

TUGAS AKHIR

ANALISIS KOMPONEN KARBON TSP (*TOTAL SUSPENDED PARTICULATE*) DI JALAN SULTAN ALAUDDIN KOTA MAKASSAR



ANDI ANNISA TENRI RAMADHANI

D131 18 1315

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2022



LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Judul : **Analisis Komponen Karbon TSP (*Total Suspended Particulate*) di Jalan Sultan Alauddin Kota Makassar**

Disusun Oleh :

Nama : **Andi Annisa Tenri Ramadhani** D131181315

Telah diperiksa dan disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Gowa, 15 Agustus 2022

Pembimbing I

Rasdiana Zakaria, S.T., M.T.
NIP. 198510222019032011

Pembimbing II

Zarah Arwienny Hanami, S.T.,M.T.
NIP. 199710272022044001



Menyetujui,
Ketua Departemen Teknik Lingkungan

Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T.
NIP. 197204242000122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andi Annisa Tenri Ramadhani

NIM : D131181315

Program Studi : Teknik Lingkungan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Analisis Komponen Karbon TSP (*Total Suspended Particulate*) di Jalan Sultan Alauddin Kota Makassar

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 7 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Annisa
Andi Annisa Tenri Ramadhani

KATA PENGANTAR

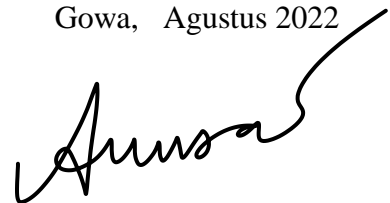
Assalamualaikum warahmatullahi wabarakaatuh,

Alhamdulillah, puji syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat dan berkah-Nya lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat kepada junjungan para umat Muslim yakni Nabi Muhammad SAW yang telah membawa dunia dari gelap ke terang benderang. Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Komponen Karbon TSP (*Total Suspended Particulate*) di Jalan Sultan Alauddin Kota Makassar”** dapat dilaksanakan di bawah bimbingan para dosen dan pembimbing yang penulis hormati yaitu Ibu **Rasdiana Zakaria, S.T., M.T.** dan Ibu **Zarah Arwieny Hanami, S.T., M.T** serta **Prof. Dr. Masami Fuuruchi** dan **Muhammad Amin, S.T., M.Eng., Ph.D** dari Kanazawa University.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Maka dari itu, penulis berharap kritik dan saran konstruktif sehingga dapat menjadi pembelajaran bagi penulis untuk lebih baik lagi di masa yang akan datang. Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat membawa manfaat dan ilmu pengetahuan baru bagi para pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada para pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakaatuh.

Gowa, Agustus 2022



Andi Annisa Tenri Ramadhani

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakaatuh,

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberi penulis kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Junjungan dan sholawat penulis haturkan pula kepada Rasulullah SAW. Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan rasa syukur dan terima kasih kepada para pihak yang telah menuntun, menemani, membantu penulis dalam mengerjakan hingga menyelesaikan Tugas Akhir ini. Ucapan terima kasih sedalam-dalamnya penulis ucapkan kepada:

1. Kedua orang tua tersayang, Ibu A. Nurliah Absul dan Bapak A. Mansyur Murad yang senantiasa mendukung langkah penulis dari awal hingga kini dan sepanjang masa dengan penuh kasih sayang. Penulis tidak akan dapat meraih apa yang digapai saat ini tanpa perjuangan mereka. Begitu pula terkhusus kepada Sistah yaitu Kakak Andini dan Kakak Nabila yang selalu setia mendengar curhatan dan memberi dukungan penulis sejak kecil hingga penulis mengemban tugas sebagai mahasiswa.
2. Para sahabat “To Infinity and Beyond” terdiri dari Dian Fitri Febrianingrum, Micha Selya, Hanifa Muslimah, Dhoifah Sricendikia Putri Arifin, Aifah Ari Mandini, dan Anisa Maulidiah Alam yang menjadi tempat curhat dan saksi pertumbuhan penulis dari masa remaja hingga dewasa dan selamanya. Hidup lebih berwarna karena kehadiran mereka yang selalu menyemangati penulis.
3. Para guru penulis sejak TK, SD, SMP, SMA, serta dosen di Universitas. Karena jasa mereka, penulis dapat mengenyam indahny pendidikan dan dahsyatnya manfaat ilmu pengetahuan. Semoga menjadi amal jariyah bagi mereka.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Prof. Dr. drg. A. Arsunan Arsin selaku Wakil Rektor Bidang Kemahasiswaan dan Alumni Unhas atas dukungannya selama penulis mengemban amanah sebagai Mahasiswa Berprestasi Unhas 2021.

6. Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isram Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Bapak Mukti Ali, S.T., M.T., Ph.D. selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Alumni dan Kemitraan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin serta staf yang senantiasa mendukung segala kegiatan kemahasiswaan yang penulis ikuti selama menjadi mahasiswa FT-UH.
8. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin yang banyak memberi dukungan pada penulis untuk setiap kegiatan kemahasiswaan serta memberi kesempatan pada penulis sehingga dapat terlibat dalam proses Akreditasi IABEE Teknik Lingkungan 2020-2021.
9. Ibu Rasdiana Zakaria, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I, Dosen Pembimbing Pilmapres hingga tahap Nasional, pemberi rekomendasi untuk CoLearn dan Cargill Global Scholars Program, serta kegiatan kemahasiswaan lainnya yang penulis ikuti. Ibu telah mendukung penulis hingga dapat memaksimalkan pembelajaran mulai di lingkup Universitas Hasanuddin hingga kancah internasional. Tak lupa segala waktu dan energi yang diberikan untuk memberikan arahan dan masukan kepada penulis hingga dapat menyelesaikan mulai dari tugas-tugas kelas hingga Tugas Akhir.
10. Ibu Zarah Arwieny Hanami, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II sekaligus pemimpin Gen-Z yang penulis kagumkan atas segala umpan balik, arahan, motivasi, canda tawa, informasi, energi, serta semangat yang diberikan hingga penulis dapat menjalani tugas kuliah khususnya pada tahun ketiga dan keempat hingga menyelesaikan tugas akhir dengan *enjoy* dan *santuy*.
11. Prof. Dr. Masami Fuuruchi dan Kak Muhammad Amin, S.T., M.Eng., Ph.D yang telah menjadi pembimbing pada Kanazawa University Exchange Program serta membantu penulis terkait Tugas Akhir khususnya untuk analisis komponen karbon secara langsung di Kanazawa University.

12. Ibu Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng, yang telah menjadi sosok mentor yang bersedia memberi waktu dan ilmu sehingga penulis dapat meraih juara pada PIMTEK 2020 serta berhasil menjadi *Research Student* pada Kanazawa University Exchange Program.
13. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan atas ilmu, bimbingan, motivasi, dan ruang berekspresi dan belajar selama hampir empat tahun terakhir.
14. Ibu Sumiati dan Pak Olan selaku Admin Departemen Teknik Lingkungan atas jasanya dalam membantu segala proses administrasi penulis sejak mahasiswa baru hingga menjadi alumni.
15. Kabag Kemahasiswaan Unhas, Pak Ir. Syahrudin, M.M., dan Kabiro Kemahasiswaan Unhas, Pak Drs. Mansur, M.Si serta staf yang banyak membimbing dan mendukung penulis selama proses Pilmapres 2021 dan pelaksanaan kegiatan Akademi Mapres Unhas.
16. Mam Sitti Sahraeny S.S., M.Hum., M.Arts., Sir Dr.Eng Ilham Alimuddin, S.T., M.Gis., Ibu Sahrianti Saad, S.Hut., M.Si., Ph.D., dan Pak Nosakros Arya, S.Sos., M.I.Kom yang banyak memberi ilmu pada penulis khususnya selama proses *coaching* Pilmapres 2021. Serta Mam Karmila Mokoginta, S.S., M.A., M.Hum yang telah membantu hingga penulis menjadi salah satu *Research Student* pada program Kanazawa University Exchange Program.
17. Rizki Oceano selaku mentor yang telah memberi arahan, nasehat, masukan, dan ilmu hingga penulis dapat melakukan yang terbaik dan memaksimalkan masa kuliah hingga kini mendapat pekerjaan profesional pertama di mana Rizki selaku Manajer penulis di CoLearn. *You are forever my GMAT (Greatest Mentor of All Time)*.
18. Saudari Safira Putri H. Malik dan Dessy Permatasari Rachmawati yang telah menjadi *bestie* sejak mahasiswa baru hingga menjadi partner Kerja Praktik dan sama-sama sebagai mahasiswa tingkat akhir. Untuk segala canda tawa, semangat, ilmu, traktiran, curhatan, eksplorasi Gowa-Makassar, pengalaman dari lucu, unik, memalukan, menyenangkan, mendebarkan dan lain-lain. *You'll be the ones I missed the most*.

