

**PEMODELAN $PM_{2,5}$ PADA MUSIM KEMARAU
MENGUNAKAN *SOFTWARE GRAZ LAGRANGIAN*
MODEL DI KECAMATAN KOTA BARU KOTA JAMBI**

SKRIPSI



MAYRA ALVIANI

M1D117017

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL, KIMIA DAN LINGKUNGAN**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS**

2022

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Tanda tangan yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 29 November 2022

menyatakan



METERAI
TEMPEL

26CE2AKX155795988

Mayra Alviani

M1D117017

RINGKASAN

Particulate Matter (PM) adalah salah satu jenis polutan dengan berbagai macam ukuran yang dapat menyebabkan meningkatnya angka kematian yang disebabkan oleh pajanannya. Partikel berukuran di bawah $2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) apabila terhirup tidak dapat disaring dalam sistem pernapasan bagian atas dan akan menembus bagian terdalam paru-paru. Partikulat halus menjadi permasalahan serius dalam bidang pencemaran udara. Partikulat halus dapat dihasilkan dari kegiatan alam, kendaraan bermotor, aktivitas industri, dan kegiatan rumah tangga. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pengukuran konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ di Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi pada musim Kemarau dan membandingkannya dengan baku mutu yang berlaku serta menyimulasikan sebaran $\text{PM}_{2,5}$ di wilayah mikro menggunakan *software Graz Lagrangian Model* (GRAL). Metode penelitian ini yaitu melakukan pengukuran konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ di Kelurahan Simpang Tiga Sipin, Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi menggunakan *Air Nano Sampler* dan menyimulasikan sebaran $\text{PM}_{2,5}$ di sekitar lokasi pengukuran menggunakan GRAL. Data primer pada penelitian ini yaitu data pengukuran konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ menggunakan *nano sampler* dan data sekunder pada penelitian ini yaitu data meteorologi yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Jambi. Diketahui rata-rata konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ selama bulan Mei, Juni, Juli dan Agustus tahun 2021 berturut-turut yaitu $30,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $63,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $43,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $26,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dari hasil pengukuran, terdapat 2 konsentrasi yang melebihi baku mutu untuk waktu pengukuran selama 24 jam yang ditetapkan pemerintah pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dengan konsentrasi sebesar $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, yaitu yaitu pada pengukuran ke-1 bulan Juni, pengukuran ke-2 bulan Juni, dengan konsentrasi masing-masing yaitu $60,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dan $96,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil simulasi GRAL menunjukkan kawasan yang memiliki potensi maksimum terpapar $\text{PM}_{2,5}$ adalah Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, dan Danau Sipin.

SUMMARY

Particulate Matter (PM) is a type of pollutant with various sizes that can cause an increase in the mortality rate caused by exposure. Particles under 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$) when inhaled cannot be filtered in the upper respiratory system and will penetrate the deepest part of the lungs. Fine particulates are a serious problem in the field of air pollution. Fine particulates can be generated from natural activities, vehicles, industrial activities, and household activities. The aim of this study was measured $\text{PM}_{2.5}$ in the dry season and compare it with government quality standards. The concentration of $\text{PM}_{2.5}$ will simulated used Graz Lagrangian Model (GRAL) software. The location of this study was in Simpang Tiga Sipin Village, Kota Baru District, Jambi City. The primary data in this study were $\text{PM}_{2.5}$ concentration measurement data using a nano sampler and the secondary data in this study were meteorological data obtained from Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Jambi City. The results showed that the average $\text{PM}_{2.5}$ concentrations during May, June, July and August of 2021 were 30.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 63.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 43.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and 26.26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. From the measurement results, there are 2 concentrations that exceed the PP RI standard No. 22 of 2021 concerning the Implementation of Environmental Protection and Management with a concentration of 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, specifically in the 1st measurement in Juni (60.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) the 2nd measurement in Juni (96.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). The results of the GRAL simulation showed that the areas with the highest $\text{PM}_{2.5}$ exposed potential are the Alam Barajo, Telanaipura, and Danau Sipin Districts.

**PEMODELAN $PM_{2,5}$ PADA MUSIM KEMARAU
MENGUNAKAN *SOFTWARE GRAZ LAGRANGIAN*
MODEL DI KECAMATAN KOTA BARU KOTA**

S K R I P S I

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar
Sarjana pada Program Studi Teknik Lingkungan



MAYRA ALVIANI

M1D117017

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL, KIMIA DAN LINGKUNGAN**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI**

2022

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul **PEMODELAN $PM_{2,5}$ PADA MUSIM KEMARAU MENGGUNAKAN SOFTWARE GRAZ LAGRANGIAN MODEL DI KECAMATAN KOTA BARU KOTA JAMBI**, yang disusun oleh **Mayra Alviani**, NIM: **M1D117017** telah dipertahankan di depan tim penguji pada tanggal 2021 dinyatakan lulus.

Susunan Tim Penguji:

Ketua : Ir. Rinaldi, M.Si
Anggota : 1. Shally Yanova, S.Si., M.Si.
2. Prof. Dr. Drs. M. Naswir, Km., M.Si
3. Febri Juita Anggraini, S.T., M.T.
4. Zuli Rodhiyah, S.Si., M.T.

Disetujui:

Pembimbing I

Febri Juita Anggraini, S.T., M.T.
NIP. 198302192018032001

Pembimbing II

Zuli Rodhiyah, S.Si., M.T.
NIP. 201801112004

Diketahui:

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi,



Drs. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T.
NIP. 196806021993031004

Ketua Jurusan Teknik Sipil, Kimia,
Lingkungan

Prof. Dr. Drs. M. Naswir, Km., M.Si.
NIP. 196605031991021001

RIWAYAT HIDUP



Mayra Alviani lahir di Jambi pada tanggal 28 Mei 1999. Penulis merupakan anak ke 1 dari 2 bersaudara yang merupakan anak dari pasangan suami istri Maulud Abidin dan Suratmi. Penulis memulai pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 157/IX Desa Baru pada tahun 2005 sampai 2011. Selanjutnya penulis melanjutkan sekolah di SMP Negeri 1 Atap Desa Baru pada tahun 2011 sampai 2014. Setelah itu penulis melanjutkan di SMA Negeri Titian Teras H. Abdurrahman Sayoeti dan tamat pada tahun 2017. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Universitas Jambi Fakultas Sains dan Teknologi pada Program Studi Teknik Lingkungan tahun 2017 melalui jalur SBMPTN.

Selama menempuh pendidikan S1 penulis aktif dalam bidang akademik maupun organisasi. Adapun organisasi yang diikuti penulis adalah Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL).

Penulis mengakhiri masa studi di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Jambi dengan melaksanakan Kerja Praktik di PT. Muaro Jambi Sawit Lestari di Kabupaten Tanjung Jabung Timur dengan mengambil fokus kerja pada bidang Pengelolaan Limbah Cair. Setelah itu penulis menyelesaikan tugas akhir dan menyusun skripsi dibimbing oleh Ibu Febri Juita Anggraini, S.T., M.T selaku pembimbing 1 (satu), Zuli Rodhiyah S.Si., M.T selaku pembimbing 2 (dua) yang berjudul “Pemodelan $PM_{2,5}$ pada Musim Kemarau Menggunakan *Software Graz Lagrangian Model di Kecamatan Kota Baru Kota Jambi*”.

PRAKATA

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan judul **"Pemodelan $PM_{2,5}$ Pada Musim Kemarau Menggunakan Software Graz Lagrangian Model di Kecamatan Kota Baru Kota Jambi"**. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi syarat mencapai gelar sarjana Teknik Lingkungan di Universitas Jambi. Penulis menyadari mengenai penulisan ini tidak dapat terselesaikan tanpa pihak-pihak yang mendukung baik secara moril dan juga materiil. Maka, penulis menyampaikan banyak terima kasih sedalam-dalamnya kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan motivasi, dukungan serta doanya. Serta saudari penulis yaitu Yuanita Maulani, S.Km yang telah memberikan semangat dan meluangkan waktunya sebagai tempat bercerita bagi penulis
2. Ibu Febri Juita Anggraini, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan judul skripsi ini.
3. Ibu Zuli Rodhiyah, S.Si., M.T., selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing penulis hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Rinaldi, M.Si., dan Ibu Shally Yanova, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran yang membangun hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Rizki Andre Handika, S.T., M.T. yang telah membantu memberikan ide dan masukan kepada penulis dalam menyusun skripsi ini.
6. Bapak Drs. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T., selaku Dekan pada Fakultas Sains dan Teknologi.
7. Bapak Prof. Dr. Drs. M. Naswir, M.Si., selaku Ketua Jurusan pada Jurusan Teknik Sipil, Kimia dan Lingkungan.
8. Bapak Dr. Ir. Jalius, M.S., selaku Ketua/Koordinator Program Studi pada Program Studi Teknik Lingkungan.
9. Para dosen Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Jambi yang telah mengajarkan ilmu yang bermanfaat.
10. Teman-teman Teknik Lingkungan angkatan 2017 yang telah membantu penelitian ini yaitu Tri Rizki Syahputra, Salmah, S.T., Maulana Iksan, S.T., Reni Atika, Shintiya, S.T., Selvia Nurianti Sagala, S.T., Surya

Ramadhan, S.T., dan teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang ikut memberikan dukungannya.

