



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KAJIAN ULANG SISTEM VENTILASI  
PADA UNDERGROUND CAR PARK GEDUNG  
PERKANTORAN  
MENGUNAKAN PROGRAM FLOVENT**

**SKRIPSI**

**NIKO ABDILLAH**

**07 06 19 87 64**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
GANJIL 2009/2010  
DEPOK  
DESEMBER 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KAJIAN ULANG SISTEM VENTILASI  
PADA UNDERGROUND CAR PARK GEDUNG  
PERKANTORAN  
MENGUNAKAN PROGRAM FLOVENT**

**SKRIPSI**

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

**NIKO ABDILLAH**

**07 06 19 87 64**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
GANJIL 2009/2010  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Niko Abdillah**

**NPM : 07 06 19 87 64**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 30 Desember 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Niko Abdillah  
NPM : 07 06 19 87 64  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Kajian Ulang Sistem Ventilasi Pada Underground  
Car Park Gedung Perkantoran Dengan Menggunakan  
Program Flovent

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Budihardjo Dipl. – Ing ( )

Pembimbing 2 : Dr. – Ing. Ir. Nasruddin, M Eng ( )

Penguji : Dr. Ir. M. Idrus Alhamid ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2009

## KATA PENGANTAR/ UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Budihardjo Dipl. Ing dan Dr. –Ing. Ir. Nasruddin M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Segenap staff karyawan Departemen Teknik Mesin;
- (3) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (4) Ayu P. Utami yang selalu mendampingi dan memberi semangat penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini;
- (5) Ispa Firmazona dan sahabat – sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 30 Desember 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

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

Nama : Niko Abdillah  
NPM : 07 06 19 87 64  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

KAJIAN ULANG SISTEM VENTILASI PADA UNDERGROUND CAR PARK  
GEDUNG PERKANTORAN DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM  
FLOVENT

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : 30 Desember 2009

Yang menyatakan

( Niko Abdillah )

## ABSTRAK

Nama : Niko Abdillah

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Kajian Ulang Sistem Ventilasi Pada Underground Car Park Gedung  
Perkantoran Menggunakan Program Flovent

Seperti diketahui pentingnya sirkulasi udara pada suatu bangunan apalagi pada ruang parkir tertutup ini. Buangan gas hasil pembakaran yang tidak sempurna dari kendaraan bermotor seperti gas CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> dan lain – lain dapat berakibat fatal, sehingga diperlukan suatu sistem ventilasi mekanik yang diharapkan dapat membuat dan mempercepat pergerakan atau pergantian udara dari dalam menuju luar ruangan dan sebaliknya, sehingga dapat mengendalikan tingkat polutan pada ruangan tersebut. Dengan adanya udara yang bergerak dan bersirkulasi tersebut, diharapkan kondisi udara di dalam ruangan menjadi baik kualitasnya dan sesuai dengan standar yang diinginkan.

Dalam pengkajian kali ini, kebutuhan sirkulasi udara pada *underground car park* akan dianalisa menggunakan FLOVENT V7, sehingga dapat diketahui pola distribusi udara dan temperaturnya. Penganalisaan ini akan disertakan pensimulasian aktual, recommended dan berdasarkan Standard ANSI/ASHRAE 62.1.2004.

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa kondisi aktual bahwa temperatur rata – rata pada Basement 2, Basement 1 dan Lower Ground berturut – turut sebesar 35.1°C, 34.9°C dan 34.3°C mungkin dikarenakan kebutuhan akan sirkulasi udara pada *underground car park* tersebut kurang mencukupi, sehingga udara panas dan gas pembuangan kendaraan tidak sepenuhnya terbuang yang akhirnya terakumulasi. Berdasarkan Analisa yang didapat sebaiknya sistem tata udara pada ruangan tersebut lebih dioptimalkan dan bila perlu *layout ducting* disesuaikan kembali berdasarkan tata letak kendaraan.

Kata Kunci : Underground Car Park, Kontaminasi, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, Optimasi dan *Ducting Layout*.

## ABSTRACT

Name : Niko Abdillah  
Study Program : Teknik Mesin  
Title : Review of The Office Building Underground Car Park  
Ventilation System Using Flovent Program

As we all know the importance of air circulation in a building especially in this enclosed parking spaces. Exhaust gases of incomplete combustion from vehicles such as CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> and others can be harmful, so required a mechanical ventilation system that is expected to create and accelerate the movement or change of air from inside to outdoors and the reverse, so that can control the level of pollutants in the room. With the air moving and circulating them, is expected to air condition in the room to be in good quality and in accordance with the standards.

In this study, the need for air circulation in the underground car park will be analyzed using FLOVENT V7, which can identify patterns of air distribution and temperature. This analysis will be included the actual simulation, recommended and based on the Standard ANSI/ASHRAE 62.1.2004.

Based on the results of the analysis and the actual simulation that the average temperature on Basement 2, Basement 1 and Lower Ground are 35.1°C, 34.9°C dan 34.3°C. Perhaps it is because the need of air circulation in the underground car park is not adequate, so the hot air and vehicle exhaust gases are not completely wasted that eventually accumulated. Based on the analysis of the governance system should be obtained in room air is more optimized and if necessary layout Ducting adjusted return based on the layout of the vehicle.

Keyword: Underground Car Park, contamination, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, Ducting Layout and Optimization.



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEORISINALITASAN SKRIPSI.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK .....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 TUJUAN PENULISAN .....	2
1.3 PEMBATALAN MASALAH .....	3
1.4 METODE PENULISAN .....	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI.....</b>	<b>6</b>
2.1 SISTEM TATA UDARA .....	6
2.1.1 Penjelasan Umum.....	6
2.1.2 Aliran Udara.....	6
2.2 VENTILASI.....	10
2.2.1 Tujuan Ventilasi .....	11
2.2.2 Jenis Ventilasi.....	11
2.3 INDOOR AIR QUALITY .....	13
2.3.1 Penjelasan Umum .....	13

2.4 RUANG PARKIR .....	14
2.4.1 Penjelasan Umum.....	14
2.5 VENTILASI RUANG PARKIR.....	16
2.5.1 Penjelasan Umum.....	16
2.5.2 Ruang Parkir Tertutup .....	17

### **BAB III METODE PENELITIAN DAN PENGAMBILAN DATA..... 19**

3.1 METODE PENELITIAN .....	19
3.1.1 Penjelasan Umum.....	19
3.1.2 Objek, Tempat dan Waktu Penelitian .....	19
3.1.3 Peralatan dan Alat Ukur .....	20
3.1.4 Kerangka Alur Penelitian.....	20
3.2 PENGAMBILAN DATA.....	21
3.2.1 Data Bangunan .....	21
3.3 TUJUAN DAN PENGUKURAN.....	24
3.3.1 Tujuan.....	24
3.3.2 Pengukuran.....	24
3.4 HASIL PENGUKURAN AKTUAL.....	26
3.4.1 Hasil Pengukuran Basement 2.....	27
3.4.2 Hasil Pengukuran Basement 1.....	27
3.4.3 Hasil Pengukuran Lower Ground.....	27
3.5 HASIL PENGUKURAN RECOMMENDED.....	27
3.6 VENTILATION RATE STANDARD.....	28
3.7 VALIDASI HASIL SIMULASI.....	28
3.7.1 Simulasi Aktual .....	28
3.8 SIMULASI RECOMMENDED.....	30
3.9 PEMILIHAN STANDARD DAN MENSIMULASIKANNYA.....	31
3.10 PEMODELAN PENUMPUKAN KONSENTRASI CO .....	32

### **BAB IV HASIL DAN ANALISA..... 33**

4.1 HASIL DAN PENGOLAHAN DATA PENELITIAN.....	33
4.1.1 Hasil Pengukuran Aktual .....	33
4.1.2 Hasil Pengukuran Recommended.....	34

4.1.3 Selisih Persentase Kebutuhan Ventilasi Terhadap Aktual.....	35
4.1.4 Kebutuhan Udara Untuk Menetralsir CO .....	36
4.2 VALIDASI HASIL SIMULASI.....	37
4.2.1 Hasil Simulasi Aktual .....	37
4.2.2 Analisa Hasil Pengukuran Aktual dan Simulasi Aktual .....	39
4.2.3 Hasil Simulasi Recommended .....	44
4.3 PEMILIHAN STANDARD DAN MENSIMULASIKANNYA .....	49
4.3.1 Analisa dan Mensimulasikan Berdasarkan Standard ASHRAE 62.1.2004 .....	50
4.4 CONTOH HASIL SIMULASI PENUMPUKAN KONSENTRASI CO .	64
4.4.1 Simulasi Aktual .....	65
4.4.2 Simulasi Recommended.....	66
4.4.3 Simulasi Standard ASHRAE 62.1.2004 .....	67
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>69</b>
5.1 KESIMPULAN.....	69
5.2 SARAN .....	69
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>71</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Aliran Udara Karena Angin	7
<b>Gambar 2.2</b> Aliran Udara Karena Perbedaan Temperatur	8
<b>Gambar 2.3</b> Aliran Udara Karena Fakor Bentuk Bangunan	9
<b>Gambar 2.4</b> Ventilasi Fan	9
<b>Gambar 3.1</b> Skema Alur Kerangka Penelitian	21
<b>Gambar 3.2</b> Denah Lower Ground Tower 2 & 3	22
<b>Gambar 3.3</b> Denah Basement 1 Tower 2 & 3	23
<b>Gambar 3.4</b> Denah Basement 2 Tower 2 & 3	23
<b>Gambar 3.5</b> Pembagian Daerah/Lokasi Titik Pengukuran Basement 2	26
<b>Gambar 3.6</b> Hasil Simulasi Basement 2	29
<b>Gambar 3.7</b> Hasil Simulasi Basement 1	29
<b>Gambar 3.8</b> Hasil Simulasi Lower Ground	30
<b>Gambar 4.1</b> Hasil Simulasi Aktual Basement 2	38
<b>Gambar 4.2</b> Hasil Simulasi Aktual Basement 1	38
<b>Gambar 4.3</b> Hasil Simulasi Aktual Lower Ground	39
<b>Gambar 4.4</b> Hasil Simulasi Recommended Basement 2	45
<b>Gambar 4.5</b> Hasil Simulasi Recommended Basement 1	46
<b>Gambar 4.6</b> Hasil Simulasi Recommended Lower Ground	48
<b>Gambar 4.7</b> Hasil Simulasi Standard Basement 2	52
<b>Gambar 4.8</b> Hasil Simulasi Standard Basement 1	57
<b>Gambar 4.9</b> Hasil Simulasi Standard Lower Ground	62
<b>Gambar 4.10</b> Hasil Simulasi Akual Penumpukan Konsentrasi CO Pada Basement 2	65
<b>Gambar 4.11</b> Pola Aliran Udara dan CO Hasil Simulasi Aktual Pada Basement 2	65
<b>Gambar 4.12</b> Pola Aliran Udara dan CO Hasil Simulasi Recommended Pada Basement 2	66
<b>Gambar 4.13</b> Hasil simulasi Standard Penumpukan Konsentrasi CO Pada Basement 2	67
<b>Gambar 4.14</b> Pola Aliran Udara dan CO Hasil Simulasi Standard Pada Basement 2	68

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Standar ventilasi ruang parkir tertutup (ASHRAE 62.1.2004)	18
<b>Tabel 3.1</b> Data supply dan exhaust recommended Basement 2	31
<b>Tabel 3.2</b> Data supply dan exhaust recommended Basement 1	31
<b>Tabel 3.3</b> Data supply dan exhaust recommended Lower Ground	31
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Pengukuran Recommended	34
<b>Tabel 4.2</b> Selisih Persentase Ventilation Rate Aktual Dengan Standard - Standard	35
<b>Tabel 4.3</b> Kebutuhan Udara Untuk Menetralsir CO	37
<b>Tabel 4.4</b> Selisih Data Hasil Pengukuran dan Hasil Simulasi Basement 2	40
<b>Tabel 4.5</b> Selisih Data Hasil Pengukuran dan Hasil Simulasi Basement 1	41
<b>Tabel 4.6</b> Selisih Data Hasil Pengukuran dan Hasil Simulasi Lower Ground	42
<b>Tabel 4.7</b> Data dimensi Basement 2	50
<b>Tabel 4.8</b> Data hasil pengukuran simulasi standard pada Basement 2	52
<b>Tabel 4.9</b> Data dimensi Basement 1	55
<b>Tabel 4.10</b> Data hasil pengukuran simulasi standard pada Basement 1	57
<b>Tabel 4.11</b> Data dimensi Lower Ground	60
<b>Tabel 4.12</b> Data hasil pengukuran simulasi standard pada Lower Ground	62

## DAFTAR GRAFIK

	Halaman
<b>Grafik 4.1</b> Hasil pengukuran aktual dan simulasi aktual Basement 2	40
<b>Grafik 4.2</b> Selisih Pengukuran Aktual dan Simulasi Aktual Basement 2	40
<b>Grafik 4.3</b> Hasil pengukuran aktual dan simulasi aktual Basement 1	41
<b>Grafik 4.4</b> Selisih Pengukuran Aktual dan Simulasi Aktual Basement 1	42
<b>Grafik 4.5</b> Hasil pengukuran aktual dan simulasi aktual Lower Ground	43
<b>Grafik 4.6</b> Selisih Pengukuran Aktual dan Simulasi Aktual Lower Ground	43
<b>Grafik 4.7</b> Perbedaan temperature antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi recommended Basement 2	46
<b>Grafik 4.8</b> Perbedaan temperature antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi recommended Basement 1	47
<b>Grafik 4.9</b> Perbedaan temperature antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi recommended Lower Ground	49
<b>Grafik 4.10</b> Perbedaan temperature antara hasil simulasi aktual, hasil simulasi recommended dan hasil simulasi standar Basement 2	54
<b>Grafik 4.11</b> Perbedaan temperature antara hasil simulasi aktual, hasil simulasi recommended dan hasil simulasi standar Basement 1	59
<b>Grafik 4.12</b> Perbedaan temperature antara hasil simulasi aktual, hasil simulasi recommended dan hasil simulasi standar Lower Ground	64

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b> Data hasil pengukuran aktual pada Basement 2	71
<b>Lampiran 2</b> Data hasil pengukuran aktual pada Basement 1	72
<b>Lampiran 3</b> Data hasil pengukuran aktual pada Basement 2	73
<b>Lampiran 4</b> Data supply dan exhaust recommended Basement 2	74
<b>Lampiran 5</b> Data supply dan exhaust recommended Basement 1	77
<b>Lampiran 6</b> Data supply dan exhaust recommended Lower Ground	79
<b>Lampiran 7</b> Tabel selisih data hasil pengukuran dan hasil simulasi Basement 2	81
<b>Lampiran 8</b> Tabel selisih data hasil pengukuran dan hasil simulasi Basement 1	84
<b>Lampiran 9</b> Tabel selisih data hasil pengukuran dan hasil simulasi Lower Ground	86

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Pesatnya laju pembangunan saat ini dikarenakan kebutuhan atas bangunan atau gedung tersebut, baik digunakan sebagai tempat usaha, hiburan maupun tempat tinggal. Bangunan yang baik, bukanlah bangunan yang hanya sekedar indah, namun juga harus memperhatikan aspek kenyamanan. Tidak terlepas dari itu semua, ruang parkir pun perlu diperhatikan sebagai salah satu bagian dari ruangan yang membutuhkan kenyamanan berada didalamnya walaupun dengan beberapa parameter kenyamanan yang berbeda dari ruangan utama. Unsur kenyamanan meliputi kenyamanan termal, akustik, dan visual termasuk kualitas udara dalam ruangan yang dipengaruhi oleh semua elemen yang berada dalam ruangan itu sendiri, termasuk fungsi ruangan dan system tata udaranya.

Untuk memenuhi segala jenis kenyamanan tersebut, sistem tata udara pada bangunan mempunyai peranan yang sangat penting dalam mengendalikan suhu, kelembaban udara, kualitas udara dan pergerakan udara sehingga kondisi kenyamanan termil yang dibutuhkan pada suatu ruangan dapat terpenuhi sesuai standar yang berlaku dan diinginkan.

Seperti diketahui bahwa udara didalam ruang parkir tertutup (*enclosed park space*) mengandung gas hasil pembakaran yang tidak sempurna dari kendaraan bermotor seperti gas CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> dan lain – lain, sehingga diperlukan suatu sistem ventilasi mekanik yang dikondisikan sehingga diharapkan dapat membuat dan mempercepat pergerakan atau pergantian udara dari dari dalam keluar ruangan dan sebaliknya, sehingga dapat mengendalikan tingkat kenyamanan pada ruangan tersebut. Dengan adanya udara yang bergerak dan bersirkulasi tersebut, diharapkan kondisi udara di dalam ruangan menjadi baik kualitasnya dan sesuai dengan standar yang diinginkan. Untuk dapat menghasilkan kondisi ruangan seperti yang diharapkan



tersebut sehingga terpenuhi kenyamanannya, maka diperlukan beberapa analisis mengenai sifat dan pola aliran, serta distribusi udara dalam ruangan tersebut.

Adapun cara untuk melakukan penganalisaan aliran udara dan perpindahan kalor dalam ruangan dapat dilakukan dengan CFD (Computational Fluid Dynamics). Metode CFD menggunakan analisis numerik yaitu kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan yang terdiri atas persamaan keseimbangan massa, momentum dan energi, sehingga penyelesaian persamaan untuk benda dua atau tiga dimensi lebih cepat dapat dilakukan secara simultan/bersamaan. Dalam hal ini program yang digunakan dalam CFD untuk menyelesaikan permasalahan aliran udara dan perpindahan kalor pada ruangan tersebut yang digunakan yaitu program FLOVENT V7.

## 1.2 TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Memenuhi salah satu syarat kelulusan Program Pendidikan Sarjana Ekstensi pada jurusan Teknik Mesin.
2. Membuat modeling dan simulasi serta menganalisis sistem tata udara pada *underground car park* untuk mengetahui pola distribusi udara dan temperaturnya dengan menggunakan FLOVENT V7.
3. Mengkaji ulang sistem ventilasi mekanik untuk suatu *underground car park* sesuai dengan standar yang berlaku serta membandingkan hasil analisa aktual dengan simulasi.

### 1.3 PEMBATASAN MASALAH

Dalam tugas akhir ini penulis akan melakukan simulasi, pemodelan distribusi aliran udara dan temperatur di dalam ruang parkir serta menganalisa sistem tata udaranya sesuai dengan standar-standar yang telah ada, seperti ASHRAE, IMC ataupun VDI (German).

Adapun batasan mengenai data perancangan adalah sebagai berikut:

1. Dimensi dan denah ruangan.
2. Posisi/letak dan jumlah kendaraan di ruang parkir.
3. Ducting layout
4. Temperatur, relative humidity, pressure, dan aliran udara pada ruang parkir.
5. Temperatur udara luar

### 1.4 METODE PENULISAN

Metode yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah dengan melakukan survey, studi literature, konsultasi dan melakukan percobaan/simulasi.

#### 1. Survey

Dengan pengambilan data langsung terhadap ruang parkir yang akan di analisa. Beberapa data yang diambil antaranya :

- a. Temperatur dan RH pada beberapa lokasi titik pengukuran.
- b. Flow pada intake dan exhaust.
- c. Data – data fan yang digunakan.

#### 2. Studi literature

Literatur yang digunakan sebagai acuan dalam tugas akhir ini adalah buku, jurnal, disertasi dan melalui internet. Literatur-literatur tersebut menjadi acuan dalam merancang model pola distribusi aliran udara dan temperature pada ruang parkir.

### 3. Konsultasi

Konsultasi langsung dengan dosen pembimbing/dosen yang terkait ataupun tenaga profesional/ konsultan mengenai standard sirkulasi udara underground car park ini.

### 4. Melakukan percobaan/simulasi

Melakukan percobaan/simulasi berulang-ulang pada rancangan yang telah dibuat sehingga mendapatkan rancangan yang diinginkan.

## 1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Adapun sistematika penulisan yang dibuat pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang latar belakang dan tujuan penulis, pembatasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan.

### BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori – teori yang mendukung penulisan tugas akhir ini. Disini dijelaskan mengenai sistem tata udara, jenis ventilasi, aliran udara, jenis ruang parkir, serta standar yang akan digunakan pada perancangan ruang parkir.

### BAB III METODE PENELITIAN DAN PENGAMBILAN DATA

Pada bab ini akan diberikan data – data pengukuran dan perancangan yang meliputi struktur dan dimensi ruangan, ventilasi dan daya tiap unit yang digunakan. Selain itu pada bab ini juga dijelaskan bagaimana alur atau langkah penganalisaan.

#### BAB IV HASIL dan ANALISA

Pada bab ini memuat data pengukuran dan hasil dari proses pengolahan data yang dianalisa dan dibuat modeling serta disimulasikan pada program FLOVENT V7.

#### BAB V KESIMPULAN dan SARAN

Pada bab ini mengutarakan kesimpulan dan saran yang didapat setelah melakukan analisa dan simulasi pada program FLOVENT V7.



## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. SISTEM TATA UDARA**

##### **2.1.1. Penjelasan Umum**

Sistem tata udara adalah suatu proses mendinginkan/memanaskan udara sehingga dapat mencapai suhu dan kelembaban yang diinginkan/dipersyaratkan. pada prinsipnya merupakan salah satu bentuk dari pengembangan teknologi sistem refrigerasi. Secara umum pengertian tata udara mencakup aspek yang cukup luas, yang sasarannya tidak hanya mengatur aliran udara dan memberikan rasa sejuk semata bagi orang didalamnya, tetapi juga termasuk aspek-aspek lain, diantaranya kenyamanan, kebersihan udara, dan kondisi tertentu untuk ruangan yang dikondisikan.

Faktor kenyamanan merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam perancangan suatu sistem tata udara, kenyamanan dalam suatu ruangan pada umumnya ditentukan oleh beberapa parameter seperti suhu udara, kelembaban udara, kebersihan udara, bau, dan tingkat kebisingan didalam ruangan yang dikondisikan tersebut.

##### **2.1.2. Aliran Udara**

Udara merupakan elemen yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Tanpa udara manusia tidak dapat bertahan hidup. Ventilasi (Ventus, wind, angin) adalah pergerakan udara masuk dan keluar. Maka dengan adanya ventilasi didalam ruangan akan memudahkan pergerakan udara dari luar ruangan ke dalam ruangan maupun sebaliknya, sehingga ada pergantian udara, disamping itu ventilasi juga dapat mengendalikan suhu, kelembaban udara, kualitas udara dan pergerakan udara dan suhu sehingga kondisi kenyamanan thermal yang dibutuhkan dapat terpenuhi.

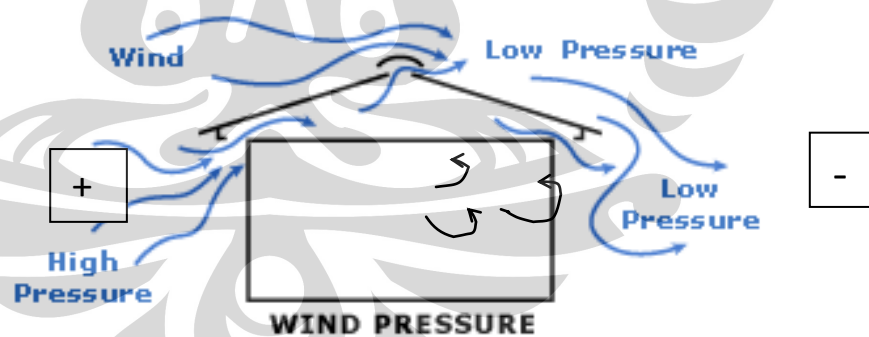
Angin merupakan udara yang bergerak, dan udara bergerak karena adanya gaya yang diakibatkan oleh perbedaan tekanan dan suhu. Kedua pola ini dapat diukur

dalam perancangan ruang – ruang yang harus saling mendukung dan tidak saling berlawanan. Besarnya tekanan angin pada ruang suatu bangunan tergantung dari banyak factor, yaitu kecepatan angin itu sendiri, ukuran dan bentuk geometri dari bangunan dan sudut datangnya angin serta besarnya kapasitas fan yang bekerja sebagai alat ventilasi buatan. Lubang ventilasi dan penempatannya harus dirancang sedemikian rupa agar dapat memenuhi kebutuhan udara dan kenyamanan didalam ruangan.

Adapun beberapa mekanisme yang menyebabkan adanya pergerakan udara antara lain :

#### 1. Faktor angin

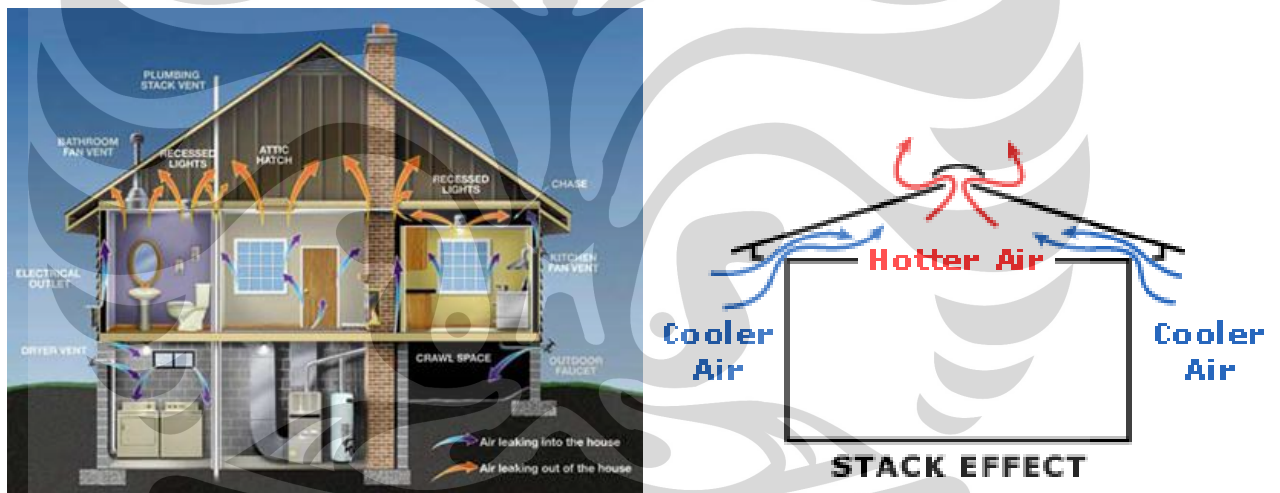
Yaitu karena adanya perbedaan tekanan. Angin yang bertiup atau menerpa dengan kecepatan dan arah tertentu pada bangunan dapat menimbulkan perbedaan tekanan pada lokasi yang berbeda dan menghasilkan distribusi tekanan pada bangunan yang akan mengakibatkan tekanan positif maka akan terjadi aliran udara masuk melalui bukaan atau lubang – lubang bangunan bidang penerima angin datang, dan mengakibatkan tekanan negative maka akan terjadi aliran udara keluar dari bangunan bidang yang berlawanan, dan pada bidang – bidang samping.



Gambar 2.1 Aliran udara karena angin

## 2. Faktor thermal

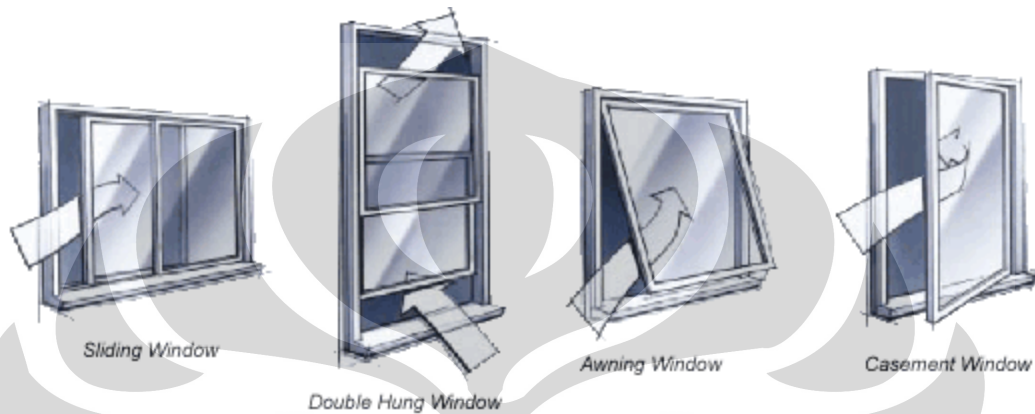
Yaitu karena adanya perbedaan temperature dibawah dan atas ruangan dan diluar ruangan dengan temperature didalam ruangan. Aliran udara dalam ruangan juga dapat terjadi karena perbedaan temperature udara, yang secara vertical karena adanya perbedaan temperature dibawah dan diatas ruangan tersebut. Udara yang lebih dingin akan bergerak keatas ruangan karena udara diatas lebih panas atau sebaliknya, pergerakan ini disebabkan karena perbedaan masa jenis udara panas dan dingin. Secara horizontal bila temperature dalam ruangan lebih tinggi dari pada diluar ruangan, maka udara dari luar akan masuk melalui lubang – lubang atau bukaan yang ada. Bila yang terjadi adalah sebaliknya, maka udara didalam ruangan yang lebih panas akan keluar bangunan melalui lubang – lubang bukaan yang ada.