19. Saudara Yusril yang telah menjadi *bestie* sekaligus yang selalu ada untuk mendengarkan curhatan sejak mahasiswa baru, kemudian menjadi Sekretaris di WELCOME09 SMFT-UH, hingga menjadi rekan Aslab Kualitas Udara dan Kebisingan juga sangat membantu dalam pengurusan berkas. *Thank, Yuu!*
20. Saudari Tiara Taufiq atas segala ide-ide, diskusi, hingga implementasi Taulan.ID *that starts from scratch* yang juga rekan di Binabudmks. Juga pada seluruh tim Taulan.ID atas inspirasinya pada penulis. *Hwaiting, yeorobun.*
21. Saudari Angelie Santosa dan Saudara A. Amrullah yang membantu selama revisi Tugas Akhir, semangat berjuang sampai akhir.
22. Kepada tim Akreditasi IABEE 2020 atas kerja sama dan canda tawa sehingga dapat membantu Departemen Teknik Lingkungan tercinta meraih akreditasi internasional yang pantas didapatkan.
23. Kepada HFM (Angeline, Aiman, Atsal, Aya, Alm. Fatur, Tadha, Vava, Yuu) untuk segala teka-teki *high class*, diskusi, hiburan, *jog and jokes* selama pandemi yang menjadikan kehidupan tingkat pertengahan kuliah seru.
24. Teman-teman Mahasiswa Teknik Lingkungan angkatan 2018 dan Transisi 2019 yang telah kebersamai perkuliahan dari awal hingga akhir. *Keep on fighting till the end.*
25. WELCOME09 SMFT-UH telah menjadi rumah bagi penulis serta meningkatkan kemampuan kepemimpinan juga sumber pengalaman puncak di masa perkuliahan meski di tengah pandemi. *To all members, seniors, advisor you are all the GOAT (Greatest Of All Time).*
26. Laboratorium Fisika Dasar FT-UH telah menjadi tempat untuk penulis bertemu rekan-rekan mahasiswa dengan pemikiran kritis namun asik disertai kehangatan yang diberikan.
27. Laboratorium Kualitas Udara dan Kebisingan telah menjadi *basecamp* khususnya di semester 6 hingga 8. Para rekan aslab senantiasa *sharing*, makan bersama sambil bermain *undercover*, dan membantu penulis secara

- langsung dalam mengambil sampel Tugas Akhir yakni Yuu, Aiman, Dhea, Winner, Inzar, Nuzul, Dede juga Fira, Aad, Sukardi, Tadha, dan Firman.
28. Cargill Global Scholars Program, XL Axiata Future Leaders, VDMI yang telah menjadi pemberi beasiswa baik berupa pelatihan hingga finansial bagi penulis hingga dapat melaksanakan kegiatan perkuliahan dan ekstrakurikuler secara maksimal juga mendapatkan koneksi dengan mahasiswa dari manca negara.
 29. Kelas Makassar XL Future Leaders Batch 8 dan Cargill Global Scholars Cohort 8 untuk kebersamaan selama dua tahun yang memberi motivasi serta dorongan kuat bagi penulis untuk *stay ambitious and humble*.
 30. AFS Bina Antarbudaya terkhusus Chapter Makassar dan Indonesian YES Alumni Associations menjadi wadah pengembangan diri penulis serta *give back to the community*.
 31. Akademi Mapres Unhas yang telah menjadi wadah untuk berkontribusi kembali pada almamater tercinta.
 32. Taylor Swift, Lizzy McAlpine, Conan Gray, Lauv, Ruel, dan One Direction untuk musik mereka yang menemani penulis mengerjakan tugas dari pagi benderang hingga bertemu gelapnya malam.
 33. Seluruh keluarga besar, teman-teman, rekan, dan berbagai pihak yang belum penuliskan ucapkan satu per satu, penulis banyak berterima kasih atas segala bantuannya dalam bentuk apapun secara langsung maupun tidak langsung.

Gowa, Agustus 2022



Andi Annisa Tenri Ramadhani

ABSTRAK

ANDI ANNISA TENRI RAMADHANI. *Analisis Komponen Karbon TSP (Total Suspended Particulate) di Jalan Sultan Alauddin Kota Makassar* (Dibimbing oleh Rasdiana Zakaria dan Zarah Arwieny Hanami).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui komponen karbon pada TSP (*Total Suspended Particulate*) pada udara ambien di Jalan Sultan Alauddin Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Pengukuran dilakukan selama tiga hari pada hari kerja saat cuaca cerah. Setiap pengukuran dilakukan pada hari yang berbeda di lokasi dengan karakteristik bahu jalan yang berbeda di mana Titik A dengan bahu jalan berkerikil, Titik B dengan bahu jalan bertrotoar, dan Titik C dengan bahu jalan tidak beraspal. TSP pada udara ambien diukur dengan menggunakan HVAS (*High Volume Air Sampler*) dengan kertas filter Quartz Fiber (QFF).

Untuk mengidentifikasi kemungkinan sumber emisi, TSP dianalisis lebih lanjut untuk karbon organik (OC) dan karbon elemental (EC) yang dievaluasi menggunakan *Sunset Carbon Analyzer* dengan protokol IMPROVE_TOR di Kanazawa University. Data trayektori massa udara ke belakang diambil melalui HYSPLIT yang menunjukkan sumber berbeda meski pengukuran berada pada jalan yang sama. Titik A dan B terlacak dari Pulau Jawa bagian Utara sedangkan Titik C terlacak dari Pulau Bali.

Berdasarkan hasil analisis, Titik B dan C tidak melebihi ambang baku mutu udara ambien yaitu $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara itu Titik A melebihi ambang baku mutu dengan tingkat konsentrasi sebesar $448,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil analisis menunjukkan total karbon (TC) atau komponen karbon menyusun 6,08-12,29% dari konsentrasi TSP. Melalui rasio OC/EC dan rasio Char-EC/Soot-EC dapat ditarik kesimpulan bahwa sumber TSP secara dominan dipengaruhi oleh emisi kendaraan bermotor dan pembakaran biomassa yang berasal dari kegiatan sekitar lokasi pengukuran.

Kata Kunci: Bahu Jalan, Komponen Karbon, TSP

ABSTRACT

ANDI ANNISA TENRI RAMADHANI. Analysis Carbonaceous Component of TSP (Total Suspended Particulate) at Sultan Alauddin Road Makassar City (Supervised by Rasdiana Zakaria dan Zarah Arwieny Hanami).

This research is to investigate the carbonaceous component in ambient Total Suspended Particulates (TSP) at Sultan Alauddin Road in Makassar City, South Sulawesi. It was monitored during three days of working days in clear weather. Each day of the sampling was taken in a different location with varied characteristics of roadside which are location A with gravel roadside, location B with a pedestrian walk, and location C with unpaved roadside. Ambient TSP was measured using the HVAS (High Volume Air Sampler) with a quartz fibrous filter (QFF).

To identify possible emission sources, TSP was analyzed further for Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC) which is evaluated by the sunset carbon analyzer with IMPROVE_TOR protocol at Kanazawa University. The air mass backward trajectory data obtained from HYSPLIT showed different sources although the sampling was on the same road. Location A and B were traced from North of Java Island meanwhile location C was from above Bali.

The result of analysis shows that Location B and C did not exceed Indonesian ambient air quality standards of $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Meanwhile, Location A exceed the standard with concentration level of $448,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Furthermore, Total Carbon (TC) or carbonaceous component accounted for 6,08-12,29% of TSP. Based on the OC/EC and Char-EC/Soot-EC ratio, it is indicated that the TSP was heavily influenced by vehicle emission and biomass burning from the activities around sampling sites.