11. Sahabat penulis sebagai tempat bercerita dan berkeluh kesah; Lopifta Laendra, S.T., Melani Shaputri, S.Tr.Kep., Rindhi Antika Sari, S.Si., Dea Ananda Pratiwi S.T., Elly Marti Utami S.E., Arbi Rifaul Khusna S.P.W.K., Khalidya Nur Fajria, Sukron Hidayat dan Riska Syafitri.

Penulis menyadari bahwa skripsi yang penulis buat ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan adanya saran dan masukan bahkan kritik membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi para pembaca khususnya bagi penulis. *Aamiin yarabbal 'alamin.*

Jambi, 23 November 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
RINGKASAN	ii
RIWAYAT HIDUP	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR PERSAMAAN	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
PM _{2,5} Sebagai Pencemar Udara	5
2.1 PM _{2,5} Sebagai Pencemar Udara	5
2.2 Hubungan Kondisi Meteorologi dan <i>Particulate Matter</i>	7
2.3 Pengaruh <i>Particulate Matter</i> 2,5 (PM _{2,5}) Terhadap Kesehatan	9
2.4 Pemodelan Komputasi dan <i>Graz Lagrangian Model</i>	11
III. METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	16
3.2 Populasi dan Sampel	17
3.3 Skema Penelitian	17
3.4 Jenis dan Sumber Data	18
3.5 Alat dan Bahan	19
3.6 Teknik Pengambilan Sampel dan Pengolahan data	19
3.7 Teknik Analisa Data	20
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Kondisi Umum Kecamatan Kota Baru	24
4.2 Kondisi Meteorologi di Sekitar Lokasi Pengukuran	26
4.3 Konsentrasi PM _{2,5} di Kecamatan Kota Baru	30
4.4 Analisis Sebaran Konsentrasi PM _{2,5} Menggunakan <i>Software Graz Lagrangian Model</i>	35
V. KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Baku Mutu Konsentrasi $PM_{2,5}$	6
2. Rekomendasi Pendekatan Model Dispersi Atmosfer untuk Beda Skala dan Aplikasi	11
3. Jadwal Pengukuran Konsentrasi $PM_{2,5}$	17
4. Informasi Dasar Domain Model Dan Pengaturan Parameter	22
5. Kepadatan Penduduk Per Kelurahan di Kecamatan Kota Baru.....	24
6. Kondisi Meteorologi di Kota Jambi Selama Periode Pengambilan Sampel.....	27
7. Kawasan Terpapar $PM_{2,5}$ di Kota Jambi.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Input dan output</i> software GRAL/GRAMM	13
2. Hasil pemodelan rata-rata tahunan PM ₁₀ di Austria	14
3. Lokasi Penelitian.....	16
4. Skema Penelitian	18
5. <i>Air Nano Sampler</i>	19
6. Tampilan awal <i>software</i> GRAL.....	23
7. Grafik tren peningkatan PM _{2,5} terhadap jumlah kendaraan di Kota Jambi	25
8. <i>Wind rose</i> perbulan Mei-Agustus 2021	28
9. <i>Wind rose</i> Kota Jambi per 4 bulan Mei-Agustus 2021.....	29
10. Konsentrasi PM _{2,5} berdasarkan waktu <i>sampling</i>	30
11. Perbandingan Konsentrasi PM _{2,5} dengan Baku Mutu	32
12. Pengerjaan Drainase di dekat lokasi penelitian.....	33
13. Perbandingan Konsentrasi PM _{2,5} sebelum pandemi dan selama pandemi Covid-19	34
14. Sebaran PM _{2,5} sepuluh hari pertama di bulan Mei 2021	36
15. Sebaran PM _{2,5} sepuluh hari kedua di bulan Mei 2021	37
16. Sebaran PM _{2,5} sepuluh hari ketiga di bulan Mei 2021.....	38
17. Sebaran PM _{2,5} sepuluh hari pertama di bulan Juni 2021	39
18. Sebaran PM _{2,5} sepuluh hari kedua di bulan Juni 2021.....	39
19. Sebaran PM _{2,5} sepuluh hari ketiga di bulan Juni 2021	40
20. Sebaran PM _{2,5} sepuluh hari pertama di bulan Juli 2021	41
21. Sebaran PM _{2,5} sepuluh hari kedua di bulan Juli 2021	42
22. Sebaran PM _{2,5} sepuluh hari ketiga di bulan Juli 2021	42
23. Sebaran PM _{2,5} sepuluh hari pertama di bulan Agustus 2021	43
24. Sebaran PM _{2,5} sepuluh hari kedua di bulan Agustus 2021	44
25. Sebaran PM _{2,5} sepuluh hari ketiga di bulan Agustus 2021	45

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan	Halaman
1. Berat total filter	20
2. Laju aliran rata-rata	21
3. Volume Total	21
4. Konsentrasi <i>Particulate Matter</i>	21
5. Konsentrasi $PM_{2,5}$	21
6. Konversi Konsentrasi $PM_{2,5}$	22

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Dokumentasi Selama Penelitian.....	53
2. Gambar hasil konsentrasi PM _{2,5} hasil pemodelan menggunakan GRAL beserta <i>wind rose</i>	58
3. Perhitungan Uji NMSE dan Uji FB	59
4. Pengaturan <i>Tab Software</i> Sebelum dilakukan Pemodelan	60
5. Perhitungan Konsentrasi PM _{2,5}	63
6. Dokumentasi Selama Penelitian.....	64

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Arba (2019) *Particulate Matter* (PM) adalah salah satu jenis polutan dengan berbagai macam ukuran yang dapat menyebabkan meningkatnya angka kematian yang disebabkan oleh pajanannya. Salah satu jenis PM berdasarkan ukurannya adalah $PM_{2,5}$ yang berukuran lebih kecil dari 2,5 mikron. Partikulat halus dapat dihasilkan dari kegiatan alam, kendaraan bermotor, aktivitas industri, dan kegiatan rumah tangga. Partikel berukuran di bawah 2,5 μm ($PM_{2,5}$) apabila terhirup tidak dapat disaring dalam sistem pernapasan bagian atas dan akan menembus bagian terdalam paru-paru. Berdasarkan laporan Alphekom (2019), mengurangi 10 $\mu g/m^2$ paparan jangka panjang partikulat halus $PM_{2,5}$ dapat meningkatkan angka harapan hidup sebanyak 22 bulan.

Kota Jambi merupakan kawasan perkotaan yang terus berkembang dari tahun ke tahun, meningkatnya sejumlah sarana dan prasarana perkotaan membuat aktivitas di Kota Jambi semakin beragam menimbulkan terjadinya peningkatan emisi yang terbuang ke udara termasuk $PM_{2,5}$. Menurut Sari (2021), konsentrasi $PM_{2,5}$ di Kota Jambi sejak tahun 2017 hingga tahun 2019 mengalami peningkatan konsentrasi rata-rata per tahun dan pada tahun 2018 dan 2019 melewati baku mutu yang ditetapkan pemerintah dalam PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yaitu sebesar 15 $\mu g/m^3$ untuk waktu pengukuran selama satu tahun. Di Kota Jambi konsentrasi rata-rata per tahun $PM_{2,5}$ pada tahun 2017 sebesar 13,01 $\mu g/m^3$, tahun 2018 sebesar 21,51 $\mu g/m^3$ dan tahun 2019 sebesar 39,25 $\mu g/m^3$. Peningkatan yang terjadi pada tahun 2018 dan tahun 2019 salah satunya diakibatkan oleh meluasnya kebakaran hutan dan lahan yang terjadi di Provinsi Jambi pada tahun tersebut.