Gambar 2.2 Aliran udara karena perbedaan temperatur

### 3. Factor bentuk bangunan

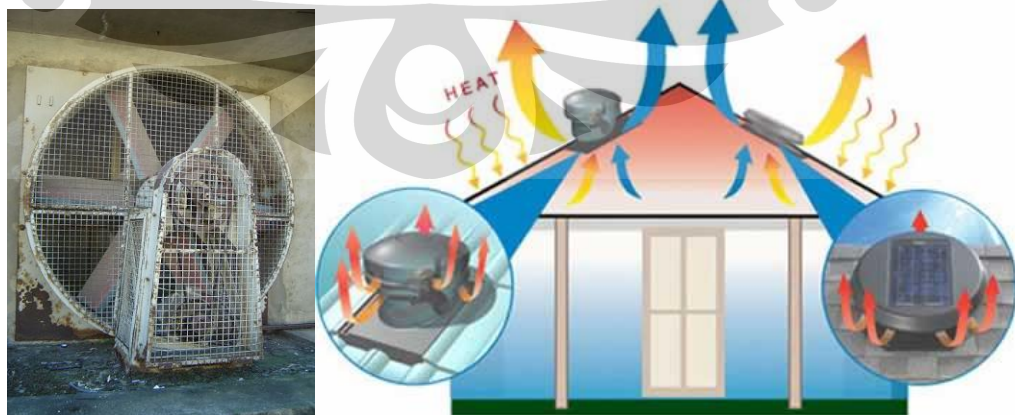
Yaitu karena adanya beragam bentuk bukaan yang dapat mempengaruhi atau membentuk aliran udara tersebut. Seperti contoh pada gambar bentuk – bentuk yang berada pada lubang atau bukaan jendela akan menghasilkan pola atau mekanisme aliran udara yang berbeda – beda tergantung jenis bukaan tersebut.



Gambar 2.3 Aliran udara karena faktor bentuk bangunan

### 4. Faktor yang bersumber dari peralatan mekanikal (buatan).

Yaitu peralatan mekanik berupa kipas atau fan yang berfungsi sebagai *intake* dan *exhaust*. Fan tersebut dipasang pada ruangan sesuai kebutuhannya yang akan menyebabkan atau terbentuk aliran udara sehingga terjadinya sirkulasi pada ruangan tersebut.



Gambar 2.4 Ventilasi fan



## 2.2. Ventilasi

Ventilasi adalah metode yang sangat penting untuk mengurangi kontaminan yang berada di udara, selain itu juga memiliki tujuan lain yaitu mencegah terakumulasinya konsentrasi zat yang mudah terbakar atau meledak, seperti gas, uap dan debu. Design yang tepat dan penggunaan sistem ventilasi yang dibutuhkan merupakan sebuah pemahaman yang dibutuhkan untuk memecahkan permasalahan tersebut.

Tidak lama beberapa waktu yang lalu banyak yang mendiskusikan mengenai tempat kerja yang udaranya terkontaminasi, terfokus hanya pada operasi industrial. Tetapi belakangan ini permasalahan polusi terhadap karyawan yang bekerja pada ruang kantor tertutup merupakan hal yang sama pentingnya demi kesehatan dan keselamatan pekerja.

Proses pemasukan atau pergantian udara (bersih/segar) dari luar dan pengeluaran udara yang berkualitas kurang baik dari dalam ruangan secara alami maupun dengan bantuan alat mekanis disini yang dimaksud ventilasi. Dengan udara yang selalu bergerak diharapkan kondisi udara didalam ruangan akan terjaga kualitasnya. Jadi dengan adanya ventilasi dapat digunakan untuk mengendalikan temperature, kelembaban udara, kualitas udara dan pergerakan udara, sehingga kontaminan yang berada dalam udara tersebut dapat dinetralisir maka kondisi kenyamanan thermal yang distandarkan dapat terpenuhi.

Ventilasi terjadi jika terdapat perbedaan tekanan udara. Ventilasi dengan tekanan udara tertentu dapat mempengaruhi kecepatan pergerakan udara, arah pergerakan, intensitas dan pola aliran serta rintangan setempat. Laju ventilasi diukur dengan satuan massa udara perunit waktu. Laju ventilasi minimum pada ruangan biasanya didasarkan pada kebutuhan pergerakan udara untuk kontrol kelembaban. Gangguan ventilasi udara berupa kurangnya udara segar yang masuk, serta buruknya distribusi udara dan kurang lancar, suhu dan kelembaban udara yang tidak nyaman.

Dengan adanya ventilasi, dapat menciptakan atau memperoleh sensasi nyaman dan sejuk atau kualitas serta kenyamanan dalam ruangan bagi orang yang berada didalamnya karena memberikan hembusan angi yang mengenai kulitnya

ataupun mengambil panas (terjadi perpindahan panas) benda ataupun badan (kulit) tersebut ke udara dengan memanfaatkan aliran atau pergerakan angin secara alami maupun dengan bantuan peralatan (mekanik). Besar/jumlah angin dan pergerakan atau aliran angin tersebut bila prosesnya berlangsung terus menerus dapat menipu atau membuat perasaan kita tentang temperatur udara tersebut merasakan lebihnyaman dan sejuk, walaupun temperatur udaranya sama atau tinggi (terhadap kondisi acuan temperatur kenyamanan thermal) didalam ruangan tersebut ataupun dapat menurunkan temperatur udara dalam ruangan tersebut.

### 2.2.1. Tujuan Ventilasi

Berdasarkan SNI 03 – 6572 – 2001 ventilasi bertujuan untuk :

1. Menghilangkan gas-gas yang tidak menyenangkan yang ditimbulkan oleh keringat dan sebagainya.
2. Menghilangkan gas-gas pembakaran ( $\text{CO}_2$ ) yang ditimbulkan oleh pernafasan dan proses-proses pembakaran.
3. Menghilangkan uap air yang timbul sewaktu memasak, mandi dan sebagainya.
4. Menghilangkan kalor yang berlebihan.
5. Membantu mendapatkan kenyamanan thermal.
6. Mengurangi konsentrasi gas – gas yang mudah terbakar atau meledak.

### 2.2.2. Jenis Ventilasi

Ventilasi dapat berjalan secara alami (natural) maupun mekanikal (buatan)

#### a. Ventilasi Alami (natural)

Ventilasi alami adalah pergantian udara secara alami (tidak melibatkan peralatan mekanis, seperti mesin penyejuk udara yang dikenal dengan Air Conditioner (AC), kipas angin, penghisap dsb). Ventilasi alami menawarkan ventilasi yang sehat, nyaman, dan tanpa energi tambahan.

Ventilasi alami dipicu oleh perbedaan tekanan karena pergerakan angin diluar bangunan dan/atau perbedaan suhu dalam ruang. Sehingga banyak tergantung pada kekuataangin dan perbedaan tekanan udara serta

temperatur di luar dan didalam ruangan dan untuk ventilasi alami, diperlukan lubang-lubang ventilasi guna memasukan atau mengeluarkan udara dalam ruangan. Laju pertukaran udara pada ventilasi dipengaruhi oleh total luas bukaan, arah bukaan, kecepatan angin dan perbedaan temperatur di luar dan di dalam ruangan. Sehingga mempengaruhi atau membentuk pola aliran dan distribusi udara dalam ruangan yang dapat menentukan besarnya distribusi suhu dan kelembaban udara serta temperatur dalam ruangan.

b. Ventilasi buatan (mekanik)

Ventilasi buatan (mekanik) adalah pergantian udara yang tidak secara alami atau melibatkan peralatan mekanis, (seperti mesin penyejuk udara yang dikenal dengan Air Conditioner (AC), kipas angin, penghisap dsb). Ventilasi buatan dapat membantu atau menyediakan dan mengontrol serta memasukan ataupun menghisap aliran udara kedalam bangunan (ruangan) dimana ventilasi secara alami tidak dapat memberikan atau karena keterbatasannya tersebut, sehingga kualitas dan kenyamanan dalam ruangan tersebut dapat terpenuhi. Ada juga ventilasi buatan yang dapat mengurangi panas udara dalam ruangan dengan cara menghisap udara panas yang ada dalam ruangan sehingga panas tersebut dapat diminimalisir. Namun dengan ventilasi buatan ini memberikan atau memperhitungkan tambahan biaya operasional, biaya pemeliharaan dan biaya pergantian dalam penggunaannya.

Ventilasi mekanik dibagi menjadi dua, yaitu sebagai berikut :

1. *Dilution exhaust ventilation*

Dilution ventilasi ini terjadi ketika contaminants keluar dari ruang kerja bercampur dengan udara yang mengalir keruangan tersebut. Baik secara natural maupun secara mekanik asal udara tersebut yang digunakan untuk menetralsir contaminants.

Kerugian dari sistem ini adalah besarnya volume udara yang dibutuhkan untuk menetralsir contaminants dan susahya pengontrolan udara bersih yang digunakan untuk menetralsir contaminants.

## 2. *Local exhaust ventilation*

Local exhaust system bekerja dengan menangkap polutan pada sumbernya sebelum polutan tersebut masuk kedalam daerah ruang kerja. Sistem seperti ini terdiri dari duct, hood, filter, fan dan udara bersih bila dibutuhkan.

Keuntungan menggunakan sistem ventilasi ini adalah sistem ini membuang polutan tidak hanya sekedar menetralsirnya. Walaupun polutan kemungkinan masih berada dalam ruang kerja karena efisiensi penangkapan polutan di hood tersebut tidak dapat 100%.

Perlu diingat pada saat memilih bahan bangunan yang sensitif pada lingkungan tidak menjamin menghasilkan lingkungan dalam menjadi lebih baik. pemilihan bahan bangunan tersebut harus dapat dikordinasikan dengan sistem ventilasi dan mekanisasi yang baik untuk menghasilkan kualitas lingkungan dalam yang baik. Ventilasi yang efektif dan cukup sangat menentukan kualitas kandungan udara yang baik dalam ruangan. Pengaruh ventilasi yang besar bagi kenyamanan pemakai bangunan dan juga mengontrol tingkat polusi dalam bangunan. Ventilasi juga merupakan kunci penting untuk menjaga agar kualitas udara dalam ruangan termasuk mensuplai udara bersih yang masuk keseluruh ruangan lain sehingga udara dapat berputar dengan baik dan memenuhi kebutuhan pernafasan pemakaian ruangan.

### **2.3. Indoor Air Quality**

#### **2.3.1. Penjelasan umum**

Dapat disimpulkan bahwa indoor air quality adalah kualitas udara yang ada didalam sebuah ruangan tertutup yang dapat mempengaruhi pengguna ruangan tersebut serta kenyamanan dari ruangan tersebut. Jika kualitas udara didalam ruangan tersebut tidak baik maka akibatnya akan menimbulkan penyakit bagi penghuni yang berada lama/tinggal didalamnya. Penyakit yang disebabkan oleh kualitas udara yang

buruk antara lain adalah asma, mata menjadi perih, kulit gatal-gatal, ataupun penularan penyakit pasien rumah sakit yang ada didalam ruangan itu sendiri.

ANSI/SHRAE 62.1.2007 mengenai *Air Indoor Quality Procedure* adalah berdasarkan pendekatan design pada bangunan dan sistem ventilasinya dimana dapat mengontrol konsentrasi dari kontaminan tertentu pada atau dibawah batas dari batas – batas yang diidentifikasi pada saat mendesign bangunan tersebut dan untuk mencapai target design kualitas udara di dalam ruangan yang dirasakan dapat diterima oleh penghuni bangunan atau pengunjung. Untuk tujuan dari prosedur ini, kualitas udara di dalam ruangan ini dirasa dapat diterima kecuali ketidakpuasan yang berhubungan dengan bising dan getaran, pencahayaan dan stress psikologis.

Sumber pencemaran udara dalam ruangan menurut penelitian *The National Institute of Occupational Safety and Health* (NIOSH) dirinci menjadi 5 meliputi :

1. Pencemaran akibat kegiatan penghuni dalam gedung seperti asap rokok, pestisida, bahan pembersih ruangan.
2. Pencemaran dari luar gedung meliputi masuknya gas buangan kendaraan bermotor, cerobong asap dapur karena penempatan lokasi lubang ventilasi yang tidak tepat.
3. Pencemaran dari bahan bangunan ruangan seperti formaldehid, lem, asbestos, fibreglass, dan bahan lainnya.
4. Pencemaran mikroba meliputi bakteri, jamur, virus, ata protozoa yang dapat ditemukan di saluran udara dan alat pendingin ruangan beserta seluruh sistemnya.
5. Kurangnya udara segar yang masuk karena gangguan ventilasi udara dan kurangnya perawatan sistem peralatan ventilasi.

## **2.4. Ruang Parkir**

### **2.4.1. Penjelasan Umum**

Parkir adalah keadaan tidak bergerak suatu kendaraan yang bersifat sementara karena ditinggalkan oleh pengemudinya. Secara hukum dilarang untuk parkir di tengah jalan raya, namun parkir di sisi jalan umumnya diperbolehkan. Fasilitas parkir

dibangun bersama-sama dengan kebanyakan gedung, untuk memfasilitasi kendaraan pemakai gedung. Termasuk dalam pengertian parkir adalah setiap kendaraan yang berhenti pada tempat-tempat tertentu baik yang dinyatakan dengan rambu lalu lintas ataupun tidak, serta tidak semata-mata untuk kepentingan menaikkan dan/atau menurunkan orang dan/atau barang. Ada tiga jenis utama parkir, yang berdasarkan mengatur posisi kendaraan, yaitu parkir paralel, parkir tegak lurus, dan parkir serong.

Ruang parkir adalah ruang yang khusus dibangun untuk tempat parkir kendaraan, dengan demikian pemakaian lahan terutama dikawasan pusat kota dapat dilakukan secara efisien. Ruang parkir dapat dikombinasikan dengan pusat kegiatan, dimana lantai basement dan beberapa lantai di atasnya digunakan untuk parkir dan selanjutnya di atasnya ditempatkan bangunan pusat kegiatan seperti pertokoan, perkantoran dan pusat kegiatan lainnya. Ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam design ruang parkir yaitu :

1. Rampa naik-turun

Untuk bisa naik dan turun antar lantai digunakan rampa dengan kelandaian tertentu dan dikelompokkan atas:

- a. Rampa didalam gedung, yang menghubungkan lantai dengan lantai dengan kelandaian[1] 15 % dan harus ditambah dengan kelandaian yang lebih kecil pada awal dan akhir rampa sebesar 8 sampai 9 % untuk menghindari tersangkutnya bumper depan atau belakang sedan.
- b. Rampa diluar gedung, biasanya berbentuk spiral ditempatkan di kedua sisi gedung bila satu arah atau disalah satu sisi bila rampa spiral ini dibuat untuk arus dua arah.

2. Struktur bangunan

Bangunan parkir dapat dibangun dengan dua cara yaitu dengan cara bertingkat biasa, lantai satu diatas lantai lainnya atau split level yang dapat menghemat

ruang untuk pintu rampanya yang lebih pendek. Bangunan dapat dibangun dengan struktur beton bertulang ataupun dengan rangka baja yang dikombinasi dengan lantai beton

### 3. Keselamatan

Ada beberapa aspek keselamatan yang perlu diperhatikan dalam pembangunan gedung parkir, yaitu:

- a. Dinding yang cukup kuat pada rampa ataupun pada ruang parkir, mengingat beberapa kejadian mengesankan terjadi di Jakarta beberapa waktu yang lalu, dimana kendaraan terjun melalui dinding yang rusak akibat ketabrak mobil yang sedang masuk atau keluar ruang parkir atau berjalan di rampa.
- b. Stopper parkir untuk menahan kendaraan yang parkir tidak melampaui ruang parkir.
- c. Sirkulasi udara didalam ruang gedung parkir

## 2.5. Ventilasi Ruang Parkir

### 2.5.1. Penjelasan Umum

Ruangan parkir kendaraan bermotor biasanya berupa ruangan tertutup atau ruangan terbuka. Pada ruangan terbuka biasanya bertingkat keatas dengan sisi – sisi bangunannya setengah terbuka, sehingga tidak sama sekali dibutuhkan ventilasi buatan. Akan tetapi ruang parkir tertutup biasanya berada di bawah tanah dan membutuhkan ventilasi buatan. Dengan kondisi seperti itu tentu saja ruang parkir tertutup tersebut menghadirkan dua bahkan lebih permasalahan kualitas udara didalam ruang parkir tersebut. Yang paling serius disini adalah kadar Carbon Monoxide (CO) dan nitrogen (NO<sub>x</sub>) yang dikeluarkan exhaust kendaraan bermotor dari hasil pembakaran yang tidak sempurna, selain itu juga asap yang dikeluarkan dari mesin diesel. Dengan polutan seperti itu dapat menyebabkan mual dan pusing,

bila telah melebihi ambang batas dapat menyebabkan kematian dan juga dapat menyebabkan potensi kebakaran.

### 2.5.2. Ruang Parkir Tertutup

Sebagaimana kebutuhan udara sangat dibutuhkan pada tipe ruang parkir tertutup ini, karena sangat tidak memungkinkan udara akan bergerak secara natural keseluruhan ruangan. Untuk itu dibuat berupa ducting yang berfungsi sebagai alat bantu mensuplai udara ke seluruh ruangan secara merata.

Untuk menentukan tingkat kebutuhan ventilasi untuk ruang parkir, dipengaruhi dua factor yaitu jumlah kendaraan yang beroperasi dan tingkatan kadar emisi. Untuk jumlah kendaraan yang beroperasi tergantung dari tipe fasilitas yang disediakan oleh ruang parkir tersebut dan jumlahnya dapat berubah – ubah dari 3% (*shopping area*) – 20% (*sport stadium*) dari jumlah total kapasitas kendaraan. Untuk emisi karbon monoksida tergantung pada umur kendaraan, power kendaraan dan tingkat perawatan kendaraan.

Untuk beberapa tahun, berbagai macam model *standard*, ANSI/ASHRAE *Standard* 62.1, dan prosedur *Standard*-nya menyarankan untuk *exhaust rate* adalah  $0.0075\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  atau 6 ach untuk jenis ruang parkir tertutup ini. Tetapi dikarenakan emisi buang kendaraan bermotor semakin berkurang dari tahun ke tahun dan itu dibuktikan dari penelitian yang disponsori oleh ASHRAE untuk menentukan tingkat ventilasi yang diperlukan untuk mengontrol tingkat kontaminasi pada ruang parkir tertutup.

Dari penelitian tersebut akhirnya dari tahun ke tahun perbaikan/perbaharuan standar dilakukan. Sedangkan untuk ruang parkir tertutup, ANSI/ASHRAE Standar 62.1.2004 *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* adalah  $7.6\text{ L/s}\cdot\text{m}^2$  ( $1.5\text{ cfm/ft}^2$ ) sedangkan 62.1.2007, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* adalah spesifikasi sebuah tetapan dasar ventilasi yaitu  $3.7\text{ L/s}\cdot\text{m}^2$  ( $0.75\text{ cfm/ft}^2$ ) dari luas kotor area. Oleh karena itu sebuah alirannya pada ventilasi tersebut sekitar 11,25 air change per hour (ach) yang dibutuhkan untuk ruang parkir dengan tinggi langit - langit 2,5 m (8ft).



Bagaimanapun juga banyak terdapat macam sumber standarisasi seperti International Mechanical Code(IMC) 403.3.2009 masih menggunakan standar  $0.0075\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  sedangkan *National Fire Protection Association NFPA Standard 88A* menyarankan minimal  $0.005\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$  dan masih banyak lagi badan standar lainnya yang mengatur mengenai ventilasi ruang parkir tertutup ini. Bagaimanapun juga dari berbagai macam sumber standarisasi, mereka menjelaskan bahwa *air change per hour (ach)* adalah 4 sampai 6. Dengan kata lain beberapa macam sumber standarisasi mengizinkan untuk mengubah bahkan mengurangi ventilasi rate tersebut untuk menghemat energy pada fan jika pengontrolan terhadap kadar CO dapat dilakukan dengan baik.

Table 2.1 Standar ventilasi ruang parkir tertutup (ASHRAE 62.1.2004)

	Time (hrs)	PPM	Ventilation
Canada	8 1	11/13 25/30	—
Finland	8 15 minutes	30 75	2.7 L/s · m <sup>2</sup> (0.53 cfm/ft <sup>2</sup> )
France	Ceiling 20 minutes	200 100	165 L/s · car (350 cfm/car)
Germany	—	—	3.3 L/s · m <sup>2</sup> (0.66 cfm/ft <sup>2</sup> )
Japan/South Korea	—	—	6.35–7.62 L/s · m <sup>2</sup> (1.25–1.5 cfm/ft <sup>2</sup> )
Netherlands	0.5	200	—
Sweden	—	—	0.91 L/s · m <sup>2</sup> (0.18 cfm/ft <sup>2</sup> )
U.K.	8 15 minutes	50 300	6–10 ACH

	Time (hrs)	PPM	Ventilation
ASHRAE	8 1	9 35	7.6 L/s · m <sup>2</sup> (1.5 cfm/ft <sup>2</sup> )
ICBO	8 1	50 200	7.6 L/s · m <sup>2</sup> (1.5 cfm/ft <sup>2</sup> )
NIOSH/ OSHA	8 Ceiling	35 200	—
BOCA	—	—	6 ACH
SBCCI	—	—	6–7 ACH
NFPA	—	—	6 ACH
ACGIH	8	25	—

Berikut diatas pada table 2.1 menjelaskan persyaratan dan standar untuk ventilasi ruang parkir tertutup di United State dan berbagai negara lainnya. Sebagaimana dijelaskan pada table 2.1. menyarankan bahwa batasan konsentrasi untuk CO antara United State dan Negara lainnya berbeda, bagaimanapun juga rekomendasi menawarkan sebuah indikasi dari resiko dari adanya CO di ruangan parkir. Tetapi batasan kandungan CO pada 25 ppm untuk jangka waktu yang panjang hampir semua Negara menggunakan standar itu.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN DAN PENGAMBILAN DATA**

#### **3.1. Metode Penelitian**

##### **3.1.1. Penjelasan Umum**

Metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini dengan melakukan pengambilan data di lapangan yaitu dengan melakukan pengukuran kecepatan aliran udara, temperatur ruangan dan ambient dan kelembaban udara sesuai daerah pada ruangan yang harus diukur dengan acuan denah bangunan yang telah dibagi dalam beberapa titik bagian pengambilan data. Hasil pengukuran tersebut kemudian diolah sebagai masukan data pada program FLOVENT guna melakukan penelitian objek dengan cara disimulasikan. Tujuan dari pensimulasian ini adalah untuk mengetahui karakteristik ruangan secara visual yaitu bagaimana arah dan laju serta pola atau distribusi aliran udara, distribusi temperatur, kelembaban udara, kecepatan pergerakan udara pada objek penelitian tersebut sebagai validasi dari data yang telah diambil dari lapangan serta sebagai pensimulasian ulang kembali dari perbaikan sistem ventilasi dari sebelumnya yang belum memenuhi standar kebutuhan volume udara dalam ruangan tersebut.

##### **3.1.2. Objek, Tempat dan Waktu Penelitian**

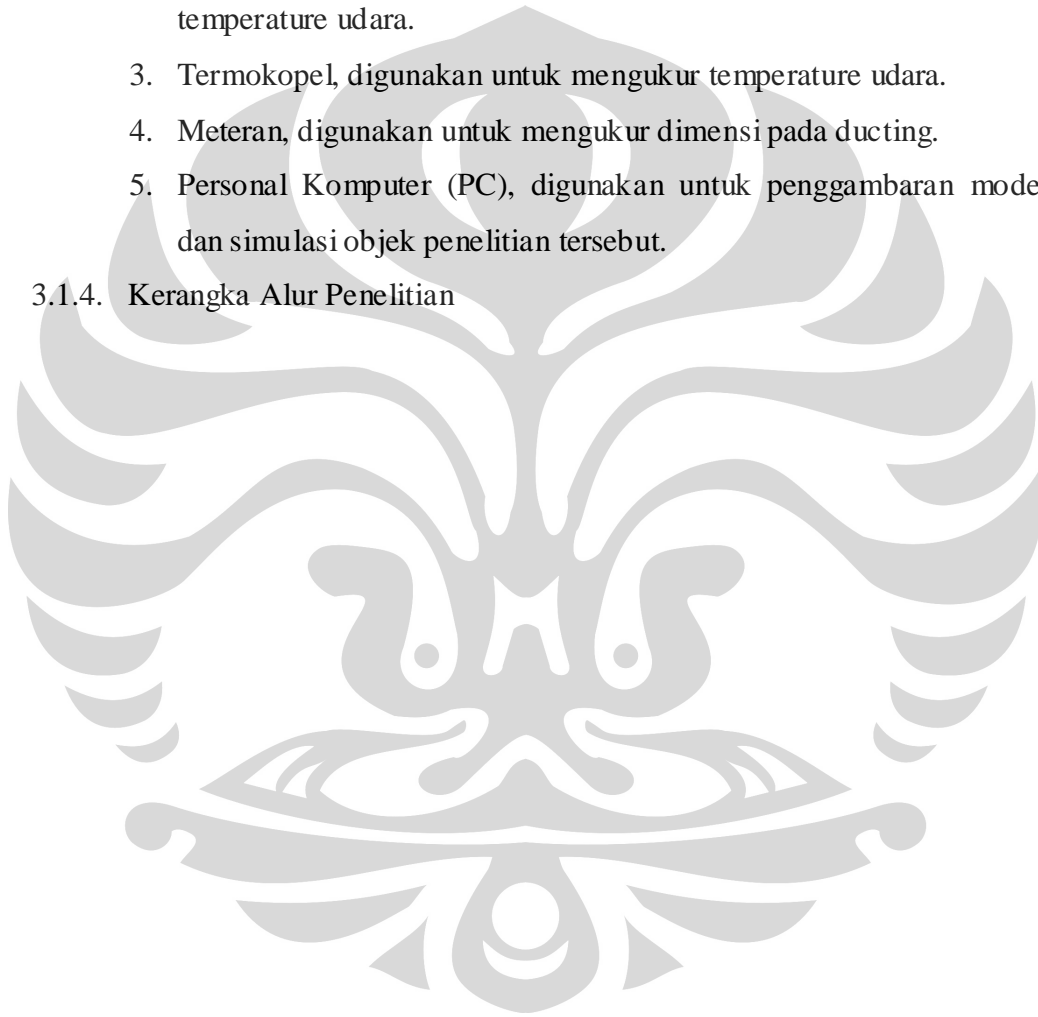
Tempat yang diukur sebagai objek penelitian ini yaitu ruang parkir pada Lower Ground, Basement 1 dan Basement 2 pada salah satu gedung perkantoran yang berlokasi di jalan Thamrin Jakarta Pusat. Sedangkan untuk waktu penelitian atau pengambilan datanya dimulai dari tanggal 12 sampai 17 Oktober 2009 yang dilakukan tiga kali pengukuran per hari-nya yaitu pada pukul 8.30, 12.00 dan 17.00 diharapkan dari waktu pengukuran tersebut mendapatkan hasil pengukuran dengan kondisi beban pendinginan maksimal.