Keywords: *Roadside, Carbonaceous Component, TSP*

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	x
DAFTAR ISI	xii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Ruang Lingkup.....	3
E. Manfaat Penelitian	4
F. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Udara.....	6
B. Pencemaran Udara	6
C. Sumber Pencemaran Udara.....	7
D. Baku Mutu Udara Ambien.....	9
E. Total Suspended Particulate (TSP)	10
F. Konversi Persamaan Canter	13
G. Komponen Karbon.....	14
H. Metode Analisis Karbon	17
I. Jalan	18
J. HYSPLIT	21
K. WRPLOT-View	22
L. Uji Normalitas.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Bagan Alir Penelitian.....	23
B. Rancangan Penelitian.....	24
C. Waktu dan Lokasi Penelitian	24
D. Sketsa Lokasi Pengukuran dan Pengambilan Sampel	27

E.	Alat dan Bahan.....	30
F.	Teknik Pengumpulan Data.....	32
G.	Teknik Analisis Data.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
A.	Volume Kendaraan dan Kecepatan Kendaraan	44
B.	Data Metereologi	52
C.	Konsentrasi TSP (Total Suspended Particulate)	55
D.	Hasil Analisis Komponen Karbon TSP	60
E.	Analisis Hubungan Volume Kendaraan dengan Konsentrasi TSP	65
F.	Analisis Hubungan Konsentrasi TSP dan TC (Total Karbon).....	68
G.	Dispersi Trayektori Udara dengan HYSPLIT.....	72
BAB V PENUTUP		
A.	Kesimpulan	74
B.	Saran	74
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian.....	23
Gambar 3.2 Peta Titik Pengukuran.....	27
Gambar 3.3 Sketsa Lokasi Pengukuran Titik A	28
Gambar 3.4 Sketsa Lokasi Pengukuran Titik B	28
Gambar 3.5 Sketsa Lokasi Pengukuran Titik C	29
Gambar 3.6 Ilustrasi Pengambilan Sampel Penelitian	30
Gambar 3.7 Alat dan Bahan Pengukuran	30
Gambar 3.8 Alat dan Bahan Analisis	32
Gambar 3.9 Diagram Alir Teknik Pengumpulan Data	35
Gambar 3.10 Diagram Alir Analisis Data Konsentrasi TSP	36
Gambar 3.11 Diagram Alir Analisis Komponen Karbon TSP	37
Gambar 3.12 Diagram Grafis Analisis Komponen Karbon	38
Gambar 3.13 Diagram Alir Analisis Trayektori Udara dengan HYSPLIT	39
Gambar 3.14 Halaman Website HYSPLIT	40
Gambar 3.15 Halaman Tipe Trayektori HYSPLIT	40
Gambar 3.16 Data Arsip Meterologi HYSPLIT.....	41
Gambar 3.17 Halaman Perhitungan Trayektori HYSPLIT	41
Gambar 3.18 Model Parameter HYSPLIT	42
Gambar 3.19 Opsi Gambar Pemodelan HYSPLIT.....	42
Gambar 3.20 Pengunduhan File Pemodelan HYSPLIT	43
Gambar 4.1 Volume Kendaraan Titik A	45
Gambar 4.2 Rata-rata Kecepatan Kendaraan Titik A.....	46
Gambar 4.3 Volume Kendaraan Titik B.....	47
Gambar 4.4 Rata-rata Kecepatan Kendaraan Titik B	48
Gambar 4.5 Volume Kendaraan Titik C.....	49
Gambar 4.6 Rata-rata Kecepatan Kendaraan Titik C.....	50
Gambar 4.7 Grafik Total Volume Kendaraan	51
Gambar 4.8 Grafik Rata-rata Kecepatan Kendaraan	52
Gambar 4.9 Wind Rose pada (a) Titik A; (b) Titik B; dan (c) Titik C.....	54
Gambar 4.10 Konsentrasi TSP Tiap Jam di Titik A.....	55
Gambar 4.11 Konsentrasi TSP Tiap Periode di Titik A.....	56
Gambar 4.12 Konsentrasi TSP Tiap Jam di Titik B	57
Gambar 4.13 Konsentrasi TSP Tiap Periode di Titik B	57
Gambar 4.14 Konsentrasi TSP Tiap Jam di Titik C	58
Gambar 4.15 Konsentrasi TSP Tiap Periode di Titik C	59
Gambar 4.16 Rekapitulasi Konsentrasi TSP-24 Jam pada Tiap Titik.....	59
Gambar 4.17 Komponen Karbon TSP di Titik A.....	60
Gambar 4.18 Komponen Karbon TSP di Titik B	62
Gambar 4.19 Komponen Karbon TSP di Titik C	63
Gambar 4.20 Grafik P-plot antara Volume Kendaraan terhadap Konsentrasi TSP Titik A.....	65
Gambar 4.21 Grafik P-plot antara Volume Kendaraan terhadap Konsentrasi TSP Titik B dan Titik C	67

Gambar 4.22 Grafik P-plot antara Total Carbon terhadap Konsentrasi TSP Titik A	69
Gambar 4.23 Grafik P-plot antara Total Carbon terhadap Konsentrasi TSP Titik B dan Titik C.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien	10
Tabel 2.2 Indikasi Sumber Komponen Karbon berdasarkan Studi Literatur	17
Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Pengambilan Data.....	25
Tabel 3.2 Lokasi Pengukuran.....	26
Tabel 4.1 Rekapitulasi Total Volume Kendaraan dan Rata-rata Kecepatan Kendaraan	51
Tabel 4.2 Data Metereologi.....	53
Tabel 4.3 Komponen Karbon TSP Per Periode di Titik A.....	61
Tabel 4.4 Komponen Karbon TSP Per Periode di Titik B	63
Tabel 4.5 Komponen Karbon TSP Per Periode di Titik C	64
Tabel 4.6 Rekapitulasi Tren Hasil Pengujian Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP.....	66
Tabel 4.7 Rekapitulasi Tren Hasil Pengujian Volume Kendaraan dan Konsentrasi TSP Titik B&C.....	68
Tabel 4.8 Rekapitulasi Tren Hasil Pengujian TSP dan TC	70
Tabel 4.9 Rekapitulasi Tren Hasil Pengujian TSP dan TC Titik B & C.....	71

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sebagai kota metropolitan, Kota Makassar merupakan kota terbesar di kawasan Timur Indonesia. Berdasarkan data oleh BPS Makassar (2022), populasi Kota Makassar meningkat sebesar 0,26% sejak tahun 2021 dengan jumlah populasi kini mencapai 1.427.619 jiwa. Populasi yang tinggi meningkatkan pertumbuhan ekonomi yang diikuti dengan permintaan jumlah transportasi. Hal tersebut dibutuhkan untuk pendistribusian barang serta mobilisasi masyarakat. Data oleh BPS Makassar juga menyatakan pada tahun 2021 terdapat 858.755 unit kendaraan bermotor dari mobil, truk, ambulance, alat berat, sepeda motor, dan lain sebagainya. Sepeda motor menyumbang jumlah terbanyak yaitu 79,13%. Kendaraan bermotor sebagian besar menggunakan bahan bakar minyak berasal dari fosil yang menghasilkan emisi. Tingginya jumlah kendaraan bermotor menyebabkan udara tercemar akibat emisi yang dikeluarkan. Pertumbuhan jumlah kendaraan yang meningkat tidak seimbang dengan pertumbuhan prasarana jalan sehingga menyebabkan masalah lalu lintas antara lain kemacetan lalu lintas, polusi suara hingga polusi udara (Hustim, 2012). Menurut Ismiyati dkk (2014) sektor transportasi menyumbang sekitar 85% dalam pencemaran udara. Emisi gas buang yang dikeluarkan diakibatkan oleh perawatan mesin yang tidak rutin dan memadai atau penggunaan bahan bakar minyak. Didukung dengan pernyataan Aly (2015) yang menyatakan kuantitas emisi kendaraan turut meningkat secara signifikan seiring bertumbuhnya jumlah kendaraan bermotor.

Tak hanya emisi kendaraan, kegiatan manusia sehari-hari lainnya seperti aktivitas industri, pembangkit listrik, kegiatan pembakaran domestik (batu bara, kayu., dll), pembakaran sampah, suspensi debu jalan, dan debu konstruksi juga menghasilkan jejak karbon yang menyebabkan pencemaran udara. Menurut Zakaria (2020), segala kegiatan yang dilakukan setiap individu menyebabkan emisi karbon yang jejaknya tertinggal di bumi. Perubahan kondisi lingkungan disebabkan oleh

aktivitas manusia maka manusia juga yang harus memberi solusi. Salah satu bahaya dari penurunan lingkungan yaitu penyakit jangka pendek maupun jangka panjang dapat diakibatkan oleh pencemaran udara jika terpapar. Berdasarkan data oleh European Union Environment Agency (2020), bahaya pencemaran udara oleh debu/TSP terbagi atas beberapa tingkat yang berbahaya antara lain kematian berlebih $\sim 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (asap), peningkatan morbiditas pernapasan akut (dewasa) jika mencapai $\sim 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (asap), penurunan fungsi paru-paru (anak-anak) apabila mencapai $\sim 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Total Suspended Particulate*). Kematian akibat pencemaran udara disebabkan asap yang mencapai konsentrasi TSP hingga $1.500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ terjadi pada tahun 1952 yang dikenal dengan *London Smog*.

