistem penyejuk udara dibagi menjadi 4 jenis: sistem *window unit*, sistem *split unit*, sistem *packaged*, dan sistem *chiller*. Gambar 2.2 menunjukkan jenis utama dan masing-masing sub-kategori sistem *air conditioning*.



**Gambar 2.2** Tipe Sistem Air Conditioning

Sumber: (Saleh & Fadzli, 2013)

- **Sistem *Conventional Split Unit***

Sistem *split* adalah kombinasi dari *indoor air handling unit* dan *outdoor condensing unit*. Unit indoor termasuk evaporator atau *cooling coil* dan kipas pendingin. Suatu sistem memungkinkan memiliki lebih dari satu unit *indoor*. *Outdoor unit* terdiri dari kompresor, kondensor, dan *expansion valve*. Sistem *split* biasanya ditemukan pada bangunan tempat tinggal. Sistem ini, dikenal sebagai sistem multi-split, yang memiliki nilai efisiensi energi rating (EER) tertinggi dari semua sistem AC yang tersedia.

- **Sistem *Split Ducted Unit***

Sistem ini memiliki kombinasi yang sama dengan sistem *split unit* yang konvensional. Perbedaan hanya pada unit *indoor*, yang dalam sistem ini menggunakan *unit fan coil* yang menghembuskan udara dingin melalui *ducting* dan *diffusers*. Sistem jenis ini biasanya dipasang di ruang yang terpisah dan membutuhkan sistem kontrol khusus. Sistem jenis ini dapat dipasang sebagai sistem AC terpusat di sebuah bangunan kecil.

- **Sistem *Air-Cooled Packaged***

Dalam sistem ini, semua komponen yang tertutup dalam satu paket. Kompresor, pendingin koil, unit penanganan udara dan filter udara semua bertempat di sebuah casing tunggal dan dirakit di pabrik. Kondensor sistem pendingin didinginkan oleh udara atmosfer. Unit pendingin yang terdiri dari katup ekspansi, evaporator, udara penanganan blower dan filter berada bersama-sama dengan kompresor di luar bangunan. Dari luar, udara ditiupkan melalui *ducting* menuju berbagai ruang yang akan didinginkan.

- **Sistem *Water Cooled Packaged***

Pada sistem ini, jenis kondensor yang digunakan adalah jenis *shell dan tube*, dengan refrigeran dan air pendingin yang mengalir melalui sisi *tube* dan sisi *shell*. Air harus disediakan secara terus menerus dalam sistem ini untuk menjaga fungsi sistem pendingin udara. Bentuk *shell* dan *tube* tertutup dalam *casing* bersama dengan kompresor, *expansion valve*, dan *air handling unit* serta *cooling coil*. Bentuk sistem ini lebih seperti sebuah kotak dengan panel kontrol yang terletak di bagian luarnya. *Air handling unit* termasuk *blower* sentrifugal dan filter udara terletak di atas *cooling coil*. Blower sentrifugal memiliki kapasitas untuk menghasilkan volume

besar udara yang dibutuhkan untuk pendinginan sejumlah ruangan. Dalam sistem ini, *ducting* juga memungkinkan udara yang telah didinginkan disalurkan menuju ke ruang lainnya. Sistem ini biasanya dipasang sebagai sistem pendingin udara terpusat di sebuah bangunan kecil.

- **Sistem *Air Cooled Chiller***

Dalam sistem ini, *chiller* melepaskan panas dari air ke lingkungan. Chiller ini terdiri dari kompresor, evaporator, kipas *blower*, pompa air dingin, panel kontrol, dan kondensor. Semua item ini terletak dalam satu paket yang akan menghasilkan air dingin untuk setiap *air handling unit* di setiap lantai. Kemudian, *air handling unit* akan memasok AC ke beberapa ruang melalui saluran dan *diffusers*. Udara hangat akan kembali ke *air handling unit* melalui saluran udara. Sistem chiller ini umumnya dipasang sebagai sistem AC sentral di banyak gedung-gedung besar. Oleh karena itu, sistem ini membutuhkan perawatan yang lebih sedikit daripada sistem *water cooled chiller* dan sistem ini juga biasanya mengkonsumsi daya sekitar 10% lebih dari *water cooled unit*.

- **Sistem *Water Cooled Chiller***

Sistem ini mirip dengan sistem *air cooled chiller*, di mana umumnya digunakan untuk bangunan dengan kapasitas yang besar. Sistem ini menggunakan teori pertukaran kalor. Panas dari air ditransfer ke sumber air lain seperti *cooling tower*, sungai, dll. Sistem ini terdiri dari enam komponen utama: chiller, pompa air dingin, kondensor pompa air, *cooling tower*, *air handling unit*, dan panel kontrol. *Air handling unit* mendistribusikan udara dingin ke tempat tertentu melalui *ducting* dan *diffusers* dan udara hangat kembali ke *air handling unit* juga melalui *ducting* dan *diffusers*.

### 2.1.3 Penghematan Energi pada Sistem HVAC

Langkah-langkah penghematan energi pada AC dapat dibagi menjadi tiga tahap: mengurangi sumber energi, mengurangi jumlah *cooling load*, dan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan (He, 2010).

Penghematan energi dengan mengurangi sumber energi dapat dilakukan dengan fokus pada kondisi konstruksi bangunan. Kondisi konstruksi umumnya mempengaruhi jumlah *cooling load* AC. Untuk mencapai penghematan energi dari

sistem pendingin udara, menjaga efisiensi energi bangunan dan *cooling load* AC berdasarkan desain konstruksi sangat penting. Dalam menghemat energi dengan desain konstruksi, ada beberapa aspek utama seperti koefisien perpindahan panas dari konstruksi harus memenuhi persyaratan standar yang relevan, AC harus menghindari posisi timur-barat sebanyak mungkin, letak ruang yang ber-AC harus menghindari berada pada bagian atas bangunan, dan fasilitas anti-infiltrasi akan dibutuhkan ketika pintu keluar sering dibuka.

## 2.2 *Data Mining*

*Data mining* adalah alat yang ampuh dan berguna untuk mengekstrak informasi berharga yang tertanam dalam data dengan jumlah yang besar secara otomatis. Hal ini dapat didefinisikan dalam berbagai cara. *Data mining* adalah bidang interdisipliner yang menyatukan *machine learning*, *pattern recognition*, statistik, database, dan visualisasi untuk menyelesaikan ekstraksi informasi dari database yang besar (Yu, Haghighat, & Fung, 2016). Dalam beberapa dekade terakhir, para peneliti telah berhasil menerapkan *data mining* di banyak bidang seperti sains, medis, dan aplikasi domain seperti perbankan, bioinformatika dan identifikasi material baru. Akhir-akhir ini, *data mining* juga telah diperkenalkan ke dalam sektor gedung yang cocok untuk *data mining*, karena dapat menghasilkan dan mengumpulkan data dalam jumlah yang besar pada sistem operasi, perilaku penghuni, konsumsi daya, kondisi iklim dan lain-lain.

Ada 6 klasifikasi utama *data mining* yang sudah diterima secara luas dan diterapkan: klasifikasi data, analisis *clustering*, *association rule mining*, regresi, *summarization*, dan *anomaly detection* (Yu, Haghighat, & Fung, 2016). Beberapa teknik *data mining* yang akan digunakan dalam mengembangkan *framework* analisis data pada penelitian ini adalah *classification* dan *anomaly detection*.

### 2.2.1 *Classification and Regression Trees*

*Classification and regression trees* adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam *data mining*. Tujuannya adalah untuk menciptakan model yang dapat memprediksi nilai variabel target berdasarkan beberapa variabel input. *Decision tree* adalah representasi sederhana sebagai contoh klasifikasi. Ada 2 jenis utama

dari *decision tree* dalam *data mining*: *classification tree* dan *regression tree*. Analisis *classification tree* adalah ketika hasil prediksi adalah kelas dimana data itu berada dan analisis *regression tree* adalah ketika hasil prediksi dapat dianggap sebagai bilangan riil. *Classification and regression tree* (CART) adalah salah satu dari banyak teknik klasifikasi dalam *data mining*. CART pertama kali diperkenalkan oleh (Breiman, Friedman, Olshen, & Stone, 1984).

Ada beberapa penelitian yang menggunakan CART untuk menganalisis konsumsi energi di gedung. (Khan, Capozzoli, Corgnati, & Cerquitelli, 2013) menggunakan tiga teknik data mining yang berbeda untuk menganalisis konsumsi energi. Penelitian ini menggunakan CART untuk mengklasifikasikan data konsumsi energi per jam.

### 2.2.2 *Anomaly Detection*

Dalam statistik, anomali adalah sebuah data yang nilainya berbeda jauh dari data lainnya. Anomali mungkin terjadi karena variabilitas dalam pengukuran atau mungkin menunjukkan kesalahan proses.

Anomali dapat terjadi secara kebetulan dalam distribusi apapun, tetapi anomali juga bisa terjadi karena kesalahan pengukuran. Pada kasus ini, anomali ingin dibuang untuk mendapatkan hasil yang lebih riil. Penyebab anomali yang sering terjadi adalah karena campuran dari dua distribusi, yang mungkin dari dua sub-populasi memiliki distribusi yang berbeda atau mungkin menunjukkan terjadinya kesalahan pengukuran.

Ada banyak studi tentang konsumsi energi abnormal menggunakan *anomaly detection*. Studi yang ada melaporkan bahwa metode *anomaly detection* diperlukan dalam mengevaluasi performa, optimalisasi, deteksi dan diagnosis operasional gedung (Fan, Xiao, & Wang, 2014). Dalam penelitian ini, *data mining* diusulkan untuk mengembangkan model untuk memprediksi konsumsi energi pada hari berikutnya. Penelitian ini menggabungkan delapan model dengan delapan *prediction algorithm* yang berbeda dan diterapkan untuk menganalisis data konsumsi energi bangunan di Hong Kong. Hasilnya adalah anomali diidentifikasi

pada hari libur. Alasan utama adalah karena jumlah tingkat hunian sangat berbeda dari hari-hari normal. Penelitian lain yang dijelaskan tiga teknik *data mining* yang berbeda untuk mendeteksi konsumsi energi *lighting* menggunakan konsumsi energi per jam (Khan, Capozzoli , Corgnati, & Cerquitelli, 2013). Dua metode *anomaly detection* diterapkan untuk masing-masing kelas dan kluster untuk mendeteksi konsumsi normal pada set data yang sama. Hasil dari penelitian ini adalah klasifikasi dan pendekatan pohon regresi dengan metode GESD lebih efektif dalam mendeteksi konsumsi energi yang abnormal dan metode *clustering* tidak mampu mendeteksi kesalahan sangat terkait dengan variabel waktu.

Konsumsi energi untuk ruang pameran di gedung-gedung publik biasanya berbeda untuk setiap jenis hari. Setiap jenis berbeda menurut perilaku penghuni dan selama periode yang berbeda, misalnya, waktu makan siang, hari kerja biasa, dan hari libur. Oleh karena itu, sistem *anomaly detection* untuk ruang kantor harus dapat mendeteksi konsumsi anomaly berdasarkan tanda ini dan perubahan pola selama hari libur.

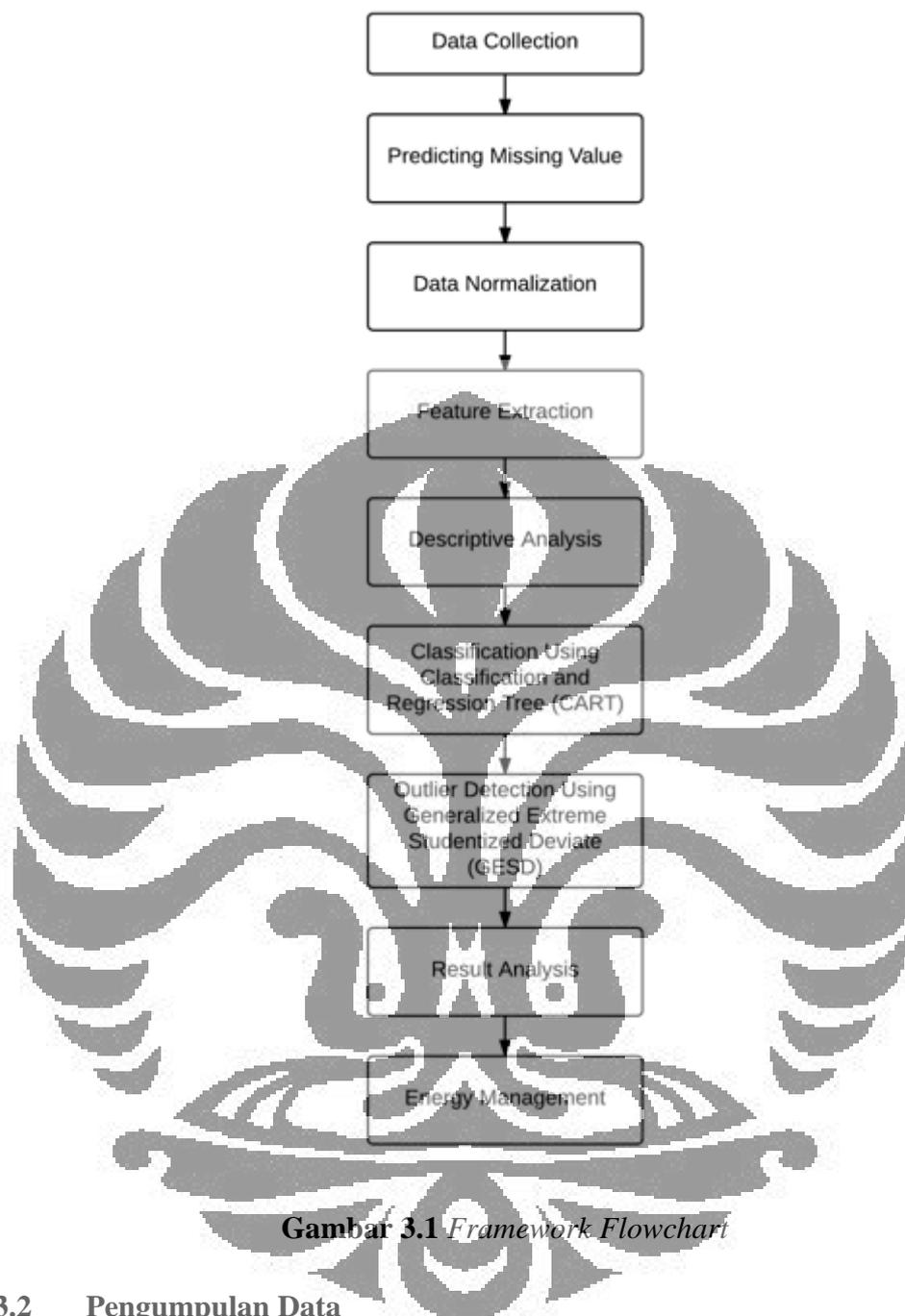
## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Metodologi Penelitian

