

**KUALITAS UDARA PADA GEDUNG PARKIR
(STUDI KASUS: GEDUNG PARKIR MENARA BOSOWA MAKASSAR)**

*AIR QUALITY AT PARKING BUILDING
(CASE STUDY: MAKASSAR BOSOWA TOWER PARKING BUILDING)*

NASRUL
D042182002
BEASISWA PENDIDIKAN INDONESIA (BPI)
LEMBAGA PENGELOLA DANA PENDIDIKAN (LPDP)



**MAGISTER ARSITEKTUR, FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**KUALITAS UDARA PADA GEDUNG PARKIR
(STUDI KASUS: GEDUNG PARKIR MENARA BOSOWA MAKASSAR)**

Tesis
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi
Teknik Arsitektur

Disusun dan diajukan oleh

NASRUL

Kepada

**MAGISTER ARSITEKTUR, FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

TESIS
KUALITAS UDARA PADA GEDUNG PARKIR
(STUDI KASUS: GEDUNG PARKIR MENARA BOSOWA MAKASSAR)

Disusun dan diajukan oleh

NASRUL
D042182002

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
Pada tanggal 19 Agustus 2021
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasehat

Ketua,



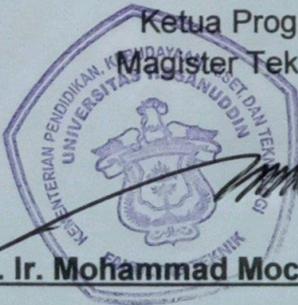
Prof. Ir. Baharuddin Hamzah, ST., M.Arch., Ph.D

Sekretaris,



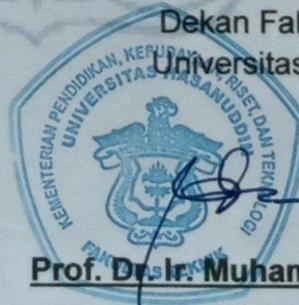
Dr. Eng. Ir. Rosady Mulyadi, ST., MT

Ketua Program Studi
Magister Teknik Asitektur,



Dr. Ir. Mohammad Mochsen Sir, ST., MT

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,



Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nasrul
Nomor Induk Mahasiswa : D042182002
Program Studi : Teknik Arsitektur

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain, apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 18 Agustus 2021



Nasrul
Nasrul

PRAKATA

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan sebagai syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik, pada Program Studi Teknik Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada bapak/ibu:

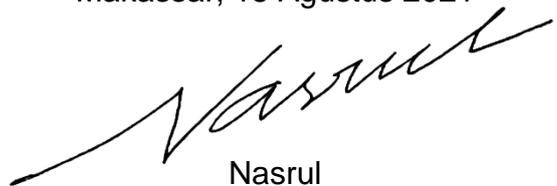
1. Prof. Ir. Baharuddin Hamzah, ST, M.Arch, Ph.D., selaku Pembimbing 1
2. Dr.Eng. Ir. Rosady Mulyadi, ST., MT, selaku Pembimbing 2
3. Prof. Dr. Ir. H. Ramli Rahim, M.Eng., selaku Penguji
4. Dr. Ir. Nurul Jamala Bangsawan, MT, selaku Penguji
5. Dr. Ir. Hartawan Madeali, MT, selaku Penguji
6. Dr. Ir. Mohammad Mochsen Sir, ST., MT, selaku Ketua Program Studi Magister Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
7. Staf pengajar dan pegawai Pascasarjana Teknik Arsitektur UNHAS atas segala ilmu, masukan, dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis.
8. Keluargaku tercinta, Ibu, Alm. Bapak, dan kedua kakakku, terima kasih atas segala doa, support yang telah kalian berikan dari sejak lahir

sampai hari ini dan semua pencapaian saya selama ini akan saya persembahkan untuk kalian.

9. Teman-teman seperjuanganku mahasiswa pascasarjana Arsitektur angkatan 2018, terima kasih atas pertemanan kita, keceriaan dan kenangan serta telah menjadi bagian dalam perjalanan studi penulis.
10. Seluruh junior dan senior magister Arsitektur UNHAS yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu yang telah memberikan sumbangan pemikiran, bantuan dan motivasi sehingga penulisan tesis dapat diselesaikan.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dan semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Makassar, 18 Agustus 2021



Nasrul

ABSTRAK

NASRUL. *Kualitas Udara pada Gedung Parkir, Studi Kasus: Gedung Parkir Menara Bosowa Makassar* (dibimbing oleh Baharuddin Hamzah dan Rosady Mulyadi)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kualitas udara pada gedung parkir jika ditinjau dari kadar polusi CO, CO₂, HCHO, dan VOC, menganalisis pengaruh cuaca terhadap kualitas udara, dan perubahan kualitas udara berdasarkan intensitas lalu lintas kendaraan bermotor dan ketinggian permukaan. Variabel terikat pada penelitian ini adalah kadar polusi udara. Sampel penelitian yang dipilih adalah gedung parkir Menara Bosowa Makassar. pengumpulan data dilakukan dengan pengukuran dan pengamatan secara langsung yang dilakukan selama 12 hari, dimana metode penelitian yang digunakan adalah komparatif kuantitatif, dengan pengolahan data menggunakan uji beda *Mann Whitney* dan *Kruskal Wallis*, serta uji korelasi *Spearman*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kadar CO telah melewati batas untuk kualitas udara yang baik, rata-rata kadar CO₂ masih berada pada batas untuk kualitas udara yang baik, dan rata-rata kadar HCHO dan VOC sebagian besar berada dalam batas untuk kualitas udara yang baik, Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa perubahan cuaca tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap kualitas udara, sedangkan intensitas lalu lintas kendaraan bermotor dan ketinggian permukaan berpengaruh terhadap kualitas udara, terutama pada saat cuaca hujan.

Kata kunci: Cuaca, Gedung Parkir, Kendaraan Bermotor, Kualitas Udara, Polusi

ABSTRACT

NASRUL. Air Quality at Parking Building, Case Study: Makassar Bosowa Tower Parking Building (supervised by Baharuddin Hamzah and Rosady Mulyadi)

This study aims to determine the level of air quality in the parking building based on the level of CO, CO₂, HCHO, and VOC pollution, to analyze the effect of the weather on the air quality, and the changes in the air quality based on the motorized vehicle traffic and surface elevation. The dependent variable in this study was the level of air pollution. The research sample was the Makassar Bosowa Tower Parking Building. Data collection was carried out by direct measurement and observation in 12 days. The research method is comparative quantitative, and data processing using the Mann Whitney and the Kruskal Wallis difference test, and the Spearman correlation test. The results showed that the average CO levels exceed the limit for good air quality, the average CO₂ levels were still within the limits for good air quality, and the average HCHO and VOC levels were mostly within the limits for good air quality, the results also show that changes in the weather do not have a significant effect on the air quality, while the intensity of motorized vehicle traffic and surface elevation affect the air quality, especially during rainy weather.

Keywords: Air Quality, Motorized Vehicle, Parking Building, Pollution, Weather

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR PERSAMAAN	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan	4
D. Manfaat	5
E. Ruang Lingkup Penelitian	5
F. Sistematika Penulisan	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
A. Kualitas Udara di Indonesia	7
B. Kualitas Udara dalam Ruang	8
C. Polusi Udara	12
1. Karbon Monoksida (CO)	12
2. Karbon Dioksida (CO ₂)	17
3. Formaldehida (HCHO)	19

4. Volatile Organic Compound (VOC)	21
D. Parameter Meteorologi Udara	24
1. Temperatur Udara	24
2. Kelembaban Udara	26
E. Ventilasi	28
1. Ventilasi Alami	28
2. Ventilasi Mekanik	30
F. Tinjauan Terhadap Fasilitas Parkir	32
1. Parkir & Fasilitas Parkir	32
2. Kualitas Udara pada Fasilitas Parkir	32
3. Meningkatkan Kualitas Udara pada Fasilitas Parkir	33
G. Penelitian Terdahulu	34
H. Kerangka Konsep	36
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian	37
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	38
1. Populasi Penelitian	38
2. Sampel Penelitian	40
3. Waktu Penelitian	42
C. Pengumpulan Data	43
1. Teknik Pengumpulan Data	43
2. Titik Pengukuran	44
3. Instrumen Penelitian	53