Adanya TSP juga memberi kontribusi pada perubahan iklim. Karena TSP terdiri dari 20-30% komponen karbon. Komponen karbon dibagi kedua jenis yaitu OC (*Organic Carbon*) atau karbon organik dan EC (*Elemental Carbon*) atau elemen karbon. Sumber dari OC adalah senyawa organik primer (POC) dan sekunder (SOC) yang umumnya dari aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil dengan sedikit kontribusi dari sumber daya alam. Sedangkan OC dihasilkan langsung di atmosfer yang sebagian besar dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna seperti gas buang pada kendaraan, bahan bakar minyak, dan bahan bakar biomassa (Wang dkk, 2019). Komponen karbon pada TSP dapat berpengaruh pada perubahan iklim karena kemampuan penyerapan cahaya khususnya oleh EC.

Penelitian mengenai komponen karbon khususnya pada TSP berdasarkan sepengetahuan penulis masih sedikit di Indonesia. Kebanyakan penelitian berfokus pada partikulat lebih kecil seperti PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, hingga $\text{PM}_{0.1}$ dengan lokasi penelitian di pulau Sumatera. Pulau Sumatera menjadi pusat penelitian karena banyaknya lahan gambut yang berpotensi memicu kebakaran pada saat musim kemarau per tahunnya. Penelitian berkaitan antara lain (Putri dkk, 2021) yang berfokus pada komponen karbon $\text{PM}_{0.1}$ di Provinsi Sumatera Utara, (Amin dkk, 2021) berfokus pada karakterisasi komponen karbon $\text{PM}_{2.5}$ dan PM_{10} di kota Padang, (Engling dkk, 2014) berfokus pada komponen karbon partikulat disebabkan kebakaran lahan dan biomassa di Sumatera yang menyebabkan

turunnya kualitas udara di Singapura, serta (Fujii dkk, 2014) mengenai karakteristik karbon pada udara akibat kebakaran lahan gambut di Riau.

Berdasarkan kajian di atas, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui komponen karbon TSP khususnya di Kota Makassar. Oleh karena itu, peneliti mengusung penelitian berjudul “**Analisis Komponen Karbon TSP (*Total Suspended Particulate*) di Jalan Sultan Alauddin Kota Makassar**”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, maka berikut adalah rumusan masalah pada penelitian ini:

- 1) Berapa tingkat konsentrasi TSP (*Total Suspended Particulate*) pada udara ambien dengan menggunakan *High Volume Air Sampler* di Jalan Sultan Alauddin?
- 2) Berapa besar konsentrasi komponen karbon pada TSP (*Total Suspended Particulate*) serta indikasi sumber di Jalan Sultan Alauddin?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

- 1) Menganalisis konsentrasi TSP pada udara ambien menggunakan *High Volume Air Sampler* di Jalan Sultan Alauddin.
- 2) Menganalisis besar konsentrasi dan sumber komponen karbon.

D. Ruang Lingkup

Agar penelitian ini terarah, disusun ruang lingkup yang mencakup:

- 1) Parameter pencemar pada penelitian ini adalah TSP (*Total Suspended Particulate*) dan komponen karbon pada TSP.
- 2) Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 29-31 Maret 2022.
- 3) Pengukuran dilaksanakan pada situasi kondisi yang berbeda-beda pada tiga titik bahu jalan di Jalan Sultan Alauddin.

- 4) Analisis uji statistik dilakukan untuk hubungan antara TSP dan volume kendaraan serta hubungan antara TSP dan TC (*Total Carbon*).

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Bagi Penulis

Sebagai syarat untuk menyelesaikan studi di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan meraih gelar ST (Sarjana Teknik). Selain itu, menambah karya tulis penulis sebagai salah satu luaran selama studi.

- 2) Bagi Universitas

Dapat dijadikan sebagai acuan referensi untuk penelitian selanjutnya dalam bidang riset pencemaran udara khususnya komponen karbon pada konsentrasi TSP (*Total Suspended Particulate*) di udara ambien.

- 3) Bagi Masyarakat

Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai tingkat konsentrasi TSP di udara ambien serta sumbernya berdasarkan komponen karbon pada TSP.

F. Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab dengan sub bab, sistematika pada laporan ini tertera sebagai berikut

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang, permasalahan, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, serta bagaimana sistematika penulisan laporan ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan landasan teori yang melatarbelakangi penelitian ini bersumber dari penelitian atau karya ilmiah penulis lain yang biasa disebut tinjauan pustaka.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan prosedur perolehan dan pengolahan data yang berkaitan dengan proses pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis data yang telah dikumpul serta pembahasannya.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi uraian kesimpulan laporan Tugas Akhir ini dan saran untuk penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Udara

Menurut EPA (2021) udara merupakan campuran gas yang berupa cairan terkompresi terikat pada planet karena adanya gaya tarik gravitasi. Udara tersusun atas 78% nitrogen, 20,9% oksigen, dan kurang dari 0,1% campuran karbon dioksida, argon, helium, dan gas lainnya berasal dari sumber alami maupun buatan manusia (Khairiah, 2012). Menurut Peraturan Pemerintah RI No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, udara dibagi menjadi dua jenis yaitu udara ambien dan udara emisi. Namun peraturan ini telah diganti dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, udara ambien merupakan udara bebas yang berada pada lapisan troposfir di permukaan bumi dan berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan berpengaruh terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur Lingkungan Hidup lainnya. Dapat ditarik kesimpulan bahwa udara ambien dibutuhkan untuk kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya dan berkaitan erat dengan kesehatan. Sementara itu, emisi merupakan pencemar udara yang masuk atau dimasukkan ke dalam udara bersumber dari kegiatan manusia dan memiliki maupun tidak memiliki potensi pencemaran udara.

B. Pencemaran Udara

Pencemaran udara merupakan adanya kontaminan dalam udara atmosfer seperti debu, asap, gas, kabut, uap, dan bau-bauan dengan kuantitas yang melimpah dan berlangsung lama di udara sehingga mengganggu aktivitas manusia dan makhluk hidup lainnya (Perkins, 1974 dalam Dewata dan Danhas, 2018). Pencemaran udara berkaitan erat dengan kerugian contoh penyakit pernapasan pada manusia. Kerugian adalah suatu nilai pada masyarakat yang hilang atau menipis. Pencemaran

udara merusak kesehatan, menghancurkan dan berdampak buruk bagi lingkungan hidup, serta merusak properti. Pada tahun 1970, *Clean Air Act 1970* atau Pakta Udara Bersih disahkan pada tahun 1970 yang membentuk *National Ambient Air Quality Standards* atau Standar Kualitas Udara Ambien di Amerika Serikat yang mengeluarkan kriteria polutan udara yaitu *particulate matter* atau zat partikulat (PM), ozon (O₃), karbon monoksida (CO), Sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan timbal (Pb) (Vallero, 2008).

Sedangkan menurut PP No. 22 Tahun 2021, Pencemar Udara adalah zat, energi, dan/atau komponen lainnya yang ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu udara ambien yang telah ditetapkan. Pencemar udara mengakibatkan Pencemaran udara yang merupakan masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui Baku Mutu Udara Ambien yang telah ditetapkan.

C. Sumber Pencemaran Udara

Menurut (Godish, 2004) sumber pencemaran dibagi dua yaitu pencemaran udara alami dan pencemaran udara antropogenik.

1. Pencemaran udara alami

Pencemaran ini biasanya disebabkan oleh dekomposisi atau penguraian tanaman dan binatang, serbuk sari dan spora, hidrokarbon (HCs) yang diemisikan oleh tumbuhan, longsor, pelapukan mineral oleh angin, emisi zat fase gas dari permukaan tanah dan air, ozon (O₃) dan nitrogen oksida (NO_x) dari badai listrik, dan reaksi fotokimia. Namun biasanya pencemaran udara alami tidak memberikan dampak signifikan bagi manusia, kecuali peristiwa besar seperti badai pasir, kebakaran hutan, dan erupsi gunung volkano. Alam mencemari lebih banyak daripada manusia. Tetapi polusi yang disebabkan sumber alamiah secara relatif lebih rendah memberi dampak signifikan pada kesehatan dan efek kesejahteraan manusia. Hal ini disebabkan karena tingkat kontaminasi pada pencemaran udara alamiah sangat rendah, jarak antar pusat sumber pencemaran dan populasi manusia

yang jauh satu sama lain, dan peristiwa besar seperti badai pasir, kebakaran hutan, dan erupsi gunung volkano episodik dan sementara.

