

**PERAMALAN DAN ARAHAN PENGENDALIAN
PENCEMARAN UDARA AMBIEN
DI KOTA MAKASSAR**

*FORECASTING AND DIRECTIVES FOR CONTROLLING
AMBIENT AIR POLLUTION
IN THE CITY OF MAKASSAR*

**JUSRI
P022211013**



**PROGRAM STUDI PERENCANAAN DAN PENGEMBANGAN WILAYAH
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**PERAMALAN DAN ARAHAN PENGENDALIAN
PENCEMARAN UDARA AMBIEN
DI KOTA MAKASSAR**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Perencanaan dan Pengembangan Wilayah

Disusun dan diajukan oleh:

JUSRI

P022211013

Kepada

**PROGRAM STUDI PERENCANAAN DAN PENGEMBANGAN WILAYAH
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS
PERAMALAN DAN ARAHAN PENGENDALIAN
PENCEMARAN UDARA AMBIEN
DI KOTA MAKASSAR

Disusun dan diajukan oleh

JUSRI
P022211013

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Studi Perencanaan dan Pengembangan Wilayah
Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 8 Februari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi Syarat kelulusan

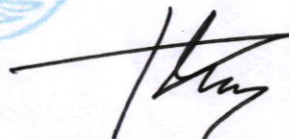
Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



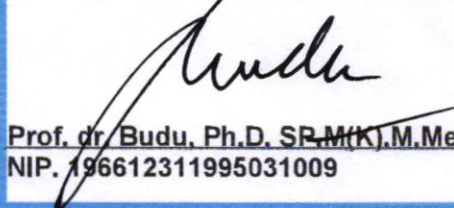
Dr. Ir. Muhammad Hatta Jamil, SP., M.Si
NIP. 196712231995121001



Dr. Ir. Roland Alexander Barkey
NIP. 195406141981031007

Plt. Ketua Program Studi
Perencanaan dan Pengembangan Wilayah

Rekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin



Prof. dr. Budu, Ph.D. SP.M(K).M.Med Ed
NIP. 196612311995031009



Prof. dr. Budu, Ph.D. SP.M(K).M.Med Ed
NIP. 196612311995031009

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Peramalan dan Arahan Pengendalian Pencemaran Udara Ambien di Kota Makassar" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Ir. Muhammad Hatta Jamil, SP., M.Si sebagai Pembimbing Utama dan Dr. Ir. Roland Alexander Barkey sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin

Makassar, Februari 2023



JUSRI

P022211013

UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahirrahmanirrahim,

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karuniaNya sehingga tesis dengan judul **Peramalan dan Arahan Pengendalian Pencemaran Udara Ambien di Kota Makassar** dapat terselesaikan dengan baik. Penelitian yang penulis lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan tesis ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Dr. Ir. Muhammad Hatta Jamil, SP., M.Si sebagai ketua komisi pembimbing dan Dr. Ir. Roland Alexander Barkey sebagai anggota komisi pembimbing. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada komisi penilai yakni Prof. Dr. Ir. Muslim Salam, M.Ec., Prof. Dr. Ir. Hazairin Subair, M.S., dan Prof. Dr. Ir. Ahmad Munir, M.Eng.

Selanjutnya penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Pusbindiklatren Bappenas yang telah memberikan kesempatan kepada Penulis sebagai Penerima Beasiswa S2 Dalam Negeri Tahun 2021.
2. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan atas kesempatan yang diberikan untuk mengikuti tugas belajar.
3. Prof. dr. Budu, Ph.D, Sp.M(K)., M.Med.Ed selaku Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin.
4. Dr. Ir. Darhamsyah, M.Si selaku Kepala Pusat Pengendalian Pembangunan Ekoregion Sulawesi dan Maluku tempat penulis bekerja.
5. Instansi yang telah menyediakan data bagi penulis, Kementerian LHK, Dinas Penataan Ruang Kota Makassar, dan BPS Kota Makassar.
6. Segenap civitas akademika Prodi Perencanaan dan Pengembangan Wilayah Sekolah Pascasarjana Unhas yang banyak membantu selama proses studi.
7. Rekan-rekan mahasiswa PPW angkatan 2021 yang telah bersama-sama berjuang selama perkuliahan.
8. Kepada semua pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian tesis ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada istri tercinta Helmilda dan ketiga buah hati tercinta Nazla, Nafisah dan Rafa yang telah memberi motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini masih banyak kekurangan dan besar harapan penulis kepada semua pihak agar dapat memberikan kritik dan saran demi penyempurnaan tesis ini. Semoga karya ini bermanfaat.

Makassar, Februari 2023

Jusri

ABSTRAK

JUSRI, Peramalan dan Arahkan Pengendalian Pencemaran Udara Ambien di Kota Makassar (dibimbing oleh Muhammad Hatta Jamil dan Roland Alexander Barkey)

Pencemaran udara adalah isu global terutama untuk wilayah perkotaan termasuk Kota Makassar. Sumber pencemar udara di perkotaan adalah hasil pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor, industri, dan bahkan dari rumah tangga. Berdasarkan data World Health Organization (WHO) pada tahun 2019 diperkirakan terjadi kematian dini sebanyak 4.2 juta diseluruh dunia akibat pencemaran udara ambien. Dalam laporan Global Alliance on Health and Pollution (GAHP) tentang kematian dini akibat pencemaran udara, Indonesia berada pada peringkat ke-4 dunia pada tahun 2017 dengan jumlah kematian dini 123.753 jiwa. Penelitian ini bertujuan untuk meramalkan pencemaran udara parameter PM2.5 dan SO2 dalam bentuk indeks standar pencemar udara (ISPU) tahun 2045, kemudian menyusun arahan pengendalian pencemaran udara berdasarkan hasil peramalan. Metode untuk peramalan pencemaran udara adalah *long short-term memory* (LSTM) dan untuk menyusun arahan pengendalian pencemaran udara menggunakan analisis spasial. Kategori ISPU ada 5 (lima) yaitu baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat dan berbahaya. Trend pencemaran udara terus meningkat, dan pada tahun 2045 ISPU Kota Makassar khususnya parameter PM2.5 kategori sedang dengan persentase 92,97% dan 7,03% kategori tidak sehat dari total jam pada tahun tersebut. Terdapat 4 (empat) kecamatan yang merupakan prioritas utama pengendalian pencemaran udara yang disebabkan oleh pencemaran dari industri dan pemukiman dan terdapat 48 (empat puluh delapan) titik lokasi yang berpotensi sebagai sumber pencemar udara yang disebabkan pembakaran bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor. Arahan pengendalian yang digunakan yaitu penambahan ruang terbuka hijau, perketat pemantauan emisi industri, sosialisasi penggunaan alat rumah tangga ramah lingkungan, mengurangi kepadatan kendaraan, menguji emisi kendaraan dan penggunaan transportasi ramah lingkungan. Berdasarkan hasil peramalan maka arahan pengendalian pencemaran udara sebaiknya mulai diimplementasikan secara bertahap pada tahun 2024 hingga tahun 2036 tercapai arahan. Dengan implementasi arahan maka pada tahun 2045 diharapkan ISPU Kota Makassar khususnya parameter PM2.5 dominan kategori baik.

Kata Kunci: pencemaran udara, peramalan pencemaran udara, PM2.5, sulfur dioksida(SO2), long short-term memory (LSTM)



ABSTRACT

JUSRI, Forecasting and Directives for Controlling Ambient Air Pollution in the City of Makassar (supervised by Muhammad Hatta Jamil and Roland Alexander Barkey)

Air pollution is a global issue, especially in urban areas such as Makassar City. The source of air pollution in urban areas is the result of burning fossil fuels in motor vehicles, industry and even households. Based on data from the World Health Organization (WHO) in 2019, it is predicted that there were 4.2 million premature deaths worldwide due to ambient air pollution. In the Global Alliance on Health and Pollution (GAHP) report on premature deaths due to air pollution, Indonesia was ranked 4th in the world in 2017, with 123,753 premature deaths. This study aims to predict air pollution parameters PM_{2.5} and SO₂ in the form of a standard air pollutant index (ISPU) in 2045, then develop directives for air pollution control based on the forecasting results. The method for forecasting air pollution is long short-term memory (LSTM) and for constructing directions using spatial analysis. There are 5 (five) ISPU categories such as good, moderate, unhealthy, very unhealthy and dangerous. The trend of air pollution continues to increase, and in 2045 ISPU Makassar City, especially the PM_{2.5} parameter, is dominated by the moderate category with a percentage of 92.97% of the total time (hours) in that year and 7.03% in the unhealthy categories of the total hours in that year. There are 4 (four) priority sub-districts for controlling air pollution caused by pollution from industry and settlements, and there are 48 (forty-eight) location points that have the potential as a source of air pollution caused by the burning of fossil fuels in motorized vehicles. The control guidelines used are green open spaces, industrial emissions monitoring, socialization of environmentally friendly household appliances, analysis of vehicle density, vehicle emission testing and using environmentally friendly transportation. Based on the forecasting results, the direction of air pollution control should begin to be implemented gradually from 2024 to 2036. With the implementation of the directive, it is hoped that in 2045 the ISPU of Makassar City, especially the PM_{2.5} parameter, will be in the good category.

Keywords: air pollution, air pollution forecasting, PM_{2.5}, sulfur dioxide (SO₂), *long short-term memory* (LSTM)



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN TESIS.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	6
1.6 Penelitian Terdahulu Dan Kebaruan Penelitian.....	7
1.7 Kerangka Pikir.....	9
BAB II METODE PENELITIAN.....	10
2.1 Metode Penelitian.....	10
2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	10
2.3 Jenis dan Sumber Data.....	11
2.4 Matriks Penelitian.....	12
2.5 Peramalan pencemaran udara.....	14
2.5.1 Penghitungan Indeks Standar Pencemar Udara.....	14
2.5.2 Deep Learning.....	15
2.5.3 Recurrent Neural Network.....	16
2.5.4 Long Short Term Memory.....	17
2.5.5 Proses Peramalan pencemaran udara.....	21
2.5.5.1 Preprocessing Data.....	21

2.5.5.2	Proses <i>Training</i>	22
2.5.5.3	Proses <i>Testing</i>	22
2.5.5.4	Denormalisasi.....	22
2.5.5.5	Evaluasi.....	23
2.5.5.6	Klasifikasi Indeks Standar Pencemar Udara.....	24
2.5.5.7	Analisis Data Indeks Standar Pencemar Udara.....	25
2.6	Identifikasi Sumber Pencemar Udara.....	26
2.7	Identifikasi Kerapatan Vegetasi.....	27
2.8	Penyusunan Arah.....	27
2.8.1	Arah Berdasarkan Sumber Tidak Bergerak.....	27
2.8.2	Arah Berdasarkan Sumber Bergerak.....	28
2.8.3	Bagan Alur Pengolahan Data.....	28
2.8.4	Dasar Arah.....	30
2.8.4.1	Penambahan Ruang Terbuka Hijau (RTH).....	30
2.8.4.2	Sosialisasi Penggunaan Peralatan Rumah Tangga Ramah Lingkungan.....	30
2.8.4.3	Perketat Pemantauan Emisi Industri.....	30
2.8.4.4	Penambahan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Sekitar Lokasi Rawan Padat Kendaraan.....	31
2.8.4.5	Mengurai Kepadatan Kendaraan.....	31
2.8.4.6	Menguji Emisi Kendaraan Bermotor.....	31
2.8.4.7	Penggunaan Transportasi Ramah Lingkungan.....	32
BAB III	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
3.1	Peramalan Pencemaran Udara.....	33
3.2	Identifikasi Sumber Pencemar Udara dari Kendaraan Bermotor.....	40
3.3	Identifikasi Sumber Pencemar Udara dari Industri.....	41
3.4	Identifikasi Sumber Pencemar Udara dari Pemukiman.....	42
3.5	Identifikasi Kerapatan Vegetasi.....	43
3.6	Arah Pengendalian Pencemaran Udara.....	45
3.6.1	Arah Berdasarkan Sumber Tidak Bergerak.....	46
3.6.1.1	Kecamatan Prioritas Pertama.....	48
3.6.1.1.1	Kecamatan Tamalate.....	48
3.6.1.1.2	Kecamatan Rappocini.....	49
3.6.1.1.3	Kecamatan Manggala.....	50

3.6.1.1.4 Kecamatan Biring Kanaya.....	52
3.6.1.2 Kecamatan Prioritas Kedua.....	53
3.6.1.2.1 Kecamatan Tamalanrea.....	53
3.6.1.2.2 Kecamatan Tallo.....	54
3.6.1.2.3 Kecamatan Panakkukang.....	55
3.6.1.2.4 Kecamatan Bontoala.....	56
3.6.1.2.5 Kecamatan Mamajang.....	57
3.6.1.2.6 Kecamatan Wajo.....	58
3.6.1.3 Kecamatan Prioritas Ketiga.....	59
3.6.1.3.1 Kecamatan Makassar.....	59
3.6.1.3.2 Kecamatan Ujung Pandang.....	60
3.6.1.3.3 Kecamatan Mariso.....	61
3.6.1.3.4 Kecamatan Ujung Tanah.....	62
3.6.1.4 Implementasi Arahan Berdasarkan Sumber Tidak Bergerak.....	63
3.6.2 Arahan Berdasarkan Sumber Bergerak.....	64
3.6.2.1 Arahan Penambahan Ruang Terbuka Hijau (RTH).....	64
3.6.2.2 Arahan Mengurai Kepadatan Kendaraan.....	67
3.6.2.3 Arahan Menguji Emisi Kendaraan.....	68
3.6.2.4 Arahan Penggunaan Transportasi Ramah Lingkungan.....	68
3.6.2.5 Implementasi Arahan Berdasarkan Sumber Bergerak.....	69
BAB IV KESIMPULAN.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN.....	77

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Konsentrasi SO ₂ enam kota besar di Indonesia tahun 2020.....	3
Tabel 2. Konsentrasi SO ₂ kabupaten/kota di Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2020.....	3
Tabel 3. Matriks Penelitian.....	13
Tabel 4. Konversi nilai konsentrasi parameter ISPU.....	14
Tabel 5. Kategori angka rentang ISPU.....	24
Tabel 6. Penjelasan kategori ISPU.....	24
Tabel 7. Spesifikasi model LSTM PM _{2.5} dan SO ₂	33
Tabel 8. Rata-rata nilai ISPU PM _{2.5} per bulan tahun 2023 - 2045.....	35
Tabel 9. Rata-rata nilai ISPU SO ₂ per bulan tahun 2023 - 2045.....	36
Tabel 10. Rata-rata nilai ISPU PM _{2.5} dan SO ₂ per tahun (2023-2045).....	36
Tabel 11. Persentase ISPU PM _{2.5} per tahun (2023-2045).....	37
Tabel 12. Persentase ISPU SO ₂ per tahun (2023-2045).....	38
Tabel 13. Persentase kategori ISPU PM _{2.5} per bulan tahun 2045.....	39
Tabel 14. Persentase kategori ISPU SO ₂ per bulan tahun 2045.....	40
Tabel 15. Kelas kerapatan vegetasi.....	43
Tabel 16. Luas kerapatan vegetasi per kecamatan di kota Makassar.....	44
Tabel 17. Kriteria penetapan lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH.....	46
Tabel 18. Kriteria penetapan potensi pencemar udara.....	47
Tabel 19. Lokasi arahan prioritas RTH untuk sumber pencemar udara bergerak.....	66
Tabel 20. Jumlah dan Persentase Kepadatan Kendaraan di Kota Makassar.....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kerangka Pikir Arahana Pengendalian Pencemaran Udara Ambien.....	9
Gambar 2. Peta Administrasi Kota Makassar dan Lokasi SPKUA.....	11
Gambar 3. Keterkaitan AI, ML, dan DL.....	16
Gambar 4. Recurrent Neural Network.....	17
Gambar 5. Arsitektur LSTM.....	18
Gambar 6. Cell LSTM.....	18
Gambar 7. Bagan Alur Pengolahan Data Peramalan dan Arahana Pengendalian Pencemaran Udara Ambien.....	29
Gambar 8. Hasil peramalan PM 2.5 per jam tahun 2023 - 2045.....	34
Gambar 9. Hasil peramalan SO ₂ per jam tahun 2023 - 2045.....	34
Gambar 10. Hasil peramalan PM 2.5 per jam tahun 2045.....	39
Gambar 11. Hasil peramalan SO ₂ per jam tahun 2045.....	39
Gambar 12. Titik lokasi kepadatan kendaraan di Kota Makassar.....	41
Gambar 13. Potensi pencemar udara dari industri di Kota Makassar.....	42
Gambar 14. Potensi pencemar udara dari pemukiman di Kota Makassar.....	43
Gambar 15. Klasifikasi kerapatan vegetasi di kota Makassar.....	44
Gambar 16. Rencana pola ruang kota Makassar tahun 2015-2034.....	45
Gambar 17. Potensi pencemar udara per kecamatan di Kota Makassar.....	48
Gambar 18. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Tamalate.....	49
Gambar 19. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Rappocini.....	50
Gambar 20. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Manggala.....	51
Gambar 21. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Biring Kanaya.....	53
Gambar 22. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Tamalanrea.....	54
Gambar 23. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Tallo.....	55
Gambar 24. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Panakkukang.....	56
Gambar 25. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Bontoala.....	57
Gambar 26. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Mamajang.....	58
Gambar 27. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Wajo.....	59
Gambar 28. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Makassar.....	60
Gambar 29. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Ujung Pandang.....	61
Gambar 30. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Mariso.....	62

Gambar 31. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Ujung Tanah.....	63
Gambar 32. Lokasi pencemar udara berdasarkan sumber bergerak serta kelas prioritas arahan penambahan RTH.....	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Sampel data PM2.5 dan SO2 hasil pengukuran SPKUA.....	77
Lampiran 2. Script python peramalan ISPU PM2.5.....	78
Lampiran 3. Script python peramalan ISPU SO2.....	82
Lampiran 4. Pemantauan kepadatan kendaraan dengan <i>google traffic</i>	85
Lampiran 5. Luas detail lokasi prioritas per kecamatan yang membutuhkan penambahan RTH berdasarkan sumber pencemar tidak bergerak.....	89
Lampiran 6. Luas detail lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH berdasarkan sumber pencemar bergerak.....	100

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran udara merupakan isu global yang menjadi perhatian seluruh negara dan hal ini sejalan dengan program Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB)/Sustainable Development Goals (SDGS) tujuan ke 11 (sebelas) yaitu kota dan permukiman yang berkelanjutan. Salah satu indikator yang digunakan adalah indeks pencemaran udara. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya kedalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu udara ambien yang telah ditetapkan. Udara Ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada di dalam wilayah yuridiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan berpengaruh terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya. Baku mutu udara ambien adalah nilai pencemar udara yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien. Merujuk pada data World Health Organization (WHO), pada tahun 2019 diperkirakan terjadi kematian dini sebanyak 4,2 juta di seluruh dunia akibat polusi udara ambien di kota dan daerah pedesaan. Secara detail disebutkan bahwa kematian dini disebabkan oleh paparan partikel halus berdiameter 2,5 mikron atau kurang (PM_{2.5}), yang menyebabkan penyakit kardiovaskular dan pernapasan, serta kanker. Dalam laporan Global Alliance on Health and Pollution (GAHP) tentang 10(sepuluh) negara teratas dengan kematian dini akibat pencemaran udara, Indonesia berada pada peringkat ke-4 dunia pada tahun 2017 dengan jumlah kematian dini 123.753 jiwa.

Berdasarkan data *Air Quality Live Index* (AQLI), pencemaran udara di Indonesia tercatat terus meningkat sejak dua dekade terakhir, dan saat ini berada di peringkat ke-13 dari 243 negara dengan pencemaran udara terburuk di dunia. Merujuk pada data WHO bahwa sekitar 99% populasi dunia tinggal di tempat-tempat di mana tingkat pencemaran udara melebihi batas yang ditetapkan oleh WHO. Perkotaan memiliki potensi sangat tinggi terjadinya pencemaran

udara karena tingkat kepadatan penduduk yang tinggi dan memiliki beragam aktifitas didalamnya. Adapun sumber pencemaran udara perkotaan seperti hasil pembakaran pada kendaraan bermotor, industri dan bahkan dari pemukiman (Indrayani, 2018; Yasir, 2021)

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu, yang didasarkan kepada dampak kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Pemantauan pencemaran udara ambien dipantau secara terus-menerus dan datanya dapat dipantau secara langsung dengan Stasiun Pemantau Pencemaran Udara Ambien (SPKUA). Parameter yang dipantau pada SPKUA adalah partikulat (PM₁₀), partikulat (PM_{2.5}), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), ozon (O₃) dan hidrokarbon (HC).

Kota Makassar sebagai ibu kota Provinsi Sulawesi Selatan menjadi kota yang memiliki penduduk terbanyak di Provinsi Sulawesi Selatan dengan jumlah penduduk pada tahun 2021 sebanyak 1.427.619 jiwa atau 15,62 % dari total penduduk Provinsi Sulawesi Selatan. Jumlah kendaraan pada tahun 2021 sebanyak 1.740.793 unit dan industri 1.113 unit (BPS Kota Makassar, 2022; BPS Provinsi Sulawesi Selatan, 2022).

Ruang terbuka hijau (RTH) memiliki peran strategis dalam mereduksi pencemaran udara (Inaku & Novianus, 2020; Suhardjo, 2007), sedangkan luas RTH Kota Makassar tahun 2021 menurut Pelaksana Tugas Kepala Bidang RTH Dinas Lingkungan Hidup Kota Makassar hanya 9,077% dari total luas Kota Makassar, sedangkan persyaratan minimal 30% berdasarkan Undang-Undang Nomor 26 tahun 2007 tentang penataan ruang (detik.com, 2022). Selain luasan RTH yang minim, sebaran RTH di Kota Makassar tidak mengikuti pola perkembangan struktur planologis sebagaimana diatur dalam Permen PU Nomor 5 Tahun 2008 (Dollah & Rasmawarni, 2019). Dengan kondisi tersebut maka kota makassar memiliki potensi pencemaran udara paling tinggi di Provinsi Sulawesi Selatan. Pada tahun 2019 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan telah memasang satu buah SPKUA atau *Air Quality Monitoring System* (AQMS) di Kota Makassar yang terletak di lapangan karebosi (KLHK, 2019). Pemasangan

alat tersebut akan memberikan informasi pencemaran udara ambien dalam bentuk ISPU.

Pada tahun 2020 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan bersama dengan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten/Kota di seluruh Indonesia melakukan pemantauan pencemaran udara menggunakan metode *passive sampler* dengan parameter sulfur dioksida (SO₂). Hasil pemantauan 6 (enam) kota besar di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1, dimana Kota Makassar peringkat keempat dengan nilai pencemaran 11,39 µg/m³. Hasil pemantauan setiap Kabupaten/Kota di Provinsi Sulawesi Selatan dapat dilihat pada Tabel 2, dimana Kota Makassar peringkat kedua dengan 11,39 µg/m³. Hasil pemantauan SPKUA pada tahun 2019 di Kota Makassar menghasilkan rata-rata konsentrasi PM_{2.5} yaitu 12,99 µg/m³ (KLHK,2019).

Tabel 1. Konsentrasi SO₂ enam kota besar di Indonesia tahun 2020

NO	KABUPATEN / KOTA	<i>Passive Sampler</i>	Baku Mutu Referensi EU (µg/m ³)
		SO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
1	Jakarta Pusat	12,24	20
2	Bandung	9,74	20
3	Surabaya	16,77	20
4	Makassar	11.39	20
5	Semarang	8,28	20
6	Medan	13,63	20

Sumber: KLHK(2020)

Tabel 2. Konsentrasi SO₂ kabupaten/kota di Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2020

NO	KABUPATEN / KOTA	<i>Passive Sampler</i>	Baku Mutu Referensi EU (µg/m ³)
		SO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)
1	Bantaeng	5,55	20
2	Barru	6,72	20
3	Bone	7,74	20
4	Bulukumba	9,87	20
5	Enrekang	5,83	20

Lanjutan Tabel 2.

NO	Kabupaten / Kota	<i>Passive Sampler</i>	Baku Mutu Referensi EU ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
6	Gowa	8,63	20
7	Jeneponto	8,01	20
8	Luwu Timur	7,39	20
9	Luwu Utara	9,26	20
10	Luwu	9,96	20
11	Maros	9,64	20
12	Pangkep	12,04	20
13	Pinrang	5,54	20
14	Selayar	8,74	20
15	Sidrap	8,84	20
16	Sinjai	7,53	20
17	Soppeng	6	20
18	Takalar	8,68	20
19	Toraja	9,31	20
20	Toraja Utara	8,35	20
21	Wajo	7,51	20
22	Makassar	11,39	20
23	Palopo	9,59	20
24	Parepare	9,71	20

Sumber: KLHK (2020)

Pencemaran udara memiliki dampak serius terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup dan lingkungan, sehingga penting melakukan peramalan pencemaran udara ambien Kota Makassar sebagai dasar menyusun sebuah perencanaan kedepan untuk mengendalikan pencemaran udara ambien. Peramalan (*forecasting*) adalah metode untuk memperkirakan suatu nilai dimasa depan dengan menggunakan data masa lalu, namun peramalan tidak pernah secara mutlak benar, akan tetapi jika faktor dan model yang digunakan tepat maka dapat menghasilkan peramalan yang mendekati kondisi yang sebenarnya (Wardah & Iskandar, 2017). Penelitian tentang pencemaran udara beberapa tahun terakhir mengalami peningkatan dan penelitian difokuskan pada 3 (tiga) aspek yaitu pemantauan pencemaran udara, analisis kausal pencemaran udara dan peramalan pencemaran udara (Lu & Liu, 2021).

Perkembangan teknologi yang pesat di era sekarang menawarkan kemudahan dalam menyelesaikan masalah pada berbagai bidang pekerjaan dan salah satunya terkait peramalan. Salah satu model yang bisa digunakan dalam peramalan adalah model *Long Short-Term Memory (LSTM)* yang merupakan pengembangan dari arsitektur *Recurrent Neural Network (RNN)* yang dirancang spesifik untuk memodelkan urutan temporal dan dependensi jarak jauhnya memiliki kinerja lebih akurat daripada RNN konvensional. Penerapan model LSTM dalam peramalan pencemaran udara memiliki tingkat akurasi yang tinggi dibanding beberapa model peramalan yang lain (Arsov et al., 2020; Karyadi, 2022).

Berdasarkan latar belakang diatas maka dibutuhkan arahan pengendalian pencemaran udara ambien Kota Makassar untuk jangka panjang. Penyusunan arahan pengendalian pencemaran udara ambien Kota Makassar mengacu pada sumber pencemar, kerapatan vegetasi, Rencana Tata Ruang Wilayah dan hasil peramalan pencemaran udara ambien. Arahan pengendalian pencemaran udara ambien Kota Makassar difokuskan pada intervensi sumber pencemar. Pada tahun 2045 Indonesia berusia 100 tahun atau Indonesia emas sehingga dengan adanya arahan ini maka diharapkan pencemaran udara ambien tidak melampaui baku mutu pada tahun 2045.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang dapat ditarik kesimpulan bahwa Kota Makassar memiliki potensi terjadinya pencemaran udara, olehnya diperlukan analisis terkait pencemaran udara di Kota Makassar. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana kondisi pencemaran udara ambien Kota Makassar tahun 2045 dalam bentuk indeks standar pencemar udara?
- 2) Bagaimana sumber pencemar udara ambien di Kota Makassar?
- 3) Bagaimana arahan pengendalian pencemaran udara ambien Kota Makassar?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjawab rumusan masalah yang telah ditentukan yaitu sebagai berikut:

- 1) Meramalkan pencemaran udara ambien kota Makassar tahun 2045.
- 2) Mengidentifikasi sumber pencemar udara ambien di Kota Makassar.
- 3) Menyusun arahan pengendalian pencemaran udara ambien Kota Makassar.

1.4 Manfaat Penelitian

Pencemaran udara berdampak buruk terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur lingkungan hidup lainnya. Adapun beberapa jenis penyakit yang diakibatkan oleh pencemaran udara yang melampaui baku mutu udara ambien seperti penyakit kardiovaskular, pernapasan, serta kanker. Dengan adanya penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

- 1) Hasil penelitian ini dapat memberi gambaran tingkat dan bahaya pencemaran udara ambien Kota Makassar pada tahun 2045 dalam bentuk indeks standar pencemar udara.
- 2) Hasil penelitian ini diharapkan menjadi bahan masukan pemerintah Kota Makassar dalam menyusun rencana tata ruang wilayah kota dalam mengendalikan pencemaran udara ambien.
- 3) Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengendalikan pencemaran udara ambien Kota Makassar sehingga tidak melampaui baku mutu udara ambien yang berdampak buruk terhadap makhluk hidup.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini memiliki batasan ruang lingkup sebagai berikut

- 1) Pemilihan sumber data pencemaran udara ambien hanya bersumber dari satu titik pantau karena ketersediaan SPKUA atau *Air Quality Monitoring System* (AQMS) yang memiliki data *real time* di Kota Makassar.
- 2) Data pencemaran udara yang digunakan adalah parameter partikulat (PM_{2.5}) dan sulfur dioksida (SO₂).
- 3) Data *time series* yang digunakan pada penelitian ini adalah data setiap satu jam pada tahun 2020 sampai tahun 2022.
- 4) Arahan pengendalian pencemaran udara ambien yang dihasilkan merupakan arahan indikatif, dimana pada arahan tersebut belum dihitung persentase pengurangan pencemaran udara,

1.6 Penelitian Terdahulu Dan Kebaruan Penelitian

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian ini, (Oktaviani & Hustinawati, 2021) yang membangun model untuk memprediksi ISPU di DKI Jakarta menggunakan metode LSTM. Data ISPU yang digunakan dalam peramalan adalah PM10, SO2, CO, O3, dan NO2. Model LSTM yang dibangun menggunakan 64 *layer neuron* atau LSTM unit dengan *dropout* 0.2. Berdasarkan hasil evaluasi model menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), maka model tersebut masuk dalam kategori akurat dengan nilai MAPE 12,28%. Pada penelitian yang berbeda, (Karyadi, 2022) membandingkan tiga model yaitu LSTM, LSTM *Bidirectional*, dan *Gate Recurrent Unit* (GRU) dalam peramalan pencemaran udara. Data yang digunakan adalah data *time series* suhu, PM10, kelembabab, dan ISPU. Berdasarkan hasil evaluasi ketiga model, maka penerapan model LSTM dan LSTM *Bidirectional* menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan GRU dalam melakukan peramalan dengan menggunakan data *time series*.

Ruang terbuka hijau (RTH) memiliki peran dalam mereduksi pencemaran udara ambien, sebagaimana penelitian (Ahmad, 2017) yang dilakukan di kawasan industri PT. Petrokimia Gresik. Parameter pencemar udara yang digunakan pada penelitian tersebut adalah PM2.5 dan metode penelitian yang digunakan adalah perhitungan integrasi diferensiasi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa RTH di kawasan industri PT. Petrokimia Gresik mampu mereduksi partikulat karena nilai rata-rata konsentrasi PM2.5 tidak melebihi baku mutu udara ambien. Selain mampu mereduksi PM2.5, RTH juga mampu mereduksi SO2, sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh (Maharini, 2017) di Kota Surabaya tentang RTH dalam mereduksi SO2 pada wilayah permukiman dan transportasi. Penelitian ini menggunakan metode *Box Model* dan hasil penelitian menunjukkan bahwa RTH memiliki kemampuan mereduksi SO2, semakin luas RTH maka semakin baik dalam mereduksi SO2 udara ambien.

Mengidentifikasi ruang terbuka hijau eksisting pada suatu kota atau wilayah bisa dilakukan dengan analisis kerapatan vegetasi menggunakan data citra, sebagaimana penelitian (Hatulesila et al., 2019) di Kota Ambon. Data citra yang digunakan pada penelitian tersebut adalah Landsat 8 dengan resolusi 30m,

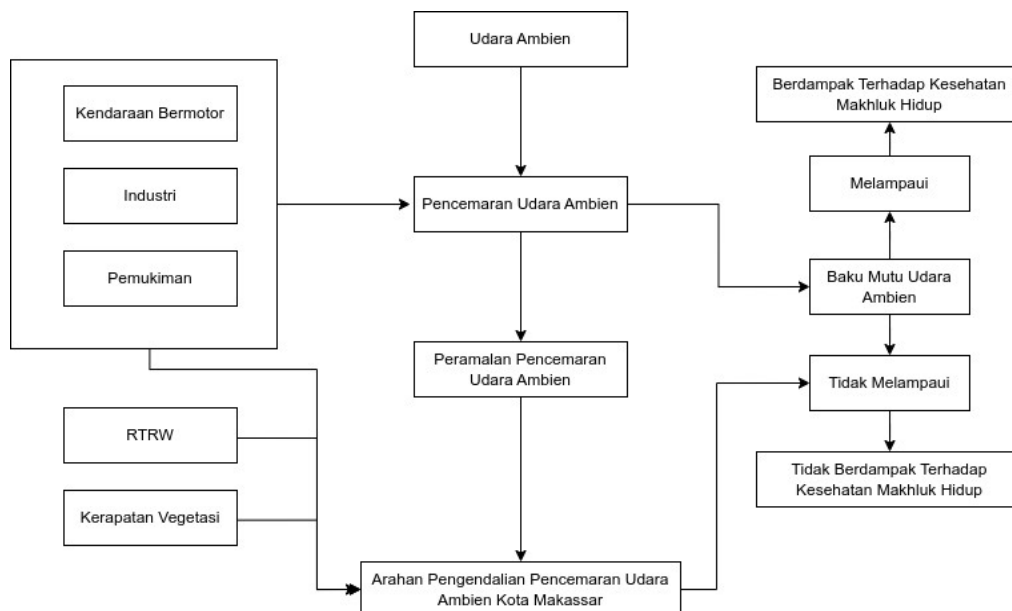
sedangkan metode yang digunakan adalah *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Dengan metode NDVI, maka kerapatan vegetasi eksisting bisa diidentifikasi berdasarkan tingkat kehijauan penutupan lahan dan hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa 58,31 % luas lokasi penelitian memiliki tutupan vegetasi. (Hashim et al., 2019) dalam penelitiannya menggunakan data citra beresolusi tinggi yaitu citra Pleiades 1A dengan resolusi 2m untuk mengidentifikasi vegetasi perkotaan. Metode yang digunakan adalah NDVI dan hasil penelitian dengan citra resolusi tinggi mampu mengidentifikasi dan mengklasifikasikan vegetasi perkotaan.