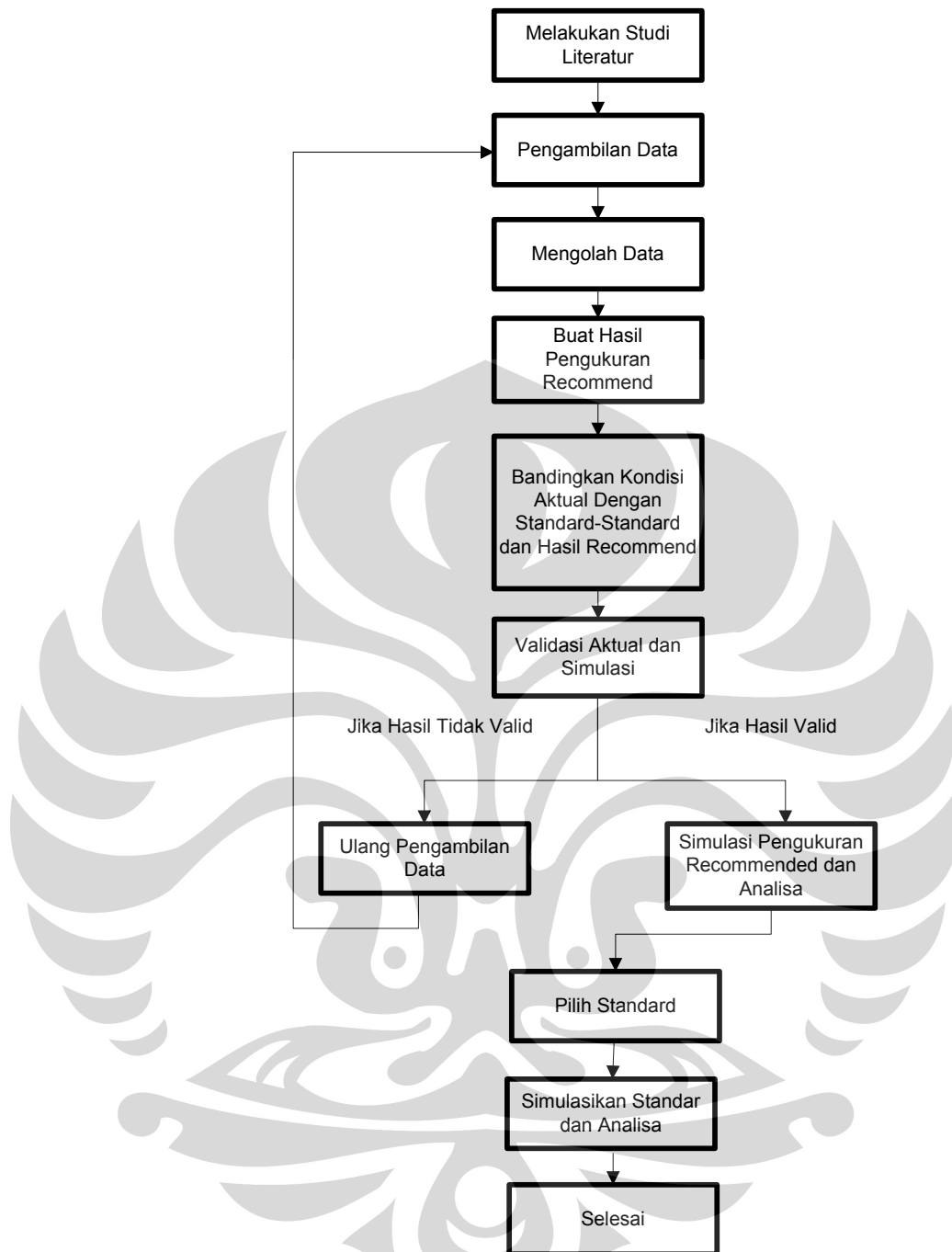
### 3.1.3. Peralatan dan alat ukur

Pada penelitian ini peralatan dan alat ukur yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Anemometer, digunakan untuk mengukur laju kecepatan aliran udara serta mengukur temperature udara.
2. Hygrometer, digunakan untuk mengukur kelembaban udara serta temperature udara.
3. Termokopel, digunakan untuk mengukur temperature udara.
4. Meteran, digunakan untuk mengukur dimensi pada ducting.
5. Personal Komputer (PC), digunakan untuk penggambaran modeling dan simulasi objek penelitian tersebut.

### 3.1.4. Kerangka Alur Penelitian





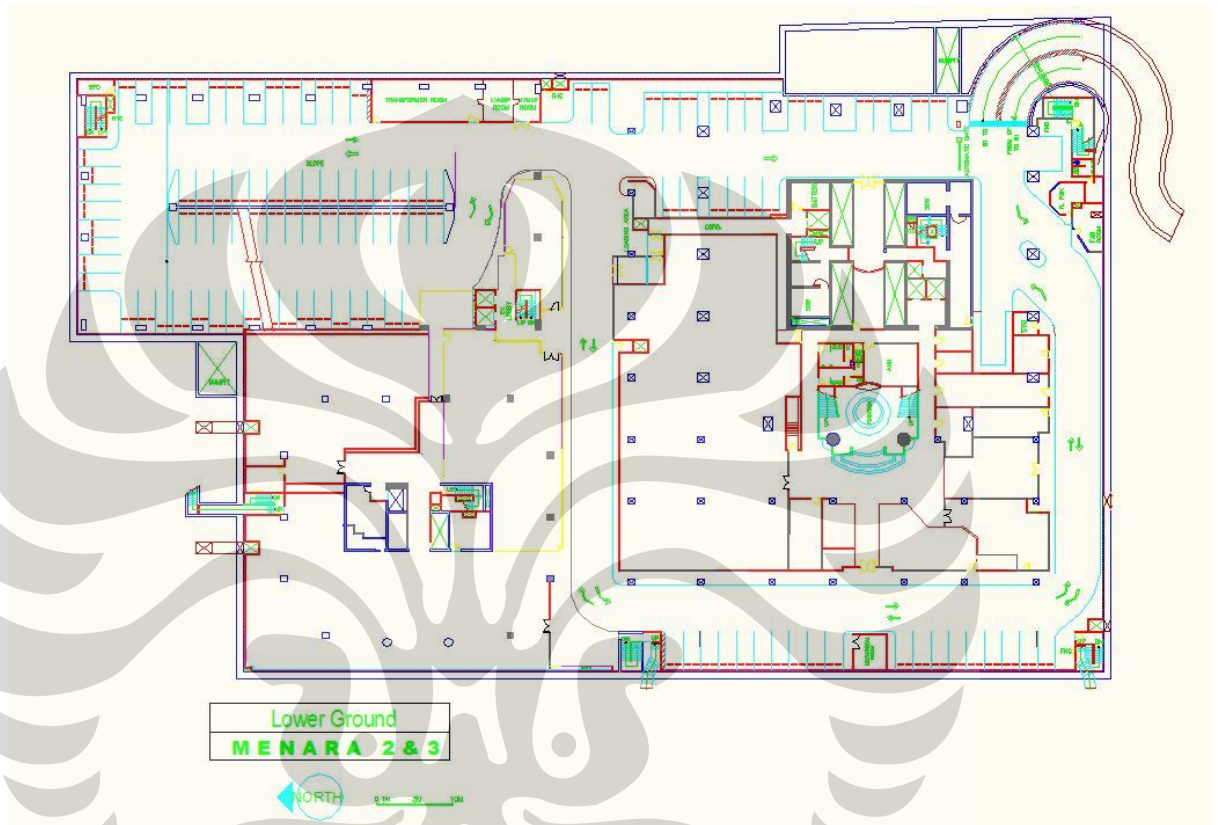
Gambar 3.1 Skema alur kerangka penelitian

## 3.2. Pengambilan Data

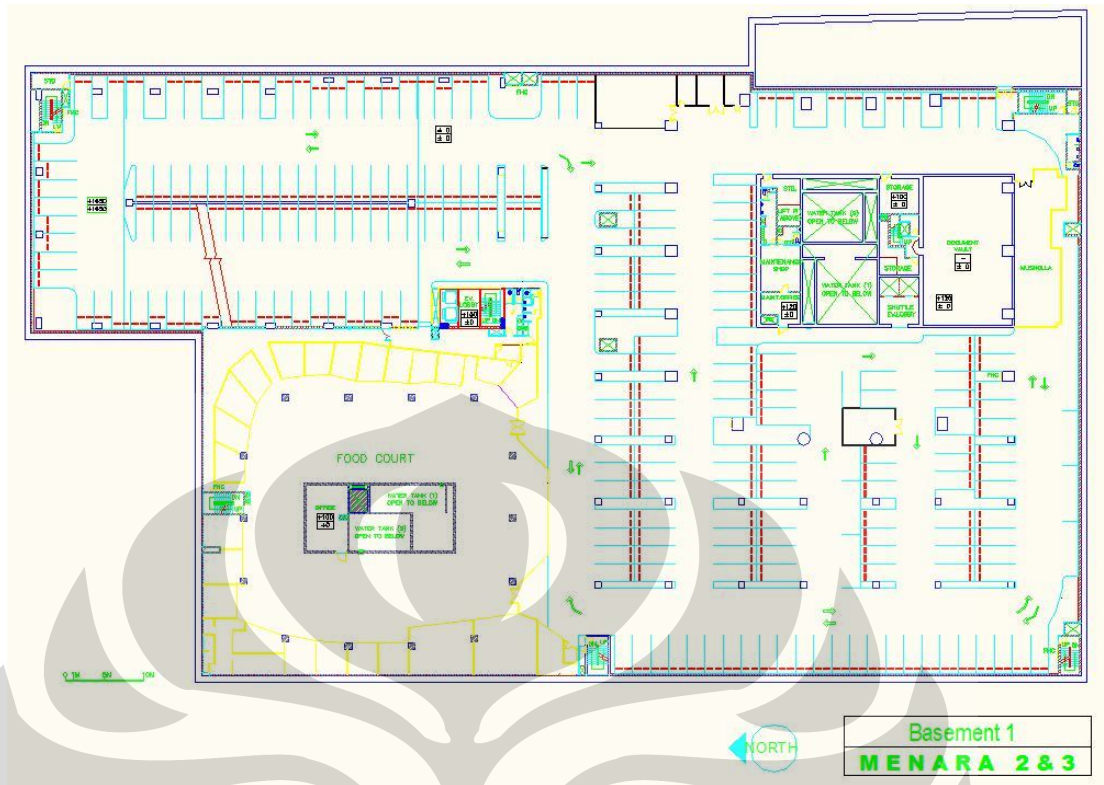
### 3.2.1. Data Bangunan

Data bangunan yang akan dianalisa diperoleh dari staff gedung perkantoran tersebut, berupa sebuah denah ruangan parkir pada gedung perkantoran Tower 2 dan 3. Ruang parkir tersebut terdiri dari tiga lantai

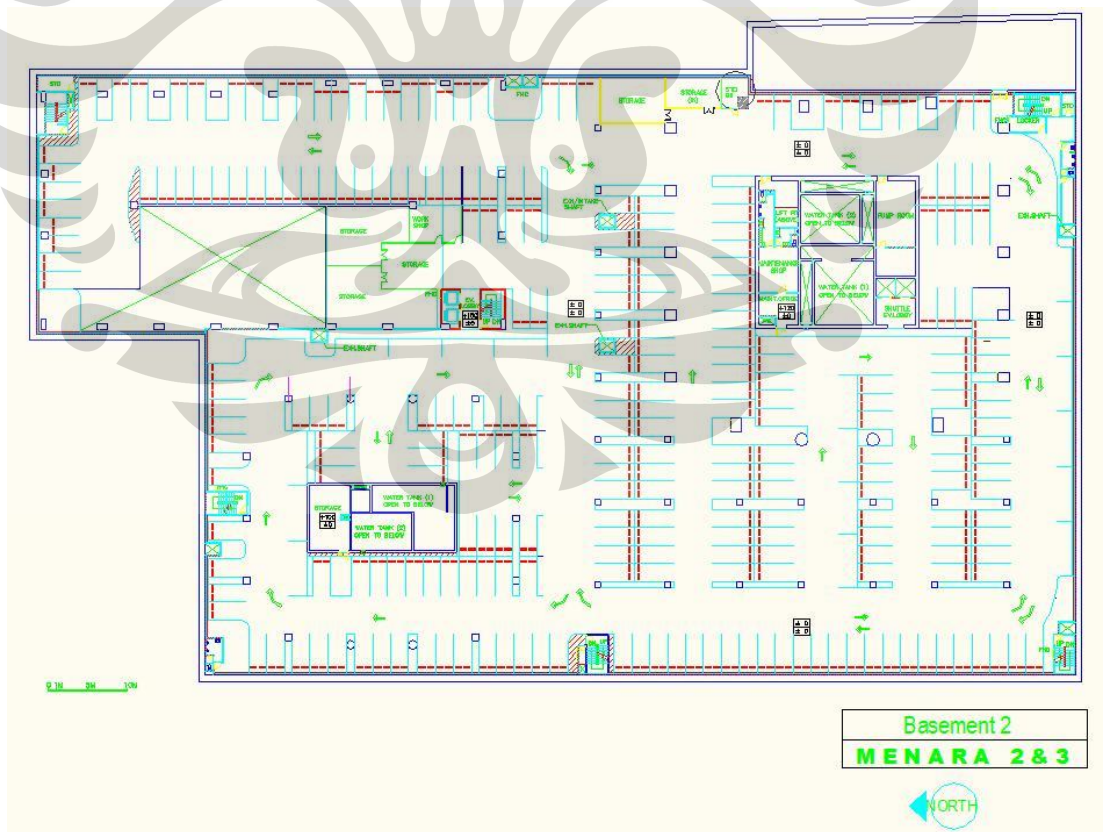
yaitu Lower Ground, Basement 1 dan Basement 2. Data tersebut diberikan dalam bentuk softcopy pada program AutoCad (2D). Data tersebut merupakan data yang penulis gunakan untuk melakukan pengukuran. Berikut adalah gambar dari denah gedung yang akan dilakukan pengukuran.



Gambar 3.2 Denah Lower Ground Tower 2 & 3



Gambar 3.3 Denah Basement 1 Tower 2 & 3



Gambar 3.4 Debah Basement 2 Tower 2 & 3

### 3.3. Tujuan dan Pengukuran

#### 3.3.1. Tujuan

Adapun tujuan pengukuran ketiga lantai tersebut yaitu untuk mengetahui kondisi sesungguhnya di lapangan untuk mendapatkan nilai Temperatur dan air flow sebagai data input untuk melakukan pensimulasian dengan program Flovent dan penganalisaan kebutuhan dan kecukupan udara yang di supply ke ruangan tersebut.

#### 3.3.2. Pengukuran

Pengambilan data yang dilakukan adalah data kecepatan aliran udara dan luas grill baik pada supply maupun pada exhaust, temperature tiap lantai yang dibagi menjadi beberapa daerah/titik pengukuran tiap lantainya dan ambient saat pengukuran. Pada pengukuran temperature ruangan dilakukan sebanyak tiga kali waktu pengukuran yaitu pada waktu puncak aktivitas kendaraan pukul 08.30, 12.00 dan 17.00. Dengan begitu diharapkan mendapat hasil pengukuran yang maksimal.

Berikut adalah pengukuran yang dilakukan :

##### 1. Pengukuran kecepatan aliran udara

Pengukuran kecepatan aliran udara ini digunakan sebagai input dan data pembandingan kedalam program Flovent, serta juga akan digunakan untuk validasi hasil simulasi dari program tersebut. Untuk mengukur kecepatan aliran udara didalam ruang, alat ukur yang digunakan adalah anemometer.

Proses pengambilan data adalah sebagai berikut :

- Menyalakan anemometer, pastikan kipas dari anemometer dalam keadaan diam terlebih dahulu.
- Pastikan bagian yang digunakan adalah bagian depan kipas dari anemometer.

- Hadapkan bagian depan kipas anemometer pada titik yang ingin diukur kecepatan aliran udaranya. Arah aliran yang ingin diambil harus tegak lurus dengan bagian depan dari anemometer.
- Lihat arah putaran kipas pada anemometer, bila berlawanan arah jarum jam berarti titik yang diukur merupakan supply dan sebaliknya.
- Pencatatan hasil pengukuran

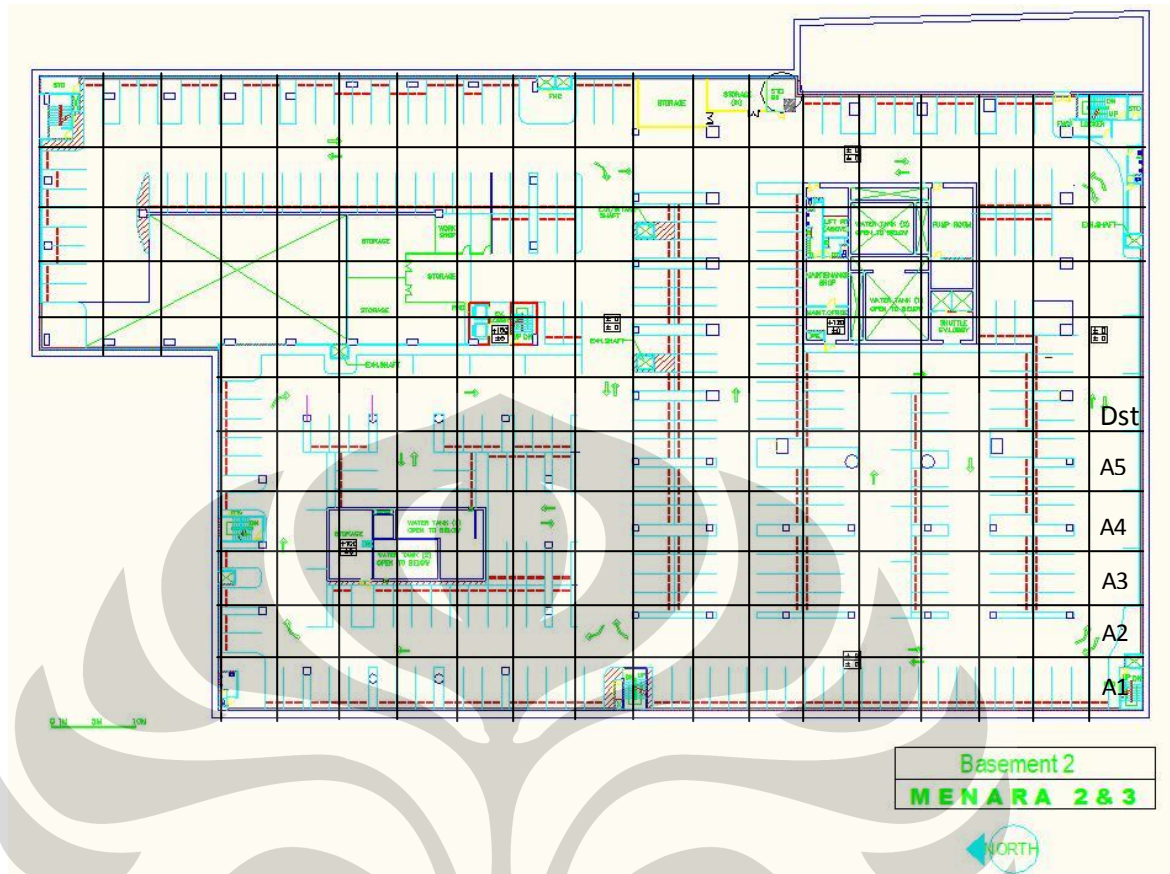
## 2. Pengukuran Temperatur Udara dan Kelembaban Udara

Sebagaimana pengukuran kecepatan aliran udara, pengukuran temperature ini juga digunakan sebagai pembanding antara kondisi actual dengan hasil simulasi, dengan demikian maka penganalisaan akan menjadi lebih mudah.

Pada pengukuran temperature ini, ruangan dibagi menjadi beberapa bagian daerah/lokasi titik pengukuran sehingga mempermudah dalam penganalisaan dan pengukuran, selain itu tingkat ketelitian semakin tinggi. Pembagian lokasi pengukuran antar lantai berbeda karena luasannya pun berbeda, yaitu : Lower Ground adalah 74 titik lokasi pengukuran, Basement 1 adalah 86 titik lokasi pengukuran dan Basement 2 adalah 92 titik lokasi pengukuran.

Berikut adalah contoh pembagian daerah/lokasi titik pengukuran





Gambar 3.5 Pembagian daerah/lokasi titik pengukuran Basement 2

Proses pengambilan data adalah sebagai berikut :

- Nyalakan alat ukur thermometer, ukur temperature tiap lokasi A1, A2, A3, dst.
- Pengukurannya dilakukan tiga kali yaitu pada waktu puncak aktivitas.
- Pengukuran dilakukan kurang lebih 50 cm dari lantai.
- Tunggu sampai 3-5 detik pada lokasi pengukuran agar nilai temperature yang tampil di display alat ukur stabil lalu lakukan pencatatan.

### 3.4. Hasil Pengukuran Aktual

Setelah melakukan studi literature maka pengukuran dilakukan sesuai dengan metode diatas, pengukuran ketiga lantai dilakukan berturut – turut pada hari berbeda dengan hasil pengukuran masing – masing sebagai berikut :

#### 3.4.1. Hasil Pengukuran Basement 2

Pengukuran Basement 2 dilakukan pada tanggal 13 Oktober 2009. Pada Basement 2 ini dibagi dalam 92 lokasi titik pengukuran temperature dan kelembaban, sedangkan untuk pengukuran untuk total flow supply udara adalah 21,21 [m<sup>3</sup>/s]. Berikut adalah data hasil pengukuran pada Basement 2 dapat dilihat pada lampiran 1.

#### 3.4.2. Hasil Pengukuran Basement 1

Pengukuran pada Basement 1 dilakukan pada tanggal 14 Oktober 2009. Pada pengukuran Basement 1 ini dibagi dalam 86 lokasi titik pengukuran temperature dan kelembaban, sedangkan untuk pengukuran total flow supply udara adalah 18,25 [m<sup>3</sup>/s]. Berikut adalah data hasil pengukuran pada Basement 1 dapat dilihat pada lampiran 2.

#### 3.4.3. Hasil Pengukuran Lower Ground

Pengukuran pada Lower Ground dilakukan pada tanggal 15 Oktober 2009. Pada pengukuran Lower Ground ini dibagi dalam 74 lokasi titik pengukuran temperature dan kelembaban, sedangkan untuk pengukuran total flow supply udara adalah 3,66 [m<sup>3</sup>/s]. Berikut adalah data hasil pengukuran pada Lower Ground dapat dilihat pada lampiran 3.

### 3.5. Hasil Pengukuran Recommended

Setelah pengambilan data langsung dilapangan dimana terdapat beberapa supply udara dan exhaust di tiap lantai yaitu Basement 2, Basement 1 dan Lower Ground yang tidak berfungsi. Hasil pengukuran recommended ini yaitu dengan memberikan asumsi nilai pada supply udara dan exhaust yang tidak berfungsi tersebut sehingga dapat diketahui kondisi pada supply dan exhaust bekerja.

### 3.6. Ventilation Rate Standard

Acuan atau Standard yang mengatur ventilasi untuk ruangan parkir tertutup ini sangat banyak dan mereka memiliki nilai acuan yang berbeda – berbeda antara Standard satu dengan yang lain. Disini dapat dilihat Standard ventilation rate yang dibutuhkan untuk sebuah ruang parkir tertutup ini. Dengan begitu dapat dilihat kebutuhan ventilasi bahkan selisih ataupun persentase kekurangan atau kelebihan antara kondisi aktual dengan Standard – standard lain.

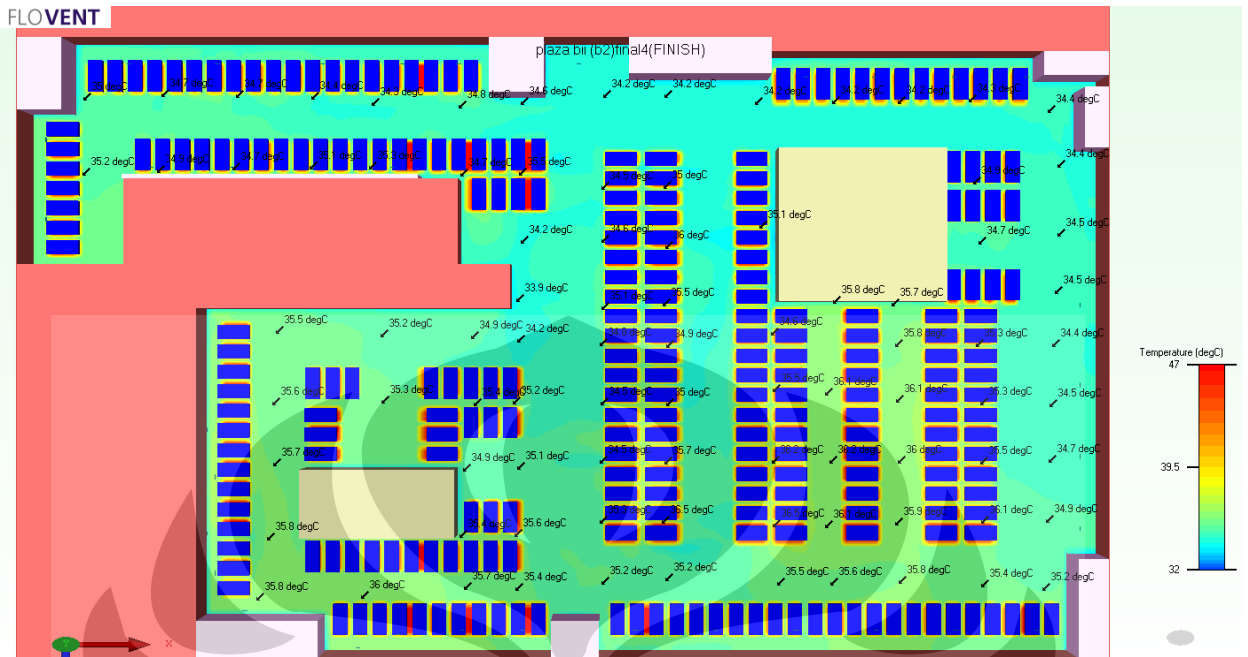
### 3.7. Validasi Hasil Simulasi

Dalam menganalisa dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan melakukan praktek langsung dan dengan melakukan simulasi dengan program. Pastinya menganalisa langsung melakukan percobaan dilapangan sangat membutuhkan pengorbanan yang besar baik dari material, tenaga dan waktu. Oleh karena itu, melakukan penganalisaan dengan melakukan simulasi program sangat dianjurkan, akan tetapi harus dipastikan bahwa pensimulasian tersebut dapat dipercaya atau tidak, dalam artian hasilnya akan valid dengan kondisi sebenarnya. Pada pembahasan ini akan menerangkan dan menjelaskan validasi hasil simulasi pada kondisi aktual.

#### 3.7.1. Simulasi Aktual

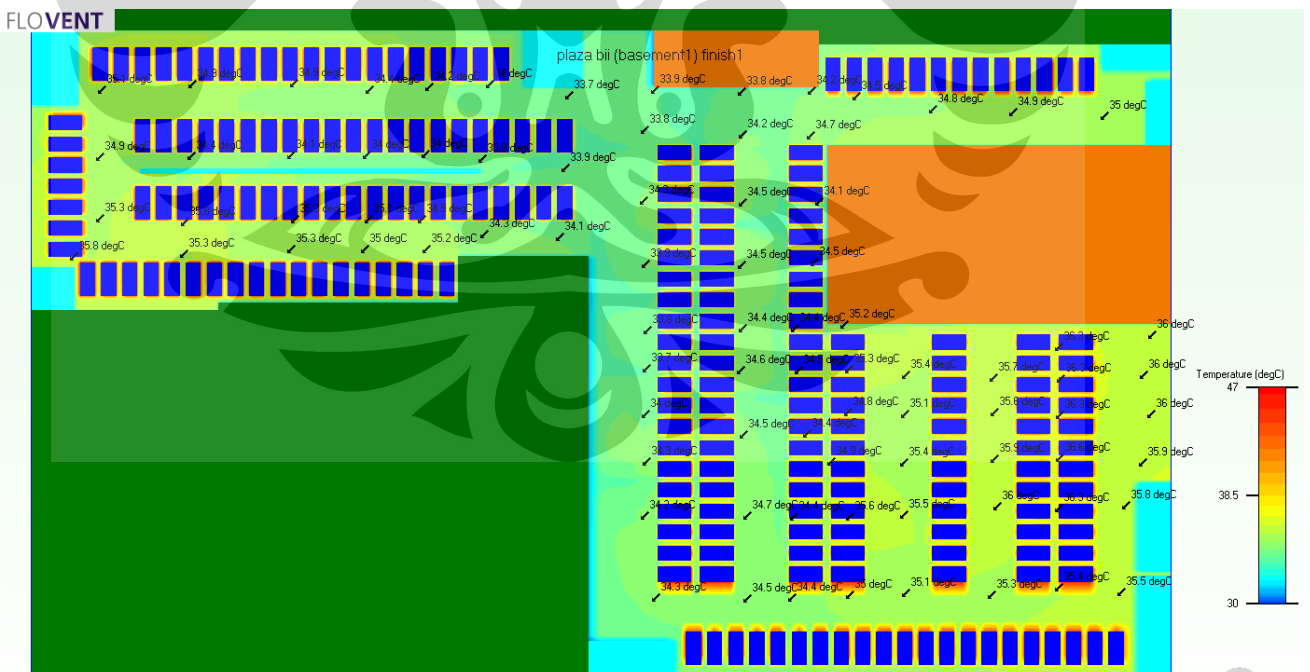
Dari hasil pengukuran langsung masing – masing lantai tersebut diperoleh nilai supply udara dan exhaust. Dan berdasarkan pengukuran langsung pula diperoleh nilai pada heat release rate yang dikeluarkan oleh mobil yaitu  $47^{\circ}\text{C}$ , Dimana nilai – nilai tersebut dimasukkan sebagai data input pada program Flovent. Sedangkan untuk geometri ruangan dan kapasitas kendaraan sudah tersedia pada denah atau lay out bangunan. Dari hasil simulasi berikut tampaklah daerah – daerah yang memiliki temperature tertinggi. Hasil simulasi berdasarkan data pengukuran langsung dilapangan diberi nama hasil simulasi aktual. Berikut dibawah adalah gambar hasil simulasi aktual ketiga lantai :

1. Hasil simulasi Basement 2



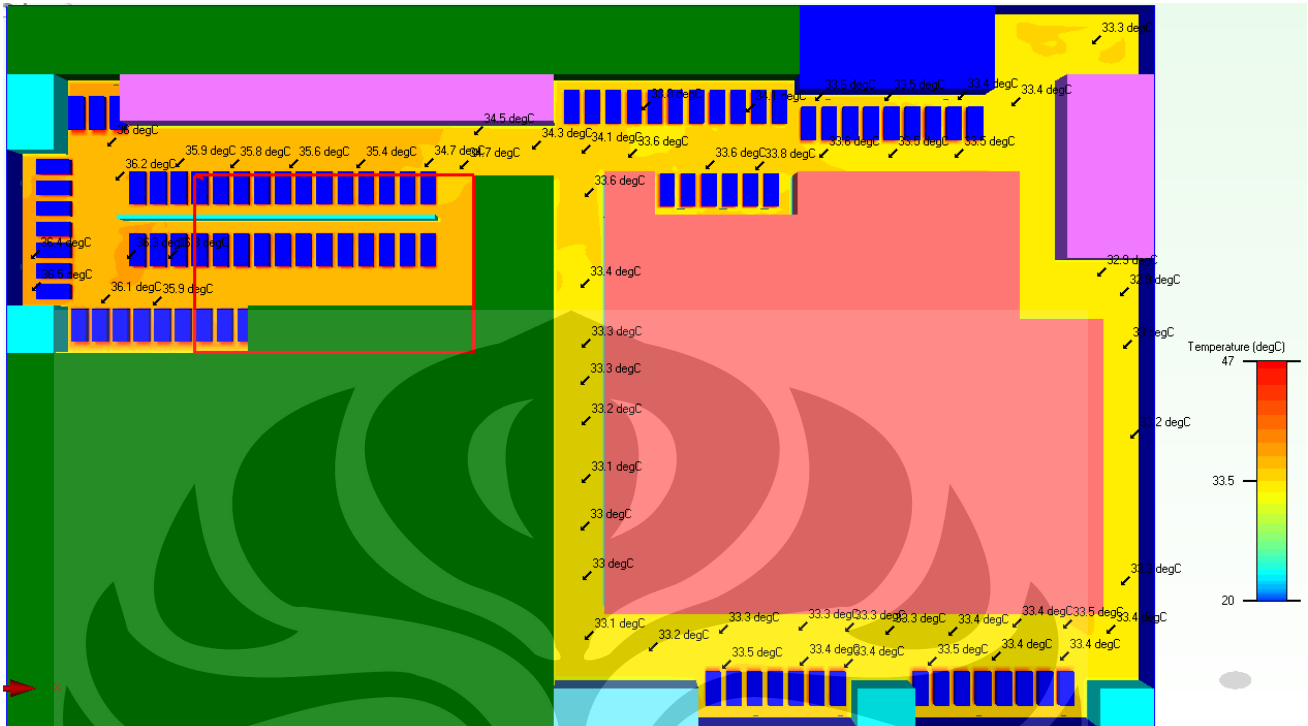
Gambar 3.6 Hasil simulasi Basement 2

2. Hasil simulasi Basement 1



Gambar 3.7 Hasil simulasi Basement 1

### 3. Hasil simulasi Lower Ground



Gambar 3.8 Hasil simulasi Lower Ground

Berdasarkan data dari pengukuran langsung dilapangan maka pensimulasian dijalankan dengan meng-input data tersebut ke program Flovent. Gambar Dari hasil pensimulasian tersebut dibagi menjadi beberapa bagian lokasi titik pengukuran sesuai dengan lantainya masing – masing maka diperoleh hasil atau nilai (seperti pada gambar). Hasil simulasi kemudian diukur dan dibandingkan dengan keadaan aktual untuk mengetahui validasi hasil simulasi tersebut.