2. Pencemaran udara antropogenik

Sumber pencemaran yang satu ini dianggap berbahaya bagi lingkungan maupun masalah kesehatan. Tingkat bahaya pencemaran antropogenik berbahaya bagi kesehatan manusia dan kesejahteraan masyarakat. Sumber pencemaran ini berasal dari aktivitas manusia. Contoh kasus yaitu itu emisi dari polutan akibat pembakaran batu bara dan kendaraan bermotor yang diawali dengan industri revolusi pada awal abad ke-19 hingga saat ini telah meningkatkan pencemaran udara. Terdapat beberapa istilah pada bentuk pencemaran udara yang dibagi menjadi

- a. Asbut (*smog*). Kondusi pencemaran udara yang ditandai dengan penurunan visibilitas yang signifikan. Kata *smog* diambil dari kata *smoke* dan *fog* yang masing-masing berarti asap dan kabut.
- b. Kabut (*haze*). Kabut dan asbut sangat berkaitan karena memiliki ciri-ciri yang menyangkut tingkat rendahnya visibilitas tetapi berbeda pada intensitas dan letak geografis. Kabut merujuk ke skala lebih besar dan tingkat konsentrasi lebih rendah.
- c. Polutan udara non-tradisional. Termasuk kebisingan, panas, radiasi ionisasi, medan elektromagnetik yang berhubungan dengan transmisi penggunaan listrik.
- d. Gas dan partikel. Partikel termasuk zat padat maupun cair. Ketika terdispersi di atmosfer, partikel padat dan cair membentuk aerosol. Aerosol dapat mengurangi tingkat visibilitas, mengganggu tanah, dan berdampak pada kesehatan manusia.
- e. *Fume* aerosol. Terbentuk karena adanya kondensasi uap logam.
- f. Debu (*dust*). Terbentuk dari fragmentasi suatu zat.
- g. *Mist* aerosol. Terbentuk dari atomisasi cairan atau kondensasi uap.
- h. Asap (*smoke*). Berasal dari pembakaran bahan organik yang tidak sempurna

Berdasarkan sumber pergerakannya, sumber pencemaran udara dibagi menjadi sumber bergerak dan sumber tidak bergerak (BPK RI, 2008).

- a. Sumber bergerak, adalah sumber emisi yang dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya dengan daya yang dimilikinya. Umumnya dihasilkan oleh kendaraan bermotor seperti mobil, motor, bus, pesawat, kapal, dan lainnya. Namun peralatan konstruksi, pemotong rumput dengan bahan bakar minyak, maupun peralatan berbahan bakar minyak juga masuk dalam kategori ini.
- b. Sumber tidak bergerak, merupakan emisi yang dihasilkan suatu tempat yang tetap. Contohnya yaitu emisi dari industri atau pabrik, kegiatan masak, kebakaran hutan, pembakaran sampah.

Berdasarkan jenis dari sumber bergerak, dibagi menjadi dua jenis yaitu (Vallero, 2008)

- a. Sumber utama, mengemisikan 10 ton polutan udara beracun setiap tahunnya atau 25 ton campuran dari polutan udara beracun. Sumber ini dapat mengemisikan polutan beracun akibat bocornya perlengkapan atau proses pelepasan pada lubang ventilasi.
- b. Sumber wilayah, merupakan fasilitas yang mengemisikan lebih sedikit polutan beracun. Sumber ini mengemisikan kurang dari 10 ton satu jenis polutan atau kurang dari 25 ton kombinasi polutan beracun per tahunnya. Meski emisi yang dikeluarkan secara relatif sedikit, tetapi dapat membahayakan jika di wilayah dengan populasi yang besar.

D. Baku Mutu Udara Ambien

Baku mutu udara ambien merupakan nilai pencemar udara yang ditentang keberadaannya dalam udara ambien. Berikut adalah baku mutu udara ambien terkini di Indonesia sesuai Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tercantum pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Baku Mutu Udara Ambien

No.	Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu	Sistem Pengukuran
1.	Sulfur Dioksida (SO ₂)	1 jam	150 µg/m ³	Aktif kontinu
		24 jam	75 µg/m ³	Aktif manual
		1 tahun	45 µg/m ³	Aktif kontinu
2.	Karbon Monoksida (CO)	1 jam	10000 µg/m ³	Aktif kontinu
		8 jam	4000 µg/m ³	Aktif kontinu
3.	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	1 jam	200 µg/m ³	Aktif kontinu
				Aktif manual
		24 jam	65 µg/m ³	Aktif kontinu
		1 tahun	50 µg/m ³	Aktif kontinu
4.	Oksidan fotokimia (O _x) sebagai Ozon (O ₃)	1 jam	150 µg/m ³	Aktif kontinu
				Aktif manual
		8 jam	100 µg/m ³	Aktif kontinu
1 tahun	35 µg/m ³	Aktif kontinu		
5.	Hidrokarbon Non Metan (NMHC)	3 jam	160 µg/m ³	Aktif kontinu
6.	Partikulat debu < 100 µm (TSP)	24 jam	230 µg/m ³	Aktif manual
		24 jam	75 µg/m ³	Aktif manual
				Aktif kontinu
1 tahun	40 µg/m ³	Aktif kontinu		
6.	Partikulat debu < 2.5 µm (PM _{2.5})	24 jam	55 µg/m ³	Aktif manual
		1 tahun	15 µg/m ³	Aktif kontinu
7.	Timbal (Pb)	24 jam	2 µg/m ³	Aktif manual

Sumber: Lampiran Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021

E. Total Suspended Particulate (TSP)

Partikel di udara mewakili gabungan kompleks dari substansi organik maupun anorganik dengan diameter beragam, mulai dari <0,1 µm hingga 100 µm. Partikel

yang besar biasanya tersusun dari material kristal dan *Total Suspended Particulate* (TSP) memperburuk orang-orang dengan penyakit bronkhitis, asma, dan penyakit pernapasan lainnya. TSP dapat merusak struktur, tanaman, dan mengurangi jarak pengelihatian (EUEA, 1993). Menurut Wiraadiputri (2012), komponen dan bentuk penyusun partikulat umumnya terdiri dari komponen karbon, besi, magnesium, kalsium, aluminium, sulfur, titanium, karbonat, silikon, fosfor, kalium, natrium, dan lain-lain.

Berdasarkan ukurannya partikel dibagi menjadi tiga jenis distribusi yaitu (Biegalski, 2013)

1. Mode nukleasi, partikel dengan ukuran diameter kurang dari $0,2 \mu\text{m}$. Partikel ini diemisikan dari suatu proses yang terlibat kondensasi uap panas atau baru terbentuk di atmosfer melalui konversi dari gas. Jenis ini lebih banyak jumlahnya dibanding jenis lainnya karena ukurannya yang kecil dari total massa keseluruhan partikel di udara.
2. Mode akumulasi, partikel dengan ukuran diameter $0,2 - 2 \mu\text{m}$. Partikel ini telah berkembang dari mode nukleasi oleh proses koagulasi atau kondensasi uap. Umumnya merupakan aerosol paling banyak di permukaan dan bagian penting dari suatu massa aerosol.
3. Mode kasar, partikel dengan ukuran diameter lebih dari $2 \mu\text{m}$. Partikel ini terbentuk dari proses pengurangan mekanis seperti debu tanah, percikan air laut, dan debu jatuh yang dihasilkan industri.

Menurut Suryani (2018), TSP pada debu memiliki ragam ukuran dari $0,001 \mu\text{m}$ hingga $150 \mu\text{m}$. Di mana partikel emisi gas berukuran rentang $1-150 \mu\text{m}$, bakteri berukuran $0,3-60 \mu\text{m}$, pembakaran kayu memiliki ukuran $0,2-3 \mu\text{m}$, debu gandum sebesar $5-1000 \mu\text{m}$, bersin manusia (*droplet*) mencapai $10-100 \mu\text{m}$, dan virus berukuran $0,005-0,3 \mu\text{m}$. TSP merupakan indikator pencemaran udara dengan ukuran $1-100 \mu\text{m}$, dan ukuran yang membahayakan bagi kesehatan sebesar $0,1-10 \mu\text{m}$ yang biasa disebut *ultrafine particles* ($0,1 \mu\text{m}$) dan *fine particles* ($2,5 \mu\text{m}$). Ketika udara terkontaminasi dengan TSP terpapar tubuh manusia dapat mengakibatkan beragam penyakit seperti infeksi pernapasan, iritasi pada mata dan tenggorokan, batuk, kanker, hingga penyakit jantung.