Dalam manajemen suatu daerah diperlukan data terbaru mengenai kondisi udara ambien secara berkala. Akan tetapi bertumpu pada pengukuran langsung tidak dapat digunakan sebagai dasar perencanaan pembuatan keputusan. Dikarenakan alat pengukuran tidak ditempatkan di setiap bagian wilayah. Oleh karena itu, saat ini berkembang pemodelan pencemaran udara secara komputasi untuk mempelajari pencemaran udara secara mendalam serta mencari solusi terbaik agar dapat mengurangi risiko terhadap suatu populasi. *Software* yang dapat digunakan untuk memodelkan polutan diantaranya, *Hysplit*, *Caline-4*, dan *GRAL*.

Graz Lagrangian Model (GRAL) merupakan *software* yang dikembangkan sejak tahun 1999 oleh *Graz University of Technology* (TUG). GRAL telah digunakan untuk menyimulasi dan memprediksi polutan udara pada dataran maupun perbukitan, yang didasarkan kepada data rata-rata harian, bulanan, dan tahunan. GRAL dapat digunakan untuk menyimulasikan polutan baik skala mikro maupun skala meso. Menurut Ling *et al.*, (2020), model pencemaran udara paling terkenal seperti WRFChem, utamanya bekerja pada skala regional sampai perkotaan, dan tidak dapat menyelesaikan pemodelan dengan skala di bawah $1 \text{ Km} \times 1 \text{ Km}$ tidak seperti model Lagrangian yang dapat menyelesaikan pemodelan hingga skala beberapa meter. Selain itu, penggunaan *software* GRAL belum banyak ditemui di Indonesia dibandingkan *software* yang mempelajari dispersi polutan lainnya seperti *Calpuff*, *aermod*, WRFChem, dan *Hysplit*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Hutaaruk *et al.*, (2020), mengenai variasi konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ musiman dan harian di Jakarta selama periode 4 tahun mengungkapkan bahwa terjadi peningkatan konsentrasi partikulat pada bulan Mei-Agustus (musim kemarau) dan penurunan pada bulan September-Februari (musim hujan). Menurut Pratama (2020), dispersi pencemar termasuk partikulat dipengaruhi oleh kondisi meteorologi seperti temperatur, arah angin, kecepatan angin, stabilitas atmosfer dan *mixing height* yang berubah-ubah setiap saat. Penelitian mengenai sebaran polutan dilakukan di Kota Jambi oleh Saputra *et al.*, (2019) menggunakan model *Hysplit* pada musim kemarau, dan menunjukkan bahwa daerah yang memiliki potensi maksimum terpapar PM_{10} adalah Kecamatan Kota Baru. Menurut Ling *et al.*, (2020) dispersi PM di wilayah urban dipengaruhi oleh *micro-flow fields* yang dipengaruhi oleh kepadatan bangunan, tinggi-rendahnya bangunan, serta jalanan di sekitar ngarai. Selain itu menurut Vaalius (2005), penentuan sumber PM pada udara ambien urban sangat kompleks dikarenakan banyak sumber antropogenik maupun alami yang menjadi PM primer maupun sekunder.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian dilakukan untuk mengetahui konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ yang berada di Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi, dan membandingkannya dengan baku mutu serta melakukan simulasi dispersi $\text{PM}_{2,5}$ menggunakan *Graz Lagrangian Model*. Oleh karena itu penelitian ini berjudul “Pemodelan $\text{PM}_{2,5}$ Pada Musim Kemarau Menggunakan *Software Graz Lagrangian Model* di Kecamatan Kota Baru Kota Jambi”.

1.2 Rumusan Masalah

$PM_{2,5}$ berukuran lebih kecil dari 2,5 mikron berasal dari aktivitas manusia dan alam. $PM_{2,5}$ dapat masuk ke dalam alveoli dan mengakibatkan terganggunya kesehatan manusia serta mengurangi angka harapan hidup. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat diambil rumusan masalah, yaitu:

- a. Berapa konsentrasi $PM_{2,5}$ di Kawasan Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi?
- b. Apakah konsentrasi $PM_{2,5}$ sesuai baku mutu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup?
- c. Bagaimana sebaran $PM_{2,5}$ pada musim kemarau di Kawasan Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui berapa konsentrasi $PM_{2,5}$ di Kawasan Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi.
- b. Mengetahui apakah konsentrasi $PM_{2,5}$ sesuai baku mutu pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- c. Mengetahui sebaran $PM_{2,5}$ pada musim kemarau di Kawasan Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi menggunakan Graz Lagrangian Model.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain:

1. Manfaat praktis penelitian ini adalah sebagai upaya pengendalian pencemaran udara di sekitar kawasan Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi dan sebagai pertimbangan bagi pemerintah daerah dan investor dalam perencanaan bangunan di sekitar kawasan Kota Jambi.
2. Manfaat teoritis penelitian ini adalah memberikan data tentang konsentrasi $PM_{2,5}$ di Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi.
3. Manfaat akademis dari penelitian ini yaitu untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan pada Program Sarjana Strata Satu Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi menggunakan Graz Lagrangian Model.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Polutan yang diteliti adalah $PM_{2,5}$ yang berasal dari aktivitas kendaraan bermotor, dan aktivitas rumah tangga di sekitar tempat *sampling*.
2. Hal yang diteliti adalah sebaran $PM_{2,5}$

3. Pengukuran kecepatan angin, arah angin, suhu, dan kelembapan terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$ dilakukan pada jam 09.00 WIB-16.00 WIB. Titik lokasi sampling di Jalan Sunan Giri Lorong Angkasa, Kelurahan Simpang III Sipin. Pemantauan dilakukan berdasarkan arah angin yang dominan dari Utara dan Barat.
4. Data meteorologi yang meliputi data kecepatan angin, arah angin, suhu, dan kelembapan pada lokasi *sampling* di dapatkan dari pengukuran langsung di lokasi *sampling* dengan menggunakan alat; anemometer, *termohygrometer*, dan kompas serta Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) Kota Jambi.
5. Pengambilan sampel $PM_{2,5}$ menggunakan *nano sampler* dan analisis dilakukan laboratorium.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 $PM_{2,5}$ Sebagai Pencemar Udara $PM_{2,5}$ Sebagai Pencemar Udara

Pencemar udara merupakan segala bahan kimia yang dapat membahayakan manusia, hewan, tumbuh-tumbuhan, dan material lain yang sumber utamanya berasal dari aktivitas manusia (Kampa dan Castanas, 2007). Berbagai macam jenis pencemar udara telah dilaporkan, beberapa memiliki komposisi kimia yang berbeda, respon properti, emisi, keberadaan yang terus menerus di lingkungan, kemampuan untuk dibawa dalam jarak yang jauh maupun dekat, serta biasanya mempengaruhi kesehatan manusia dan hewan. Meski demikian, Kampa dan Castanas (2007) mengelompokkan pencemar udara ke dalam 4 macam kategori sebagai berikut.

1. Pencemar berbentuk gas (contoh; SO_2 , NO_x , CO, *Ozone*, *Volatile Organic Compounds*)

Gas pencemar memiliki kontribusi yang cukup besar dalam variasi jenis komposisi di udara serta kebanyakan disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil (Kampa dan Castanas, 2007). Meski kebanyakan gas pencemar masuk melalui jalur inhalasi dan menyebabkan gangguan sistem pernapasan, namun beberapa diantaranya juga bisa menyebabkan gangguan hematologis (CO, *benzena*) dan kanker.

2. Pencemar organik persisten (contoh; dioksin)

Pencemar organik persisten dapat membentuk kelompok toksik dari bahan kimia. Mereka bertahan di lingkungan dalam waktu yang cukup lama dan dapat efeknya dapat menambah ketika mereka berpindah melalui rantai makanan (*bio-magnification*). Contohnya adalah pestisida dan juga dioksin, furan, serta PCB.

3. Logam berat (contoh; timbal dan merkuri)

Pencemar logam berat termasuk diantaranya bahan-bahan dasar dari logam seperti timbal, merkuri, cadmium, perak, nikel, vanadium, kromium, dan mangan. Mereka merupakan komponen lapisan kulit bumi; yang tidak dapat di rusak atau di hancurkan dan dapat dibawa oleh udara, serta masuk ke dalam air dan bahan makanan manusia. Kebanyakan logam berat berbahaya di karena dapat terakumulasi ke dalam tubuh manusia.