Perkotaan memiliki potensi pencemaran udara yang tinggi sehingga perlu ada pengendalian pencemaran udara. Pada penelitian (Yasir, 2021) mengungkapkan bahwa secara umum untuk menyelesaikan permasalahan pencemaran udara harus dimulai dari sumber masalahnya. Metode yang digunakan pada penelitian tersebut adalah studi literatur dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Berdasarkan hasil penelitiannya, maka beberapa arahan yang disarankan untuk pengendalian pencemaran udara perkotaan adalah pengurangan konsumsi bahan bakar fosil dengan menggunakan transportasi ramah lingkungan, pembangunan RTH, pembuatan bangunan dan pemukiman yang berkelanjutan.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dibahas di atas maka dapat dilihat bahwa penelitian terkait pencemaran udara sangat beragam. Ragam penelitian yang dimaksud yaitu peramalan pencemaran udara, analisis RTH dalam mereduksi pencemaran udara, identifikasi RTH dengan citra satelit, dan metode pengendalian pencemaran udara. Penelitian terdahulu tersebut menjadi rujukan penulis dalam melakukan penelitian yang berjudul peramalan dan arahan pengendalian pencemaran udara ambien di Kota Makassar. Pada penelitian ini terdapat 3 (tiga) kebaruan, yang pertama adalah menggabungkan beragam penelitian terdahulu menjadi satu jenis penelitian. Kebaruan yang kedua adalah menambahkan variabel baru yaitu RTRW dan sumber pencemar (kendaraan bermotor, industri, pemukiman). Kebaruan yang ketiga adalah metode penyusunan arahan yang didasarkan pada empat aspek yaitu sumber pencemar, kerapatan vegetasi, Rencana Tata Ruang Wilayah dan hasil peramalan pencemaran udara.

1.7 Kerangka Pikir

Pada kerangka pikir yang terdapat pada Gambar 1 digambarkan bahwa objek dari penelitian ini adalah udara ambien di Kota Makassar, dimana terjadi pencemaran terhadap udara ambien. Pencemar udara ambien bersumber dari aktivitas pembakaran kendaraan bermotor, industri, serta aktivitas penduduk di pemukiman. Jika pencemaran udara ambien melampaui baku mutu udara ambien maka menimbulkan dampak buruk terhadap kesehatan makhluk hidup. Sebaliknya jika pencemaran udara ambien tidak melampaui baku mutu maka tidak berdampak buruk terhadap kesehatan makhluk hidup. Pencemaran udara ambien perlu untuk diramalkan sehingga mendapatkan gambaran pencemaran udara ambien kedepannya sebagai dasar untuk menyusun arahan pengendalian pencemaran udara ambien. Dalam menyusun arahan tersebut perlu menambahkan beberapa parameter seperti data sumber pencemar, RTRW, kerapatan vegetasi dan peramalan pencemaran udara ambien. Arahan pengendalian pencemaran udara ambien diharapkan bisa mengendalikan pencemaran udara sehingga tidak melampaui baku mutu udara ambien.



Gambar 1. Kerangka Pikir Arahan Pengendalian Pencemaran Udara Ambien

BAB II

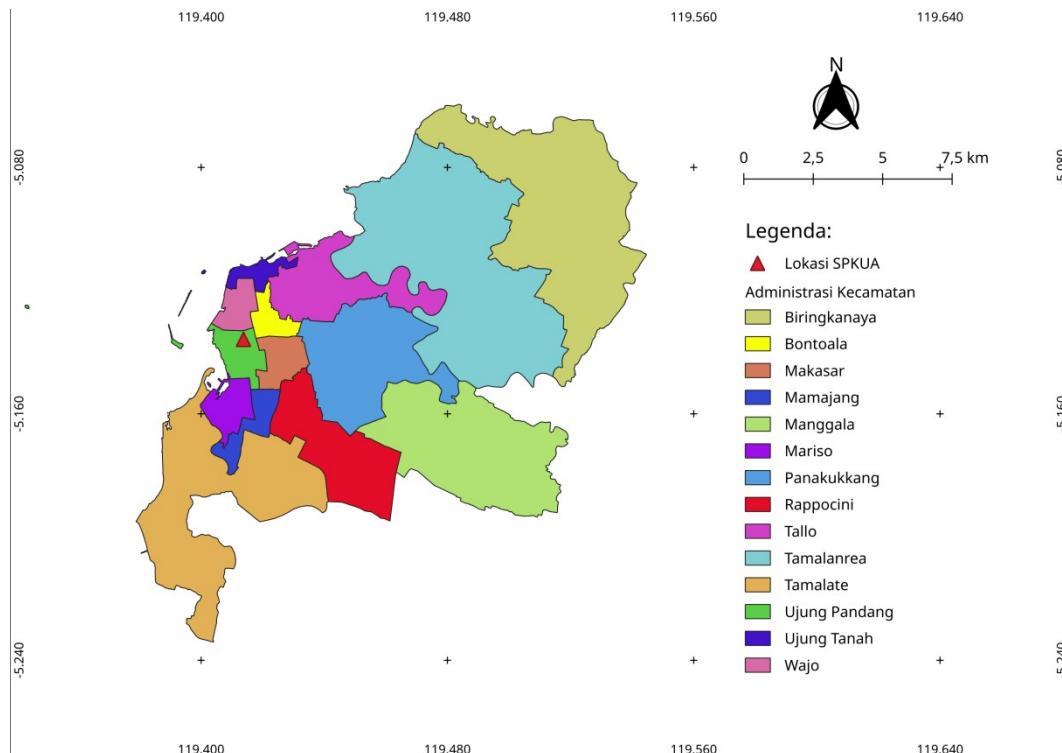
METODE PENELITIAN

1.8 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian yang bersifat deskriptif kuantitatif dengan menggunakan 2 (dua) bentuk teknik analisis data. Teknik analisis yang pertama menggunakan pendekatan algoritma *Deep Learning* dengan metode *Long Short Term Memory* (LSTM). Teknik analisis ini digunakan untuk melakukan peramalan pencemaran udara ambien. Teknik analisis yang kedua menggunakan pendekatan analisis spasial dalam pengolahan data. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi sumber pencemaran udara, identifikasi kerapatan vegetasi dan penyusunan arahan pengendalian pencemaran udara ambien Kota Makassar.

1.9 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Makassar dengan di fokuskan pada 14 kecamatan yaitu kecamatan Biringkanaya, Bontoala, Makassar, Mamajang, Manggala, Mariso, Panakukkang, Rappocini, Tallo, Tamalanrea, Tamalate, Ujung Pandang, Ujung Tanah, dan kecamatan Wajo. Pemilihan lokasi penelitian karena di kota ini terdapat satu buah stasion pemantau pencemaran udara ambien yang otomatis sehingga memiliki data *time series* terkait pencemaran udara. Waktu penelitian direncanakan selama 4 (empat) bulan mulai bulan Juli 2022 sampai dengan Oktober 2022, dengan tahapan penelitian meliputi: persiapan penelitian, pengumpulan data, analisis data dan pembuatan laporan. Adminitrasi Kota Makassar dan lokasi SPKUA dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Administrasi Kota Makassar dan Lokasi SPKUA

Sumber: Diolah dari data BIG tahun 2022

1.10 Jenis dan Sumber Data

Pada penelitian ini data yang digunakan merupakan data sekunder dari berbagai sumber. Adapun data dan sumber yang dimaksud sebagai berikut:

- 1) Data *time series* udara ambien yang terdiri dari partikulat (PM_{2.5}) dan sulfur dioksida (SO₂) selama dua tahun yaitu 2020-2022 dan data merupakan data pencemaran udara ambien setiap jam dalam setiap hari. Data pencemaran udara ambien tersebut menggunakan format data tabular dengan format file .csv. Data ini yang nantinya menjadi data *primer* dalam melakukan prediksi pencemaran udara ambien. Data pencemaran udara bersumber dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang merupakan data dari hasil stasiun pemantauan pencemaran udara ambien di Makassar.
- 2) Data Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Makassar tahun 2015-2034 yang nantinya digunakan dalam penyusunan arahan pengendalian

pencemaran udara. Data tersebut bisa didapatkan dari Dinas Penataan Ruang Kota Makassar.

- 3) Data Administrasi Kota Makassar yang digunakan untuk menggambarkan lokasi kota makassar. Data tersebut bisa didapatkan dari Dinas Penataan Ruang Kota Makassar.
- 4) Data Jalan Kota Makassar yang digunakan untuk mengidentifikasi sumber pencemaran udara dari kendaraan bermotor bersumber Dinas Penataan Ruang Kota Makassar.
- 5) Data Industri dan data penduduk yang berasal dari Badan Pusat Statistik. Kedua data tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kepadatan penduduk dan sebaran industri di kota Makassar.
- 6) Data citra satelit sentinel-2A tahun 2021 yang bersumber dari USGS untuk membuat peta NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dengan tujuan mengidentifikasi kerapatan vegetasi yang di Kota Makassar.

1.11 Matriks Penelitian

Gambaran dari penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3, dimana pada tabel tersebut dapat dilihat keterkaitan satu sama lain untuk menyusun arahan pengendalian. Pada kolom tabel kedua terdapat rumusan masalah yang harus diselesaikan, kemudian pada kolom ketiga terdapat tujuan yang merupakan tujuan penelitian untuk menyelesaikan rumusan masalah. Pada kolom tabel keempat terdapat variabel yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian dan pada kolom kelima ada sub variabel untuk menyusun variabel. Kolom tabel kelima menampilkan data dan informasi yang digunakan dalam penelitian, kemudian kolom selanjutnya adalah sumber data dan informasi yang digunakan pada penelitian ini. Kolom ketujuh terkait metode pengumpulan data dan kolom terakhir terkait jenis analisis data yang digunakan untuk menyelesaikan rumusan masalah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat padat Tabel 3, tentang matriks penelitian.

Tabel 3. Matriks Penelitian

No	Rumusan Masalah	Tujuan	Variabel	Sub Variabel	Data dan Informasi	Sumber Data dan Informasi	Pengumpulan Data dan Informasi	Analisis
1	Bagaimana kondisi pencemaran udara ambien Kota Makassar tahun 2045?	Peramalan pencemaran udara ambien Kota Makassar tahun 2045 dalam bentuk indeks standar pencemar udara	Kategori ISPU Kota Makassar tahun 2045	Peramalan ISPU Kota Makassar tahun 2045	Data <i>time series</i> (PM2.5 dan SO2) tahun 2020 – 2022	KLHK	Permintaan data instansi	Teknik analisis menggunakan pendekatan algoritma <i>Deep Learning</i> dengan metode <i>Long Short Term Memory</i> (LSTM)
2	Bagaimana sumber pencemar udara ambien di Kota Makassar	Mengidentifikasi sumber pencemar udara ambien di Kota Makassar	Potensi sumber pencemar udara ambien	Potensi sumber pencemar dari Industri, pemukiman, dan kepadatan kendaraan	1. Data industri 2. Data Pemukiman 3. Data Lokasi Kepadatan kendaraan	Google Traffic	Identifikasi di Google Traffic	Teknik analisis menggunakan pendekatan analisis spasial
3	Bagaimana arahan pengendalian pencemaran udara ambien Kota Makassar	Menyusun arahan pengendalian pencemaran udara ambien untuk Kota Makassar, serta waktu implementasi arahan	1.Potensi Pencemar Udara Ambien 2.Kerapatan vegetasi 3.Peruntukan Penggunaan Ruang 4.Pola/tren data ISPU	1. Potensi pencemar hasil analisis 2.NDVI 3.Pola Ruang 4.ISPU hasil peramalan	1. RTRW 2. Data citra satelit Sentinel2A 3. Hasil Analisis	1.Dinas Tata Ruang Kota Makassar 2. USGS 3. Hasil analisis	1.Permintaan data instansi 2.Download data citra dari website USGS 3.Hasil Analisis	Teknik analisis menggunakan pendekatan analisis spasial (overlay, NDVI)

1.12 Peramalan pencemaran udara

Pada tahapan ini dilakukan peramalan pencemaran udara dalam bentuk data Indeks Standar Pencemaran udara dengan parameter yang digunakan adalah PM_{2.5} dan SO₂ yang merupakan data dari hasil pengukuran setiap jam pada SPKUA. Pemilihan 2 (dua) parameter ISPU dari total 7 (tujuh) parameter karena terkait ketersediaan data. Parameter PM_{2.5} dan SO₂ memiliki data yang cukup lengkap dalam kurung waktu tiga tahun (2020-2022) dibanding kelima parameter lainnya. Salah satu kriteria yang dibutuhkan model LSTM untuk memperoleh tingkat akurasi yang tinggi adalah jumlah data, semakin banyak data yang dipelajari oleh model maka kemampuan model dalam meramalkan akan semakin baik. Selain jumlah data, kedua parameter tersebut dipilih karena memiliki data *time series* (deret waktu) yang baik.

1.12.1 Penghitungan Indeks Standar Pencemar Udara

Penghitungan nilai ISPU menggunakan hasil pengukuran dari SPKUA dan setiap penghitungan satu satu jam nilai ISPU harus menggunakan data akumulasi dari 24 jam konsentrasi pencemaran udara kebelakang. Perhitungan nilai ISPU mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM 1/7/2020. Konversi nilai konsentrasi parameter ISPU dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Konversi nilai konsentrasi parameter ISPU

ISPU	24 Jam PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam HC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0 - 50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51 - 100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101 – 200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201 - 300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Sumber: Permen LHK No. 14 tahun 2020

Perhitungannya menggunakan persamaan berikut:

$$I = \frac{(I_a - I_b)}{(X_a - X_b)} (X_x - X_b) + I_b$$

Dimana:

I = ISPU terhitung

I_a = ISPU batas atas

I_b = ISPU batas bawah

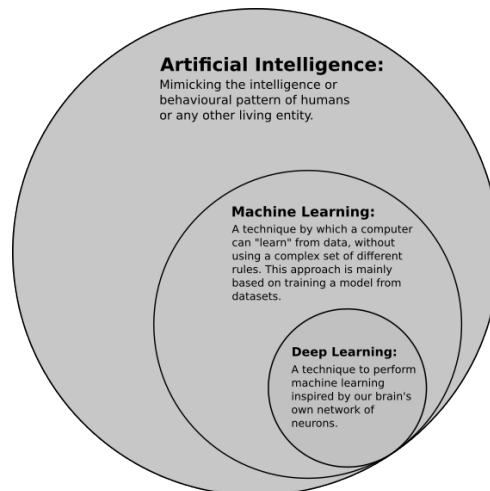
X_a = Konsentrasi ambien batas atas (µg/m³)

X_b = Konsentrasi ambien batas bawah (µg/m³)

X_x = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran (µg/m³)

1.12.2 Deep Learning

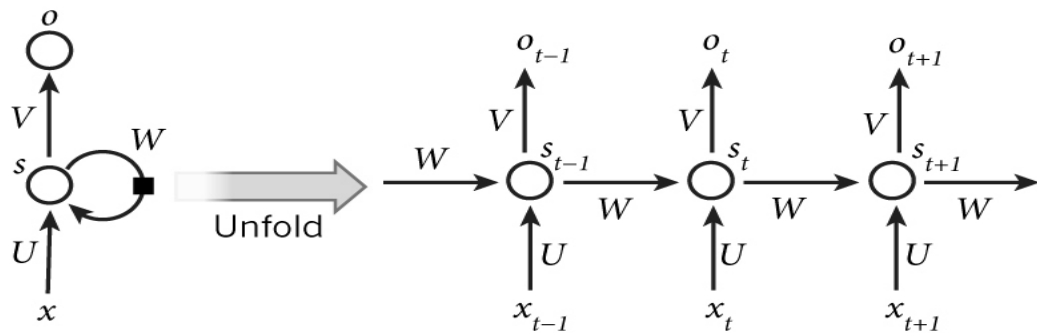
Deep Learning (DL) adalah sekumpulan algoritma dalam *Machine Learning* (ML) yang mempelajari berbagai level model statistik dengan menggunakan *Artificial Neural Networks* (ANN) atau jaringan saraf tiruan (Deng, 2014). *Machine Learning* juga masih merupakan turunan dari metode *Artificial Intelligence* (AI) atau kecerdasan buatan. Algoritma utama yang digunakan pada *Deep Learning* adalah *Deep Neural Network* (DNN), *Deep Belief Network* (DBN), *Recurrent Neural Network* (RNN) dan *Convolutional Neural Network* (CNN) dan algoritma tersebut diterapkan untuk analisis yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan dan kinerja dengan berbagai jenis data (Shetty & Siddiq, 2019). Semua metode yang dibahas tersebut masih saling terkait dimana DL merupakan teknik dari ANN, sedangkan ANN adalah teknik dari ML dan paling terakhir adalah AI yang merupakan induk dari semua karena ML adalah teknik dalam AI (Ahmad Hania, 2017). Keterkaitan dari metode tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Keterkaitan AI, ML, dan DL
 Sumber: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AI-ML-DL.svg>

1.12.3 Recurrent Neural Network

Recurrent Neural Network (RNN) atau jaringan saraf berulang adalah salah satu bentuk arsitektur dari *Artificial Neural Network* (ANN) atau jaringan saraf tiruan yang dalam pemrosesan datanya berulang kali dipanggil dan data yang diproses adalah data sekuensial/beruntun (*sequential data*), RNN merupakan bagian dari DL karena cara kerjanya dalam memproses data melalui banyak lapis (*layer*) (Firmansyah et al., 2020; Mukhlis et al., 2021). Dengan cara kerja seperti di atas maka RNN dalam mengolah data sekuensial sangat baik karena merupakan model yang sangat kuat (Graves et al., 2013). Proses pada RNN ketika melakukan prediksi data tidak tergantung pada satu data input, tetapi input data yang digunakan juga berasal dari input sebelumnya sehingga setiap input memiliki keterkaitan yang kemudian akan di informasikan ke *hidden layer* pada RNN (Sen et al., 2020). Cara kerja RNN dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Recurrent Neural Network

Sumber: <https://machinelearning.mipa.ugm.ac.id/2018/07/01/recurrent-neural-network-rnn/>

Dimana:

x_t : *input* data pencemaran udara (PM2.5 dan SO₂) dalam bentuk angka yang berasal dari hasil pemantauan SPKUA

s_t : s_t adalah *hidden state* pada waktu t

U, V, W : *Weights* U untuk koneksi dari input ke *hidden state*, *Weights* W koneksi dari *hidden* ke *hidden*, *weights* V untuk koneksi dari *hidden state* ke *output*

O_t : *Output* (Hasil peramalan pencemaran udara)

Rumus:

Menghitung keadaan saat ini:

$$s_t = f(s_{t-1}, x_t) \quad (1)$$

Menerapkan fungsi aktivasi (tanh):

$$s_t = \tanh(U \cdot x_t + W \cdot s_{t-1}) \quad (2)$$

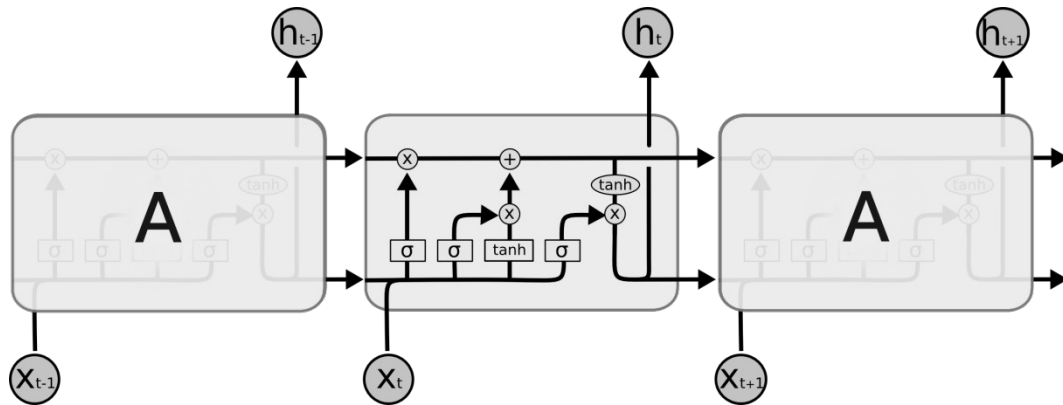
Menghitung hasil :

$$O_t = \text{softmax}(V \cdot s_t) \quad (3)$$

1.12.4 Long Short Term Memory

Long Short Term Memory (LSTM) adalah jenis atau pengembangan dari RNN. *Long Short Term Memory* diciptakan untuk menutupi kekurangan dari RNN yaitu gradien menghilang (*vanishing gradient*) yang menyebabkan pembelajaran model menjadi terlalu lambat atau berhenti sama sekali. Selain itu LSTM juga memiliki keunggulan lain dibanding RNN yaitu memiliki memori yang lebih panjang saat mengolah data dan dapat belajar dari input yg dipisahkan satu

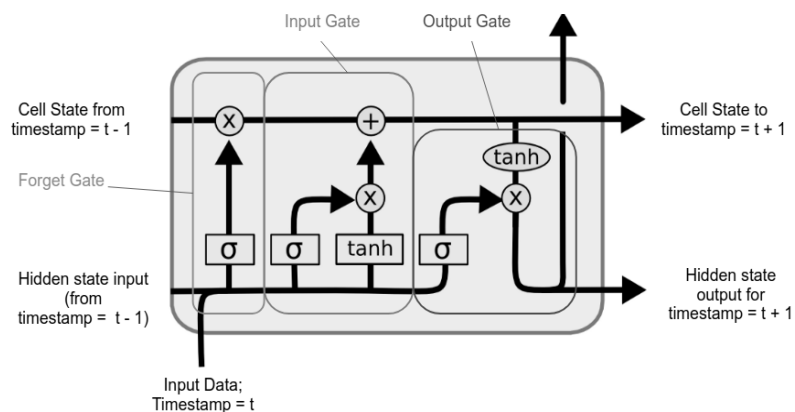
sama lain oleh jeda waktu yang lama, namun secara arsitektur tidak berbeda dari RNN (Firmansyah et al., 2020; Yadav et al., 2020). Arsitektur LSTM dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Arsitektur LSTM

Sumber: <https://colah.github.io/>

Pada Gambar 5 dapat dilihat tentang arsitektur LSTM terdapat tiga tahapan yaitu input data, proses data atau *cell LSTM* yang merupakan inti dari LSTM, dan yang terakhir adalah output atau hasil. *Cell LSTM* dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 6.



Gambar 6. Cell LSTM

Sumber: <https://medium.com/analytics-vidhya/lstms-explained-a-complete-technically-accurate-conceptual-guide-with-keras-2a650327e8f2>

Pada Cell LSTM terdapat *cell stage* dan tiga *gate* pengolahan data yaitu *forget gate*, *input gate* dan *output gate*. Adapun cara kerjanya sebagai berikut::

1) *Forget Gate (ft)*

Forget gate memiliki fungsi untuk menentukan informasi yang akan digunakan, jika informasinya penting maka akan disimpan dan menghapus informasi yang tidak penting. Tahapan ini mengolah data dari output pencemaran udara pada waktu (h_{t-1}) dan input data pencemaran udara pada waktu t (X_t). kemudian menerapkan fungsi aktivasi *sigmoid*. Hasil dari *forget gate* bernilai antara 0 dan 1 karena fungsi *sigmoid*. Jika nilai *forget gate* mendekati angka 0 maka informasinya akan dihapus dan jika f_t mendekati angka 1 maka informasinya akan disimpan. Adapun persamaan yang digunakan dalam menghitung *forget gate* di sajikan pada persamaan 1:

$$f_t = \sigma(W_f x_t + U_f h_{t-1} + b_f) \quad (1)$$

x_t = Input nilai ISPU (PM2.5 dan SO₂)

f_t = Nilai ISPU dari *forget gate*

W_f = Bobot nilai input di waktu ke t ,

U_f = Bobot nilai output dari waktu ke $t-1$

h_{t-1} = Output nilai ISPU pada waktu ke $t-1$

b_f = Bias pada *forget gate*

σ = Fungsi *sigmoid*

2) Input Gate

Input gate memiliki fungsi untuk menentukan informasi yang relevan untuk ditambahkan pada *state* ini. Pada *input gate* terdapat dua proses yaitu menghitung nilai *input gate* dan menghitung nilai kandidat *cell state*. Pada perhitungan nilai *input gate* (i_t) menghasilkan nilai antaran 0 dan 1 karena menggunakan fungsi *sigmoid*, sedangkan untuk perhitungan nilai kandidat *cell state* ($\tilde{C}_t$) bernilai antara -1 dan 1 karena menggunakan fungsi *tanh* (*hyperbolic tangent*). Menghitung *input gate* menggunakan persamaan 2, sedangkan untuk menghitung nilai kandidat *cell state* menggunakan persamaan 3:

$$i_t = \sigma(W_i x_t + U_i x_{t-1} + b_i) \quad (2)$$

x_t = *input* nilai ISPU pada waktu t

i_t = Nilai *input gate* (Nilai ISPU)

W_i = Bobot nilai input ISPU pada waktu ke t

U_i = Bobot nilai output ISPU pada waktu ke $t-1$

h_{t-1} = Output nilai ISPU pada waktu ke $t-1$

b_i = Bias di *input gate*

σ = Fungsi sigmoid

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_c x_t + U_i h(c-1) + b_c) \quad (3)$$

x_t = input nilai pISPU pada waktu t

$\tilde{C}_t$ = Nilai *candidate cell state*

W_c = Bobot nilai input di cell ke c

U_i = Output di cell ke c-1

b_c = Bias di cell ke c

$\tanh$ = Fungsi *hyperbolic tangent*

3) Cell State

Cell state berfungsi sebagai memori tambahan pada jaringan LSTM yang tidak dimiliki oleh RNN biasa. *Cell state* bertindak sebagai penghubung yang mentransfer informasi yang relevan selama pemrosesan urutan. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung *cell state* disajikan pada persamaan 4:

$$C_t = it * C_t + ft * c(t-1) \quad (4)$$

C_t = Nilai *Memory cell state*

it = Nilai *input gate*

f_t = *forget gate*

$c(t-1)$ = *Memory cell state pada cell sebelumnya*

4) Output Gate

Output gate berfungsi untuk menentukan nilai dari hidden state untuk *state* berikutnya. Pada tahap ini terdapat dua proses yaitu menghitung output data pencemaran udara sementara (O_t) dan output data pencemaran udara final (h_t). Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung *output gate* sementara menggunakan persamaan 5, sedangkan untuk *output gate* final di menggunakan persamaan 6:

$$O_t = \sigma(W_o X_t + U_o h(t-1) + b_o) \quad (5)$$

O_t = Hasil peramalan ISPU sementara

W_o = Bobot nilai input pada waktu ke t,

X_t = Input data ISPU pada waktu ke t

U_o = Bobot untuk output dari waktu ke t-1

$h(t-1)$ = Output data ISPU dari waktu ke t-1

b_o = Bias pada *output gate*

σ = Fungsi *sigmoid*

$$h_t = O_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$

h_t = Output final (hasil peramalan ISPU)

O_t = *Output gate* (hasil peramalan ISPU sementara)

C_t = *Memory cell mate* yang baru

$\tanh$ = Fungsi *hyperbolic tangent*

1.12.5 Proses Peramalan pencemaran udara

Pada peramalan pencemaran udara menggunakan aplikasi **jupyterlab** sebagai wadah untuk menulis syntax bahasa pemrograman dan mengeksekusi/menjalankan syntax yang telah ditulis. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah **Python** namun dikemas dalam bentuk **framework** yang bernama **keras**. Pada *framework keras* ini terdapat metode *Long-short Term Memory*(LSTM) yang digunakan untuk peramalan. Berdasarkan dari *website* <https://jupyter.org/> dijelaskan bahwa Jupyterlab adalah lingkungan pengembangan interaktif berbasis web terbaru untuk notebook, kode, dan data. Antarmuka fleksibelnya memungkinkan pengguna untuk mengonfigurasi dan mengatur alur kerja dalam ilmu data, komputasi ilmiah, jurnalisme komputasi, dan pembelajaran mesin. Desain modular mengundang ekstensi untuk memperluas dan memperkaya fungsionalitas. *Framework* keras dijelaskan pada *website* <https://keras.io/about/> bahwa keras adalah API pembelajaran mendalam yang ditulis dalam Python, berjalan di atas platform pembelajaran mesin *TensorFlow*. Ini dikembangkan dengan fokus pada memungkinkan eksperimen cepat. mampu beralih dari ide ke hasil secepat mungkin adalah kunci untuk melakukan penelitian yang baik. Pemilihan *tools* dan bahasa pemrograman di atas untuk digunakan pada penelitian ini karena *tools* dan bahasa pemrograman tersebut paling populer saat ini dan berlisensi bebas untuk digunakan(gratis). Terdapat beberapa tahapan peramalan pencemaran udara sebagai berikut:

1.12.5.1 Preprocessing Data

Preprocessing adalah tahap mempersiapkan data sebaik mungkin dengan tujuan meminimalkan terjadinya *error* pada saat pengolahan data. Pada tahap ini dilakukan normalisasi pada data pencemaran udara, dimana data yang tidak memiliki nilai akan dihapus kemudian dilakukan *scaling*. Pada proses

scaling data pencemaran udara akan ditransformasikan dengan merubah data aktual menjadi data *range interval*. Selain melakukan *scaling* data pada tahap ini juga perlu dilakukan konversi data tanggal dan jam pemantauan pencemaran udara kedalam format *Datetime* (Karyadi, 2022; Khumaidi et al., 2020). Adapun formula *scaling* dengan menggunakan metode *min-max scaling* sebagai berikut:

$$xStand = \frac{x - \text{mean}(x)}{\text{standarde deviation}(x)}$$

Dimana:

- x = Data pencemaran udara yang akan dinormalisasi
- xStand = Data pencemaran udara yang telah dinormalisasi
- mean(x) = Nilai rata-rata pencemaran udara
- standar deviation(x) = Standar deviation dari data pencemaran udara

1.12.5.2 Proses *Training*

Langkah selanjutnya adalah *training data* menggunakan algoritma LSTM dan pada proses ini dilakukan peramalan data pencemaran udara. Data yang akan ditraining yaitu data pencemaran udara (PM2.5 dan SO2) hasil normalisasi. Sebelum melakukan *training*, akan dibuat dulu pemodelan LSTM dengan mengatur *hidden layer*, *window size*, *batch size*, *optimizer*, *epoch* dan penentuan fungsi *loss* yang akan digunakan (Khumaidi et al., 2020). Proses *training* dijalankan jika kriteria yang dibutuhkan sudah terpenuhi dan dalam proses *training* digunakan data sebanyak 80% dari jumlah seluruh data pencemaran udara.

1.12.5.3 Proses *Testing*

Tahap selanjutnya setelah melakukan *training data* adalah proses *testing* dimana proses ini merupakan uji model dengan menggunakan sisa data pencemaran udara yang tidak dimasukkan pada proses *training* sebesar 20%. Proses ini menghasilkan data hasil perbandingan antara data prediksi dan data aktual (Moch Farryz Rizkilloh & Sri Widiyanesti, 2022). Hasil dari proses *testing* akan digunakan pada tahap selanjutnya pada evaluasi model.

1.12.5.4 Denormalisasi

Setelah proses *testing* maka data peramalan pencemaran udara sudah bisa diketahui namun data tersebut perlu di denormalisasi kembali menjadi angka

rill karena data sebelumnya merupakan data interval yang telah dinormalisasi (Wiranda & Sadikin, 2019). Adapun formula untuk denormalisasi data sebagai berikut:

$$x_{Norm} = \frac{x - Min(x)}{Max(x) - Min(x)}$$

Dimana:

x_{Norm} = Data hasil denormalisasi

x = Data pencemaran udara

$Max(x)$ = Nilai maksimum dari data pencemaran udara

$Min(x)$ = Nilai minimum dari data pencemaran udara

1.12.5.5 Evaluasi

Pada proses ini akan dilakukan evaluasi terhadap kinerja model LSTM dalam melakukan peramalan pencemaran udara dengan menggunakan parameter *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk mengukur kevalidan hasil peramalan. *Root Mean Square Error* merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil peramalan dengan nilai aktual atau nilai yang dianggap benar. Hasil evaluasi dari RMSE menggambarkan bahwa semakin kecil nilainya (semakin mendekati angka 0 (nol)) maka data peramalan semakin valid (Febrianti et al., 2016). Adapun formula RMSE sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(y^1 - y)^2}{n}}$$

Dimana:

(y^1) = Nilai pencemaran udara hasil prediksi

(y) = Nilai pencemaran udara aktual

n = Jumlah data

Jika hasil evaluasi peramalan pencemaran udara memiliki nilai akurasi yang baik maka model tersebut baik atau layak digunakan untuk melakukan peramalan pencemaran udara 23 tahun kedepan. Jika hasil evaluasi memiliki nilai akurasi yang kurang baik maka kembali melakukan proses *training* dengan pengaturan model yang baru.

1.12.5.6 Klasifikasi Indeks Standar Pencemar Udara

Setelah proses peramalan pencemaran udara dalam bentuk ISPU, selanjutnya dilakukan klasifikasi/kategori agar nilai ISPU mudah dipahami masyarakat. Klasifikasi ISPU dilakukan pada aplikasi jupyterlab dengan mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM 1/7/2020. Hasil dari klasifikasi ISPU menghasilkan informasi kualitas udara ambien Kota Makassar. Adapun kategori ISPU pada Tabel 5 dan penjelasan nilai kategori ISPU pada Tabel 6.

Tabel 5. Kategori angka rentang ISPU

Kategori	Status Warna	Angka Rentang
Baik	Hijau	1 - 50
Sedang	Biru	51 - 100
Tidak Sehat	Kuning	101 - 200
Sangat Tidak Sehat	Merah	201 - 300
Berbahaya	Hitam	≥ 300

Sumber: Permen LHK No. 14 tahun 2020

Tabel 6. Penjelasan kategori ISPU

Kategori	Keterangan	Apa yang harus dilakukan
Baik	Tingkat pencemaran udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan dan tumbuhan	Sangat baik melakukan kegiatan di luar
Sedang	Tingkat pencemaran udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan	Kelompok sensitif : Kurangi aktivitas fisik yang terlalu lama atau berat Setiap orang: Masih dapat beraktivitas di luar

Lanjutan Tabel 6.

Kategori	Keterangan	Apa yang harus dilakukan
Tidak sehat	Tingkat pencemaran udara yang bersifat merugikan pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan	Kelompok sensitif: Boleh melakukan aktivitas di luar, tetapi mengambil rehat lebih sering dan melakukan aktivitas ringan. Amati gejala berupa batuk atau nafas sesak Penderita asma: Harus mengikuti petunjuk kesehatan untuk asma dan menyimpan obat asma. Penderita penyakit jantung: gejala seperti <i>palpitasi</i>/jantung berdetak lebih cepat, sesak nafas, atau kelelahan yang tidak biasa mungkin mengindikasikan masalah serius. Setiap orang: Mengurangi aktivitas fisik yang terlalu lama di luar ruangan
Sangat tidak sehat	Tingkat pencemaran udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada jumlah segmen populasi yang terpapar	Kelompok sensitif: Hindari semua aktivitas di luar. Perbanyak aktivitas di dalam ruangan atau lakukan penjadwalan ulang pada waktu dengan pencemaran udara yang baik. Setiap orang: Hindari aktivitas fisik yang terlalu lama di luar ruangan, pertimbangkan untuk melakukan aktivitas di dalam ruangan
Berbahaya	Tingkat pencemaran udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat	Kelompok sensitif: Tetap di dalam ruangan dan hanya melakukan sedikit aktivitas Setiap orang: Hindari semua aktivitas di luar

Sumber: Permen LHK No. 14 tahun 2020

1.12.5.7 Analisis Data Indeks Standar Pencemar Udara

Pada tahapan ini akan dilakukan analisis terhadap data ISPU hasil peramalan. Bentuk analisis yang dilakukan adalah mencari pola/trend perubahan pencemaran udara ambien seperti pola/trend bulanan dan tahunan.