Konsentrasi TSP telah banyak dilakukan di Indonesia juga di Sulawesi Selatan. Beberapa data yang ditemukan mengenai konsentrasi TSP memiliki variabel dan lokasi yang beragam. Menurut Suryani (2018) keberadaan TSP tidak hanya dipengaruhi oleh kendaraan di lalu lintas namun juga mobilisasi manusia dapat meningkatkan konsentrasi partikulat di udara. Penelitian oleh Sattar dkk (2012) menunjukkan konsentrasi TSP pada beberapa lokasi di Kota Makassar yaitu Pelabuhan, Pasar Pannampu, Jalan Urip Sumiharjo, Kawasan Industri Makassar, Jalan Hertasning, Stadium Mattoanging, Lapangan Karebosi, dan Mall Panakukkang menunjukkan data berurutan sebesar 196 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 241 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 193 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 173 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 163 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 168 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 187 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan 185 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Jika dibandingkan dengan Baku Mutu Udara Ambien, maka hanya Pasar Pannampu yang melewati batas baku mutu. Hal itu dapat disebabkan karena kondisi Pasar Panammpu yang berada di sekitar jalan raya yang macet dan merupakan wilayah komersial di Makassar. Penelitian lainnya yakni di Maros oleh Rauf dkk (2021) menemukan bahwa tingkat TSP di sekitar pabrik semen wilayah Kabupaten Maros menunjukkan data 133,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ yang masih berada di bawah batas baku mutu.

Untuk mengetahui konsentrasi TSP dapat menggunakan rumus yang mengacu pada SNI 7119-3:2017 tentang Udara ambien – Bagian 3 cara uji partikel tersuspensi total menggunakan peralatan High Volume Air Sampler (HVAS) dengan metode Gravimetri. Berikut adalah rumusnya:

1. Koreksi laju alir pada konsentrasi standar (Q_s)

$$Q_s = Q_0 \times \left[\frac{T_s \times P_0}{T_0 \times P_s} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- Q_s : laju alir volue dikoreksi pada kondisi standar (Nm^3/menit)
- Q_0 : laju alir volume uji (m^3/menit)
- T_s : temperatur standar, 298 K
- T_0 : temperatur aktual rata-rata ($273 + T_{\text{measurement}}$) dimana Q_0 ditentukan
- P_s : tekanan barometrik standar, 101,3 kPa (760 mmHg)
- P_0 : tekanan barometrik rata-rata aktual dimana Q_0 ditentukan

2. Volume contoh uji udara (V)

$$V = \frac{\sum_{s=1}^n Q_s}{n} \times t \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

V : volume contoh uji udara dalam keadaan standar (Nm³)

Qs₁ : laju alir volume dikoreksi pada konsentrasi standar ke
-s (Nm³/menit)

n : jumlah pencatatan laju alir

t : durasi pengambilan contoh uji (menit)

3. Konsentrasi partikel tersuspensi total dalam udara ambien

$$C = \frac{(W_2 - W_1) \times 10^6}{V_{std}} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

C : Konsentrasi massa partikel tersuspensi (µg/Nm³)

W₁ : berat filter awal (g)

W₂ : berat filter akhir (g)

V : volume contoh uji udara dalam keadaan standar (Nm³)

10⁶ : konversi gram (g) ke mikrogram (µg)

F. Konversi Persamaan Canter

Untuk membandingkan konsentrasi TSP dengan Baku Mutu Udara Ambien, maka digunakan Konversi Persamaan Canter. Rumus ini merupakan model matematis yang dapat digunakan untuk mendapatkan hasil konsentrasi TSP dengan pengukuran 24 jam meski pengambilan konsentrasi di lapangan hanya sekian (t) jam. Berikut adalah rumusnya:

$$C_1 = C_2 \times \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^p \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

C₁ : Konsentrasi TSP setara dengan pengambilan sampel 24 jam (µg/Nm³)

C₂ : Konsentrasi TSP dengan pengambilan sampel selama t jam (µg/Nm³)

p : Faktor konversi (0,159)

t₁ : waktu pengambilan sampel (t jam)

t₂ : waktu pengambilan sampel setara 24 jam

G. Komponen Karbon

Komponen karbon sangat mempengaruhi baik iklim dan kesehatan manusia di mana 20-50% total massa dari suatu partikulat tersusun atas komponen karbon (Contini dkk, 2018). Berdasarkan penelitian Chow dkk (2004), profil emisi dari pencemaran udara dapat direpresentasikan dari adanya pencemaran dari pencemaran jalan beraspal, jalan tidak beraspal, debu tanah, kendaraan bermotor, pembakaran semen, sumber memasak, pembakaran vegetatif, pembangkit listrik tenaga batu bara, kilang minyak, dan abu batu bara (*fly ash*). Pencemar udara dalam bentuk partikulat terdiri dari tiga komponen utama karbon organik/*organic carbon* (OC), elemen karbon/*elemental carbon* (EC), serta karbon anorganik. Umumnya karbon anorganik hanya memiliki komposisi kurang dari 5% dari total karbon.

Pada *Total Suspended Particulate* atau TSP terdapat 7-9% komposisi komponen karbon total (TC) yaitu jumlah dari OC ditambah EC (Inerb dkk, 2022). Penelitian TSP lain oleh A. Satsangi dkk (2012) menunjukkan konsentrasi TC pada TSP sebesar 13,3%. Komponen karbon yaitu TC terbesar sebagai penyusun TSP terdapat pada penelitian Liu, dkk (2015) yang mencapai 39,1-73%. Sementara itu, 80-90% dari partikel asap PM_{2.5} yang dihasilkan oleh suatu pembakaran terdiri dari OC dan EC dengan kandungan mencapai 50-60% dari total PM_{2.5} (Fujii dkk, 2014). Pada partikulat dengan ukuran besar (*coarse*), kandungan komponen karbon mencapai 20-35% dari total massa keseluruhan (Aslam dkk, 2020). Menurut Salam dkk (2011), komponen karbon baik OC maupun EC merupakan salah satu fraksi penting dari partikel aerosol pada atmosfer karena dampaknya bagi kesehatan dan iklim. Komponen karbon memberi efek yang signifikan terhadap penurunan visibilitas dan kualitas udara yang memicu gaya radiasi pada skala regional (Aslam dkk, 2020).

Berikut adalah penjelasan mengenai OC dan EC:

1. *Organic Carbon* atau karbon organik biasanya diemisikan secara langsung (OC primer) atau dapat terbentuk di tempat oleh kondensasi zat volatilitas rendah foto oksidasi hidrokarbon (OC Sekunder) (Biegalski, 2013). OC terdiri atas beragam senyawa organik dan sumber atmosfernya dapat berasal dari primer

maupun sekunder. Sumber primer OC umumnya berasal dari pembakaran bahan bakar fosil ataupun pembakaran biomassa. Sedangkan sumber sekunder OC berasal dari reaksi kimia atmosfer antara senyawa organik mudah menguap dan prekursor fase gas melalui tekanan uap rendah, suhu optimal dan radiasi matahari (Kumar, 2021).

2. *Elemental Carbon* atau elemen karbon biasanya disebut *black carbon* atau karbon hitam, karbon grafit, atau jelasa yang memiliki struktur kimia serupa dengan grafit yang tidak murni dan diemisikan langsung ke atmosfer sebagian besar oleh proses pembakaran. EC diproduksi oleh pembakaran tidak sempurna dari beragam bahan bakar contohnya batu bara, minyak dan gas, bensin, minyak bakar, dan diesel (Biegalski, 2013). EC umumnya menyumbang peran besar atas penyerapan cahaya di atmosfer yang sangat mempengaruhi keseimbangan radiasi di bumi. Enam sumber utama dari EC telah ditemukan menggunakan pelacak organik yakni pembakaran batu bara, pembakaran biomassa, asap kendaraan, asap rokok, masakan dan sisa-sisa tumbuhan. (Kumar, 2021). Selain itu, dikarenakan kemampuan EC dalam menyerap sinar matahari BC berjuta kali lebih kuat daripada CO₂ namun memiliki masa tinggal lebih pendek dibandingkan CO₂ (Jacobson, M.A 2001 dalam Kyung dkk, 2011). EC diklasifikasikan lagi menjadi dua kelompok yaitu Char-EC dan Soot-EC di mana Char-EC terbentuk dari suhu pembakaran yang relatif rendah dengan udara terbatas, sedangkan Soot-EC terbentuk pada suhu lebih tinggi melalui fase gas yang diproses oleh pembakaran tidak sempurna (Cao JJ, 2005).