Metodologi dalam penelitian ini akan mengusulkan *framework* analisis data untuk manajemen energi di gedung ruang pameran yang akan digunakan dalam penelitian ini. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir dari kerangka kerja untuk mengidentifikasi dan menganalisis konsumsi AC pada gedung yang ada. *Framework* dari penelitian ini terdiri dari pengumpulan data, *preprocessing data*, analisis deskriptif, identifikasi konsumsi energi abnormal harian, analisis hasil, dan manajemen energi.





**Gambar 3.1** *Framework Flowchart*

### 3.2 Pengumpulan Data

Untuk memahami dan mengelola konsumsi energi gedung, pengukuran data dari *building energy management* sangat penting. Data konsumsi energy yang baik dapat memberikan gambaran jelas untuk membuat analisis untuk meningkatkan efisiensi. Ada tiga jenis data energi bangunan diukur untuk memungkinkan analisis energi (Hong, Yang, Hill, & Feng , 2014): *energy use data*, data operasional dari sistem HVAC, dan data lingkungan indoor dan outdoor.

*Energy use data* termasuk penggunaan energi di seluruh gedung serta penggunaan energi utama. Data ini juga termasuk listrik dan *lighting indoor* dan *outdoor*, peralatan dapur, lift, air panas, dan peralatan HVAC seperti *chiller*, boiler, *cooling tower*, kipas, dan pompa. Data dengan interval waktu satu jam atau bahkan 5 menit selama 1 tahun yang dapat mewakili masing-masing pola musim diperlukan untuk mengidentifikasi pola penggunaan energi.

Sistem HVAC mengkonsumsi jumlah yang signifikan dari total energi di gedung-gedung. Oleh karena itu, data yang jelas sangat penting untuk membantu memahami dan mengelola bagaimana sistem HVAC beroperasi serta untuk mengurangi penggunaan energi. Data operasi sistem HVAC termasuk *supply and return air and water flow rates*, laju aliran udara *outdoor*, *supply and return temperature* udara dan tingkat kelembaban, peredam dan posisi katup, status operasi peralatan HVAC (on / off, beban, kekuatan, kecepatan rotasi, dll) seperti *cooling* dan *heating coil*, kipas angin, pompa, pendingin, boiler, menara pendingin, economizers udara, dan unit rooftop. Data-data yang beroperasi pada selang waktu seperti 5-10 menit diperlukan untuk menganalisis dan menentukan potensi masalah dari sistem HVAC.

Data lingkungan meliputi kondisi indoor dan outdoor - suhu udara, kelembaban udara, tingkat CO<sub>2</sub>, tingkat penerangan, tingkat kebisingan, bisa sangat membantu untuk menganalisis kualitas udara dalam ruangan, thermal, akustik, dan kenyamanan visual yang disediakan oleh sebuah gedung.

### 3.3 Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif berperan penting dalam menganalisis konsumsi energi AC untuk mengidentifikasi bagian dari AC yang mana yang mengkonsumsi lebih banyak energi. Analisis deskriptif dapat menunjukkan pola konsumsi energi dan perilaku, berdasarkan jangka waktu yang berbeda (musiman, bulanan, dan harian). Selain itu, analisis deskriptif dapat membantu untuk melihat perbedaan karakteristik konsumsi energi antar musim yang berbeda, hari kerja dan akhir pekan, siang dan malam, dll

Data yang dibutuhkan untuk analisis deskriptif mencakup semua data yang terkait dengan konsumsi AC. Selanjutnya, untuk melakukan analisis dengan berbagai

rentang waktu dan musim yang berbeda, setidaknya 5-menit data interval selama satu tahun diperlukan.

### 3.4 *Data Pre-processing*

Langkah pertama dalam *data pre-processing* adalah memprediksi data yang hilang. Pengumpulan data dari sensor memungkinkan untuk memiliki beberapa kesalahan teknis yang menyebabkan data yang hilang untuk beberapa interval waktu. Data yang hilang dapat dilakukan dengan menggunakan regresi linier. Regresi linear dapat dilakukan dengan menggunakan variabel lain yang berkorelasi dengan data konsumsi energi, seperti suhu, kelembaban, jumlah pengunjung/penghuni, dll

Langkah selanjutnya adalah data normalisasi. Data normalisasi adalah proses transformasi data dari jangkauan yang berbeda ke jangkauan yang sama. Data akan di transformasi antara nilai 0 dan 1. Tujuan dari langkah ini adalah untuk mengurangi fluktuasi data dan untuk memberikan visualisasi yang lebih jelas.

Langkah selanjutnya adalah *feature extraction*. Data variabel, seperti data lingkungan, data operasional, dll, mungkin memiliki beberapa korelasi dengan konsumsi energi. Pada langkah ini, tujuannya adalah untuk menemukan variabel mana yang memberikan pengaruh signifikan terhadap konsumsi energi. *Stepwise regression* digunakan dalam langkah ini untuk menghilangkan variabel yang memiliki pengaruh paling untuk konsumsi energi. Berdasarkan hasil dari langkah ini, model dari konsumsi energi dapat memberikan informasi untuk menghemat konsumsi energi.

### 3.5 **Identifikasi Konsumsi Energi yang Abnormal**

Dalam mengidentifikasi konsumsi energi yang abnormal, langkah pertama adalah untuk mengklasifikasikan data berdasarkan profil konsumsi yang sama. Profil konsumsi yang sama misalnya dibentuk dengan menggunakan *classification and regression trees* (CART). Setelah data diklasifikasikan, langkah berikutnya adalah mengidentifikasi konsumsi energi abnormal. Identifikasi konsumsi energi yang abnormal dilakukan dengan menggunakan *anomaly detection*.

### 3.5.1 *Classification and Regression Trees (CART)*

*Classification and regression trees (CART)* pertama kali diperkenalkan oleh (Breiman, Friedman, Olshen, & Stone, 1984). CART merupakan pengembangan *binary decision tree*, dimana setiap *node* menyediakan aturan keputusan untuk salah satu variabel input. CART tidak memerlukan informasi atau asumsi tentang ketergantungan antara *input* dan *output*. Oleh karena itu, CART merupakan jenis non-parametrik dan mudah untuk digunakan.

Analisis CART terdiri dari empat langkah dasar. Langkah pertama terdiri dari *tree building*, di mana tiap pohon dibangun menggunakan *recursive splitting nodes*. Setiap node ditugaskan pada kelas yang telah diprediksi, berdasarkan distribusi pada tiap-tiap kelas. Penugasan kelas tiap *node* diprediksi apakah terjadi pembagian *node* selanjutnya atau tidak. Langkah kedua adalah menghentikan proses *tree building*. Langkah ketiga adalah *tree pruning*, yang menghasilkan urutan pohon yang sederhana. Langkah keempat adalah pemilihan pohon yang optimal, di mana pohon yang sesuai dengan informasi dalam dataset dipilih dari langkah sebelumnya.

### 3.5.2 *Generalized Extreme Studentized Deviate (GESD)*

Anomali adalah data pengamatan yang tampak tidak konsisten dengan data lainnya. Anomali mungkin timbul karena berbagai alasan, seperti kesalahan manusia, kesalahan instrumen dan perubahan perilaku sistem. Di antara algoritma yang ada, algoritma GESD sangat dianjurkan karena fleksibilitas dalam berbagai kondisi (Iglewicz & Hoaglin, 1993). GESD telah diimplementasikan untuk mendeteksi data konsumsi energi yang abnormal dan telah terbukti efisien dalam menangani data dalam jumlah yang besar (Seem, 2007).

Dalam *framework* ini, algoritma GESD diusulkan untuk mendeteksi anomali konsumsi energi. Langkah pertama dalam algoritma GESD adalah untuk menghitung rata-rata dari data set. Persamaan 1 menunjukkan persamaan untuk menghitung rata-rata satu set data, di mana  $X_j$  adalah anggota dari kumpulan data  $X$  dan  $n$  adalah jumlah kumpulan data. Langkah selanjutnya adalah menghitung standar deviasi dari kumpulan data. Persamaan 2 menunjukkan rumus untuk

menghitung standar deviasi. Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai uji statistik ( $R_i$ ). Persamaan 3 menunjukkan formulasi untuk menghitung nilai uji statistik, di mana ( $x_{e,i}$ ) adalah nilai yang paling ekstrim, data yang memiliki nilai terjauh dari rata-rata, dalam kumpulan data. Kemudian, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai kritis ( $\lambda_i$ ). Persamaan 4 menunjukkan formulasi untuk menghitung nilai kritis ( $\lambda_i$ ), dimana mana  $t_{n-i-1, p}$  adalah distribusi student-t dengan  $(n-i-1)$  derajat dan daerah ekor probabilitas  $p$  ditentukan dari persamaan 5. Kemudian, untuk memeriksa apakah data tersebut merupakan anomali atau tidak nilai uji statistik ( $R_i$ ) dibandingkan dengan nilai kritis ( $\lambda_i$ ). Jika nilai statistik uji lebih tinggi ( $R_i$ ) dari nilai kritis ( $\lambda_i$ ), maka  $X_{e,i}$  didefinisikan sebagai sebuah anomali.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \dots\dots\dots(1)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2)$$

$$R_i = \frac{|x_{e,i} - \bar{x}|}{s} \dots\dots\dots(3)$$

$$\lambda_i = \frac{(n-i)t_{n-i-1,p}}{\sqrt{(n-i+1)(n-i-1+t_{n-i-1,p}^2)}} \dots\dots\dots(4)$$

$$p = \frac{\alpha}{2(n-i+1)} \dots\dots\dots(5)$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung modified z-score, untuk mengukur seberapa jauh dan ke arah mana sebuah anomali dari nilai rata-rata. Langkah pertama adalah untuk menemukan data non-anomali dan menghapus nilai anomali dari langkah sebelumnya. Kemudian, langkah selanjutnya adalah menghitung rata-rata set data tanpa data anomali. Persamaan 6 menunjukkan formulasi untuk

menghitung rata-rata set data tanpa data anomali. Langkah selanjutnya adalah menghitung standar deviasi dari dataset tanpa anomali. Persamaan 7 menunjukkan formulasi untuk menghitung standar deviasi dari set data tanpa anomali. Langkah terakhir adalah menghitung z-skor. Persamaan 8 menunjukkan formulasi untuk menghitung z-skor.

$$\bar{x}_{\text{robust}} = \frac{\sum_{j=1}^{n-n_{\text{out}}} x_j}{n - n_{\text{out}}} \dots\dots\dots(6)$$

$$s_{\text{robust}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n-n_{\text{out}}} (x_j - \bar{x}_{\text{robust}})^2}{n - n_{\text{out}} - 1}} \dots\dots\dots(7)$$

$$z_m = \frac{x_{\text{outlier}} - \bar{x}_{\text{robust}}}{s_{\text{robust}}} \dots\dots\dots(8)$$

### 3.6 Manajemen Energi

Manajemen energi yang diusulkan dalam kerangka kerja ini didasarkan pada sistem manajemen energi strategis berdasarkan (Gordic, et al., 2010). Pada penelitian ini, manajemen energi diklasifikasikan menjadi tiga elemen utama. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2, unsur-unsur utamanya adalah perencanaan sistem manajemen energi, implementasi, dan pelaporan.



