

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Udara

Didalam kehidupan manusia, salah satu elemen yang paling penting adalah udara. Udara dinilai penting bagi manusia karena didalamnya mengandung oksigen yang diperlukan untuk bertahan hidup. Salah satu benda yang diperlukan untuk mempermudah pergerakan udara dari luar ke luar ruangan adalah ventilasi. Ventilasi merupakan salah satu media yang paling penting untuk melakukan pergantian udara. Hal ini dinilai sangat penting karena memengaruhi kualitas udara. [1] Kualitas udara yang tidak baik akan menimbulkan efek negatif bagi penghuninya. Efek negatif yang dapat dirasakan ditandai dengan munculnya tenggorokan kering, iritasi mata, sakit kepala, iritasi kulit, kurangnya konsentrasi dalam bekerja dan sebagainya. Efek negative ini sering disebut sebagai “*Sick Building Syndrom*”. [2]

Pergerakan udara sangat mudah karena udara bersifat bergerak bebas kesegala arah dan hanya mengisi ruang yang kosong. Udara juga dapat berpindah bila terdapat tekanan yang berbeda. Udara terdiri dari sekumpulan gas Nitrogen sebanyak 78%, Oksigen sebanyak 20,95%, Argon sebanyak 0,93%, Karbon Dioksida sebanyak 0,038%, uap air sebanyak 1% dan gas lainnya sebanyak 0,0002%. Komposisi tersebut merupakan komposisi udara yang berada dan mengelilingi bumi. Oksigen merupakan komponen kimiawi yang penting dalam keberlangsungan hidup manusia. [10]

2.1.1. Aliran Udara

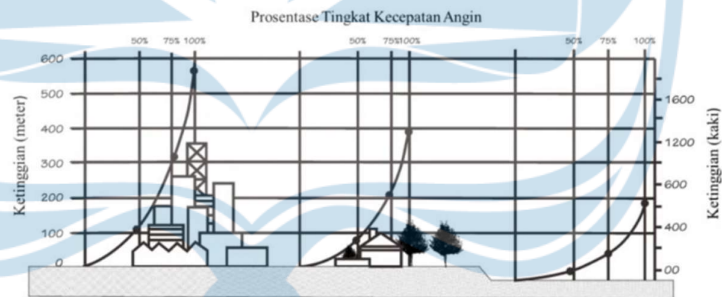
Proses pembentukan angin dikarenakan adanya perbedaan tekanan dan temperatur pada dua lokasi yang berbeda. Tingkat tekanan angin dalam suatu ruang bangunan dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor yang mempengaruhinya adalah ukuran geometri bangunan, sudut datangnya angin, tingkat kapasitas, efek buatan dari sistem ventilasi dan kecepatan angin. [1]

Angin merupakan komponen utama dalam penggerak ventilasi alami. Menurut Awbi (2003) di dunia keilmuan iklim terdapat beberapa skala yang digunakan dalam model kondisi iklim khususnya untuk angin seperti pada table

	Umum	Regional	Lokal	Iklim mikro
Faktor	Ukuran, bentuk, garis lintas bumi	Lanskap geografi (seperti gunung, bukit, lembah dan sebagainya)	lokal geografi (danau, sungai)	Kota kecil, kawasan, elemen luar
Lingkup area	Ratusan kilometer	Lebih dari ratusan kilometer	Sekitar 10 km	Kurang dari ratusan meter

Sumber: Awbi, 2003

Pengaruh topografi menjadi faktor kunci dalam menciptakan kenyamanan pengguna melalui pemanfaatan potensi angin. Menurut Givoni (1998) pergerakan angin yang melewati variasi tipe topografi atau kekerasan permukaan akan mengubah kecepatan dan arah angin. Bagian yang dekat bangunan akan memengaruhi tekanan angin disebut layar batas (Sapian, 2004),



Sumber: Brown, 2001

Mekanisme yang menyebabkan pergerakan udara antara lain:

1. Faktor Angin

Faktor angin terjadi karena adanya perbedaan tekanan. Aliran angin yang menembus suatu bangunan dengan arah dan kecepatan tertentu menyebabkan perbedaan tekanan di berbagai titik, menciptakan distribusi tekanan di dalam bangunan. Hal ini menyebabkan masuknya udara melalui lubang yang terdapat pada bangunan

2. Faktor bentuk bangunan

Bentuk lubang yang terdapat pada bangunan dianggap mempengaruhi bentuk aliran udara. Bentuk lubang ini akan menciptakan pola yang berbeda.