D. Pengolahan Data	55
E. Data yang Diperlukan	57
F. Definisi Operasional Variabel	57
G. Alur Penelitian	59
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Kualitas Udara pada Fasilitas Parkir Menara Bosowa Makassar	60
1. Karbon Monoksida (CO)	62
2. Karbon Dioksida (CO ₂)	70
3. Formaldehida (HCHO)	76
4. Volatile Organic Compound (VOC)	82
B. Pengaruh Cuaca terhadap Kualitas Udara	88
1. Kualitas Udara berdasarkan Perubahan Cuaca	88
2. Kualitas Udara berdasarkan Perubahan Temperatur Dan Kelembaban Udara	90
C. Pengaruh Kendaraan Bermotor dan Ketinggian Permukaan terhadap Kualitas Udara	97
1. Pengaruh Kendaraan Bermotor terhadap Kualitas Udara	97
2. Pengaruh Ketinggian Permukaan terhadap Kualitas Udara	100
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	107

B. Saran	109
DAFTAR PUSTAKA	110
LAMPIRAN	115

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persentase Sumber Pencemaran Udara	9
Tabel 2.2 Persyaratan Fisik Kualitas Udara di Dalam Ruangan	10
Tabel 2.3 Persyaratan Kimia Kualitas Udara di Dalam Ruangan	11
Tabel 2.4 Persyaratan Biologi Kualitas Udara di Dalam Ruangan	11
Tabel 2.5 Temperatur Efektif untuk kegiatan Manusia	25
Tabel 2.6 Temperatur Efektif (TE) Udara dari Berbagai Penelitian	25
Tabel 2.7 Hubungan antara Temperatur Efektif (TE) dengan Kelembaban Udara untuk Menciptakan Kondisi Termal yang Nyaman	26
Tabel 2.8 Persentase Pengaliran Udara pada Jendela	29
Tabel 2.9 Kebutuhan Ventilasi Mekanis	31
Tabel 2.10 Rincian Acuan Penelitian Terdahulu	34
Tabel 3.1 Tanggal Pengukuran	42
Tabel 3.2 Variabel dan Indikator Penelitian	58
Tabel 4.1 Hasil Uji Beda (Mann Whitney) Pengaruh Perubahan Cuaca terhadap Kadar Polusi Udara	89
Tabel 4.2 Hasil Uji Korelasi (Spearman) Hubungan antara Perubahan Cuaca dengan Temperatur dan Kelembaban Udara	91
Tabel 4.3 Hasil Uji Korelasi (Spearman) Hubungan Temperatur dan Kelembaban Udara dengan Kadar Polusi Udara	95

Tabel 4.4 Jumlah, Rata-rata Okupansi, dan Rata-rata Intensitas Lalu Lintas Kendaraan Bermotor	97
Tabel 4.5 Korelasi Intensitas Lalu Lintas Kendaraan Bermotor Terhadap Polusi Udara pada Cuaca yang Berbeda	98
Tabel 4.6 Hasil Uji Korelasi (Spearman) Ketinggian Permukaan Terhadap Kadar Polusi Udara pada Cuaca yang Berbeda	100
Tabel 4.7 Hasil Uji Beda (Kruskal Wallis) Pengaruh Ketinggian Permukaan terhadap Kadar Polusi pada Cuaca Cerah	103
Tabel 4.8 Hasil Uji Beda (Kruskal Wallis) Pengaruh Ketinggian Permukaan terhadap Kadar Polusi pada Cuaca Hujan	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerangka Konsep Penelitian	36
Gambar 3.1 Letak Populasi dan Sampel Penelitian terhadap Urban Heat Island (UHI) di Kota Makassar	39
Gambar 3.2 Menara Bosowa Makassar	40
Gambar 3.3 Desain Gedung Parkir Menara Bosowa Makassar	41
Gambar 3.4 Titik Ukur 1 (Ketinggian Permukaan ± 0.00 m)	45
Gambar 3.5 Titik Ukur 2 (Ketinggian Permukaan $+5.00$ m)	46
Gambar 3.6 Titik Ukur 3 (Ketinggian Permukaan $+10.00$ m)	47
Gambar 3.7 Typical Titik Ukur 4, 5 dan 6 (Ketinggian Permukaan $+15.00$, $+20.00$ dan $+25.00$ m).....	48
Gambar 3.8 Fasilitas Parkir Menara Bosowa Makassar pada Ketinggian $+25.00$ m (titik ukur 6)	49
Gambar 3.9 Fasilitas Parkir Menara Bosowa Makassar pada Ketinggian ± 0.00 m (titik ukur 1)	49
Gambar 3.10 Arah Aliran Udara di Ketinggian ± 0.00 m pada Gedung Parkir Menara Bosowa Makassar	50
Gambar 3.11 Arah Aliran Udara di Ketinggian $+5.00$ sampai dengan $+25.00$ m pada Gedung Parkir Menara Bosowa Makassar	51
Gambar 3.12 Letak Ketinggian Alat Ukur Berdasarkan Kepadatan Polutan (Waeytens, 2018)	52

Gambar 3.13 Alat pengukur CO, CO ₂ , HCHO dan VOC (<i>Air Quality Detector</i>)	53
Gambar 3.14 Thermo-Hygrometer Digital HTC-1	54
Gambar 3.15 Alur Penelitian	59
Gambar 4.1 Letak Gedung Parkir Menara Bosowa Bersama dengan Bangunan Lain di Sekitarnya	60
Gambar 4.2 Desain Gedung Parkir Menara Bosowa Makassar	61
Gambar 4.3 Kadar CO pada saat Cuaca Cerah	62
Gambar 4.4 Rata-rata Kadar CO berdasarkan Ketinggian Permukaan pada saat Cuaca Cerah	63
Gambar 4.5 Pipa Pembuangan HVAC pada Gedung Parkir Menara Bosowa Makassar	65
Gambar 4.6 Kadar CO pada saat Cuaca Hujan	66
Gambar 4.7 Rata-rata Kadar CO berdasarkan Ketinggian Permukaan pada saat Cuaca Hujan	67
Gambar 4.8 Alur Kendaraan di Ketinggian ± 0.00 m pada Gedung Parkir Menara Bosowa Makassar	69
Gambar 4.9 Kadar CO ₂ pada saat Cuaca Cerah	71
Gambar 4.10 Rata-rata Kadar CO ₂ berdasarkan Ketinggian Permukaan pada saat Cuaca Cerah	72
Gambar 4.11 Kadar CO ₂ pada saat Cuaca Hujan	73
Gambar 4.12 Rata-rata Kadar CO ₂ berdasarkan Ketinggian Permukaan pada saat Cuaca Hujan	74

Gambar 4.13 Kadar HCHO pada saat Cuaca Cerah	76
Gambar 4.14 Rata-rata Kadar HCHO berdasarkan Ketinggian Permukaan pada saat Cuaca Cerah	77
Gambar 4.15 Kadar HCHO pada saat Cuaca Hujan	79
Gambar 4.16 Rata-rata Kadar HCHO berdasarkan Ketinggian Permukaan pada saat Cuaca Hujan	80
Gambar 4.17 Kadar VOC pada saat Cuaca Cerah	83
Gambar 4.18 Rata-rata Kadar VOC berdasarkan Ketinggian Permukaan pada saat Cuaca Cerah	84
Gambar 4.19 Kadar VOC pada saat Cuaca Hujan	85
Gambar 4.20 Rata-rata Kadar VOC berdasarkan Ketinggian Permukaan pada saat Cuaca Hujan	86
Gambar 4.21 Hubungan antara Temperatur Udara dengan Kelembaban Udara	92
Gambar 4.22 Rata-rata Temperatur Udara berdasarkan Ketinggian Permukaan	93
Gambar 4.23 Rata-rata Kelembaban Udara berdasarkan Ketinggian Permukaan	94
Gambar 4.24 Bukaan pada Gedung Parkir Menara Bosowa Makassar di Ketinggian +20.00 M	99

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Laju Aliran Udara	30
Persamaan 3.1 Uji Korelasi Spearman	55
Persamaan 3.2 Uji Beda Mann Whitney	56
Persamaan 3.3 Uji Beda Kruskal Wallis	56

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel Hasil Pengukuran	116
Grafik Hasil Uji Normalitas Data	128
Tabel Diferensial	130
Foto Lokasi	131

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Makassar hingga saat ini masih terus dilirik oleh berbagai negara untuk melakukan investasi (Ronalyw, 2019), sehingga Kota Makassar menjadi salah satu kota dengan kondisi pembangunan yang berkembang pesat di Indonesia. Kondisi pembangunan di perkotaan yang sangat pesat, cenderung untuk tidak mempertimbangkan faktor konservasi lingkungan, dengan meminimalkan ruang terbuka hijau, kondisi demikian menyebabkan terganggunya keseimbangan ekosistem perkotaan, dengan meningkatnya suhu udara di perkotaan, serta pencemaran udara, sumber pencemaran udara di kota besar Indonesia, terutama disebabkan kegiatan transportasi, permukiman, persampahan dan industri (Suyanto, 2011).