4. *Particulate Matter* (PM)

PM merupakan istilah umum yang digunakan untuk jenis pencemar udara, yang biasanya terdiri atas partikel tersuspensi yang kompleks dan bervariasi di udara ambien, yang mana memiliki bentuk dan komposisi yang

berbeda, dan diproduksi oleh berbagai macam sumber baik alamiah maupun akibat aktivitas manusia (Kampa dan Castanas, 2007).

Partikulat meter menurut Aprianto (2017) adalah salah satu jenis pencemar udara yang terdiri atas campuran sulfat, amoniak, materi organik, nitrat, garam laut, debu, air, serta unsur-unsur senyawa lain. Sedangkan menurut Jing *et al.*, (2020) $PM_{2,5}$ merupakan salah satu dari jenis PM halus yang memiliki diameter kurang dari $2,5 \mu m$ dan memiliki dampak terhadap kesehatan manusia, visibilitas atmosfer, iklim, dan ekosistem.

Secara alamiah sumber $PM_{2,5}$ berasal dari debu tanah kering yang terbawa angin, abu dan bahan vulkanik yang terlempar ke udara akibat letusan gunung berapi, dan semburan uap panas di dekat sumber panas bumi. Sementara sumber $PM_{2,5}$ akibat kegiatan manusia sebagian besar berasal dari pembakaran bahan bakar minyak, pembakaran batu bara, kegiatan industri, serta kebakaran hutan dan lahan (Ahmad, 2017).

$PM_{2,5}$ memiliki ukuran diameter yang kecil akan tetapi menurut Xing *et al.*, (2016) $PM_{2,5}$ juga memiliki area permukaan yang luas sehingga mampu membawa banyak bahan toksik yang beragam, melewati filtrasi pada rambut hidung, menjangkau ujung saluran pernapasan dengan aliran udara dan terakumulasi melalui difusi, serta dapat membahayakan organ tubuh lain ketika pertukaran udara terjadi di paru-paru. $PM_{2,5}$ dinilai menjadi masalah pencemar udara utama dikarenakan efeknya terhadap kesehatan manusia (Tai *et al.*, 2010). Sebuah studi menunjukkan bahwa $PM_{2,5}$ dapat menyebabkan penyakit asma, radang saluran pernapasan, membahayakan fungsi paru, bahkan menaikkan kejadian kanker (Xing, *et al.*, 2016). Baku mutu $PM_{2,5}$ terdapat pada PP. Nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, seperti Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Baku Mutu Konsentrasi $PM_{2,5}$

Parameter	Waktu Pengukuran	Baku Mutu
$PM_{2,5}$	24 jam	$55 \mu g/m^3$
	1 Tahun	$15 \mu g/m^3$

Sumber : (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 2021)

2.2 Hubungan Kondisi Meteorologi dan *Particulate Matter*

Menurut Haidar (2020), kualitas udara di suatu area dipengaruhi sumber emisi dan juga kondisi meteorologi seperti kecepatan angin, arah angin, dan kelembapan. Kecepatan angin mempengaruhi persebaran dan pelarutan polutan, sementara kelembapan mempengaruhi pengendapan polutan. Menurut Prabowo dan Muslim (2018) pencemaran udara berbeda pada masing-masing tempat dikarenakan terdapat perbedaan pada kondisi pencahayaan, kelembapan, suhu, angin serta curah hujan yang mempengaruhi penyebaran dan difusi polutan yang diemisikan baik dalam skala lokal maupun regional.

Menurut Prabowo dan Muslim (2018), udara yang lembap membuat beberapa polutan dalam bentuk partikel bersatu dengan air dan membuat partikel berukuran lebih besar sehingga polutan lebih mudah mengendap di dalam bumi. Sementara pengaruh suhu yaitu ketika terjadi penurunan suhu maka akan terjadi kenaikan kelembapan dan mengakibatkan peningkatan efek korosif pencemar, sedangkan peningkatan suhu akan mengakibatkan peningkatan reaksi kimia polutan. Kondisi dan pola klimatologi pada suatu tempat yang memiliki karakteristik tertentu akan berpengaruh kepada fluktuasi dan variasi konsentrasi pencemar yang ada pada tempat tersebut. Partikulat merupakan pencemar padat yang tinggal di udara ambien selama beberapa detik hingga beberapa bulan sehingga keberadaannya di udara dapat mempengaruhi kondisi udara dalam jangka waktu yang cukup lama. Salah satu hal yang mampu mempengaruhi kondisi $PM_{2,5}$ di udara ambien adalah kondisi meteorologi.

2.2.1. Temperatur

Temperatur/suhu memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap $PM_{2,5}$. Penelitian yang dilakukan oleh Novirsa dan Fahmi (2012) menunjukkan bahwa naik turunnya konsentrasi $PM_{2,5}$ dipengaruhi oleh pengambilan sampel yang dilakukan pada siang hari. Hal tersebut dikarenakan suhu bumi yang cukup panas pada siang hari, serta perubahan suhu yang berbeda pada daerah perbukitan dikarenakan setiap ketinggian 100 meter suhu akan menurun $1^{\circ}C$. Selain itu perbedaan suhu dan tekanan akan membuat partikulat turun ke wilayah dengan suhu yang lebih tinggi dan tekanan yang lebih rendah.

Suhu memiliki pengaruh yang negatif terhadap penyebaran $PM_{2,5}$. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sari *et al.*, (2019) didapatkan bahwa sebaran $PM_{2,5}$ pada malam hari lebih tinggi dibandingkan dengan sebaran $PM_{2,5}$ pada siang hari dikarenakan pada malam hari suhu lebih rendah

dibandingkan siang hari sehingga terjadi penurunan difusi partikel yang mengakibatkan meningkatnya konsentrasi $PM_{2,5}$.

Hal serupa juga dikemukakan oleh Munir *et al.*, (2018) dimana pada penelitiannya didapatkan korelasi yang negatif antara partikulat dan suhu, dikarenakan temperatur yang lebih rendah mengakibatkan inversi pada atmosfer menjadi lebih rendah pula. Apabila lapisan inversi atmosfer menjadi rendah, hal tersebut akan mengakibatkan kandungan pada paket udara akan menjadi lebih padat di permukaan daratan akibat sebarannya yang menjadi lebih terbatas.

Hal berbeda didapatkan oleh Wang dan Ogawa (2015) dalam penelitiannya di wilayah Nagasaki, Jepang. Dari hasil penelitian didapatkan hubungan positif yang relatif kuat antara suhu dengan $PM_{2,5}$. Hal ini disebabkan oleh suhu yang dapat mempengaruhi pembentukan partikel, dimana apabila suhu yang tinggi dapat meningkatkan reaksi fotokimia antar partikel.

2.2.2. Kelembapan

Kelembapan relatif memiliki pengaruh yang positif terhadap penyebaran $PM_{2,5}$ (Tai *et al.*, 2010). Menurut Sari *et al.*, (2019) kelembapan yang tinggi pada malam hari akan mengakibatkan terjadinya kondensasi sehingga meningkatkan konsentrasi $PM_{2,5}$ di udara yang lembap.

Meskipun demikian, menurut Rivaldi (2021) kelembapan memiliki hubungan negatif yang relatif kuat dengan $PM_{2,5}$ di musim panas, hal ini dibuktikan dengan konsentrasi partikulat di udara yang meningkat seiring meningkatnya temperatur udara serta menurunnya kelembapan. Hal tersebut dikarenakan kelembapan yang sangat tinggi akan membuat partikulat di udara berkumpul dan bergabung antara satu dengan yang lainnya, kemudian partikulat tersebut tidak dapat tetap di udara tetapi jatuh ke tanah, sehingga membuat konsentrasi $PM_{2,5}$ menurun.

Menurut Wang dan Ogawa (2015) pada sebagian besar musim, $PM_{2,5}$ memiliki korelasi negatif yang kuat dengan kelembapan, meskipun demikian, ada beberapa bulan dimana korelasi menjadi positif, namun koefisien korelasi cenderung rendah. Konsentrasi $PM_{2,5}$ akan menurun dengan cepat ketika kelembapan meningkat pada musim panas hingga bulan September (Wang dan Ogawa, 2015)

2.2.3. Curah Hujan

Curah hujan bertindak sebagai pencuci atmosfer sehingga mengurangi penyebaran pencemar di udara. Proses pencucian partikulat oleh curah hujan ini juga menjadi salah satu penyebab pelenyapan aerosol di udara. Berdasarkan

penelitian yang dilakukan oleh Munir *et al.*, (2018) bahwa curah hujan memiliki korelasi yang negatif dengan partikulat dimana hal ini disebabkan oleh fungsi curah hujan sebagai pengendap partikulat, proses pengendapan ini dilakukan dengan cara pembasuhan partikulat di udara oleh curah hujan (Munir *et al.*, 2018). Hasil yang sama juga didapatkan oleh Wang dan Ogawa (2015) bahwa terdapat korelasi yang negatif antara $PM_{2,5}$ dengan curah hujan, dikarenakan curah hujan dapat secara efektif mengurangi konsentrasi $PM_{2,5}$ melalui pengendapan basah.