3. Faktor Thermal

Faktor thermal disebabkan adanya perbedaan suhu di bawah atau di atas ruangan dan diluar ruangan dengan suhu di dalam ruangan. Perbedaan suhu udara secara vertikal atau atas bawah mempengaruhi aliran udara di dalam ruangan. Pergerakan udara dengan suhu dingin akan menuju atas ruangan. Hal ini dikarenakan udara diatas lebih panas. Pergerakan ini disebabkan karena perbedaan massa jenis udara panas dan udara dingin. Sedangkan pergerakan udara secara horizontal atau kiri kanan terjadi apabila suhu udara di dalam ruangan memiliki perbedaan yang signifikan dibandingkan udara di luar ruangan.

2.1.2. Kualitas Udara Dalam Ruangan

Emisi dapat didefinisikan sebagai berbagai jenis polutan yang terdapat di dalam suatu ruangan. Emisi dinyatakan dalam ukuran per satuan luas (massa/luas/waktu). Sedangkan konsentrasi menandakan banyaknya jumlah polutan di setiap satu jenis polutan. Konsentrasi dinyatakan dalam ukuran volume/media. Satuan yang digunakan dalam kualitas udara adalah ppm (*part per million*). ASHRAE (6-2001) merekomendasikan penggunaan konsentrasi PM_{2.5} dengan tidak melebihi 1.000 ppm jika berada di dalam ruangan. Namun, peneliti

cenderung menggunakan PM2.5 sebagai indikator dalam pertukaran udara. Ruangan dengan sirkulasi udara yang baik akan menetralkan ruangan tercemar ke keadaan semula atau keadaan netral dengan waktu yang singkat. [6]

Menurut Satwiko (2009) IAQ atau Kualitas udara di dalam ruangan dapat didefinisikan sebagai komponen udara yang terkandung di dalam ruangan. Pengaruh kesehatan dan kenyamanan penghuni di ruangan dipengaruhi oleh kualitas udara. Berbagai aktivitas manusia yang dilakukan di dalam suatu ruang bangunan terkadang melepaskan senyawa lain yang berbahaya dari benda-benda yang terdapat di dalam ruangan. Apabila tercemarnya udara oleh unsur-unsur berbahaya sudah melewati ambang batas, maka hal tersebut dapat mengganggu kenyamanan dan kesehatan manusia.

Kualitas udara dipengaruhi oleh pertukaran udara di dalam ruangan. Faktor yang mempengaruhi pertukaran udara adalah sistem bukaan/ventilasi. Salah satu alasan kenyamanan dan keamanan pengguna ruangan dengan menerapkan perencanaan sistem ventilasi yang baik. Selain itu, penerapan sistem ventilasi juga menghemat penggunaan energi. [6]

2.2 Ventilasi

Ventilasi adalah cara yang sangat penting untuk mengurangi kontaminan di udara, tetapi juga memiliki tujuan lain: mencegah akumulasi terkonsentrasi zat yang mudah terbakar atau meledak seperti gas, uap, dan debu. Secara umum manfaat ventilasi menurut Boutet (1987) menyangkut tiga hal utama, yaitu menjamin pergantian udara segar (kualitas udara), membuang panas (kenyamanan thermal) serta penghematan energi (penghawaan alami).

2.2.1 Jenis dan Manfaat Ventilasi

A. Ventilasi Alami

Media yang sering dipakai untuk melakukan pertukaran udara di dalam ruangan adalah ventilasi. Dari luar ruangan, udara segar akan bertukar dengan udara yang tercemar dari dalam ruangan tanpa perlu bantuan peralatan mekanik.