1.13 Identifikasi Sumber Pencemar Udara

Pada tahapan ini akan dilakukan indentifikasi sumber potensi pencemaran udara dan yang menjadi dasar dalam penentuan sumber adalah kendaraan bermotor, industri dan pemukiman. Ketiga sumber tersebut dipilih karena menurut (Indrayani, 2018; Yasir, 2021) ketiganya merupakan sumber utama pencemaran udara di perkotaan. Adapun metode yang digunakan adalah sebagai berikut:

- 1) Mengidentifikasi sumber pencemaran udara dari kendaraan bermotor dengan mengidentifikasi jalan yang sering mengalami kepadatan kendaraan menggunakan aplikasi *google traffic* dan dipadukan dengan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG). Pada jalan yang mengalami kemacetan atau kepadatan kendaraan akan diberikan titik dengan menambahkan atribut nama jalan serta waktu terjadinya padat kendaraan. Proses identifikasi atau pengamatan dilakukan selama 7 (tujuh) hari kemudian hasilnya akan diakumulasi guna mendapatkan lokasi atau jalan yang berpotensi terjadinya pencemaran udara tinggi dari aktivitas pembakaran bahan bakar kendaraan.
- 2) Mengidentifikasi sumber pencemaran udara dari industri dengan melakukan analisis sebaran industri berdasarkan wilayah kecamatan dengan pendekatan analisis spasial. Data industri dari BPS akan di olah menjadi data spasial menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis dengan cara data administrasi kecamatan di Kota Makassar ditambahkan data atribut jumlah industri. Data hasil olahan kemudian dibuatkan kelas perbandingan antar kecamatan dengan asumsi bahwa kecamatan yang memiliki jumlah industri terbanyak memiliki potensi terjadinya pencemaran udara lebih besar.
- 3) Mengidentifikasi sumber pencemaran udara dari pemukiman dengan melakukan analisis kepadatan penduduk berdasarkan wilayah kecamatan dengan pendekatan analisis spasial. Metode yang digunakan sama dengan cara identifikasi sumber pencemaran dari industri. Data kepadatan penduduk akan diolah kedalam data spasial dengan menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis dengan cara menambahkan atribut kepadatan penduduk kedalam administrasi kecamatan. Data hasil olahan kemudian dibuatkan kelas perbandingan antar kecamatan dengan asumsi bahwa kecamatan

yang memiliki kepadatan penduduk paling tinggi memiliki potensi terjadinya pencemaran udara lebih besar.

1.14 Identifikasi Kerapatan Vegetasi

Pentingnya vegetasi sebagai salah satu penutupan lahan karena sebagai fungsi ekologis memiliki peran yang baik dalam menyerap polutan (Nawang Sari & Mussadun, 2018; Nugraheni et al., 2018). Penutupan vegetasi dapat dianalisis dengan menggunakan teknologi penginderaan jarak jauh karena vegetasi memiliki ciri yang mudah diidentifikasi dan salah satu metode yang digunakan adalah metode *Normalized Difference Vegetation Indeks* (NDVI) (Hardianto et al., 2021; Lufilah et al., 2017). Dalam menghitung NDVI kota Makassar maka data yang digunakan adalah data citra Sentinel-2A dengan menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis. Adapun rumus untuk menghitung nilai NDVI sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Dimana:

NIR = Reflektan band inframerah dekat untuk sebuah sel/ Band 8

RED = Reflektan band merah untuk sebuah sel/ Band 4

1.15 Penyusunan Arah

Dengan merujuk pada hasil peramalan pencemaran udara, hasil identifikasi sumber pencemaran udara, hasil NDVI dan RTRW maka arahan pengendalian pencemaran udara siap disusun dengan pendekatan analisis spasial. Penyusunan arahan dibagi dalam 2 (dua) bagian berdasarkan sumber pencemar.

1.15.1 Arahan Berdasarkan Sumber Tidak Bergerak

Proses penyusunan arahan pengendalian pencemaran udara dari sumber tidak bergerak menggunakan data sumber pencemar dari industri dan sumber pencemar dari pemukiman. Kedua data tersebut di *overlay* menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis, kemudian di *overlay* dengan data NDVI dan administrasi kecamatan. Data hasil *overlay* kemudian di analisis untuk mengidentifikasi potensi pencemaran udara dan NDVI setiap kecamatan. Kemudian di *overlay* dengan RTRW untuk mengetahui peruntukan penggunaan

ruang setiap wilayah. Arahan pengendalian pencemaran udara disesuaikan dengan pola/*trend* hasil peramalan pencemaran udara. Jika pola/*trend* peramalan pencemaran udara mengalami peningkatan pencemaran yang tinggi dan cepat maka arahan pengendalian harus diterapkan secepat mungkin sebelum mencapai batas tingkat pencemaran udara yang berbahaya. Adapun arahan pengendalian pencemaran udara untuk sumber tidak bergerak sebagai berikut:

- 1) Penambahan Ruang Terbuka Hijau (RTH)
- 2) Sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan
- 3) Perketat Pemantauan emisi industri

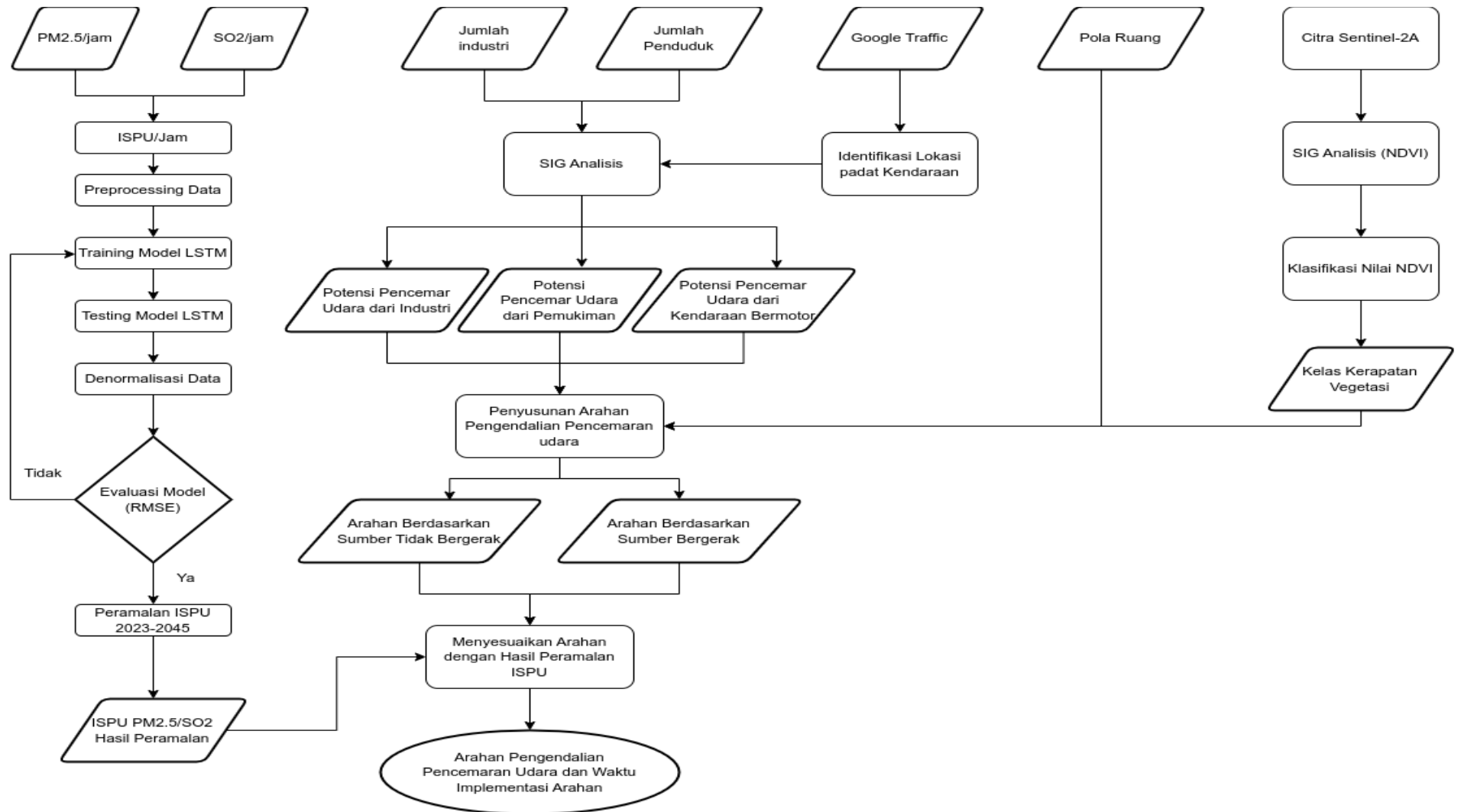
1.15.2 Arahan Berdasarkan Sumber Bergerak

Proses penyusunan arahan pengendalian pencemaran udara dari sumber bergerak menggunakan data jalan dengan atribut lokasi dan waktu kemacetan lalu lintas. Data jalan di *overlay* dengan NDVI menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis dengan tujuan mengidentifikasi NDVI disekitar lokasi kemacetan lalu lintas. Setelah itu di *overlay* dengan RTRW dengan tujuan mengidentifikasi peruntukan penggunaan ruang di sekitar lokasi kemacetan lalu lintas. Arahan pengendalian pencemaran udara disesuaikan dengan *trend* hasil peramalan pencemaran udara. Jika *trend* peramalan pencemaran udara mengalami peningkatan pencemaran yang tinggi dan cepat maka arahan pengendalian harus diterapkan secepat mungkin sebelum mencapai batas tingkat pencemaran udara yang berbahaya. Adapun arahan pengendalian pencemaran udara untuk sumber tidak bergerak sebagai berikut:

- 1) Penambahan Ruang Terbuka Hijau (RTH)
- 2) Mengurai kepadatan kendaraan
- 3) Menguji emisi kendaraan bermotor
- 4) Penggunaan transportasi ramah lingkungan

1.15.3 Bagan Alur Pengolahan Data

Berdasarkan dari penjelasan pengolahan data di atas, maka alur pengolahan data secara garis besar dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7: Bagan Alur Pengolahan Data Peramalan dan Arahana Pengendalian Pencemaran Udara Ambien

1.15.4 Dasar Arahan

Arahan pengendalian pencemaran udara ambien Kota Makassar yang digunakan pada penelitian ini mengacu kepada regulasi dan hasil penelitian. Adapun jenis arahan dan acuannya sebagai berikut:

1.15.4.1 Penambahan Ruang Terbuka Hijau (RTH)

Arahan ini bertujuan untuk mengurangi pencemaran udara yang bersumber dari industri dan pemukiman. Ruang terbuka hijau merupakan salah satu alternatif yang digunakan untuk mereduksi pencemaran udara (Abdullah & Boedisantoso, 2019; Kusminingrum, 2008; Rawung, 2015; Susanto & Komarawidjaja, 2018). RTH diatur dalam Undang-undang Nomor 26 tahun 2007 tentang penataan ruang bahwa setiap kota wajib memiliki ruang terbuka hijau minimal 30 % dari total luas wilayah kota. Pedoman penyediaan dan pemanfaatan ruang terbuka hijau di kawasan perkotaan di atur dalam peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 05/PRT/M2008. Penataan dan pengelolaan ruang terbuka hijau juga diatur pada peraturan daerah Kota Makassar No 3 tahun 2014. Beberapa jenis vegetasi yang memiliki kemampuan menyerap polutan dan baik untuk RTH di pemukiman dan industri adalah pohon dadap, kiara, jambu batu, jambu air, dan pohon tanjung. Pemilihan jenis dan penanaman vegetasi untuk RTH secara detail mengacu pada petunjuk teknis penanaman spesies pohon penyerap polutan udara yang di terbitkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK,2015).

1.15.4.2 Sosialisasi Penggunaan Peralatan Rumah Tangga Ramah Lingkungan

Arahan ini bertujuan untuk mengurangi pencemaran udara dari aktifitas rumah tangga sebagaimana arahan ini sejalan dengan peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang pedoman penyehatan udara dalam ruangan rumah.

1.15.4.3 Perketat Pemantauan Emisi Industri

Arahan ini bertujuan untuk menekan pencemaran udara langsung dari sumber pencemar. Arahan ini berdasarkan peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 tahun 2021 tentang baku mutu emisi mesin dengan pembakaran dalam. Permen LHK Nomor 13 tahun 2021 tentang sistem informasi

pemantauan emisi industri. Sanksi untuk industri yang menghasilkan emisi melebihi baku mutu mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

1.15.4.4 Penambahan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Sekitar Lokasi Rawan Padat Kendaraan.

Arahan ini sama halnya dengan arahan penambahan RTH di area pemukiman dan industri, namun pada arahan ini penempatan lokasi arahan di sekitar daerah rawan kemacetan dengan tujuan mereduksi pencemaran udara dari emisi gas buang kendaraan bermotor. RTH merupakan salah satu alternatif yang baik dalam mereduksi pencemaran udara dari emisi gas buang kendaraan (Nugraheni et al., 2018; Wa Ode Dwi Muja Lestari et al., 2021; Ym et al., 2021). Beberapa jenis vegetasi yang memiliki kemampuan menyerap polutan dan baik untuk RTH di sekitar lokasi padat kendaraan adalah pohon sonokeling, trengguli, asam keranji, angkana, pohon tanjung dan tanaman perdu seperti puring, canna, dan soka jepang. Pemilihan jenis dan penanaman vegetasi untuk RTH secara detail mengacu pada petunjuk teknis penanaman spesies pohon penyerap polutan udara yang diterbitkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2015).

1.15.4.5 Mengurai Kepadatan Kendaraan

Tujuan dari arahan ini adalah untuk mengurangi tingkat kemacetan/kepadatan kendaraan. Semakin tinggi tingkat kemacetan/kepadatan kendaraan maka semakin tinggi tingkat konsumsi bahan bakar yang mengakibatkan tinggi pula pencemaran yang dihasilkan (Ismiyati et al., 2014; Purwoko & Prastiwi, 2019; Putra et al., 2016). Untuk mengatasi pencemaran udara dari gas buang kendaraan maka dibutuhkan manajemen lalu lintas yang tepat (Kusminingrum, 2007).

1.15.4.6 Menguji Emisi Kendaraan Bermotor

Arahan ini bertujuan untuk menekan pencemaran udara langsung dari sumbernya dimana setiap kendaraan wajib melakukan uji emisi dan kendaraan yang boleh beroperasi hanya yang memenuhi standar baku mutu emisi gas buang kendaraan. Arahan ini tertuang dalam peraturan menteri LHK Nomor P.20/MENLHK/SETJEN/KUM.1/3/2017 tentang baku mutu emisi gas buang

kendaraan bermotor tipe baru kategori M, kategori N, dan kategori O. Arahan ini juga tertuang dalam Peraturan Gubernur Sulawesi Selatan Nomor 69 tahun 2010 tentang baku mutu dan kriteria kerusakan lingkungan hidup.

1.15.4.7 Penggunaan Transportasi Ramah Lingkungan

Arahan ini bertujuan untuk menekan pencemaran udara langsung dari sumbernya dengan menggunakan transportasi ramah lingkungan. Salah satu model transportasi ramah lingkungan yang populer saat ini adalah kendaraan yang menggunakan energi listrik. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, penggunaan transportasi ramah lingkungan khususnya kendaraan bermotor listrik dapat mengurangi emisi dari kendaraan bermotor (KESDM,2022). Arahan ini berdasarkan pada Peraturan Presiden No. 55 Tahun 2019, tentang percepatan program kendaraan bermotor listrik berbasis baterai (*battery electric vehicle*). Arahan ini juga berdasar pada Instruksi Presiden No. 7 Tahun 2022 tentang penggunaan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai sebagai kendaraan dinas operasional dan/atau kendaraan perorangan dinas instansi pemerintah pusat dan pemerintah daerah.

BAB III

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.16 Peramalan Pencemaran Udara

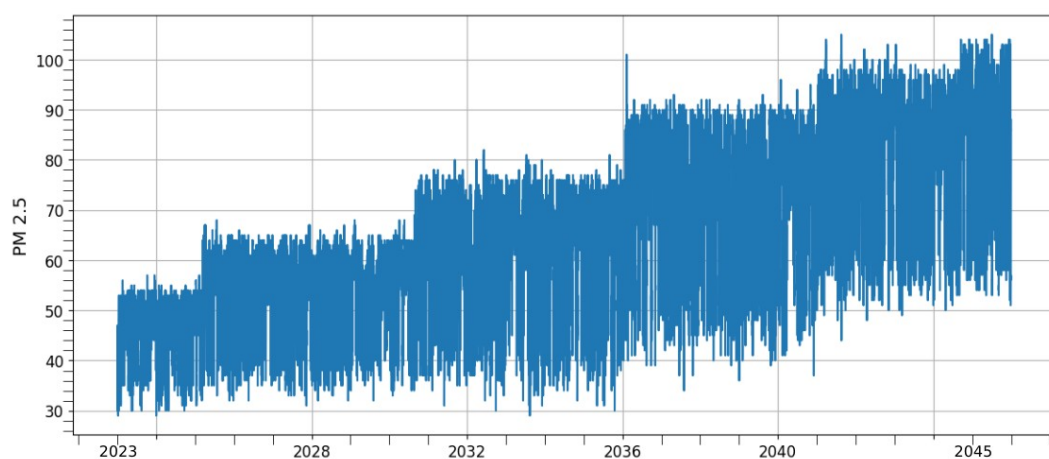
Hasil peramalan pencemaran udara menggunakan data masa lalu sebagai dasar peramalan. Peramalan ini tidak mempertimbangkan jika ada perubahan paradigma terkait sumber energi seperti konversi bahan bakar fosil ke sumber energi listrik. Peramalan pencemaran udara di kota Makassar menggunakan dua parameter yaitu partikulat (PM_{2.5}) dan sulfur dioksida (SO₂). Jumlah data yang digunakan pada proses pelatihan/training data PM_{2.5} adalah 14.977 data dan 13.219 data untuk SO₂. Sampel data PM_{2.5} dan SO₂ yang digunakan pada Lampiran 1. Setiap parameter memiliki model LSTM masing-masing dan pada proses pembuatan model dilakukan uji model sampai didapatkan model yang sesuai untuk setiap parameter pencemaran udara. Beberapa spesifikasi model yang perlu diatur sesuai kebutuhan data yaitu *LSTM Unit*, *Window Size*, *Batch Size*, *Epoch*, *Optimizer*, dan *Loss Function*. LSTM Unit adalah jumlah layer LSTM sedangkan *Window Size* adalah jumlah data yang digunakan untuk prediksi satu waktu kedepan. *Batch Size* adalah ruang data pelatihan/training, sedangkan *epoch* adalah setiap langkah dalam proses pelatihan data. *Optimizer* adalah algoritma yang mengoptimalkan kinerja model, sedangkan *Loss Function* adalah suatu fungsi yang menghitung kerugian saat pelatihan data. Pada pembuatan model, spesifikasi model LSTM terbaik yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Spesifikasi model LSTM PM_{2.5} dan SO₂

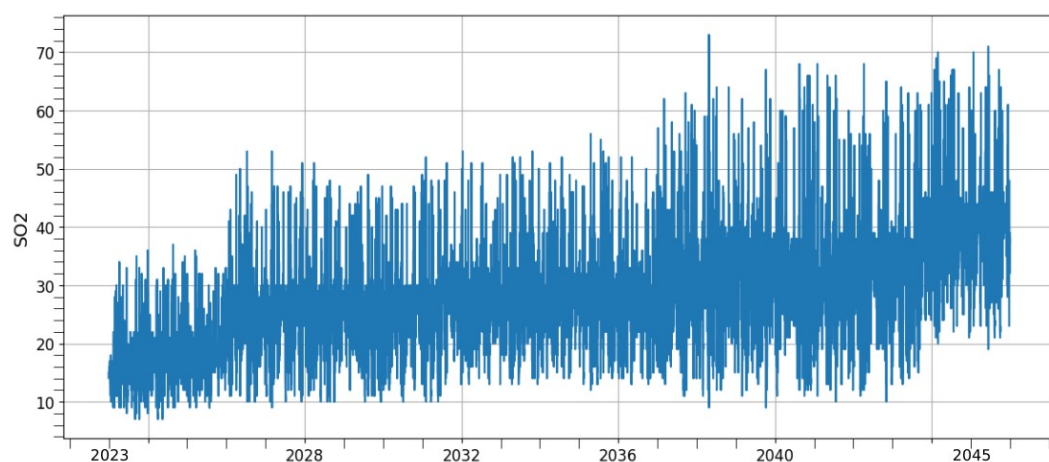
No	Nama	Spesifikasi	
		PM 2.5	SO2
1	LSTM Unit	64	64
2	Sliding window	48	48
3	Batch Size	64	64
4	Epoch	2000	3000
5	Optimizer	Adam	Adam
6	Loss Function	mean_squared_error	mean_squared_error

Hasil evaluasi model LSTM memiliki tingkat akurasi yang tinggi karena nilainya sudah sangat kecil, dimana untuk model PM2.5 memiliki nilai RMSE 1,1282 dan SO2 memiliki nilai RMSE 0,3429. Script model peramalan pencemaran udara parameter PM2.5 terdapat pada Lampiran 2 dan SO2 pada Lampiran 3.

Hasil peramalan pencemaran udara setiap jam dari tahun 2023-2045 untuk parameter PM 2.5 pada Gambar 8, sedangkan untuk parameter SO2 pada Gambar 9. Indeks standar pencemar udara (ISPU) kategori baik memiliki rentang nilai 0-50, kategori sedang 51-100, dan kategori tidak sehat 101-200. Pada ISPU PM2.5 dapat dilihat bahwa dominan datanya berada pada kategori sedang, sebagian data masih kategori baik dan sebagian lagi pada kategori tidak sehat. Parameter SO2 masih dominan ISPU kategori baik, meskipun sebagian pada kategori sedang.



Gambar 8. Hasil peramalan PM 2.5 per jam tahun 2023 - 2045



Gambar 9. Hasil peramalan SO2 per jam tahun 2023 - 2045

Hasil peramalan pencemaran udara dengan nilai ISPU rata-rata setiap bulan dari tahun 2023 sampai tahun 2045 untuk PM 2.5 dapat dilihat pada Tabel 8, sedangkan ISPU SO₂ pada Tabel 9. Nilai rata-rata ISPU PM_{2.5} dan SO₂ setiap tahun dapat dilihat pada Tabel 10. Indeks Standar Pencemar Udara PM_{2.5} mulai mengalami peningkatan yang signifikan pada tahun 2025, dimana nilai rata-rata pada tahun tersebut adalah 52 yang berarti ISPU kategori sedang. Peningkatan nilai ISPU SO₂ secara signifikan pada tahun 2026 dengan nilai rata-rata 25, namun kondisi tersebut masih ISPU kategori baik. Jika di presentasekan maka pada tahun 2025 ISPU PM_{2.5} kategori baik 43,38% sedangkan kategori sedang 56,52% dari total waktu pada tahun tersebut. Data lengkap presentase ISPU PM_{2.5} setiap tahun pada Tabel 11. Persentase ISPU SO₂ tahun 2026 kategori baik 99,86% sedangkan kategori sedang 0.14% dan data lengkap pada Tabel 12.

Tabel 8. Rata-rata nilai ISPU PM_{2.5} per bulan tahun 2023 - 2045

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
2023	40	44	47	47	44	47	47	44	44	46	47	50
2024	41	46	44	45	49	47	46	46	46	48	45	48
2025	48	45	52	54	51	53	58	55	49	49	50	55
2026	52	51	53	58	52	51	52	54	53	55	59	54
2027	49	49	49	56	50	48	52	53	53	54	53	55
2028	47	50	49	50	50	50	48	53	51	51	53	49
2029	53	58	53	50	47	55	50	48	51	58	56	56
2030	54	51	52	59	56	58	52	48	55	64	53	65
2031	60	61	64	56	60	60	55	66	61	61	68	53
2032	56	53	60	60	55	63	64	59	62	62	55	53
2033	65	65	69	60	53	60	68	58	57	58	62	56
2034	59	59	62	55	59	61	62	57	66	66	65	62
2035	60	59	59	61	64	62	56	64	64	58	62	61
2036	61	78	71	71	76	73	67	72	74	79	77	73
2037	77	72	70	68	68	73	71	73	60	66	74	72
2038	79	74	75	62	70	77	71	70	70	63	66	73
2039	75	75	67	70	69	72	75	71	62	68	70	69
2040	76	72	72	82	81	78	65	76	68	79	79	68
2041	77	82	81	77	76	73	81	79	78	78	84	82
2042	80	86	84	76	87	79	78	79	76	91	82	85
2043	86	79	77	75	76	78	76	82	73	86	83	78
2044	84	88	84	79	74	77	83	78	84	91	83	81
2045	76	86	85	83	80	80	81	80	80	82	82	82

Tabel 9. Rata-rata nilai ISPU SO2 per bulan tahun 2023 - 2045

Tahun	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
2023	14	15	16	18	17	16	18	16	16	17	18	18
2024	17	17	19	15	16	18	18	18	18	18	19	21
2025	17	18	18	19	18	18	17	18	21	18	21	20
2026	26	22	25	26	26	26	26	23	20	23	25	25
2027	24	21	27	26	25	28	21	24	25	29	24	25
2028	26	22	23	26	23	25	26	24	25	24	26	26
2029	25	27	28	26	25	25	20	25	23	25	25	21
2030	23	25	25	27	25	24	20	27	26	25	27	27
2031	25	25	22	23	22	25	30	26	29	27	28	28
2032	29	27	24	25	25	26	31	28	23	28	28	29
2033	27	29	26	22	31	25	29	29	30	28	24	27
2034	25	27	28	28	28	28	31	27	28	28	30	30
2035	28	27	27	24	28	24	29	29	29	27	25	26
2036	28	24	28	28	25	29	27	26	28	25	28	31
2037	28	26	29	29	30	32	29	27	25	33	33	34
2038	30	28	33	30	28	34	29	28	32	33	29	30
2039	34	34	31	27	31	31	28	29	31	32	31	33
2040	27	30	35	34	30	32	31	31	30	29	28	31
2041	32	29	32	30	33	29	31	31	26	31	31	29
2042	30	29	26	30	28	34	34	30	30	30	34	27
2043	31	34	33	32	30	30	34	35	35	39	38	36
2044	39	37	38	38	40	41	42	38	41	37	39	37
2045	43	37	40	41	40	40	39	35	36	43	41	38

Tabel 10. Rata-rata nilai ISPU PM2.5 dan SO2 per tahun (2023-2045)

Tahun	ISPU PM2.5		ISPU SO2	
	Nilai	Kategori	Nilai	Kategori
2023	46	Baik	17	Baik
2024	46	Baik	18	Baik
2025	52	Sedang	18	Baik
2026	54	Sedang	25	Baik
2027	52	Sedang	25	Baik
2028	50	Sedang	24	Baik
2029	53	Sedang	24	Baik
2030	55	Sedang	25	Baik
2031	60	Sedang	26	Baik
2032	59	Sedang	27	Baik
2033	61	Sedang	27	Baik
2034	61	Sedang	28	Baik
2035	61	Sedang	27	Baik
2036	73	Sedang	27	Baik

Lanjutan Tabel 10.

Tahun	ISPU PM2.5		ISPU SO2	
	Nilai	Kategori	Nilai	Kategori
2037	70	Sedang	30	Baik
2038	71	Sedang	31	Baik
2039	70	Sedang	31	Baik
2040	75	Sedang	31	Baik
2041	79	Sedang	30	Baik
2042	82	Sedang	30	Baik
2043	79	Sedang	34	Baik
2044	82	Sedang	39	Baik
2045	81	Sedang	39	Baik

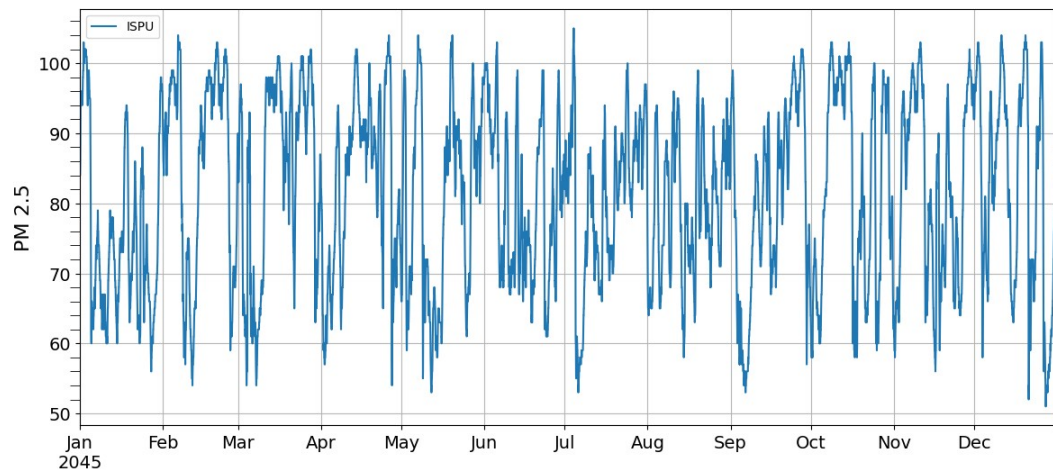
Tabel 11. Persentase ISPU PM2.5 per tahun (2023-2045)

Tahun	Kategori ISPU						Total
	Baik		Sedang		Tidak Sehat		
	Jumlah Jam	%	Jumlah Jam	%	Jumlah Jam	%	
2023	6.489	74,08	2.271	25,92	0	0	8.760
2024	6.369	72,51	2.415	27,49	0	0	8.784
2025	3.809	43,48	4.951	56,52	0	0	8.760
2026	2.826	32,26	5.934	67,74	0	0	8.760
2027	3.783	43,18	4.977	56,82	0	0	8.760
2028	4.828	54,96	3.956	45,04	0	0	8.784
2029	3.437	39,24	5.323	60,76	0	0	8.760
2030	2.831	32,32	5.929	67,68	0	0	8.760
2031	2.167	24,74	6.593	75,26	0	0	8.760
2032	2.872	32,70	5.912	67,30	0	0	8.784
2033	2.068	23,61	6.692	76,39	0	0	8.760
2034	2.019	23,05	6.741	76,95	0	0	8.760
2035	2.190	25,00	6.570	75,00	0	0	8.760
2036	691	7,87	8.092	92,12	1	0,01	8.784
2037	645	7,36	8.115	92,64	0	0	8.760
2038	643	7,34	8.117	92,66	0	0	8.760
2039	630	7,19	8.130	92,81	0	0	8.760
2040	348	3,96	8.436	96,04	0	0	8.784
2041	12	0,14	8.661	98,87	87	0,99	8.760
2042	12	0,14	8.665	98,92	83	0,95	8.760
2043	4	0,05	8.750	99,89	6	0,07	8.760
2044	2	0,02	8.474	96,47	308	3,51	8.784
2045	0	0,00	8.144	92,97	616	7,03	8.760
Total	48.675	24,14	151.848	75,31	1101	0,55	201.624

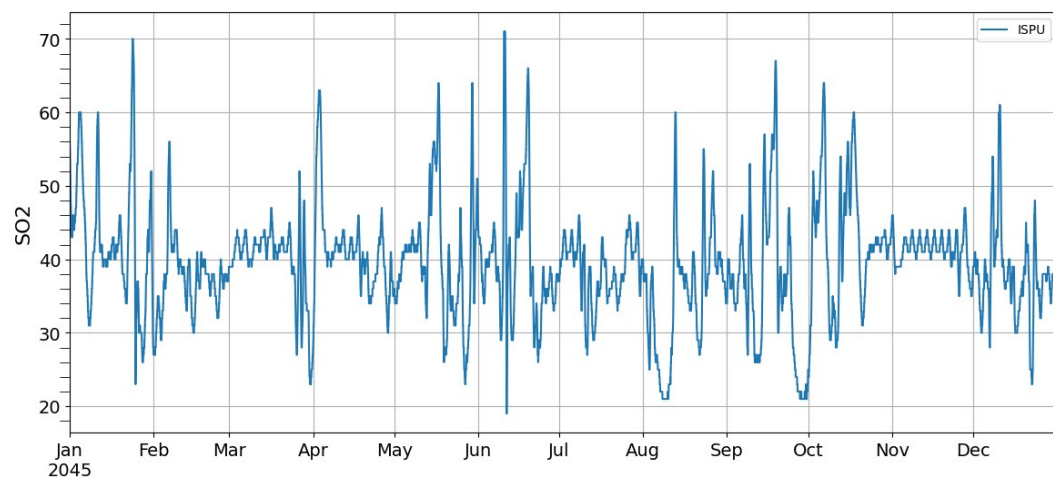
Tabel 12. Persentase ISPU SO2 per tahun (2023-2045)

Tahun	Kategori ISPU				Total
	Baik		Sedang		
	Jumlah Jam	%	Jumlah Jam	%	
2023	8.760	100	0	0	8.760
2024	8.784	100	0	0	8.784
2025	8.760	100	0	0	8.760
2026	8.748	99,86	12	0,14	8.760
2027	8.751	99,90	9	0,10	8.760
2028	8.780	99,95	4	0,05	8.784
2029	8.760	100	0	0	8.760
2030	8.760	100	0	0	8.760
2031	8.744	99,82	16	0,18	8.760
2032	8.763	99,76	21	0,24	8.784
2033	8.727	99,62	33	0,38	8.760
2034	8.751	99,90	9	0,10	8.760
2035	8.703	99,35	57	0,65	8.760
2036	8.770	99,84	14	0,16	8.784
2037	8.540	97,49	220	2,51	8.760
2038	8.559	97,71	201	2,29	8.760
2039	8.604	98,22	156	1,78	8.760
2040	8.439	96,07	345	3,93	8.784
2041	8.522	97,28	238	2,72	8.760
2042	8.554	97,65	206	2,35	8.760
2043	8.492	96,94	268	3,06	8.760
2044	8.201	93,36	583	6,64	8.784
2045	8.091	92,36	669	7,64	8.760
Total	198.563	98,48	3061	1,52	201.624

Pada tahun 2045 nilai ISPU PM2.5 setiap jam diatas angka 50 yang berarti sudah melewati ambang batas nilai kategori baik, sedangkan untuk SO2 masih dominan dibawah angka 50. Secara detail nilai ISPU setiap jam pada tahun 2045 untuk PM2.5 pada Gambar 10, dan SO2 pada Gambar 11. Persentase kategori ISPU PM2.5 pada tahun 2045 adalah 92,97% kategori sedang atau 8.144 jam, sedangkan kategori tidak sehat 7,03% atau 616 jam. Persentase kategori ISPU SO2 pada tahun 2045 adalah 92,36% kategori baik atau 8.091 jam, sedangkan kategori sedang 7,64% atau 669 jam. Untuk persentase per bulan PM2.5 dapat dilihat pada Tabel 13, sedangkan SO2 pada Tabel 14.



Gambar 10. Hasil peramalan PM 2.5 per jam tahun 2045



Gambar 11. Hasil peramalan SO2 per jam tahun 2045

Tabel 13. Persentase kategori ISPU PM2.5 per bulan tahun 2045

Bulan	Kategori Sedang		Kategori Tidak Sehat		Total
	Jumlah Jam	%	Jumlah Jam	%	
Januari	712	95,70	32	4,30	744
Februari	590	87,80	82	12,20	672
Maret	681	91,53	63	8,47	744
April	655	90,97	65	9,03	720
Mei	688	92,47	56	7,53	744
Juni	689	95,69	31	4,31	720
Juli	729	97,98	15	2,02	744
Agustus	744	100	0	0	744
September	682	94,72	38	5,28	720

Lanjutan Tabel 13.