#### 3.8. Simulasi Recommended

Dengan memfungsikan kembali supply dan exhaust yang tidak bekerja pastinya menghasilkan kondisi udara yang lebih baik dari sebelumnya. Setelah diasumsikan nilai pada supply dan exhaust dan disimulasikan kembali dengan program Flovent. Hasil simulasi dari pemfungsian kembali supply dan exhaust yang tidak bekerja diberi nama simulasi recommended.

Simulasi recommended merupakan analisa awal pada ruang parkir tertutup ini dengan maksud mengetahui kondisi ruangan seolah normal, maksudnya supply dan exhaust dapat bekerja. Dari sini dapat diketahui total ventilation rate per lantai. Dengan begitu dapat terlihat kecenderungan yang terjadi, sehingga dapat membantu untuk dapat memilih Standard yang akan digunakan.

Berikut adalah table hasil pengukuran aktual yang diasumsikan untuk supply dan exhaust yang tidak bekerja :

1. Basement 2

Tabel 3.1 data supply dan exhaust recommended Basement 2 pada lampiran 4.

2. Basement 1

Tabel 3.2 data supply dan exhaust recommended Basement 1 pada lampiran 5.

3. Lower Ground

Tabel 3.3 data supply dan exhaust recommended Lower Ground pada lampiran 6

### 3.9. Pemilihan Standard dan Mensimulasikannya

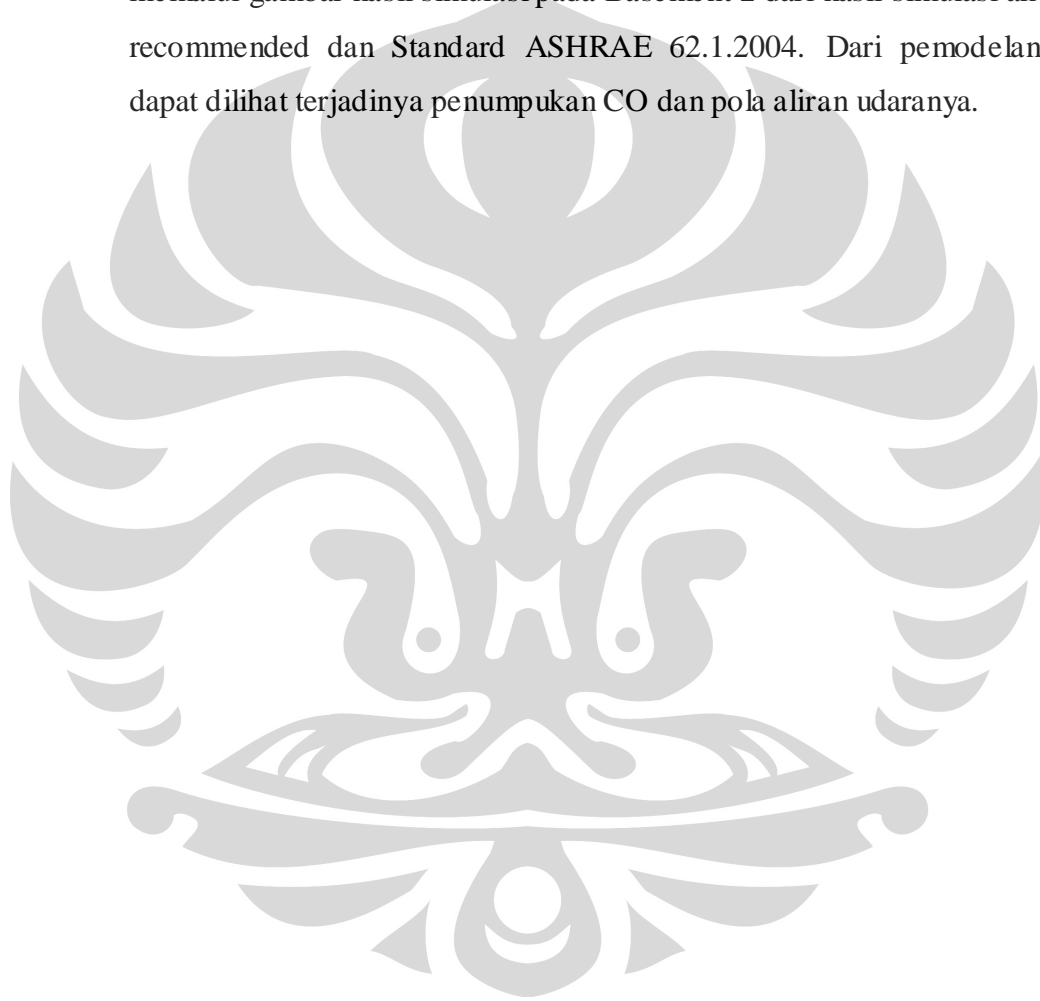
Ada beberapa standard yang digunakan sebagai acuan dalam pembuatan enclosed car park ventilation ini, dan setiap negara memiliki standarnya masing – masing tetapi pada umumnya negara – negara berkembang yang belum memiliki Standard tersebut menggunakan Standard negara tetangganya yang memiliki karakteristik atau ciri – ciri iklim dan lingkungan yang sama.

Banyak juga Standard – Standard internasional secara umum yang mengatur mengenai Ventilation Rate untuk ruang parkir tertutup ini. Disini akan dijelaskan pemilihan Standard yang akan digunakan berdasarkan perkembangan teknologi dan kebutuhannya.

Setelah pemilihan Standard maka akan dianalisa dengan menggunakan pensimulasian untuk mengetahui kondisi ruangan parkir tertutup tersebut dan kemudian disimpulkan. Penganalisaan dan simulasi ini disebut simulasi standard.

### **3.10. Pemodelan Penumpukan Konsentrasi CO**

Disini dijelaskan contoh pergerakan atau pola distribusi udara melalui gambar hasil simulasi pada Basement 2 dari hasil simulasi aktual, recommended dan Standard ASHRAE 62.1.2004. Dari pemodelan ini dapat dilihat terjadinya penumpukan CO dan pola aliran udaranya.



## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISA**

#### **4.1. HASIL DAN PENGOLAHAN DATA PENELITIAN**

##### 4.1.1. Hasil Pengukuran Aktual

Dari pengukuran yang telah dilakukan pada Lower Ground, Basement 1 dan Basement 2 ruang parkir Gedung perkantoran Jakarta, didapatkan data – data hasil pengukuran actual berdasarkan data yang diambil dari tanggal 13 Oktober 2009 sampai 15 Oktober 2009 pada setiap lokasi titik pengukuran. Data – data tersebut nantinya digunakan sebagai data input untuk dilakukan simulasi oleh program Flovent, dari hasil simulasi tersebut dibandingkan atau divalidasikan keakuratannya dengan kondisi actual berdasarkan data – data yang diperoleh.

Berikut hasil pengolahan data kondisi actual dan hasil simulasi kondisi actual :

1. Kondisi actual
  - a. Basement 2

Lampiran 1

Dari hasil pengukuran tersebut dapat dihitung rata – rata temperature dan kelembaban dari ketiga pengukuran yaitu 33.17°C dan 51.52%. Untuk total flow supply dan exhaust adalah 21.21[m<sup>3</sup>/s] dan 6.88[m<sup>3</sup>/s].

- b. Basement 1

Lampiran 2

Dari hasil pengukuran tersebut dapat dihitung rata – rata temperature dan kelembaban dari ketiga pengukuran yaitu 33.65°C dan



49.18%. Untuk total flow supply dan exhaust adalah 18.25[m<sup>3</sup>/s] dan 4.35[m<sup>3</sup>/s].

c. Lower Ground

Lampiran 3

Dari hasil pengukuran tersebut dapat dihitung rata – rata temperature dan kelembaban dari ketiga pengukuran yaitu 33.65°C dan 48.98%. Untuk total flow supply dan exhaust adalah 3.66[m<sup>3</sup>/s] dan 4.54[m<sup>3</sup>/s].

4.1.2. Hasil Pengukuran Recommended

Dari pengambilan data dan penganalisaan kondisi aktual, ditemukan beberapa *supply* dan *exhaust* tiap lantai yang tidak berfungsi. Hal tersebut yang menjadi dasar dalam hasil pengukuran *recommended* ini. Hasil pengukuran *recommended* ini adalah sebuah hasil pengukuran dan analisa dari kondisi aktual dimana dengan mengasumsikan nilai dari beberapa *supply* dan *exhaust* dari tiap lantai yang tidak berfungsi menjadi memiliki nilai. Hasil pengukuran *recommended* ini berfungsi untuk mengetahui bagaimana seandainya bila kondisi *supply* dan *exhaust* pada ruangan tersebut semuanya berfungsi.

Hasil pengukuran dari total *supply* dan *exhaust* yang telah ditambahkan dengan nilai – nilai asumsi adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Tabel Hasil Pengukuran *Recommended*

Lantai	Total Flow Supply [cfm]	Total Flow Exhaust [cfm]
Basement 2	47,443.51	30,089.23
Basement 1	42,760.61	23,711.16
Lower Ground	16,845.73	15,934.58

#### 4.1.3. Selisih Persentase Kebutuhan Ventilasi Terhadap Aktual

Banyak beberapa aturan atau *Standard* yang menerangkan tentang kebutuhan akan ventilasi ruangan parkir tertutup ini. Untuk negara – negara maju biasanya memiliki *Standard*-nya masing – masing, akan tetapi bagi negara – negara berkembang yang belum memiliki *standard*-nya sendiri, mereka menggunakan *Standard – Standard* Internasional yang berlaku.

Diantara *Standard – Standard* tersebut memiliki nilai atau acuan yang berbeda antara *Standard* yang satu dengan yang lain. Berikut adalah selisih persentase antara masing – masing *Standard* bila dibandingkan dengan kondisi aktual :

Tabel 4.2 Selisih persentase *ventilation rate* aktual dengan *Standard – Standard*

LANTAI	AKTUAL [cfm]	DESIGN [cfm]	DESIGN VS AKT [%]	RECOMMENDED [cfm]	RECOMMENDED VS AKT [%]
B2	44,943.14	66000	31.90	47,443.51	5.27
B1	38,671.02	58000	33.33	42,760.61	9.56
LG	7,755.39	22000	64.75	16,845.73	53.96

LANTAI	ASHRAE 2007 & IMC 2009 [cfm]	ASHRAE 2007 & IMC 2009 VS AKT [%]	ASHRAE 2004 [cfm]	ASHRAE 2004 VS AKT [%]	VDI [cfm]	VDI VS AKT [%]
B2	57,923.96	22.41	118,978.95	62.23	51,661.91	13.01
B1	42,258.23	8.49	86,800.69	55.45	37,689.77	-2.60
LG	36,754.68	78.90	75,496.10	89.73	32,781.20	76.34

Berdasarkan ACH [cfm]	
VDI (ach=5)	SNI (ach=6)
67,404.01	80,884.81
49,174.37	59,009.24
52,427.85	62,913.41

Tabel 4.2 diatas menjelaskan total *ventilation rate* pada kondisi aktual dan standar – standar perlantai. Dimana kebutuhan sirkulasi udara atau *ventilation rate* tiap lantai pada kondisi aktual sangat kurang, dengan arti masih dibawah dari standard kebutuhan sirkulasi udara pada ruang parkir tertutup ini. Dengan kondisi aktual seperti ini maka perlunya diadakan perbaikan untuk kebutuhan sirkulasi udara agar ruangan parkir tersebut dapat dikatakan baik.

Untuk melakukan perbaikan tersebut perlu dilakukan pemilihan *standard* yang akan digunakan dengan berbagai macam pertimbangan dan penganalisaan *standard*. Pertama harus melakukan penganalisaan dengan membuat kondisi seolah normal, dalam arti kondisi *supply* dan *exhaust* dapat berfungsi semua yaitu berdasarkan hasil pengukuran *recommended*. Dengan kondisi seperti itu dapat dilihat kecenderungan yang terjadi di ruangan parkir tersebut sehingga baru dapat dipilih *Standard* yang sesuai untuk digunakan kondisi pada ruang parkir tersebut.

#### 4.1.4. Kebutuhan Udara Untuk Menetralsir CO

Seperti diketahui bahwa banyak sekali zat –zat berbahaya yang dikeluarkan oleh hasil pembakaran kendaraan bermotor, dimana salah satunya adalah Karbon Monoksida (CO). Sedangkan untuk meniadakan CO yang terbuang dari kendaraan bermotor itu tidak bisa, untuk itu maka untuk mengurangi resiko berbahaya dari CO tersebut yaitu dengan mengontrolnya. Berikut adalah kebutuhan udara yang digunakan untuk menetralsir kadar CO berdasarkan Standard ASHRAE 62.1.2004:

Tabel 4.3 Kebutuhan udara untuk menetralsir CO

Lantai	15 PPM		25 PPM		35 PPM	
	Q [M <sup>3</sup> /(s.m <sup>2</sup> )]	ach	Q [M <sup>3</sup> /(s.m <sup>2</sup> )]	ach	Q [M <sup>3</sup> /(s.m <sup>2</sup> )]	ach
BASEMENT 2	0.00741	8.61	0.00426	4.95	0.00296	3.44
BASEMENT 1	0.00623	7.24	0.00358	4.16	0.00249	2.89
LOWER GROUND	0.00329	3.12	0.00189	1.8	0.00132	1.25

## 4.2. Validasi Hasil Simulasi

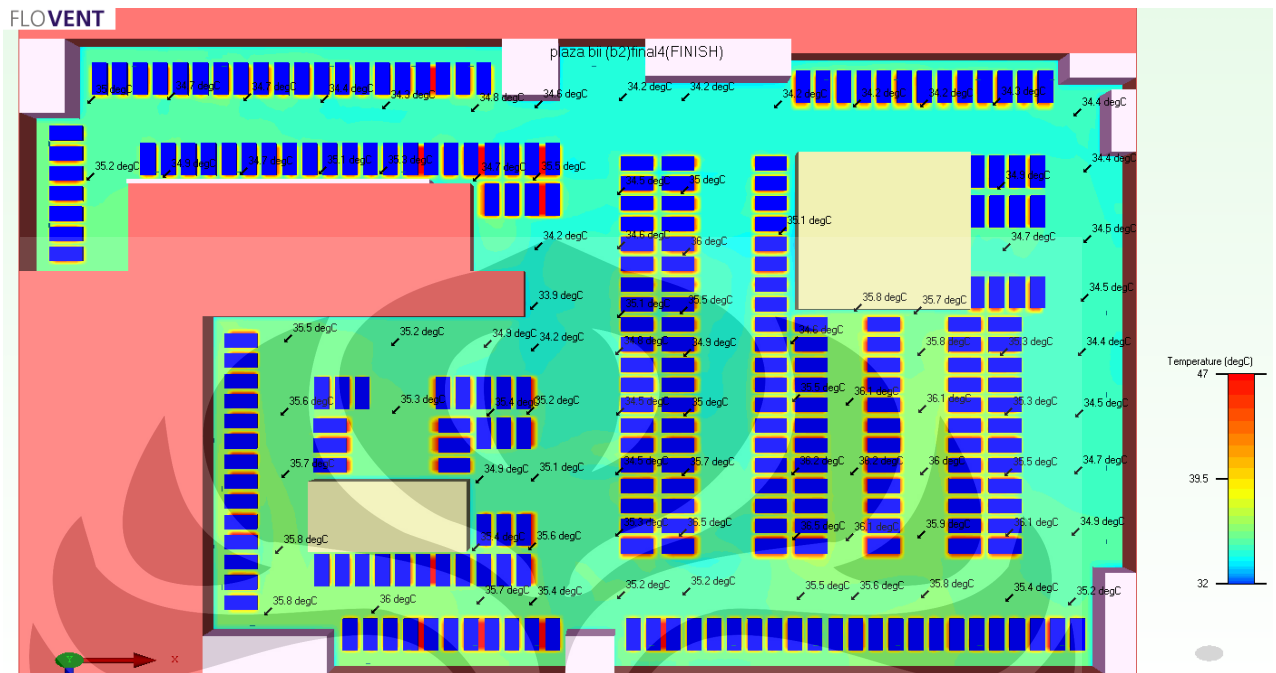
Pada tahap ini dimana hasil pengukuran kondisi aktual akan dibandingkan dengan kondisi hasil simulasi, dengan kata lain hasil simulasi akan divalidasikan dengan hasil pengukuran aktual. Hasil validasi tersebut dapat membuktikan bahwa penganalisaan bisa dilakukan melalui pensimulasian dengan program Flovent.

### 4.2.1. Hasil simulasi aktual

Setelah memperoleh data pengukuran aktual maka di input dan disimulasikan pada program Flovent kemudian akan terlihat kondisi ruangan hasil simulasi. Pensimulasian tersebut dilakukan tiap lantai yaitu pada Basemet 2, Basement 1 dan Lower Ground. Hasil simulasi ini kemudian dianalisa dengan membuat lokasi titik pengukuran yang sama dengan pengukuran aktual seperti pada gambar 3.3 BAB sebelumnya.

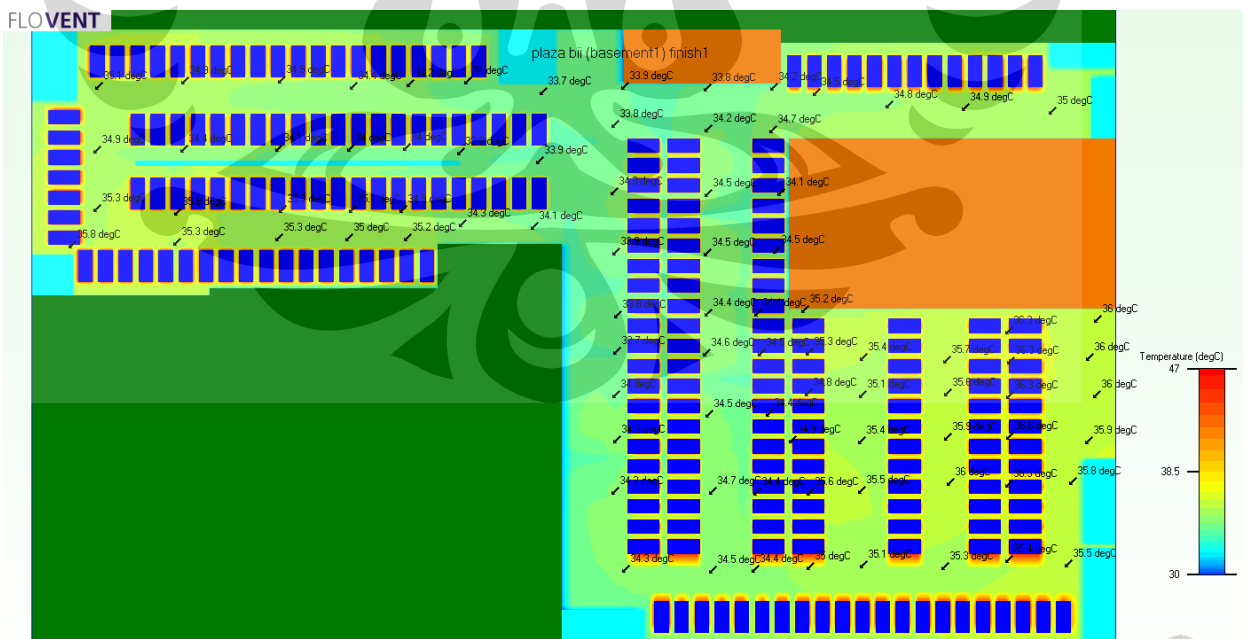
Berikut adalah hasil simulasi kondisi aktual :

## a. Hasil simulasi Basement 2



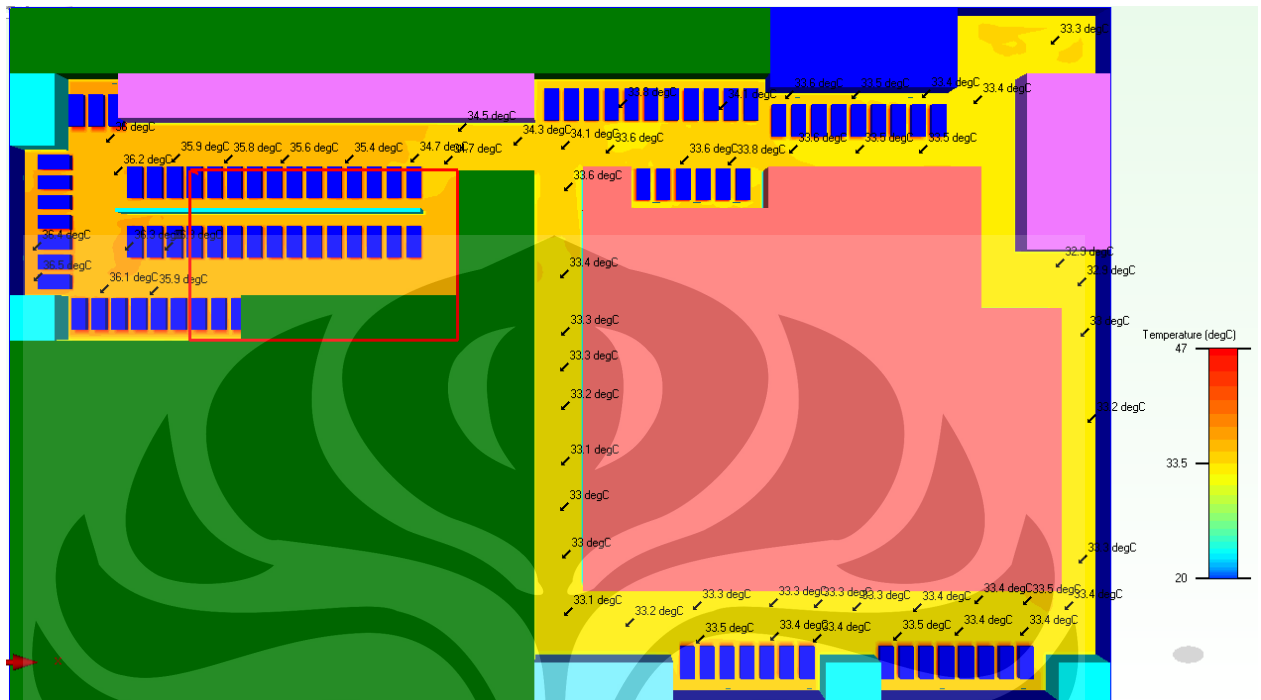
Gambar 4.1 Hasil simulasi aktual Basement 2

## b. Hasil simulasi Basement 1



Gambar 4.2 Hasil simulasi aktual Basement 1

### c. Hasil simulasi Lower Ground



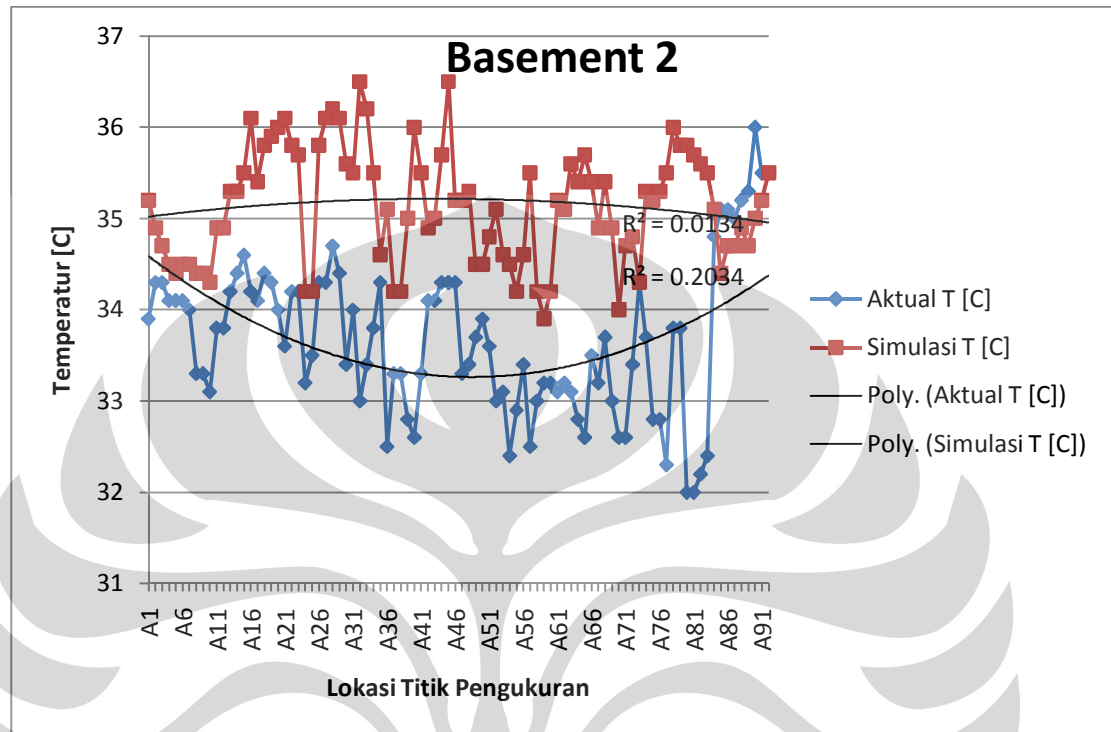
Gambar 4.3 Hasil simulasi aktual Lower Ground