Pencemaran udara yang terjadi di bumi secara umum berdampak pada lingkungan, termasuk perubahan iklim dan pemanasan global (Maharani, 2020), Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang hanya memiliki dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau, meskipun terjadi secara periodik, namun musim dapat mengalami pergeseran (Rahayu, 2018).

Penyumbang utama terbesar pencemar udara di Indonesia yaitu kendaraan bermotor, mengingat dalam kurun waktu 10 tahun terakhir (tahun 2004 – 2014), telah terjadi lonjakan jumlah kendaraan bermotor

yang sangat pesat, dan lebih kurang 70% terdistribusi di daerah perkotaan (Ismiyati, 2014). Parameter meteorologi juga mempengaruhi kadar gas pencemar di udara sehingga kondisi lingkungan tidak dapat diabaikan, suhu udara dan kelembaban udara adalah bagian dari parameter meteorologi yang dapat mempengaruhi kadar gas pencemar di udara (Istantinova, 2013), yang mana pada daerah *urban* (perkotaan), sering mempunyai suhu lebih tinggi 1-6 derajat Celsius dibandingkan daerah sekitarnya (daerah pinggiran/rural), fenomena inilah yang dikenal sebagai “Pulau Panas perkotaan” atau “Urban Heat Island” (UHI) (Belgaman, 2012).

Pencemaran udara pada dasarnya berbentuk gas, udara yang tercemar dengan gas ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang berbeda tingkatan dan jenisnya, tergantung dari macam, ukuran dan komposisi kimiawinya, gangguan tersebut terutama terjadi pada fungsi faal dari organ tubuh seperti paru-paru dan pembuluh darah (Ratnani, 2008). Kualitas udara yang baik adalah udara yang memiliki kadar polusi yang rendah, dan kualitas udara yang buruk adalah udara yang memiliki kadar polusi yang tinggi.

Bagian dari bangunan yang merupakan sumber polusi adalah pada area parkir, karena pada area parkir merupakan tempat berlalu lalanganya kendaraan bermotor yang merupakan penyebab utama dari polusi pada daerah perkotaan, dan sebagian besar gedung-gedung pada daerah perkotaan memiliki area parkir tersendiri baik itu terbuka maupun tertutup.

Berdasarkan pembahasan di atas, diperlukan penelitian untuk mengetahui kualitas udara pada gedung parkir, kemudian menganalisis perubahannya berdasarkan perubahan cuaca, sesuai dengan iklim yang terjadi di Indonesia, dimana iklim yang terjadi di Indonesia adalah iklim tropis lembab, sehingga sebagian besar wilayah di Indonesia memiliki cuaca cerah (panas) dan hujan (dingin), maka dari itu diperlukan penelitian kualitas udara pada area parkir pada saat cuaca panas dan hujan, serta meneliti faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi kualitas udara, seperti faktor kendaraan bermotor dan ketinggian permukaan.

Populasi yang diambil pada penelitian ini, yaitu gedung parkir yang terdapat di pusat Kota Makassar, Kota Makassar dipilih karena merupakan salah satu kota yang berkembang cukup pesat di Indonesia. Lokasi yang menjadi sampel penelitian yaitu gedung parkir Menara Bosowa Makassar, karena fungsi dari Menara Bosowa Makassar adalah sebagai kantor sewa, dan merupakan gedung kantor sewa terbesar di Kota Makassar, sehingga jumlah pengguna bangunan konsisten dan banyak setiap pekan sesuai dengan jam kerja.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka rumusan masalah yang dapat diteliti adalah:

1. Bagaimana kualitas udara pada gedung parkir Menara Bosowa Makassar?
2. Apakah perubahan cuaca berpengaruh terhadap kualitas udara pada gedung parkir Menara Bosowa Makassar?
3. Apakah intensitas lalu lintas kendaraan bermotor dan ketinggian permukaan, berpengaruh terhadap kualitas udara pada gedung parkir Menara Bosowa Makassar?

C. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan yang akan dicapai yaitu:

1. Menganalisis kualitas udara pada gedung parkir jika ditinjau dari kandungan polusi udara di dalamnya
2. Menganalisis perubahan kualitas udara pada gedung parkir berdasarkan perubahan cuaca
3. Menganalisis perubahan kualitas udara berdasarkan intensitas lalu lintas kendaraan bermotor dan ketinggian permukaan

D. Manfaat

Penelitian ini dapat memberikan gambaran mengenai kualitas udara pada gedung parkir, sehingga diharapkan dapat memberikan acuan bagi ilmu pengetahuan dan perancangan arsitektur, khususnya dalam merancang sebuah gedung parkir yang mampu menciptakan kondisi udara alami yang efektif, dan nyaman untuk mendukung aktivitas manusia di dalamnya, dengan mempertimbangkan kaidah arsitektur dan lingkungan sekitar sesuai dengan aturan yang berlaku.

E. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini melingkupi studi literatur, mengukur volume ruang dan ukuran bukaan, mempelajari jalur kendaraan, pengukuran kadar kandungan polusi pada udara, serta pengukuran temperatur dan kelembaban udara pada gedung parkir Menara Bosowa Makassar, serta mengamati jumlah dan intensitas lalu lintas kendaraan, kemudian data yang telah diperoleh dianalisis, untuk menyelesaikan rumusan masalah yang telah disampaikan sebelumnya.

F. Sistematika Penulisan

Untuk memberikan gambaran mengenai keseluruhan isi dari tesis ini, maka berikut uraian secara singkat mengenai bab-bab yang ada di dalamnya.

Bab 1. Pendahuluan: Bab ini berisikan hal-hal yang melatarbelakangi penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian

Bab 2. Tinjauan Pustaka: Bab ini berisikan teori secara sistematis, serta memberikan kerangka dasar yang komprehensif mengenai konsep, prinsip, atau teori yang akan digunakan sebagai pemecah masalah

Bab 3. Metode Penelitian: Bab ini menjelaskan mengenai rancangan penelitian, pengumpulan data, dan metode analisa yang akan digunakan untuk meneliti

Bab 4. Hasil dan Pembahasan: Bab ini berisikan hasil penelitian dan data yang telah diperoleh, serta analisis dan hasil analisis pada penelitian ini

Bab 5. Kesimpulan dan Saran: Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil penelitian, serta saran-saran dalam dunia arsitektur dan yang dapat dilakukan untuk penelitian berikutnya

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kualitas Udara di Indonesia

Selama dua dekade terakhir, Indonesia telah membuat perubahan dramatis pada kualitas udaranya, dari tahun 1998 hingga 2016, dari salah satu negara paling bersih di dunia menjadi salah satu dari dua puluh negara paling berpolusi. Pemerintah mulai mengambil langkah-langkah untuk menghadapi masalah pencemaran udara yang semakin meningkat, saat ini fokus pemerintah lebih banyak ditempatkan pada sektor transportasi, sebagai salah satu penyumbang pencemaran udara terbesar di perkotaan (Greenstone, 2019).