Berdasarkan penelitian oleh Fujii dkk (2014), menunjukkan bahwa PM_{2.5} pada lokasi *hotspot* kebakaran lahan gambut di Bengkalis, Riau ditemukan konsentrasi tinggi mencapai $7.129 \pm 3.620 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di mana sangat melebihi standar baku mutu dengan komposisi utama OC atau karbon organik yaitu $71 \pm 5,11\%$ dari massa PM_{2.5}. Penelitian lain di sekitar lahan gambut terletak di Siak, Riau ditemukan konsentrasi PM_{2.5} $55,7 \pm 20,54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mencapai baku mutu sesuai aturan terbaru dengan presentasi komposisi karbon organik (OC) sebesar $13,99 \pm 5,93\%$ dan EC sebesar $11,29 \pm 5,17\%$. Berdasarkan sumber dominan karbon yang ditemukan

berasal dari sumber memasak untuk OC dan asap kendaraan bermotor untuk EC maka sumber pencemar udara pada penelitian ini berasal dari proses pembakaran batu bara (Rahman dkk, 2015).

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi OC dan EC antara lain (Contini, 2018):

1. EC atau BC (*Black Carbon*) umumnya dipengaruhi oleh sumber pembakaran antropogenik seperti emisi industri, transportasi udara, dan penggunaan pemanas/penghangat ruangan di rumah tangga.
2. OC dipengaruhi oleh kondensasi pada atmosfer khususnya pada tekanan uap rendah dapat menjadi polutan primer maupun sekunder. Ciri lainnya dari OC yaitu kelauratan tinggi yang menjadi pendorong utama potensi oksidatif partikel di atmosfer.
3. EC umumnya memiliki konsentrasi lebih tinggi pada malam hari, sedangkan OC dapat memiliki konsentrasi tinggi baik pada siang maupun malam hari.
4. Pembentukan OC sekunder dipengaruhi oleh kondisi meteorologi lokal seperti temperatur, kelembapan udara, dan radiasi matahari serta sumber antropogenik lainnya.
5. Pembakaran kayu selama musim dingin mempengaruhi tingginya komponen karbon dibanding musim panas.
6. Paparan pada emisi lalu lintas menjadi sumber utama komponen karbon pada partikulat di daerah perkotaan dan jenis transportasi juga berpengaruh.

Sumber dari komponen karbon dapat diindikasikan berdasarkan rasio OC/EC dan rasio Char-EC/Soot-EC. Namun metode rasio OC/EC saat ini tidak banyak diterima lagi karena keterbatasannya. Sehingga rasio Char-EC/Soot-EC dipilih karena efektif untuk menginterpretasi sumber komponen karbon karena tidak bias terhadap aerosol organik sekunder (Kumar, 2021). Berdasarkan literatur yang dirangkum oleh Han dkk (2010), rentang rasio OC/EC dengan indikasi pembakaran batu bara yakni $1-32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pembakaran biomassa $2-82 \mu\text{g}/\text{m}^3$, asap masakan $3-14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, emisi kendaraan $0-1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sementara untuk rentang rasio Char-EC/Soot-EC dengan indikasi pembakaran batu bara yakni $26-68 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pembakaran biomassa $2-45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, asap masakan $2-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, emisi kendaraan $<1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Untuk

mengetahui berbagai indikasi sumber komponen karbon berdasarkan rasio OC/EC dan rasio Char-EC/Soot-EC dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut yang dirangkum oleh Mishra (2020) dan penulis.

Tabel 2.2 Indikasi Sumber Komponen Karbon berdasarkan Studi Literatur

OC/EC	Char-EC/Soot-EC	Sumber	Area Studi	Referensi
1	0,3; 0,7	Knalpot Diesel; Emisi Bensin	Hong Kong	Cao dkk, 2006
11,3	2,8	Pembakaran Biomassa	Shanghai, Tiongkok	Cao dkk, 2013
1,1	0,4	Emisi Kendaraan	Texas, Amerika Serikat	Chow dkk, 2004
1,9	1,1	Emisi Kendaraan	Texas, Amerika Serikat	Chow dkk, 2004
-	<1,0	Emisi Kendaraan	Texas, Amerika Serikat	Chow dkk, 2004
-	2,0-6,0	Asap masak rumah tangga	Texas, Amerika Serikat	Chow dkk, 2004
2,6-4,6	4,4-7,3	Pembakaran Biomassa	Xi'an, Tiongkok	Han dkk, 2008; 2010
3,9	3,4	Pembakaran Biofuel	Raipur, India	Sahu dkk, 2018

H. Metode Analisis Karbon

Metode analisis karbon menggunakan alat *Carbon Aerosol Analyzer (Model 5L, Sunset Laboratory, Tigard, OR, USA)* dengan mengikuti kaedah metode pengukuran IMPROVE-TOR (Amin dkk, 2021). IMPROVE merupakan singkatan dari *The Interagency Monitoring of Protected Visual Environments* yang diinisiasi pada tahun 1987 digunakan sebagai penganalisis karbon untuk mengukur fraksi karbon pada suhu yang berbeda. Protokol termal ini juga digunakan untuk menentukan dampak sumber tunggal pada visibilitas, memahami proses atmosfer, memverifikasi transportasi jarak jauh dan model konversi kimia, mengidentifikasi dan menghitung kontribusi berbagai sumber menggunakan model reseptor, dan melacak tren jangka panjang dalam konsentrasi erosol dan kabut regional. IMPROVE menggunakan laser sinyal reflektansi untuk melakukan koreksi hangus (TOR, *thermal optical reflectance*) (Wu dkk, 2016).

IMPROVE-TOR terkhusus pada pengukuran termal/reflektansi optikal. Kertas filter yang digunakan agar karbon dapat dianalisis menggunakan *Quartz Fiber*

Filter (QFF). Langkah menganalisis komponen karbon yaitu dengan melubangi/memotong kecil QFF menggunakan pemotong berbentuk persegi sebesar 15 mm x 100 mm menjadi beberapa bagian. Kemudian empat fraksi untuk OC dianalisis yaitu OC1, OC2, OC3, OC4 masing-masing pada temperatur 120°C, 250°C, 450°C, dan 550°C dalam kondisi atmosfer Helium (He) 100%. Sementara itu, fraksi EC dianalisis yaitu EC1, EC2, EC3 pada temperatur 550°C, 700°C, dan 800°C yang diukur dalam kondisi Oksigen (O₂) 2% dan He 98%. Di samping itu, terdapat fraksi karbon organik pirolisis (PyC) yang ditentukan pada 550°C di antara pembagian waktu EC dan OC. OC dan EC dapat dijabarkan secara berurutan sebagai berikut $OC = OC1+OC2+OC3+OC4+PyC$ dan $EC = EC1+EC2+EC3+PyC$.

Terdapat dua komponen lainnya yaitu Char-EC yang berarti EC1-PyC dan Soot-EC yaitu EC2+EC3. Menurut Han dkk (2010), char merupakan materi karbon yang dihasilkan oleh pembakaran zat organik dan terbentuk langsung secara pirolisis atau bentuk tidak sempurna dari karbon grafit yang berupa residu dari materi karbon yang terbakar sebagian atau dipanaskan dengan udara terbatas. Sedangkan soot adalah partikel karbon yang terbentuk pada temperatur tinggi melalui proses fase gas. Soot memiliki kemampuan lebih kuat dalam menyerap cahaya dibandingkan dengan char sehingga difokuskan terlebih pada riset iklim. Tak hanya itu, soot diindikasikan sebagai penyebab total EC yang memiliki masa hidup lebih panjang di atmosfer dibandingkan dengan EC sehingga memiliki kontribusi lebih besar terhadap pemanasan global.

I. Jalan

Terdapat beberapa istilah yang perlu diketahui dalam penelitian ini khususnya pada bagian geometrik dan klasifikasi jalan. Untuk membahas secara spesifik terkait kedua hal ini, berikut adalah uraiannya.