#### 4.2.2. Analisa Hasil Pengukuran Aktual dan Simulasi Aktual

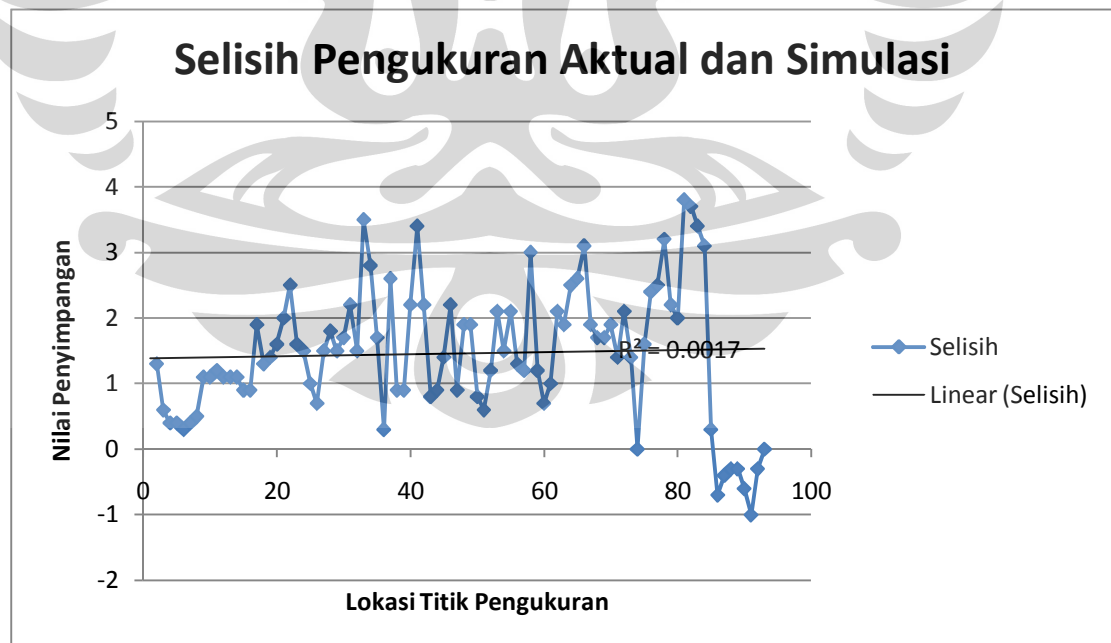
Analisa hasil pengukuran dan simulasi aktual ini menerangkan bahwa hasil simulasi aktual yang berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan pada tanggal 13 Oktober 2009 sampai 15 Oktober 2009 ini dapat dikatakan serupa dengan keadaan aktual atau kondisi sesungguhnya bangunan itu. Sehingga penganalisaan kebutuhan sirkulasi udara pada underground car park dapat dilakukan dengan mensimulasikannya dengan program Flovent untuk mengetahui kondisi atau keadaan ruang parkir tersebut. Analisa perbedaan antara hasil pengukuran aktual dan hasil simulasi adalah sebagai berikut :

1. Perbedaan hasil pengukuran langsung dilapangan dengan hasil simulasi aktual pada Basement 2 sebagai berikut :

Tabel 4.4 Selisih data hasil pengukuran dan hasil simulasi Basement 2 lihat lampiran 7



Grafik 4.1 Hasil pengukuran aktual dan simulasi aktual Basement 2

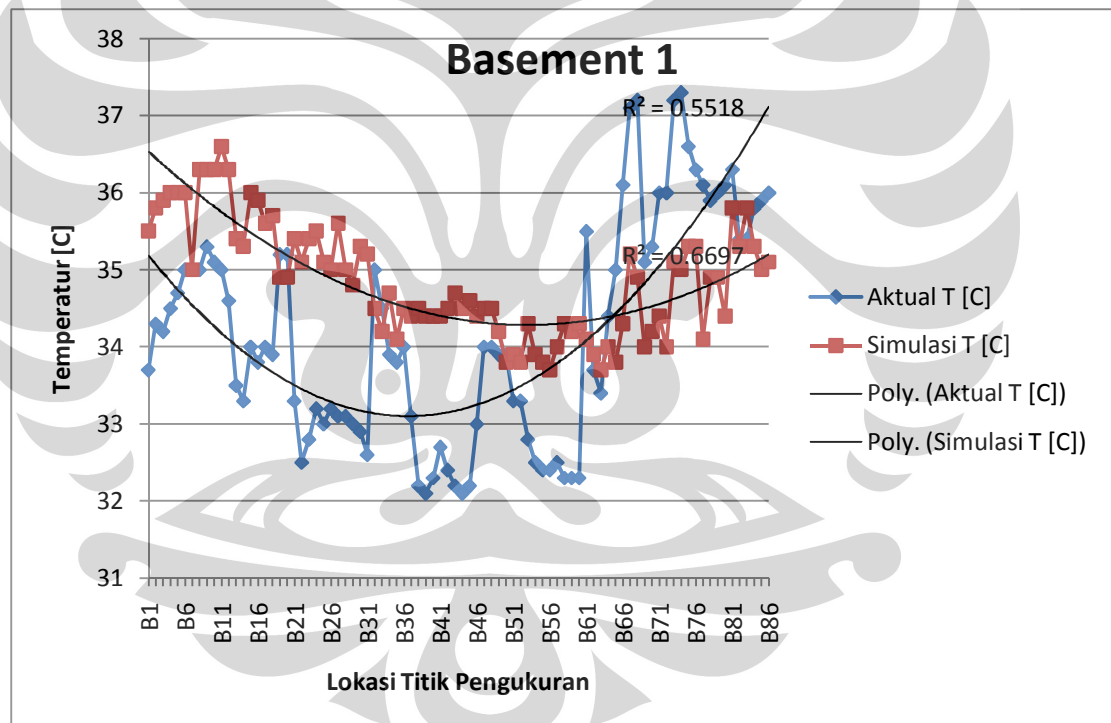


Grafik 4.2 Selisih pengukuran aktual dan simulasi aktual Basement 2

Dari data pengukuran Grafik 4.2 maka dapat dilihat bahwa hasil simulasi mendekati atau serupa dengan aktual dengan nilai  $R^2 < 0$ , maka pensimulasian tersebut dapat dikatakan valid dan bisa digunakan untuk melakukan penganalisaan.

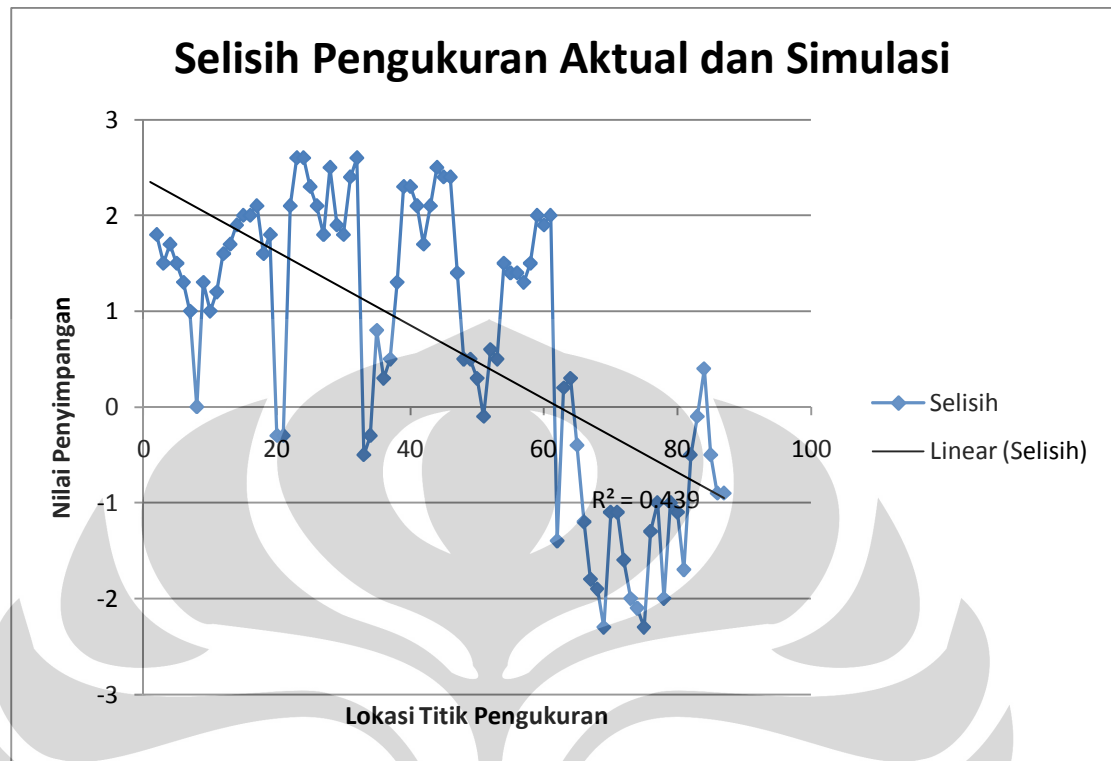
2. Perbedaan hasil pengukuran langsung dilapangan dengan hasil simulasi actual pada Basement 1 sebagai berikut :

Tabel 4.5 Selisih data hasil pengukuran dan hasil simulasi Basement 1 lihat lampiran 8



Grafik 4.3 Hasil pengukuran aktual dan simulasi aktual Basement 1



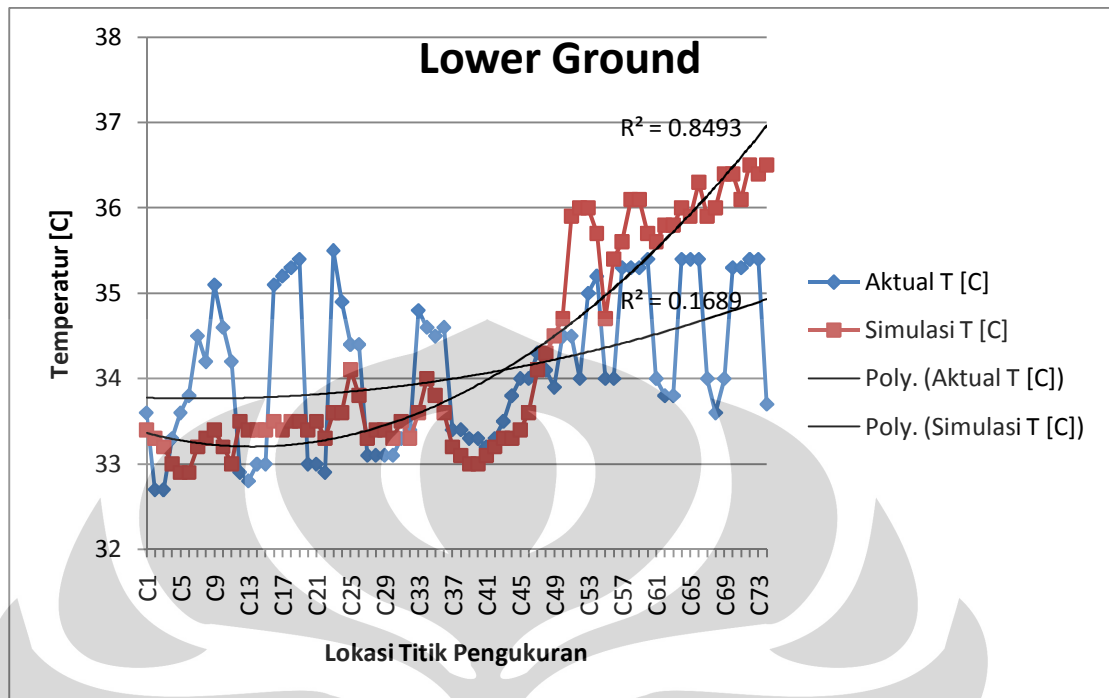


Grafik 4.4 Selisih pengukuran aktual dan simulasi aktual Basement 1

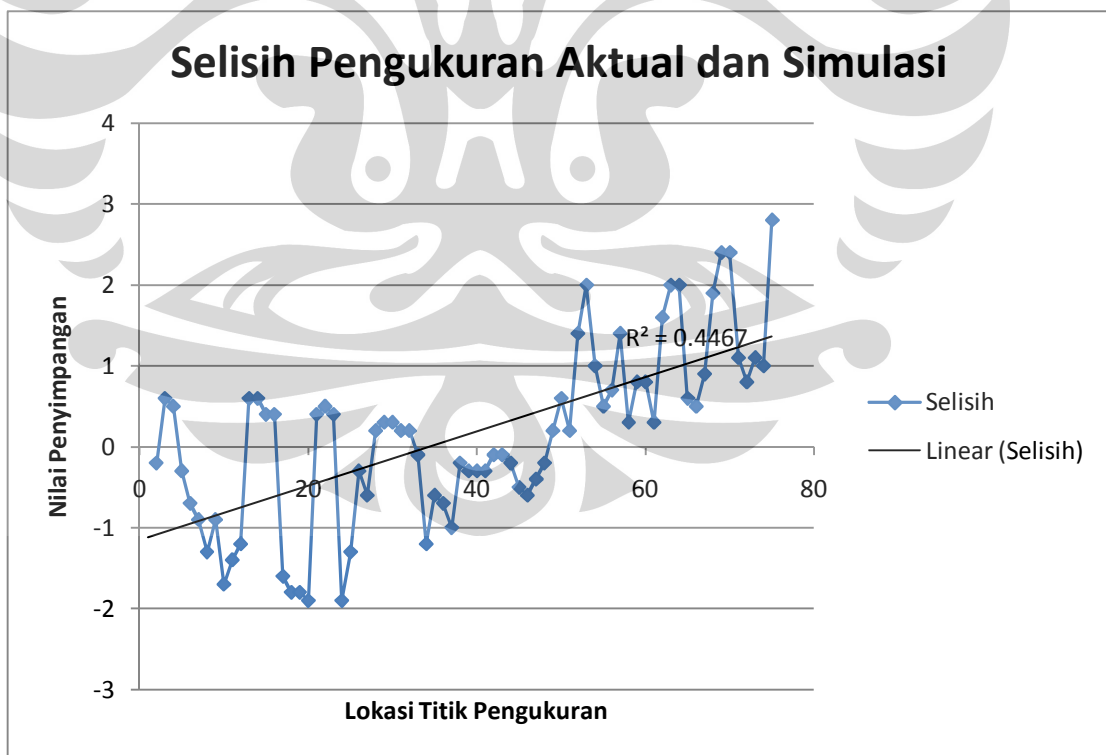
Dari data pengukuran Grafik 4.4 maka dapat dilihat bahwa hasil simulasi mendekati atau serupa dengan aktual dengan nilai  $R^2 < 0$ , maka pensimulasian tersebut dapat dikatakan valid dan bisa digunakan untuk melakukan penganalisaan.

3. Perbedaan hasil pengukuran langsung dilapangan dengan hasil simulasi actual pada Lower Ground sebagai berikut :

Tabel 4.6 Selisih data hasil pengukuran dan hasil simulasi Lower Ground lihat lampiran 9



Grafik 4.5 Hasil pengukuran aktual dan simulasi aktual Lower Ground



Grafik 4.6 Selisih pengukuran aktual dan simulasi aktual Lower Ground

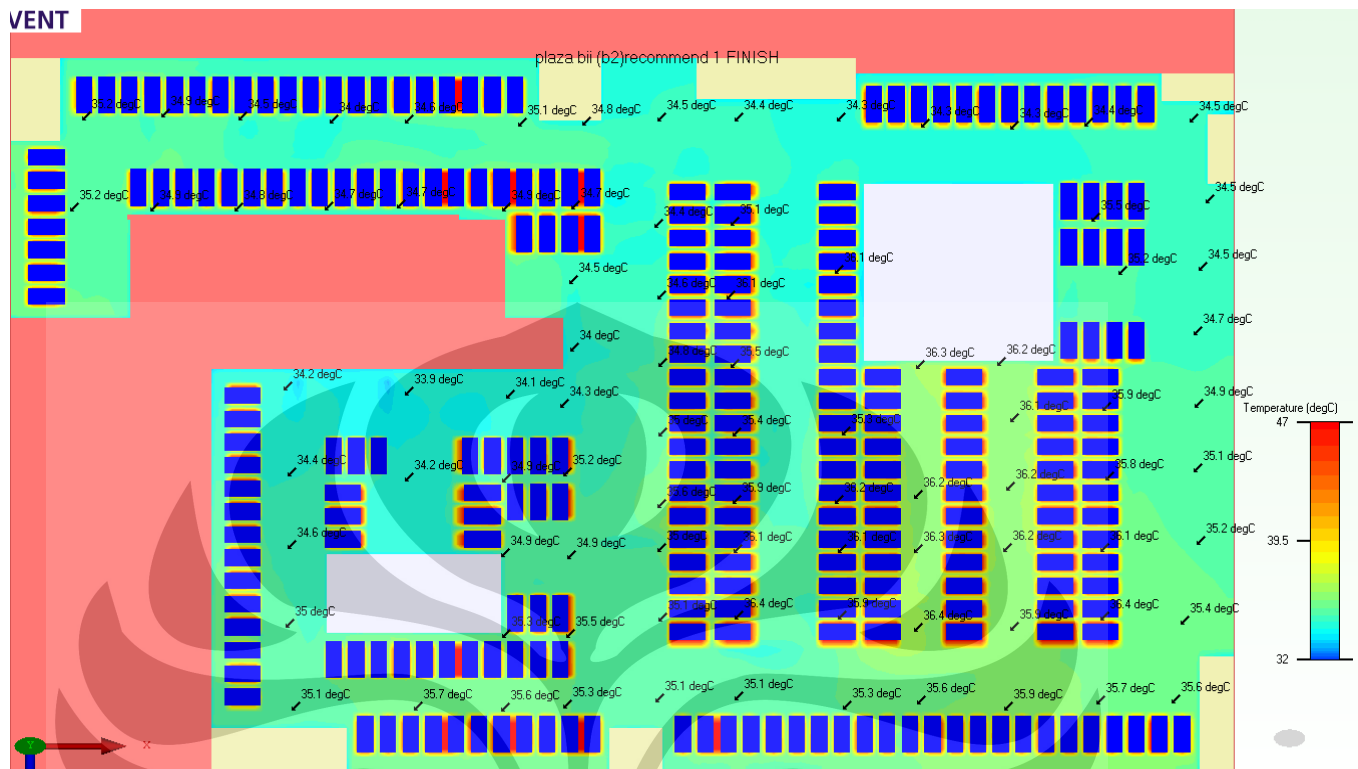
Dari data pengukuran Grafik 4.6 maka dapat dilihat bahwa hasil simulasi mendekati atau serupa dengan aktual dengan nilai  $R^2 < 0$ , maka pensimulasian tersebut dapat dikatakan valid dan bisa digunakan untuk melakukan penganalisaan.

#### 4.2.3. Hasil simulasi *recommended*

Dari pengambilan data dan penganalisaan kondisi aktual, ditemukan beberapa supply dan exhaust tiap lantai yang tidak berfungsi. Hal tersebut yang menjadi dasar dalam hasil simulasi *recommended* ini. Hasil simulasi *recommended* ini adalah sebuah hasil simulasi dan analisa dari kondisi aktual dimana dengan mengasumsikan nilai dari beberapa *supply* dan *exhaust* dari tiap lantai yang tidak berfungsi menjadi memiliki nilai. Dari semua data tersebut di input dan disimulasikan pada program Flovent.

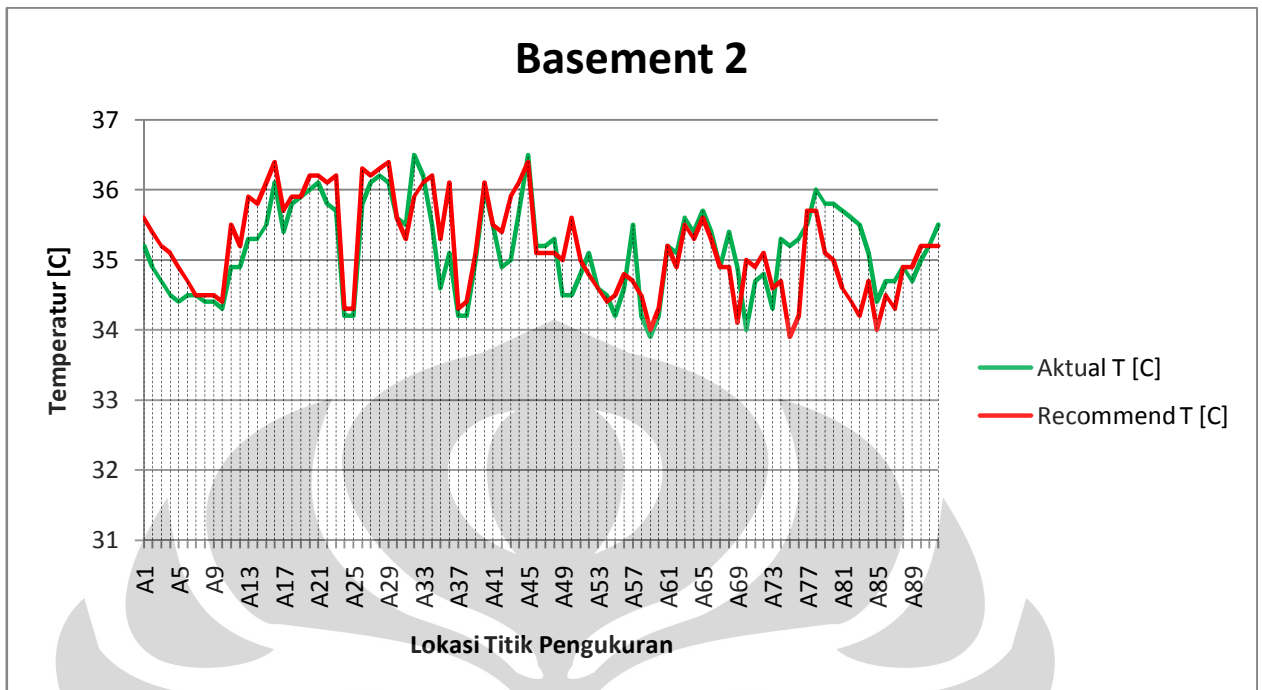
Berikut adalah hasil simulasi *recommended* untuk tiap – tiap lantai :

1. Basement 2



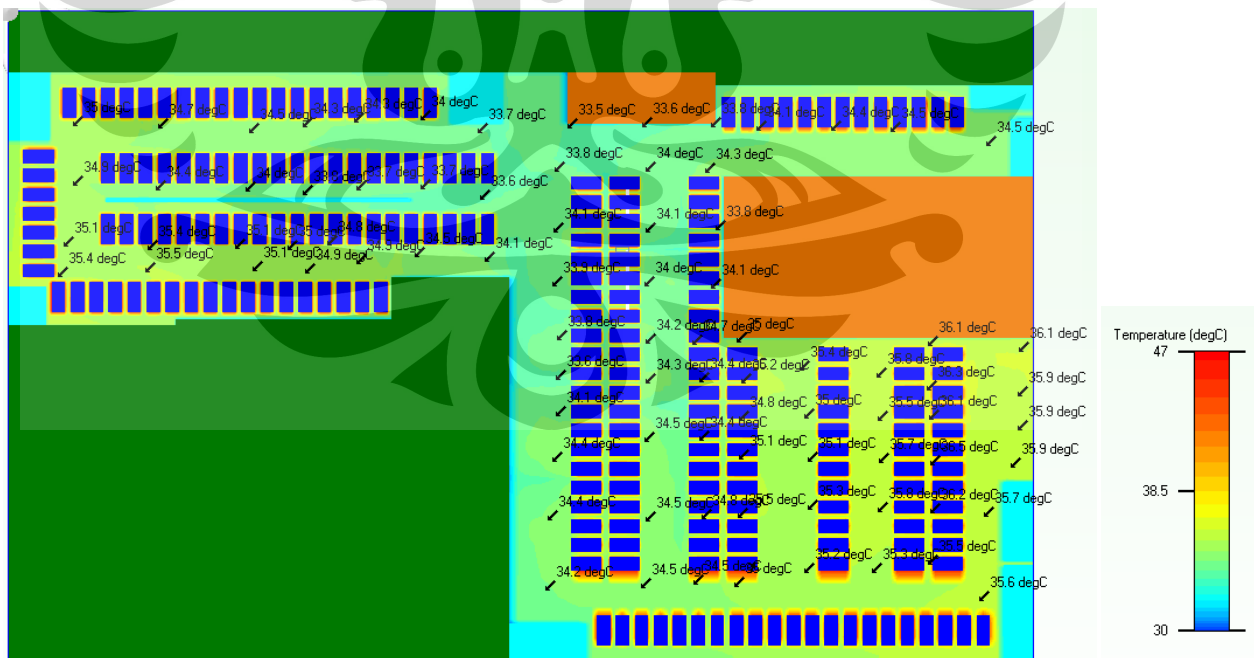
Gambar 4.4 Hasil simulasi *recommended* Basement 2

Dari hasil simulasi berikut dapat dilihat dari tiap lokasi titik – titik pengukuran dan terlihat juga dari degradasi warna penumpukan panas, bahwa temperature pada Basement 2 masih tergolong tinggi diatas temperature ambient yaitu 32.3°C. Kondisi ini dapat dikatakan lebih baik dari sebelumnya bila dilihat dari rata – rata temperaturnya antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi *recommended* yaitu 35.14°C dan 33.68°C. Berikut adalah grafik perbedaan temperature antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi *recommended* :



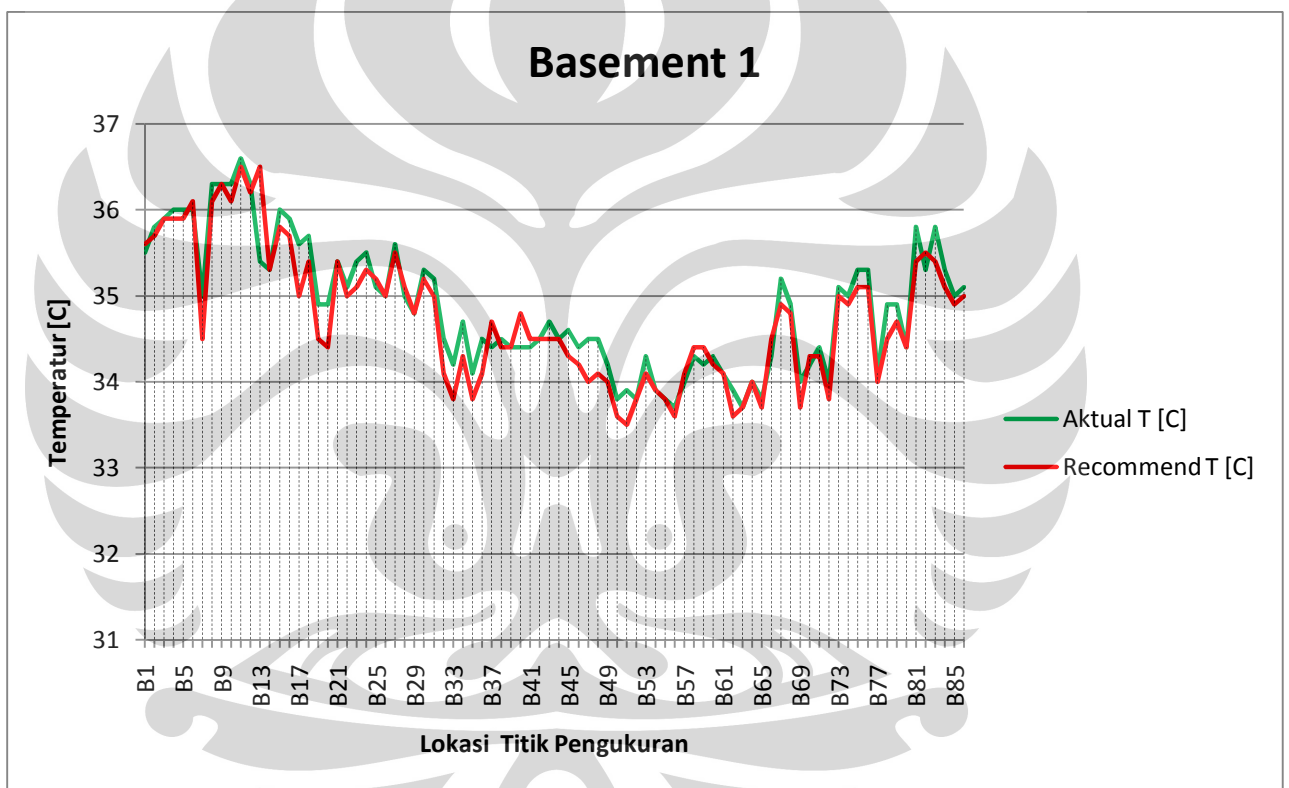
Grafik 4.7 Perbedaan temperatur antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi *recommended*