2.2.4. Angin

Perubahan arah dan kecepatan angin digunakan untuk menilai arah penyebaran dari pencemar di udara. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wang dan Ogawa (2015) hasil korelasi negatif didapatkan antara $PM_{2,5}$ dengan kecepatan angin yang lebih rendah dari 3 m/s dan korelasi yang positif didapatkan antara $PM_{2,5}$ dengan kecepatan angin yang lebih tinggi dari 3 m/s. Hal ini dikarenakan apabila kecepatan angin rendah, angin dapat meniup polutan menjauh dalam kisaran geografis tertentu, namun ketika kecepatan angin cukup tinggi, hal tersebut dapat mengangkut polutan dalam jumlah yang cukup besar dari tempat yang jauh. Menurut *Japan Meteorological Agency* dalam Wang dan Ogawa (2015), arah angin merupakan wilayah penting yang akan terkena $PM_{2,5}$. Angin dari arah yang berbeda akan mengangkut jumlah polutan yang berbeda pula.

2.3 Pengaruh *Particulate Matter 2,5* ($PM_{2,5}$) Terhadap Kesehatan

Paparan partikulat halus dapat berefek buruk terhadap kesehatan manusia baik dalam jangka waktu pendek maupun panjang. Partikel udara halus berkontribusi besar pada angka mortalitas akibat gangguan kesehatan terkait pencemaran udara. Menurut beberapa peneliti epidemiologi, partikel udara halus bisa berpenetrasi menembus bagian terdalam paru-paru dan sistem jantung, sehingga dapat menyebabkan gangguan pernafasan (ISPA), kanker paru-paru, gangguan kardiovaskular, hingga kematian (Cholianawati, 2016).

Sebuah penelitian yang dilakukan selama 7 tahun (tahun 2000-2007) di Amerika Serikat menunjukkan bahwa rentang hidup rata-rata diperpanjang 0,35 tahun per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ penurunan konsentrasi $PM_{2,5}$. Dampak dari $PM_{2,5}$ juga pernah diteliti oleh peneliti Tan-soo (2019) yang mengintegrasikan data longitudinal tentang paparan prenatal pada kebakaran hutan di Indonesia pada tahun 1977 dengan gizi anak-anak dan menemukan bahwa paparan polusi udara selama tahap prenatal berhubungan dengan penurunan status gizi tinggi

badan berdasarkan umur (*height-for-age z scores*) sebesar 0,41 (ekuivalen dengan 3,4 cm) pada usia 17 tahun (pada tahun 2014) (Cholianawati, 2016).

Particulate Matter (PM) menurut Kampa dan Castanas (2008) merupakan jenis polutan udara yang terdiri dari campuran partikel kompleks dan bervariasi yang tersuspensi di udara. PM₁₀ mengendap di saluran pernapasan bagian atas, sementara PM_{2,5} dapat mencapai paru-paru alveoli. Menurut Kampa dan Castanas (2008) berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, hingga saat ini belum ada komponen yang diidentifikasi dapat menjelaskan sebagian besar efek dari PM itu sendiri. Salah satu parameternya yang memainkan peran penting dalam menimbulkan masalah kesehatan adalah ukuran dan permukaan partikel, jumlah partikel, serta komposisi dari partikel tersebut. Komposisi PM dapat bervariasi dikarenakan kemampuannya dalam menyerap dan mentransfer banyak polutan, meski demikian komponen utama mereka adalah logam, senyawa organik, bahan biologis, ion, gas reaktif, dan inti karbon partikel. Selain itu, kandungan logam, kandungan PAH (Poli Alifatik Hidrokarbon), serta komponen organik lainnya seperti endotoksin merupakan salah satu kontributor utama dalam toksisitas PM.

Hal yang sama juga dikemukakan oleh EPA (*Environmental Protection Agency*) bahwa ukuran partikel dapat mempengaruhi kesehatan dengan cara yang berbeda. Partikulat yang berukuran kurang dari 10 µm merupakan masalah terbesar, karena partikel tersebut dapat masuk jauh ke dalam paru-paru bahkan hingga masuk ke aliran darah manusia (EPA, 2021). Menurut Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (EPA) paparan partikel-partikel semacam itu dapat mempengaruhi kerja paru-paru dan jantung, dengan beberapa penelitian tentang hal tersebut termasuk diantaranya;

- 1) Kematian dini pada orang dengan penyakit jantung atau paru-paru
- 2) Serangan jantung non fatal
- 3) Detak jantung tak teratur
- 4) Bagi penderita asma akan menjadi lebih buruk
- 5) Penurunan fungsi paru
- 6) Gejala pernapasan yang meningkat, seperti iritasi pada saluran pernapasan, batuk, serta kesulitan bernapas.

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) efek kesehatan yang diakibatkan oleh PM_{2,5} baik disebabkan oleh paparan jangka panjang (bulan, tahun) maupun paparan jangka pendek (jam, hari) memiliki riwayat catatan yang cukup baik termasuk diantaranya;

- 1) Morbiditas pernapasan dan kardiovaskular, seperti penyakit asma yang diperparah, gejala penyakit pernapasan, serta peningkatan angka kunjungan ke rumah sakit;
- 2) Kematian akibat penyakit kardiovaskular dan pernapasan serta kematian akibat kanker paru (WHO, 2013).

2.4 Pemodelan Komputasi dan *Graz Lagrangian Model*

Metode model komputasi membutuhkan pengukuran kecepatan partikel yang akurat. *The box model, Lagrangian, the PUFF, Eulerian* dan *Computational Fluid Dynamics (CFD)* merupakan model komputasi yang paling sering digunakan. Menurut Rumanov (2020), pendekatan yang direkomendasikan untuk setiap perbedaan skala dan aplikasi dari pemodelan dispersi atmosfer seperti di Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Rekomendasi Pendekatan Model Dispersi Atmosfer Untuk Beda Skala dan Aplikasi

Aplikasi	<1 Km	1-10 Km	10-100 Km	100-1000 Km
Manajemen risiko <i>online</i> (pentingnya <i>runtime</i> yang pendek)	-	<i>Gaussian</i>	<i>Puff</i>	<i>Eulerian</i>
Topografi yang kompleks	CFD	<i>Lagrangian</i>	<i>Lagrangian</i>	<i>Eulerian</i>
Material reaktif	CFD	<i>Eulerian</i>	<i>Eulerian</i>	<i>Eulerian</i>
Sensitivitas sumber-penerima	CFD			<i>Lagrangian</i>
Rata-rata beban jangka panjang	-	<i>Gaussian</i>	<i>Gaussian</i>	<i>Eulerian</i>
Dispersi atmosfer bebas (vulkanik)	-	<i>Lagrangian</i>	<i>Lagrangian</i>	<i>Lagrangian</i>
Lapisan batas konvektif	CFD	<i>Lagrangian</i>	<i>Eulerian</i>	<i>Eulerian</i>
Lapisan batas stabil	CFD	<i>Lagrangian</i>	<i>Eulerian</i>	<i>Eulerian</i>
Area Perkotaan, jalanan	CFD	<i>CFD</i>	<i>Eulerian</i>	<i>Eulerian</i>

Sumber: Rumanov (2020)