Bulan	Kategori Sedang		Kategori Tidak Sehat		Total
	Jumlah Jam	%	Jumlah Jam	%	
Oktober	662	88,98	82	11,02	744
November	675	93,75	45	6,25	720
Desember	637	85,62	107	14,38	744
Total	8.144	92,97	616	7,03	8.760

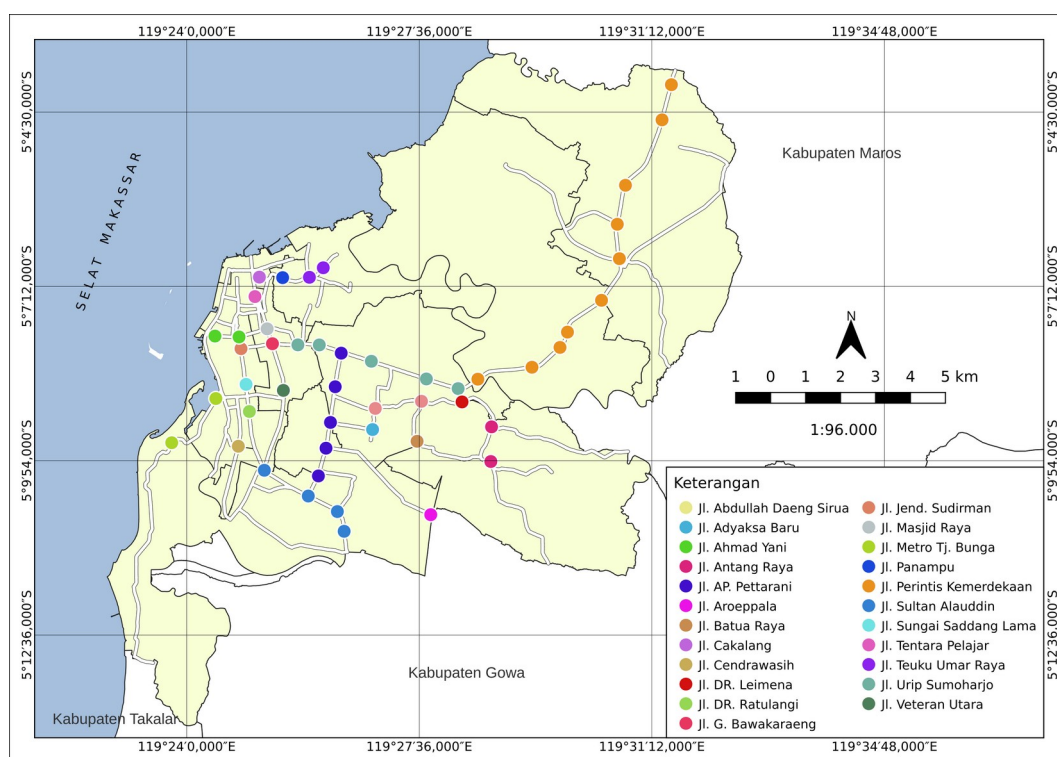
Tabel 14. Persentase kategori ISPU SO2 per bulan tahun 2045

Bulan	Kategori Baik		Kategori Sedang		Total
	Jumlah Jam	%	Jumlah Jam	%	
Januari	609	81,85	135	18,15	744
Februari	655	97,47	17	2,53	672
Maret	740	99,46	4	0,54	744
April	668	92,78	52	7,22	720
Mei	646	86,83	98	13,17	744
Juni	639	88,75	81	11,25	720
Juli	744	100,00	0	0,00	744
Agustus	709	95,30	35	4,70	744
September	637	88,47	83	11,53	720
Oktober	612	82,26	132	17,74	744
November	720	100,00	0	0,00	720
Desember	712	95,70	32	4,30	744
Total	8091	92,36	669	7,64	8760

1.17 Identifikasi Sumber Pencemar Udara dari Kendaraan Bermotor

Mengidentifikasi sumber pencemar udara dari kendaraan bermotor di Kota Makassar dilakukan dengan mencari lokasi kepadatan kendaraan. Identifikasi dilakukan pada jalan yang berfungsi sebagai jalan arteri primer, jalan arteri sekunder dan jalan kolektor sekunder di kota Makassar. Proses identifikasi dilakukan pada pagi hari jam 06.30 – 08.00 WITA, siang hari jam 12.00 – 14.00 WITA, dan sore hari jam 16.00 – 19.30 WITA. Proses identifikasi menggunakan google traffic dengan mengamati lokasi jalan yang mengalami perlambatan laju kendaraan. Kondisi jalan yang mengalami perlambatan kendaraan ditandai dengan perubahan warna jalan, warna hijau menandakan lancar, orange lambat dan merah sangat lambat. Penentuan titik lokasi padat kendaraan berdasarkan pada warna orange dan merah, adapun tampilan google traffic saat identifikasi dapat dilihat pada Lampiran 4. Hasil identifikasi sumber pencemar udara dari

kendaraan bermotor selama satu minggu (tujuh hari) yaitu tanggal 24 Oktober sampai tanggal 30 Oktober tahun 2022 dan menghasilkan 48 titik lokasi kepadatan kendaraan yang memiliki potensi lokasi terjadinya pencemaran udara tinggi dari kendaraan bermotor di kota Makassar. Titik lokasi kepadatan kendaraan terbanyak pada jalan perintis kemerdekaan dengan 10 titik lokasi, kemudian jalan Andi Pangeran Pettarani dan jalan Urip Sumoharjo dengan masing-masing 5 titik lokasi. Adapun titik lokasi yang dimaksud terdapat pada Gambar 12.

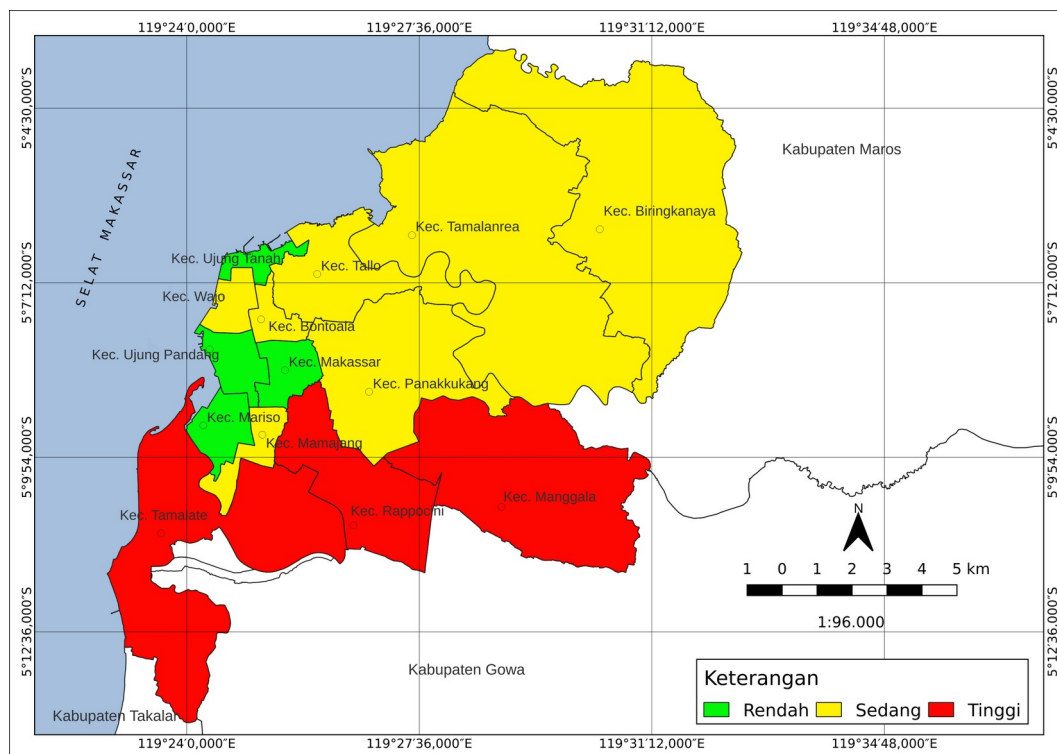


Gambar 12. Titik lokasi kepadatan kendaraan di Kota Makassar

1.18 Identifikasi Sumber Pencemar Udara dari Industri

Jumlah industri di kota Makassar berdasarkan data Badan Pusat Statistik kota Makassar sejumlah 1.113. dimana 1 diantaranya berada pada kecamatan kepulauan Sangkarran. Identifikasi hanya difokuskan pada 14 kecamatan di daratan pulau Sulawesi yang menjadi lokus kajian. Potensi pencemaran udara dari industri diklasifikasi menjadi tiga kelas berdasarkan potensi pencemar pada setiap kecamatan yaitu kelas rendah, sedang, dan tinggi. Proses klasifikasi

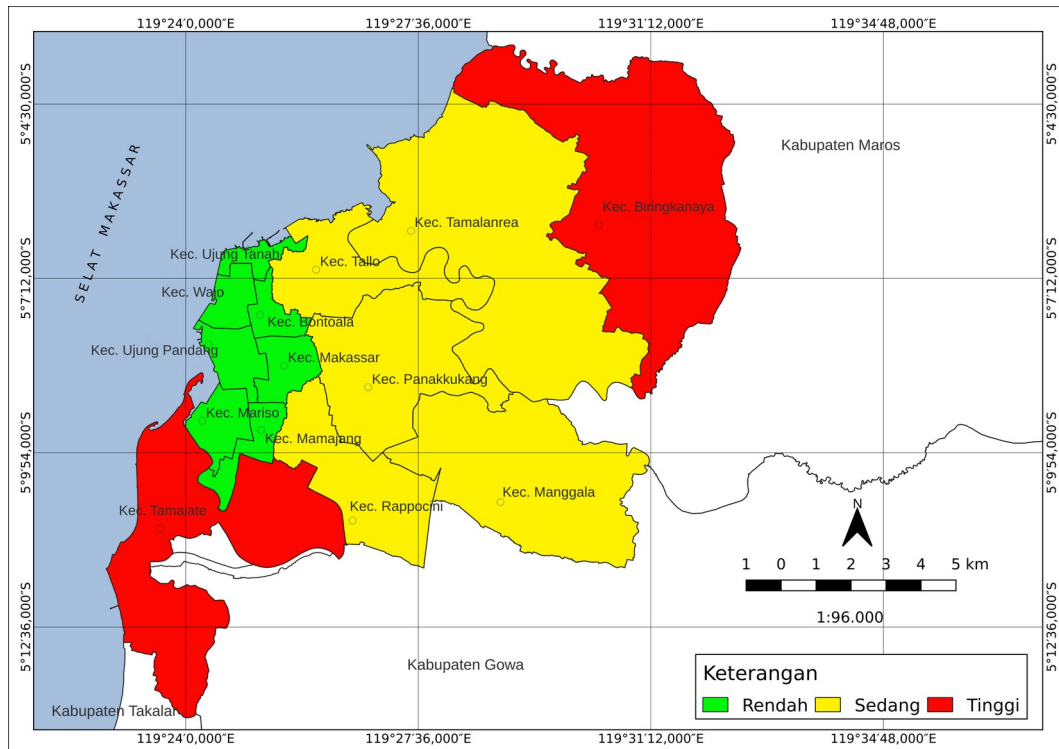
menggunakan metode *Jenks Natural Break Classification* yang merupakan metode bawaan dari aplikasi sistem informasi geografis. Berdasarkan hasil klasifikasi bahwa tiga kecamatan memiliki potensi tinggi, tujuh kecamatan potensi sedang dan empat kecamatan memiliki potensi rendah. Hasil klasifikasi potensi pencemaran udara dari industri terdapat pada Gambar 13.



Gambar 13. Potensi pencemar udara dari industri di Kota Makassar

1.19 Identifikasi Sumber Pencemar Udara dari Pemukiman

Proses identifikasi sumber pencemar udara dari pemukiman menggunakan metode yang sama dengan identifikasi sumber pencemar udara dari industri dan yang menjadi perbedaan adalah jenis data yang digunakan. Pada proses identifikasi ini data yang digunakan adalah jumlah penduduk pada setiap kecamatan, kemudian diklasifikasi yang menghasilkan tiga kelas potensi pencemar yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Berdasarkan hasil klasifikasi bahwa dua kecamatan memiliki potensi tinggi, lima kecamatan potensi sedang dan tujuh kecamatan memiliki potensi rendah. Hasil klasifikasi potensi sumber pencemar udara dari pemukiman terdapat pada Gambar 14.



Gambar 14. Potensi pencemar udara dari pemukiman di Kota Makassar

1.20 Identifikasi Kerapatan Vegetasi

Mengidentifikasi kerapatan vegetasi kota Makassar menggunakan data Band 8 dan Band 4 dari citra satelit sentinel-2A bulan September tahun 2022. Proses identifikasi menghasilkan tiga kelas kerapatan vegetasi yaitu rendah, sedang, dan tinggi yang merupakan hasil klasifikasi dari nilai NDVI. Keterangan detail dari kelas kerapatan vegetasi pada Tabel 15.

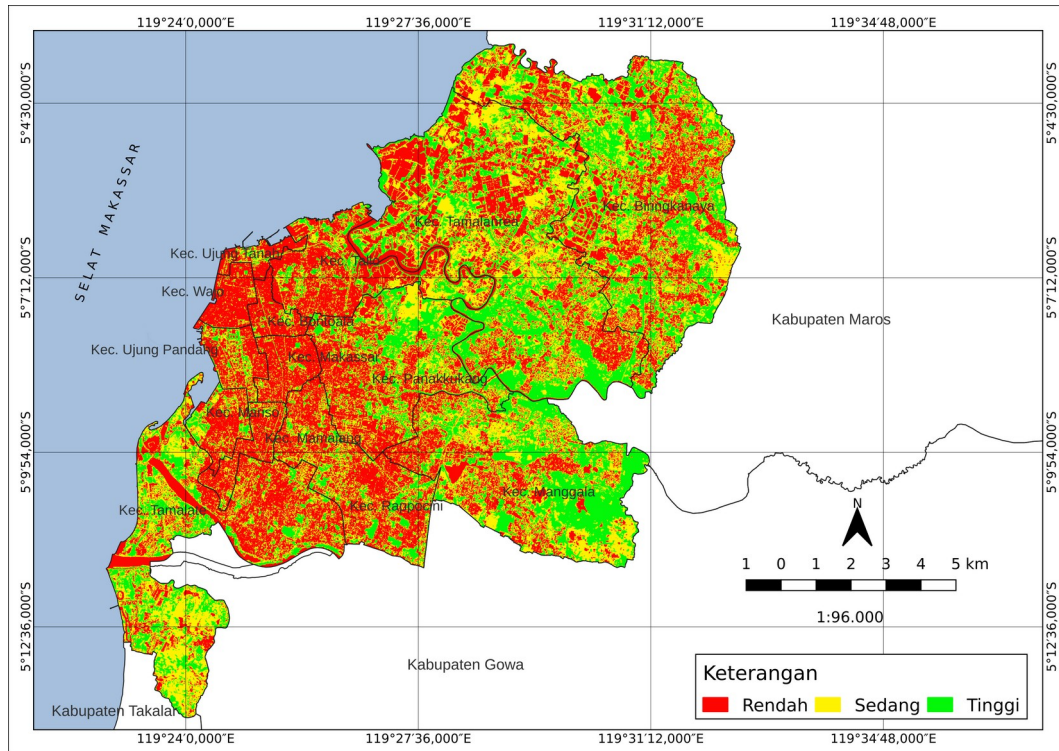
Tabel 15. Kelas kerapatan vegetasi

No	Kelas Kerapatan	Keterangan	NDVI
1	Rendah	Lahan kosong, Bangunan, Jaringan jalan, Badan Air	-1 – 0,199
2	Sedang	Semak belukar, Padang rumput, Pohon kerapatan rendah	0,2 – 0,5
3	Tinggi	Hutan Kota dan Pohon kerapatan tinggi	0,501 - 1

Sumber: Hashim et al., 2019

Berdasarkan hasil klasifikasi, luas kerapatan vegetasi kelas rendah $\pm$ 6.892, 34 Ha atau 39,52%, kelas sedang $\pm$ 6.116,71 atau 35,07%, dan kelas

tinggi $\pm 4.432,3$ atau 25,41% dari total luas kota Makassar. Visualisasi hasil klasifikasi kerapatan vegetasi di Kota Makassar dapat dilihat pada Gambar 15, sedangkan luas kerapatan vegetasi setiap kecamatan pada Tabel 16.



Gambar 15. Klasifikasi kerapatan vegetasi di kota Makassar

Tabel 16. Luas kerapatan vegetasi per kecamatan di kota Makassar

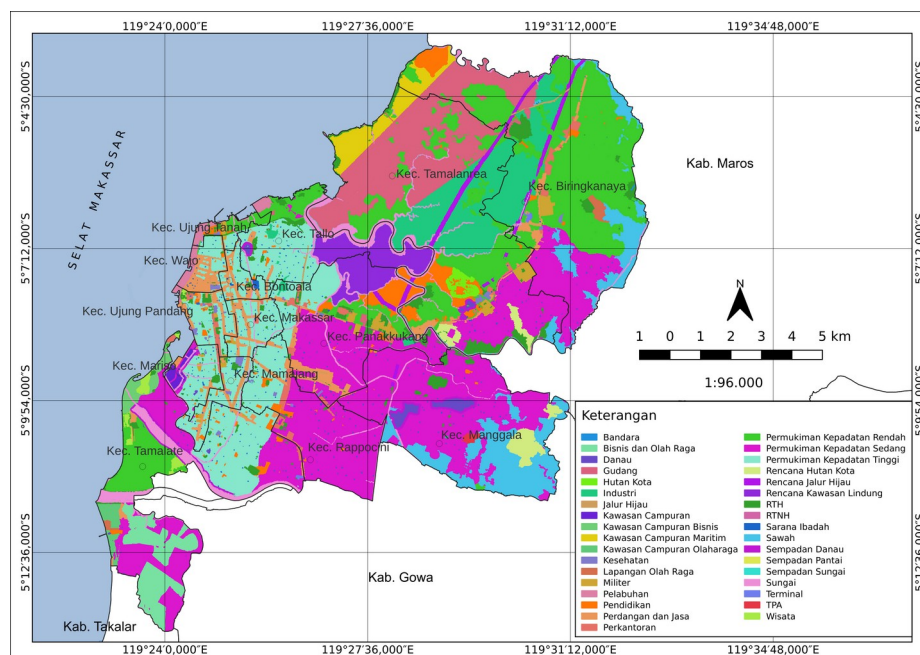
No	Kecamatan	Rendah		Sedang		Tinggi		Total
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	
1	Biring Kanaya	1.178,09	32,03	1.397,76	38,00	1.102,45	29,97	3.678,31
2	Bontoala	133,65	76,90	30,36	17,47	9,79	5,63	173,80
3	Makassar	202,08	76,16	50,85	19,16	12,43	4,68	265,35
4	Mamajang	172,29	68,67	65,08	25,94	13,51	5,39	250,87
5	Manggala	593,67	25,93	833,67	36,41	862,37	37,66	2.289,71
6	Mariso	154,24	55,33	84,08	30,16	40,47	14,52	278,80
7	Panakkukang	639,56	40,79	536,00	34,19	392,25	25,02	1.567,81
8	Rappocini	595,88	54,38	340,37	31,06	159,49	14,56	1.095,74
9	Tallo	548,56	57,10	270,09	28,11	142,10	14,79	960,74
10	Tamalanrea	1.350,09	35,01	1.391,42	36,08	1.114,55	28,90	3.856,05

Lanjutan Tabel 16.

No	Kecamatan	Rendah		Sedang		Tinggi		Total
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	
11	Tamalate	901,84	37,31	980,70	40,57	534,55	22,12	2.417,09
12	Ujung Pandang	156,15	58,30	78,64	29,36	33,04	12,34	267,83
13	Ujung Tanah	92,51	68,65	31,27	23,20	10,98	8,15	134,76
14	Wajo	173,74	84,96	26,44	12,93	4,32	2,11	204,50
Total		6.892,34	39,52	6.116,71	35,07	4.432,30	25,41	17.441,35

1.21 Arahan Pengendalian Pencemaran Udara

Arahan pengendalian pencemaran udara dibagi dalam dua kelompok arahan yaitu arahan berdasarkan sumber tidak bergerak dan arahan berdasarkan sumber bergerak. Arahan pengendalian pencemaran udara merupakan perencanaan ruang sehingga dalam penyusunan arahan dikombinasikan dengan rencana pola ruang yang merupakan bagian dari rencana tata ruang wilayah ruang kota Makassar tahun 2015 -2034. Rencana pola ruang yang digunakan disesuaikan dengan lokus kajian yaitu pada 14 kecamatan di kota Makassar. Adapun peta rencana pola ruang kota Makassar pada Gambar 16.



Gambar 16. Rencana pola ruang kota Makassar tahun 2015-2034

Sumber: Dinas Penataan Ruang kota Makassar

1.21.1 Arahan Berdasarkan Sumber Tidak Bergerak

Terdapat tiga arahan pengendalian pencemaran udara untuk sumber tidak bergerak yaitu pemantauan emisi industri, sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan, dan arahan penambahan ruang terbuka hijau. Arahan pemantauan emisi industri berdasarkan potensi pencemar udara dari industri dan arahan sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan berdasarkan sumber pencemar dari pemukiman. Arahan penambahan ruang terbuka hijau disusun dengan kombinasi data sumber pencemar udara dari industri, sumber pencemar udara dari pemukiman, kerapatan vegetasi, dan pola ruang. Penetapan lokasi yang membutuhkan ruang terbuka hijau dibagi dalam dua kelompok prioritas dan kriteria penetapan lokasi prioritas pada tabel 17.

Tabel 17. Kriteria penetapan lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH

No	Pola Ruang	Kerapatan Vegetasi	RTH
1	Industri dan Pemukiman	Rendah dan Sedang	Prioritas 1
2	Semua jenis pola ruang kecuali industri, pemukiman, sawah dan badan air	Rendah dan Sedang	Prioritas 2
3	Semua jenis pola ruang	Tinggi	Tidak prioritas
4	Badan air dan sawah	Rendah, Sedang, Tinggi	Tidak prioritas

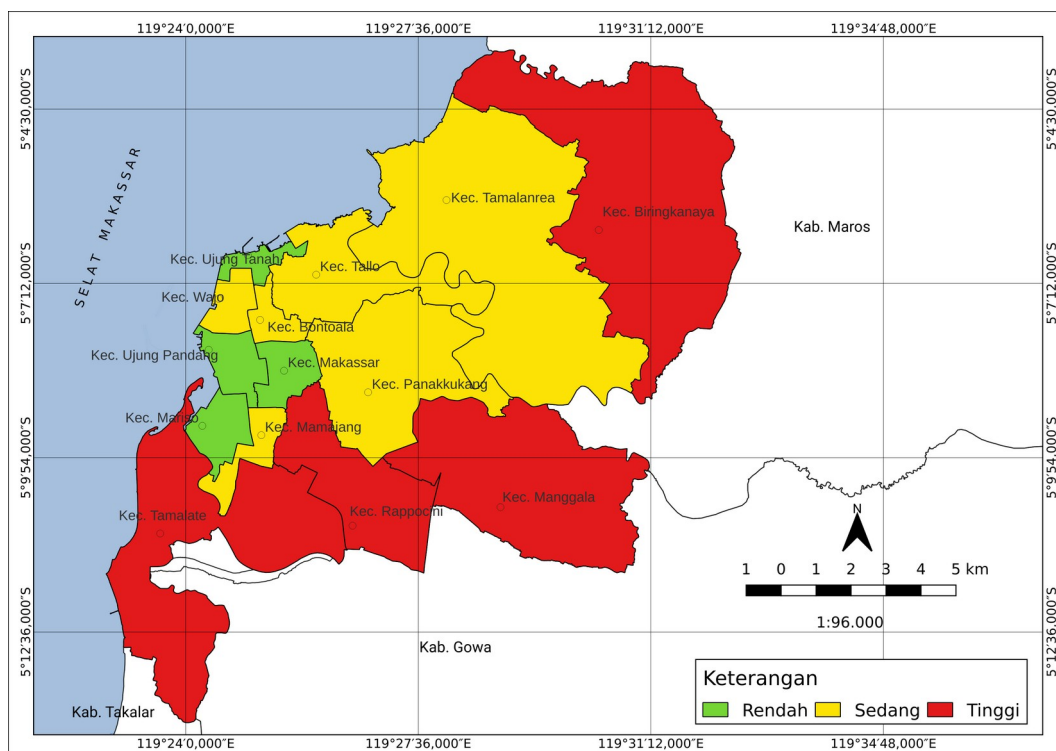
Kelompok prioritas pertama untuk pola ruang yang menjadi sumber utama pencemar udara dan memiliki kerapatan vegetasi rendah dan sedang. Kelompok prioritas kedua menjadi lokasi alternatif untuk ruang terbuka hijau jika terjadi kendala ketersediaan lahan pada lokasi prioritas pertama. Jenis pola ruang pada kategori prioritas kedua yaitu semua jenis pola ruang yang memiliki kerapatan vegetasi rendah dan sedang seperti pola ruang perkantoran, pendidikan, perdagangan dan lain-lain kecuali badan air dan sawah. Wilayah yang tidak masuk kedua kategori tersebut menjadi wilayah yang tidak prioritas untuk ruang terbuka hijau karena memiliki kerapatan vegetasi yang tinggi serta memiliki pola ruang badan air dan sawah. Data lengkap dapat dilihat pada Lampiran 5. Lokasi yang membutuhkan ruang terbuka hijau masih bersifat indikatif karena lokasi tersebut masih sangat luas, sehingga untuk melakukan penambahan RTH pada lokasi tersebut perlu analisis lebih lanjut. Analisis yang

dimaksud adalah menentukan lokasi yang tepat dan bisa digunakan untuk membangun RTH serta analisis luas kebutuhan RTH pada lokasi tersebut.

Dalam memudahkan implementasi arahan pengendalian pencemaran udara maka setiap kecamatan dikelompokkan dalam tiga tingkat prioritas implementasi pengendalian yaitu kecamatan prioritas pertama, prioritas kedua, dan prioritas ketiga. Waktu yang tepat untuk memulai implementasi arahan pengendalian tergantung pada hasil peramalan pencemaran udara. Selain memudahkan, penetapan kecamatan prioritas dan waktu implementasi diharapkan menjadi efektif dalam pengendalian pencemaran udara. Penetapan kecamatan prioritas berdasarkan pada potensi sumber pencemar pada setiap kecamatan. Penentuan potensi sumber pencemar berdasarkan potensi pencemar dari industri dan pemukiman. Setiap kelas potensi pencemar diberi skor/nilai, kelas potensi rendah bernilai 1, potensi sedang bernilai 2, dan potensi tinggi bernilai 3. Setelah pemberian nilai maka nilai potensi pencemar dari industri dan pemukiman dijumlahkan kemudian diklasifikasi dengan metode Jenks Natural Break Classification. Hasil klasifikasi menghasilkan kelas potensi sumber pencemar sebagaimana pada Tabel 18, sedangkan peta potensi pencemar udara terdapat pada Gambar 17.

Tabel 18. Kriteria penetapan potensi pencemar udara

No	Nilai/Skor Kelas Potensi Pencemar Udara	Kelas Potensi Pencemar Udara
1	5 - 6	Tinggi
2	3 - 4	Sedang
3	2	Rendah



Gambar 17. Potensi pencemar udara per kecamatan di Kota Makassar

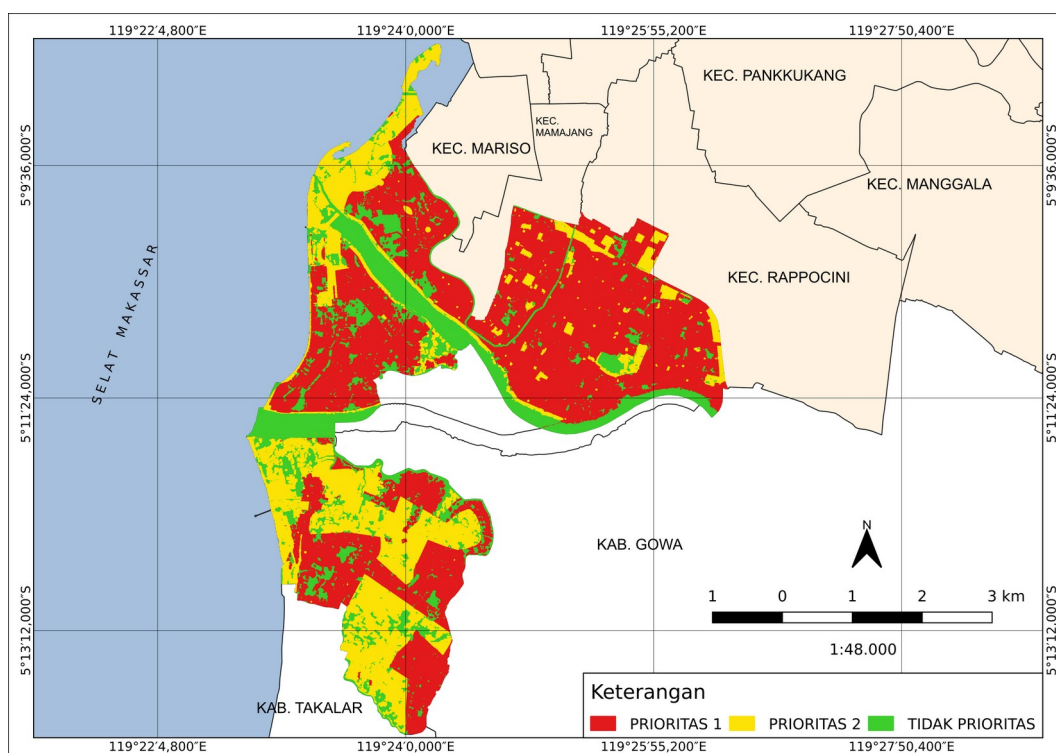
1.21.1.1 Kecamatan Prioritas Pertama

Berdasarkan pada potensi pencemar udara pada setiap kecamatan maka kecamatan yang memiliki potensi pencemar tinggi menjadi prioritas pertama dalam implementasi arahan pengendalian pencemaran udara. Terdapat empat kecamatan yang masuk pada prioritas pertama yaitu Kecamatan Tamalate, Kecamatan Rappocini, Kecamatan Manggala, dan Kecamatan Biring Kanaya.

1.21.1.1.1 Kecamatan Tamalate

Luas Kecamatan Tamalate $\pm 2.417,09$ Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas $\pm 1.483,77$ Ha atau 61,39% dari total luas kecamatan. Sumber pencemar udara dari industri dan pemukiman kategori tinggi dengan jumlah industri 130 dan jumlah penduduk 181.533 jiwa. Berdasarkan pola ruang, Kecamatan Tamalate tidak memiliki pola ruang untuk peruntukan industri. Kemungkinan besar industri yang ada pada kecamatan ini berada pada pola ruang pemukiman atau pola ruang lainnya, sehingga perlu pemantauan emisi

industri secara ketat dan sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan. Arahkan prioritas pertama untuk penambahan RTH berada pada pola ruang pemukiman, sehingga pemanfaatan pekarangan rumah dan tepian jalan bisa menjadi solusi untuk penambahan vegetasi. Selain itu pemanfaatan atap bangunan bisa untuk membangun RTH (*Roof Garden*). Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang untuk Bisnis dan Olah Raga. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Tamalate pada Gambar 18.

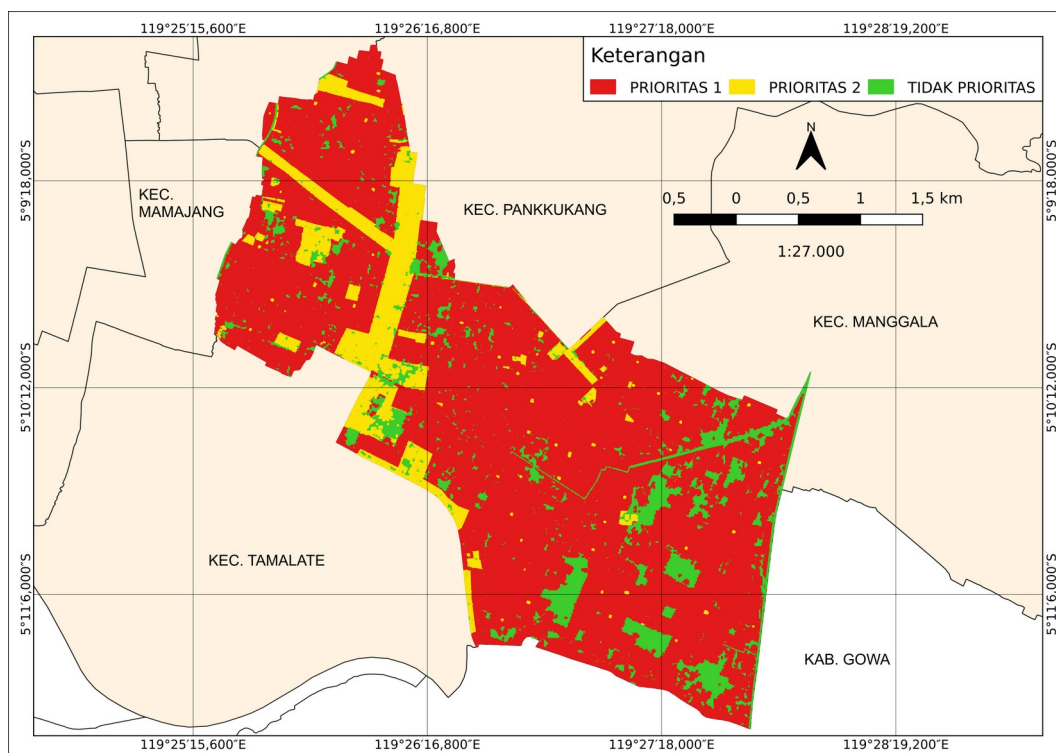


Gambar 18. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Tamalate

1.21.1.1.2 Kecamatan Rappocini

Luas Kecamatan Rappocini $\pm 1.095,74$ Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas $\pm 962,03$ Ha atau 87,80% dari total luas kecamatan. Sumber pencemar udara dari industri kategori tinggi dengan jumlah industri 153, sedangkan sumber pencemar dari pemukiman kategori sedang jumlah penduduk 144.619 jiwa. Kecamatan Rappocini sama dengan Kecamatan Tamalate yang tidak memiliki pola ruang peruntukan industri tetapi memiliki potensi pencemar udara dari industri kategori tinggi. Industri yang ada di kecamatan ini kemungkinan besar berada pada pola ruang pemukiman atau pola

ruang lainnya, sehingga perlu pemantauan emisi industri secara ketat. Sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan tetap diperlukan untuk menekan sumber pencemar udara dari pemukiman. Arahkan prioritas pertama untuk penambahan RTH pada kecamatan ini berada pada pola ruang pemukiman, sehingga pemanfaatan pekarangan rumah dan tepian jalan bisa menjadi solusi untuk penambahan vegetasi. Selain itu pemanfaatan atap bangunan bisa untuk membangun RTH (*Roof Garden*). Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang untuk pendidikan, perdagangan dan jasa, serta perkantoran. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Rappocini pada Gambar 19.