2. Basement 1



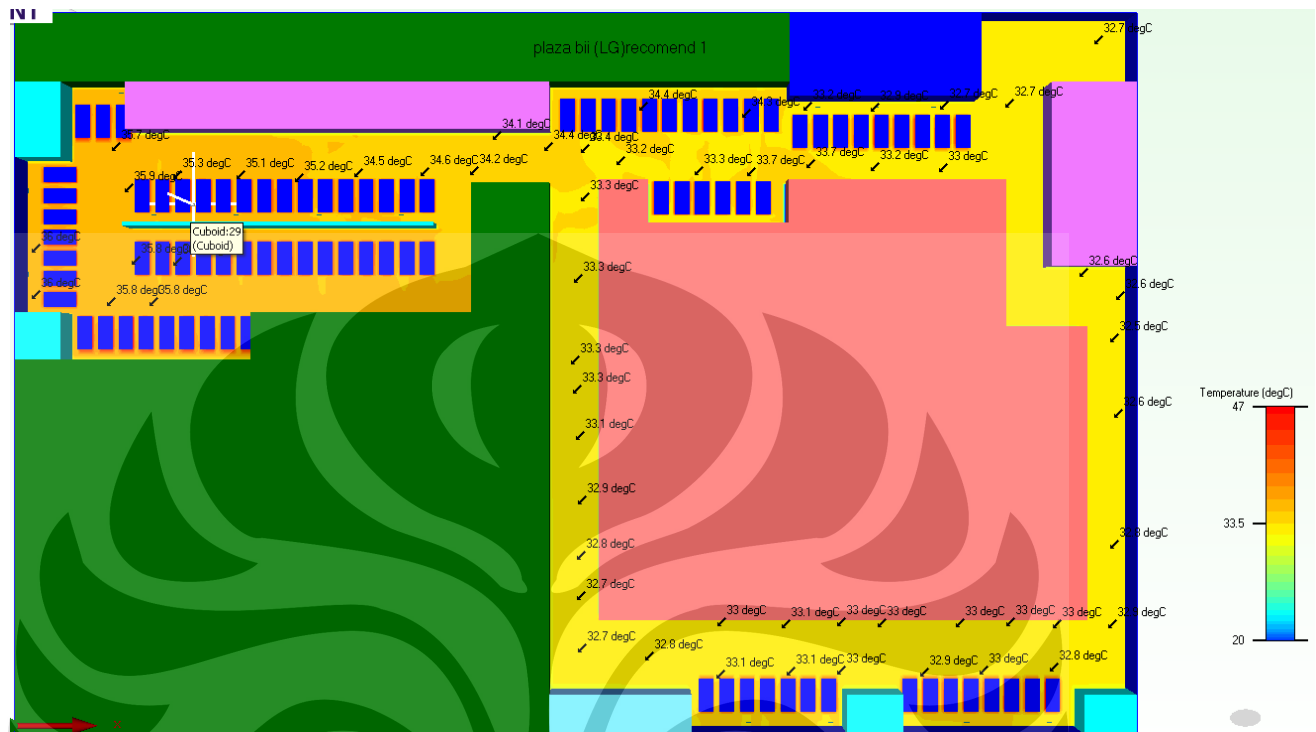
Gambar 4.5 Hasil simulasi *recommended* Basement 1

Dari hasil simulasi berikut dapat dilihat dari tiap lokasi titik – titik pengukuran dan terlihat juga dari degradasi warna penumpukan panas, bahwa temperature pada Basement 1 masih tergolong tinggi diatas temperature ambient yaitu  $32.8^{\circ}\text{C}$ . Kondisi ini dapat dikatakan lebih baik dari sebelumnya bila dilihat dari rata – rata temperaturnya antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi recommended yaitu  $34.87^{\circ}\text{C}$  dan  $34.75^{\circ}\text{C}$ . Berikut adalah grafik perbedaan temperature antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi recommended :



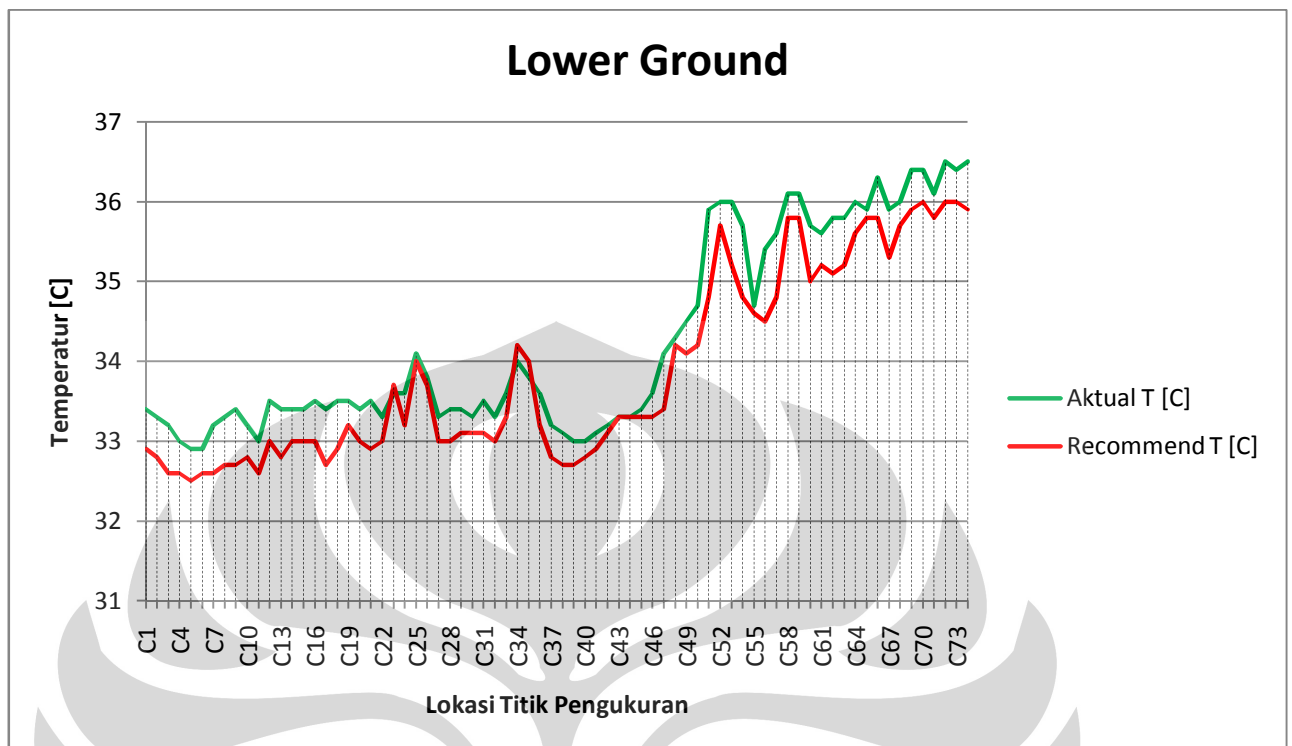
Grafik 4.8 Perbedaan temperatur antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi *recommended*

### 3. Lower Ground



Gambar 4.6 Hasil simulasi recommended Lower Ground

Dari hasil simulasi berikut dapat dilihat dari tiap lokasi titik – titik pengukuran dan terlihat juga dari degradasi warna penumpukan panas, bahwa temperature pada Lower Ground masih tergolong tinggi diatas temperature ambient yaitu 32.3°C. Kondisi ini dapat dikatakan lebih baik dari sebelumnya bila dilihat dari rata – rata temperaturnya antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi recommended yaitu 34.26°C dan 33.83°C. Berikut adalah grafik perbedaan temperature antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi recommended :



Grafik 4.9 Perbedaan temperature antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi *recommended*

#### 4.3. Pemilihan Standard dan Mensimulasikannya

Setelah melakukan analisa diatas yaitu simulasi *recommended* ternyata kebutuhan akan *supply* untuk menetralsir kontaminan dan *exhaust* untuk membuang kontaminan tersebut masih kurang dari cukup, sehingga pada ruangan terjadi penumpukan kontaminan yang akhirnya menyebabkan tingginya temperature pada hasil analisa simulasi dengan program Flovent.

Oleh karena itu digunakan acuan yaitu standard ASHRAE 62.1.2004 mengenai *Underground Ventilation Car Park*, pemilihan standard ASHRAE ini dikarenakan secara international standar ini digunakan oleh negara – negara berkembang yang dimana negaranya belum memiliki standar yang digunakan sebagai bahan acuan dalam perancangan *Underground Car Park* ini. Selain itu pada Standard ASHRAE 62.1.2004 memiliki total *ventilation rate* lebih besar dari pada Standard ASHRAE 62.1.2007 dan sangat



memungkinkan untuk diaplikasikan di Indonesia mengingat perkembangan teknologi kendaraan bermotor dan standard emisi gas buang kendaraan bermotor di Indonesia lebih rendah dibanding negara berkembang lainnya.

#### 4.3.1. Analisa dan Mensimulasikan Berdasarkan *Standard* ASHRAE 62.1.2004

Dalam standar ASHRAE 62.1.2004 ini mengatakan bahwa tetapan ventilasi untuk ruangan parkir tertutup yaitu 7,6 L/s.m<sup>2</sup> (1,5 cfm/ft<sup>2</sup>). Bila dihitung dan dibandingkan pada tiap - tiap lantai dari data aktual dan simulasi recommended terdapat perbedaan yang cukup signifikan.

Berikut adalah data dan hasil perhitungan tiap – tiap lantai :

##### 1. Basement 2

Data dimensi Lantai

Tabel 4.7 Data dimensi Basement 2

No	BASEMENT 2	Luas
1	Luas Total [m <sup>2</sup> ]	11,151
2	Ruang 1 [m <sup>2</sup> ]	163
3	Ruang 2 [m <sup>2</sup> ]	399
4	Ruang 3 [m <sup>2</sup> ]	782
5	Ruang 4 [m <sup>2</sup> ]	82
6	Ruang 5 [m <sup>2</sup> ]	421
7	Ruang 6 [m <sup>2</sup> ]	775
8	Ruang 7 [m <sup>2</sup> ]	923
9	Tangga 1 [m <sup>2</sup> ]	46
10	Tangga 2 [m <sup>2</sup> ]	24
11	Tangga 3 [m <sup>2</sup> ]	47
12	Tangga 4 [m <sup>2</sup> ]	30
13	X 0 [m <sup>2</sup> ]	35
14	X 2 [m <sup>2</sup> ]	35
Σ	Luas Ruang	3,763
Σ	<b>Luas Bidang Kosong [m<sup>2</sup>]</b>	<b>7,388</b>
Σ	Jumlah Grill supply	18
Σ	Jumlah Grill exhaust	54
	Tinggi Bidang [m]	3.1

Berdasarkan standard ASHRAE bila dilihat dari total luas bidang kosong pada Basement 2 maka seharusnya kebutuhan supply udara yaitu :

$$7388[m^2] \times 0.0076[m/s] \times 3600 = 202,135 \left[ m^3/jam \right]$$

Kebutuhan supply tersebut memiliki perbedaan yang signifikan bila dibandingkan dengan data aktual dan hasil simulasi recommended yaitu :

- Data pengukuran aktual =  $76,362 \left[ m^3/jam \right]$
- Data hasil simulasi recommended =  $80,608 \left[ m^3/jam \right]$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan persentase kekurangan supply udara antara aktual dengan standard ASHRAE seperti pada tabel 4.2 yaitu sebesar 62%. Sedangkan untuk exhaust nilainya sama dengan jumlah udara yang disupply-kan pada ruangan tersebut.

Setelah diperoleh standar kebutuhan ventilasi pada ruangan, maka akan dianalisa dengan menggunakan modeling dan simulasi pada program Flovent. Berdasarkan table diatas dengan jumlah Grill Supply dan Exhaust masing – masing adalah 18 dan 54 buah. Maka flow udara pada masing – masing grill baik di supply dan exhaust adalah :

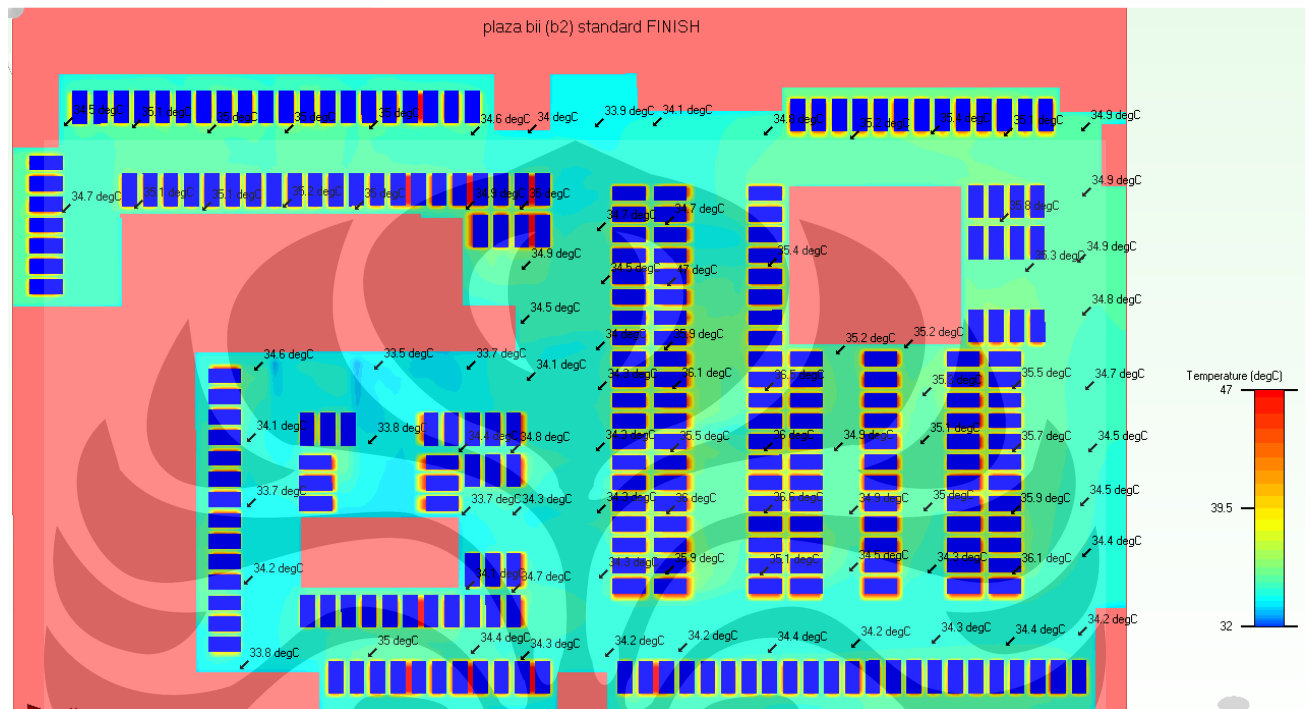
flow udara pada masing – masing grill supply

$$\frac{202,135}{18} = 11,229.76 \left[ m^3/jam \right] \text{ atau } 3.12 \left[ m^3/s \right]$$

flow udara pada masing – masing grill exhaust

$$\frac{202,135}{54} = 3,743.25 \left[ m^3/jam \right] \text{ atau } 1.04 \left[ m^3/s \right]$$

Dari masing – masing flow udara supply dan exhaust di input pada program Flovent untuk dianalisa berdasarkan modeling dan simulasi. Maka diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 4.7 Hasil simulasi Standard Basement 2

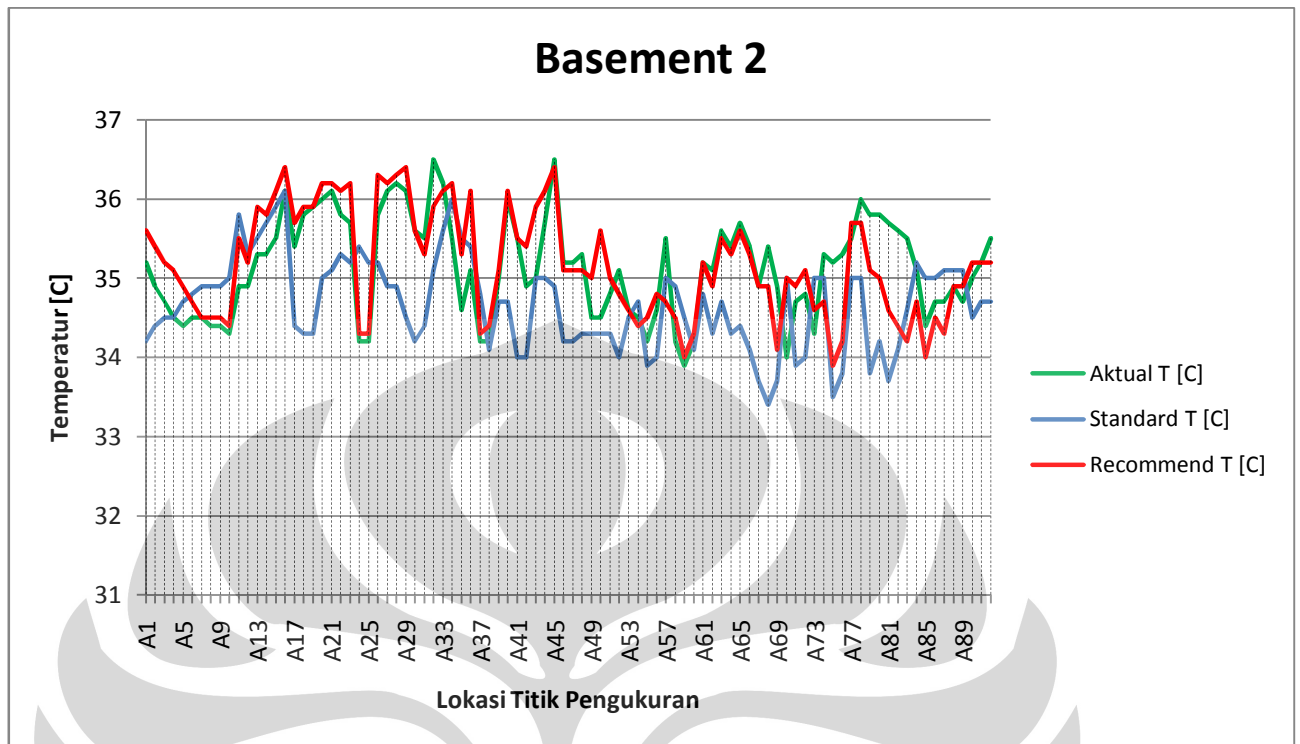
Dari hasil simulasi standard diatas maka diambil kembali beberapa titik lokasi pengukuran, untuk mengetahui kondisi temperature pada ruangan. Berikut adalah data hasil pengukuran simulasi standard :

Tabel 4.8 Data hasil pengukuran simulasi standard pada Basement 2

Titik Pengukuran	Standard T [C]	Titik Pengukuran	Standard T [C]	Titik Pengukuran	Standard T [C]
A1	34.2	A32	35.1	A63	34.7
A2	34.4	A33	35.6	A64	34.3
A3	34.5	A34	36	A65	34.4
A4	34.5	A35	35.5	A66	34.1
A5	34.7	A36	35.4	A67	33.7
A6	34.8	A37	34.8	A68	33.4

A7	34.9	A38	34.1	A69	33.7
A8	34.9	A39	34.7	A70	35
A9	34.9	A40	34.7	A71	33.9
A10	35	A41	34	A72	34
A11	35.8	A42	34	A73	35
A12	35.3	A43	35	A74	35
A13	35.5	A44	35	A75	33.5
A14	35.7	A45	34.9	A76	33.8
A15	35.9	A46	34.2	A77	35
A16	36.1	A47	34.2	A78	35
A17	34.4	A48	34.3	A79	33.8
A18	34.3	A49	34.3	A80	34.2
A19	34.3	A50	34.3	A81	33.7
A20	35	A51	34.3	A82	34.1
A21	35.1	A52	34	A83	34.6
A22	35.3	A53	34.5	A84	35.2
A23	35.2	A54	34.7	A85	35
A24	35.4	A55	33.9	A86	35
A25	35.2	A56	34	A87	35.1
A26	35.2	A57	35	A88	35.1
A27	34.9	A58	34.9	A89	35.1
A28	34.9	A59	34.5	A90	34.5
A29	34.5	A60	34.1	A91	34.7
A30	34.2	A61	34.8	A92	34.7
A31	34.4	A62	34.3	<b>Rata - Rata</b>	<b>34.6</b>

Dari hasil pengambilan data dari tiap lokasi titik – titik pengukuran didapatkan rata – rata temperatur Basement 2 yaitu  $34.6^{\circ}\text{C}$  , kondisi tersebut sudah mendekati temperatur ambient yaitu  $32.3^{\circ}\text{C}$ . Kondisi ini dapat dikatakan lebih baik dari sebelumnya bila dilihat dari rata – rata temperaturnya antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi recommended yaitu  $35.14^{\circ}\text{C}$  dan  $33.68^{\circ}\text{C}$ . Berikut adalah grafik perbedaan temperatur antara hasil simulasi aktual, hasil simulasi *recommended* dan hasil simulasi standar :



Grafik 4.10 Perbedaan temperatur antara hasil simulasi aktual, hasil simulasi *recommended* dan hasil simulasi standar

## 2. Basement 1

Data dimensi lantai

Tabel 4.9 Data dimensi Basement 1

No	BASEMENT 1	Luas
1	Luas total [m <sup>2</sup> ]	11,150
2	Ruang 1 [m <sup>2</sup> ]	2,095
3	Ruang 2 [m <sup>2</sup> ]	697
4	Ruang 3 [m <sup>2</sup> ]	133
5	Ruang 4 [m <sup>2</sup> ]	444
6	Ruang 5 [m <sup>2</sup> ]	779
7	Ruang 6 [m <sup>2</sup> ]	923
8	Tangga 1 [m <sup>2</sup> ]	49
9	Tangga 2 [m <sup>2</sup> ]	104
10	Tangga 3 [m <sup>2</sup> ]	473
11	X 0 [m <sup>2</sup> ]	26
12	X 1 [m <sup>2</sup> ]	38
$\Sigma$	Luas Ruang	5,760
$\Sigma$	<b>Luas Bidang Kosong [m<sup>2</sup>]</b>	<b>5,390</b>
$\Sigma$	Jumlah Grill supply	14
$\Sigma$	Jumlah Grill exhaust	37
	Tinggi Bidang [m] =	3.1

Berdasarkan standard ASHRAE bila dilihat dari total luas bidang kosong pada Basement 1 maka seharusnya kebutuhan supply udara yaitu :

$$5390[m^2] \times 0.0076[m/s] \times 3600 = 147,470 \left[ m^3/jam \right]$$

Kebutuhan supply tersebut memiliki perbedaan yang signifikan bila dibandingkan dengan data aktual dan hasil simulasi recommended yaitu :

- Data pengukuran aktual =  $65,692 \left[ m^3/jam \right]$
- Data hasil simulasi *recommended* =  $72,658 \left[ m^3/jam \right]$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan persentase kekurangan supply udara antara aktual dengan standard ASHRAE yaitu sebesar 55%. Sedangkan untuk *exhaust* nilainya sama dengan jumlah udara yang *disupply*-kan pada ruangan tersebut.

Setelah diperoleh standar kebutuhan ventilasi pada ruangan, maka akan dianalisa dengan menggunakan modeling dan simulasi pada program Flovent. Berdasarkan table diatas dengan jumlah Grill *Supply* dan *Exhaust* masing – masing adalah 14 dan 37 buah. Maka flow udara pada masing – masing grill baik di *supply* dan *exhaust* adalah :

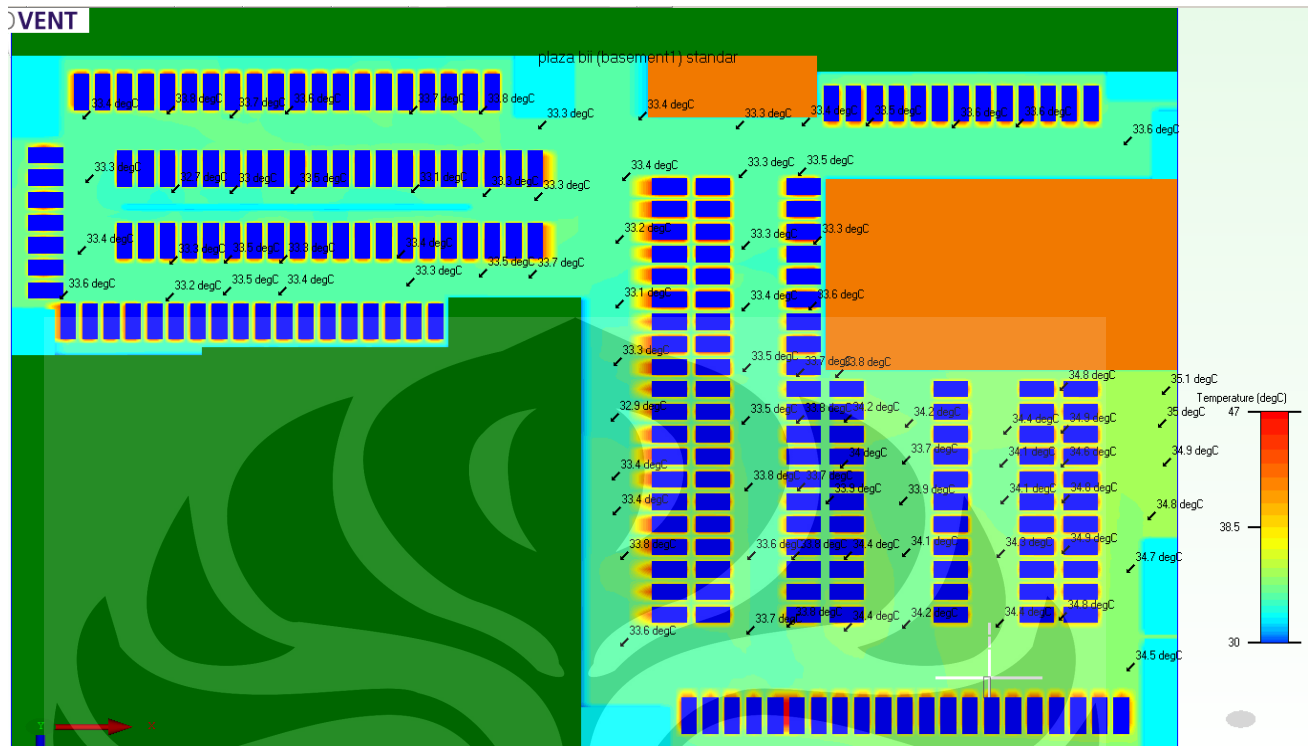
flow udara pada masing – masing grill supply

$$\frac{147,470}{14} = 10,533.6 \left[ m^3/jam \right] \text{ atau } 2.93 \left[ m^3/s \right]$$

flow udara pada masing – masing grill exhaust

$$\frac{147,470}{37} = 3,985.69 \left[ m^3/jam \right] \text{ atau } 1.11 \left[ m^3/s \right]$$

Dari masing – masing flow udara supply dan exhaust di input pada program Flovent untuk dianalisa berdasarkan modeling dan simulasi. Maka diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 4.8 Hasil simulasi Standard Basement 1

Dari hasil simulasi standard diatas maka diambil kembali beberapa titik lokasi pengukuran, untuk mengetahui kondisi temperatur pada ruangan. Berikut adalah data hasil pengukuran simulasi standard :

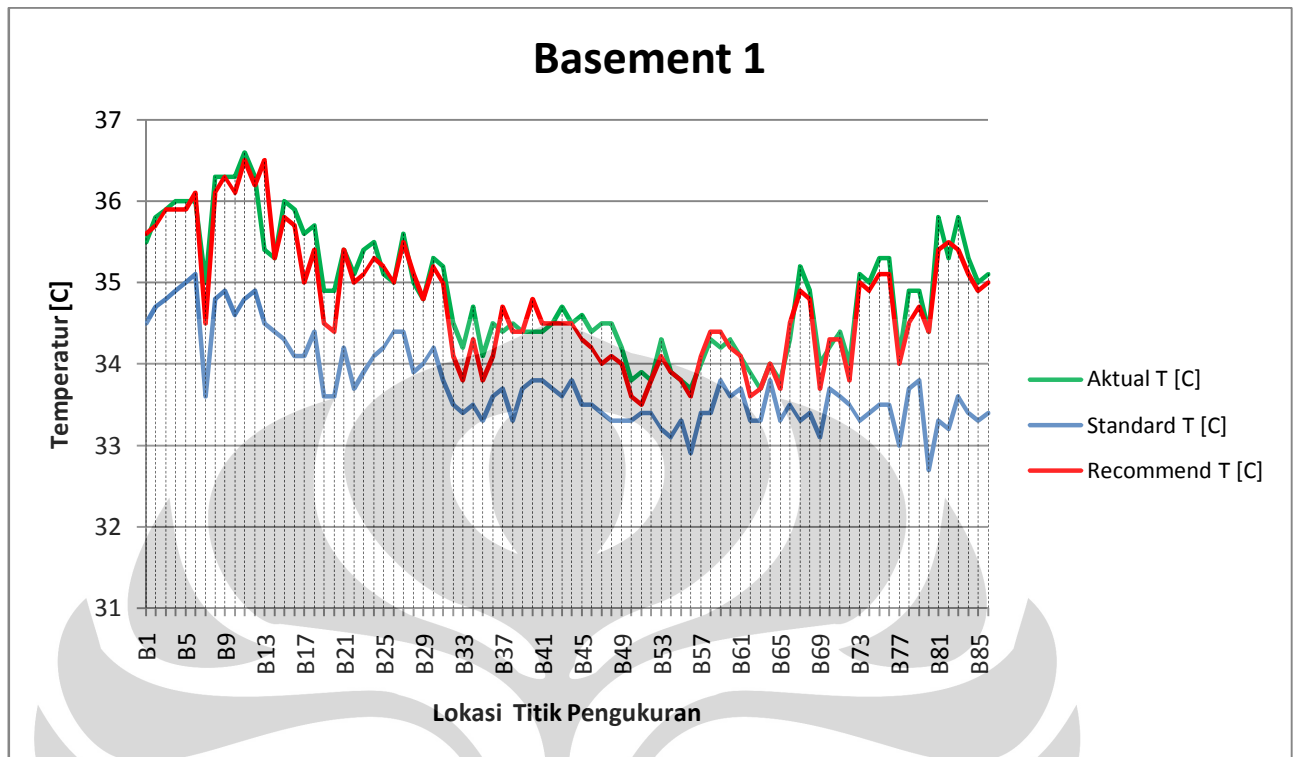
Tabel 4.10 Data hasil pengukuran simulasi standard pada Basement 1