Pembangunan perkotaan di Indonesia saat ini dan di masa yang akan datang, harus memperhatikan kelestarian ekologi dalam artian selaras dengan lingkungan, dan potensi sumber daya alam untuk masa depan (Suyanto, 2011). Masalah lingkungan yang sering mengancam kota-kota besar di Indonesia saat ini adalah pencemaran udara terutama dari kendaraan bermotor (Samsedin, 2015), dimana berbagai jenis alat transportasi khususnya kendaraan bermotor setiap hari memadati jalan-jalan di kawasan perkotaan sebagai pusat kegiatan ekonomi (Basuki, 2012) Mengingat perkembangan kota telah mencapai kondisi yang mengkhawatirkan akibat penurunan kualitas lingkungan, keberadaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) sangat diharapkan (Samsedin, 2015).

B. Kualitas Udara dalam Ruang

Kualitas udara dalam ruangan atau *indoor air quality* dalam suatu ruangan, merupakan salah satu aspek keilmuan yang menitikberatkan pada kualitas udara pada suatu ruang, yang masuk ke dalam suatu ruangan, atau bangunan yang ditempati oleh manusia (Idham, 2001), pencemaran udara di dalam ruang seribu kali lebih tinggi, dan dapat mencapai paru-paru manusia jika dibandingkan dengan pencemaran udara luar ruangan, elemen yang mempengaruhi sistem pencemaran udara dalam ruang yaitu:

- a. Sumber yang berasal dari dalam dan luar
- b. Sistem ventilasi
- c. Media pembawa (udara dalam ruang)
- d. Riwayat pekerja yang berdiam di ruang tersebut (Huboyo, 2016).

Isu polusi udara dalam ruangan berkembang pesat mengingat kebanyakan orang menghabiskan lebih banyak waktu di dalam ruangan, terutama di ruang kerja kantor dan industrial (Kusnoputranto, 2000), jika dibagi berdasarkan sumbernya, sumber pencemar dalam ruang yaitu:

- a. Pencemaran dari dalam gedung, seperti pencemaran dari asap rokok, pestisida, bahan-bahan pembersih ruangan
- b. Pencemaran dari luar gedung, yang diakibatkan oleh masuknya gas buangan kendaraan bermotor, gas dari cerobong asap atau dapur

yang terletak dekat gedung, dimana kesemuanya dapat terjadi akibat penempatan lokasi lubang udara yang tidak tepat

- c. Pencemaran bahan bangunan, seperti pencemaran yang bersumber dari formaldehida, lem, asbes, fiberglass dan bahan-bahan lain yang merupakan komponen pembentuk gedung
- d. Pencemaran mikroba, yaitu bakteri, jamur, protozoa dan produk mikroba lainnya yang dapat ditemukan di saluran udara dan alat pendingin beserta seluruh sistemnya
- e. Pencemaran dari ventilasi udara, yang diakibatkan oleh kurangnya udara segar yang masuk, serta buruknya distribusi udara dan kurangnya perawatan sistem ventilasi udara (Oktora, 2008).

Presentasi jumlah sumber pencemar udara dalam ruang seperti yang disampaikan diatas dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persentase Sumber Pencemaran Udara

Sumber	Persentase
Pencemaran dari dalam Gedung	17%
Pencemaran dari luar gedung	11%
Pencemaran dari bahan bangunan	3%
Pencemaran mikroba	5%
Pencemaran dari ventilasi udara	52%
Tidak diketahui	12%

Sumber: Oktora, Bunga. 2008 FKM UI

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 1077 Tahun 2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara di Dalam Ruang, mengatur persyaratan kualitas udara di dalam ruangan meliputi:

- a. Kualitas fisik, terdiri dari parameter: partikulat (*Particulate Matter/PM_{2.5}* dan *PM₁₀*), suhu udara, pencahayaan, kelembaban, serta pengaturan dan pertukaran udara (laju ventilasi)
- b. Kualitas kimia, terdiri dari parameter sulfur dioksida (*SO₂*), nitrogen dioksida (*NO₂*), karbon monoksida (*CO*), karbon dioksida (*CO₂*), timbal (plumbum=*Pb*), asap rokok (*Environmental Tobacco Smoke/ETS*), asbes, formaldehida (*HCHO*), *Volatile Organic Compound (VOC)*
- c. Kualitas biologi terdiri dari parameter bakteri dan jamur

Persyaratan tersebut dapat dilihat secara rinci pada Tabel 2.2, 2.3, dan 2.4.

Tabel 2.2 Persyaratan Fisik Kualitas Udara di Dalam Ruangan

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar yang dipersyaratkan
1.	Suhu	°C	18 – 30
2.	Pencahayaan	Lux	Minimal 60
3.	Kelembaban	%Rh	40 – 60
4.	Laju Ventilasi	m/detik	0,15 – 0,25
5.	PM _{2.5}	µg/m ³	35 dalam 24 jam
6.	PM ₁₀	µg/m ³	≤ 70 dalam 24 jam

Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan No. 1077 tahun 2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara di Dalam Ruang

Tabel 2.3 Persyaratan Kimia Kualitas Udara di Dalam Ruangan

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar yang dipersyaratkan	Keterangan
1.	Sulfur dioksida (SO ₂)	Ppm	0,1	24 jam
2.	Nitrogen dioksida (NO ₂)	Ppm	0,04	24 jam
3.	Karbon monoksida (CO)	Ppm	9	8 jam
4.	Karbon dioksida (CO ₂)	Ppm	1000	8 jam
5.	Timbal (Pb)	µg/m ³	1,5	15 menit
6.	Asbes	Serat/ml	5	Panjang serat 5µ
7.	Formaldehida (HCHO)	Ppm	0,1	30 menit
8.	Volatile Organic Compound (VOC)	Ppm	3	8 jam
9.	Environmental Tobacco Smoke (ETS)	µg/m ³	35	24 jam

Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan No. 1077 tahun 2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara di Dalam Ruang

Tabel 2.4 Persyaratan Biologi Kualitas Udara di Dalam Ruangan

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimal
1.	Jamur	CFU/m ³	0 CFU/m ³
2.	Bakteri patogen	CFU/m ³	0 CFU/m ³
3.	Angka kuman	CFU/m ³	<700 CFU/m ³

Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan No. 1077 tahun 2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara di Dalam Ruang

C. Polusi Udara

Kadar polusi udara yang penting untuk diukur yang pada umumnya terdapat pada setiap bangunan yaitu, Karbon Monoksida (CO) yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna, Karbon Dioksida (CO₂) yang dihasilkan dari pernafasan manusia, Formaldehida (HCHO) yang dihasilkan oleh material bangunan, dan *Volatile Organic Compound* (VOC) yang dihasilkan dari penguapan bahan kimia yang seringkali digunakan.

Karbon Monoksida, Karbon Dioksida, Formaldehida dan *Volatile Organic Compound* dapat diukur dengan menggunakan *Air Quality Meter*, yang merupakan salah satu alat ukur untuk mengukur kualitas udara dalam ruangan maupun luar ruangan, selain di gunakan oleh industri-industri juga dapat digunakan oleh kalangan umum. Pembahasan yang lebih lengkap mengenai CO, CO₂, HCHO dan VOC dapat dilihat pada keterangan di bawah ini.

1. Karbon Monoksida (CO)

Karbon Monoksida (CO) merupakan senyawa gas yang tidak berwarna, tidak berbau, yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna bahan yang mengandung zat arang atau bahan organik, baik dari kegiatan industri ataupun lingkungan, CO terdiri dari satu atom karbon yang berikatan dengan oksigen (Agustin, 2013).

Karbon Monoksida pada kasus kematian bersumber dari knalpot mobil, pemanasan tidak sempurna, kebakaran, pembakaran yang tidak sempurna dari bongkahan arang. Kadar CO di perkotaan bermacam-macam tergantung dari kepadatan kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin pada pagi dan malam hari. Kadar CO dipengaruhi cuaca, topografi jalan, dan bangunan di sekitar (Anggraeni, 2009).

a. Penyebab

Penyebab utama timbulnya Karbon Monoksida (CO) pada mobil adalah apabila unsur oksigen (udara), tidak terjadi pembakaran sempurna sehingga karbon di dalam bahan bakar tidak terbakar seluruhnya, hal ini diakibatkan karena adanya pencampuran antara bahan bakar dengan udara yang kurang sempurna, sehingga menyebabkan campuran sulit terbakar seluruhnya atau waktu pembakaran yang terlalu cepat (Mohamed, 2015), sumber CO yang lain adalah pembakaran hasil-hasil pertanian seperti sampah, sisa kayu di hutan, dan sisa tanaman di perkebunan (MENLHK, 2009).

b. Dampak

Dampak buruk dari tingginya kadar Karbon Monoksida dapat mempengaruhi banyak hal, dengan penjelasan yang lebih lengkap dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini.