Secara umum, sistem ventilasi alami di klasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Sistem ventilasi horizontal

Sistem ventilasi horizontal atau kiri kanan adalah pergerakan aliran udara yang disebabkan oleh adanya perbedaan temperatur antara udara di luar ruangan dengan udara di dalam ruangan. Contoh sistem ventilasi horizontal adalah *single-sided ventilation*.

2. Sistem ventilasi vertikal

Sistem ventilasi vertikal atau atas bawah adalah pergerakan aliran udara yang disebabkan oleh perbedaan massa jenis antara lapisan udara dalam ruangan dengan udara luar ruangan. Udara yang memiliki massa jenis tinggi akan mengalir ke bawah, begitu pula sebaliknya dengan udara yang memiliki massa jenis rendah akan mengalir ke atas.

Secara umum, ventilasi alami diperuntukkan untuk mencapai 5 tujuan, yaitu:

- a. Media pendinginan ruangan atau mengurangi panas berlebih
- b. Media penyedia udara segar di dalam ruangan
- c. Media penetralan polutan
- d. Media penjaga kualitas udara di dalam ruangan
- e. Media penjaga aliran udara

B. Ventilasi Buatan

Pergantian udara dalam ruang memiliki satuan ACH (*Air Change per Hour*). Menurut satwiko (2009), ACH adalah banyaknya udara segar dari luar ruangan yang menggantikan seluruh udara di dalam

ruangan yang dilakukan setiap jamnya. Sedangkan menurut SNI, 8 ach merupakan besarnya ACH yang baik pada ruang *indoor*.

M. Evans (1980) menyarankan ukuran dimensi ventilasi inlet sama dengan ukuran dimensi ventilasi outlet sama. Hal ini dilakukan untuk mengoptimalkan pertukaran udara luar dengan udara dalam. Salah satu contoh pertukaran udara tidak minimum adalah dengan membuat ventilasi outlet lebih besar dibandingkan inlet. Kecepatan angin yang berhembus di dalam ruangan akan mengalami peningkatan yang cukup signifikan, sehingga pertukaran udara tidak berjalan secara optimal. SNI menyarankan ukuran dimensi ventilasi minimum 5% dari luas lantai ruangan.

Menurut Dalton (2010) lokasi yang memiliki iklim tropis cenderung menyukai sistem ventilasi alami. Hal ini dikarenakan sistem ventilasi alami dapat mengurangi penggunaan energi. Menurut panduan BB 1001 (2006) sekolah harus memiliki ventilasi alami dengan ketentuan:

1. Nilai minimum laju ventilasi sebesar 3 l/s per orang.
2. Nilai minimum laju ventilasi rata-rata setiap hari sebesar 5 l/s per orang.
3. Nilai minimum laju ventilasi ruangan yang dapat kapan saja digunakan sebesar 8 l/s per orang

2.2.2 Laju Ventilasi

Besarnya jumlah laju udara dari masuknya udara luar ruangan per- m^3 yang melalui sistem ventilasi kedalam ruangan setiap jam-nya disebut sebagai laju ventilasi. Arah dan kecepatan angin di luar ruangan menentukan besarnya jumlah laju ventilasi. [7]

Mike Thompson (2000) mengatakan bahwa untuk menghitung laju ventilasi yang tidak dilakukannya suatu pengukuran dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$Vr = \frac{V.ACH.1000}{3600}$$

Dimana :

V = Volume ruangan(m³)

Vr = Laju ventilasi (l/s)

ACH = Banyaknya pertukaran udara per jam

Satwiko (2009) merumuskan laju ventilasi dengan mengukur laju angin. Pengukuran ini didasari perbedaan tekanan angin. Berikut adalah rumus yang digunakan:

$$Q = Cv . A . V$$

Dimana :

Q = Laju ventilasi (m³ / detik)