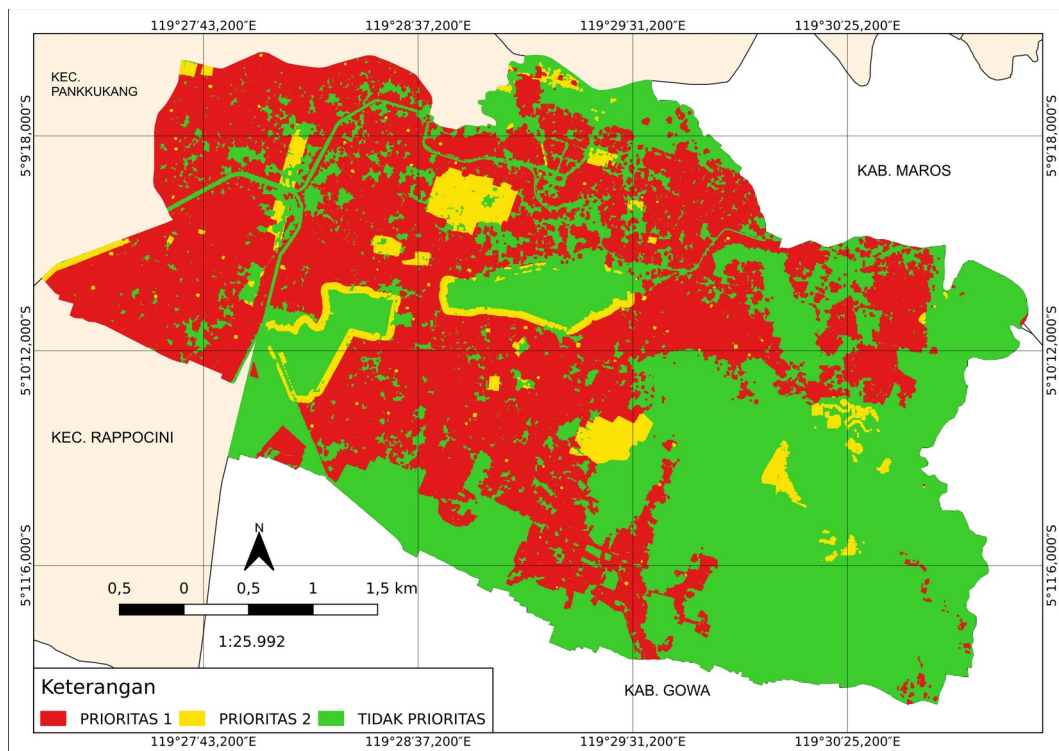


Gambar 19. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Rappocini

1.21.1.1.3 Kecamatan Manggala

Luas Kecamatan Manggala $\pm 2.289,71$ Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas $\pm 1.307,45$ Ha atau 57,10% dari total luas kecamatan. Potensi pencemar udara dari industri kategori tinggi dengan jumlah industri 158 dan merupakan kecamatan yang memiliki industri terbanyak, sedangkan sumber pencemar dari pemukiman kategori sedang jumlah penduduk

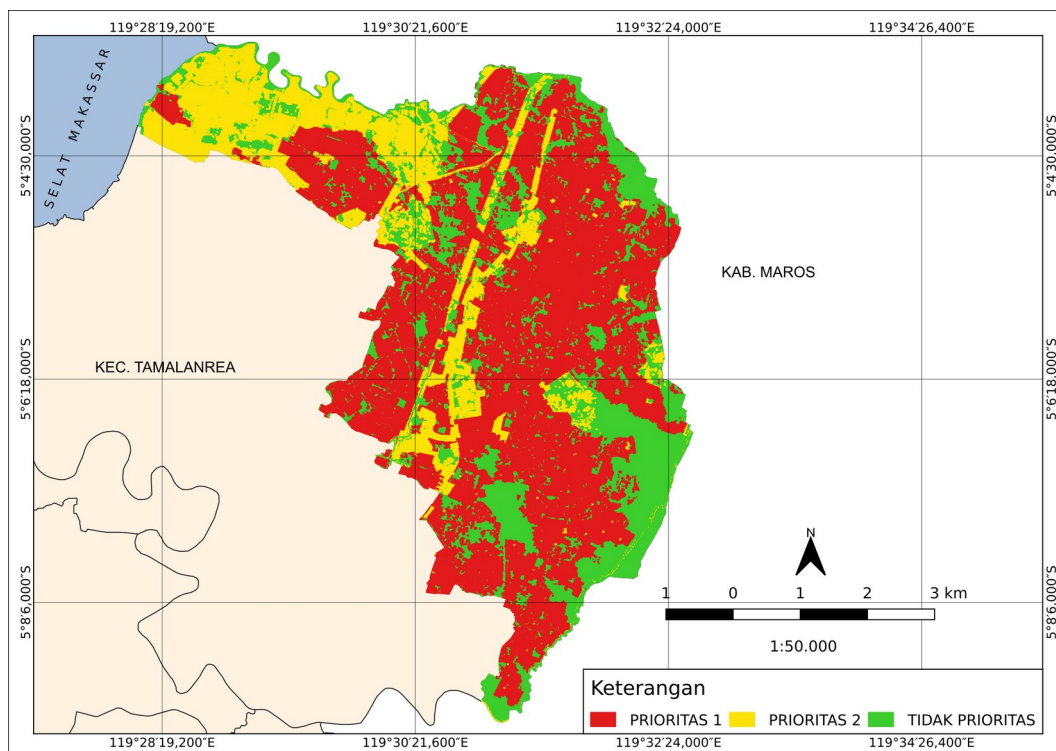
147.549 jiwa. Luas pola ruang industri pada Kecamatan Manggala yaitu $\pm 1,51$ Ha atau 0,07% dari total luas kecamatannya. Selain berada pada pola ruang industri, kemungkinan industri yang ada di kecamatan ini banyak tersebar di pemukiman atau pola ruang lainnya, sehingga perlu pemantauan emisi industri secara ketat. Sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan tetap diperlukan untuk menekan sumber pencemar udara dari pemukiman. Arahkan prioritas pertama untuk penambahan RTH pada kecamatan ini berada pada pola ruang pemukiman dan industri. Selain penambahan RTH di kawasan industri, pekarangan rumah, pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (*Roof Garden*) dan tepian jalan bisa menjadi solusi untuk penambahan vegetasi. Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang sempadan danau dan RTH yang perlu dioptimalkan fungsinya. Luas wilayah untuk prioritas kedua sangat minim, sedangkan yang tidak prioritas memiliki wilayah yang luas karena pada kecamatan ini terdapat sawah yang memiliki luas $\pm 660,52$ Ha atau 28,85% dari total luas kecamatan. Lokasi prioritas untuk penambahan RTH di Kecamatan Manggala pada Gambar 20.



Gambar 20. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Manggala

1.21.1.1.4 Kecamatan Biring Kanaya

Luas Kecamatan Biring Kanaya $\pm 3.678,31$ Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas $\pm 2.000,23$ Ha atau 54,30% dari total luas kecamatan. Potensi pencemar udara dari industri kategori sedang dengan jumlah industri 103, sedangkan potensi pencemaran udara dari pemukiman kategori tinggi dan menjadi kecamatan berpenduduk terbanyak dengan jumlah penduduk 210.076 jiwa. Luas pola ruang industri pada Kecamatan Biring Kanaya yaitu $\pm 416,77$ Ha atau 11,33% dari total luas kecamatan. Pemantauan emisi industri pada Kecamatan Biring Kanaya lebih mudah dilaksanakan karena industri terpusat pada pola ruang industri. Sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan sangat penting pada kecamatan ini karena memiliki jumlah penduduk terbanyak di Kota Makassar. Arahkan prioritas pertama untuk penambahan RTH pada kecamatan ini berada pada pola ruang pemukiman dan industri. Penambahan RTH di implementasikan pada kawasan industri, pekarangan rumah, tepian jalan dan pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (*Roof Garden*). Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang untuk gudang. Persentase luas tidak prioritas masih tinggi karena terdapat pemukiman yang memiliki kerapatan vegetasi tinggi seluas 10,32%, serta sawah seluas 9,82% dari total luas kecamatan Biring Kanaya. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Biring Kanaya pada Gambar 21.



Gambar 21. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Biring Kanaya

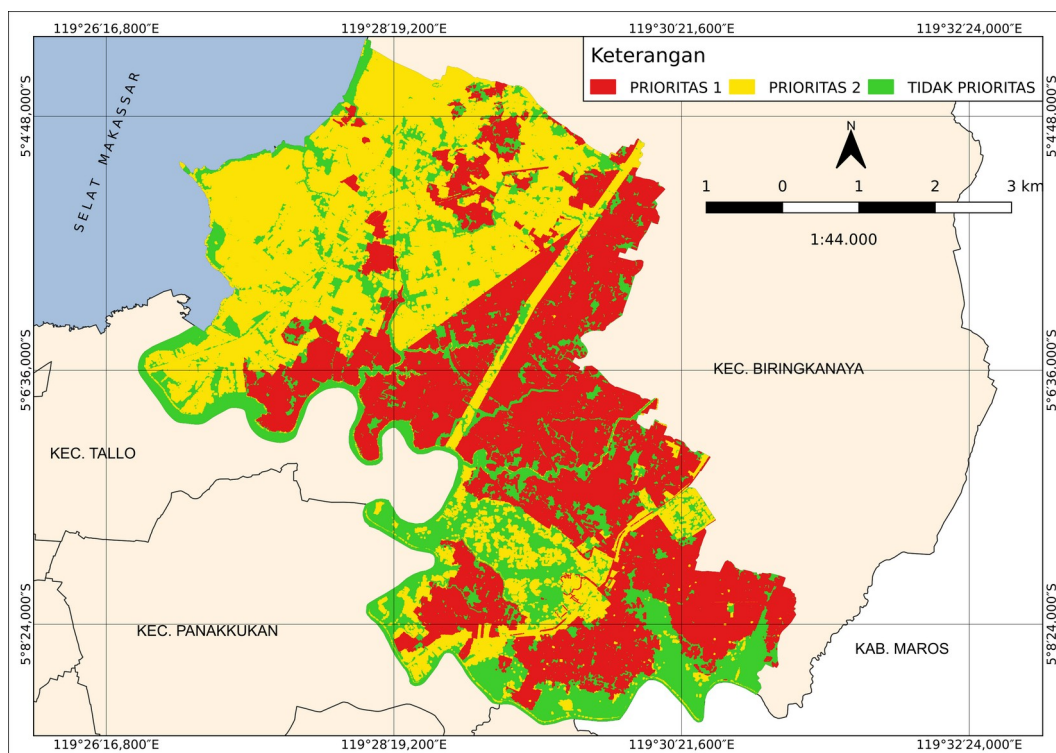
1.21.1.2 Kecamatan Prioritas Kedua

Berdasarkan pada potensi pencemar udara pada setiap kecamatan maka kecamatan yang memiliki potensi pencemar sedang menjadi prioritas kedua dalam implementasi arahan pengendalian pencemaran udara. Jumlah kecamatan yang masuk prioritas kedua ada enam yaitu kecamatan Tamalanrea, Kecamatan Tallo, Kecamatan Panakkukang, Kecamatan Bontoala, Kecamatan Mamajang dan Kecamatan Wajo.

1.21.1.2.1 Kecamatan Tamalanrea

Luas Kecamatan Tamalanrea $\pm 3.856,05$ Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas $\pm 1.112,37$ Ha atau 28,85% dan pola ruang untuk gudang $\pm 1.020,11$ Ha atau 26,45% dari total luas kecamatan. Kecamatan Tamalanrea memiliki pola ruang peruntukan industri terluas di Kota Makassar dengan luas $\pm 651,79$ Ha atau 16,90% dari total luas Kecamatan Tamalanrea, tetapi potensi pencemar udara dari industri kategori sedang karena jumlah industri hanya 58 berdasarkan data BPS Kota Makassar. Pemantauan emisi industri di kecamatan ini relatif lebih mudah karena terfokus pada pola ruang industri, namun kedepan kemungkinan Kecamatan Tamalanrea memiliki potensi

pencemar udara yang tinggi dari industri karena secara pola ruang kecamatan ini menjadi prioritas untuk kawasan industri. Potensi pencemaran udara dari pemukiman kategori sedang dengan jumlah penduduk 103.220 jiwa dan sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan tetap diperlukan untuk menekan sumber pencemar udara dari pemukiman. Arah prioritas pertama untuk penambahan RTH pada kecamatan ini berada pada pola ruang industri dan pemukiman. Penambahan RTH di implementasikan pada kawasan industri, pekarangan rumah, tepian jalan dan pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (*Roof Garden*). Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang untuk gudang. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Tamalanrea pada Gambar 22.

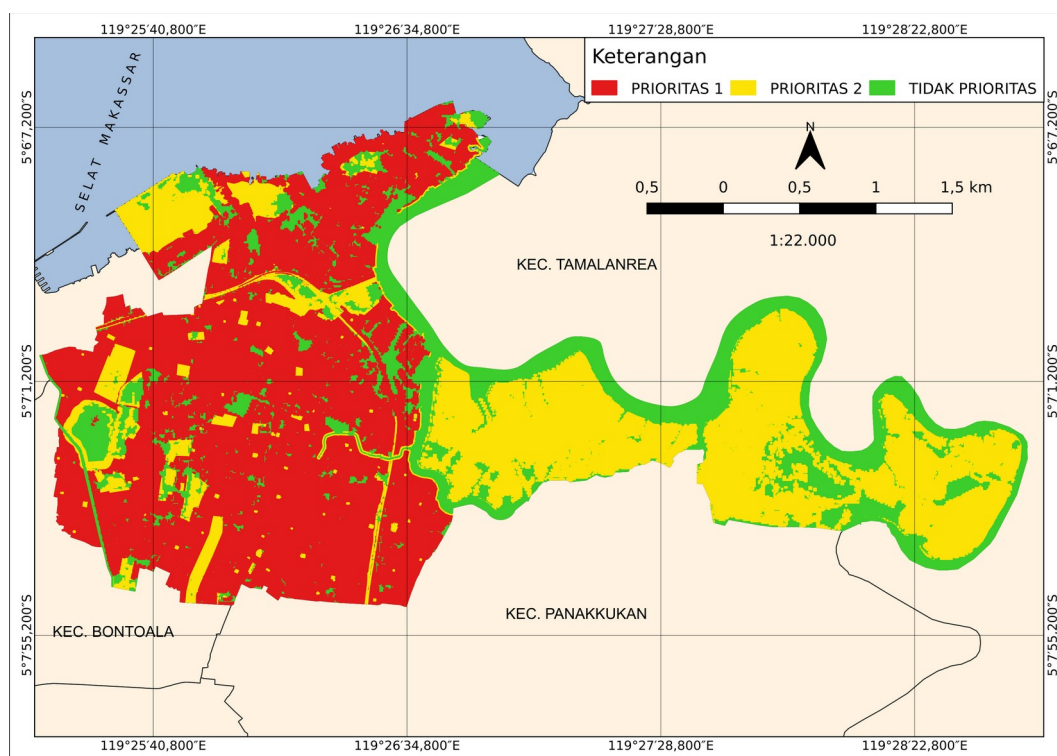


Gambar 22. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Tamalanrea

1.21.1.2.2 Kecamatan Tallo

Luas Kecamatan Tallo ±960,74 Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas ±474,85 Ha atau 49,43% dan pola ruang rencana kawasan lindung ±260,10 Ha atau 27,07% dari total luas kecamatan. Potensi

pencemar udara dari industri dan pemukiman kategori sedang dengan jumlah industri 108 dan jumlah penduduk 145.400 jiwa. Pemantauan emisi industri dan sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan tetap jadi penting dilaksanakan untuk menekan sumber pencemar udara dari industri dan pemukiman. Arah prioritas pertama untuk penambahan RTH pada kecamatan ini berada pada pola ruang industri dan pemukiman, Lokasi penambahan RTH di kawasan industri, pekarangan rumah, pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (*Roof Garden*) dan tepian jalan. Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang rencana kawasan lindung yang bisa dikelola secara optimal. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Tallo pada Gambar 23.

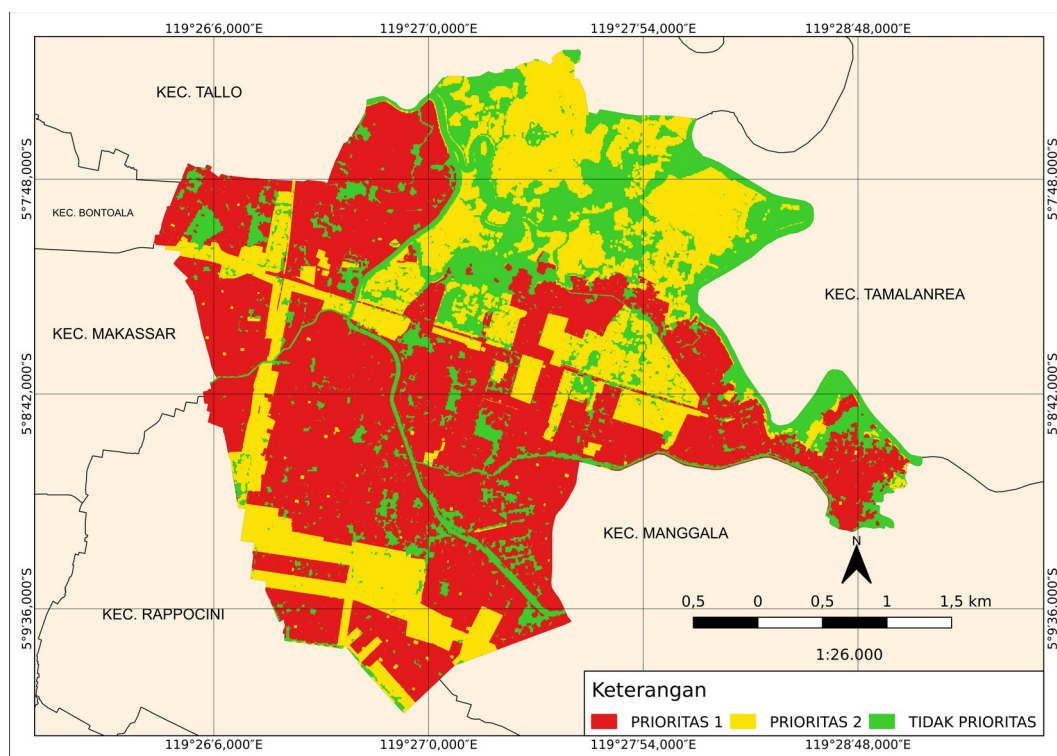


Gambar 23. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Tallo

1.21.1.2.3 Kecamatan Panakkukang

Luas Kecamatan Panakkukang $\pm 1.567,81$ Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas $\pm 872,88$ Ha atau 55,68% dari total luas kecamatan. Potensi pencemar udara dari industri dan pemukiman kategori sedang dengan jumlah industri 92 dan jumlah penduduk 139.635 jiwa.

Pemantauan emisi industri dan sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan tetap jadi penting dilaksanakan untuk menekan sumber pencemar udara dari industri dan pemukiman. Arahkan prioritas pertama untuk penambahan RTH pada kecamatan ini berada pada pola ruang industri dan pemukiman, Lokasi penambahan RTH di kawasan industri, pekarangan rumah, pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (*Roof Garden*) dan tepian jalan. Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang perdagangan dan jasa, pendidikan, serta pengoptimalan pola ruang rencana kawasan lindung. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Panakkukang pada Gambar 24.

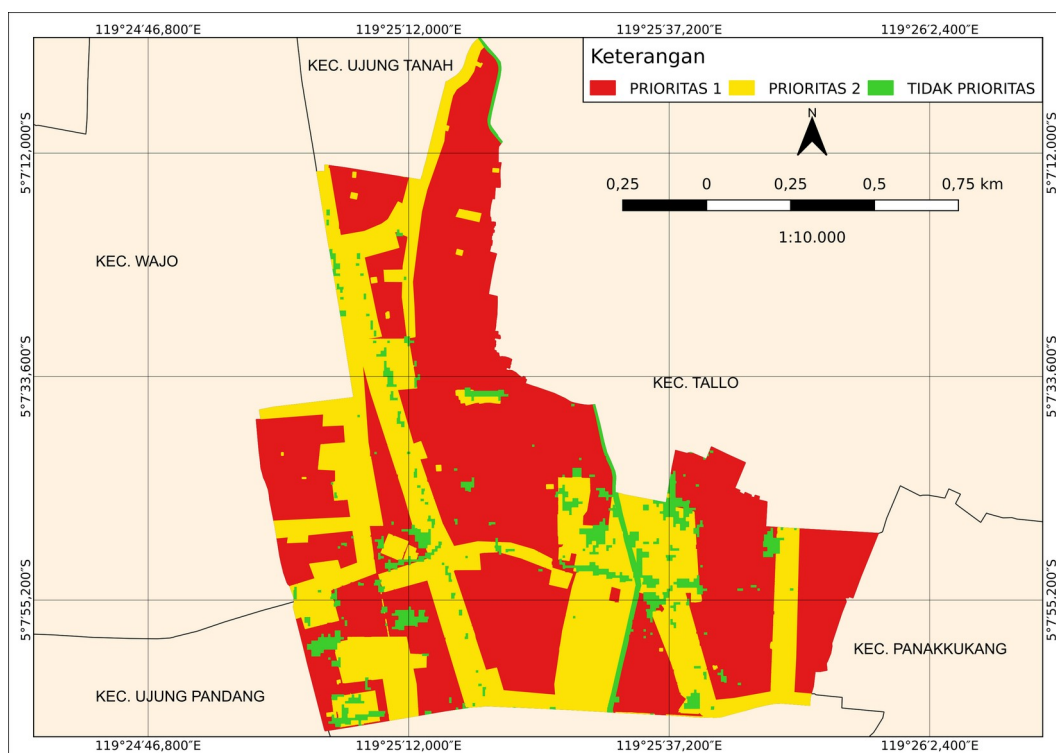


Gambar 24. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Panakkukang

1.21.1.2.4 Kecamatan Bontoala

Luas Kecamatan Bontoala $\pm 173,80$ Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas $\pm 108,54$ Ha atau 62,45% dari total luas kecamatan. Potensi pencemar udara dari industri kategori sedang dengan jumlah industri 63, sedangkan dari pemukiman kategori rendah dengan jumlah penduduk 55.102 jiwa. Kecamatan Bontoala tidak memiliki pola ruang untuk peruntukan industri

sehingga industri yang ada pada kecamatan ini berada pada pola ruang pemukiman atau pola ruang lain. Arahkan prioritas pertama untuk penambahan RTH hanya pada pola ruang pemukiman sehingga penambahan RTH difokuskan pada pemanfaatan pekarangan rumah, tepian jalan dan pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (*Roof Garden*). Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang perdagangan dan jasa. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Bontoala pada Gambar 25

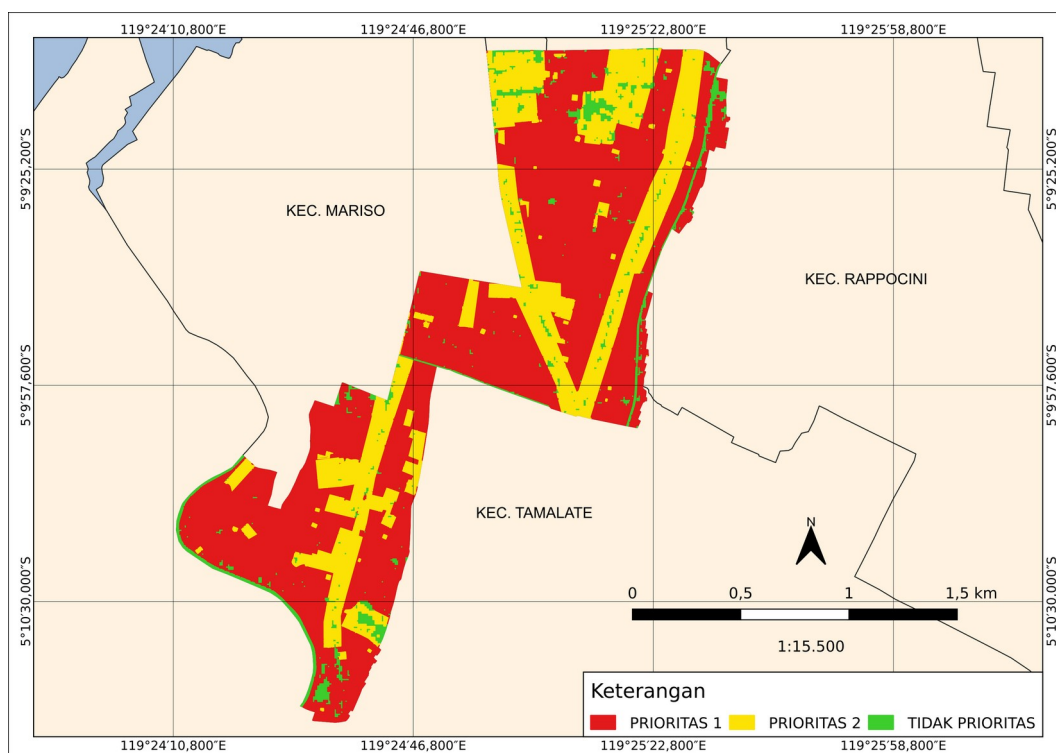


Gambar 25. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Bontoala

1.21.1.2.5 Kecamatan Mamajang

Luas Kecamatan Mamajang $\pm 250,87$ Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas $\pm 178,86$ Ha atau 69,30% dari total luas kecamatan. Potensi pencemar udara dari industri kategori sedang dengan jumlah industri 64, sedangkan potensi dari pemukiman kategori rendah dengan jumlah penduduk 56.056 jiwa. Pemantauan emisi industri perlu diperketat karena memiliki potensi sedang dan tidak memiliki pola ruang peruntukan industri. Sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan tetap perlu dilakukan untuk menekan potensi pencemar udara. Arahkan prioritas pertama untuk

penambahan RTH hanya pada pola ruang pemukiman karena tidak terdapat pola ruang industri. Penambahan RTH bisa dikalkukan dengan pemanfaatan pekarangan rumah, tepian jalan dan pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (*Roof Garden*). Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang perdagangan dan jasa serta pendidikan. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Mamajang pada Gambar 26.

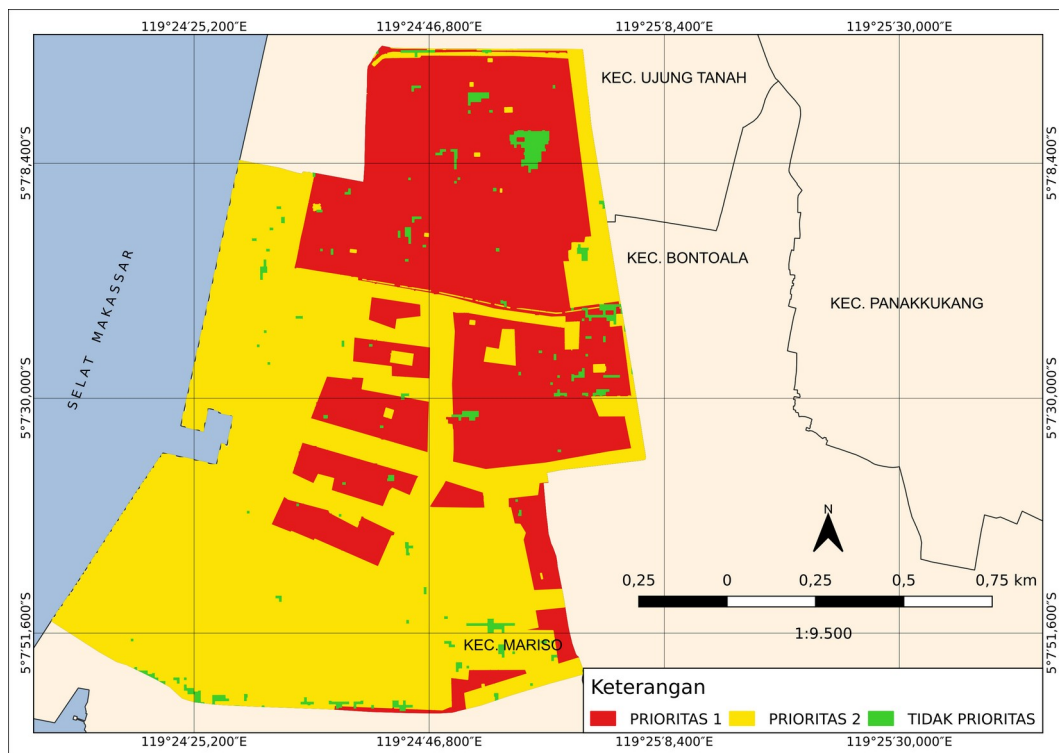


Gambar 26. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Mamajang

1.21.1.2.6 Kecamatan Wajo

Luas Kecamatan Wajo $\pm 204,50$ Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas $\pm 83,34$ Ha atau 40,75% dan pola ruang perdagangan dan jasa dengan luas 89,16 Ha atau 40,58% dari total luas Kecamatan Wajo. Potensi pencemar udara dari industri kategori sedang dengan jumlah industri 73, sedangkan dari pemukiman kategori rendah dan jumlah penduduk 33.033 jiwa. Kecamatan Wajo tidak memiliki pola ruang untuk peruntukan industri sehingga industri yang ada pada kecamatan ini berada pada pola ruang pemukiman, perdangan dan jasa atau pola ruang lain. Arah prioritas pertama untuk

penambahan RTH hanya pada pola ruang pemukiman. Implementasi penambahan RTH difokuskan pada pemanfaatan pekarangan rumah, tepian jalan dan pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (*Roof Garden*). Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang perdagangan dan jasa serta pelabuhan. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Wajo pada Gambar 27.



Gambar 27. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Wajo

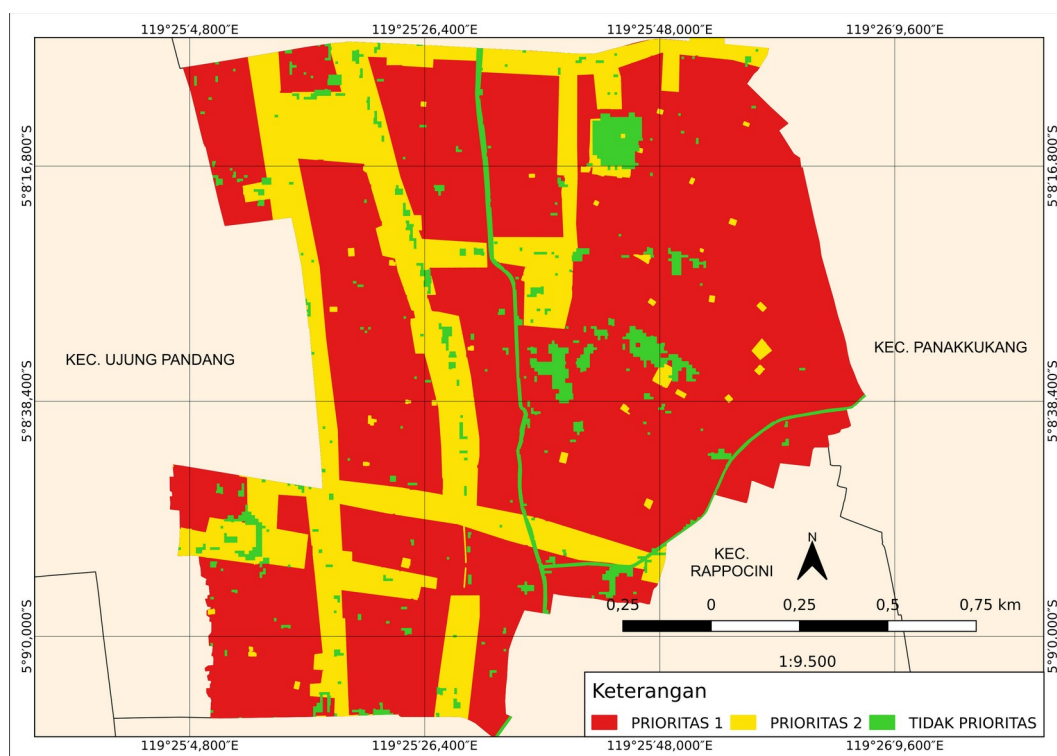
1.21.1.3 Kecamatan Prioritas Ketiga

Berdasarkan pada potensi pencemar udara pada setiap kecamatan maka kecamatan yang memiliki potensi pencemar rendah menjadi prioritas ketiga dalam implementasi arahan pengendalian pencemaran udara. Jumlah kecamatan yang masuk prioritas kedua ada empat yaitu Kecamatan Makassar, Kecamatan Ujung Pandang, Kecamatan Mariso, dan Kecamatan Ujung Tanah.

1.21.1.3.1 Kecamatan Makassar

Luas Kecamatan Makassar $\pm 265,35$ Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas $\pm 198,73$ Ha atau 74,89% dari total luas kecamatan.

Potensi pencemar udara dari industri dan pemukiman kategori rendah dengan jumlah industri 42 dan jumlah penduduk 82.142 jiwa. Pemantauan emisi industri dan sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan tetap perlu dilakukan untuk menekan sumber pencemar udara. Kecamatan Makassar tidak memiliki pola ruang untuk peruntukan industri sehingga arahan prioritas pertama untuk penambahan RTH hanya pada pola ruang pemukiman, Implementasi penambahan RTH difokuskan pada pemanfaatan pekarangan rumah, tepian jalan dan pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (*Roof Garden*). Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang perdagangan dan jasa. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Makassar pada Gambar 28.

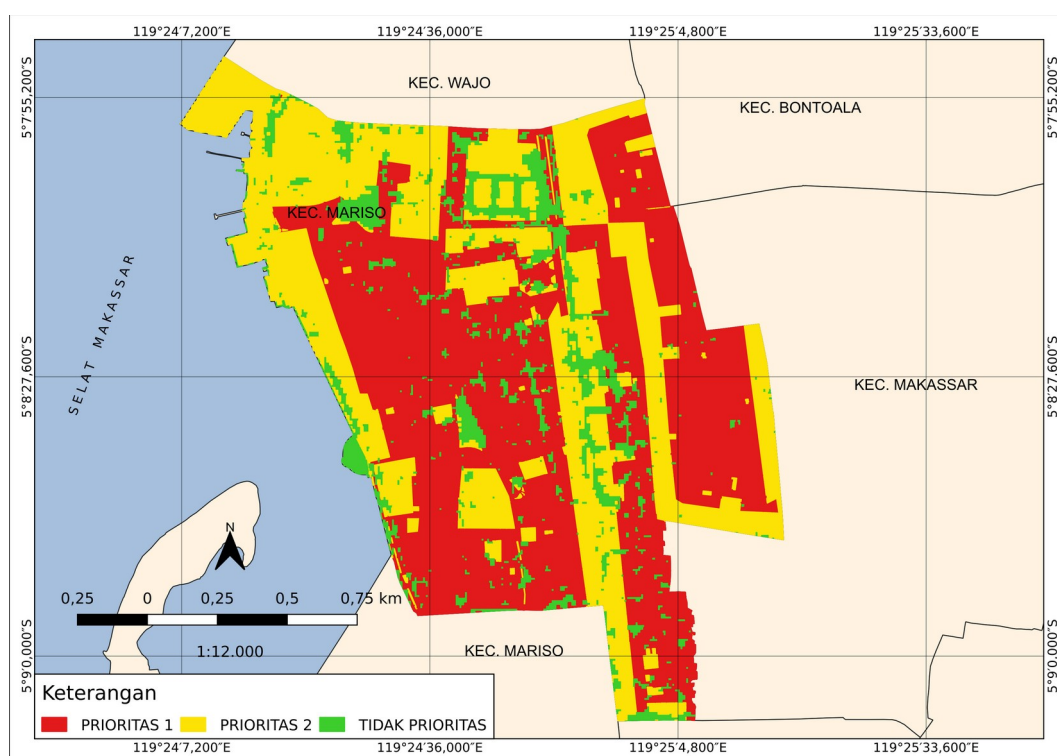


Gambar 28. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Makassar

1.21.1.3.2 Kecamatan Ujung Pandang

Luas Kecamatan Ujung Pandang ±267,83 Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas ±153,78 Ha atau 57,42% dari total luas kecamatan. Potensi pencemar udara dari industri dan pemukiman kategori rendah dengan jumlah industri 13 dan jumlah penduduk 24.526 jiwa.