1. Geometrik Jalan

Geometrik jalan adalah bentuk fisik yang menggambarkan jalan, meliputi penampang melintang, penampang memanjang dan aspek lain berkaitan (Ruslam dan Idham, 2020). Jalan raya berfungsi sebagai tempat orang berlalu lintas dan kendaraan mengangkut barang dari satu tempat ke tempat lainnya (Hanami, 2017

dalam Oglesby, 1999). Terdapat tiga peranan jalan dalam aspek kehidupan masyarakat yaitu sebagai prasarana yang berperan dalam kegiatan ekonomi, sosial dan budaya, pertahanan dan keamanan serta lingkungan hidup yang digunakan sepenuhnya untuk kesejahteraan rakyat; prasarana distribusi barang dan jasa bagi kehidupan bangsa dan negara; dan merupakan satu kesatuan sistem jaringan jalan yang menghubungkan antar lokasi di seluruh wilayah Republik Indonesia (Kementrian Pekerjaan Umum, 2012 dalam Anisarida dan Santosa, 2021).

Berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota oleh Ditjen Bina Marga (1997) berikut adalah beberapa penjelasan mengenai jalan.

- a. Badan jalan merupakan bagian pada jalan yang meliputi seluruh jalur lalu lintas, median, dan bahu jalan.
 - b. Batas Median merupakan bagian tengah selain jalur tepian yang ditinggikan dengan batu di tepi jalan.
 - c. Kapasitas jalan merupakan arus lalu lintas maksimum yang dapat ditampung suatu bagian jalan pada kondisi tertentu, dinyatakan dalam satuan mobil penumpang per jam.
 - d. Lajur merupakan bagian pada jalur lalu lintas dalam satu jurusan yang dapat ditempuh oleh suatu kendaraan bermotor beroda empat atau lebih.
 - e. Jalur merupakan bagian pada lajur lalu lintas dalam satu jurusan yang dapat ditempuh oleh kendaraan bermotor beroda empat atau lebih.
2. Bahu Jalan merupakan bagian jalan yang berdampingan dengan jalur lalu lintas berfungsi sebagai tempat kendaraan untuk berhenti, keperluan darurat dan pendukung samping bagi lapis pondasi bawah, lapis pondasi, dan lapis permukaan (Ditjen Bina Marga, 1997).

3. Klasifikasi Jalan

Klasifikasi jalan dibagi menjadi empat berdasarkan Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota oleh Ditjen Bina Marga (1997) yaitu:

- a. Klasifikasi menurut fungsi jalan
 - 1) Jalan arteri merupakan jalan yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri-ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, disertai jumlah jalan masuk yang dibatasi sesuai ketentuan.

- 2) Jalan kolektor merupakan jalan yang berfungsi melayani angkutan pengumpul dengan ciri-ciri jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dengan jumlah jalan masuk yang dibatasi.
 - 3) Jalan lokal merupakan jalan yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri-ciri perjalanan dekar, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
 - 4) Jalan lingkungan merupakan jalan yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri-ciri jarak perjalanan dekat dan kecepatan rendah. (PUPR, 2017).
- b. Klasifikasi menurut wewenang jalan berdasarkan penjelasan dari Panduan Penentuan Klasifikasi Fungsi Jalan di Wilayah Perkotaan (1990) sebagai berikut:
- 1) Jalan Nasional terdiri atas jalan arteri primer, jalan kolektor primer yang menghubungkan antar Ibukota Provinsi dan jalan tol serta memiliki nilai strategis pada tingkat nasional. Penetapan jalan ini dilakukan melalui Keputusan Menteri.
 - 2) Jalan Provinsi terdiri dari jalan kolektor primer yang menghubungkan Ibukota Provinsi dengan Ibukota Kabupaten/Kota, jalan kolektor primer yang menghubungkan antar Ibukota Kabupaten/Kota, jalan yang memiliki kepentingan strategis pada tingkat provinsi, dan Jalan yang berada di DKI Jakarta yang tidak termasuk jalan nasional.
 - 3) Jalan Kabupaten/Kotamadya terdiri dari jalan kolektor primer yang tidak termasuk jalan nasional dan jalan provinsi, jalan lokal primer, dan jalan sekunder dan jalan lain yang tidak termasuk dalam kelompok jalan nasional, jalan provinsi, maupun jalan kota.
 - 4) Jalan kota terdiri dari jaringan jalan sekunder dalam kota yang ditetapkan oleh keputusan Gubernur Kepala Daerah atas usul Pemerintah Daerah Kota bersangkutan.
 - 5) Jalan khusus adalah kelompok jalan yang dibangun dan dipelihara oleh suatu instansi/badan hukum/perorangan untuk melayani kepentingan masing-masing.

J. HYSPLIT

Berdasarkan ARL (2022), HYSPLIT adalah sistem lengkap untuk menghitung lintasan paket udara sederhana serta transportasi kompleks, dispersi, transformasi kimia, dan simulasi deposisi. HYSPLIT (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Intergrated Trajectory*) dimiliki oleh NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) Amerika Serikat digunakan untuk menghitung simulasi *trajectory*, dispersi, dan deposisi dengan pendekatan gerak partikel atau hembusan (*puff*). HYSPLIT telah menjadi salah satu model transportasi dan dispersi atmosfer yang banyak digunakan pada komunitas ilmu atmosfer. Aplikasi dari penggunaan HYSPLIT yaitu menganalisis lintasan belakang untuk menentukan asal massa udara serta membangun hubungan reseptor-reseptor. Contoh aplikasi dari model ini yaitu pelacakan asap kebakaran, debu tertiuap angin, polutan dari berbagai sumber emisi bergerak maupun tidak bergerak, prakiraan pelepasan radioaktif, alergen, dan abu vulkanik. Metode model perhitungan yang digunakan yaitu hibrida antara pendekatan Lagrangian, menggunakan kerangka acuan bergerak dalam perhitungan adveksi dan difusi sebagai lintasan udara yang bergerak dari lokasi awalnya. Serta metodologi Eulerian yang menggunakan grid tiga dimensi tetap sebagai kerangka acuan dalam menghitung konsentrasi polutan udara. HYSPLIT dapat mengestimasi lintasan udara berdasarkan pengamatan radiosonde hingga menghitung berbagai polutan yang berinteraksi terangkut, tersebar, hingga terendap pada skala lokal hingga global.

Model ini memiliki program utama untuk setiap aplikasi primer seperti *trajectory* dan konsentrasi udara (Aldrian dkk, 2014). Penelitian oleh Su (2015) menyatakan bahwa HYSPLIT umumnya digunakan untuk lintasan mundur massa udara di lokasi awal yang diberikan. Model HYSPLIT mengambil data luaran oleh *Global Data Assimilation System (GDAS)* yang digunakan oleh *Global Forecast System (GFS)* untuk menempatkan pengamatan ke dalam ruang model grid untuk memulai atau menginisialisasi prakiraan cuaca dengan data pengamatan.

K. WRPLOT-View

WRPLOT-View merupakan program operasional untuk membuat *wind rose* atau mawar angin yang memberikan gambaran visual plot dari arah angin, analisis frekuensi, dan plot data meterologi lainnya (Lakes Environmental Software, 2022). WRPLOT-View dapat menentukan distribusi kelas angin dan arah angin. Selain itu dapat juga digunakan untuk menghitung potensi energi angin dengan analisis matematis. *Wind rose* menggambarkan frekuensi seberapa banyak angin di suatu sektor untuk setiap arah angin spesifik. Juga memberikan informasi terkait interval kelas kecepatan angin pada lokasi dan periode waktu tertentu.

L. Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan suatu uji untuk mengetahui apakah distribusi suatu variabel terikat dengan variabel bebas terdistribusi normal atau tidak. Dapat juga dijabarkan sebagai uji dari suatu model regresi variabel residual yang memiliki distribusi normal atau tidak. Model regresi yang baik apabila data terdistribusi normal atau mendekati normal (Ghozali, 2016). Uji ini dapat dilakukan secara statistik melalui aplikasi yaitu IBM SPSS dengan metode *Test of Normality Kolmogorov-Smirnov*. Metode tambahan yang lebih efektif yaitu dengan melihat *Normal Probability Plot*. Berikut adalah dasar pengambilan keputusan dalam uji normalitas:

- Jika nilai signifikansi (Sig.) lebih besar dari 0,05 maka data terdistribusi normal.
- Jika nilai signifikansi (Sig.) lebih kecil dari 0,05 maka data tidak terdistribusi normal.