1. Kesehatan Manusia

Karakteristik *biologic* yang paling penting dari CO adalah kemampuannya untuk berikatan dengan hemoglobin, pigmen sel darah merah yang mengangkut oksigen ke seluruh tubuh, menyebabkan kerja molekul sel pigmen tersebut terhambat dalam fungsinya membawa oksigen ke seluruh tubuh. Kondisi seperti ini bisa berakibat serius, bahkan fatal, karena dapat menyebabkan keracunan (Warliana, 2014), gas CO adalah penyebab utama kematian akibat keracunan di Amerika Serikat dan lebih dari separuh penyebab keracunan fatal lainnya di seluruh dunia (Soekamto, 2018).

2. Ekosistem dan Lingkungan

Dampak dari pencemaran udara Karbon Monoksida (CO) adalah penurunan kualitas udara, semakin banyak kendaraan bermotor, dan alat-alat industri yang mengeluarkan gas CO yang mencemarkan lingkungan, akan semakin parah pula pencemaran udara yang terjadi di lingkungan tersebut (Warliana, 2014).

3. Hewan

Konsentrasi karbon monoksida (CO) berlebih di atmosfer dapat meningkatkan efek rumah kaca. Akibatnya panas terperangkap dalam lapisan troposfer dan menimbulkan fenomena pemanasan global. Pemanasan global sendiri akan berakibat pada pencairan es di kutub, perubahan iklim regional dan global, dan perubahan siklus hidup flora dan fauna (Warliana, 2014), kadar karbon monoksida yang berlebihan juga dapat menyebabkan kematian pada hewan, merupakan dampak yang terjadi seperti pada manusia (Wardhana, 2009).

4. Tumbuhan

Kadar karbon monoksida 200 Ppm dengan waktu kontak 24 jam dapat mempengaruhi kemampuan unsur nitrogen dari atmosfer diubah menjadi amonium (fiksasi nitrogen) oleh bakteri bebas, terutama yang terdapat pada akar tumbuhan (Wardhana, 2009), dan apabila tumbuhan kekurangan amonium maka daunnya akan menguning dan pucat (Surya, 2016).

5. Material

Dampak pencemaran udara oleh karbon monoksida (CO) pada material, adalah menghitamnya benda-benda pada daerah yang tercemar oleh Karbon Monoksida (Soedomo, 2009), selain itu, apabila gas CO teroksidasi menjadi karbon dioksida CO₂, maka dapat menimbulkan efek hujan asam, yang mana dapat mengakibatkan peningkatan laju korosi pada benda-benda logam (Warliana, 2014).

c. Upaya Pencegahan

Upaya pencegahan meningkatnya kadar Karbon Monoksida (CO), Sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077 tahun 2011, tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang antara lain:

1. Menggunakan ventilasi alami atau mekanik dalam rumah agar terjadi pertukaran udara untuk mengalirkan udara sisa hasil pembakaran
2. Menggunakan bahan bakar rumah tangga yang ramah lingkungan, seperti LPG dan listrik
3. Tidak merokok di dalam rumah
4. Tidak menghidupkan mesin kendaraan bermotor dalam ruangan tertutup
5. Melakukan pemeliharaan peralatan pembakaran secara berkala.

2. Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon Dioksida (CO₂), lazim disebut sebagai gas asam arang yang mempunyai senyawa kimia, yang sangat penting bagi kehidupan organisme di dunia ini. Jika tumbuhan, hewan dan manusia bernafas, maka akan mengeluarkan karbon dioksida sebagai hasil pembakaran bahan organik, yang mengalami dekomposisi dan juga proses-proses oksidasi, serta fermentasi yang dilakukan oleh mikroorganisme (Susana, 1988).

a. Penyebab

Penyebab dari bertambahnya kadar Karbon Dioksida (CO₂), hingga mencapai kadar yang dapat membahayakan, yaitu penggunaan bahan bakar seperti arang, kayu, minyak bumi, dan batu bara, Merokok di dalam rumah, dan tingkat kepadatan penghuni dalam ruang yang tinggi, (PERMENKES, 2011).

b. Dampak

Dampak dari kelebihan kadar Karbon Dioksida (CO₂) dapat dilihat pada keterangan di bawah ini.

1. Pada konsentrasi di atas nilai ambang batas yang dipersyaratkan, dapat menyebabkan mengantuk, sakit kepala, dan menurunkan aktivitas fisik

2. Pada konsentrasi 3% (30.000 Ppm), bersifat narkotik ringan dan menyebabkan peningkatan tekanan darah serta gangguan pendengaran
3. Pada konsentrasi 5% (50.000 Ppm), menyebabkan stimulasi pernafasan, pusing-pusing, dan kesulitan pernafasan yang diikuti oleh sakit kepala
4. Pada konsentrasi >8% (80.000 Ppm,) dapat menyebabkan sakit kepala, berkeringat terus menerus, tremor, dan kehilangan kesadaran setelah paparan selama 5-10 menit (PERMENKES, 2011).

c. Upaya Pencegahan

Upaya pencegahan meningkatnya kadar Karbon Dioksida (CO₂) di dalam ruang antara lain:

1. Menggunakan ventilasi alami atau mekanik dalam rumah agar terjadi pertukaran udara
2. Menggunakan bahan bakar rumah tangga yang ramah lingkungan, seperti LPG dan listrik
3. Tidak merokok di dalam rumah
4. Tidak menghidupkan mesin kendaraan bermotor dalam ruangan tertutup
5. Pemeliharaan kendaraan bermotor secara berkala (lulus uji emisi gas buang)
6. Menanam tanaman di sekeliling rumah (PERMENKES, 2011).

3. Formaldehida (HCHO)

Formaldehida (HCHO) merupakan suatu campuran organik yang dikenal dengan nama aldehida, HCHO dihasilkan dengan membakar bahan yang mengandung karbon, dalam atmosfer bumi, HCHO dihasilkan dari reaksi cahaya matahari dan oksigen terhadap metana dan hidrokarbon lain yang ada di atmosfer. Formaldehida dapat digunakan untuk membasmi sebagian besar bakteri, sehingga sering digunakan sebagai disinfektan dan juga sebagai bahan pengawet (Tangdiongga, 2015).

a. Penyebab

1. Bahan bangunan dan produk-produk rumah tangga
2. Hasil samping dari pembakaran bahan bakar biomasa dan proses alamiah lainnya, sehingga gas ini secara alamiah berada dalam ruang maupun luar ruang
3. Dalam rumah, berasal dari kayu olahan yang diawetkan dengan *resin* formaldehida urea atau *fenol* formaldehida, cat, lem dan produk-produk kayu olahan lainnya (PERMENKES, 2011).

b. Dampak

1. Gas formaldehida dapat menyebabkan mata berair, rasa terbakar pada mata dan tenggorokan, sulit bernafas terutama dalam konsentrasi lebih dari 0,1 Ppm
2. Pada konsentrasi lebih tinggi dapat menjadi pencetus serangan asma dan mungkin dapat menyebabkan kanker pada manusia (PERMENKES, 2011).

c. Upaya pencegahan

1. Menggunakan produk kayu untuk perabotan (*pressed woods*) yang direkomendasikan aman bagi kesehatan, yaitu yang memiliki kandungan emisi lebih rendah karena mengandung *fenol resin* dan bukan *urea resin*
2. Mencari tahu tentang kadar formaldehida dalam perabotan atau bahan baku bangunan sebelum membelinya
3. Menggunakan penyejuk udara (*Air Conditioning/AC*) dan pengatur kelembaban untuk mempertahankan suhu sedang (tidak terlalu panas atau dingin) serta mengurangi tingkat kelembaban
4. Rumah harus dilengkapi dengan ventilasi (PERMENKES, 2011).