Pemantauan emisi industri dan sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan tetap perlu dilakukan untuk menekan potensi pencemar. Arahkan prioritas pertama untuk penambahan RTH hanya pada pola ruang pemukiman, sehingga implementasi penambahan RTH difokuskan pada pemanfaatan pekarangan rumah, tepian jalan dan pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (*Roof Garden*). Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang perdagangan dan jasa, serta perkantoran. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Ujung Pandang pada Gambar 29.

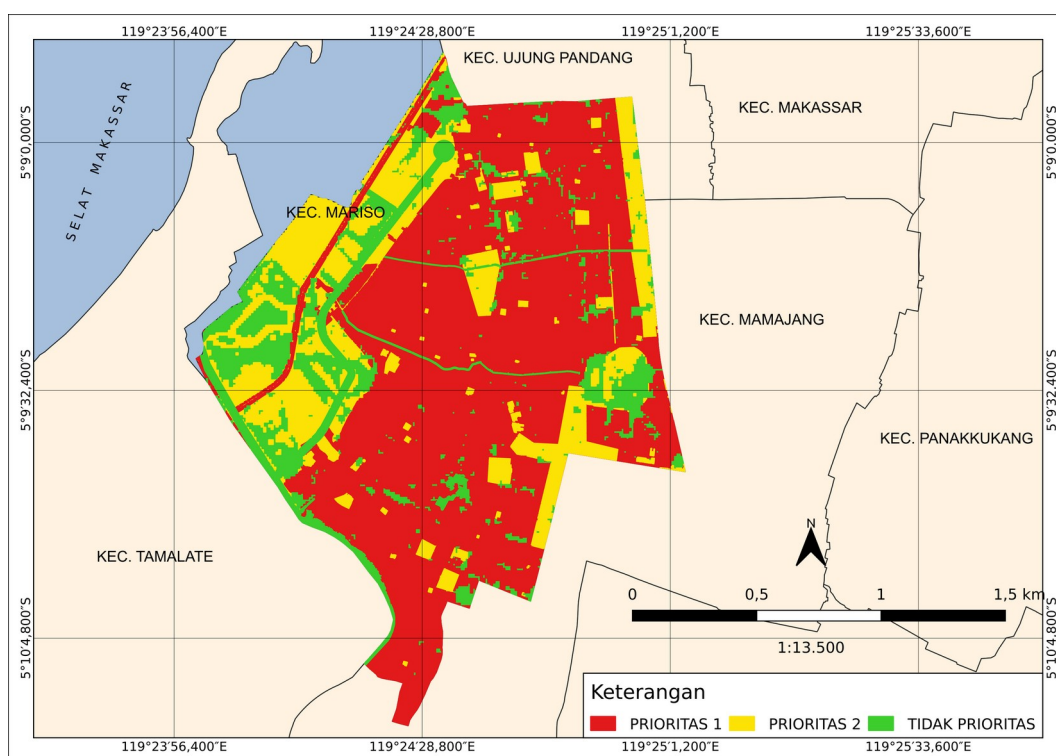


Gambar 29. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Ujung Pandang

1.21.1.3.3 Kecamatan Mariso

Luas Kecamatan Mariso $\pm 278,80$ Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas $\pm 187,14$ Ha atau 67,13% dari total luas kecamatan. Potensi pencemar udara dari industri dan pemukiman kategori rendah dengan jumlah industri 42 dan jumlah penduduk 57.594 jiwa. Pemantauan emisi industri dan sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan tetap perlu dilakukan untuk menekan potensi pencemar udara dari industri dan

pemukiman. Arahkan prioritas pertama untuk penambahan RTH hanya pada pola ruang pemukiman karena tidak terdapat pola ruang industri. Penambahan RTH bisa dikalkukan dengan pemanfaatan pekarangan rumah, tepian jalan dan pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (*Roof Garden*). Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang perdagangan dan jasa serta kawasan campuran. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Mariso pada Gambar 30.

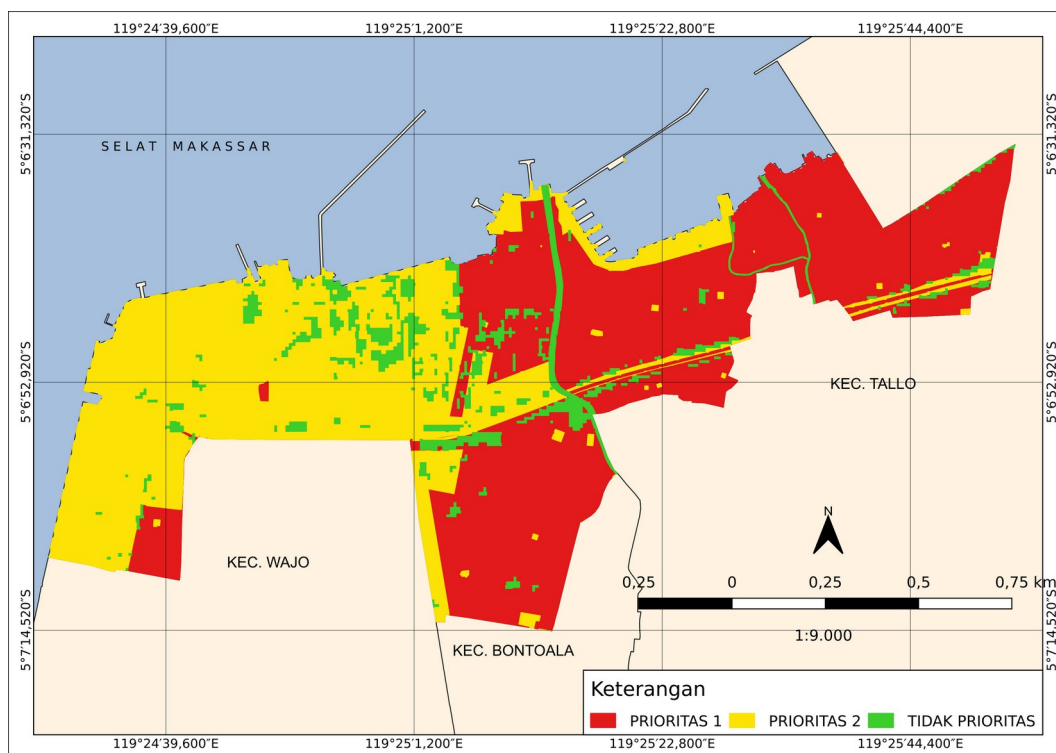


Gambar 30. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Mariso

1.21.1.3.4 Kecamatan Ujung Tanah

Luas Kecamatan Ujung Tanah $\pm 134,76$ Ha dan pola ruang dominan adalah pemukiman dengan luas $\pm 70,80$ Ha atau 52,54% dari total luas kecamatan. Potensi pencemar udara dari industri dan pemukiman kategori rendah dengan jumlah industri 13 dan jumlah penduduk 35.947 jiwa. Pemantauan emisi industri dan sosialisasi penggunaan peralatan rumah tangga ramah lingkungan tetap perlu dilakukan untuk menekan potensi pencemar udara. Arahkan prioritas pertama untuk penambahan RTH hanya pada pola ruang pemukiman karena tidak terdapat pola ruang industri. Penambahan RTH bisa dikalkukan dengan pemanfaatan pekarangan rumah, tepian jalan dan

pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (*Roof Garden*). Pola ruang dominan pada prioritas kedua yang bisa menjadi alternatif yaitu pola ruang pelabuhan dan pendidikan. Lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH di Kecamatan Ujung Tanah pada Gambar 31.



Gambar 31. Lokasi prioritas penambahan RTH Kecamatan Ujung Tanah

1.21.1.4 Implementasi Arahan Berdasarkan Sumber Tidak Bergerak

Berdasarkan hasil peramalan pencemaran udara parameter PM_{2.5} dan SO₂ dari tahun 2023 hingga tahun 2045, Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) mengalami peningkatan signifikan khususnya parameter PM_{2.5}. Pada tahun 2023 dan 2024, ISPU PM_{2.5} masih dominan kategori baik dan pada tahun 2045 ISPU menjadi kategori sedang dan tidak sehat. Peningkatan signifikan ISPU PM_{2.5} mulai pada tahun 2025, dimana ISPU PM_{2.5} sudah dominan pada kategori sedang. Peningkatan nilai ISPU juga terjadi pada parameter SO₂ namun masih dalam kategori baik dan peningkatan mulai pada tahun 2026. Dengan kondisi tersebut maka arahan pengendalian pencemaran udara berdasarkan sumber tidak bergerak sebaiknya mulai diimplementasikan pada tahun 2024. Tujuan pemilihan tahun tersebut dengan harapan ISPU PM_{2.5} tidak mengalami

peningkatan signifikan pada tahun 2025 dan ISPU SO₂ pada tahun 2026. Implementasi arahan dilakukan secara bertahap, dimulai dari kecamatan prioritas pertama, kemudian kecamatan prioritas kedua dan terakhir kecamatan prioritas ketiga. Diharapkan seluruh arahan pengendalian pencemaran berdasarkan sumber tidak bergerak telah di implementasikan sebelum tahun 2036 karena pada tahun tersebut persentase ISPU kategori sedang sudah mencapai 92,12% dan kategori baik tinggal 7,87%. Pada tahun 2036 ISPU kategori tidak sehat telah ada meskipun persentase sangat kecil yaitu 0,01%.

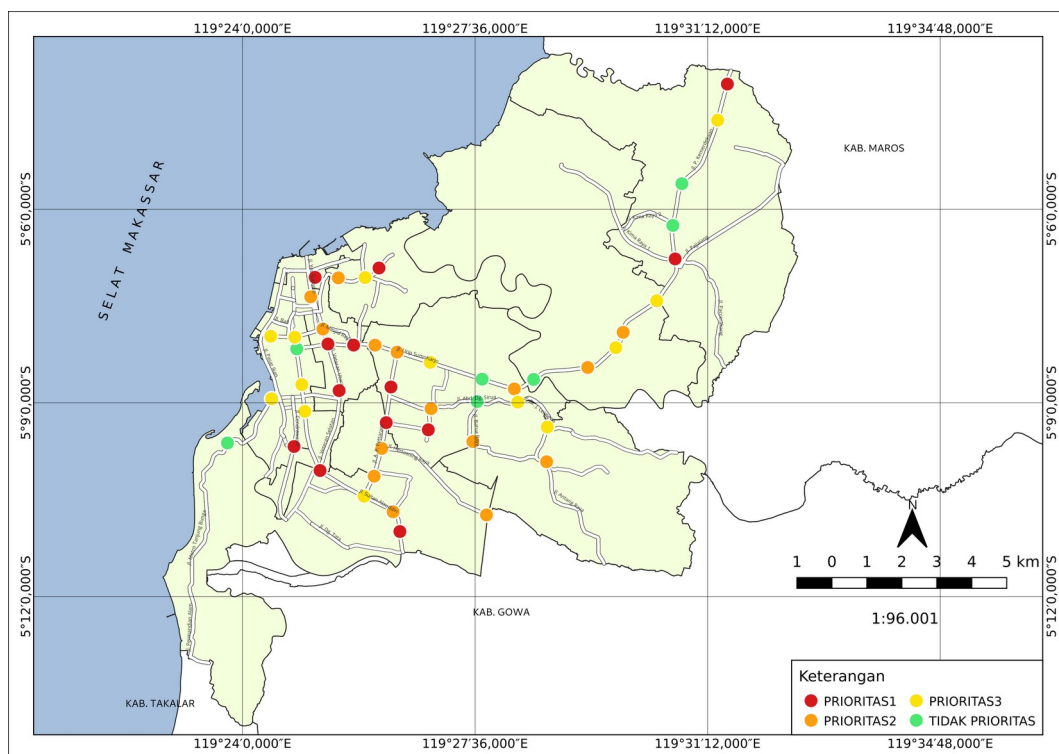
1.21.2 Arahan Berdasarkan Sumber Bergerak

Arahan pengendalian pencemaran udara berdasarkan sumber bergerak adalah arahan yang disusun berdasarkan potensi pencemar udara dari kendaraan bermotor. Berdasarkan hasil identifikasi potensi pencemar dari kendaraan bermotor maka diperoleh 48 titik lokasi yang memiliki potensi terjadinya pencemaran udara tinggi dari kendaraan bermotor. Terdapat empat arahan pada untuk potensi pencemar dari sumber tidak bergerak yaitu penambahan ruang terbuka hijau (RTH), mengurai kepadatan kendaraan, menguji emisi kendaraan, dan penggunaan transportasi ramah lingkungan. Implementasi arahan pengendalian pencemaran udara dari sumber bergerak disesuaikan dengan indeks standar pencemar udara (ISPU) hasil peramalan.

1.21.2.1 Arahan Penambahan Ruang Terbuka Hijau (RTH)

Arahan penambahan ruang terbuka hijau merupakan salah satu solusi untuk mengurangi pencemaran udara yang disebabkan oleh gas buang kendaraan bermotor karena vegetasi memiliki kemampuan untuk menyerap polusi udara. Untuk menentukan lokasi potensi pencemar udara yang membutuhkan penambahan RTH maka 48 titik hasil identifikasi di analisis. Data jalan pada titik lokasi di *buffer* 50 meter untuk kanan dan kiri jalan sehingga menghasilkan luas jalan 100 meter. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan *google maps*, rata-rata luas jalan utama di Kota Makassar antara 15 sampai 20 meter. Luas jalan hasil *buffer* sudah mencakup badan jalan dan tepian jalan sejauh 40 meter kekanan dan ke kiri jalan. Tujuan *buffer* tersebut untuk mengidentifikasi kerapatan vegetasi dan pola ruang pada lokasi kepadatan kendaraan. Berdasarkan hasil identifikasi, rata-rata panjang kepadatan kendaraan yaitu ± 500 meter sehingga jalan hasil *buffer* dipotong sepanjang 500

meter. Data jalan di *overlay* dengan kerapatan vegetasi kemudian dianalisis tingkat kerapatan vegetasi pada lokasi tersebut. Dari 48 titik lokasi yang dianalisis maka diperoleh 41 titik lokasi kepadatan kendaraan yang perlu penambahan RTH karena memiliki kerapatan vegetasi tinggi kurang dari 30%. Untuk memudahkan implementasi arahan penambahan RTH, maka 41 titik lokasi dibagi dalam tiga kelas prioritas. Klasifikasi menggunakan menggunakan metode *Jenks Natural Break Classification* yang merupakan metode bawaan dari aplikasi sistem informasi geografis. Jumlah titik lokasi pada arahan prioritas pertama sebanyak 13 titik lokasi, prioritas kedua sebanyak 15 titik lokasi, prioritas ketiga 13 titik lokasi, dan yang tidak prioritas sebanyak 7 titik lokasi. Lokasi potensi pencemar udara berdasarkan sumber bergerak serta kelas prioritas arahan penambahan RTH dapat dilihat pada Gambar 32 dan informasi lebih detail pada Tabel 19.



Gambar 32. Lokasi pencemar udara berdasarkan sumber bergerak serta kelas prioritas arahan penambahan RTH

Tabel 19. Lokasi arahan prioritas RTH untuk sumber pencemar udara bergerak

Arahan RTH	Jalan	Koordinat	
		X	Y
PRIORITAS1	Jl. Adyaksa Baru	119.4479343	-5.156946229
	Jl. AP. Pettarani	119.4370782	-5.15510304
	Jl. AP. Pettarani	119.4383019	-5.145897003
	Jl. Cakalang	119.4187437	-5.117596953
	Jl. Cendrawasih	119.4133068	-5.161261218
	Jl. G. Bawakaraeng	119.4220505	-5.134797582
	Jl. Perintis Kemerdekaan	119.5115992	-5.112832897
	Jl. Perintis Kemerdekaan	119.5250757	-5.067700995
	Jl. Sultan Alauddin	119.4200165	-5.167460708
	Jl. Sultan Alauddin	119.4406026	-5.183211434
	Jl. Teuku Umar Raya	119.4352177	-5.115182245
	Jl. Urip Sumoharjo	119.4286691	-5.135084425
	Jl. Veteran Utara	119.4249266	-5.14683543
PRIORITAS2	Jl. Abdullah Daeng Sirua	119.4486423	-5.151484098
	Jl. Antang Raya	119.4784375	-5.165198527
	Jl. AP. Pettarani	119.4339648	-5.168918608
	Jl. AP. Pettarani	119.4359288	-5.161758428
	Jl. AP. Pettarani	119.4398885	-5.136905286
	Jl. Aroeppala	119.4629406	-5.178922119
	Jl. Batua Raya	119.4594171	-5.15997959
	Jl. Masjid Raya	119.4207434	-5.130943781
	Jl. Panampu	119.4247374	-5.117730316
	Jl. Perintis Kemerdekaan	119.4890509	-5.140858728
	Jl. Perintis Kemerdekaan	119.4981831	-5.131787207
	Jl. Sultan Alauddin	119.4388564	-5.178112785
	Jl. Tentara Pelajar	119.4175977	-5.122620278
	Jl. Urip Sumoharjo	119.434192	-5.135098644
PRIORITAS3	Jl. Urip Sumoharjo	119.4701197	-5.146393332
	Jl. Ahmad Yani	119.4072905	-5.132813196
	Jl. Ahmad Yani	119.4134915	-5.133039415
	Jl. Antang Raya	119.4786267	-5.156244702
	Jl. DR. Leimena	119.4710128	-5.149813336

Lanjutan Tabel 19.

Arahan RTH	Jalan	Koordinat	
		X	Y
	Jl. DR. Ratulangi	119.4160885	-5.152191979
	Jl. Metro Tj. Bunga	119.4075072	-5.148941621
	Jl. Perintis Kemerdekaan	119.4962784	-5.135743965
	Jl. Perintis Kemerdekaan	119.5068552	-5.123637131
	Jl. Perintis Kemerdekaan	119.522577	-5.077038626
	Jl. Sultan Alauddin	119.4313538	-5.174105684
	Jl. Sungai Saddang Lama	119.4153024	-5.14527874
	Jl. Teuku Umar Raya	119.4316424	-5.117644908
	Jl. Urip Sumoharjo	119.4484357	-5.139557651
TIDAK PRIORITAS	Jl. Abdullah Daeng Sirua	119.4605527	-5.149649297
	Jl. Jend. Sudirman	119.4140012	-5.136066795
	Jl. Metro Tj. Bunga	119.396127	-5.160344092
	Jl. Perintis Kemerdekaan	119.4750894	-5.143944012
	Jl. Perintis Kemerdekaan	119.5110035	-5.104178695
	Jl. Perintis Kemerdekaan	119.5133407	-5.093421791
	Jl. Urip Sumoharjo	119.4618108	-5.143881532

Pola ruang dominan pada arahan prioritas pertama adalah pemukiman serta perdagangan dan jasa, sedangkan arahan prioritas kedua dan ketiga didominasi oleh pola ruang pemukiman, perkantoran, perdagangan dan jasa. Data lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 6. Dengan pola ruang seperti itu maka selain penambahan RTH pada tepian jalan dan median jalan, penambahan RTH bisa dilakukan dengan pemanfaatan pekarangan rumah, perkantoran, ruko untuk RTH dan bahkan pemanfaatan atap bangunan untuk membangun RTH (Roof Garden). Arahan ini bersifat indikatif sehingga perlu analisis lebih lanjut terkait lokasi yang sesuai dan bisa untuk membangun RTH, serta analisis luas kebutuhan RTH pada setiap titik padat kendaraan.

1.21.2.2 Arahan Mengurai Kepadatan Kendaraan

Mengurai kepadatan kendaraan merupakan salah satu solusi mengurangi pencemaran udara yang dihasilkan kendaraan bermotor karena lalu lintas yang lancar bisa mengurangi penggunaan bahan bakar. Mengurai kepadatan kendaraan perlu dilakukan pada 48 titik lokasi kepadatan kendaraan

hasil identifikasi. Dari hasil pemantauan pada 48 titik lokasi diperoleh bahwa terjadi 777 kepadatan kendaraan dan selengkapnya pada Tabel 22.

Tabel 20. Jumlah dan Persentase
Kepadatan Kendaraan di Kota Makassar

No	Waktu	Jumlah	Persentase(%)
1	Pagi	184	23,68
2	Siang	271	34,88
3	Sore	322	41,44
	Total	777	100,00

Dengan mengacu pada data tersebut maka waktu yang menjadi prioritas utama untuk mengurai kepadatan kendaraan pada sore hari. Berdasarkan hasil identifikasi kepadatan kendaraan, maka Jalan Perintis Kemerdekaan yang memiliki titik lokasi kepadatan kendaraan terbanyak yaitu 10 titik lokasi. Dibutuhkan manajemen lalu lintas yang baik untuk mengurai kepadatan kendaraan seperti penggunaan transportasi umum, penambahan jalur alternatif, dan pengaturan jam pulang kerja.

1.21.2.3 Arahan Menguji Emisi Kendaraan

Arahan menguji emisi kendaraan bermotor tidak terkait langsung dengan lokasi kepadatan kendaraan, namun secara umum menguji emisi kendaraan berlaku untuk seluruh kendaraan yang beroperasi di Kota Makassar. jika mengacu pada jumlah titik kepadatan kendaraan dan waktu kepadatan kendaraan yang tinggi di Kota Makassar maka arahan ini perlu diterapkan untuk menekan sumber pencemar udara dari kendaraan bermotor.

1.21.2.4 Arahan Penggunaan Transportasi Ramah Lingkungan

Penggunaan transportasi ramah lingkungan adalah salah satu alternatif untuk mengurangi pencemaran udara dari kendaraan bermotor. Pengurangan pencemaran terjadi karena adanya konversersi energi pada kendaraan bermotor dari energi bahan bakar fosil ke energi listrik. Konversi energi ini butuh biaya besar dan melibatkan seluruh elemen masyarakat namun jika melihat kondisi sekarang proses tersebut telah dimulai oleh masyarakat dan mendapat dukungan dari pemerintah. Proses ini akan menjadi tren kedepan dan jika proses

ini berjalan dengan baik maka pencemaran udara dari kendaraan bermotor akan berkurang secara signifikan karena energi listrik ramah lingkungan.

1.21.2.5 Implementasi Arahan Berdasarkan Sumber Bergerak

Berdasarkan hasil peramalan pencemaran udara dari tahun 2023 sampai 2045, indeks standar pencemar udara mengalami peningkatan yang signifikan dari kualitas baik menjadi sedang dan bahkan tidak sehat khususnya PM2.5. Peningkatan juga terjadi pada ISPU SO₂ namun masih pada kategori baik. Implementasi arahan ruang terbuka hijau sebaiknya mulai diterapkan sebelum tahun 2025 karena pada tahun tersebut terjadi peningkatan ISPU yang signifikan, dimana ISPU kategori sedang sudah dominan dibanding kategori baik dengan persentase kategori baik 43,48% dan kategori sedang 56,52%. Implementasi arahan RTH dilakukan secara bertahap mulai dari lokasi prioritas pertama, kedua dan ketiga agar penggunaan anggaran tidak terlalu membebani dan hasil yang diperoleh bisa maksimal. Implementasi arahan mengurangi kepadatan kendaraan sebaiknya dioptimalkan mulai tahun 2025 sampai seterusnya dengan harapan tidak terjadi peningkatan ISPU pada tahun tersebut dan tahun-tahun selanjutnya. Implementasi arahan menguji emisi kendaraan sebaiknya mulai diterapkan pada tahun 2025 dan pada tahun 2031 menguji emisi kendaraan harus diperketat karena pada tahun tersebut terjadi kenaikan ISPU dengan persentase kategori baik 24,74% dan kategori sedang 75,26%. Implementasi arahan penggunaan transportasi ramah lingkungan lebih cepat lebih baik, namun arahan ini tergantung pada ketersediaan kendaraan listrik yang siap guna. Implementasi arahan ini sebaiknya dimulai dari lingkup pemerintahan, kemudian transportasi umum dan terakhir masyarakat umum. Arahan pengendalian pencemaran udara berdasarkan sumber bergerak sebaiknya telah diimplementasikan secara keseluruhan sebelum tahun 2036 karena berdasarkan hasil peramalan pada tahun tersebut persentase ISPU kategori baik 7,87% sedangkan kategori sedang sudah mencapai 92,12%.

BAB IV

KESIMPULAN

Jika merujuk pada rumusan masalah pada penelitian ini maka dapat ditarik 3 (tiga) kesimpulan sebagai berikut:

1. Pencemaran udara ambien pada tahun 2045 masih dapat diterima oleh kesehatan makhluk hidup. tetapi bukan kualitas udara terbaik untuk kesehatan makhluk hidup. Kondisi tersebut perlu diwaspadai karena pada tahun 2045 pencemaran udara ambien sudah mendekati kategori ISPU tidak sehat.
2. Potensi pencemar udara ambien dari sumber tidak bergerak di Kota makassar tertinggi pada Kecamatan Tamalate, Kecamatan Rappocini, Kecamatan Manggala, dan Kecamatan Biring Kanaya. Potensi pencemar udara ambien dari sumber bergerak tertinggi di Jalan Perintis Kemerdekaan, kemudian Jalan Urip Sumoharjo, dan Jalan A.P. Pettarani.
3. Pengendalian pencemaran udara ambien lebih efektif dilakukan pada lokasi sumber pencemar dan disarankan pengendalian secara bertahap mulai tahun 2024 hingga tahun 2036. Dengan adanya pengendalian pencemaran udara, maka diharapkan pada tahun 2045 indeks standar pencemar udara khususnya parameter PM2.5 tetap pada kategori baik sehingga tidak mengganggu kesehatan makhluk hidup

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, T., & Boedisantoso, R. (2019). Perhitungan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Emisi Karbon Dioksida. *Jurnal Pijar Mipa*, 14(1), 95–99. <https://doi.org/10.29303/jpm.v14i1.997>
- Ahmad, A. (2017). *Studi Reduksi Pm2,5 Udara Ambien Oleh Ruang Terbuka Hijau Di Kawasan Industri Pt Petrokimia Gresik*. 10. <https://repository.its.ac.id/42669/7/3313100078-Undergraduate-Theses.pdf>
- Ahmad Hania, A. (2017). Mengenal Artificial Intelligence, Machine Learning, & Deep Learning. *Jurnal Teknologi Indonesia*, 1(June), 1–6. <https://amt-it.com/mengenal-perbedaan-artificial-intelligence-machine-learning-deep-learning/>
- AQLI, <https://aqli.epic.uchicago.edu/country-spotlight/indonesia/> (diakses pada tanggal 9 Mei 2022).
- Arsov, M., Zdravevski, E., Lameski, P., Corizzo, R., Koteli, N., Mitreski, K., & Trajkovik, V. (2020). Short-term air pollution forecasting based on environmental factors and deep learning models. *Proceedings of the 2020 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2020*, 21, 15–22. <https://doi.org/10.15439/2020F211>
- Deng, L. (2014). Deep Learning: Methods and Applications. *Foundations and Trends® in Signal Processing*, 7(3–4), 197–387. <https://doi.org/10.1561/2000000039>
- detik.com (2022), <https://www.detik.com/sulsel/berita/d-6000118/capaian-minim-ruang-terbuka-hijau-di-makassar-masih-kurang-20> (diakses pada tanggal 26 juli 2022)
- DLH Provinsi Jakarta (2021), <https://rendahemisi.jakarta.go.id/> (diakses pada tanggal 13 Juni 2022)
- Dollah, A. S., & Rasmawarni, R. (2019). Struktur Sebaran Ruang Terbuka Hijau di Kota Makassar. *Jurnal Linears*, 2(1), 8–17. <https://doi.org/10.26618/j-linears.v2i1.3023>
- Febrianti, F., Hafiyusholeh, M., & Asyhar, A. H. (2016). PERBANDINGAN PENGKLUSTERAN DATA IRIS MENGGUNAKAN METODE K-MEANS DAN FUZZY C-MEANS. *Jurnal Matematika "MANTIK,"* 2(1), 7. <https://doi.org/10.15642/mantik.2016.2.1.7-13>
- Firmansyah, M. R., Ilyas, R., & Kasyidi, F. (2020). Klasifikasi Kalimat Ilmiah Menggunakan Recurrent Neural Network. *Prosiding The 11th Industrial*

- Research Workshop and National Seminar*, 11(1), 488–495. <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/download/2055/1612>
- GAHP, <https://gahp.net/pollution-and-health-metrics/> (diakses pada tanggal 9 Mei 2022)
- Graves, A., Mohamed, A., & Hinton, G. (2013). *Speech Recognition with Deep Recurrent Neural Networks*. 3. <http://arxiv.org/abs/1303.5778>
- Hardianto, A., Dewi, P. U., Feriansyah, T., Sari, N. F. S., & Rifiana, N. S. (2021). Pemanfaatan Citra Landsat 8 Dalam Mengidentifikasi Nilai Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) Tahun 2013 dan 2019 (Area Studi: Kota Bandar Lampung). *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 2(1), 8–15. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2021.v2i1.38>
- Hashim, H., Abd Latif, Z., & Adnan, N. A. (2019). URBAN VEGETATION CLASSIFICATION WITH NDVI THRESHOLD VALUE METHOD WITH VERY HIGH RESOLUTION (VHR) PLEIADES IMAGERY. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W16(4/W16), 237–240. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W16-237-2019>
- Hatulesila, J. W., Mardiatmoko, G., & Irwanto, I. (2019). ANALISIS NILAI INDEKS KEHIJAUAN (NDVI) PADA POLA RUANG KOTA AMBON, PROVINSI MALUKU. *JURNAL HUTAN PULAU-PULAU KECIL*, 3(1), 55–67. <https://doi.org/10.30598/jhppk.2019.3.1.55>
- Inaku, A. H. R., & Novianus, C. (2020). Pengaruh Pencemaran Udara PM 2,5 dan PM 10 Terhadap Keluhan Pernapasan Anak di Ruang Terbuka Anak di DKI Jakarta. *ARKESMAS (Arsip Kesehatan Masyarakat)*, 5(2), 9–16. <https://doi.org/10.22236/arkesmas.v5i2.4990>
- Indrayani. (2018). PENCEMARAN UDARA AKIBAT KINERJA LALU-LINTAS Air Pollutions Due to Traffic Performance of Motor Vehicles in Medan City. *Jurnal Pemukiman*, 13(1), 13–20. <http://jurnalpermukiman.pu.go.id/index.php/JP/article/download/274/pdf>
- Ismiyati, Marlita, D., & Saidah, D. (2014). 112707-ID-pencemaran-udara-akibat-emisi-gas-buang. *Jurnal Manajeen Transportasi & Logistik (JMTransLog)* - Vol. 01 No. 03, 01(03). <https://media.neliti.com/media/publications/112707-ID-pencemaran-udara-akibat-emisi-gas-buang.pdf>
- Instruksi Presiden No. 7 Tahun 2022 tentang penggunaan kendaraan bermotor listrik berbasis baterai sebagai kendaraan dinas operasional dan/atau kendaraan perorangan dinas instansi pemerintah pusat dan pemerintah daerah.

- Karyadi, Y. (2022). Prediksi Kualitas Udara Dengan Metoda LSTM, Bidirectional LSTM, dan GRU. *JATISI (Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi)*, 9(1), 671–684. <https://doi.org/10.35957/jatisi.v9i1.1588>
- KESDM (2022) <https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/11/20/3347/kendaraan.listrik.aksi.nyata.wujudkan.energi.lebih.bersih.dan.ramah.lingkungan> (diakse pada tanggal 6 Februari 2023).
- Khumaidi, A., Raafi'udin, R., & Solihin, I. P. (2020). Pengujian Algoritma Long Short Term Memory untuk Prediksi Kualitas Udara dan Suhu Kota Bandung. *Jurnal Telematika*, 15(1), 13–18. <https://journal.ithb.ac.id/telematika/article/view/340>
- KLHK (2015) https://ppkl.menlhk.go.id/website/filebox/142/160401114608Buku%20Ptunjuk%20Teknis_Penanaman%20Spesies%20%20Pohon%20Penyerap%20Polutan%20Udara.pdf (diakses pada tanggal 9 Mei 2022).
- KLHK (2019), <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/kondisi-kualitas-udara-di-beberapa-kota-besar-tahun-2019> (diakses pada tanggal 9 Mei 2022).
- KLHK (2020), <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/pemantauan-mutu-udara-ambien-dengan-metode-passive-sampler-tahun-2020> (diakses pada tanggal 9 Mei 2022).
- Kusminingrum, N. (2007). Pencemaran Udara dan Manajemen Lalu Lintas di Indonesia. *Jurnal Jalan Jembatan*, 24:1. <http://jurnal.pusjatan.pu.go.id/index.php/jurnaljalanjembatan/article/download/341/236>
- Kusminingrum, N. (2008). Potensi Tanaman Dalam Menyerap Co2 DAN Co untuk Mengurangi Dampak Pemanasan Global. *Jurnal Permukiman*, 3(2), 96. <https://doi.org/10.31815/jp.2008.3.96-105>
- Lestari, W. O. D. M., Hajji, A. M., & Yulistyorini, A. (2021). KEBUTUHAN RTH UNTUK MENYERAP EMISI CO2 KENDARAAN BERMOTOR PADA KAWASAN JEMBATAN TELUK KENDARI. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(3), 197–209. <https://doi.org/10.24002/jts.v16i3.5392>
- Lu, E. H.-C., & Liu, C.-Y. (2021). A Spatial-Temporal Approach for Air Quality Forecast in Urban Areas. *Applied Sciences*, 11(11), 4971. <https://doi.org/10.3390/app11114971>
- Lufilah, S. N., Makalew, A. D., & Sulistiyantara, B. (2017). PEMANFAATAN CITRA LANDSAT 8 UNTUK ANALISIS INDEKS VEGETASI DI DKI JAKARTA. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 73–80. <https://doi.org/10.29244/jli.2017.9.1.73-80>
- Maharini, G. A. K. S. (2017). Studi Reduksi Sulfur Dioksida (SO₂) Udara Ambien oleh Ruang Terbuka (RTH) untuk Wilayah Permukiman dan Transportasi di

Kota Surabaya. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 135. <https://repository.its.ac.id/43243/1/3313100016-Undergraduate-Theses.pdf>

Moch Farryz Rizkilloh, & Sri Widiyanesti. (2022). Prediksi Harga Cryptocurrency Menggunakan Algoritma Long Short Term Memory (LSTM). *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 6(1), 25–31. <https://doi.org/10.29207/resti.v6i1.3630>

Mukhlis, M., Kustiyo, A., & Suharso, A. (2021). Peramalan Produksi Pertanian Menggunakan Model Long Short-Term Memory. *BINA INSANI ICT JOURNAL*, 8(1), 22. <https://doi.org/10.51211/biict.v8i1.1492>

Nawangsari, G. M., & Mussadun. (2018). Hubungan Keberadaan Ruang Terbuka Hijau dengan Kualitas Udara di Kota Semarang. *Ruang*, 4(1), 11–20. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ruang/article/download/2711/pdf>

Nugraheni, D. S., Putri, R. A., & Rini, E. F. (2018). Kemampuan Tutupan Vegetasi RTH dalam Menyerap Emisi CO2 Sektor Transportasi di Kota Surakarta. *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif*, 13(2), 182. <https://doi.org/10.20961/region.v13i2.21156>

Oktaviani, A., & Hustinawati. (2021). PREDIKSI RATA-RATA ZAT BERBAHAYA DI DKI JAKARTA BERDASARKAN INDEKS STANDAR PENCEMAR UDARA MENGGUNAKAN METODE LONG SHORT-TERM MEMORY. *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, 26(1), 41–55. <https://doi.org/10.35760/ik.2021.v26i1.3702>

Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Peraturan Presiden No. 55 Tahun 2019, tentang percepatan program kendaraan bermotor listrik berbasis baterai (*battery electric vehicle*).