Titik Pengukuran	Standard T [C]	Titik Pengukuran	Standard T [C]	Titik Pengukuran	Standard T [C]
B1	34.5	B30	34.2	B59	33.8
B2	34.7	B31	33.8	B60	33.6
B3	34.8	B32	33.5	B61	33.7
B4	34.9	B33	33.4	B62	33.3
B5	35	B34	33.5	B63	33.3
B6	35.1	B35	33.3	B64	33.8
B7	33.6	B36	33.6	B65	33.3
B8	34.8	B37	33.7	B66	33.5
B9	34.9	B38	33.3	B67	33.3
B10	34.6	B39	33.7	B68	33.4



B11	34.8	B40	33.8	B69	33.1
B12	34.9	B41	33.8	B70	33.7
B13	34.5	B42	33.7	B71	33.6
B14	34.4	B43	33.6	B72	33.5
B15	34.3	B44	33.8	B73	33.3
B16	34.1	B45	33.5	B74	33.4
B17	34.1	B46	33.5	B75	33.5
B18	34.4	B47	33.4	B76	33.5
B19	33.6	B48	33.3	B77	33
B20	33.6	B49	33.3	B78	33.7
B21	34.2	B50	33.3	B79	33.8
B22	33.7	B51	33.4	B80	32.7
B23	33.9	B52	33.4	B81	33.3
B24	34.1	B53	33.2	B82	33.2
B25	34.2	B54	33.1	B83	33.6
B26	34.4	B55	33.3	B84	33.4
B27	34.4	B56	32.9	B85	33.3
B28	33.9	B57	33.4	B86	33.4
B29	34	B58	33.4	<b>Rata - Rata</b>	<b>33.7</b>

Dari hasil pengambilan data dari tiap lokasi titik – titik pengukuran didapatkan rata – rata temperatur Basement 1 yaitu 33.7°C , kondisi tersebut sudah mendekati temperatur ambient yaitu 32.8°C. Kondisi ini dapat dikatakan lebih baik dari sebelumnya bila dilihat dari rata – rata temperaturnya antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi *recommended* yaitu 34.87°C dan 34.75°C. Berikut adalah grafik perbedaan temperatur antara hasil simulasi aktual, hasil simulasi *recommended* dan hasil simulasi standar :



Grafik 4.11 Perbedaan temperature antara hasil simulasi aktual, hasil simulasi *recommended* dan hasil simulasi standar

### 3. Lower Ground

Data dimensi Lantai

Tabel 4.11 Data dimensi Lower Ground

No	LOWER GROUND	Luas
1	Luas total [m <sup>2</sup> ]	11,475
2	Ruang 1 [m <sup>2</sup> ]	2,898
3	Ruang 2 [m <sup>2</sup> ]	1,337
4	Ruang 3 [m <sup>2</sup> ]	139
5	Ruang 4 [m <sup>2</sup> ]	146
6	Ruang 5 [m <sup>2</sup> ]	408
7	Ruang 6 [m <sup>2</sup> ]	32
8	Ruang 7 [m <sup>2</sup> ]	755
9	Ruang 8 [m <sup>2</sup> ]	969
10	Tangga 1 [m <sup>2</sup> ]	49
11	Tangga 2 [m <sup>2</sup> ]	28
12	Tangga 3 [m <sup>2</sup> ]	26
Σ	Luas Ruang	6,787
Σ	<b>Luas Bidang Kosong [m<sup>2</sup>] =</b>	<b>4,688</b>
Σ	Jumlah Grill supply	12
Σ	Jumlah Grill exhaust	15
	Tinggi Bidang [m] =	3.8

Berdasarkan standard ASHRAE bila dilihat dari total luas bidang kosong pada Lower Ground maka seharusnya kebutuhan supply udara yaitu :

$$4688[m^2] \times 0.0076[m/s] \times 3600 = 128,263 \left[ \frac{m^3}{jam} \right]$$

Kebutuhan supply tersebut memiliki perbedaan yang signifikan bila dibandingkan dengan data aktual dan hasil simulasi recommended yaitu :

- Data pengukuran aktual =  $13,162 \left[ \frac{m^3}{jam} \right]$
- Data hasil simulasi recommended =  $28,633 \left[ \frac{m^3}{jam} \right]$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan persentase kekurangan supply udara antara aktual dengan standard ASHRAE yaitu sebesar 90%. Sedangkan untuk exhaust nilainya sama dengan jumlah udara yang disupplykan pada ruangan tersebut.

Setelah diperoleh standar kebutuhan ventilasi pada ruangan, maka akan dianalisa dengan menggunakan modeling dan simulasi pada program Flovent. Berdasarkan table diatas dengan jumlah Grill *Supply* dan *Exhaust* masing – masing adalah 12 dan 15 buah. Maka flow udara pada masing – masing grill baik di supply dan exhaust adalah :

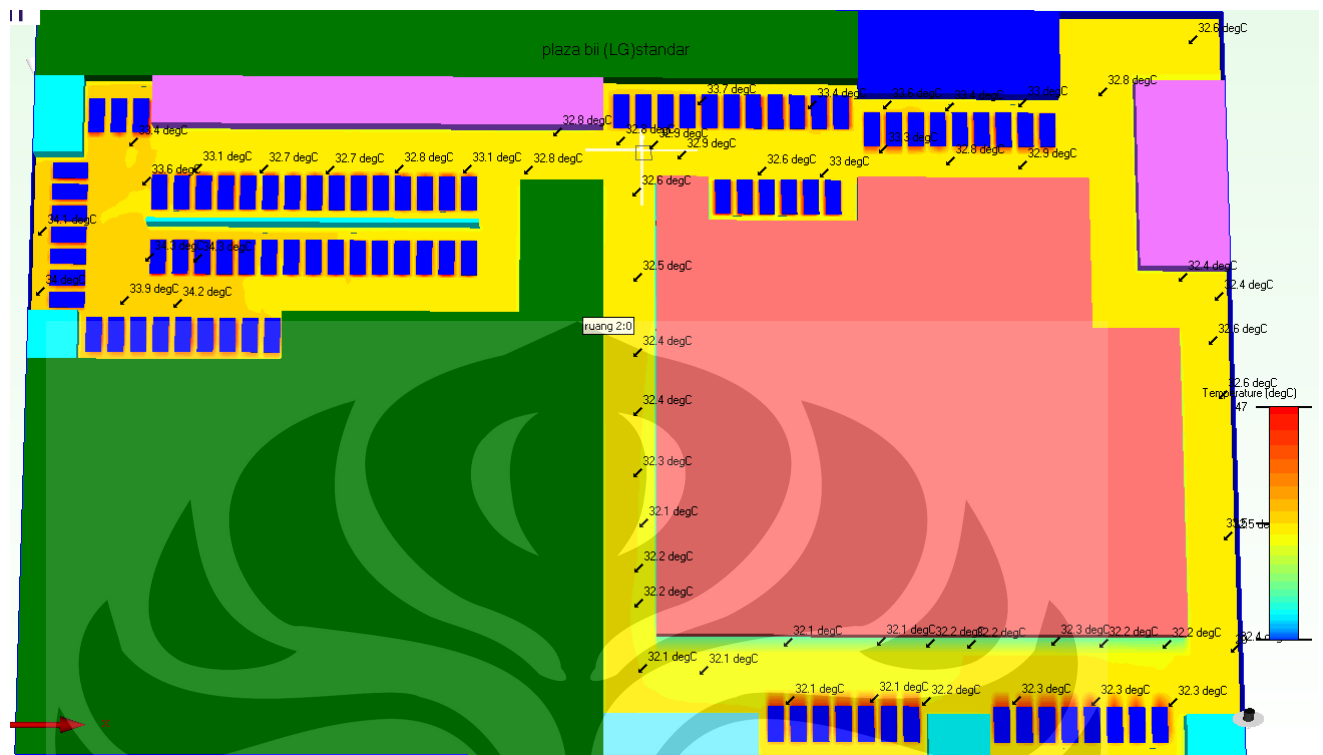
flow udara pada masing – masing grill supply

$$\frac{128,263}{12} = 10,688.64 \left[ m^3/jam \right] \text{ atau } 2.97 \left[ m^3/s \right]$$

flow udara pada masing – masing grill exhaust

$$\frac{128,263}{15} = 8,550.91 \left[ m^3/jam \right] \text{ atau } 2.38 \left[ m^3/s \right]$$

Dari masing – masing flow udara supply dan exhaust di input pada program Flovent untuk dianalisa berdasarkan modeling dan simulasi. Maka diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 4.9 Hasil simulasi Standard Lower Ground

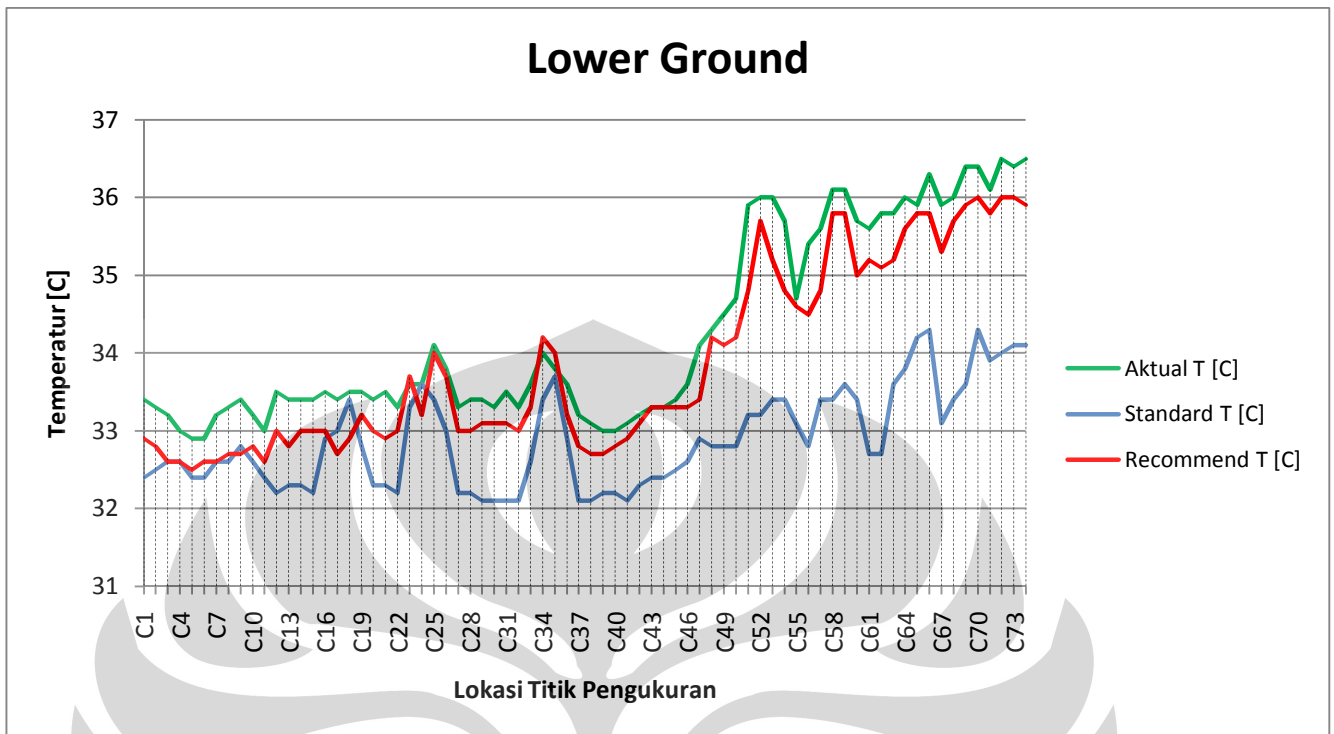
Dari hasil simulasi standard diatas maka diambil kembali beberapa titik lokasi pengukuran, untuk mengetahui kondisi temperature pada ruangan. Berikut adalah data hasil pengukuran simulasi standard :

Tabel 4.12 Data hasil pengukuran simulasi *standard* pada Lower Ground

Titik Pengukuran	Standard T [C]	Titik Pengukuran	Standard T [C]	Titik Pengukuran	Standard T [C]
C1	32.4	C26	33	C51	33.2
C2	32.5	C27	32.2	C52	33.2
C3	32.6	C28	32.2	C53	33.4
C4	32.6	C29	32.1	C54	33.4
C5	32.4	C30	32.1	C55	33.1
C6	32.4	C31	32.1	C56	32.8
C7	32.6	C32	32.1	C57	33.4
C8	32.6	C33	32.6	C58	33.4
C9	32.8	C34	33.4	C59	33.6

C10	32.6	C35	33.7	C60	33.4
C11	32.4	C36	32.9	C61	32.7
C12	32.2	C37	32.1	C62	32.7
C13	32.3	C38	32.1	C63	33.6
C14	32.3	C39	32.2	C64	33.8
C15	32.2	C40	32.2	C65	34.2
C16	32.9	C41	32.1	C66	34.3
C17	33	C42	32.3	C67	33.1
C18	33.4	C43	32.4	C68	33.4
C19	32.8	C44	32.4	C69	33.6
C20	32.3	C45	32.5	C70	34.3
C21	32.3	C46	32.6	C71	33.9
C22	32.2	C47	32.9	C72	34
C23	33.3	C48	32.8	C73	34.1
C24	33.6	C49	32.8	C74	34.1
C25	33.4	C50	32.8	<b>Rata -Rata</b>	<b>32.8</b>

Dari hasil pengambilan data dari tiap lokasi titik – titik pengukuran didapatkan rata – rata temperatur Lower Ground yaitu 32.8°C , kondisi tersebut sudah mendekati temperatur ambient yaitu 32.3°C. Kondisi ini dapat dikatakan lebih baik dari sebelumnya bila dilihat dari rata – rata temperaturnya antara hasil simulasi aktual dengan hasil simulasi *recommended* yaitu 34.26°C dan 33.83°C. Berikut adalah grafik perbedaan temperature antara hasil simulasi aktual, hasil simulasi *recommended* dan hasil simulasi standar :



Grafik 4.12 Perbedaan temperatur antara hasil simulasi aktual, hasil simulasi *recommended* dan hasil simulasi standar

#### 4.4. Contoh Hasil Simulasi Penumpukan Konsentrasi CO

Disini dijelaskan contoh pergerakan atau pola distribusi aliran udara melalui gambar hasil simulasi pada Basement 2 dari hasil simulasi aktual, recommended dan Standard ASHRAE 62.1.2004.

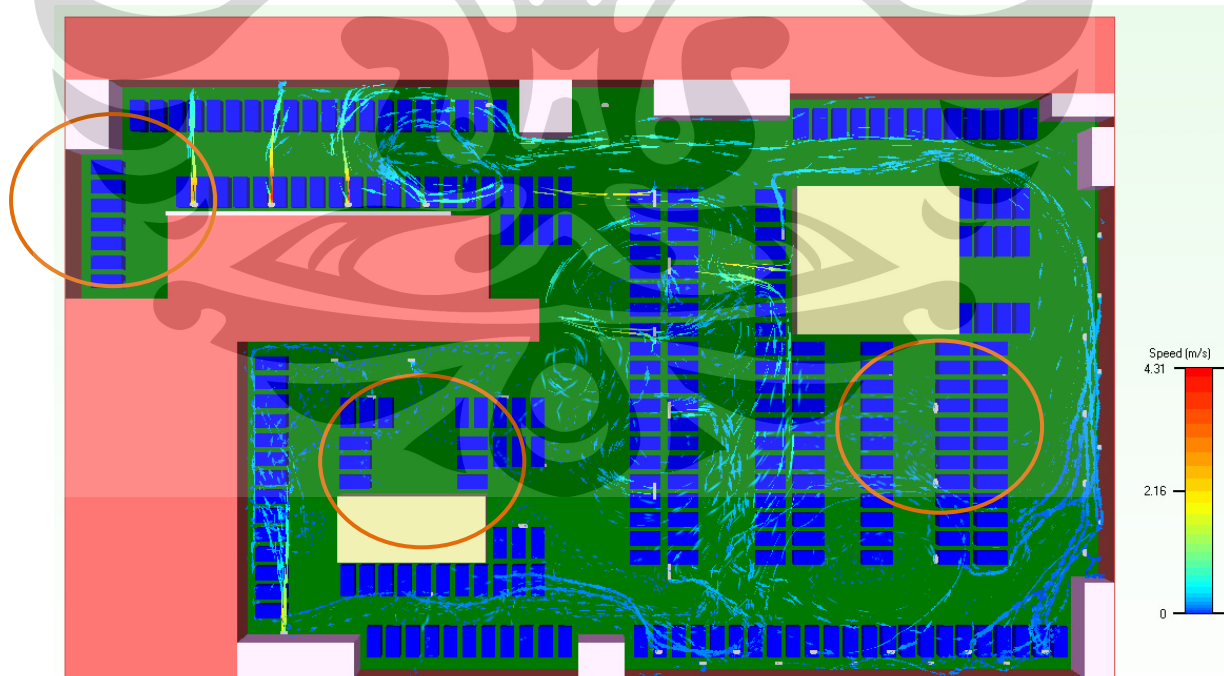
Dari hasil simulasi ini dapat dilihat kecenderungan pergerakan aliran udara dan daerah yang tidak ada pergerakan udara, dari sini dapat disimpulkan lokasi atau daerah yang terjadi penumpukan konsentrasi CO.

Berikut adalah contoh hasil simulasi pada Basement 2 :

## 4.4.1. Simulasi aktual



Gambar 4.10 Hasil simulasi aktual penumpukan konsentrasi CO pada Basement 2



Gambar 4.11 Pola aliran udara dan CO hasil simulasi aktual pada Basement 2



Pada gambar 4.10 dapat dilihat terdapat tiga lokasi dimana warna merah mendominasi lokasi tersebut. Hal ini terjadi karena adanya penumpukan konsentrasi CO pada lokasi tersebut. Dapat dilihat juga pada Gambar 4.11 yang memperjelas bahwa penumpukan konsentrasi CO pada ketiga lokasi tersebut karena tidak adanya pergerakan aliran udara.

Tidak terjadinya pergerakan udara pada ketiga lokasi yang diberi tanda merah tersebut disebabkan oleh karena tidak terdapatnya *exhaust* pada lokasi tersebut dan sekalipun terdapat *exhaust* dan *supply* tersebut tidak menjangkau lokasi yang diberi tanda merah pada gambar.

#### 4.4.2. Simulasi recommended



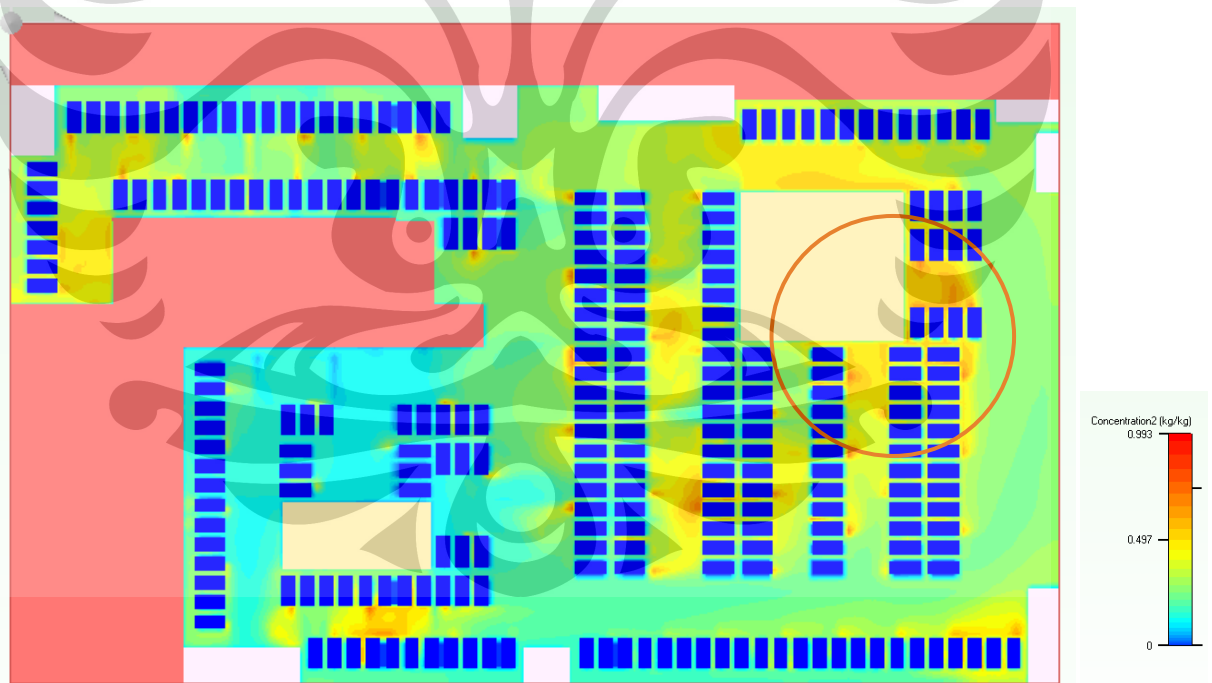
Gambar 4.12 Pola aliran udara dan CO hasil simulasi recommended pada Basement 2

Pada Gambar 4.12 dapat dilihat terdapat tiga lokasi dimana dua lokasi tidak ada pergerakan aliran udara sehingga terjadi penumpukan konsentrasi

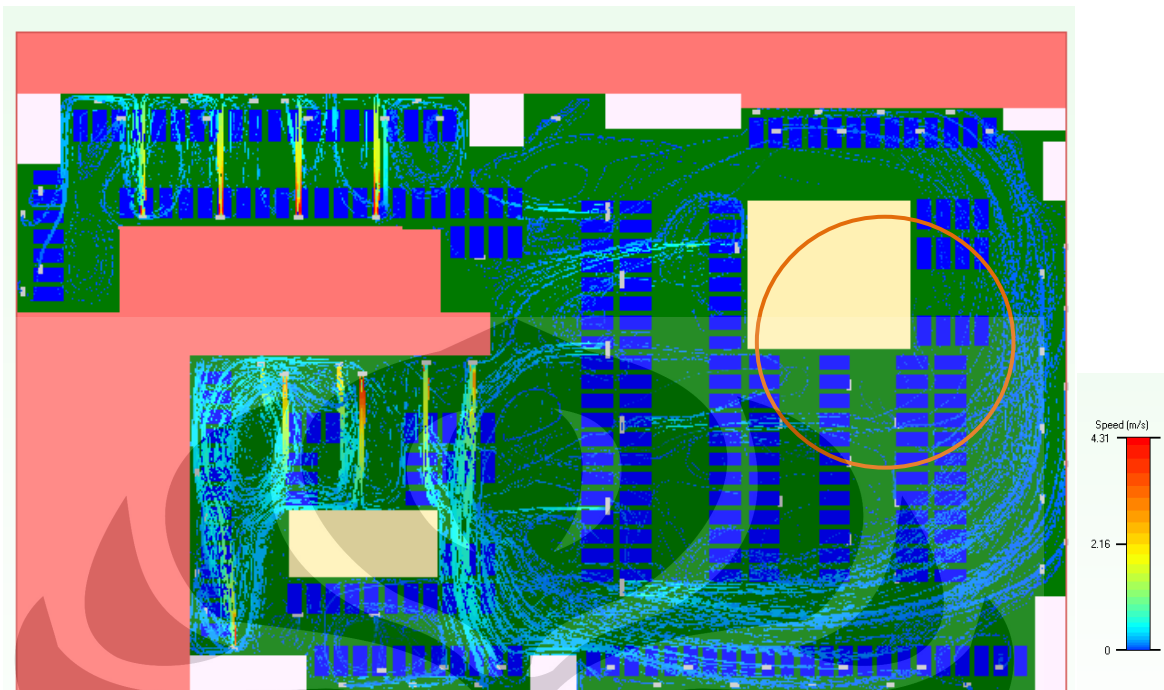
CO selain itu kalor yang terdapat di daerah itu pun tidak terbang sehingga temperturnya menjadi lebih tinggi dari lokasi atau daerah yang lain. Sedangkan pada satu lokasi dimana terjadi aliran udara yang sangat deras sehingga pada sudut bangunan terjadi perputaran udara yang terkonsentrasi pada satu titik yang tidak bergerak.

Tidak terjadinya pergerakan udara pada ketiga lokasi yang diberi tanda merah tersebut disebabkan oleh karena tidak terdapatnya *exhaust* pada lokasi tersebut dan sekalipun terdapat *exhaust* dan *supply* tersebut tidak menjangkau lokasi yang diberi tanda merah pada gambar. Sedangkan perputaran yang terjadi pada sudut bangunan tersebut karena tidak meratanya *supply* dan *exhaust* sehingga debit alirannya tidak merata.

#### 4.4.3. Simulasi Standard ASHRAE 62.1.2004



Gambar 4.13 Hasil simulasi Standard penumpukan konsentrasi CO pada Basement 2



Gambar 4.14 Pola aliran udara dan CO hasil simulasi Standard pada Basement 2

Pada gambar 4.13 dapat dilihat berkurangnya seluruh dominasi warna merah pada ruangan, dan hanya terdapat sebuah lokasi dimana dominasi warna merahnya pun sudah berkurang dibanding sebelumnya pada lokasi tersebut. Hal ini terjadi karena penumpukan konsentrasi CO pada lokasi tersebut sudah berkurang. Dapat dilihat juga pada Gambar 4.14 yang memperjelas bahwa berkurangnya penumpukan konsentrasi CO pada lokasi tersebut karena pergerakan aliran udaranya lebih baik.

Pada gambar 4.14 dapat dilihat terjadinya sedikit pergerakan aliran udara pada lokasi bertanda bertanda merah diatas hal tersebut disebabkan oleh karena tidak adanya *exhaust* pada lokasi tersebut dan sekalipun ada *exhaust* dan *supply* tersebut kurang menjangkau lokasi yang diberi tanda merah pada gambar. Sebaiknya pada lokasi yang diberi tanda merah tersebut di tambahkan *exhaust* dan *supply* sehingga pendistribusian udaranya lebih merata dan untuk CO pun dapat terbuang dari ruangan tersebut.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Simulasi dan modeling aliran udara dan temperature yang dilakukan dengan Flovent dapat dianalisis karena menunjukkan hasil yang serupa atau hanya terjadi perbedaan (error) yang terjadi kecil terhadap hasil pengukuran atau berdasarkan data yang diperoleh langsung di lapangan.

Dari hasil pengukuran dan simulasi mengenai total kapasitas udara yang di keluarkan sebagai supply secara actual pada Basement 2, Basement 1, dan Lower Ground masing – masing sebesar 76,362 [m<sup>3</sup>/jam], 65,692 [m<sup>3</sup>/jam] dan 13,162 [m<sup>3</sup>/jam]. Sangat berbeda bila dibandingkan dengan standar kebutuhan sesungguhnya berdasarkan standar ASHRAE yaitu sebesar 202,135 [m<sup>3</sup>/jam], 147,470 [m<sup>3</sup>/jam] dan 128,263 [m<sup>3</sup>/jam]. Dari data tersebut maka rata – rata kekurangan supply udara adalah masing – masing ruangan Basement 2, Basement 1 dan Lower Ground adalah sebesar 62%, 55% dan 90% dari yang seharusnya.

Dari hasil pengukuran dan simulasi disimpulkan bahwa temperature di dalam ruangan parkir nilainya sangat tinggi itu disebabkan standar kebutuhan udara tidak terpenuhi dengan kata lain sirkulasi udara atau ventilasinya kurang baik sehingga gas buang kendaraan bermotor tidak sepenuhnya terbuang, tetapi terakumulasi diruangan tersebut.

#### 5.2. Saran

Untuk pembuatan simulasi pada Flovent agar membuat asumsi – asumsi untuk menyederhanakan model atau geometri, tetapi model atau geometri tersebut tetap dapat mewakili atau memenuhi informasi yang cukup untuk tingkat keakuratan bentuk yang dimaksud.

Kenyamanan dan perasaan nyaman adalah penilaian komprehensif terhadap lingkungannya, dengan kondisi seperti itu maka akan membuat nyaman dalam beraktivitas diruangan tersebut, sama halnya dengan ruangan parkir, bila kondisi ventilasi atau sirkulasi udaranya kurang baik maka udara panas dan gas pembuangan kendaraan tidak sepenuhnya terbuang yang akhirnya terakumulasi, yang berakibat fatal bagi orang yang berada diruang tersebut. Berdasarkan hasil analisa bahwa tingginya temperatur ruangan dikarenakan kebutuhan akan sirkulasi udara pada underground car park tersebut kurang mencukupi dalam arti tidak bekerja dengan baik. Untuk itu sebaiknya sistem ventilasi pada ruangan tersebut lebih dioptimalkan lagi sesuai dengan standar yang dibuat dan bila perlu lay out ducting disesuaikan kembali berdasarkan tata letak kendaraan.