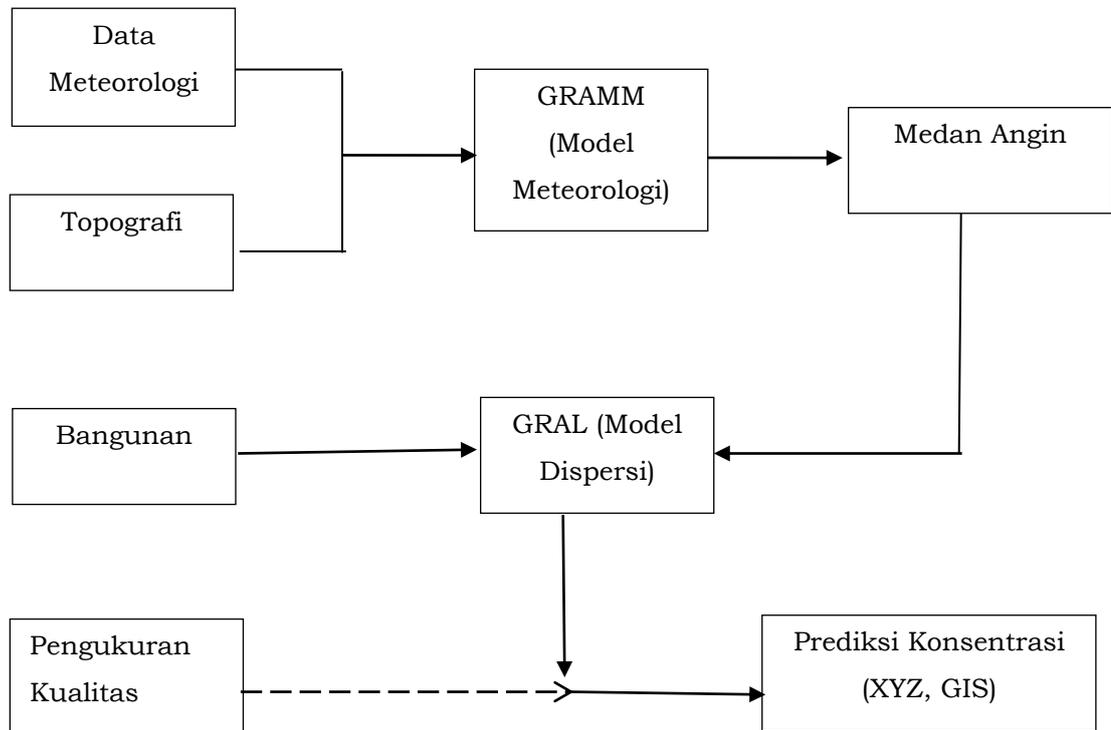
Menurut Oettl *et al.*, (2008) tentang ketidakpastian yang terkait dengan model polusi udara. Model yang sangat sederhana memiliki ketidakpastian

terutama karena kesalahan dalam fisika, sedangkan model yang sangat canggih memiliki kesalahan yang meningkat karena *input* data yang tidak diketahui dengan baik. Menurut Oettl (2008) bahwa harus ada model/metode yang optimal dengan kinerja terbaik untuk pengetahuan ilmiah saat ini. Hal tersebut hanya dapat ditemukan dengan perbandingan model/metode yang komprehensif.

Model *lagrangian* lebih fleksibel berdasarkan konfigurasi dan kombinasi sumber yang berbeda, membuatnya berguna dan alat yang kuat untuk penilaian polusi udara dan evaluasi skenario. Sebagai contoh, model GRAL digunakan untuk memperhitungkan peta kualitas udara pada suatu kota dengan menghitung emisi dari lalu lintas, pemanasan domestik, jalur masuk terowongan, industri besar, tenaga dan panas dari titik sumber pembangkit secara horizontal dengan resolusi 5 m dan 10 m (Oettl, 2008).

Hal ini sejalan dengan pendapat Oettl dan Ulrich (2011), bahwa secara umum *lagrangian* model lebih fleksibel dalam menyimulasi geometri dan lokasi sumber secara tepat dibandingkan dengan *Eulerian* model berdasarkan struktur *grid*. Menggunakan *grid* dengan resolusi (<100 m) dan jumlah partikel yang cukup tinggi, tingkat konsentrasi dekat hingga sumber yang kuat dapat dinilai dengan waktu yang singkat dan skala yang panjang (dibutuhkan berapa detik dan meter) yang membuat emisi NO_x lebih dapat dikendalikan,

Model *Graz Lagrangian* (GRAL), dikembangkan pada tahun 1999, telah digunakan secara luas dalam penilaian regulasi dan studi ilmiah. Pengaruh bangunan pada dispersi diperhitungkan dengan menggunakan model *micro-scale flow-field* yang terintegrasi penuh ke dalam kode GRAL. Sistem GRAMM / GRAL adalah kombinasi dari model aliran *mesoscale* prognostik GRAMM dan model dispersi partikel *Lagrangian* GRAL. GRAL bekerja secara opsional dengan model lapangan angin prognostik atau diagnostiknya sendiri. Model *mesoscale* GRAMM memperhitungkan pengaruh topografi, penggunaan lahan dan properti tanah. GRAL menyimulasikan di area yang lebih kecil dan bersarang pengaruh bangunan dan detail medan yang sangat terselesaikan pada skala mikro (Petrov dan Georgieva, 2019).



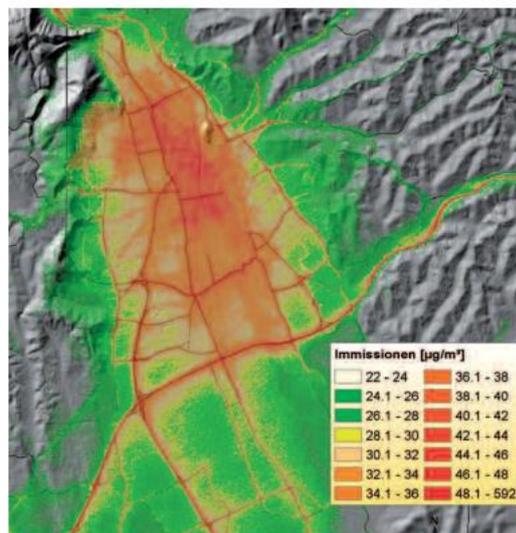
Gambar 1. *Input dan output software GRAL/GRAMM*

Pada Gambar 1 disebutkan mengenai *input* yang dibutuhkan *software* GRAL dan *output* yang dihasilkannya. Berikut ini merupakan batasan dan keunggulan aplikasi GRAL yang didapat dari *website* pengembang GRAL yang dapat diakses pada <https://graz.tugraz.at> yaitu:

- 1) GRAL dapat memodelkan polutan/bau yang secara kimiawi non reaktif (GRAL tidak dapat memodelkan reaksi kimia)
- 2) GRAL dapat memodelkan deposisi kering, basah, dan sedimentasi
- 3) GRAL dapat memodelkan *decay* bakteri maupun senyawa radioaktif
- 4) Dispersi lorong angin, dispersi pemukiman/kota, dispersi akibat gangguan vegetasi, *disperse stack*, dan dispersi *complex terrain* dapat diaplikasikan menggunakan GRAL
- 5) Aplikasi ini masih dikembangkan oleh pengembang, dan dalam setiap perilsan terbarunya dilengkapi dengan dokumentasi, manual, maupun rekomendasi.
- 6) Pada manual aplikasi diberikan rekomendasi *downscaling* sesuai tujuan model
- 7) Simulasi dapat digunakan dalam skala mikro maupun meso
- 8) *Surface roughness* dan tipikal area yang dimodelkan dapat dipilih dan acuan rekomendasi diberikan dalam manual.

Validasi pemodelan menggunakan GRAL sudah dilakukan oleh beberapa peneliti, salah satu diantaranya dilakukan oleh Ling *et al.*, (2020) yang melakukan simulasi *microscale* sebuah daerah pemukiman di Taiwan. Kondisi bangunan di daerah tersebut cukup kompleks, banyak bangunan yang berada di dekat jalan raya yang menjadi sumber utama polutan. Partikulat meter disana dipengaruhi oleh kepadatan rumah, ketinggian bangunan serta lebar gang antar perumahan. Pemodelan dilakukan menggunakan *software* GRAL dan dipasang 6 titik pemantauan untuk memverifikasi model. Hasilnya menunjukkan validasi simulasi dispersi PM pada pemukiman padat memiliki koefisien determinasi diatas 0,8 dan menunjukkan tingkat korelasi yang cukup tinggi.