4. Volatile Organic Compounds (VOC)

Volatile Organic Compound (VOC) adalah senyawa yang mengandung karbon yang menguap pada tekanan dan temperatur tertentu atau memiliki tekanan uap yang tinggi pada temperatur ruang, VOC yang paling umum dikenal adalah pelarut (*solvents*), VOC jenis lainnya seperti monomer dan pewangi (*fragrance*), jika VOC bereaksi dengan Nitrogen Oksida (NO_x) dan terkena sinar matahari membentuk ground level ozone atau kabut, pada konsentrasi tertentu di udara, ozone dapat mempengaruhi kesehatan dan lingkungan (Ismail, 2011).

a. Penyebab

1. Dikeluarkan sebagai gas oleh beragam produk seperti cat dan vernis, cairan pembersih dan disinfektan, pestisida bahan-bahan bangunan dan pelapis, peralatan kantor seperti mesin fotokopi dan printer, bahan-bahan kerajinan dan grafis, termasuk lem dan perekat, spidol permanen, dan pelarut fotografi
2. Penggunaan maupun penyimpanan bahan bakar minyak atau pelarut organik
3. Emisi mobil di garasi
4. Emisi dari pakaian yang dicuci dengan cara *dry-clean* (PERMENKES, 2011).

b. Dampak

1. Gangguan kesehatan akibat pajanan VOC cukup bervariasi tergantung dari jenis senyawa seperti iritasi mata, hidung, tenggorokan, sakit kepala, mual, kehilangan koordinasi sampai dengan kerusakan ginjal, hati dan sistem saraf pusat.
2. Dapat menyebabkan kanker pada hewan
3. Senyawa ini juga dapat dikonversi menjadi Karbon Monoksida dalam tubuh dan dapat menimbulkan gejala seperti keracunan Karbon Monoksida (PERMENKES, 2011).

c. Upaya Pencegahan

1. Meningkatkan ventilasi ketika menggunakan produk yang memancarkan VOC
2. Tidak menyimpan kontainer bahan yang mengandung VOC baik yang masih terpakai maupun yang tidak terpakai
3. Kurangi pajanan dengan melindung/menutup semua permukaan panel dan perabotan lainnya yang terbuka
4. Menggunakan teknik-teknik pengelolaan hama terpadu untuk mengurangi kebutuhan akan pestisida
5. Gunakan produk rumah tangga sesuai dengan petunjuk pabriknya
6. Jauhkan bahan-bahan yang mengandung VOC dari jangkauan anak-anak dan hewan peliharaan

7. Jangan pernah mencampur produk rumah tangga, kecuali dengan petunjuk pada label kemasan
8. Ikuti petunjuk penggunaan apabila menggunakan bahan yang mengandung VOC
9. Tidak merokok di dalam ruangan (PERMENKES, 2011).

D. Parameter Meteorologi Udara

Konsentrasi polutan di udara selain dipengaruhi oleh jumlah sumber pencemar (polusi) juga dipengaruhi oleh parameter meteorologi yaitu temperatur dan kelembaban udara (Agustina, 2019), penjelasan yang lebih lengkap mengenai temperatur dan kelembaban udara dapat dilihat pada keterangan di bawah ini.

1. Temperatur Udara

Secara tidak langsung suhu udara juga berperan dalam pembentukan polutan sekunder karena radiasi matahari dan suhu udara memiliki hubungan yang saling terkait, suhu udara dapat mempengaruhi peningkatan reaksi kimia di atmosfer dan mengakibatkan terbentuknya partikulat yang halus secara alami (Marhaeni, 2018). Keadaan suhu udara pada suatu tempat di permukaan bumi akan ditentukan oleh lamanya penyinaran matahari, kemiringan sinar matahari, keadaan awan, dan keadaan permukaan bumi (Rahim, 2016).

Temperatur udara pada saat cuaca cerah cenderung tinggi, dan sebaliknya pada saat cuaca hujan maka temperatur udara cenderung rendah. Temperatur udara cukup mudah dan murah diukur dengan termometer ruangan, yang tersedia di toko kelontong sekalipun, termometer murah walau tidak terlalu akurat, dapat digunakan untuk keperluan sehari-hari, termometer jenis itu dinamakan Termometer

Bola Kering (*Dry Bulb Thermometer*) (Satwiko, 2009). Suhu udara yang baik telah diatur sesuai dengan Standar Nasional Indonesia Tahun 2001 tentang temperatur yang efektif untuk kegiatan manusia dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Temperatur Efektif untuk Kegiatan Manusia

Kondisi	Temperatur Efektif
Sejuk Nyaman	20.5°C – 22.8°C
Ambang Batas	24°C
Nyaman Optimal	22.8°C – 25.8°C
Ambang Batas	28°C
Hangat Nyaman	25.8°C – 27.1°C
Ambang Batas	31°C

Sumber: SNI 03-6572-2001

Lippsmeier (1994) Menunjukkan beberapa penelitian yang membuktikan batas kenyamanan temperatur udara, dalam bentuk Temperatur Efektif (TE) yang berbeda-beda, tergantung kepada lokasi geografis dimana responden berada, dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Temperatur Efektif (TE) Udara dari Berbagai Penelitian

Peneliti	Tempat	Kelompok Manusia	Batas Kenyamanan
ASHRAE	USA Selatan	Peneliti	20.5 – 24.5°C TE
Rao	Calcutta	India	20 – 24.5°C TE
Webb	Singapura	Malaysia	25 – 27°C TE
	Khatulistiwa	Cina	
Mom	Jakarta	Indonesia	20 – 26°C TE
Ellis	Singapura	Eropa	22 – 26°C TE
	Khatulistiwa		

Sumber: Lippsmeier, Georg. 1994. *Bangunan Tropis*

2. Kelembaban Udara

Kondisi udara yang lembab akan membantu proses pengendapan bahan pencemar, sebab dengan keadaan udara yang lembab maka beberapa bahan pencemar berbentuk partikel akan berikatan dengan air yang ada dalam udara dan membentuk partikel yang berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap ke permukaan bumi oleh gaya tarik bumi (Prabowo, 2018).

Kelembaban udara akan menurun pada saat cuaca cerah, dan pada saat cuaca hujan kelembaban udara akan meningkat, sedangkan temperatur udara mengalami kondisi yang sebaliknya. Hubungan antara temperatur dan kelembaban udara dalam menciptakan kenyamanan termal dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Hubungan antara Temperatur Efektif (TE) dengan Kelembaban Udara untuk Menciptakan Kondisi Termal yang Nyaman

Zona	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban
Sejuk Nyaman Ambang Atas	20.5°C _{TE} – 22.8°C _{TE} 24°C _{TE}	50-80%
Nyaman Optimal Ambang Atas	22.8°C _{TE} – 25.8°C _{TE} 28°C _{TE}	70-80%
Hangat Nyaman Ambang Atas	25.8°C _{TE} – 27.1°C _{TE} 31°C _{TE}	60-70%

Sumber: SNI T-14-1993-03

Kelembaban relatif atau *Relative Humidity* (RH) di udara dapat diukur langsung dengan hygrometer, dan untuk memperkirakannya dapat digunakan cara berikut:

- a. Bila kulit terasa lengket sekali dan udara pengap terasa berat menekan maka RH sudah di atas 90% persis perasaan kita di kamar mandi sehabis mandi air hangat
- b. Apabila kulit kita mulai terasa lengket, maka RH sudah berada di atas 80%
- c. Bila kita merasa nyaman dan kulit kering wajar, maka RH sekitar 50-60 %
- d. Jika RH berada di bawah 40% kita mulai merasa kering yang tidak wajar, kulit mulai terasa kering dan cenderung bersisik, bibir mulai kering, mata pedas, kertas foto yang tergantung bebas akan mulai melengkung
- e. Jila kelembaban terus berkurang maka akan terjadi gejala elektrostatik, berupa loncatan listrik statis dari satu objek ke objek lain, walau tidak berbahaya (Satwiko, 2009).