**Figure 3.2** Main Elements of Energy Management System

Manajer energi bertanggung jawab untuk mengembangkan rencana sesuai dengan standar nasional dan internasional, pada langkah pertama dalam siklus "Plan, Do, Check dan Action". Unsur perencanaan adalah tahap pertama dalam "Plan, Do, Check, Act" siklus. Dalam tahap ini, audit energi dilakukan. Energi audit merupakan langkah untuk menganalisis konsumsi energi dan mengidentifikasi cara alternatif untuk mengurangi konsumsi energi. Tujuan dari audit energi untuk mengidentifikasi jenis dan biaya konsumsi energi, untuk memahami bagaimana pola konsumsi energi, untuk mengidentifikasi dan menganalisis alternatif yang dapat mengurangi konsumsi energi, dan membentuk rencana untuk melaksanakan penghematan energi.

Audit energy dilakukan untuk menemukan bagian yang memungkinkan untuk dilakukan penghematan energi. Penghematan energi yang ditentukan selama audit energi akan menjadi subyek studi kelayakan. Tingkat studi (awal atau rinci) tergantung pada jenis ukuran penghematan energi. Meskipun studi kelayakan didasarkan pada data yang diperoleh selama audit energi, dalam banyak kasus, lebih pengukuran lebih lanjut diperlukan untuk mendapatkan estimasi manfaat yang sebenarnya dengan akurasi yang lebih baik.

Tahap implementasi adalah tahap kedua pada siklus "Plan, Do, Check, Act". Implementasi penghematan energi biasanya menjadi tanggung jawab manajer energi. Tugas manajer energi adalah untuk membangun komunikasi yang tepat dengan manajemen untuk memberikan dana yang cukup dan dukungan lainnya. Setelah pilihan tindakan penghematan energi telah dibuat (berdasarkan kelayakan teknis dan ekonomi mereka) manajer energi mulai menerapkan opsi ini dalam praktek dan untuk memantau hasilnya.

Tahap terakhir adalah pelaporan & penghargaan. Pelaporan & penghargaan adalah tahap "check and act" pada siklus "Plan, Do, Check, Act". Pemantauan dapat memantau konsumsi energi dan evaluasi selama periode waktu yang dapat memberikan indikasi keberhasilan atau kegagalan pada penghematan energi. Hal ini dapat membantu untuk menilai apakah penghematan energi yang diprediksi benar-benar tercapai atau tidak. Hal ini juga akan membantu dalam mengidentifikasi alternative penyesuaian dan kemungkinan-kemungkinan baru. Pemantauan berkala membutuhkan beberapa peralatan pengukuran dan memelihara data energi. Prosedur pemantauan yang baru dapat membantu secara visual bahwa manajer energi bersama dengan timnya sehari-hari harus memantau status produksi dan konsumsi energi dan menganalisis indikator konsumsi tertentu tiap minggu. Berdasarkan hasil pemantauan, langkah berikutnya adalah untuk mengembangkan rencana perbaikan.

## BAB 4

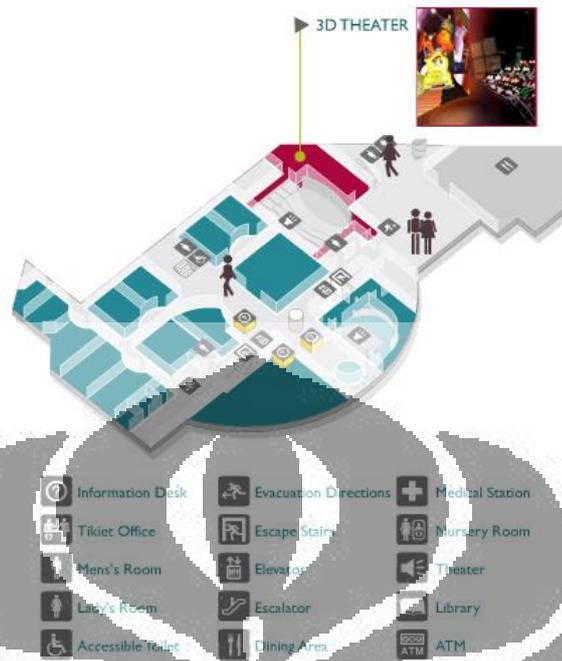
### STUDI KASUS DAN ANALISIS

#### 4.1 Deskripsi Gedung

National Taiwan Science Education Center (NTSEC) terletak di Distrik Shilin, Taipei, Taiwan. Bangunan ini adalah sebuah museum dengan 10 lantai di atas ruang teater, laboratorium, dan parkir. 1 dan 2 lantai lobi dan restoran. 3, 4, 5, dan 6 lantai adalah ruang pameran. Lantai 7 dan 8 adalah galeri pameran sementara, sedangkan lantai 9 adalah perpustakaan dan ruang konferensi. Lantai 10 adalah kantor untuk wilayah administrasi.

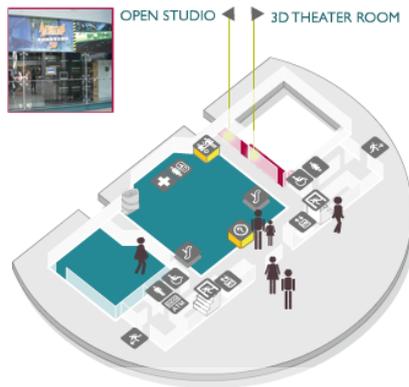
National Taiwan Science Education Center (NTSEC) memiliki jadwal buka untuk museum mereka. Biasanya, bangunan ini akan dibuka dari hari Selasa - Minggu dan akan ditutup pada hari Senin. Pada hari kerja, NTSEC akan dibuka pada 9.00 - 17.00, sedangkan loket tiket buka pada 9.00 - 16.00. Pada akhir pekan, NTSEC akan buka pada 9.00 - 18.00, sedangkan loket tiket buka pada 9.00 - 17.00. Apabila ada acara-acara khusus seperti di liburan musim panas, gedung ini akan buka pada semua hari kecuali hari libur dan hari libur khusus. Jam buka di liburan musim panas juga berbeda dari musim lainnya. Pada liburan musim panas, NTSEC akan buka dari jam 9.00 - 18.00, sedangkan loket tiket buka dari jam 9.00 - 17.00.

NTSEC memiliki *layout* yang sama untuk setiap lantai. Ada 4 tata letak lantai khas di gedung ini. Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3 menunjukkan jenis 4-*layout* denah NTSEC. Sebagian besar, tata letak bangunan ini dipisahkan setiap 2 lantai. Sebagai contoh, seperti dapat dilihat pada gambar 4.3, tata letak di lantai 2 akan menghubungkan udara dalam ruangan ke lantai 1, dan selanjutnya.



**Gambar 4.1** Peta Lantai Basement 1

Sumber: (Center, 2016)



**Gambar 4.2** Peta Lantai 1

Source: (Center, 2016)



**Gambar 4.3** Peta Lantai 2<sup>nd</sup>, 4<sup>th</sup>, 6<sup>th</sup>, 8<sup>th</sup> (kiri) dan 3<sup>rd</sup>, 5<sup>th</sup>, 7<sup>th</sup>, 9<sup>th</sup>, 10<sup>th</sup> (kanan)

Sumber: (Center, 2016)

Berdasarkan pengumpulan data dalam bab 3, ada beberapa data konsumsi energi perlu dicatat. Ada beberapa *energy use data*, data operasional HVAC, dan data lingkungan *indoor-outdoor*. Data diambil dengan menggunakan sensor yang

dipasang di masing-masing peralatan di NTSEC. Sebagian besar data yang dikumpulkan dari bulan Agustus 2014 - November 2015. Namun, karena beberapa alasan data yang dikumpulkan mungkin memiliki berbeda rentang waktu yang tersedia.

Untuk *energy use data*, informasi yang detail tidak dijelaskan dan hanya total konsumsi sistem listrik dan mekanik yang disediakan. Untuk data operasi HVAC, sensor menangkap data yang sangat detail seperti konsumsi energi *air handling unit* (KW-KWH), *return air temperature* (°C), *return air humidity* (%), 3 *chillers cooling water supply* dan *return temperature* (°C), *chiller power meter demand* (KW-KWH), *air handling coil dew point* (°C), dan *air handling carbon dioxide sensing* (PPM). Untuk data lingkungan *indoor-outdoor*, sensor mengambil data suhu udara *outdoor*, kelembaban, dan entalpi. Sebagian besar data hanya ada untuk setiap 2 lantai karena desain denah dari NTSEC terhubung untuk setiap 2 lantai.

Kemudian, data yang dikumpulkan diperiksa kembali jika ada data yang hilang sebelum data itu diproses. Karena jenis data konsumsi energi setiap 5 menit merupakan akumulasi, sehingga beberapa data yang hilang dapat ditemukan dengan menghitung data dengan mengurangi perbedaan total konsumsi energi. Data yang hilang lain seperti suhu diproses dengan *forecasting* berdasarkan data historis.

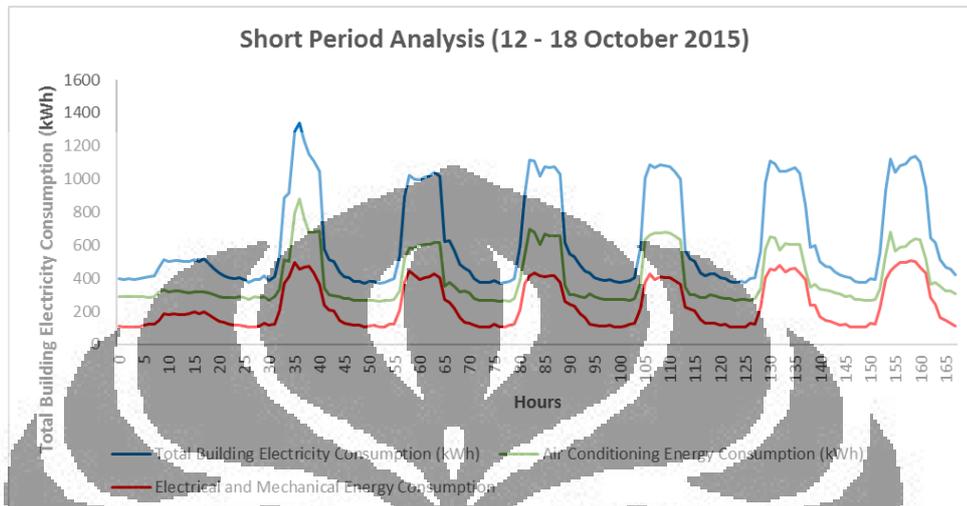
Setelah *data pre-processing*, langkah berikutnya adalah untuk melihat rentang waktu yang tersedia dari data. Ditemukan bahwa berdasarkan semua data yang disediakan, hanya beberapa data seperti *air handling unit* 2-1, 2-2, 2-4, dan data lingkungan outdoor berada dalam rentang waktu yang sama dengan data konsumsi energi AC. Oleh karena itu, dalam studi kasus ini hanya data-data tersebut yang digunakan dalam analisis ini.

## 4.2 Analisis Deskriptif

### 4.2.1 Analisis Periode Pendek

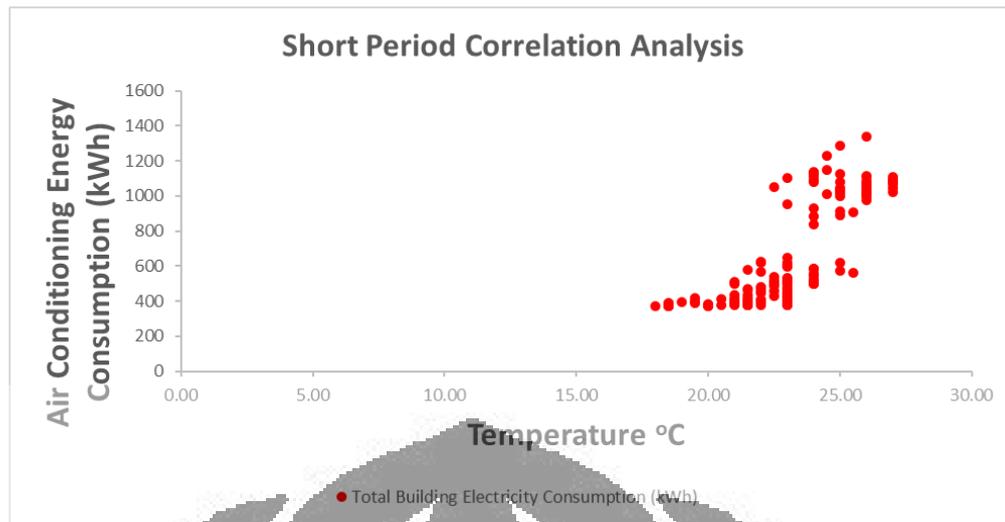
Gambar 4.4 menunjukkan pola konsumsi energi selama 7 hari. Pola konsumsi energi juga menunjukkan konsumsi puncak setiap hari pada siang hari sekitar jam 12:00. Secara keseluruhan, konsumsi energi pada gedung dan total AC menunjukkan variasi yang signifikan antara hari dan malam, sementara konsumsi

energi listrik dan mekanik lebih stabil setiap hari. Konsumsi energi AC memiliki korelasi yang tinggi dengan jumlah hunian. Pengamatan ini menunjukkan pola konsumsi tiap minggu di mana konsumsi terendah adalah pada hari Senin. Hal ini dikarenakan jam buka dari NTSEC yang ditutup pada hari Senin.