Penggunaan *software* GRAL dilakukan oleh Oetl (2008), yang melakukan simulasi distribusi spasial dari PM₁₀ menggunakan GRAL dengan menggunakan resolusi 10 m x 10 m menggunakan data inventarisasi emisi untuk menentukan pembagian sumber emisi di Kota Klagenfurt, Austria. Menunjukkan bahwa hasil pemodelan tahunan konsentrasi PM₁₀ menggunakan GRAL dan konsentrasi yang dipantau langsung memiliki koefisien dari analisis regresi linear sebesar $R^2=0.87$. Hasil dari pemodelan tersebut menunjukkan bahwa sumber terbesar PM₁₀ yang ada di Kota Klagenfurt berasal dari kegiatan lalu lintas. Hasil pemodelan yang dilakukan Oetl (2008) seperti pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Hasil pemodelan rata-rata tahunan PM₁₀ di Austria

Sumber: Oetl (2008)

Penelitian menggunakan GRAL juga dilakukan oleh Rumanov *et al.*, (2020) untuk mendemonstrasikan efektivitas penilaian sumber emisi yang

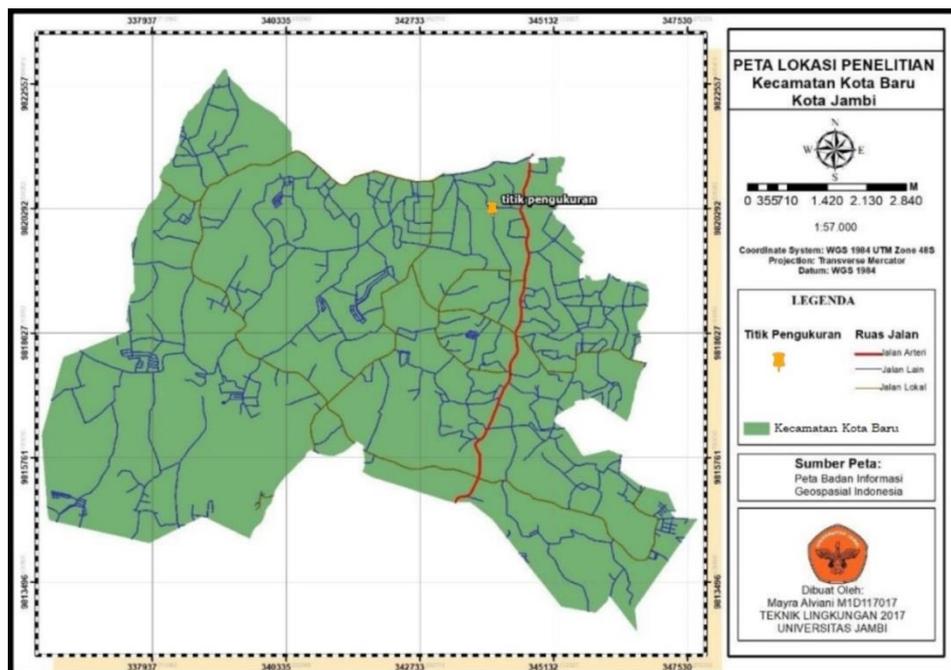
berkontribusi pada pencemaran. Simulasi dilakukan selama 96 jam pada bulan Desember tahun 2018 di Kota Krasnoyarsk, Rusia. Hasil yang diperoleh yaitu model yang dihasilkan GRAL dapat menyimulasikan permasalahan udara di Krasnoyarsk. Hal tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan Oettl dan Uhrner (2010) yang menyimulasikan dispersi NO-NO₂-NO₃ menggunakan GRAL-C (*Graz Lagrangian Chemistry*), transportasi dan turbulensi difusi dari NO dan NO₂ menggunakan persamaan Lagrangian sedangkan O₃ menggunakan Eulerian. GRAL-C digunakan untuk menyimulasikan selama 4 hari pada jalanan bertebing di Berlin, dan 4 hari simulasi selama musim dingin di Graz, kota terbesar kedua di Austria. Simulasi menunjukkan hasil yang cocok dengan pengukuran langsung.

GRAL dapat digunakan untuk melakukan pemodelan baik di kawasan pemukiman, dataran, perbukitan maupun di dalam terowongan. Penelitian menggunakan GRAL dilakukan oleh Oettl *et al.*, (2004) untuk mengevaluasi model dispersi atmosfer yang ada pada terowongan di Kaisermuehlentunnel di Viena, Austria. Model telah dites di 5 lokasi terowongan yang berbeda yang secara signifikan berbeda pada volume lalu lintas, dan konstruksi. Namun uji coba GRAL belum diuji dengan membandingkan dengan data pengukuran di lapangan, dimana udara pada terowongan lebih dingin dibandingkan udara ambien.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di kawasan pemukiman Kelurahan Simpang Tiga Sipin, Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi. Lokasi *sampling* dilakukan pada titik koordinat $1^{\circ}37'32.17''$ LS dan $103^{\circ}35'52.16''$ BT. Alasan pemilihan lokasi ini berdasarkan pada penelitian Saputra *et al.*, (2019) yang menganalisis sebaran PM_{10} pada musim kemarau di Kota Jambi menggunakan *hysplit*, menemukan bahwa Kecamatan Kota Baru menjadi lokasi paling terpapar maksimum PM_{10} . Selain itu Kecamatan Kota Baru dipilih dikarenakan berada di pusat Kota Jambi, dengan Kelurahan Simpang Tiga Sipin dipilih dikarenakan memiliki jumlah penduduk paling banyak di Kecamatan Kota Baru berdasarkan data BPS tahun 2018. Gambaran lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3 seperti berikut.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

Sumber: Badan Informasi Geospasial Indonesia, 2021

Waktu pengukuran dilakukan selama 72 jam setiap pada 10 hari pertama, kedua dan ketiga waktu pengukuran. Waktu pengukuran dipilih untuk mengetahui pola konsentrasi $PM_{2,5}$ pada awal bulan, pertengahan bulan, dan akhir bulan. Pengukuran dilakukan pada hari Senin pukul 09.00 dan berakhir pada hari Kamis pukul 09.00. Berikut ini merupakan jadwal pengukuran kualitas udara.

Tabel 3. Jadwal Pengukuran Konsentrasi PM_{2,5}

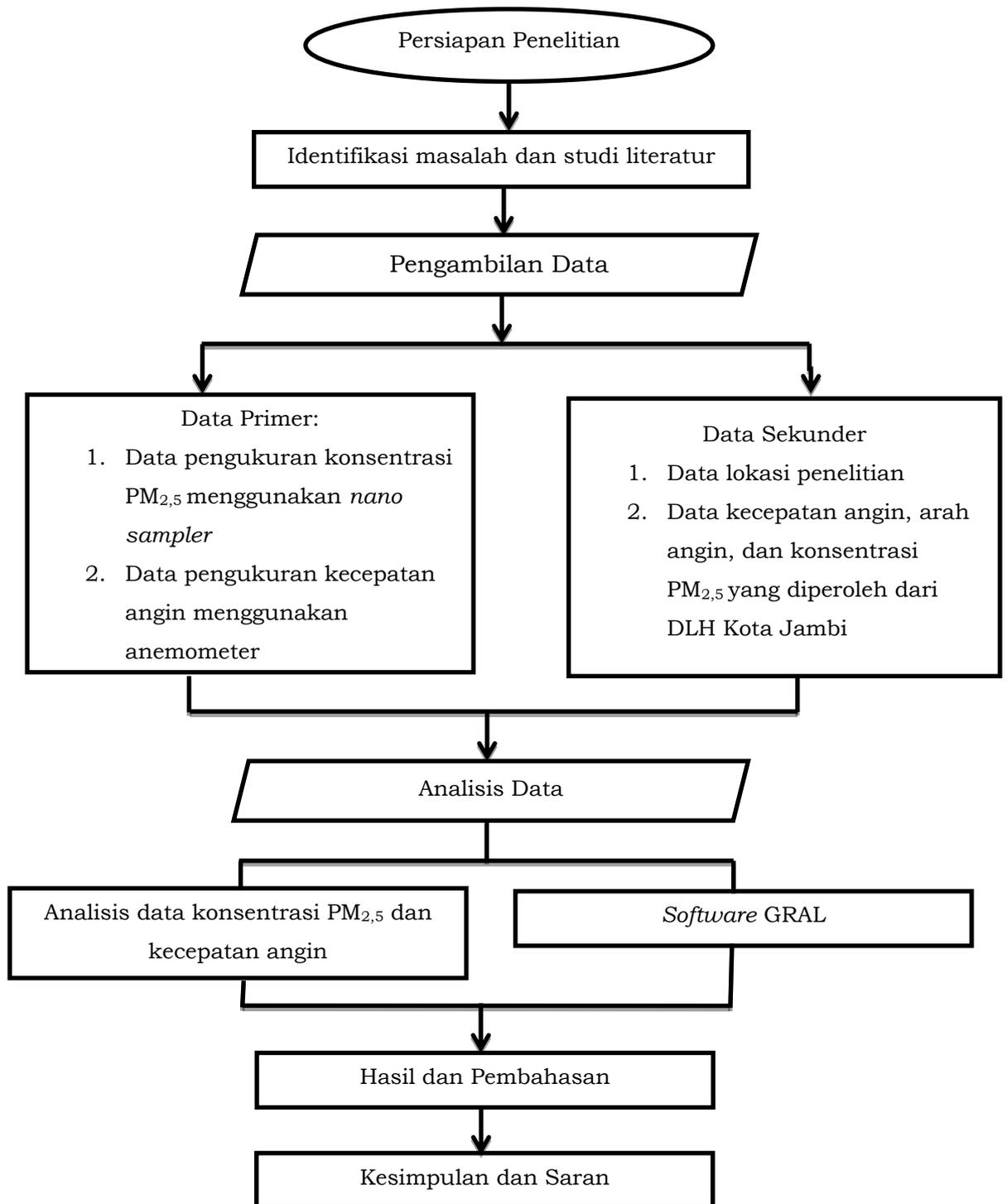
Bulan	Sampel	Tanggal
Mei	1	03 Mei- 06 Mei 2021
	2	17 Mei- 20 Mei 2021
	3	24 Mei- 27 Mei 2021
Juni	1	07 Juni- 10 Juni 2021
	2	14 Juni- 17 Juni 2021
	3	21 Juni- 24 Juni 2021
Juli	1	05 Juli- 08 Juli 2021
	2	12 Juli- 15 Juli 2021
	3	26 Juli- 29 Juli 2021
Agustus	1	02 Agustus- 05 Agustus 2021
	2	16 Agustus- 19 Agustus 2021
	3	23 Agustus- 26 Agustus 2021