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 tahun 2021 tentang baku mutu emisi mesin dengan pembakaran dalam.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 13 tahun 2021 tentang sistem informasi pemantauan emisi industri.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.20/MENLHK/SETJEN/KUM.1/3/2017 tentang baku mutu emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru kategori M, kategori N, dan kategori O.

- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 05/PRT/M2008 tentang Pedoman penyediaan dan pemanfaatan ruang terbuka hijau di kawasan perkotaan.
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang pedoman penyehatan udara dalam ruangan rumah.
- Peraturan Gubernur Sulawesi Selatan Nomor 69 tahun 2010 tentang baku mutu dan kriteria kerusakan lingkungan hidup.
- Peraturan Daerah Kota Makassar Nomor 3 tahun 2014 tentang penataan dan pengelolaan ruang terbuka hijau.
- Purwoko, D., & Prastiwi, D. E. (2019). PENGARUH LOKASI DAN WAKTU PENGUKURAN SUMBER BERGERAK (KENDARAAN) DENGAN KANDUNGAN TIMBAL (Pb) PADA UDARA UNDERPASS DI SIMPANG LIMA MANDAI KOTA MAKASSAR. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika Dan Masyarakat*, 17(2), 39. <https://doi.org/10.32382/sulolipu.v17i2.825>
- Putra, D. P., Sulandari, E., & Said. (2016). Analisis Hubungan Antara Kemacetan dan Polusi di Jalan Sultan Abdurrahman Pontianak. *Jurnal FT Untan*, 2(2), 1–11. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/download/16138/14063>
- Rawung, C. F. (2015). Efektivitas Ruang Terbuka Hijau (RTH) Dalam Mereduksi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK). *Jurnal Media Matrasain*, 12(2), 17–32. <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmm/article/viewFile/9204/8786>
- Sen, S., Sugiarto, D., & Rochman, A. (2020). Prediksi Harga Beras Menggunakan Metode Multilayer Perceptron (MLP) dan Long Short Term Memory (LSTM). *Ultimatics: Jurnal Teknik Informatika*, 12(1), 35–41. <https://doi.org/10.31937/ti.v12i1.1572>
- Shetty, S. K., & Siddiq, A. (2019). Deep Learning Algorithms and Applications in Computer Vision. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 7(7), 195–201. <https://doi.org/10.26438/ijcse/v7i7.195201>
- Suhardjo, D. (2007). Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Dalam Mengendalikan Tingkat Pencemaran Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Dinamika Teknik Sipil*, 7(2), 170–178. https://publikasiilmiah.ums.ac.id/bitstream/handle/11617/124/11_-drajat-iii.pdf;sequence=1
- Susanto, J. P., & Komarawidjaja, W. (2018). Pembangunan Green Belt Sebagai Antisipasi Pencemaran Udara Industri Pupuk Di Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(2), 155. <https://doi.org/10.29122/jtl.v19i2.2618>
- Undang-undang Nomor 26 tahun 2007 tentang penataan ruang

- Wardah, S., & Iskandar, I. (2017). ANALISIS PERAMALAN PENJUALAN PRODUK KERIPIK PISANG KEMASAN BUNGKUS (Studi Kasus : Home Industry Arwana Food Tembilahan). *J@ti Undip : Jurnal Teknik Industri*, 11(3), 135. <https://doi.org/10.14710/jati.11.3.135-142>
- WHO, [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-qu ality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (diakses pada tanggal 9 mei 2022).
- Wiranda, L., & Sadikin, M. (2019). Penerapan Long Short Term Memory Pada Data Time Series Untuk Memprediksi Penjualan Produk Pt. Metiska Farma. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika*, 8(3), 184–196. <https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/janapati/article/download/19139/pdf>
- Yadav, A., Jha, C. K., & Sharan, A. (2020). Optimizing LSTM for time series prediction in Indian stock market. *Procedia Computer Science*, 167(2019), 2091–2100. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.257>
- Yasir, M. (2021). Pencemaran Udara Di Perkotaan Berdampak Bahaya Bagi Manusia, Hewan, Tumbuhan dan Bangunan. *Jurnal OSF.Oi*, 1–10. <https://doi.org/10.31219/osf.io/nc5rg>
- Ym, H., Logo, W., Wenda, S., & Wonda, A. (2021). Kemampuan Tutupan Vegetasi RTH dalam Menyerap Emisi Polusi Udara Sektor Transportasi di Pusat Iindustri Kota Makassar. 1(1), 13–19. <https://holan.unaim-wamena.ac.id/index.php/holan/article/download/5/3/52>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Sampel data PM2.5 dan SO2 hasil pengukuran SPKUA

waktu	PM2.5	SO2
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2020-01-01 00:00:00	15	10
2020-01-01 01:00:00	19	13
2020-01-01 02:00:00	24	15
2020-01-01 03:00:00	6	13
2020-01-01 04:00:00	4	10
2020-01-01 05:00:00	4	9
2020-01-01 06:00:00	2	8
2020-01-01 07:00:00	5	8
2020-01-01 08:00:00	4	9
2020-01-01 09:00:00	3	8
2020-01-01 10:00:00	4	9
2020-01-01 11:00:00	2	8
2020-01-01 12:00:00	2	7
2020-01-01 13:00:00	2	6
2020-01-01 14:00:00	2	6
2020-01-01 15:00:00	1	6
2020-01-01 16:00:00	1	6
2020-01-01 17:00:00	3	5
2020-01-01 18:00:00	2	6
2020-01-01 19:00:00	2	6
2020-01-01 20:00:00	2	6
2020-01-01 21:00:00	3	6
2020-01-01 22:00:00	4	5
2020-01-01 23:00:00	5	5
2020-01-02 00:00:00	3	6
2020-01-02 01:00:00	3	7
2020-01-02 02:00:00	2	7
2020-01-02 03:00:00	2	6
2020-01-02 04:00:00	4	6
2020-01-02 05:00:00	3	7
2020-01-02 06:00:00	3	7
2020-01-02 07:00:00	3	8
2020-01-02 08:00:00	6	12
2020-01-02 09:00:00	4	13
2020-01-02 10:00:00	5	11
2020-01-02 11:00:00	3	10
2020-01-02 12:00:00	7	8
2020-01-02 13:00:00	3	7

Lanjutan Lampiran 1

waktu	PM2.5	SO2
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2020-01-02 14:00:00	1	7
2020-01-02 15:00:00	3	7
2020-01-02 16:00:00	2	7
2020-01-02 17:00:00	6	10
2020-01-02 18:00:00	6	15
2020-01-02 19:00:00	2	6
2020-01-02 20:00:00	2	6
2020-01-02 21:00:00	3	6
2020-01-02 22:00:00	4	5
2020-01-02 23:00:00	5	5
2020-01-03 00:00:00	7	17
2020-01-03 01:00:00	7	14
2020-01-03 02:00:00	7	12
2020-01-03 03:00:00	11	12
2020-01-03 04:00:00	6	10
2020-01-03 05:00:00	5	9
2020-01-03 06:00:00	5	9
2020-01-03 07:00:00	6	11
2020-01-03 08:00:00	4	12
2020-01-03 09:00:00	7	14
2020-01-03 10:00:00	11	16
2020-01-03 11:00:00	12	15
2020-01-03 12:00:00	7	18
2020-01-03 13:00:00	4	15
2020-01-03 14:00:00	1	10
2020-01-03 15:00:00	3	7
2020-01-03 16:00:00	2	7
2020-01-03 17:00:00	2	7
2020-01-03 18:00:00	4	7
2020-01-03 19:00:00	5	7
2020-01-03 20:00:00	5	7
2020-01-03 21:00:00	16	11
2020-01-03 22:00:00	10	14
2020-01-03 23:00:00	9	12

Lampiran 2. Script python peramalan ISPU PM2.5

```

#Dependency
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from keras.models import Sequential, load_model
from keras.layers import LSTM, Dense, Dropout

```

```

import math
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.metrics import mean_squared_error
%matplotlib inline
import seaborn as sns
sns.set_theme(style='whitegrid')
import warnings
warnings.filterwarnings("ignore")

# Mengambil, mengubah type dan urutkan data master PM2.5
dtU = pd.read_csv('PM2.5.csv')
dtU['TGL'] = pd.to_datetime(dtU['TGL'])
dtU['PM25'] = dtU['PM25'].astype(float)
dtU.sort_values('TGL', inplace=True, ignore_index=True)
#Menghitung konsentrasi PM2.5
stl1=0
stl2=48
rw = int(len(dtU))
for i in range(rw-48):
    dtU.loc[stl2,'KPM25']= dtU.loc[stl1:stl2,'PM25'].mean()
    stl1 += 1
    stl2 += 1

dtU.to_csv('KPM2.5.csv',index=False)
#Menghitung ISPU PM2.5
dtU = pd.read_csv('KPM2.5.csv')
dtU['TGL'] = pd.to_datetime(dtU['TGL'])
dtU['KPM25'] = dtU['KPM25'].astype(float)
dtU.sort_values('TGL', inplace=True, ignore_index=True)

ISPU = []
def hitung_ispu_rendah(nk):
    if nk < 15.5:
        xx = (50/15.5)* nk
        ISPU.append(xx)
    elif nk < 55.4:
        xx = ((100-50)/(55.4-15.5))*(nk-15.5)+50
        ISPU.append(xx)
    elif nk < 150.4:
        xx = ((200-100)/(150.4-55.4))*(nk-55.4)+100
        ISPU.append(xx)
    elif nk < 250.4:
        xx = ((300-200)/(250.4-150.4))*(nk-150.4)+200
        ISPU.append(xx)
    elif nk <= 500:
        xx = nk
        ISPU.append(xx)
    else:
        ISPU.append(0)

bd = int(len(dtU))
row_awal = 0
for i in range(bd):
    rw_ispu = dtU.loc[row_awal,'KPM25']
    hitung_ispu_rendah(rw_ispu)

```

```

row_awal += 1

dtU['ISPUM'] = ISPU[:]
dtU['ISPU'] = round(dtU['ISPUM'])
dtU.to_csv('ISPUPM25.csv', index=False)
# Peramalan ISPU PM2.5
dataPM = pd.read_csv('ISPUPM25.csv')
dataPM['ISPU'] = dataPM['ISPUM'].astype(float)
dataPM.sort_values('TGL', inplace=True, ignore_index=True)
dataPM.head
# Split data train dan data tes
train_data = int(len(dataPM) * 0.8)
data_train = dataPM[:train_data]
data_test = dataPM[train_data:].reset_index(drop=True)
# Scale data
scaler = StandardScaler()
scaler.fit(data_train[['ISPU']])
data_train['scale'] = scaler.fit_transform(data_train[['ISPU']])
data_test['scale'] = scaler.fit_transform(data_test[['ISPU']])
# Membuat data step/sliding window
data_step = 48
# Membuat dataset untuk data train dan data test
def create_dataset(dataset, data_step):
    dataX = []
    dataY = []
    for i in range(len(dataset) - data_step):
        dataX.append(dataset[i:i + data_step])
        dataY.append(dataset[i + data_step])
    return np.array(dataX), np.array(dataY)

trainX, trainY = create_dataset(data_train[['scale']].values, data_step)
testX, testY = create_dataset(data_test[['scale']].values, data_step)
trainX.shape
# Model LSTM
model = Sequential()
model.add(LSTM(64, input_shape=(data_step, 1)))
model.add(Dense(8, activation='relu'))
model.add(Dense(1))
model.compile(loss='mse', optimizer='adam', metrics=['mae'])
model.summary()
# Training data
history = model.fit(trainX, trainY, epochs=2000, batch_size=64, validation_split=0.3,
                    shuffle=False)
# Tampilkan loss model
plt.figure(figsize=(20, 7))
plt.plot(history.history['loss'], label="Training loss")
plt.plot(history.history['val_loss'], label="Validation loss")
plt.legend()
# Prediksi data test
predict_test = model.predict(testX)
x_test_pred = scaler.inverse_transform(predict_test)
y_test_pred = scaler.inverse_transform(testY)
# Evaluasi model dengan RMSE
rmse_test = math.sqrt(mean_squared_error(y_test_pred, x_test_pred))
print("nilai RMSE Test : ", rmse_test)

```

```

# Tampilkan data prediksi tes
data_test['predict'] = np.nan
data_test['predict'][-len(x_test_pred):] = x_test_pred[:, 0]
plt.figure(figsize=(15, 6))
sns.lineplot(data=data_test[:, x='TGL', y='ISPU', label='test'])
sns.lineplot(data=data_test[:, x='TGL', y='predict', label='predict'])
plt.yticks(fontsize=12)
plt.xticks(fontsize=12)
plt.ylabel('PM 2.5', fontsize=14)
plt.xlabel("")
#Simpan model
model.save('model_PM25.h5')
# Melakukan Forecasting/ Peramalan
y_test = scaler.transform(data_test[['ISPU']])
jangka_waktu = 24*365*23
ramalan = [[y_test[-1, 0]]]
baru = y_test[-data_step:, 0].tolist()

for i in range(jangka_waktu):
    y_predik = model.predict(np.array([baru]).reshape(1, data_step, 1))
    ramalan.append([y_predik[0, 0]])
    baru = baru[1:]
    baru.append(y_predik[0, 0])

ramalan = scaler.inverse_transform(np.array(ramalan))
waktu_ke depan = pd.date_range(start=data_test['TGL'].values[-1],
                                periods=jangka_waktu+1, freq='H')

rml = pd.DataFrame(ramalan)
rml['TGL']=waktu_ke depan[:]
rml=rml.rename(columns={0:'ISPU'})
rml['ISPU']= round(rml['ISPU'])
rml.plot(x='TGL',y='ISPU', figsize = (15,7))
#Konversi nilai ISPU ke Kategori ISPU
ISPU = []
def kategori_ispu(nk):
    if nk < 51:
        ISPU.append('Baik')
    elif nk < 100:
        ISPU.append('Sedang')
    else:
        ISPU.append('Tidak Sehat')

bd = int(len(dataPM25))
row_awal = 0
for i in range(bd):
    rw_ispu = rml.loc[row_awal,'ISPU']
    kategori_ispu(rw_ispu)
    row_awal += 1

rml['KATEGORI'] = ISPU[:]
rml.to_csv('ramal_ISPU.csv',index=False)

```

Lampiran 3. Script python peramalan ISPU SO2

```

#Dependency
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from keras.models import Sequential, load_model
from keras.layers import LSTM, Dense, Dropout
import math
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.metrics import mean_squared_error
%matplotlib inline
import seaborn as sns
sns.set_theme(style='whitegrid')
import warnings
warnings.filterwarnings("ignore")

#Mengambil,mengubah type dan urutkan data master SO2
dtU = pd.read_csv('SO2.csv')
dtU['TGL'] = pd.to_datetime(dtU['TGL'])
dtU['SO2'] = dtU['SO2'].astype(float)
dtU.sort_values('TGL', inplace=True, ignore_index=True)
#Menghitung konsentrasi SO2
stl1=0
stl2=48
rw = int(len(dtU))
for i in range(rw-48):
    dtU.loc[stl2,'KSO2'] = dtU.loc[stl1:stl2,'SO2'].mean()
    stl1 += 1
    stl2 += 1

dtU.to_csv('KSO2.csv',index=False)
#Menghitung ISPU SO2
dtU = pd.read_csv('KSO2.csv')
dtU['TGL'] = pd.to_datetime(dtU['TGL'])
dtU['KSO2'] = dtU['KSO2'].astype(float)
dtU.sort_values('TGL', inplace=True, ignore_index=True)

ISPU = []
def hitung_ispu_rendah(nk):
    if nk < 52:
        xx = (50/52)* nk
        ISPU.append(xx)
    elif nk < 180:
        xx = ((100-50)/(180-52))*(nk-52)+50
        ISPU.append(xx)
    elif nk < 400:
        xx = ((200-100)/(400-180))*(nk-180)+100
        ISPU.append(xx)
    elif nk < 800:
        xx = ((300-200)/(800-400))*(nk-400)+200
        ISPU.append(xx)
    elif nk <= 1200:
        xx = nk
        ISPU.append(xx)

```

```

else:
    ISPU.append(0)

bd = int(len(dtU))
row_awal = 0
for i in range(bd):
    rw_ispu = dtU.loc[row_awal,'KSO2']
    hitung_ispu_rendah(rw_ispu)
    row_awal += 1

dtU['ISPUM'] = ISPU[:]
dtU['ISPU'] = round(dtU['ISPUM'])
dtU.to_csv('ISPUSO2.csv',index=False)

#Peramalan ISPU SO2
dataPM = pd.read_csv('ISPUSO2.csv')
dataPM['ISPU'] = dataPM['ISPU'].astype(float)
dataPM.sort_values('TGL', inplace=True, ignore_index=True)
dataPM.head
# Split data train dan data tes
train_data = int(len(dataPM) * 0.8)
data_train = dataPM[:train_data]
data_test = dataPM[train_data:].reset_index(drop=True)
# Scale data
scaler = StandardScaler()
scaler.fit(data_train[['ISPU']])
data_train['scale'] = scaler.fit_transform(data_train[['ISPU']])
data_test['scale'] = scaler.fit_transform(data_test[['ISPU']])
# Membuat data step/sliding window
data_step = 48
# Membuat dataset untuk data train dan data test
def create_dataset(dataset, data_step):
    dataX = []
    dataY = []
    for i in range(len(dataset) - data_step):
        dataX.append(dataset[i:i + data_step])
        dataY.append(dataset[i+data_step])
    return np.array(dataX), np.array(dataY)

trainX, trainY = create_dataset(data_train[['scale']].values, data_step)
testX, testY = create_dataset(data_test[['scale']].values, data_step)
trainX.shape
# Model LSTM
model = Sequential()
model.add(LSTM(64,input_shape=(data_step, 1)))
model.add(Dense(8,activation='relu'))
model.add(Dense(1))
model.compile(loss='mse', optimizer='adam', metrics=['mae'])
model.summary()
# Training data
history=model.fit(trainX, trainY, epochs=3000,batch_size=64, validation_split=0.3,
shuffle=False)
# Tampilkan loss model
plt.figure(figsize = (20, 7))
plt.plot(history.history['loss'], label="Training loss")

```

```

plt.plot(history.history['val_loss'], label="Validation loss")
plt.legend()
# Prediksi data test
predict_test = model.predict(testX)
x_test_pred = scaler.inverse_transform(predict_test)
y_test_pred = scaler.inverse_transform(testY)
# Evaluasi model dengan RMSE
rmse_test= math.sqrt(mean_squared_error(y_test_pred,x_test_pred))
print("nilai RMSE Test : ",rmse_test)
# Tampilkan data prediksi tes
data_test['predict'] = np.nan
data_test['predict'][-len(x_test_pred):] = x_test_pred[:, 0]
plt.figure(figsize=(15, 6))
sns.lineplot(data=data_test[:, x='TGL', y='ISPU', label='test')
sns.lineplot(data=data_test[:, x='TGL', y='predict', label='predict')
plt.yticks(fontsize=12)
plt.xticks(fontsize=12)
plt.ylabel('PM 2.5',fontsize=14)
plt.xlabel("")
#Simpan model
model.save('model_SO2.h5')
# Melakukan Forecasting/ Peramalan
y_test = scaler.transform(data_test[['ISPUM']])
jangka_waktu = 24*365*23
ramalan = [[y_test[-1, 0]]]
baru = y_test[-data_step:, 0].tolist()

for i in range(jangka_waktu):
    y_predik = model.predict(np.array([baru]).reshape(1, data_step, 1))
    ramalan.append([y_predik[0, 0]])
    baru = baru[1:]
    baru.append(y_predik[0, 0])

ramalan = scaler.inverse_transform(np.array(ramalan))
waktu_kedepan = pd.date_range(start=data_test['TGL'].values[-1],
periods=jangka_waktu+1, freq='H')

rml = pd.DataFrame(ramalan)
rml['TGL']=waktu_kedepan[:]
rml=rml.rename(columns={0:'ISPUM'})
rml['ISPU']= round(rml['ISPUM'])
rml.plot(x='TGL',y='ISPU', figsize = (15,7))
#Konversi nilai ISPU ke Kategori ISPU
ISPU = []
def kategori_ispu(nk):
    if nk < 51:
        ISPU.append('Baik')
    elif nk < 100:
        ISPU.append('Sedang')
    else:
        ISPU.append('Tidak Sehat')

bd = int(len(dataSO2))
row_awal = 0
for i in range(bd):

```

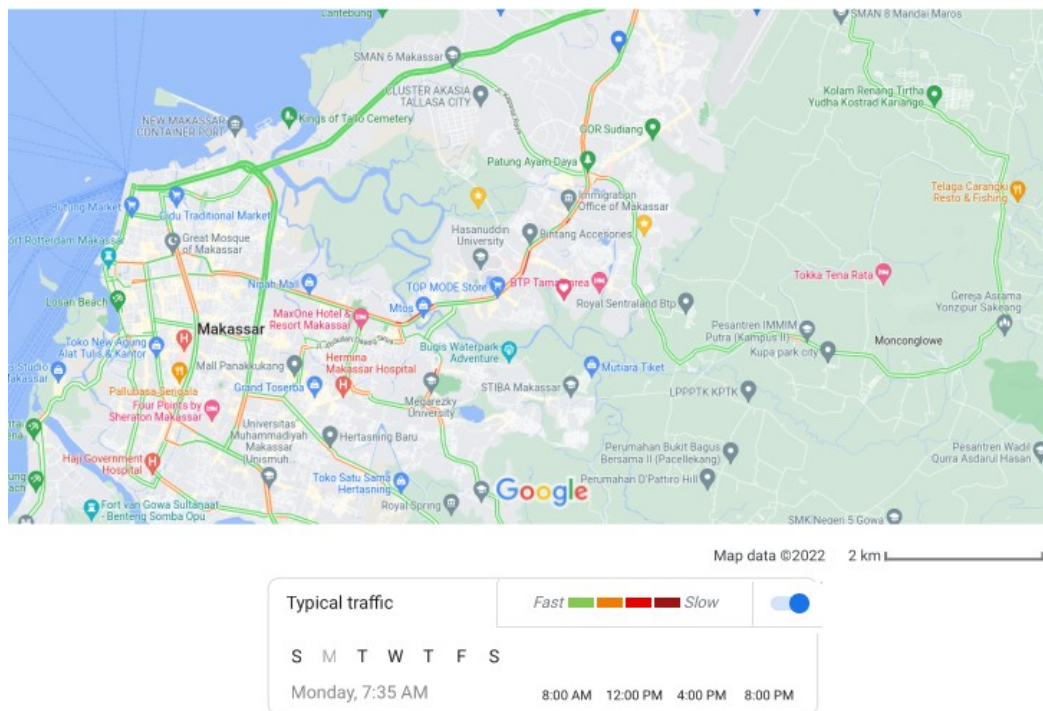
```

rw_ispu = rml.loc[row_awal,'ISPU']
kategori_ispu(rw_ispu)
row_awal += 1
rml['KATEGORI'] = ISPU[:]
rml.to_csv('ramal_ISPU.csv',index=False)

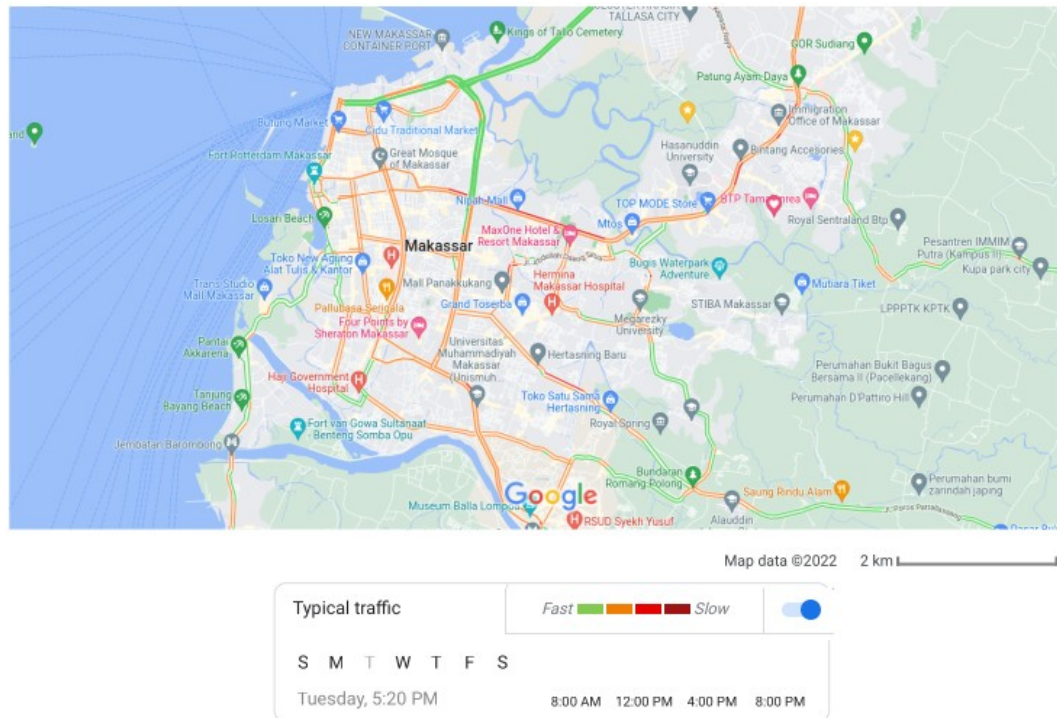
```

Lampiran 4. Pemantauan kepadatan kendaraan dengan *google traffic*

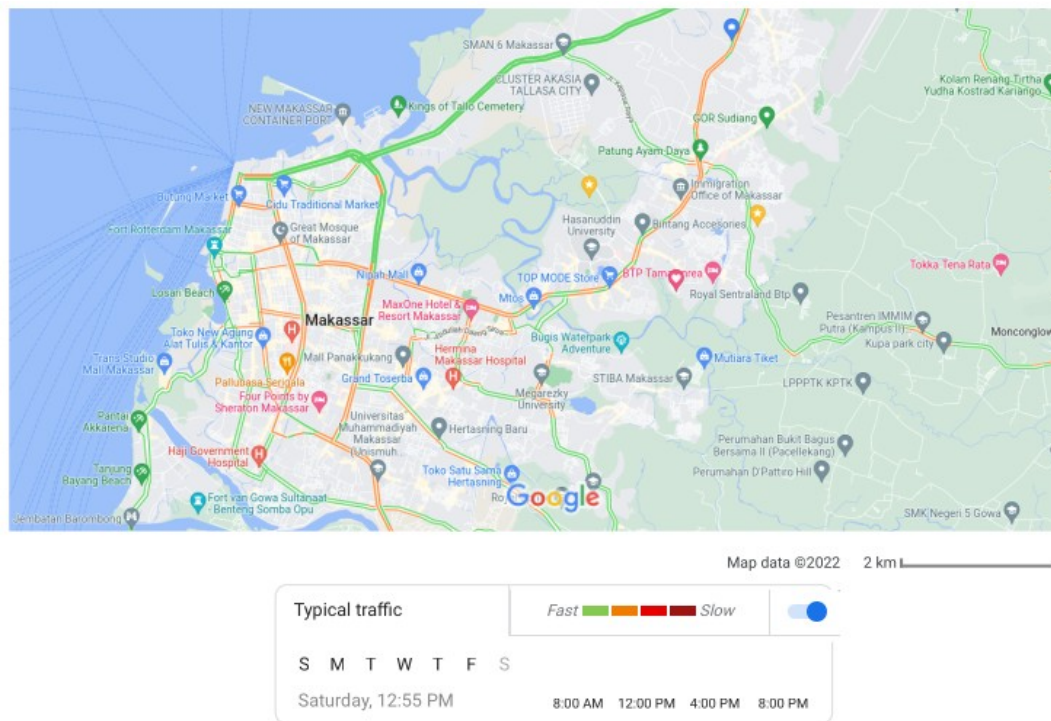
Lampiran ini merupakan hasil *screenshot* pada *google maps* saat proses identifikasi kepadatan kendaraan yang menggunakan fitur *google traffic*. Pemantauan difokuskan pada data jalan yang berbentuk garis, sedangkan tulisan dan titik warna-warni pada hasil *screenshot* adalah fitur bawaan google maps yang tidak bisa dihilangkan.



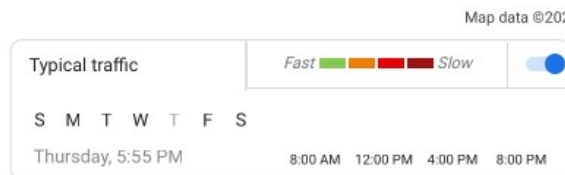
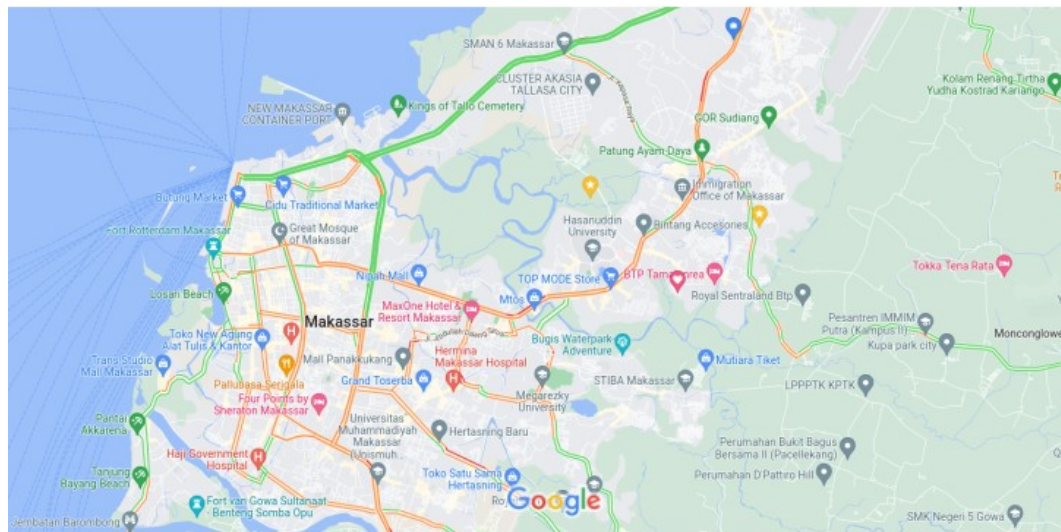
Pemantauan kepadatan kendaraan hari senin pagi



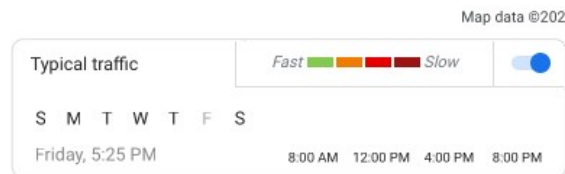
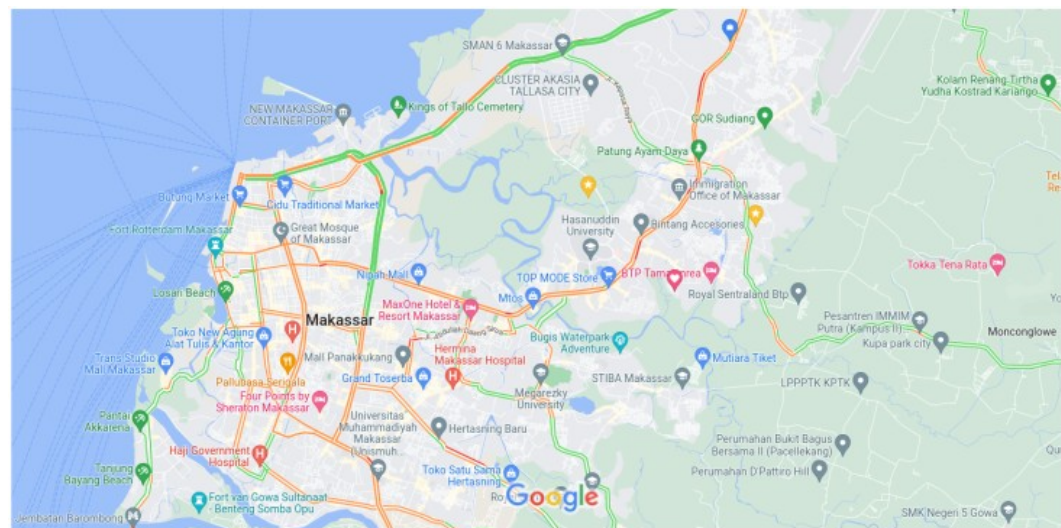
Pemantauan kepadatan kendaraan hari Selasa sore



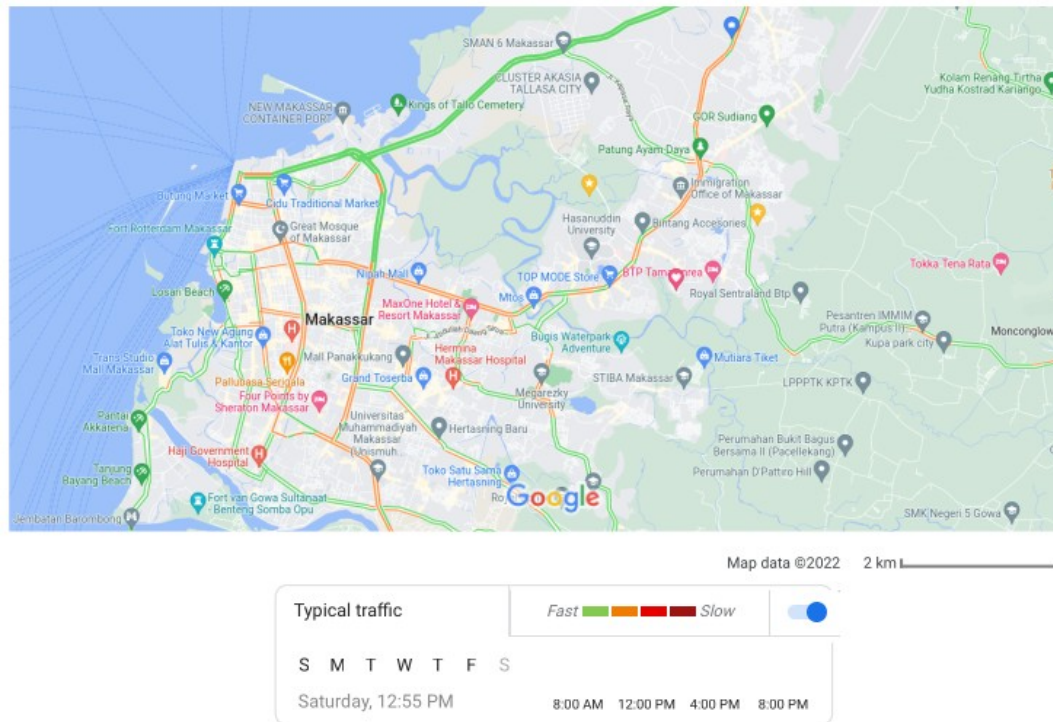
Pemantauan kepadatan kendaraan hari Rabu siang