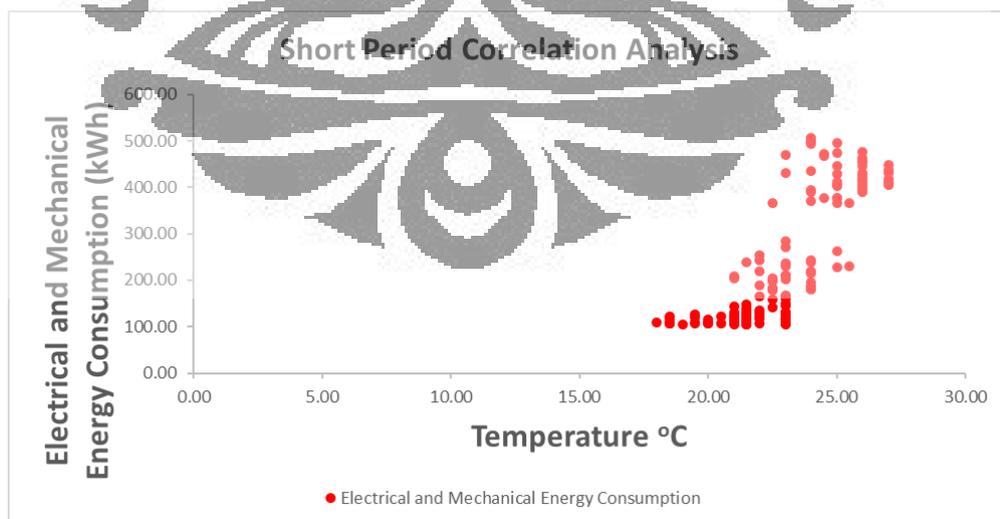
**Gambar 4.4** Analisis Periode Pendek - *Total Building Electricity, Electrical dan Mechanical Energy Consumption, and Air Conditioning Consumption*

Gambar 4.5 menunjukkan korelasi konsumsi energi AC dengan suhu selama 7 hari. Korelasi konsumsi energi menunjukkan bahwa konsumsi energi gedung, konsumsi listrik dan AC memiliki korelasi dengan suhu di luar ruangan. Dari gambar di bawah 4.5, dapat dilihat pada kisaran suhu sekitar 18 - 23 °C konsumsi AC sekitar 200-400 kWh. Sementara di kisaran suhu yang lebih tinggi, sekitar 23 - 28 °C, konsumsi AC sekitar 450-650 kWh.



**Gambar 4.5** Analisis Korelasi Periode Pendek dengan Temperature

Gambar 4.6 menunjukkan korelasi konsumsi energi listrik dan mekanik dengan suhu selama 7 hari. Korelasi konsumsi energi menunjukkan bahwa konsumsi listrik dan mekanik memiliki korelasi dengan suhu di luar ruangan. Dari gambar di bawah ini, dapat dilihat pada kisaran suhu sekitar 18 - 23 °C konsumsi listrik dan mekanik adalah sekitar 100-300 kWh. Sementara di kisaran suhu yang lebih tinggi, sekitar 23 - 28 °C, listrik dan mekanik sekitar 350-500 kWh. Namun, angka ini tidak cukup untuk menentukan apakah suhu di luar ruangan memiliki korelasi kuat atau korelasi yang rendah dengan konsumsi energi.



**Gambar 4.6** Analisis Korelasi Periode Pendek dengan Temperatur

### Observasi:

- (1) Pola konsumsi energi tiap minggu berkorelasi dengan jam buka dari NTSEC.
- (2) Konsumsi energi listrik dan mekanik lebih stabil dibandingkan konsumsi energi AC.
- (3) Konsumsi energi periode pendek berkorelasi dengan suhu di luar ruangan.

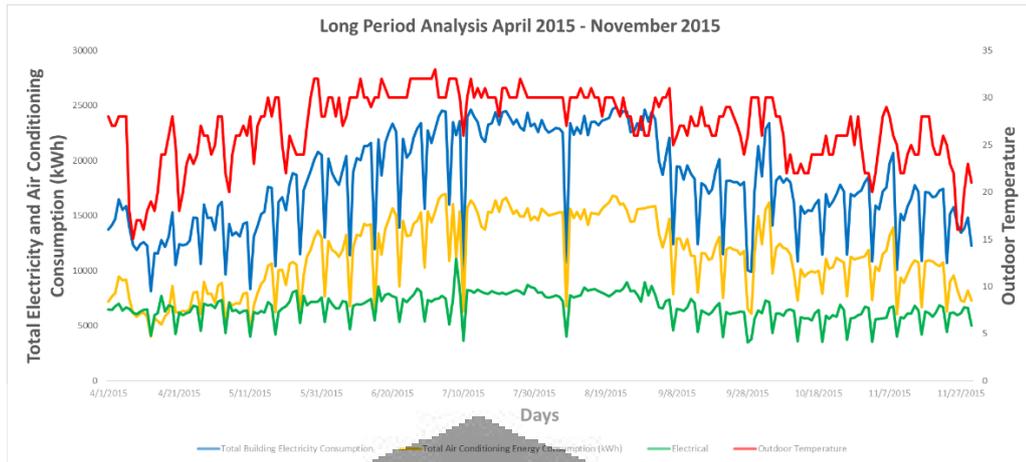
#### 4.2.2 Analisis Periode Panjang

Gambar 4.7 menunjukkan analisis periode panjang untuk rata-rata harian dari total listrik bangunan, listrik dan mekanik, dan konsumsi energi AC. Dari gambar di bawah ini, pola konsumsi musiman juga mengungkapkan. Pola konsumsi di musim semi, musim panas, dan musim gugur dapat dilihat.

Konsumsi energi di musim panas secara signifikan lebih tinggi dibandingkan konsumsi di musim lain. Pola menunjukkan di musim semi dan musim gugur, ada fluktuasi konsumsi karena jadwal museum ditutup pada hari Senin. Namun, di musim panas museum akan terbuka pada hari Senin, kecuali pada hari libur nasional hari Senin maka museum akan ditutup.

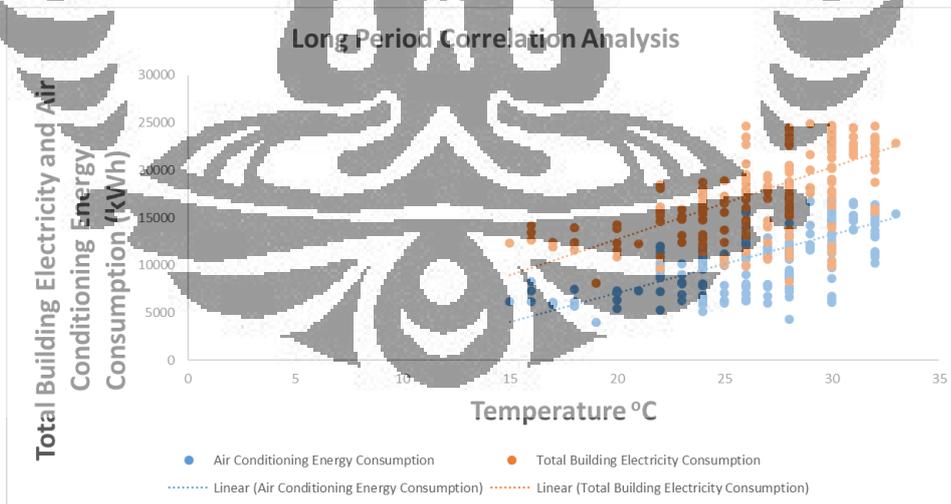
Untuk listrik dan mekanik, pola yang terbentuk juga sama seperti dalam analisis periode pendek. Konsumsi listrik dan mekanik lebih stabil setiap hari. Berbeda dengan konsumsi AC, mekanik dan listrik tidak memiliki korelasi dengan suhu dan perbedaan musim.

Ada 2 poin yang sangat rendah di musim panas yang pada 10 Juli dan 8 Agustus. Pada tanggal ini, ada beberapa peristiwa yang terjadi. Pada tanggal 10 Juli, ada peringatan untuk angin topan Chan-Hom di Taipei. Pada tanggal 8 Agustus, ada hari libur. Alasan-alasan ini menjelaskan mengapa konsumsi energi serendah itu.

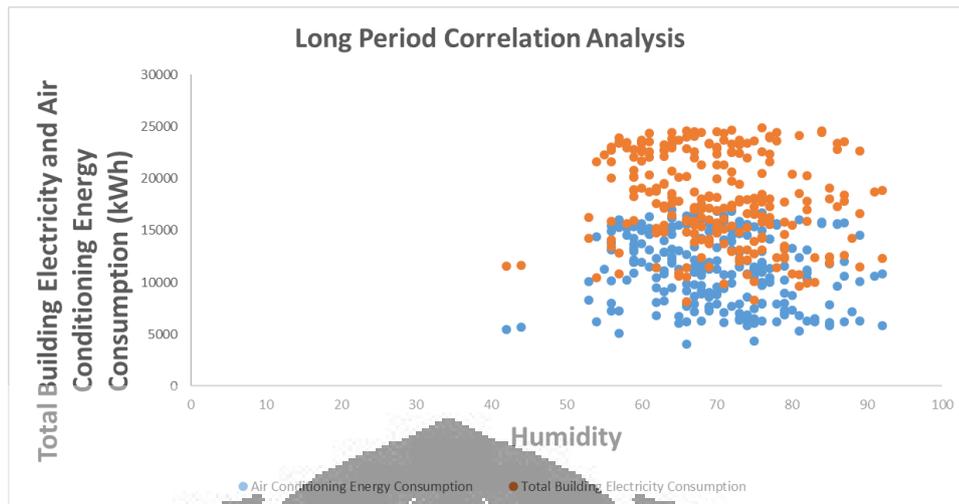


**Gambar 4.7** Analisis Periode Panjang - *Total Building Electricity Consumption, Electrical and Mechanical Energy Consumption, dan Air Conditioning Consumption (kWh)*

Gambar 4.8 dan 4.9 menunjukkan analisis korelasi periode panjang konsumsi energi dengan suhu di luar ruangan dan kelembaban ruangan, masing-masing. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8, konsumsi listrik dan konsumsi energi AC memiliki korelasi positif dengan suhu. Namun, gambar 4.9 menunjukkan bahwa listrik dan konsumsi energi AC tidak ada korelasinya dengan kelembaban.



**Gambar 4.8** Analisis Korelasi Periode Panjang dengan Temperature



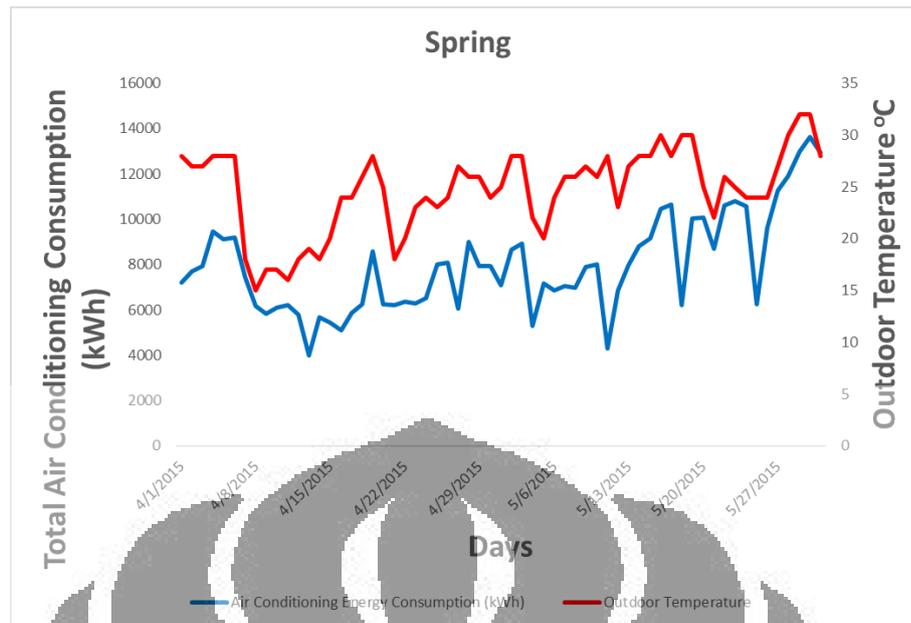
**Gambar 4.9** Analisis Korelasi Periode Panjang dengan Kelembaban

#### Observasi:

- (1) Konsumsi energi memiliki pola musiman dimana musim panas merupakan konsumsi tertinggi sepanjang tahun. Pada musim panas, fluktuasi konsumsi energi tidak dapat dilihat jika dibandingkan dengan musim semi dan musim gugur. Hal ini karena ada liburan musim panas (Juli - Agustus) dan museum ini buka pada hari Senin.
- (2) Konsumsi energi lebih berkorelasi dengan suhu di luar ruangan dibandingkan dengan kelembaban luar ruangan. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8, grafik *scatter* menunjukkan garis trend linear yang menjelaskan korelasi positif antara temperatur dan konsumsi energi.