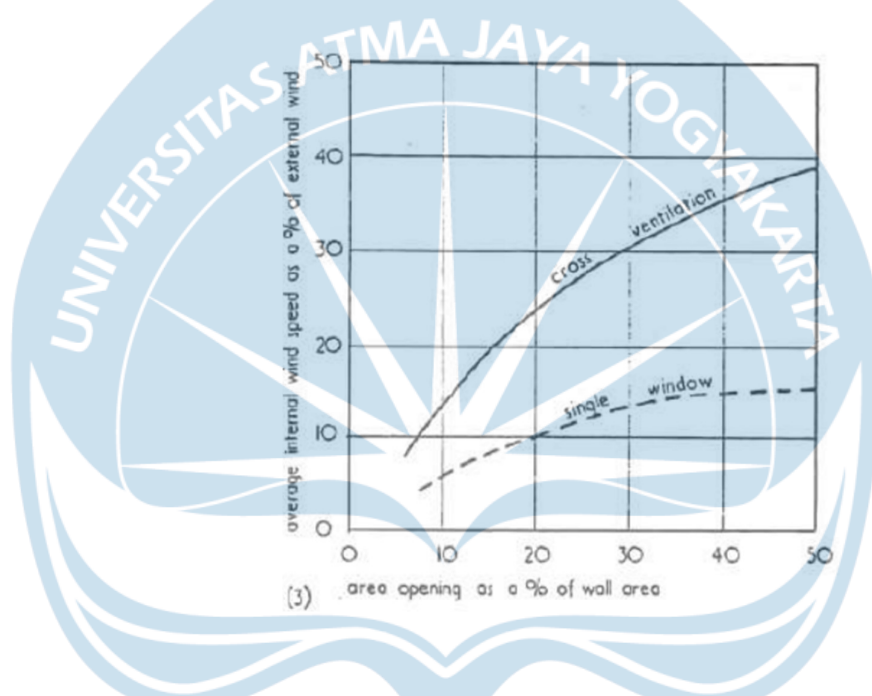
V = Kecepatan angin (m/detik)

Cv = Efektivitas bukaan (CV dianggap sama dengan 0,5-0,6 untuk angin frontal dan 0,25-0,35 untuk arah angin yang diagonal)

A = Luas bukaan inlet (m²)

Rumus diatas terdapat CV yang menilai efektifitas suatu bukaan ventilasi. Ketentuan nilai CV ini dipengaruhi oleh luas ukuran ventilasi. Pada rumus diatas, ketentuan CV hanya dapat digunakan untuk ventilasi inlet dan outlet yang memiliki ukuran yang sama. Berbeda halnya jika ventilasi inlet dan outlet memiliki ukuran yang berbeda. Bila ukuran ventilasi inlet dan outlet berbeda, maka perlu digunakan perbandingan rasio ukuran ventilasi.

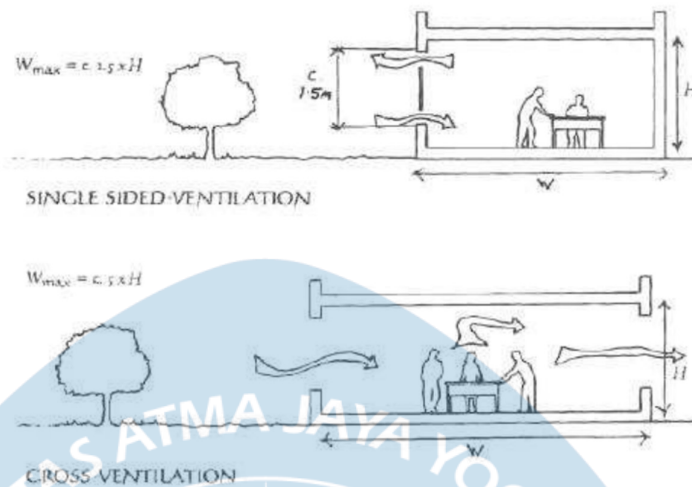
Kondisi ventilasi inlet dan outlet sangat berpengaruh terhadap jarak aliran udara. Besarnya ukuran ventilasi inlet dan outlet akan mempengaruhi keoptimalan pertukaran udara. Optimalnya pertukaran udara terjadi apabila ukuran ventilasi inlet dan outlet sama atau seringkali disebut sebagai *cross ventilation*. Namun, seringkali dijumpai ruangan hanya memiliki 1 area ventilasi saja atau sering disebut sebagai *single sided ventilation*. Ruangan yang hanya memiliki 1 ventilasi saja, akan sulit mengoptimalkan pertukaran udara.