E. Ventilasi

Ventilasi merupakan suatu tempat keluar dan masuknya udara pada suatu ruangan pada bangunan, keluar masuknya udara dimaksudkan sebagai sirkulasi udara, yang tidak hanya membuat kondisi ruangan nyaman juga mempertahankan kelembaban yang normal memenuhi syarat (Basuki, 2017). Gangguan ventilasi merupakan faktor terbesar terhadap sumber pencemar udara di dalam ruang, yaitu sebesar 52% dari semua sumber pencemar udara di dalam ruang (Oktora, 2008).

Aktivitas manusia maupun benda-benda di dalam ruang dapat menghasilkan gas-gas yang berbahaya bagi kesehatan, apabila tetap terkonsentrasi di ruangan dalam jumlah yang melebihi batas toleransi manusia, hingga udara kotor harus diganti dengan udara yang lebih bersih (Satwiko, 2009). Secara umum ventilasi dibagi menjadi dua yaitu ventilasi alami dan ventilasi mekanik penjelasan yang lebih lengkap dapat dilihat pada keterangan di bawah.

1. Ventilasi Alami

Ventilasi alami terjadi karena adanya perbedaan tekanan di luar suatu bangunan gedung yang disediakan oleh angin dan karena adanya perbedaan temperatur, sehingga terdapat gas-gas yang naik dalam saluran ventilasi, ventilasi alami yang disediakan harus terdiri dari bukaan permanen, jendela, pintu atau sarana lain dapat dibuka, dengan jumlah bukaan ventilasi tidak kurang dari 5% terhadap luas

ruangan (SNI 03-6572-2001). Ventilasi alami menawarkan ventilasi yang sehat, nyaman, tanpa memerlukan energi tambahan, namun untuk merancang ventilasi alami perlu dipikirkan syarat awal, yaitu:

- a. Udara yang berada di luar merupakan udara yang sehat (bebas dari bau, debu dan polutan lain yang mengganggu)
- b. Temperatur yang berada di luar tidak memiliki temperatur terlalu tinggi (maksimal 28 derajat Celcius)
- c. Aliran udara horizontal tidak terhalang oleh bangunan di sekitar sehingga angin dapat berhembus lancar
- d. Lingkungan tidak bising, jika syarat awal tidak dipenuhi sebaiknya tidak dipaksakan untuk memakai ventilasi alami karena justru akan merugikan (Satwiko, 2009).

Ventilasi alami yang paling berpengaruh pada proses pengaliran udara adalah jendela, persentase pengaliran udara berdasarkan tipe jendela dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Persentase Pengaliran Udara pada Jendela

Tipe Jendela	Pengaliran Udara
Jendela mati (<i>fixed</i>)	0%
Jendela hidup (<i>casement side-hung</i>)	90%
Jendela hidup putar (<i>horizontal pivoted</i>)	75%
Jendela jatuh (<i>hopper</i>)	45%
Jendela gantung (<i>awning</i>)	75%
Jendela geser vertikal (<i>single-hung</i>)	45%
Jendela geser horizontal	40%
Jendela nako (<i>jalousie</i>)	90%

Sumber: Akbar, 2018, Rekayasa Ventilasi Alami pada Gedung Islamic Center Pamekasan

Faktor yang mempengaruhi laju ventilasi yang disebabkan gaya angin termasuk kecepatan rata-rata, arah angin yang kuat, variasi kecepatan dan arah angin musiman dan harian, dan hambatan setempat seperti bangunan yang berdekatan, bukit, pohon dan semak belukar. Untuk menghitung laju aliran udara atau menentukan ukuran bukaan yang dekat dapat digunakan Persamaan 2.1.

$$Q = C_v \cdot A \cdot V \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

Q = Laju aliran udara, m³/detik

A = Luas bebas dari bukaan inlet, m²

V = Kecepatan angin, m/detik

C_v = *effectiveness* dari bukaan (C_v dianggap sama dengan 0.5 – 0.6 untuk angin yang tegak lurus dan 0.25 – 0.35 untuk angin yang diagonal) (SNI 03-6572-2001).

2. Ventilasi Mekanik

Sistem ventilasi mekanis harus diberikan jika ventilasi alami yang memenuhi syarat tidak memadai, penempatan kipas harus memungkinkan pelepasan udara secara maksimal dan juga memungkinkan masuknya udara segar, sistem ventilasi mekanis bekerja terus menerus selama ruang tersebut dihuni, bangunan atau ruang parkir tertutup harus dilengkapi sistem ventilasi mekanis untuk membuang udara kotor dari dalam dan minimal 2/3 volume udara

ruang harus terdapat pada ketinggian maksimal 0,6 m dari lantai (SNI 03-6572-2001).

Ruang parkir pada ruang bawah tanah (*basement*) yang terdiri dari lebih satu lantai, gas buang mobil pada setiap lantai tidak boleh mengganggu udara bersih pada lantai lainnya. Besarnya pertukaran udara yang disarankan untuk berbagai fungsi ruangan harus sesuai ketentuan yang berlaku, kebutuhan ventilasi mekanis berdasarkan fungsi ruang dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Kebutuhan Ventilasi Mekanis

Tipe	Catu Udara Segar Minimum	
	Pertukaran udara/jam	m ³ /jam/orang
Kantor	6	18
Restoran / kantin	6	18
Toko, pasar swalayan	6	18
Pabrik, bengkel	6	18
Kelas, bioskop	8	18
Lobby, koridor, tangga	4	18
Kamar mandi, peturasan	10	18
Dapur	20	18
Tempat parkir	6	18

Sumber: SNI 03-6572-2001

F. Tinjauan Terhadap Fasilitas Parkir

1. Parkir & Fasilitas Parkir

Parkir adalah keadaan tidak bergerak suatu kendaraan yang tidak bersifat sementara, fasilitas parkir adalah lokasi yang ditentukan sebagai tempat pemberhentian kendaraan yang tidak bersifat sementara untuk melakukan kegiatan pada suatu kurun waktu, parkir merupakan salah satu komponen suatu sistem transportasi yang perlu dipertimbangkan, pada kota-kota besar area parkir merupakan suatu kebutuhan bagi pemilik kendaraan, dengan demikian perencanaan fasilitas parkir adalah suatu metode perencanaan dalam menyelenggarakan fasilitas parkir kendaraan (DITJENHUBDAT, 1998).

2. Kualitas Udara pada Fasilitas Parkir

Garasi parkir tertutup menghadapi tantangan signifikan dalam menjaga kualitas udara yang baik, karena emisi kendaraan dapat meningkatkan konsentrasi CO dan gas beracun lainnya ke tingkat yang berbahaya, paparan secara terus menerus terhadap CO, bahkan pada tingkat moderat, dapat menyebabkan masalah kesehatan yang berkepanjangan (PERGUB, 2012).

Perkembangan penduduk di kota-kota besar meningkat, memberi dampak terhadap jumlah penggunaan kendaraan bermotor, sehingga tidak sebanding antara jumlah kendaraan dengan lahan

parkir yang tersedia, solusi dari permasalahan tersebut adalah pengadaan lahan parkir bawah tanah yang biasa disebut *basement* (fasilitas parkir bawah tanah) (Di-Gandra, 2018). Permasalahan yang timbul dari *basement* ini adalah penurunan kualitas udara akibat dari emisi kendaraan yang ada di dalam *basement*, misal, dalam keadaan kendaraan dinyalakan, antrean keluar-masuk *basement* atau bahkan ketika kendaraan hendak parkir (Kristanto, 2013).

3. Meningkatkan Kualitas Udara pada Fasilitas Parkir

Perbaikan kualitas udara ruang parkir bawah tanah dapat dilakukan dengan memperbesar ventilasi, pemilihan material bangunan, mengurangi *travel time*, dan pemeliharaan gedung, sistem ventilasi mekanik yang ada dalam parkir bawah tanah harus memiliki kapasitas yang mendukung untuk memenuhi kebutuhan aliran udara (Kristanto, 2013).

Lahan parkir semi terbuka merupakan lingkungan yang lebih baik untuk beraktivitas dibandingkan lahan parkir tertutup (*basement*), lahan parkir semi terbuka memiliki sirkulasi udara yang lebih baik yang memungkinkan adanya pertukaran udara kotor dan bersih sehingga udara di lahan parkir menjadi cukup aman bagi pengguna fasilitas parkir, meskipun begitu, pengguna parkir tetap harus menggunakan alat pelindung diri dan menjaga kebersihan serta kesehatan tubuh untuk menghindari dampak negatif terhadap kesehatan yang disebabkan oleh paparan Karbon Monoksida (CO) (Herman, 2020).