#### 4.2.3 Analisis Periode Musiman

Gambar 4.10, 4.11, dan 4.12 menunjukkan konsumsi energi AC dan suhu di luar ruangan dari tiga musim yang berbeda. Gambar 4.10 menunjukkan konsumsi energi di musim semi. Pada musim semi, konsumsi energi bervariasi 4000-13000 kWh dengan rata-rata sekitar 8000 kWh. Suhu di luar ruangan bervariasi 15-32 °C dengan rata-rata sekitar 24.7 °C. Kelembaban luar bervariasi 42-92% dengan rata-rata sekitar 71,8%.



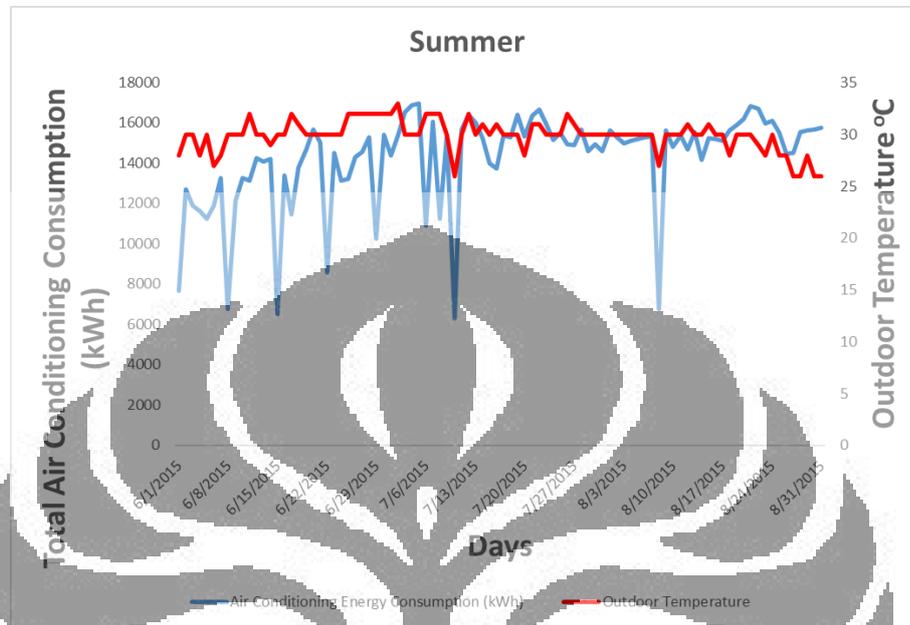
**Gambar 4.10** Konsumsi Energi Air Conditioning pada Musim Spring

Gambar 4.11 menunjukkan konsumsi energi di musim panas. Di musim panas, secara keseluruhan, konsumsi energi bervariasi 6200-16000 kWh dengan rata-rata sekitar 14.200 kWh. Suhu di luar ruangan bervariasi 26-33 °C dengan rata-rata sekitar 29,9 °C. Kelembaban luar bervariasi 54-89% dengan rata-rata sekitar 67,9%.

Pada musim panas, ada 2 jenis pola. Yang pertama adalah sebelum liburan musim panas yang hanya pada bulan Juni. Sedangkan pola lainnya adalah liburan musim panas itu sendiri yang pada bulan Juli dan Agustus. Sebelum liburan musim panas, museum masih ditutup pada hari Senin, sementara di liburan musim panas museum dibuka pada hari Senin. Oleh karena itu, ada pola konsumsi energi yang berbeda pada bulan Juni dibandingkan dengan Juli dan Agustus. Pada bulan Juni, fluktuasi masih terlihat, sedangkan pada bulan Juli dan Agustus tidak ada lagi fluktuasi.

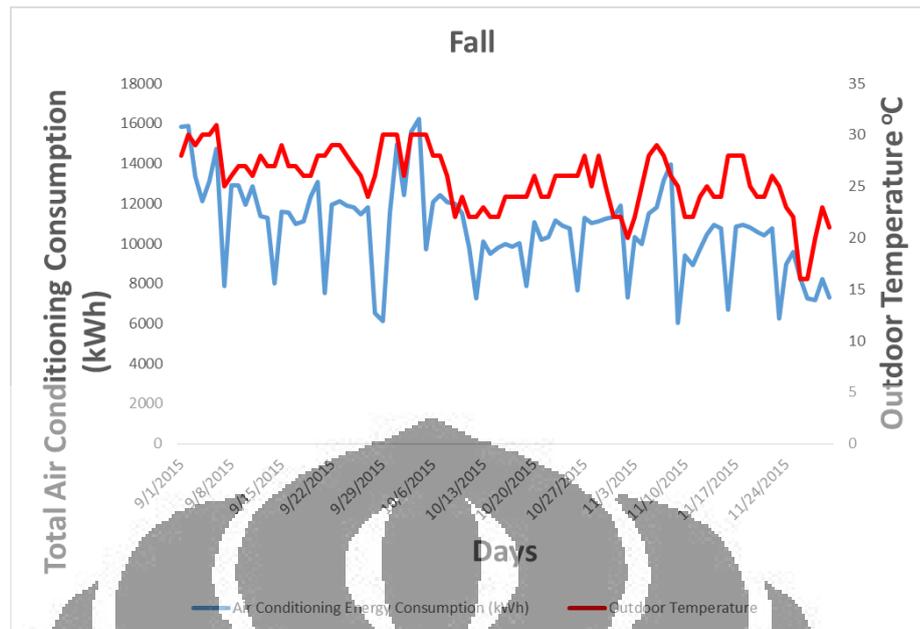
Pada bulan Juni, konsumsi energi terendah adalah 6500 kWh dan yang tertinggi adalah 15.600 kWh, sedangkan pada bulan Juli dan Agustus konsumsi energi terendah adalah 6200 kWh dan yang tertinggi adalah 16.900 kWh. Rata-rata untuk bulan Juni adalah 12.600 kWh dan untuk bulan Juli dan Agustus adalah 15.000 kWh.

Sangat menarik bahwa pada bulan Juni suhu rata-rata adalah 30.2 °C dan pada bulan Juli dan Agustus adalah 29.7 °C, konsumsi energi rata-rata pada bulan Juli dan Agustus secara signifikan lebih tinggi dari pada bulan Juni.



**Gambar 4.11** Konsumsi Energi *Air Conditioning* pada Musim *Summer*

Gambar 4.12 menunjukkan konsumsi energi di musim gugur. Pada musim gugur, konsumsi energi bervariasi 6000-16000 kWh dengan rata-rata sekitar 10.760 kWh. Suhu di luar ruangan bervariasi 16-31 °C dengan rata-rata sekitar 25.6 °C. Kelembaban luar bervariasi 53-87% dengan rata-rata sekitar 70,9%.



**Gambar 4.12** Konsumsi Energi *Air Conditioning* pada Musim *Fall*

#### Observasi:

(1) Analisis data di musim panas jelas menunjukkan bahwa konsumsi energi AC selama liburan musim panas menghabiskan lebih banyak energi daripada sebelum musim *summer break*. Meskipun suhu rata-rata pada bulan Juni sedikit lebih tinggi, konsumsi energi rata-rata pada bulan Juli dan Agustus lebih tinggi. Konsumsi energi di musim panas lebih tinggi dari musim lainnya.

#### 4.2.4 Pengaruh Jumlah Pengunjung

Data dibagi menjadi 3 kelompok : jadwal tutup, hari kerja, dan akhir pekan. Jadwal tutup ada pada hari Senin dan hari libur lainnya. Hari kerja berada pada hari Selasa - Jumat. Akhir pekan berada pada hari Sabtu dan Minggu. Data dianalisa dengan memperhitungkan konsumsi energi harian dan juga mempertimbangkan suhu di luar ruangan dan kelembaban ruangan. Tabel 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.4 adalah data gambaran pada musim semi, pra-liburan musim panas, liburan musim panas, dan jatuh musim, masing-masing.

Tabel 4.1 menunjukkan konsumsi energi dan kondisi luar ruangan di musim semi. Seperti dapat dilihat, jadwal tutup relatif rendah dengan rata-rata 5.946 kWh. Sementara pada hari kerja lebih tinggi dengan rata-rata 7.823 kWh dan di akhir

pekan bahkan lebih tinggi dengan rata-rata 9.113 kWh. Secara keseluruhan, konsumsi energi di musim ini berkorelasi dengan tingkat hunian karena secara logis jumlah orang mengunjungi museum di akhir pekan lebih tinggi daripada pada hari kerja.

**Tabel 4.1** Rangkuman Data pada Musim *Spring*

	Spring								
	Closed			Weekdays			Weekend		
	AC	Humidity	Temp	AC	Humidity	Temp	AC	Humidity	Temp
Min	4006.25	42	15	5112	42	15	5794.25	42	15
Max	9195.75	92	30	12970	92	32	13632	92	32
Average	5946.156	72.74	23.96	7823.693	72.01695	24.55932	9113.972	72.05172	24.60345

Tabel 4.2 menunjukkan konsumsi energi dan kondisi luar ruangan di awal musim *summer break*. Dibandingkan dengan musim semi, konsumsi energi meningkat dengan rata-rata dari 7961 kWh pada jadwal tutup. Di hari kerja dan akhir pekan juga memiliki peningkatan konsumsi dengan rata-rata 13.188 dan 14.246, masing-masing. Alasannya mungkin karena meningkatnya suhu di luar ruangan. Jika dibandingkan dengan musim sebelumnya, di istirahat pra-musim panas, tingkat kelembaban jauh lebih baik daripada di musim semi. Pada musim semi, tingkat kelembaban rata-rata adalah sekitar 72%, sedangkan di awal musim *summer break* adalah sekitar 67%. Secara keseluruhan, konsumsi energi di musim ini tidak memiliki korelasi dengan tingkat hunian.

**Tabel 4.2** Rangkuman Data pada Musim *Pre-Summer Break*

	Pre Summer Break								
	Closed			Weekdays			Weekend		
	AC	Humidity	Temp	AC	Humidity	Temp	AC	Humidity	Temp
Min	6522.75	56	27	11261	56	27	11881.75	56	27
Max	10251	85	32	15412.76	85	32	15693.5	85	32
Average	7961.6	67.06897	30.17241	13188.56	66.51724	30.31034	14246.59	67.34783	30.30435

Tabel 4.3 menunjukkan konsumsi energi dan kondisi luar ruangan di musim liburan musim panas. Di musim ini, data dibagi hanya 2 kategori: hari kerja dan akhir pekan karena di liburan musim panas musim NTSEC akan dibuka pada hari Senin. Rata-rata konsumsi energi di hari kerja dan akhir pekan yang 14.905 dan 15.320 kWh. Dibandingkan dengan awal musim *summer break*, konsumsi energi tidak

meningkat secara signifikan, meskipun di liburan musim panas semua sekolah dan universitas semua liburan yang meningkatkan jumlah pengunjung. Secara keseluruhan, di musim liburan musim panas, konsumsi energi tidak memiliki korelasi dengan tingkat hunian.

**Tabel 4.3** Rangkuman Data pada Musim *Summer Break*

	Summer Break					
	Weekdays			Weekend		
	AC	Humidity	Temp	AC	Humidity	Temp
<b>Min</b>	6271.75	54	26	6762,5	55	26
<b>Max</b>	16817.5	89	33	16963.01	89	32
<b>Average</b>	14905.41	68.53226	29.77419	15320.88	68.65517	29.74138

Tabel 4.4 menunjukkan konsumsi energi dan kondisi luar ruangan di musim gugur. Seperti dapat dilihat, jadwal tutup konsumsi rata-rata adalah 7.393 kWh. Sementara pada hari kerja dan akhir pekan 11.167 dan 11.630 kWh. Jika dibandingkan dengan empat musim sebelumnya, konsumsi energi di musim ini lebih mendekati dengan musim liburan pra-musim. Namun, jika dibandingkan tingkat kelembaban dan suhu, konsumsi energi rata-rata di musim ini lebih dekat ke musim semi. Sangat menarik bila dilihat tingkat kelembaban dan suhu lebih dekat dengan musim semi, tetapi konsumsi energi jauh lebih tinggi dan lebih dekat dengan awal musim *summer break*. Secara keseluruhan, konsumsi energi di musim ini tidak memiliki korelasi dengan tingkat hunian.

**Tabel 4.4** Rangkuman Data pada Musim *Fall*

	Fall								
	Closed			Weekdays			Weekend		
	AC	Humidity	Temp	AC	Humidity	Temp	AC	Humidity	Temp
<b>Min</b>	6042	53	16	6107.5	53	16	7171	53	16
<b>Max</b>	9737	87	30	15882.44	87	31	16221.5	87	31
<b>Average</b>	7393.038	71.08235	25.35294	11167.69	71.01136	25.78409	11630.77	70.75581	25.52326

#### Observasi:

(1) Secara keseluruhan, hanya konsumsi energi di musim semi memiliki korelasi dengan tingkat hunian. Pra-liburan musim panas, liburan musim panas, dan musim gugur tidak memiliki korelasi dengan tingkat hunian.