Untuk institusi Universitas Indonesia diharapkan dapat memberikan bekal ilmu pengetahuan dan wawasan yang lebih luas lagi kepada mahasiswa mengenai Software Flovent.

## DAFTAR REFERENSI

<http://id.wikipedia.org/wiki/Parkir>.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Parking>.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Parking\\_lot](http://en.wikipedia.org/wiki/Parking_lot).

[http://en.wikipedia.org/wiki/Indoor\\_air\\_quality](http://en.wikipedia.org/wiki/Indoor_air_quality).

McDermott, J Henry. *Handbook of Ventilation For Contaminant Control*. Second Edition.

*FloVent V7, 2007 :The Mechanical Analysis Division of Mentor Graphics Corporation, United Kingdom.*

ASHRAE Standard. 2007, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engginers, Inc.

ASHRAE Standard. 2004, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engginers, Inc.

IMC Standard. 2009.

ASHRAE Jurnal. 2004, *Ventilation for Enclosed Parking Garages*.









## Lampiran 4

Tabel 3.1 Data supply dan exhaust recommended Basement 2

Titik Pengukuran	Supply				Exhaust			
	Dimensi [in]	Luas [m2]	V [m/s]	Flow [m3/s]	Dimensi [in]	Luas [m2]	V [m/s]	Flow [m3/s]
A1	x	x	x	x	x	x	x	x
A2	x	x	x	x	24x10	0.15	0.9	0.14
	x	x	x	x	20x12	0.15	0.9	0.14
A3	x	x	x	x	24x10	0.15	1	0.15
	x	x	x	x	20x12	0.15	1.39	0.22
A4	x	x	x	x	24x10	0.15	1.97	0.30
	x	x	x	x	20x12	0.15	1.36	0.21
A5	x	x	x	x	24x10	0.15	2.02	0.31
	x	x	x	x	20x12	0.15	2.21	0.34
A6	x	x	x	x	x	x	x	x
A7	x	x	x	x	24x10	0.15	2.82	0.44
	x	x	x	x	20x12	0.15	2.8	0.43
A8	x	x	x	x	x	x	x	x
A9	x	x	x	x	x	x	x	x
A10	x	x	x	x	24x10	0.15	1.82	0.28
	x	x	x	x	20x12	0.15	1.7	0.26
A11	x	x	x	x	x	x	x	x
A12	x	x	x	x	x	x	x	x
A13	x	x	x	x	x	x	x	x
A14	x	x	x	x	x	x	x	x
A15	x	x	x	x	x	x	x	x
A16	x	x	x	x	x	x	x	x
A17	x	x	x	x	24x10	0.15	5.6	0.87
	x	x	x	x	20x12	0.15	2.8	0.43
A18	x	x	x	x	24x10	0.15	2.36	0.37
	x	x	x	x	20x12	0.15	2.76	0.43
A19	x	x	x	x	x	x	x	x
A20	x	x	x	x	x	x	x	x
A21	x	x	x	x	x	x	x	x
A22	x	x	x	x	x	x	x	x
A23	x	x	x	x	x	x	x	x
A24	x	x	x	x	24x10	0.15	2.6	0.40
	x	x	x	x	20x12	0.15	1.97	0.30
A25	x	x	x	x	24x10	0.15	2.34	0.36
	x	x	x	x	20x12	0.15	1.82	0.28
A26	x	x	x	x	x	x	x	x
A27	x	x	x	x	x	x	x	x

A28	x	x	x	x		x	x	x	x
A29	x	x	x	x		x	x	x	x
A30	x	x	x	x		24x10	0.15	2.79	0.43
	x	x	x	x		20x12	0.15	2.03	0.31
A31	x	x	x	x		24x10	0.15	2.44	0.38
	x	x	x	x		20x12	0.15	1.3	0.20
A32	x	x	x	x		x	x	x	x
A33	x	x	x	x		x	x	x	x
A34	x	x	x	x		x	x	x	x
A35	x	x	x	x		x	x	x	x
A36	40x20	0.52	0.62	0.32		x	x	x	x
A37	x	x	x	x		24x10	0.15	1.68	0.26
	x	x	x	x		20x12	0.15	1.22	0.19
A38	x	x	x	x		x	x	x	x
A39	x	x	x	x		x	x	x	x
A40	72x20	0.93	5	4.64		x	x	x	x
A41	x	x	x	x		x	x	x	x
A42	72x20	0.93	0.9	0.84		x	x	x	x
A43	x	x	x	x		x	x	x	x
A44	x	x	x	x		x	x	x	x
A45	72x20	0.93	1.3	1.21		x	x	x	x
A46	x	x	x	x		24x10	0.15	1.6	0.25
	x	x	x	x		20x12	0.15	0.62	0.10
A47	x	x	x	x		24x10	0.15	1.29	0.20
A48	x	x	x	x		x	x	x	x
A49	72x20	0.93	1.03	0.96		x	x	x	x
A50	x	x	x	x		x	x	x	x
A51	x	x	x	x		x	x	x	x
A52	72x20	0.93	4.6	4.27		x	x	x	x
A53	x	x	x	x		x	x	x	x
A54	72x20	0.93	5.69	5.28		x	x	x	x
A55	x	x	x	x		x	x	x	x
A56	x	x	x	x		24x10	0.15	0.8	0.12
A57	x	x	x	x		x	x	x	x
A58	x	x	x	x		x	x	x	x
A59	x	x	x	x		x	x	x	x
A60	24x12	0.19	1.2	0.22		x	x	x	x
A61	x	x	x	x		x	x	x	x
A62	x	x	x	x		x	x	x	x
A63	x	x	x	x		x	x	x	x
A64	x	x	x	x		24x10	0.15	2.12	0.33
	x	x	x	x		20x12	0.15	1.9	0.29
	x	x	x	x		24x10	0.15	2.05	0.32

A65	x	x	x	x	20x12	0.15	1.87	0.29
A66	x	x	x	x	x	x	x	x
A67	x	x	x	x	x	x	x	x
A68	x	x	x	x	x	x	x	x
A69	24x12	0.19	1.4	0.26	x	x	x	x
A70	x	x	x	x	x	x	x	x
A71	x	x	x	x	x	x	x	x
A72	x	x	x	x	24x10	0.15	0.7	0.11
	x	x	x	x	20x12	0.15	0.5	0.08
A73	x	x	x	x	24x10	0.15	0.4	0.06
A74	24x10	0.15	3	0.46	x	x	x	x
A75	24x10	0.15	0.81	0.13	x	x	x	x
	20x12	0.15	2.1	0.33	x	x	x	x
A76	x	x	x	x	x	x	x	x
A77	x	x	x	x	x	x	x	x
A78	x	x	x	x	24x10	0.15	1.8	0.28
	x	x	x	x	20x12	0.15	1.54	0.24
A79	20x12	0.15	3.71	0.57	20x12	0.15	0.8	0.12
A80	x	x	x	x	24x10	0.15	1.4	0.22
					20x12	0.15	0.78	0.12
A81	x	x	x	x	24x10	0.15	1.22	0.19
A82	x	x	x	x	20x12	0.15	0.6	0.09
A83	24x10	0.15	0.62	0.10	x	x	x	x
	20x12	0.15	2.4	0.37	x	x	x	x
A84	24x10	0.15	5.7	0.88	x	x	x	x
A85	x	x	x	x	24x10	0.15	1.6	0.25
	x	x	x	x	20x12	0.15	1.2	0.19
A86	x	x	x	x	20x12	0.15	0.8	0.12
A87	24x10	0.15	6	0.93	x	x	x	x
A88	24x10	0.15	4	0.62	x	x	x	x
A89	x	x	x	x	24x10	0.15	2.4	0.37
	x	x	x	x	20x12	0.15	1.4	0.22
A90	x	x	x	x	24x10	0.15	2	0.31
	x	x	x	x	20x12	0.15	0.9	0.14
A91	x	x	x	x	24x10	0.15	1.9	0.29
	x	x	x	x	20x12	0.15	0.86	0.13
A92	x	x	x	x	24x10	0.15	1.4	0.22
	x	x	x	x	20x12	0.15	0.68	0.11

## Lampiran 5

Tabel 3.2 Data supply dan exhaust recommended Basement 1

Titik Pengukuran	Supply				Exhaust			
	Dimensi [in]	Luas [m2]	V [m/s]	Flow [m3/s]	Dimensi [in]	Luas [m2]	V [m/s]	Flow [m3/s]
B1	x	x	x	x	x	x	x	x
B2	x	x	x	x	x	x	x	x
B3	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.26	0.35
B4	x	x	x	x	24 x 10	0.15	1.6	0.25
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	2.5	0.39
B5	x	x	x	x	x	x	x	x
B6	x	x	x	x	x	x	x	x
B7	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.4	0.37
B8	x	x	x	x	x	x	x	x
B9	x	x	x	x	x	x	x	x
B10	x	x	x	x	x	x	x	x
B11	x	x	x	x	x	x	x	x
B12	x	x	x	x	x	x	x	x
B13	x	x	x	x	24 x 10	0.15	3	0.46
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	1.79	0.28
B14	x	x	x	x	24 x 10	0.15	1.9	0.29
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	1.5	0.23
B15	x	x	x	x	x	x	x	x
B16	x	x	x	x	x	x	x	x
B17	x	x	x	x	x	x	x	x
B18	x	x	x	x	x	x	x	x
B19	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.5	0.39
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	2	0.31
B20	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.45	0.38
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	1.98	0.31
B21	x	x	x	x	x	x	x	x
B22	x	x	x	x	x	x	x	x
B23	x	x	x	x	x	x	x	x
B24	x	x	x	x	x	x	x	x
B25	x	x	x	x	24 x 10	0.15	1.6	0.25
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	1.35	0.21
B26	x	x	x	x	24 x 10	0.15	1.3	0.20
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	1.1	0.17
B27	x	x	x	x	x	x	x	x
B28	x	x	x	x	x	x	x	x
B29	x	x	x	x	x	x	x	x
B30	x	x	x	x	x	x	x	x
B31	x	x	x	x	x	x	x	x

B32	x	x	x	x	20 x 12	0.15	2	0.31
	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.5	0.39
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	1.8	0.28
B33	x	x	x	x	x	x	x	x
B34	x	x	x	x	x	x	x	x
B35	x	x	x	x	x	x	x	x
B36	x	x	x	x	x	x	x	x
B37	x	x	x	x	x	x	x	x
B38	x	x	x	x	x	x	x	x
B39	x	x	x	x	x	x	x	x
B40	x	x	x	x	x	x	x	x
B41	x	x	x	x	24 x 10	0.15	0.9	0.14
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	0.55	0.09
B42	x	x	x	x	24 x 10	0.15	0.7	0.11
B43	72 x 20	0.93	3.29	3.06	x	x	x	x
B44	x	x	x	x	x	x	x	x
B45	72 x 20	0.93	2.8	2.60	x	x	x	x
B46	x	x	x	x	x	x	x	x
B47	x	x	x	x	x	x	x	x
B48	72 x 20	0.93	2.7	2.51	x	x	x	x
B49	x	x	x	x	x	x	x	x
B50	x	x	x	x	x	x	x	x
B51	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2	0.31
B52	72 x 20	0.93	2.84	2.64	x	x	x	x
B53	x	x	x	x	x	x	x	x
B54	x	x	x	x	x	x	x	x
B55	72 x 20	0.93	2.8	2.60	x	x	x	x
B56	x	x	x	x	x	x	x	x
B57	x	x	x	x	x	x	x	x
B58	72 x 20	0.93	3	2.79	x	x	x	x
B59	x	x	x	x	x	x	x	x
B60	x	x	x	x	x	x	x	x
B61	x	x	x	x	x	x	x	x
B62	x	x	x	x	x	x	x	x
B63	x	x	x	x	x	x	x	x
B64	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.4	0.37
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	2	0.31
B65	x	x	x	x	x	x	x	x
B66	x	x	x	x	x	x	x	x
B67	x	x	x	x	x	x	x	x
B68	24 x 10	0.15	4.36	0.67	x	x	x	x
B69	24 x 10	0.15	4.2	0.65	x	x	x	x
B70	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.6	0.40

	x	x	x	x	20 x 12	0.15	2.5	0.39
B71	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.2	0.34
B72	24 x 10	0.15	2.5	0.39	x	x	x	x
B73	24 x 10	0.15	2.35	0.36	x	x	x	x
B74	x	x	x	x	x	x	x	x
B75	x	x	x	x	x	x	x	x
B76	24 x 10	0.15	2.56	0.40	x	x	x	x
B77	24 x 10	0.15	2.6	0.40	x	x	x	x
B78	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.3	0.36
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	2	0.31
B79	x	x	x	x	24 x 10	0.15	3	0.46
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	2.6	0.40
B80	24 x 10	0.15	3.2	0.50	x	x	x	x
B81	24 x 10	0.15	4.03	0.62	x	x	x	x
B82	x	x	x	x	x	x	x	x
B83	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.43	0.38
B84	x	x	x	x	20 x 12	0.15	1.7	0.26
B85	x	x	x	x	24 x 10	0.15	1.3	0.20
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	0.6	0.09
B86	x	x	x	x	20 x 12	0.15	3	0.46

### Lampiran 6

Tabel 3.3 Data supply dan exhaust recommended Lower Ground

Titik Pengukuran	Supply				Exhaust			
	Dimensi [in]	Luas [m2]	V [m/s]	Flow [m3/s]	Dimensi [in]	Luas [m2]	V [m/s]	Flow [m3/s]
C1	x	x	x	x	x	x	x	x
C2	x	x	x	x	x	x	x	x
C3	x	x	x	x	x	x	x	x
C4	x	x	x	x	x	x	x	x
C5	x	x	x	x	x	x	x	x
C6	x	x	x	x	x	x	x	x
C7	x	x	x	x	x	x	x	x
C8	x	x	x	x	x	x	x	x
C9	x	x	x	x	x	x	x	x
C10	x	x	x	x	x	x	x	x
C11	x	x	x	x	x	x	x	x
C12	x	x	x	x	x	x	x	x
C13	x	x	x	x	24 x 10	0.15	3.9	0.60

C14	x	x	x	x	24 x 10	0.15	4	0.62
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	3.52	0.54
C15	x	x	x	x	x	x	x	x
C16	x	x	x	x	x	x	x	x
C17	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.21	0.34
C18	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.3	0.36
C19	x	x	x	x	x	x	x	x
C20	x	x	x	x	x	x	x	x
C21	x	x	x	x	24 x 10	0.15	3.55	0.55
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	3.2	0.50
C22	x	x	x	x	x	x	x	x
C23	x	x	x	x	x	x	x	x
C24	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.4	0.37
C25	x	x	x	x	x	x	x	x
C26	40 x 12	0.31	4	1.24	x	x	x	x
C27	x	x	x	x	x	x	x	x
C28	x	x	x	x	24 x 10	0.15	4.8	0.74
C29	x	x	x	x	20 x 12	0.15	4.5	0.70
C30	x	x	x	x	x	x	x	x
C31	x	x	x	x	24 x 10	0.15	4	0.62
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	4.5	0.70
C32	x	x	x	x	x	x	x	x
C33	40 x 12	0.31	4.2	1.30	x	x	x	x
	40 x 12	0.31	4.43	1.37	x	x	x	x
C34	x	x	x	x	x	x	x	x
C35	x	x	x	x	x	x	x	x
C36	40 x 12	0.31	4.6	1.42	x	x	x	x
C37	x	x	x	x	x	x	x	x
C38	x	x	x	x	x	x	x	x
C39	x	x	x	x	x	x	x	x
C40	x	x	x	x	x	x	x	x
C41	x	x	x	x	x	x	x	x
C42	x	x	x	x	x	x	x	x
C43	x	x	x	x	x	x	x	x
C44	x	x	x	x	x	x	x	x
C45	x	x	x	x	x	x	x	x
C46	x	x	x	x	x	x	x	x
C47	x	x	x	x	x	x	x	x
C48	x	x	x	x	x	x	x	x
C49	x	x	x	x	x	x	x	x
C50	x	x	x	x	x	x	x	x
C51	x	x	x	x	x	x	x	x
C52	x	x	x	x	x	x	x	x



C53	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C54	24 x 10	0.15	1.7	0.26	x	x	x	x	x
C55	24 x 10	0.15	1.71	0.26	x	x	x	x	x
C56	24 x 10	0.15	4.5	0.70	x	x	x	x	x
C57	24 x 10	0.15	1.9	0.29	x	x	x	x	x
C58	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C59	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C60	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C61	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C62	24 x 10	0.15	0.45	0.07	x	x	x	x	x
C63	24 x 10	0.15	2	0.31	x	x	x	x	x
C64	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C65	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C66	24 x 10	0.15	2.16	0.33	x	x	x	x	x
C67	24 x 10	0.15	2.5	0.39	x	x	x	x	x
C68	x	x	x	x	24 x 10	0.15	0.77	0.12	
	x	x	x	x	20 x 12	0.15	0.56	0.09	
C69	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C70	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C71	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C72	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C73	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2	0.31	
C74	x	x	x	x	24 x 10	0.15	2.4	0.37	

### Lampiran 7

Tabel 4.4 Tabel selisih data hasil pengukuran dan hasil simulasi Basement 2

Titik Pengukuran	Aktual	Titik Pengukuran	Simulasi	Selisih
	T [C]		T [C]	
A1	33.9	A1	35.2	1.3
A2	34.3	A2	34.9	0.6
A3	34.3	A3	34.7	0.4
A4	34.1	A4	34.5	0.4
A5	34.1	A5	34.4	0.3
A6	34.1	A6	34.5	0.4
A7	34	A7	34.5	0.5
A8	33.3	A8	34.4	1.1
A9	33.3	A9	34.4	1.1
A10	33.1	A10	34.3	1.2

A11	33.8	A11	34.9	1.1
A12	33.8	A12	34.9	1.1
A13	34.2	A13	35.3	1.1
A14	34.4	A14	35.3	0.9
A15	34.6	A15	35.5	0.9
A16	34.2	A16	36.1	1.9
A17	34.1	A17	35.4	1.3
A18	34.4	A18	35.8	1.4
A19	34.3	A19	35.9	1.6
A20	34	A20	36	2
A21	33.6	A21	36.1	2.5
A22	34.2	A22	35.8	1.6
A23	34.2	A23	35.7	1.5
A24	33.2	A24	34.2	1
A25	33.5	A25	34.2	0.7
A26	34.3	A26	35.8	1.5
A27	34.3	A27	36.1	1.8
A28	34.7	A28	36.2	1.5
A29	34.4	A29	36.1	1.7
A30	33.4	A30	35.6	2.2
A31	34	A31	35.5	1.5
A32	33	A32	36.5	3.5
A33	33.4	A33	36.2	2.8
A34	33.8	A34	35.5	1.7
A35	34.3	A35	34.6	0.3
A36	32.5	A36	35.1	2.6
A37	33.3	A37	34.2	0.9
A38	33.3	A38	34.2	0.9
A39	32.8	A39	35	2.2
A40	32.6	A40	36	3.4
A41	33.3	A41	35.5	2.2
A42	34.1	A42	34.9	0.8
A43	34.1	A43	35	0.9
A44	34.3	A44	35.7	1.4
A45	34.3	A45	36.5	2.2
A46	34.3	A46	35.2	0.9
A47	33.3	A47	35.2	1.9
A48	33.4	A48	35.3	1.9

A49	33.7	A49	34.5	0.8
A50	33.9	A50	34.5	0.6
A51	33.6	A51	34.8	1.2
A52	33	A52	35.1	2.1
A53	33.1	A53	34.6	1.5
A54	32.4	A54	34.5	2.1
A55	32.9	A55	34.2	1.3
A56	33.4	A56	34.6	1.2
A57	32.5	A57	35.5	3
A58	33	A58	34.2	1.2
A59	33.2	A59	33.9	0.7
A60	33.2	A60	34.2	1
A61	33.1	A61	35.2	2.1
A62	33.2	A62	35.1	1.9
A63	33.1	A63	35.6	2.5
A64	32.8	A64	35.4	2.6
A65	32.6	A65	35.7	3.1
A66	33.5	A66	35.4	1.9
A67	33.2	A67	34.9	1.7
A68	33.7	A68	35.4	1.7
A69	33	A69	34.9	1.9
A70	32.6	A70	34	1.4
A71	32.6	A71	34.7	2.1
A72	33.4	A72	34.8	1.4
A73	34.3	A73	34.3	0
A74	33.7	A74	35.3	1.6
A75	32.8	A75	35.2	2.4
A76	32.8	A76	35.3	2.5
A77	32.3	A77	35.5	3.2
A78	33.8	A78	36	2.2
A79	33.8	A79	35.8	2
A80	32	A80	35.8	3.8
A81	32	A81	35.7	3.7
A82	32.2	A82	35.6	3.4
A83	32.4	A83	35.5	3.1
A84	34.8	A84	35.1	0.3
A85	35.1	A85	34.4	-0.7
A86	35.1	A86	34.7	-0.4
A87	35	A87	34.7	-0.3

A88	35.2	A88	34.9	-0.3
A89	35.3	A89	34.7	-0.6
A90	36	A90	35	-1
A91	35.5	A91	35.2	-0.3
A92	35.5	A92	35.5	0
<b>Rata - Rata</b>	<b>33.68</b>	<b>Rata - Rata</b>	<b>35.14</b>	<b>1.46</b>

### Lampiran 8

Tabel 4.5 Tabel data hasil pengukuran dan hasil simulasi Basement 1

Titik Pengukuran	Aktual	Titik Pengukuran	Simulasi	Selisih
	T [C]		T [C]	
B1	33.7	B1	35.5	1.8
B2	34.3	B2	35.8	1.5
B3	34.2	B3	35.9	1.7
B4	34.5	B4	36	1.5
B5	34.7	B5	36	1.3
B6	35	B6	36	1
B7	35	B7	35	0
B8	35	B8	36.3	1.3
B9	35.3	B9	36.3	1
B10	35.1	B10	36.3	1.2
B11	35	B11	36.6	1.6
B12	34.6	B12	36.3	1.7
B13	33.5	B13	35.4	1.9
B14	33.3	B14	35.3	2
B15	34	B15	36	2
B16	33.8	B16	35.9	2.1
B17	34	B17	35.6	1.6
B18	33.9	B18	35.7	1.8
B19	35.2	B19	34.9	-0.3
B20	35.2	B20	34.9	-0.3
B21	33.3	B21	35.4	2.1
B22	32.5	B22	35.1	2.6
B23	32.8	B23	35.4	2.6
B24	33.2	B24	35.5	2.3

B25	33	B25	35.1	2.1
B26	33.2	B26	35	1.8
B27	33.1	B27	35.6	2.5
B28	33.1	B28	35	1.9
B29	33	B29	34.8	1.8
B30	32.9	B30	35.3	2.4
B31	32.6	B31	35.2	2.6
B32	35	B32	34.5	-0.5
B33	34.5	B33	34.2	-0.3
B34	33.9	B34	34.7	0.8
B35	33.8	B35	34.1	0.3
B36	34	B36	34.5	0.5
B37	33.1	B37	34.4	1.3
B38	32.2	B38	34.5	2.3
B39	32.1	B39	34.4	2.3
B40	32.3	B40	34.4	2.1
B41	32.7	B41	34.4	1.7
B42	32.4	B42	34.5	2.1
B43	32.2	B43	34.7	2.5
B44	32.1	B44	34.5	2.4
B45	32.2	B45	34.6	2.4
B46	33	B46	34.4	1.4
B47	34	B47	34.5	0.5
B48	34	B48	34.5	0.5
B49	33.9	B49	34.2	0.3
B50	33.9	B50	33.8	-0.1
B51	33.3	B51	33.9	0.6
B52	33.3	B52	33.8	0.5
B53	32.8	B53	34.3	1.5
B54	32.5	B54	33.9	1.4
B55	32.4	B55	33.8	1.4
B56	32.4	B56	33.7	1.3
B57	32.5	B57	34	1.5
B58	32.3	B58	34.3	2
B59	32.3	B59	34.2	1.9
B60	32.3	B60	34.3	2
B61	35.5	B61	34.1	-1.4
B62	33.7	B62	33.9	0.2

B63	33.4	B63	33.7	0.3
B64	34.4	B64	34	-0.4
B65	35	B65	33.8	-1.2
B66	36.1	B66	34.3	-1.8
B67	37.1	B67	35.2	-1.9
B68	37.2	B68	34.9	-2.3
B69	35.1	B69	34	-1.1
B70	35.3	B70	34.2	-1.1
B71	36	B71	34.4	-1.6
B72	36	B72	34	-2
B73	37.2	B73	35.1	-2.1
B74	37.3	B74	35	-2.3
B75	36.6	B75	35.3	-1.3
B76	36.3	B76	35.3	-1
B77	36.1	B77	34.1	-2
B78	35.9	B78	34.9	-1
B79	36	B79	34.9	-1.1
B80	36.1	B80	34.4	-1.7
B81	36.3	B81	35.8	-0.5
B82	35.4	B82	35.3	-0.1
B83	35.4	B83	35.8	0.4
B84	35.8	B84	35.3	-0.5
B85	35.9	B85	35	-0.9
B86	36	B86	35.1	-0.9
<b>Rata - Rata</b>	<b>34.19</b>	<b>Rata - Rata</b>	<b>34.87</b>	<b>0.68</b>

### Lampiran 9

Tabel 4.6 Tabel selisih data hasil pengukuran dan hasil simulasi Lower Ground

Titik Pengukuran	Aktual	Titik Pengukuran	Simulasi	Selisih
	T [C]		T [C]	
C1	33.6	C1	33.4	-0.2
C2	32.7	C2	33.3	0.6
C3	32.7	C3	33.2	0.5
C4	33.3	C4	33	-0.3
C5	33.6	C5	32.9	-0.7
C6	33.8	C6	32.9	-0.9

C7	34.5	C7	33.2	-1.3
C8	34.2	C8	33.3	-0.9
C9	35.1	C9	33.4	-1.7
C10	34.6	C10	33.2	-1.4
C11	34.2	C11	33	-1.2
C12	32.9	C12	33.5	0.6
C13	32.8	C13	33.4	0.6
C14	33	C14	33.4	0.4
C15	33	C15	33.4	0.4
C16	35.1	C16	33.5	-1.6
C17	35.2	C17	33.4	-1.8
C18	35.3	C18	33.5	-1.8
C19	35.4	C19	33.5	-1.9
C20	33	C20	33.4	0.4
C21	33	C21	33.5	0.5
C22	32.9	C22	33.3	0.4
C23	35.5	C23	33.6	-1.9
C24	34.9	C24	33.6	-1.3
C25	34.4	C25	34.1	-0.3
C26	34.4	C26	33.8	-0.6
C27	33.1	C27	33.3	0.2
C28	33.1	C28	33.4	0.3
C29	33.1	C29	33.4	0.3
C30	33.1	C30	33.3	0.2
C31	33.3	C31	33.5	0.2
C32	33.4	C32	33.3	-0.1
C33	34.8	C33	33.6	-1.2
C34	34.6	C34	34	-0.6
C35	34.5	C35	33.8	-0.7
C36	34.6	C36	33.6	-1
C37	33.4	C37	33.2	-0.2
C38	33.4	C38	33.1	-0.3
C39	33.3	C39	33	-0.3
C40	33.3	C40	33	-0.3
C41	33.2	C41	33.1	-0.1
C42	33.3	C42	33.2	-0.1
C43	33.5	C43	33.3	-0.2
C44	33.8	C44	33.3	-0.5

C45	34	C45	33.4	-0.6
C46	34	C46	33.6	-0.4
C47	34.3	C47	34.1	-0.2
C48	34.1	C48	34.3	0.2
C49	33.9	C49	34.5	0.6
C50	34.5	C50	34.7	0.2
C51	34.5	C51	35.9	1.4
C52	34	C52	36	2
C53	35	C53	36	1
C54	35.2	C54	35.7	0.5
C55	34	C55	34.7	0.7
C56	34	C56	35.4	1.4
C57	35.3	C57	35.6	0.3
C58	35.3	C58	36.1	0.8
C59	35.3	C59	36.1	0.8
C60	35.4	C60	35.7	0.3
C61	34	C61	35.6	1.6
C62	33.8	C62	35.8	2
C63	33.8	C63	35.8	2
C64	35.4	C64	36	0.6
C65	35.4	C65	35.9	0.5
C66	35.4	C66	36.3	0.9
C67	34	C67	35.9	1.9
C68	33.6	C68	36	2.4
C69	34	C69	36.4	2.4
C70	35.3	C70	36.4	1.1
C71	35.3	C71	36.1	0.8
C72	35.4	C72	36.5	1.1
C73	35.4	C73	36.4	1
C74	33.7	C74	36.5	2.8
<b>Rata - Rata</b>	<b>34.12</b>	<b>Rata - Rata</b>	<b>34.26</b>	<b>0.14</b>