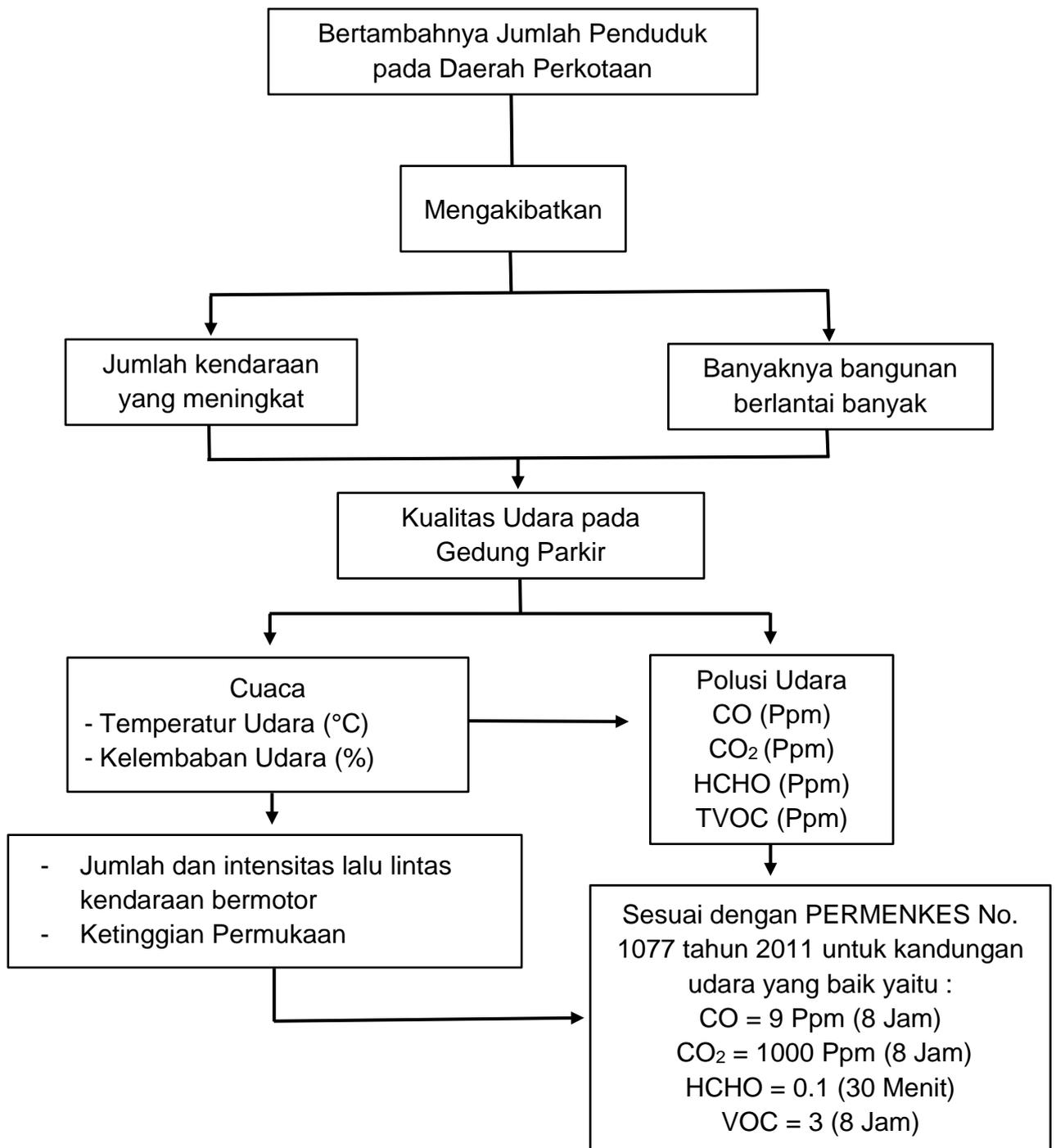
G. Penelitian Terdahulu

Tabel 2.10 Rincian Acuan Penelitian Terdahulu

No.	Tahun	Peneliti	Sumber	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1	2019	Mutmainnah, Nur. Rosady Mulyadi Baharuddin Hamzah	Thesis Magister Arsitektur Universitas Hasanuddin	Evaluasi Kualitas Udara pada Ruang Kelas di Wilayah Pesisir, Dataran Rendah, dan Pegunungan di Kabupaten Pangkep	Mengetahui tingkat kualitas udara dalam ruang kelas, ditinjau dari konsentrasi Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO ₂) dan kadar debu pada Sekolah Menengah Pertama Negeri di wilayah pesisir, dataran rendah dan pegunungan.	Komparatif Kuantitatif Yaitu pengukuran kualitas udara pada tiga sekolah yang memiliki kondisi geografis berbeda, kemudian membandingkan hasil yang diperoleh	Konsentrasi CO dan CO ₂ , pada ruang kelas di tiga sekolah, berada di bawah ambang batas nilai konsentrasi yang ditetapkan oleh DOSH dan ASHRAE, yaitu 9 Ppm dan 1000 Ppm, sedangkan kadar debu total berada di atas ambang, yaitu 0.15 mg/m ³ . Adanya kecenderungan hubungan antara berkurangnya konsentrasi CO dan CO ₂ dengan naiknya temperatur udara di dalam ruang kelas, dan konsentrasi kadar debu total memiliki hubungan positif yang kuat dengan temperatur udara dimana semakin tinggi temperatur udara dalam ruang menjadikan konsentrasi kadar debu total semakin besar.

No.	Tahun	Peneliti	Sumber	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
2	2016	Huboyo, Haryono Setiyo. Titik Istirokhatum Endro Sutrisno	Jurnal Presipitasi Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan	Kualitas Udara dalam Ruang di Daerah Parkir Basement dan Parkir <i>Upperground</i> (Studi Kasus Supermarket Semarang)	Membandingkan besarnya konsentrasi polutan debu (<i>Total Suspended Particulate</i>) TSP, Nitrogen Dioksida (NO ₂) dan Karbon Monoksida (CO) pada area basement dan <i>upperground</i> , untuk mendapatkan perbandingan kualitas udara pada area parkir yang berada pada basement dengan area parkir yang berada pada <i>upperground</i> .	Komparatif Kuantitatif Yaitu pengukuran kualitas udara pada dua area parkir dengan sistem sirkulasi udara yang berbeda, kemudian membandingkan hasil yang diperoleh.	Konsentrasi polutan di area basement secara umum lebih besar dibandingkan <i>upperground</i> , walaupun demikian parameter yang melebihi baku mutu hanyalah debu (TSP), dan hasil pengukuran menunjukkan pada hari libur rata-rata konsentrasi TSP melebihi baku mutu udara ruang, peningkatan ini linier dengan peningkatan jumlah kendaraan.
3	2016	Apriliana, Kharisma. Imelda Umiyatul Badriah Edvin Aldrian	Jurnal Meteorologi dan Geofisika	Hubungan antara Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Suhu Udara terhadap Intervensi Anthropogenic (Studi Kasus Nyepi Tahun 2015 di Provinsi Bali)	Mengetahui perbedaan hubungan antara konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan suhu udara pada saat Perayaan Hari Raya Nyepi tahun 2015 di Provinsi Bali (tanpa intervensi anthropogenic) dan pada hari-hari biasa di luar Hari Raya Nyepi (dengan intervensi anthropogenic).	Komparatif Kuantitatif Yaitu pengukuran kualitas udara pada dua aktivitas masyarakat yang berbeda, kemudian membandingkan hasil yang diperoleh	Pada saat hari raya Nyepi atau saat tidak ada intervensi anthropogenic hubungan antara konsentrasi CO dan suhu udara cenderung konsisten berbentuk hubungan yang positif, sedangkan pada hari-hari di luar Hari Raya Nyepi hubungan antara CO dan suhu udara cenderung menjadi tidak konsisten (acak dan tidak jelas).

H. Kerangka Konsep



Gambar 2.1 Kerangka Konsep Penelitian