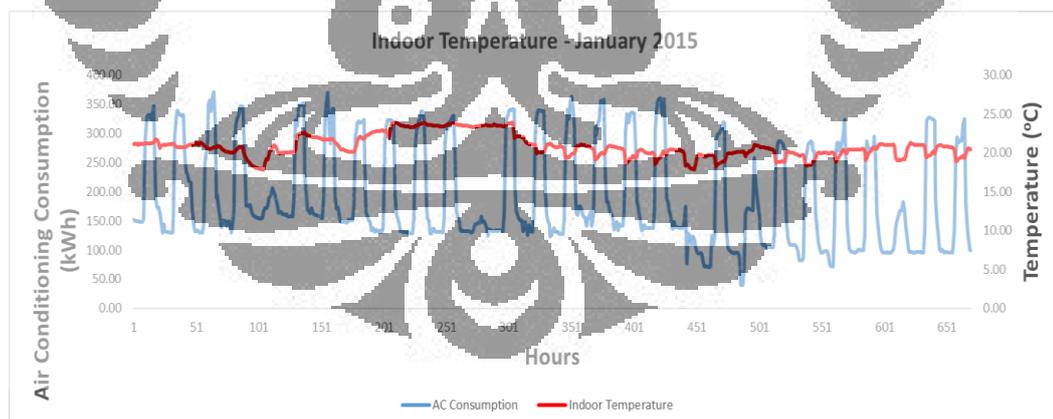
(2) Pusat Pendidikan Sains Nasional Taiwan cenderung mengkonsumsi konsumsi energi AC dimulai pada istirahat pra-musim panas (Juni) sampai musim gugur (November) jauh lebih dari yang dibutuhkan.

(1) Overall, only energy consumption in spring season has a correlation with the occupancy rate. The pre-summer break, summer break, and fall season do not have a correlation with the occupancy rate.

(2) The National Taiwan Science Education Center tend to consume air conditioning energy consumption started in pre-summer break (June) until fall (November) much more than needed.

#### 4.2.5 Analisis Pengaruh Kualitas Udara *Indoor*

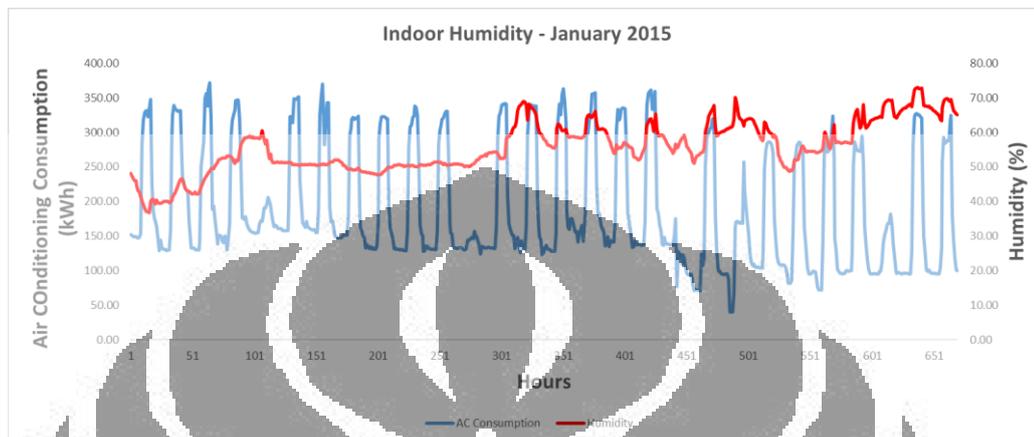
Gambar 4.13 menunjukkan konsumsi energi dan suhu ruangan. Seperti dapat dilihat, suhu ruangan sekitar 20 °C dan sebagian besar stabil dari hari ke hari. Konsumsi energi juga menunjukkan pola konsumsi di mana pada hari Senin masih yang terendah. Berdasarkan angka ini, ada beberapa penurunan konsumsi energi untuk minggu terakhir bulan Januari. Secara keseluruhan, karena suhu ruangan yang stabil ini, tidak bisa dikatakan temperature di dalam ruangan yang mempengaruhi penurunan konsumsi energi.



**Gambar 4.13** Konsumsi Energi *Air Conditioning* dan Indoor Temperature

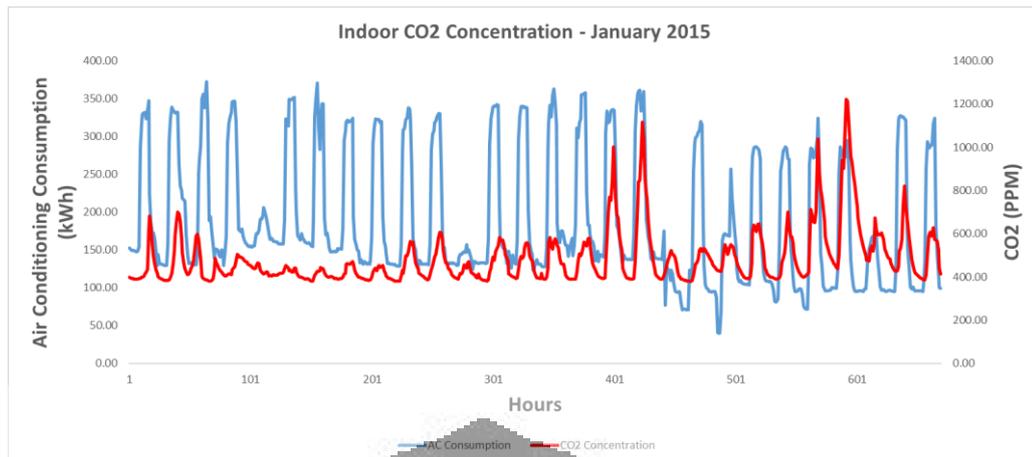
Gambar 4.14 menunjukkan konsumsi energi dan tingkat kelembaban dalam ruangan. Tingkat kelembaban yang nyaman adalah sekitar 25 - 60%. Di bawah 25% terlalu kering dan di atas 60% terlalu lembab bagi tubuh manusia. Berdasarkan gambar 4.14, tingkat kelembaban berfluktuasi di minggu ketiga Januari. Tingkat

kelembaban bahkan meningkat di atas tingkat yang nyaman, di atas 60%. Sangat menarik bila dilihat tingkat kelembaban berfluktuasi di atas tingkat yang nyaman, namun terjadi penurunan konsumsi energi. Hal ini mungkin terjadi karena jumlah pengunjung juga menurun.



**Gambar 4.14** Konsumsi Energi *Air Conditioning* dan *Indoor Humidity*

Gambar 4.15 menunjukkan konsumsi energi dan konsentrasi karbon dioksida dalam ruangan. Berdasarkan gambar di bawah, konsentrasi karbon dioksida di atas 600 ppm pada tanggal 17 Januari-18, 22, 23, 24, dan 25. Pada hari ini, tingkat karbon dioksida dapat menunjukkan ada terlalu banyak orang di museum. Tapi seperti dapat dilihat pada gambar bahwa konsumsi energi di hari ini yang di akhir pekan relatif setinggi pada hari kerja. Berdasarkan data ini, manajemen gedung mungkin tidak mempertimbangkan jumlah pengunjung dalam mengatur konsumsi energi AC mereka.

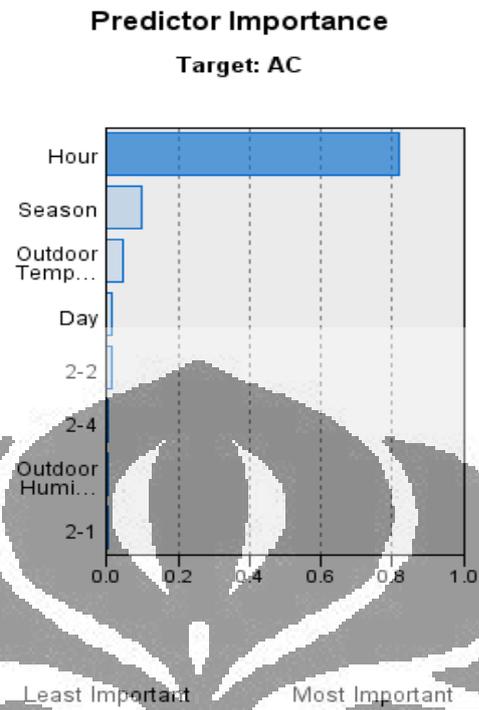


**Gambar 4.15** Konsumsi Energi *Air Conditioning* dan Konsentrasi Karbon Dioksida *Indoor*

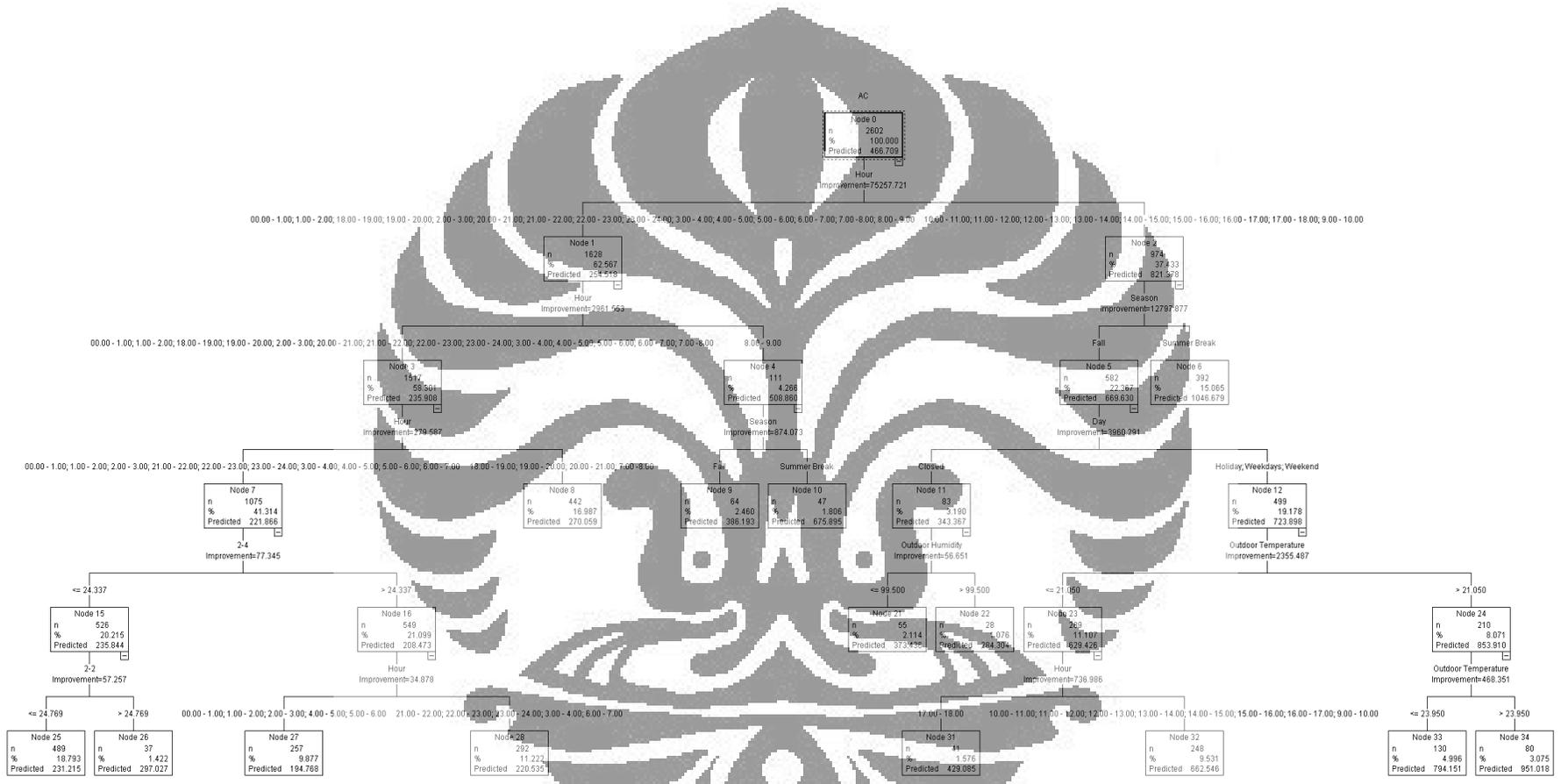
### 4.3 Identifikasi Konsumsi Energi Abnormal

Proses identifikasi konsumsi energi yang abnormal dimulai dengan membangun CART. Data konsumsi energi AC selama 5 bulan digunakan sebagai variabel target dalam analisis ini. Variabel independen yang digunakan adalah *return temperature* di *air handling unit* 2-1, *return temperature* di *air handling unit* 2-2, *return temperature* di *air handling unit* 2-4, suhu luar ruangan, dan kelembaban ruangan. Data klasifikasi waktu lain seperti tanggal, jam, jenis hari (hari kerja, akhir pekan, liburan, atau hari tutup), dan musim juga digunakan dalam analisis ini.