Gambar 2. 1 Perbandingan Ukuran Bukaannya Dengan Kecepatan Rata-Rata Aliran Udara.

Sumber: M.Evans,1980 dalam Putra, 2009.

Daerah yang beriklim panas sulit menerapkan *single-sided ventilation* dan PMPMk yang dapat digunakan ruangan kecil. Hal ini disebabkan karena pertukaran udara secara optimal tidak terjadi menyebabkan pengguna merasakan pengap bila berada di dalam ruangan. Pertukaran udara yang tidak optimal dapat membuat pengguna merasakan ketidaknyamanan dan terancam kesehatannya.



Gambar 2. 2 *Single-sided ventilation* (atas) dan *cross ventilation* (bawah)

Sumber: S.Roaf, 2003 dalam Putra, 2009.

Apabila sistem *single-sided ventilation* ingin digunakan, diperlukan perhitungan panjang ruangan maksimum untuk menghindari kurang optimalnya pertukaran udara. Panjang ruangan maksimum dapat dihitung menggunakan rumus:

$$W = 2,5.c.H$$

Apabila sistem *cross ventilation* ingin digunakan, diperlukan perhitungan panjang ruangan maksimum untuk mengoptimalkan pertukaran udara pada ruangan. Panjang ruangan maksimum dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Q = C W = 5.c.H$$

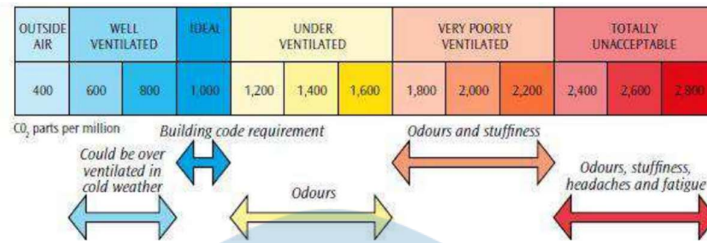
Dimana:

W = Panjang maksimum ruangan

C = Rasio luas bukaan dengan luas lantai

H = Tinggi ruangan

2.2.3 Hubungan Kualitas Udara dalam Ruang dan Ventilasi



Gambar 2. 3 PM2 Sebagai Indikator Sistem Ventilasi di kelas

Sumber: *Designing Quality Learning Spaces: Ventilation & Indoor Air Quality*, 2007

Proses keluarnya udara tercemar di dalam ruangan dan berganti dengan udara bersih di luar ruangan disebut sebagai pertukaran udara. Perbedaan tekanan suhu & udara serta laju ventilasi menyebabkan terjadinya pertukaran udara. Salah satu media yang digunakan untuk pertukaran udara adalah ventilasi. [7] Proses pertukaran udara bertujuan untuk menetralkan ruangan yang ada di dalam ruangan. Penetralan udara di dalam ruangan sangat penting, karena apabila polutan di dalam ruangan tidak dikeluarkan akan menimbulkan berbagai macam dampak negatif bagi manusia. Lancarnya sirkulasi udara tidak terlepas dari sistem ventilasi yang berjalan dengan baik.

Menurut CIBSE (2006) yang dikutip oleh Khatami (2013), hanya 10 l/s udara bersih yang diperlukan oleh manusia. Berbeda dengan standar yang telah ditentukan untuk sekolah, standar tersebut berada di rentang 5 – 8 l/s. Jumlah polutan di dalam ruangan dipengaruhi oleh laju ventilasi. Apabila laju ventilasi tidak berjalan lancar baik pada sistem pengoperasiannya maupun faktor lain yang berpengaruh maka kebutuhan aktivitas didalamnya tidak dapat terpenuhi.

Berbagai macam efek negatif akan ditimbulkan apabila laju ventilasi tidak berjalan dengan baik. Efek negatif yang dapat timbul adalah rasa pengap akibat kekurangan oksigen dalam ruangan. Kurangnya oksigen dalam ruangan ini selain berdampak pada kenyamanan tetapi juga berdampak pada

kesehatan manusia. Dampak negatif pada kesehatan manusia seperti, gangguan sistem pernapasan bahkan kematian.