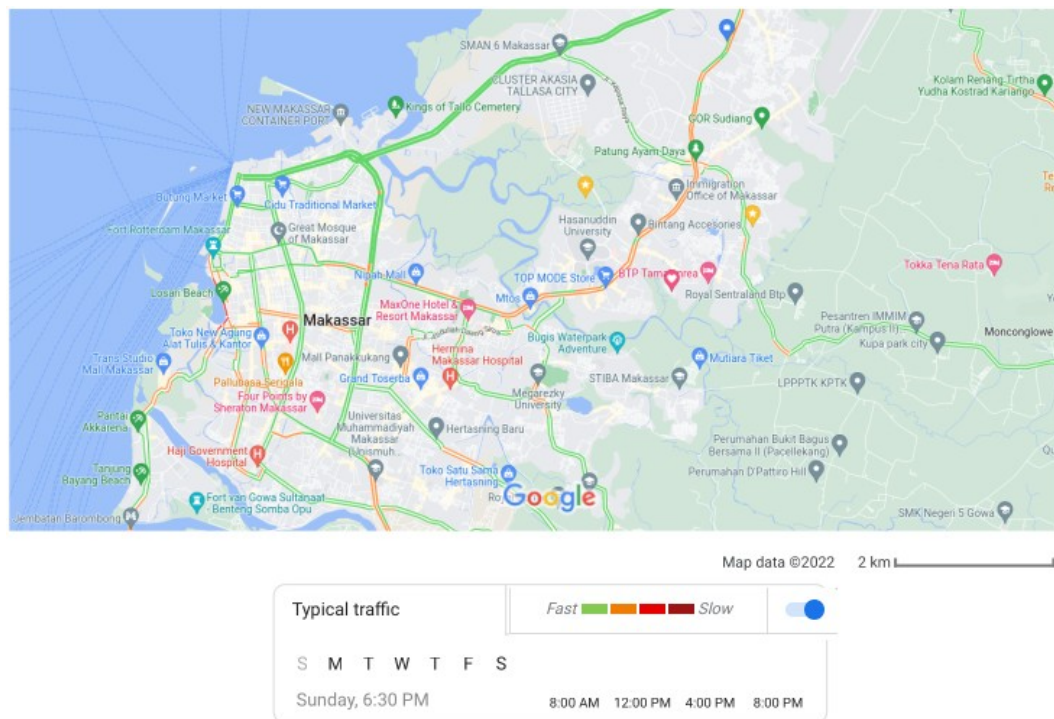
Pemantauan kepadatan kendaraan hari Kamis sore



Pemantauan kepadatan kendaraan hari Jumat sore



Pemantauan kepadatan kendaraan hari sabtu siang



Pemantauan kepadatan kendaraan hari minggu sore

Lampiran 5. Luas detail lokasi prioritas per kecamatan yang membutuhkan penambahan RTH berdasarkan sumber pencemar tidak bergerak

KECAMATAN	RTH	POLA RUANG	LUAS	
			Ha	%
Kec. Biring Kanaya	Prioritas 1	Industri	281.54	15.74
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah	1,157.86	64.72
	Prioritas 1 Total	Permukiman		
		Kepadatan Sedang	349.71	19.55
			1,789.11	48.64
	Prioritas 2	Bandara	0.85	0.15
		Gudang	205.50	35.01
		Hutan Kota	0.01	0.00
		Jalur Hijau	3.75	0.64
		Kawasan Campuran		
		Maritim	73.55	12.53
		Kesehatan	4.79	0.82
		Lapangan Olah Raga	8.62	1.47
		Militer	14.98	2.55
		Pendidikan	72.94	12.42
		Perdagangan dan Jasa	64.39	10.97
		Perkantoran	26.97	4.59
		Rencana Jalur Hijau	50.74	8.64
		RTH	28.94	4.93
		Sarana Ibadah	2.86	0.49
		Sempadan Sungai	21.95	3.74
		Terminal	6.20	1.06
		Prioritas 2 Total	587.04	15.96
	Tidak Prioritas	Bandara	0.87	0.07
		Danau	0.67	0.05
		Gudang	82.10	6.31
		Hutan Kota	0.00	0.00
		Industri	135.22	10.38
		Jalur Hijau	1.85	0.14
		Kawasan Campuran		
		Maritim	10.48	0.80
		Kesehatan	0.27	0.02
		Lapangan Olah Raga	23.15	1.78
		Militer	10.26	0.79
		Pendidikan	16.06	1.23
		Perdagangan dan Jasa	14.56	1.12
		Perkantoran	15.19	1.17
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah	379.72	29.16
		Permukiman		
		Kepadatan Sedang	112.94	8.67
		Rencana Jalur Hijau	37.01	2.84
		RTH	57.73	4.43
		Sarana Ibadah	0.30	0.02
		Sawah	361.07	27.73
		Sempadan Sungai	18.39	1.41

KECAMATAN	RTH	POLA RUANG	LUAS	
			Ha	%
Kec. Biring Kanaya Total	Tidak Prioritas Total	Sungai	22.78	1.75
		Terminal	1.53	0.12
			1,302.16	35.40
			3,678.31	21.09
Kec. Bontoala	Prioritas 1	Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	104.58	100.00
	Prioritas 1 Total		104.58	60.18
	Prioritas 2	Jalur Hijau	0.21	0.35
		Kesehatan	0.36	0.63
		Militer	0.10	0.17
		Pendidikan	4.29	7.38
		Perdagangan dan Jasa	46.27	79.46
		RTH	2.17	3.72
		Sarana Ibadah	4.83	8.29
	Prioritas 2 Total		58.23	33.50
	Tidak Prioritas	Jalur Hijau	0.01	0.12
		Pendidikan	1.19	10.79
		Perdagangan dan Jasa	1.84	16.71
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	3.96	36.03
		RTH	1.32	11.99
		Sarana Ibadah	1.36	12.35
		Sungai	1.32	12.00
	Tidak Prioritas Total		10.99	6.32
Kec. Bontoala Total			173.80	1.00
Kec. Makassar	Prioritas 1	Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	191.48	100.00
	Prioritas 1 Total		191.48	72.16
	Prioritas 2	Jalur Hijau	0.43	0.72
		Kesehatan	0.06	0.10
		Militer	1.17	1.97
		Pendidikan	3.86	6.52
		Perdagangan dan Jasa	48.34	81.73
		Perkantoran	3.34	5.64
		RTH	0.88	1.49
		Sarana Ibadah	1.08	1.83
	Prioritas 2 Total		59.14	22.29
	Tidak Prioritas	Jalur Hijau	0.01	0.06
		Kesehatan	0.04	0.28
		Militer	0.10	0.66
		Pendidikan	0.57	3.88
		Perdagangan dan Jasa	2.43	16.51
		Perkantoran	0.25	1.67
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	7.25	49.21
		RTH	1.65	11.21

KECAMATAN	RTH	POLA RUANG	LUAS	
			Ha	%
Kec. Makassar Total	Tidak Prioritas Total	Sarana Ibadah	0.01	0.09
		Sungai	2.42	16.43
			14.73	5.55
			265.35	1.52
Kec. Mamajang Total	Prioritas 1	Permukiman		
		Kepadatan Sedang	0.50	0.30
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	167.32	99.70
	Prioritas 1 Total		167.82	66.89
	Prioritas 2	Jalur Hijau	0.34	0.51
		Kesehatan	6.53	9.73
		Militer	5.35	7.98
		Pendidikan	11.22	16.72
		Perdagangan dan Jasa	35.64	53.11
		Perkantoran	2.60	3.88
		RTH	4.31	6.43
		Sarana Ibadah	1.10	1.64
	Prioritas 2 Total		67.09	26.74
	Tidak Prioritas	Jalur Hijau	0.07	0.44
		Kesehatan	0.74	4.61
		Militer	0.50	3.16
		Pendidikan	1.26	7.92
		Perdagangan dan Jasa	2.44	15.31
		Perkantoran	0.13	0.79
		Permukiman		
		Kepadatan Sedang	0.03	0.19
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	6.01	37.64
	Tidak Prioritas Total	RTH	2.07	12.99
		Sarana Ibadah	0.00	0.01
		Sungai	2.70	16.93
			15.96	6.36
Kec. Manggala	Prioritas 1	Industri	1.26	0.13
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah	2.53	0.27
		Permukiman		
	Prioritas 1 Total	Kepadatan Sedang	950.14	99.60
			953.93	41.66
	Prioritas 2	Militer	0.52	0.54
		Pendidikan	4.25	4.44
		Perdagangan dan Jasa	3.34	3.48
		Rencana Hutan Kota	13.16	13.73
		Rencana Jalur Hijau	4.73	4.93
		RTH	30.43	31.75
		Sarana Ibadah	1.78	1.85

KECAMATAN	RTH	POLA RUANG	LUAS	
			Ha	%
Kec. Manggala Total	Prioritas 2 Total	Sempadan Danau	22.00	22.95
		Sempadan Sungai	0.15	0.16
		TPA	15.50	16.17
			95.86	4.19
	Tidak Prioritas	Danau	71.82	5.79
		Industri	0.25	0.02
		Militer	0.01	0.00
		Pendidikan	1.83	0.15
		Perdagangan dan Jasa	0.07	0.01
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah	1.62	0.13
		Permukiman		
		Kepadatan Sedang	353.16	28.48
		Rencana Hutan Kota	85.73	6.91
		Rencana Jalur Hijau	5.15	0.42
		RTH	26.48	2.14
		Sarana Ibadah	0.15	0.01
	Tidak Prioritas Total	Sawah	660.52	53.27
		Sempadan Danau	13.51	1.09
		Sempadan Sungai	1.45	0.12
		Sungai	17.52	1.41
		TPA	0.66	0.05
			1,239.92	54.15
			2,289.71	13.13
Kec. Mariso	Prioritas 1	Permukiman		
		Kepadatan Sedang	10.30	5.93
		Permukiman		
	Prioritas 1 Total	Kepadatan Tinggi	163.59	94.07
			173.89	62.37
	Prioritas 2	Jalur Hijau	2.14	3.90
		Kawasan Campuran	23.76	43.24
		Kesehatan	0.60	1.09
		Militer	4.56	8.30
		Pendidikan	2.40	4.36
		Perdagangan dan Jasa	12.01	21.87
		Perkantoran	5.11	9.30
		RTH	3.23	5.89
		Sarana Ibadah	1.14	2.07
	Prioritas 2 Total		54.94	19.71
	Tidak Prioritas	Danau	0.56	1.11
		Jalur Hijau	0.69	1.38
		Kawasan Campuran	18.84	37.72
		Kesehatan	0.02	0.03
		Militer	0.37	0.75
		Pendidikan	0.01	0.03
		Perdagangan dan Jasa	0.77	1.53
		Perkantoran	0.62	1.25

KECAMATAN	RTH	POLA RUANG	LUAS	
			Ha	%
Kec. Mariso		Permukiman		
		Kepadatan Sedang	3.03	6.07
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	10.22	20.45
		RTH	4.24	8.49
		Sarana Ibadah	0.02	0.04
		Sawah	0.00	0.00
		Sungai	10.57	21.15
		Tidak Prioritas Total	49.96	17.92
			278.80	1.60
Kec. Panakkukang	Prioritas 1	Industri	15.22	2.07
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah	68.44	9.32
		Permukiman		
		Kepadatan Sedang	468.90	63.87
	Prioritas 1 Total	Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	181.63	24.74
			734.20	46.83
	Prioritas 2	Gudang	5.46	1.32
		Jalur Hijau	3.99	0.97
		Kesehatan	3.30	0.80
		Militer	27.15	6.59
		Pendidikan	81.49	19.77
		Perdagangan dan Jasa	97.06	23.54
		Perkantoran	40.89	9.92
		Rencana Jalur Hijau	10.49	2.54
		Rencana Kawasan		
		Lindung	102.89	24.96
		RTH	28.65	6.95
		Sarana Ibadah	2.15	0.52
		Sempadan Sungai	8.74	2.12
		Prioritas 2 Total	412.25	26.30
	Tidak Prioritas	Danau	0.03	0.01
		Gudang	0.05	0.01
		Industri	4.59	1.09
		Jalur Hijau	0.94	0.22
		Kesehatan	0.26	0.06
		Militer	7.82	1.85
		Pendidikan	39.15	9.29
		Perdagangan dan Jasa	4.61	1.09
		Perkantoran	12.62	3.00
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah	22.34	5.30
		Permukiman		
		Kepadatan Sedang	98.33	23.34
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	33.23	7.89
		Rencana Jalur Hijau	10.71	2.54

KECAMATAN	RTH	POLA RUANG	LUAS	
			Ha	%
Kec. Panakkukang	Tidak Prioritas	Rencana Kawasan Lindung	78.32	18.59
		RTH	34.98	8.30
		Sarana Ibadah	0.06	0.01
		Sawah	0.00	0.00
		Sempadan Sungai	19.80	4.70
		Sungai	53.51	12.70
		Total	421.35	26.88
			1,567.81	8.99
		Permukiman		
		Kepadatan Sedang	617.42	74.71
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	208.97	25.29
		Prioritas 1 Total	826.39	75.42
		Prioritas 2		
Kec. Rappocini	Prioritas 1	Jalur Hijau	2.19	2.06
		Kesehatan	2.33	2.19
		Militer	0.67	0.63
		Pendidikan	25.79	24.26
		Perdagangan dan Jasa	27.31	25.68
		Perkantoran	40.26	37.86
		Rencana Jalur Hijau	0.64	0.60
		RTH	4.63	4.35
		Sarana Ibadah	2.51	2.36
		Prioritas 2 Total	106.32	9.70
		Tidak Prioritas		
		Jalur Hijau	0.61	0.37
		Kesehatan	0.05	0.03
		Militer	0.07	0.04
		Pendidikan	6.27	3.84
		Perdagangan dan Jasa	1.36	0.84
		Perkantoran	5.55	3.41
		Permukiman		
		Kepadatan Sedang	115.22	70.67
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	20.42	12.53
		Rencana Jalur Hijau	0.92	0.57
		RTH	5.76	3.53
		Sarana Ibadah	0.13	0.08
		Sawah	0.01	0.00
		Sungai	6.67	4.09
		Tidak Prioritas		
		Total	163.03	14.88
			1,095.74	6.28
Kec. Tallo	Prioritas 1	Industri	15.93	3.62
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah	84.40	19.19
		Permukiman	5.64	1.28

KECAMATAN	RTH	POLA RUANG	LUAS	
			Ha	%
		Kepadatan Sedang Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	333.83	75.91
	Prioritas 1 Total		439.80	45.78
	Prioritas 2	Gudang	1.02	0.34
		Jalur Hijau	1.43	0.48
		Militer	0.20	0.06
		Pelabuhan	18.55	6.15
		Pendidikan	8.40	2.79
		Perdagangan dan Jasa	9.24	3.06
		Rencana Kawasan Lindung	219.84	72.91
		RTH	22.82	7.57
		Sarana Ibadah	1.58	0.52
		Sempadan Danau	4.16	1.38
		Sempadan Sungai	14.30	4.74
	Prioritas 2 Total		301.54	31.39
	Tidak Prioritas	Danau	6.06	2.76
		Gudang	0.10	0.05
		Industri	0.44	0.20
		Jalur Hijau	0.45	0.20
		Militer	0.00	0.00
		Pelabuhan	3.81	1.74
		Pendidikan	2.70	1.23
		Perdagangan dan Jasa	0.25	0.12
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah Permukiman	15.95	7.27
		Kepadatan Sedang Permukiman	2.83	1.29
		Kepadatan Tinggi	32.21	14.68
		Rencana Kawasan Lindung	40.25	18.35
		RTH	15.25	6.95
		Sarana Ibadah	0.13	0.06
		Sawah	0.03	0.02
		Sempadan Danau	1.33	0.61
		Sempadan Sungai	8.95	4.08
		Sungai	88.63	40.40
	Tidak Prioritas Total		219.39	22.84
Kec. Tallo Total			960.74	5.51
Kec. Tamalanrea	Prioritas 1	Industri	518.18	37.70
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah Permukiman	525.88	38.26
		Kepadatan Sedang	330.59	24.05
	Prioritas 1 Total		1,374.66	35.65
	Prioritas 2	Gudang	781.75	62.45
		Hutan Kota	11.42	0.91

KECAMATAN	RTH	POLA RUANG	LUAS	
			Ha	%
		Jalur Hijau	9.34	0.75
		Kawasan Campuran		
		Maritim	183.11	14.63
		Kesehatan	8.06	0.64
		Militer	22.71	1.81
		Pendidikan	66.10	5.28
		Perdagangan dan Jasa	39.97	3.19
		Perkantoran	11.34	0.91
		Rencana Hutan Kota	10.53	0.84
		Rencana Jalur Hijau	46.63	3.73
		RTH	28.43	2.27
		Sarana Ibadah	1.91	0.15
		Sempadan Danau	3.76	0.30
		Sempadan Pantai	0.40	0.03
		Sempadan Sungai	26.29	2.10
	Prioritas 2 Total		1,251.75	32.46
	Tidak Prioritas	Danau	7.30	0.59
		Gudang	238.35	19.38
		Hutan Kota	33.09	2.69
		Industri	133.60	10.86
		Jalur Hijau	4.86	0.40
		Kawasan Campuran		
		Maritim	25.36	2.06
		Kesehatan	3.00	0.24
		Militer	17.95	1.46
		Pendidikan	106.41	8.65
		Perdagangan dan Jasa	11.71	0.95
		Perkantoran	5.36	0.44
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah	164.52	13.38
		Permukiman		
		Kepadatan Sedang	91.38	7.43
		Rencana Hutan Kota	50.27	4.09
		Rencana Jalur Hijau	23.79	1.94
		RTH	114.35	9.30
		Sarana Ibadah	0.32	0.03
		Sawah	23.66	1.92
		Sempadan Danau	7.43	0.60
		Sempadan Pantai	0.16	0.01
		Sempadan Sungai	33.83	2.75
		Sungai	132.94	10.81
	Tidak Prioritas Total		1,229.65	31.89
Kec. Tamalanrea			3,856.05	22.11
Kec. Tamalate	Prioritas 1	Permukiman		
		Kepadatan Rendah	201.38	16.88
		Permukiman		
		Kepadatan Sedang	548.80	46.01
		Permukiman	442.50	37.10

KECAMATAN	RTH	POLA RUANG	LUAS	
			Ha	%
		Kepadatan Tinggi		
	Prioritas 1 Total		1,192.68	49.34
	Prioritas 2	Bisnis dan Olah Raga	246.35	46.26
		Jalur Hijau	0.19	0.04
		Kawasan Campuran	0.15	0.03
		Kawasan Campuran		
		Bisnis	68.49	12.86
		Kawasan Campuran		
		Olaharaga	42.70	8.02
		Kesehatan	1.68	0.32
		Lapangan Olah Raga	5.93	1.11
		Militer	0.67	0.13
		Pendidikan	36.62	6.88
		Perdagangan dan Jasa	32.07	6.02
		Perkantoran	8.15	1.53
		RTH	26.87	5.05
		Sarana Ibadah	2.09	0.39
		Sempadan Danau	22.95	4.31
		Terminal	2.86	0.54
		Wisata	34.72	6.52
	Prioritas 2 Total		532.50	22.03
	Tidak Prioritas	Bisnis dan Olah Raga	92.94	13.43
		Danau	2.23	0.32
		Kawasan Campuran	0.01	0.00
		Kawasan Campuran		
		Bisnis	23.77	3.44
		Kawasan Campuran		
		Olaharaga	28.66	4.14
		Kesehatan	0.01	0.00
		Lapangan Olah Raga	1.38	0.20
		Militer	0.04	0.01
		Pendidikan	7.71	1.11
		Perdagangan dan Jasa	4.83	0.70
		Perkantoran	1.41	0.20
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah	80.96	11.70
		Permukiman		
		Kepadatan Sedang	171.55	24.79
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	38.58	5.58
		RTH	19.77	2.86
		Sarana Ibadah	0.04	0.01
		Sawah	0.21	0.03
		Sempadan Danau	13.76	1.99
		Sungai	181.00	26.16
		Terminal	0.64	0.09
		Wisata	22.43	3.24
	Tidak Prioritas			
	Total		691.91	28.63
Kec. Tamalate			2,417.09	13.86

KECAMATAN	RTH	POLA RUANG	LUAS	
			Ha	%
Total				
Kec. Ujung Pandang	Prioritas 1	Permukiman		
		Kepadatan Rendah	0.00	0.00
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	137.98	100.00
	Prioritas 1 Total		137.98	51.52
	Prioritas 2	Jalur Hijau	1.26	1.31
		Kesehatan	5.51	5.76
		Militer	2.02	2.11
		Pelabuhan	7.33	7.65
		Pendidikan	12.15	12.68
		Perdagangan dan Jasa	35.58	37.14
		Perkantoran	18.88	19.71
		RTH	7.41	7.74
		Sarana Ibadah	1.24	1.29
		Wisata	4.41	4.60
	Prioritas 2 Total		95.79	35.77
	Tidak Prioritas	Jalur Hijau	0.56	1.65
		Kesehatan	0.68	1.99
		Militer	0.51	1.50
		Pelabuhan	0.35	1.04
		Pendidikan	1.05	3.08
		Perdagangan dan Jasa	1.94	5.71
		Perkantoran	3.91	11.48
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah	0.00	0.01
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	15.80	46.40
		RTH	7.70	22.61
		RTNH	1.03	3.03
		Sarana Ibadah	0.06	0.16
		Wisata	0.46	1.35
	Tidak Prioritas Total		34.06	12.72
Kec. Ujung Pandang Total			267.83	1.54
Kec. Ujung Tanah	Prioritas 1	Permukiman		
		Kepadatan Rendah	41.57	62.37
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	25.08	37.63
	Prioritas 1 Total		66.65	49.46
	Prioritas 2	Kesehatan	1.16	2.09
		Militer	5.63	10.10
		Pelabuhan	28.53	51.12
		Pendidikan	13.73	24.61
		Perdagangan dan Jasa	1.30	2.33
		RTH	4.76	8.52
		Sarana Ibadah	0.68	1.22
	Prioritas 2 Total		55.80	41.41
	Tidak Prioritas	Kesehatan	0.06	0.51

KECAMATAN	RTH	POLA RUANG	LUAS	
			Ha	%
Kec. Ujung Tanah		Militer	1.64	13.33
		Pelabuhan	1.36	11.03
		Pendidikan	1.84	14.93
		Perdagangan dan Jasa	0.02	0.15
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah	2.13	17.27
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	2.03	16.46
		RTH	1.81	14.74
		Sarana Ibadah	0.03	0.27
		Sungai	1.39	11.30
		Tidak Prioritas Total	12.31	9.13
			134.76	0.77
Kec. Wajo	Prioritas 1	Permukiman		
		Kepadatan Rendah	0.31	0.39
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	80.46	99.61
	Prioritas 1 Total		80.77	39.50
	Prioritas 2	Jalur Hijau	0.19	0.16
		Kesehatan	3.07	2.57
		Militer	0.06	0.05
		Pelabuhan	31.41	26.31
		Pendidikan	3.37	2.82
		Perdagangan dan Jasa	79.23	66.35
		Perkantoran	0.15	0.13
		RTH	1.34	1.12
		Sarana Ibadah	0.58	0.49
	Prioritas 2 Total		119.41	58.39
	Tidak Prioritas	Jalur Hijau	0.02	0.37
		Kesehatan	0.30	6.85
		Militer	0.05	1.07
		Pelabuhan	0.19	4.36
		Pendidikan	0.05	1.18
		Perdagangan dan Jasa	0.92	21.35
		Perkantoran	0.05	1.05
		Permukiman		
		Kepadatan Rendah	0.03	0.73
		Permukiman		
		Kepadatan Tinggi	2.54	58.66
		RTH	0.18	4.24
		Sarana Ibadah	0.01	0.13
	Tidak Prioritas Total		4.32	2.11
Kec. Wajo Total			204.50	1.17
Grand Total			17,441.35	100.00

Lampiran 6. Luas detail lokasi prioritas yang membutuhkan penambahan RTH berdasarkan sumber pencemar bergerak

RTH	JALAN	POLA RUANG	LUAS	
			M2	%
Prioritas 1	Jl. Adyaksa Baru	Jalur Hijau	760.15	1.18
		Perdagangan dan Jasa	54,787.94	84.92
		Permukiman Kepadatan Sedang	8,813.43	13.66
		Sarana Ibadah	159.09	0.25
	Jl. AP. Pettarani	Jalur Hijau	5,730.42	4.82
		Militer	1,352.80	1.14
		Perdagangan dan Jasa	95,271.73	80.22
		Perkantoran	15,631.50	13.16
		Permukiman Kepadatan Sedang	705.78	0.59
	Jl. Cakalang	RTH	75.20	0.06
		Militer	3,903.62	8.44
		Perdagangan dan Jasa	5,478.41	11.85
		Permukiman Kepadatan Tinggi	36,397.08	78.72
		Sarana Ibadah	459.95	0.99
	Jl. Cendrawasih	Perdagangan dan Jasa	43,127.28	64.56
		Permukiman Kepadatan Tinggi	21,338.62	31.94
		RTH	1,237.47	1.85
		Sarana Ibadah	1,098.80	1.64
	Jl. G. Bawakaraeng	Jalur Hijau	575.35	0.69
		Pendidikan	5,272.54	6.34
		Perdagangan dan Jasa	59,195.94	71.22
		Permukiman Kepadatan Tinggi	17,995.21	21.65
		RTH	79.39	0.10
	Jl. Perintis Kemerdekaan	Hutan Kota	61.01	0.04
		Jalur Hijau	1,566.91	1.09
		Kesehatan	4,278.81	2.98
		Perdagangan dan Jasa	52,339.51	36.46
		Perkantoran	4,390.36	3.06
		Permukiman Kepadatan Rendah	48,881.53	34.05
		Permukiman Kepadatan Sedang	28,805.56	20.07
		RTH	2,422.04	1.69
		Sarana Ibadah	798.18	0.56
	Jl. Sultan Alauddin	Jalur Hijau	624.60	0.47
		Pendidikan	889.16	0.67
		Perdagangan dan Jasa	81,715.26	61.83
		Perkantoran	10,051.79	7.61
		Permukiman Kepadatan Sedang	11,528.06	8.72
		Permukiman Kepadatan Tinggi	25,819.77	19.54

RTH	JALAN	POLA RUANG	LUAS	
			M2	%
Prioritas 2	Jl. Teuku Umar Raya	Sarana Ibadah	580.87	0.44
		Sungai	954.82	0.72
		Industri	379.93	0.82
		Pendidikan	2,088.47	4.49
	Jl. Urip Sumoharjo	Permukiman Kepadatan Tinggi	44,067.23	94.70
		Jalur Hijau	593.07	0.95
		Pendidikan	655.92	1.05
		Perdagangan dan Jasa	47,539.65	76.15
	Jl. Veteran Utara	Perkantoran	2,937.72	4.71
		Permukiman Kepadatan Tinggi	9,739.45	15.60
		RTH	966.75	1.55
		Jalur Hijau	817.38	1.50
	Jl. Abdullah Daeng Sirua	Perdagangan dan Jasa	30,305.57	55.71
		Permukiman Kepadatan Tinggi	23,274.35	42.79
		Permukiman Kepadatan Sedang	62,440.25	97.13
		Sungai	1,846.79	2.87
	Jl. Antang Raya	Danau	2,179.53	4.72
		Permukiman Kepadatan Sedang	29,514.50	63.87
		Sarana Ibadah	288.89	0.63
		Sempadan Danau	14,229.28	30.79
	Jl. AP. Pettarani	Jalur Hijau	7,420.67	4.14
		Pendidikan	21,326.64	11.91
		Perdagangan dan Jasa	20,642.61	11.53
		Perkantoran	90,921.78	50.76
	Jl. Aroeppala	Permukiman Kepadatan Sedang	12,156.00	6.79
		Permukiman Kepadatan Tinggi	23,234.67	12.97
		RTH	3,349.54	1.87
		Sarana Ibadah	54.51	0.03
	Jl. Batua Raya	Permukiman Kepadatan Sedang	24,852.67	97.36
		RTH	65.93	0.26
		Sungai	607.20	2.38
		Permukiman Kepadatan Sedang	47,102.86	99.25
	Jl. Masjid Raya	Sungai	356.30	0.75
		Jalur Hijau	741.29	0.94
		Perdagangan dan Jasa	54,326.95	69.02
		Permukiman Kepadatan Tinggi	22,065.75	28.03
	Jl. Panampu	Sarana Ibadah	1,577.09	2.00
		Perdagangan dan Jasa	7,026.74	16.24
		Permukiman Kepadatan Tinggi	31,392.47	72.55

RTH	JALAN	POLA RUANG	LUAS	
			M2	%
Prioritas 3	Jl. Perintis Kemerdekaan	RTH	3,329.72	7.70
		Sarana Ibadah	359.82	0.83
		Sempadan Danau	1,158.90	2.68
		Danau	1,424.82	1.65
		Jalur Hijau	1,479.48	1.71
		Pendidikan	6,335.84	7.34
		Perdagangan dan Jasa	36,920.34	42.79
		Perkantoran	10,857.73	12.59
		Permukiman Kepadatan Rendah	5,169.66	5.99
		Permukiman Kepadatan Sedang	9,511.33	11.02
		RTH	3,442.49	3.99
		Sarana Ibadah	322.39	0.37
		Sempadan Danau	10,810.52	12.53
		Perkantoran	32,627.71	55.62
		Permukiman Kepadatan Sedang	25,712.17	43.83
	Jl. Sultan Alauddin	Sarana Ibadah	319.66	0.54
		Militer	590.67	1.32
		Pendidikan	7,031.37	15.75
		Perdagangan dan Jasa	25,395.75	56.90
		Permukiman Kepadatan Tinggi	11,047.91	24.75
	Jl. Tentara Pelajar	RTH	565.08	1.27
		Industri	1,108.47	1.28
		Jalur Hijau	1,592.81	1.83
		Kesehatan	3,644.70	4.19
		Militer	1,836.05	2.11
		Perdagangan dan Jasa	37,019.80	42.60
		Perkantoran	6,039.44	6.95
		Permukiman Kepadatan Rendah	18,910.09	21.76
		Permukiman Kepadatan Sedang	10,315.64	11.87
		Permukiman Kepadatan Tinggi	2,826.46	3.25
	Jl. Urip Sumoharjo	RTH	3,202.30	3.68
		Sarana Ibadah	412.80	0.47
		Jalur Hijau	1,359.22	1.46
		Kesehatan	2.55	0.00
		Pendidikan	5,857.46	6.31
		Perdagangan dan Jasa	49,582.23	53.43
		Perkantoran	7,422.91	8.00
		Permukiman Kepadatan Rendah	2.71	0.00
		Permukiman Kepadatan Tinggi	18,467.06	19.90
		RTH	2,358.37	2.54
	Jl. Ahmad Yani	RTH	3,329.72	7.70
		Sarana Ibadah	359.82	0.83
		Sempadan Danau	1,158.90	2.68
		Danau	1,424.82	1.65
		Jalur Hijau	1,479.48	1.71
		Pendidikan	6,335.84	7.34
		Perdagangan dan Jasa	36,920.34	42.79
		Perkantoran	10,857.73	12.59
		Permukiman Kepadatan Rendah	5,169.66	5.99
		Permukiman Kepadatan Sedang	9,511.33	11.02

RTH	JALAN	POLA RUANG	LUAS	
			M2	%
Jl. Antang Raya		Sarana Ibadah	590.33	0.64
		Wisata	7,153.36	7.71
		Permukiman Kepadatan		
		Sedang	50,048.56	89.54
		RTH	3,063.33	5.48
		Sarana Ibadah	449.40	0.80
		Sungai	2,333.00	4.17
		Permukiman Kepadatan		
		Sedang	41,296.03	94.88
		Sarana Ibadah	3.37	0.01
Jl. DR. Leimena		Sungai	2,227.32	5.12
		Militer	1,411.54	3.49
		Perdagangan dan Jasa	4,779.61	11.82
		Perkantoran	30,779.39	76.14
		Permukiman Kepadatan		
		Tinggi	291.38	0.72
		RTH	2,938.67	7.27
		Sungai	224.56	0.56
		Jalur Hijau	11,336.54	41.43
		Kawasan Campuran	2,501.96	9.14
Jl. Metro Tj. Bunga		Permukiman Kepadatan		
		Sedang	9,983.32	36.48
		Permukiman Kepadatan		
		Tinggi	920.10	3.36
		RTH	2,479.36	9.06
		RTNH	144.50	0.53
		Industri	3,081.27	2.60
		Jalur Hijau	1,225.48	1.03
		Kesehatan	1,032.78	0.87
		Militer	15,984.36	13.47
Jl. Perintis Kemerdekaan		Pendidikan	5,391.99	4.54
		Perdagangan dan Jasa	63,974.13	53.90
		Permukiman Kepadatan		
		Rendah	16,993.80	14.32
		Permukiman Kepadatan		
		Sedang	9,881.79	8.33
		RTH	473.07	0.40
		Sarana Ibadah	650.68	0.55
		Jalur Hijau	506.59	0.94
		Pendidikan	13,659.99	25.24
Jl. Sultan Alauddin		Perdagangan dan Jasa	1,425.16	2.63
		Perkantoran	4,324.25	7.99
		Permukiman Kepadatan		
		Sedang	17,024.42	31.45
		Permukiman Kepadatan		
		Tinggi	17,189.72	31.76
		Jalur Hijau	599.78	1.56
		Militer	1,040.47	2.71
Jl. Sungai Saddang Lama				

RTH	JALAN	POLA RUANG	LUAS	
			M2	%
		Perkantoran	33,169.90	86.38
		RTH	3,590.92	9.35
		Permukiman Kepadatan		
	Jl. Teuku Umar Raya	Tinggi	46,315.83	99.54
		Sarana Ibadah	212.73	0.46
	Jl. Urip Sumoharjo	Kesehatan	3,001.16	7.83
		Pendidikan	5,059.86	13.20
		Perdagangan dan Jasa	1,164.86	3.04
		Perkantoran	8,017.36	20.92
		Permukiman Kepadatan		
		Rendah	12,196.06	31.82
		Permukiman Kepadatan		
		Sedang	5,109.35	13.33
		RTH	3,778.22	9.86