Klasifikasi data menunjukkan variabel independen yang paling penting adalah jam, musim, dan terakhir adalah suhu luar ruangan seperti pada gambar 4.16. Ada 26 node, 14 terminal node dan 5 kedalaman di pohon klasifikasi seperti pada gambar 4.17. Tabel 4.5 menjelaskan klasifikasi, jumlah data dan persentase dari jumlah data. Pertama, data diklasifikasikan menjadi 2 kelompok: 09:00-18:00 dan 06:00-09:00. Kemudian, kelompok 09:00-18:00 diklasifikasikan berdasarkan musim sementara kelompok 18:00-09:00 diklasifikasikan berdasarkan jam lagi: 08:00-09:00 dan 00:00-08:00. Kemudian, kelompok 09:00-18:00 diklasifikasikan berdasarkan jenis hari (ditutup, liburan, hari kerja, atau akhir pekan), suhu luar ruangan, dan kelembaban ruangan.



**Gambar 4.16** Prediktor *Independent* Variabel



Gambar 4.17 Classification and Regression Tree

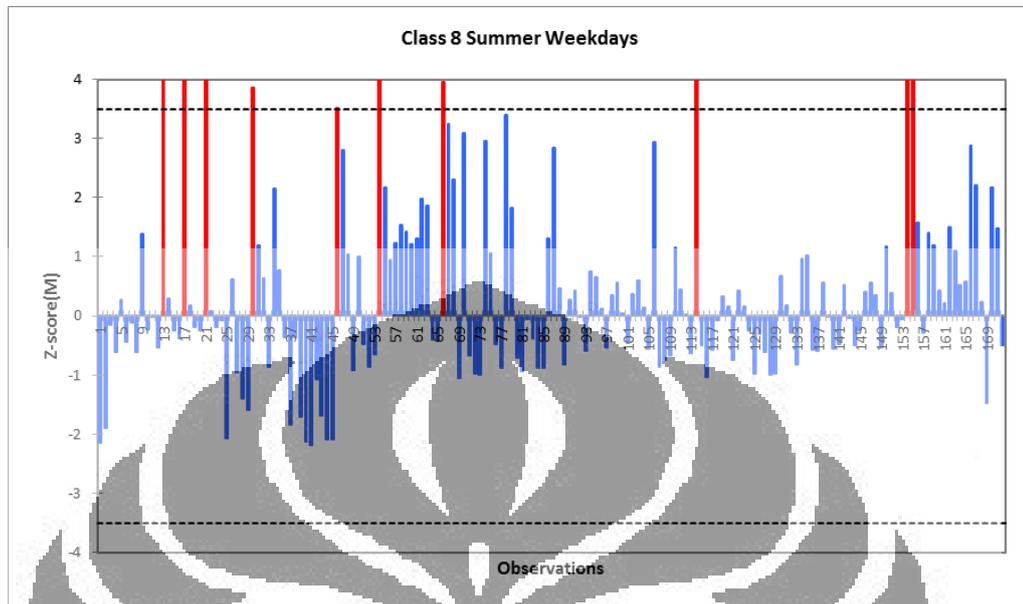
**Tabel 4.5** Rangkuman *Classification and Regression Tree*

Terminal Node	Node Name (Class)	Number	Percentage	Predicted
1	6	392	15.065	1046.679
2	8	442	16.987	270.059
3	9	64	2.46	386.193
4	10	47	1.806	675.895
5	21	55	2.114	373.436
6	22	28	1.076	284.304
7	25	489	18.793	231.215
8	26	37	1.422	297.027
9	27	257	9.877	194.768
10	28	292	11.222	220.535
11	31	41	1.576	429.085
12	32	248	9.531	662.546
13	33	130	4.996	794.151
14	34	80	3.075	951.018

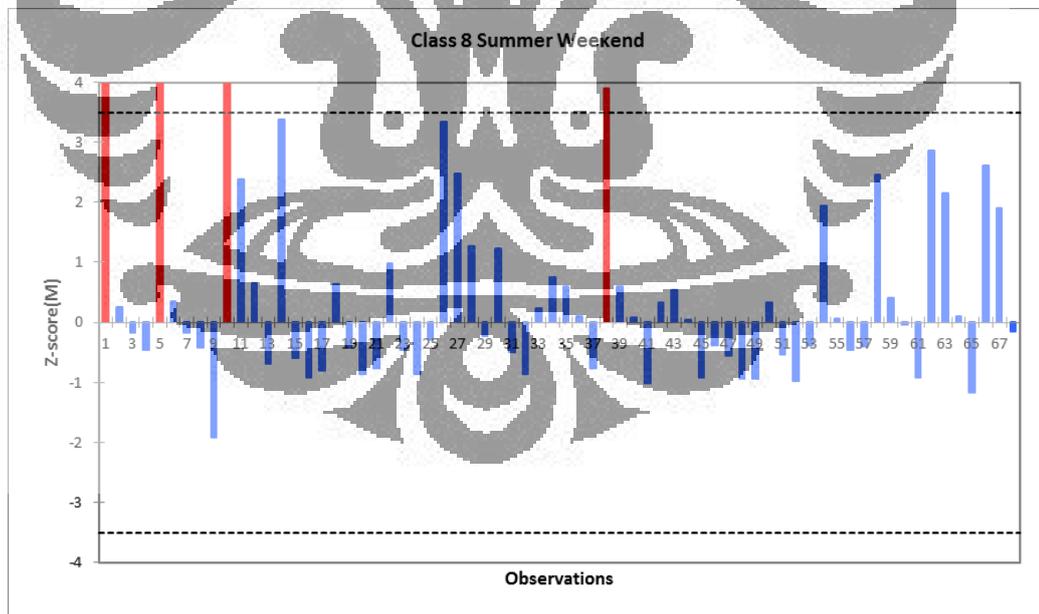
Setelah proses klasifikasi, langkah berikutnya adalah untuk menemukan konsumsi energi yang abnormal menggunakan metode GESD. Metode GESD dapat mengungkapkan pola aneh dari konsumsi AC berdasarkan klasifikasi. Hasil *anomaly detection* dijelaskan dengan menganalisis beberapa dataset di masing-masing kelas. Hasilnya adalah bahwa di kelas ini ada beberapa skor z di atas batas. Skor z di luar batas didefinisikan sebagai sebuah anomali.

Gambar 4.18 dan 4.19 menunjukkan klasifikasi data dalam hari kerja dan akhir pekan di liburan musim panas. Kelas ini diklasifikasikan oleh waktu, yang di 7:00-08:00 dan 06:00-09:00. Pada gambar 4.18 dan 4.19, ada 2 jangka waktu utama yang memiliki anomali: 07:00-08:00 dan 06:00-07:00. Pada gambar 4.18, anomali di 07:00-08:00 muncul pada bulan Juli 6, 7, dan 8, yang di Senin - Rabu. Anomali di 18:00-19:00 muncul di 13 Juli, 17, 21, 24, 11 Agustus dan 25. Sementara di gambar 4.19, anomali pada jam 07:00-08:00 muncul pada 4 Juli dan 5 yang di hari Sabtu dan Minggu, masing-masing. Anomali pada jam 18:00-19:00 muncul pada 11 Juli dan 2 Agustus yang di hari Sabtu dan Minggu, masing-masing. Dalam jangka waktu tersebut, konsumsi energi lebih tinggi dari data lainnya di kelas yang sama.

Anomali ini jika dibandingkan dengan jam buka museum menunjukkan kelainan, karena tidak ada pengunjung saat ini.

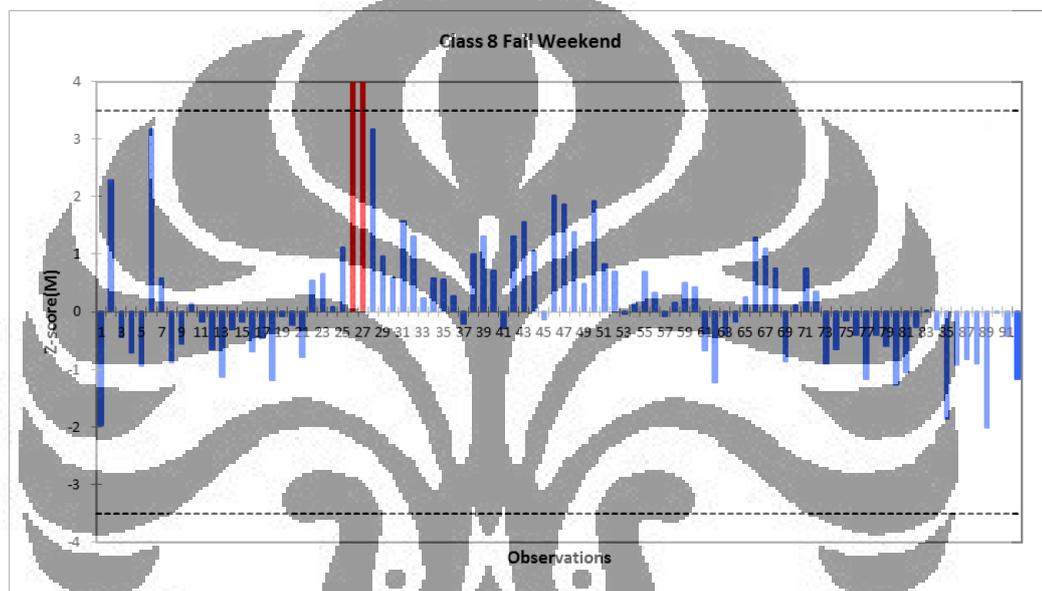


**Gambar 4.18** *Anomaly Detection* pada musim *summer weekdays* (7 am – 8 am and 6 pm – 9 pm)

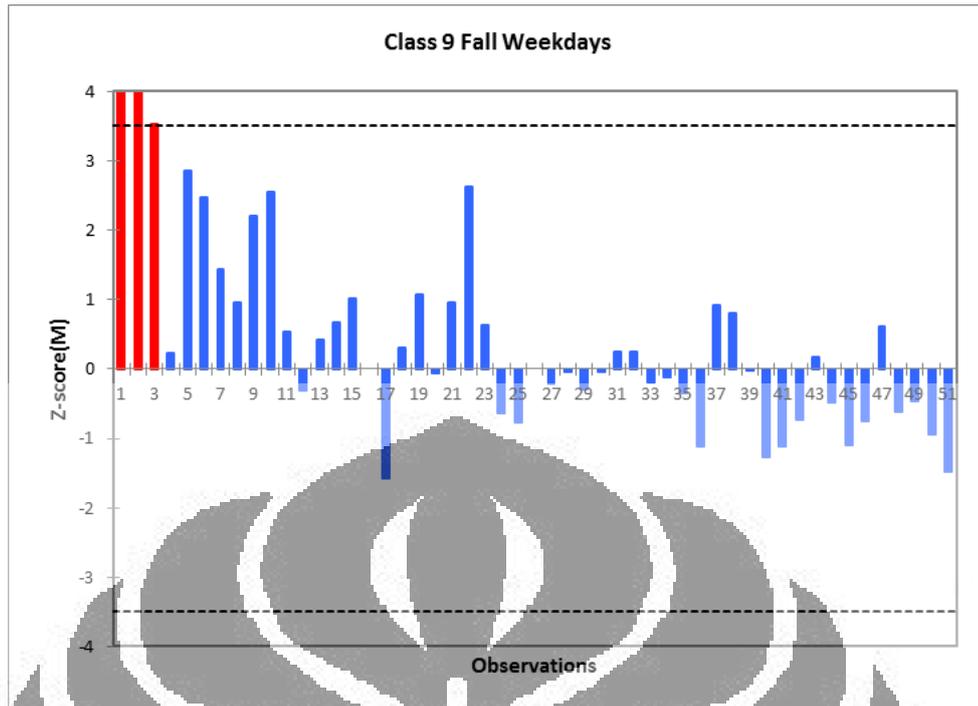


**Gambar 4.19** *Anomaly Detection* pada musim *summer weekend* (7 am – 8 am and 6 pm – 9 pm)

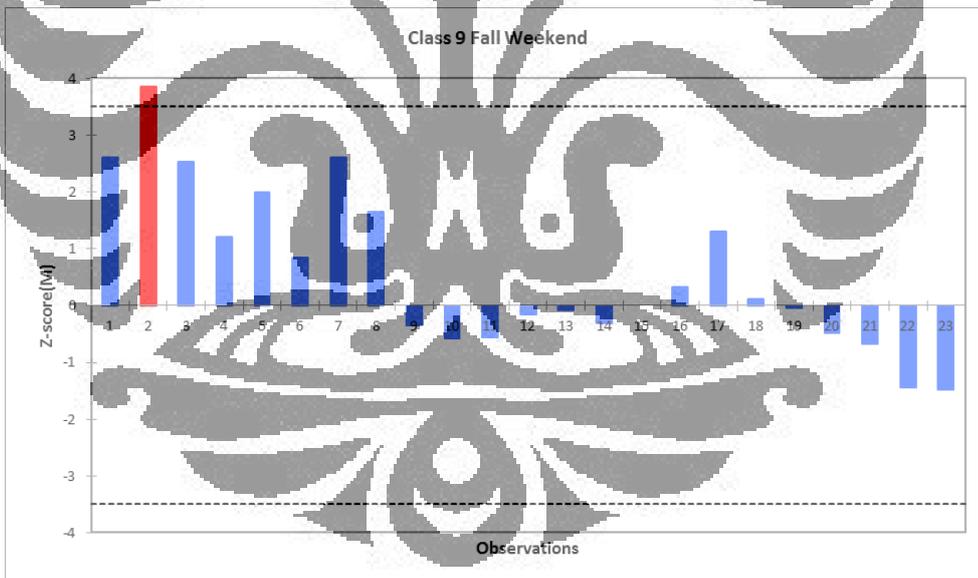
Gambar 4.20, 4.21, dan 4.22 menunjukkan klasifikasi data di hari kerja dan akhir pekan pada musim gugur. Klasifikasi pada gambar 4.20 di 07:00-08:00 dan 06:00-09:00. Sementara gambar 4.21 dan 4.22, klasifikasi hanya di 8:00-09:00. Anomali dalam rentang waktu 06:00-08:00 muncul pada tanggal 3 Oktober yang merupakan hari Sabtu. Sedangkan anomali dalam rentang waktu 08:00-09:00 muncul pada tanggal 1, 2, 3, dan 6 September, yang merupakan hari Selasa, Rabu, Kamis, dan Minggu. Pada jangka waktu ini, konsumsi energi lebih tinggi dari data lain dalam klasifikasi yang sama.