2.3 Ruang Parkir Tertutup (*Basement*)

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 permasalahan kualitas udara didalam ruang parkir tersebut. Yang paling disorot adalah PM 2,5 dan PM 10 yang berasal dari asap kendaraan dan semua hal yang terkait dengan pembakaran bahan bakar. [8]

2.3.1 Kebutuhan Ventilasi Udara Ruang Parkir Tertutup

Kebutuhan ventilasi udara di ruang parker tertutup menurut Standard Nasional Indonesia nomor SNI 03-6572-2001 [9] sebagai berikut:

1. Sistem ventilasi yang digunakan minimal sebesar 2/3 volume udara ruang dan ketinggian maksimal 0,6 m dihitung dari lantai.
2. Pertukaran udara mengikuti ketentuan yang berlaku sesuai dengan fungsi ruangan tersebut. Berikut adalah ketentuan yang digunakan:

Tipe	Catu udara segar minimum	
	Pertukaran udara/jam	m ³ /jam per orang
Kantor	6	18
Restoran/kantin	6	18
Toko, Pasar Swalayan.	6	18
Pabrik, bengkel.	6	18
Kelas, bioskop	8	
Lobi, koridor, tangga	4	
Kamar mandi, peturasan.	10	
Dapur	20	
Tempat parkir	6	

Gambar 2. 4 Ketentuan Pertukaran Udara Berdasarkan Tempatnya

Sumber : Jurnal SNI

2.3.2 Ventilasi Ruang Parkir

Jenis Ventilasi yang akan digunakan pada ruang parker tertutup :

I. Ventilasi Alami

- Jendela pada Basement



Gambar 2.5 Jendela Basement

Sumber : *architectaria*

II. Ventilasi Buatan (Mesin)

- *Exhaust Fan*



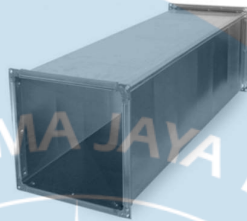
Gambar 2.6 *Exhaust Fan*

Sumber : Google

Unit *Fan* dapat mengisap kontaminasi polutan dan bau ke luar basement sehingga udara di dalam ruangan menjadi lebih bersih. Jenis-jenis unit fan sangat beragam sehingga cocok diaplikasikan ke berbagai kondisi dan kebutuhan ruangan. Contoh jenis-jenis unit fan seperti ceiling fan, wall, axial, centrifugal in line, cabinet, bifurcated. Pemilihan bentuk jenis fan, perhitungan kapasitas pertukaran aliran udara (CFM) dan kemampuan tekanan udara

(static pressure) menjadi hal yang penting dalam memilih seleksi unit fan sesuai dengan kebutuhan.

- *Duct Ventilasi* (PU / PIR / BJLS)



Gambar 2. 7 *Duct Ventilasi*

Sumber : Google

Ducting merupakan komponen yang berperan sebagai jalur utama dalam sistem ventilasi yang menggunakan mesin fan. Proses *exhaust* air (menghisap) maupun *fresh* air (menghembus) dapat dilengkapi dengan sistem ducting yang memberikan fleksibilitas dalam mendistribusikan dan mengatur aliran udara dalam ruangan. Material yang sering digunakan untuk sistem ventilasi adalah BJLS Seng, tetapi tidak menutup kemungkinan untuk penggunaan panel PU atau PIR (*Polyisocyanurate*) untuk kondisi udara normal (tidak panas). Desain ducting yang baik dalam sistem ventilasi dapat memberikan hasil kualitas udara secara optimal.

2.3.3 Standar Ventilasi 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 *fan* yang berfungsi sebagai alat bantu mensuplai udara ke seluruh ruangan secara merata.

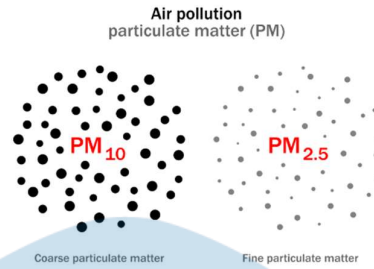
Untuk mengetahui kebutuhan ventilasi untuk ruang parkir, dapat dilihat dari dua faktor yaitu jumlah kendaraan yang beroperasi dan tingkat kadar polutan. Untuk jumlah kendaraan yang beroperasi di basement tergantung dari tipe-tipe fasilitas yang disediakan oleh ruang parkir tersebut dan jumlahnya dapat berubah – ubah dari 3% (shopping area) – 20% (sport stadium) dari jumlah dari total kapasitas kendaraan.

Berdasarkan penelitian oleh ANSI/ASHRAE standar 62.1.2004 tentang *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* sebesar 7.6 L/s.m^2 (1.5 cfm/ft^2). Sedangkan standar 62.1.2007 tentang *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* adalah spesifikasi sebuah tetapan dasar ventilasi yaitu 3.7 L/s.m^2 (0.75 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).

2.3.4 Faktor Kualitas Udara Dalam Ruang Pada Basement

Kualitas udara di *Basement* dipengaruhi oleh faktor yang sama seperti yang terdapat di bangunan lain. Dampak negatif yang terjadi ketika kualitas udara di *Basement* buruk adalah penularan penyakit, alergi, masalah pernapasan dan sebagainya. Hal yang membedakan adalah pengguna *Basement*. Sebagian besar pengguna *basement* adalah kariawan kelompok mahasiswa. Pengaruh dampak negatif yang dapat dirasakan langsung oleh mahasiswa adalah menurunnya keaktifan dalam membaca dan belajar mahasiswa.

2.4 Particulate Matter (PM 2.5 dan PM10)



Gambar 2. 8 Particulate Matter PM 2.5 dan PM 10

Partikulat matter (PM) atau partikel polusi adalah istilah yang digunakan dalam tercampurnya tetesan air dengan partikel padat yang dapat ditemukan di udara. Debu, jelaga, asap, dan kotoran merupakan contoh partikel yang berukuran besar yang dapat dilihat oleh mata secara langsung. Sedangkan contoh partikel yang berukuran kecil hanya dapat dideteksi menggunakan mikroskop elektron.

2.4.1 Particulate Matter (PM 2.5)

Partikulat (PM2.5) adalah Partikel udara yang berukuran lebih kecil dari 2.5 mikron (mikrometer). Nilai ambang batas atau batas konsentrasi polusi udara yang diperbolehkan berada di dalam ruangan ambien adalah 66 $\mu\text{gram}/\text{m}^3$. [10]

Partikel Standar (PM 2.5)

Nilai Kualitas Udara	PM 2.5 nilai rata-rata
Baik	0-15
Sedang	16-65
Tidak Sehat	66-150
Sangat Tidak Sehat	151-250
Berbahaya	>250

2.4.2 Particulate Matter (PM10)

Partikulat (PM10) adalah Partikel udara yang berukuran lebih kecil dari 10 mikron (mikrometer). Nilai ambang batas atau batas konsentrasi polusi udara yang diperbolehkan berada di dalam ruangan ambien adalah 150 $\mu\text{gram}/\text{m}^3$. [10]

Partikel Standar (PM 10)

Nilai Kualitas Udara	PM 2.5 nilai rata-rata
Baik	0-50
Sedang	50-150
Tidak Sehat	151-350
Sangat Tidak Sehat	351-420
Berbahaya	>420

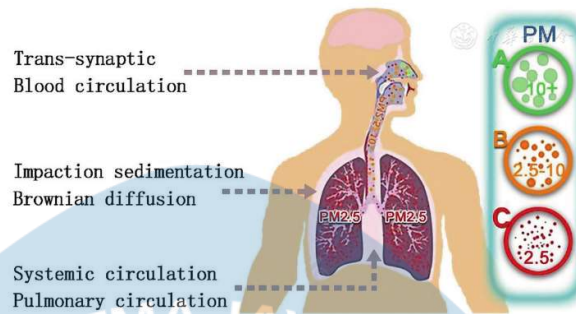
2.4.3 Sifat Particulate Matter

Bentuk partikel berupa asap kendaraan, debu, kotoran dan jelaga. Secara kasat mata, bentuk partikel gelap dan buram adalah sifat dari PM10. Sedangkan PM2.5 sulit dilihat oleh mata dan terlihat jelas di mikroskop elektron. Hal ini dikarenakan komponen yang ada di PM2.5 terdiri atas ratusan bahan kimia yang berbeda-beda. [11]