Gambar 4.20 *Anomaly Detection* pada musim *fall weekend* (7 am – 8 am and 6 pm – 9 pm)



**Gambar 4.21** *Anomaly Detection* pada musim *fall weekdays* (8 am – 9 am)

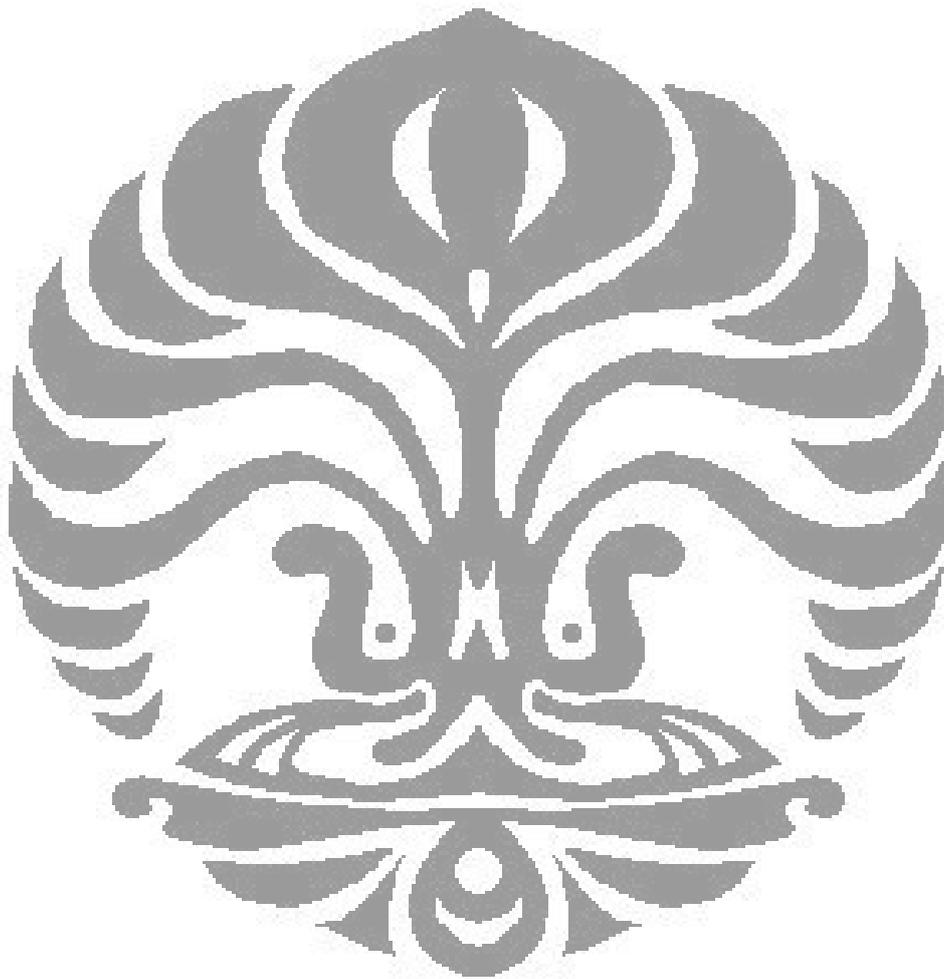


**Gambar 4.22** *Anomaly Detection* pada musim *fall weekend* (8 am – 9am)

#### 4.4 Implikasi Manajerial

Berdasarkan analisis deskriptif dan identifikasi konsumsi energi AC normal, hasilnya menunjukkan bahwa konsumsi energi yang abnormal sebagian besar muncul sebelum jam buka (07:00-08:00 di musim panas dan 08:00-09:00 pada

musim gugur) dan setelah jam buka (06:00-07:00). Konsumsi yang abnormal ini dapat menunjukkan departemen *engineering* kadang-kadang menyalakan AC terlalu dini dan mematikan AC terlambat daripada seharusnya.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN PENELITIAN SELANJUTNYA

#### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini menjelaskan *framework* metodologi analisis data untuk mendukung manajemen energi di ruang *exhibition*. *Review* penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan bagaimana menganalisis konsumsi energi dengan menggunakan beberapa metodologi juga dilakukan.

*Framework* metodologi yang diusulkan dalam penelitian ini menggambarkan bagaimana menganalisis data konsumsi energi dengan menggunakan analisis data. Metodologi analisis data dalam *framework* ini termasuk klasifikasi data menggunakan *classification and regression trees* (CART) dan metode *anomaly detection* dengan menggunakan metode *generalized extreme studentized deviate* (GESD) untuk mengidentifikasi konsumsi energi abnormal.

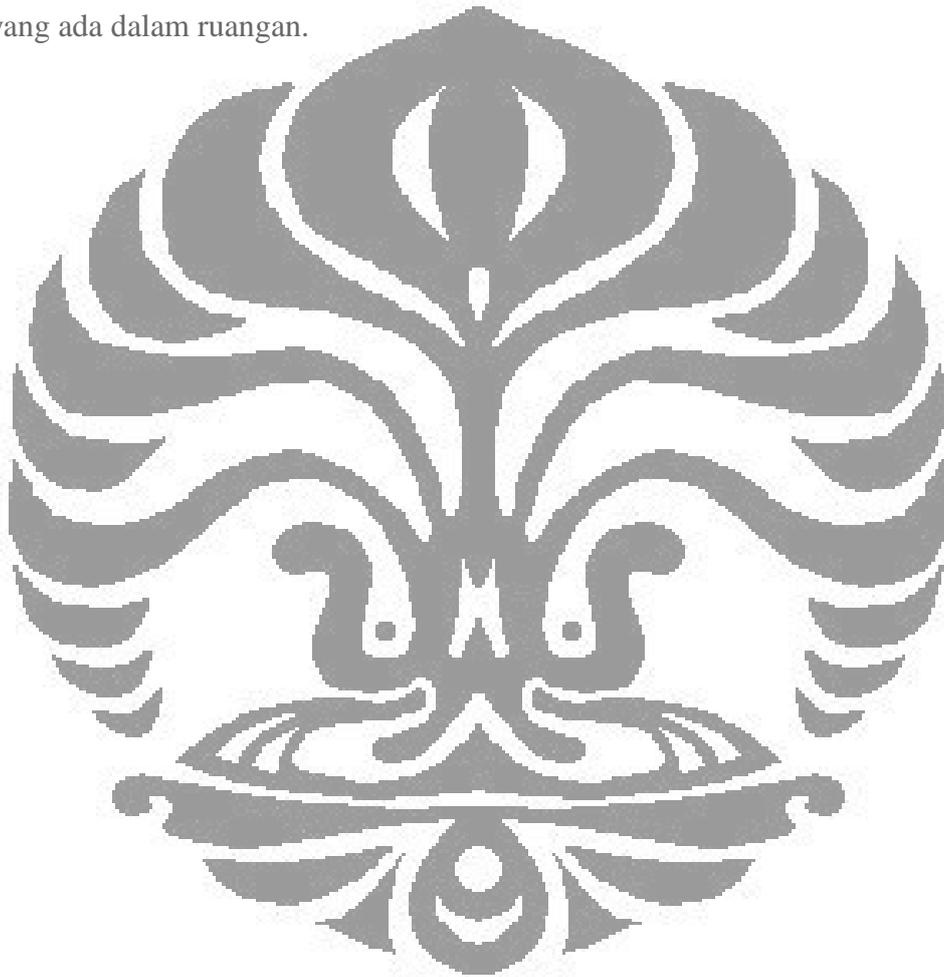
Dalam penelitian ini, sebuah studi kasus tentang konsumsi energi pada suatu gedung dilakukan. Bangunan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *National Taiwan Science Education Center* (NTSEC). Hasil utama dari perilaku konsumsi energi di NTSEC ditemukan dengan menggunakan analisis deskriptif, klasifikasi data, dan metode *anomaly detection*. Ada 2 hasil utama dari analisis deskriptif: konsumsi AC di musim gugur tidak memiliki korelasi dengan jadwal jam buka sementara musim sebelumnya memiliki korelasi dan konsumsi energi AC lebih berkorelasi dengan suhu di luar ruangan daripada kelembaban luar ruangan. Kemudian, berdasarkan identifikasi konsumsi energi yang abnormal, konsumsi abnormal kebanyakan muncul sebelum jam buka dan setelah jam tutup dari museum NTSEC. Hal ini mungkin menunjukkan kadang-kadang departemen *engineering* menghidupkan dan mematikan AC terlalu dini dan terlalu terlambat.

#### 5.2 Penelitian Selanjutnya

Penelitian ini hanya menggunakan data konsumsi energi AC dan data lingkungan untuk mempelajari perilaku konsumsi. Oleh karena itu, hanya beberapa hasil dapat ditemukan dalam penelitian ini. ) 45 si lain seperti, jumlah pengunjung

yang riil, terutama pada musim liburan, data konsumsi energi yang terkait lainnya, dan pengumpulan data yang lebih dapat memberikan wawasan yang lebih untuk penelitian selanjutnya.

Penelitian ini juga hanya berdasarkan data konsumsi energi yang dikumpulkan. Diskusi dengan departemen *engineering*, *maintenance*, dan *facility* gedung dapat meningkatkan hasil penelitian ini. Survei terhadap penghuni dan pengunjung juga akan memberikan lebih banyak pertimbangan tentang bagaimana kualitas udara yang ada dalam ruangan.



## DAFTAR REFERENSI

- Breiman, L., Friedman, J., Olshen, R., & Stone, C. (1984). *Classification and regression trees*. Belmont: Wadsworth.
- Center, N. T. (2016, May 18). *Floor plan*. Retrieved from National Taiwan Science Education Center: [www.ntsec.gov.tw](http://www.ntsec.gov.tw)
- DOE. (2008). *Energy Data Book*. Maryland.
- Fan, C., Xiao, F., & Wang, S. (2014). Development of prediction models for next-day building energy consumption and peak power demand using data mining techniques. *Applied Energy*, 127, 1-10.
- Florida Solar Energy Center. (n.d.). (Florida Solar Energy Center) Retrieved April 13, 2016, from <http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/buildings/commercial/hvac.htm>
- Gordic, D., Babic, M., Jovicic, N., Sustersic, V., Koncalovic, D., & Jelic, D. (2010). Development of energy management system - Case study of Serbian car manufacturer. *Energy Conversion and Management*, 2783-2790.
- He, Y. (2010). *Energy Saving of Central Air-Conditioning and Control System*. Varkaus.
- Hong, T., Yang, L., Hill, D., & Feng, W. (2014). Data and analytics to inform energy retrofit of high performance. *Applied Energy* 126, 90-106.
- Iglewicz, B., & Hoaglin, D. (1993). *How to detect and handle outliers*. Milwaukee: ASQ Quality Press.
- Khan, I., Capozzoli, A., Corgnati, S., & Cerquitelli, T. (2013). Fault Detection Analysis of Building Energy Consumption Using Data Mining Techniques. *Energy Procedia*, 42, 557-566.
- Li, X., Bower, C., & Schnier, T. (2010). Classification of Energy Consumption in Buildings With Outlier Detection. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, 57, 3639-3644.
- Saleh, M., & Fadzli, M. (2013). *Active improvement of air-conditioning system energy consumption with adaptive thermal comfort approach*. Glasgow.
- Seem, J. (2007). Using intelligent data analysis to detect abnormal energy consumption in buildings. *Energy and Buildings* 39, 52-58.
- Services, T. T. (2016, May 1). Retrieved from Technology Transfers Services: [www.techtransfer.com](http://www.techtransfer.com)
- Wade, J., Pett, J., & Ramsay, L. (2003). *Energy Efficiency in Offices: Assessing*. London: The Association for the Conservation of Energy.

- Weng, T., & Agarwal, Y. (2012). From Buildings to Smart Buildings—Sensing and Actuation to Improve Energy Efficiency. *IEEE Design & Test of Computers*, 29(4), 36-44.
- Yu, X., Haghghat, F., & Fung, B. (2016). Advances and challenges in building engineering and data mining applications for energy-efficient communities. *Sustainable Cities and Society*, 25, 33-38.