2.4.4 Sumber Particulate Matter

Ukuran diameter particulate matter sesuai dengan penamaannya. PM2,5 memiliki diameter lebih kecil dari 2,5 μm , PM10 memiliki diameter lebih kecil dari 10 μm . Penelitian Beijing pada tahun 2013 telah melakukan penelitian yang menyatakan bahwa sumber utama penghasil PM10 diakibatkan oleh sektor transportasi sebanyak 53%. 53% PM 10 yang dihasilkan berasal dari emisi mobil sebanyak 23% dan debu jalanan sebanyak 30%. [11]

2.4.5 Respons Tubuh Terhadap Partikel yang Masuk



Gambar 2.9 Skema Respon Tubuh Terhadap Partikel

Paru-paru akan mengeluarkan lendir untuk menjebak partikel, dan rambut halus (silia) akan memindahkan lendir dan partikel keluar dari paru-paru. Lendir akan keluar dari paru-paru Anda saat Anda batuk atau menelan. Partikel ini sangat kecil sehingga begitu memasuki paru-paru, sel-sel khusus di paru-paru menangkapnya, yang dapat menyebabkan penyakit paru-paru, emfisema, dan kanker paru-paru. [11]

Partikel kasar (PM10 dan PM2.5) dapat menyebabkan masalah pernapasan. Partikel PM2.5 menimbulkan masalah kesehatan yang lebih serius daripada PM10 karena partikel lebih kecil sehingga tidak tersaring saat menghirupnya, maka partikelnya akan masuk lebih dalam ke sistem pernafasan dan lebih beracun.

Gangguan kesehatan seperti iritasi hidung, mata dan tenggorokkan, asma, batuk dan kesulitan berapas disebabkan oleh paparan partikel. kerusakan paru-paru (fungsi paru-paru yang buruk dan masalah pernapasan); bahkan kematian pada orang yang mempunyai Riwayat penyakit paru-paru dan jantung. [11]

2.5. *Simscale - Car Park Contamination Simulation*

SimScale merupakan produk perangkat lunak *computer-aided engineering* (CAE) berbasis *cloud computing*. SimScale dikembangkan oleh SimScale GmbH dan memungkinkan dinamika fluida komputasional, analisis elemen hingga, dan simulasi termal

SimScale menyediakan platform simulasi guna memungkinkan perancang untuk mengevaluasi & mengoptimalkan kinerja termal bangunan, kualitas udara dalam ruangan, kenyamanan termal dalam dan luar ruangan, pemuatan angin, dan kenyamanan angin, sehingga arsitek dapat memastikan bahwa mereka memenuhi dan melampaui arahan desain mereka, baik untuk energi, keberlanjutan, atau kinerja kenyamanan.



Car Park Contamination Simulation akan memberikan panduan langkah demi langkah tentang cara menyiapkan simulasi kontrol kontaminasi di dalam tempat parkir. [17]

Pada penelitian Magnus Winter dengan judul Tolok ukur dan validasi kode CFD Sumber Terbuka, dengan fokus pada kemampuan kompresibel dan rotasi, untuk integrasi pada platform SimScale. Mendapatkan hasil bahwa untuk simulasi Gerris dan MRF pada Simscale menghasilkan hasil yang cukup akurat.

Pada penelitian Karakterisasi dan Simulasi Aliran Bidang Sayap Delta Ramping menggunakan SimScale Perangkat Lunak Pemodelan CFD, membuktikan bahwa Pemodelan solid OnShape berbasis web gratis dan perangkat lunak SimScale CFD memberikan detail yang luar biasa dalam menampilkan vortisitas, perincian vorteks, baik melalui

metode kriteria-Q dan besaran kecepatan. Hasil ini konsisten dengan data yang dipublikasikan.