3.2 Populasi dan Sampel

Populasi merupakan keseluruhan data yang memiliki karakteristik yang sama dan merupakan objek yang akan diteliti. Pada penelitian ini populasi penelitian merupakan seluruh polutan PM_{2,5} yang ada di Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi. Sampel merupakan bagian dari populasi, sampel dari penelitian ini yaitu polutan PM_{2,5} yang terukur di kawasan pemukiman Simpang Tiga Sipin.

3.3 Skema Penelitian

Dalam pelaksanaan tugas akhir diperlukan berbagai tahapan pengumpulan data dan informasi, dan pengolahan data serta analisis yang dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan. Kegiatan yang dilakukan seperti mengidentifikasi masalah dan studi literatur, pengambilan data, serta analisis data. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat seperti Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Skema Penelitian

3.4 Jenis dan Sumber Data

Berdasarkan judul penelitian ini yaitu “Pemodelan PM_{2,5} Pada Musim Kemarau Menggunakan *Software Graz Lagrangian Model* di Kecamatan Kota Baru Kota Jambi”, data yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Data Primer

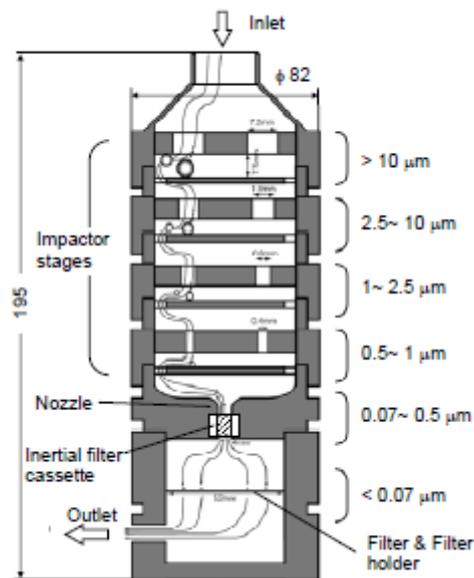
Data primer merupakan data yang langsung diambil pada lokasi penelitian. Data primer pada penelitian ini yaitu data pengukuran konsentrasi $PM_{2,5}$ menggunakan *air nano sampler* dan data pengukuran kecepatan angin menggunakan anemometer.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan dari instansi tertentu, jurnal, atau sumber lain yang berkaitan dengan penelitian. Data sekunder yang diperlukan pada penelitian ini yaitu data lokasi penelitian dan data kecepatan angin, arah angin, dan konsentrasi $PM_{2,5}$ yang diperoleh dari DLH Kota Jambi.

3.5 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini digunakan alat untuk mengukur $PM_{2,5}$ yaitu ANS (*Air Nano Sampler*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, tempat penyimpanan kertas filter berupa desikator, neraca analitik untuk penimbangan berat kertas filter, serta anemometer untuk pengukuran kecepatan angin.



Gambar 5. *Air Nano Sampler*
Sumber: Furuuchi (2010)

3.6 Teknik Pengambilan Sampel dan Pengolahan data

Data $PM_{2,5}$ didapatkan melalui pengukuran menggunakan alat ANS. Tata cara pengambilan data menggunakan ANS sebagai berikut:

1. Bersihkan piringan *nano sampler* menggunakan alkohol dan lubang udara pada *nano sampler* menggunakan *air blower*.

2. Dilakukan pengukuran berat filter sebelum digunakan lalu masukan filter ke dalam *nano sampler* dengan urutan filter PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_1 , $PM_{0,5}$ yang merupakan *quartz filter* lalu bagian *back up* diisi dengan *inertial filter*.
3. *Nano sampler* menggunakan pompa hisap seperti alat HVAS (*High Volume Air Sampler*). Lalu hubungkan *nano sampler* dengan pompa hisap. Menurut Furuuchi (2019), *nano sampler* didesain untuk dioperasikan pada *laju alir* 40 m/l. Pastikan laju alir menggunakan alat *flow meter* yang dihubungkan pada bagian atas *nano sampler*.
4. Setelah itu dilakukan pengukuran partikulat menggunakan *nano sampler* selama 3 x 24 jam. Dilakukan pengukuran kondisi meteorologi seperti kecepatan angin menggunakan *anemometer* dan kelembapan serta suhu menggunakan *LCD Digital Hygrometer*.
5. Filter yang telah digunakan ditimbang dan dibungkus menggunakan *aluminium foil* lalu dimasukkan ke dalam *zip lock bag* untuk kemudian dianalisis menggunakan metode gravimetri di laboratorium.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 2 jenis yaitu data primer berupa hasil pengukuran konsentrasi $PM_{2,5}$ dan data data sekunder. Data sekunder penelitian ini yaitu peta lokasi penelitian yang diperoleh dari *Google Earth Pro*, kondisi meteorologi dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Jambi, data vegetasi dan topografi Kota Jambi.

3.7 Teknik Analisa Data

1. Analisis Data Arah Angin

Data arah dan kecepatan angin aktual diperoleh dari Stasiun Meteorologi Provinsi Jambi. Data kecepatan angin berupa data per jam selama satu tahun dan dirata-ratakan menjadi data harian menggunakan *software Microsoft Excel*. Sementara itu data arah angin berupa data harian yang dapat langsung digunakan. Data ini kemudian diolah dengan model GRAMM dan menghasilkan diagram *wind rose*.

2. Analisis Konsentrasi $PM_{2,5}$

Analisis $PM_{2,5}$ menggunakan metode gravimetri dengan melakukan perhitungan selisih berat filter setelah digunakan dengan filter sebelum digunakan, dengan persamaan menurut Septiani (2021), sebagai berikut:

a. Berat total filter

$$M_{total} = M_{akhir} - M_{awal} \dots\dots\dots (Persamaan 1)$$

Dengan

Mtotal : Berat filter akhir (mg)

Mawal : Berat filter sebelum *sampling* (mg)

Makhir: Berat filter sesudah *sampling* (mg)

b. Laju aliran rata-rata

$$Q_{rata-rata} = (Q_{awal} + Q_{akhir})/2 \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2)}$$

Dengan

Qrata-rata : Laju aliran udara rata-rata (l/menit)

Qawal : Laju aliran udara awal pengambilan sampel (l/menit)

Qakhir : Laju aliran udara setelah pengambilan sampel (l/menit)

c. Volume Total

$$V_{total} = \frac{Q_{rata-rata} \times (60 \times t)}{1000} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 3)}$$

Dengan

Vtotal : Volume total udara yang diambil (m³)

Qrata-rata : Laju aliran udara rata-rata (l/menit)

t : Waktu pengambilan sampel

d. Konsentrasi *Particulate Matter*

$$Kpm = (1000 \times M_{total})/V_{total} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 4)}$$

Dengan

Kpm : Konsentrasi *Particulate Matter* yang didapatkan (µg/m³)

Mtotal : Berat filter akhir (mg)

Vtotal : Volume total udara yang diambil (m³)

e. Konsentrasi PM_{2,5}

$$KPM_{2,5} = KPM_{<0,1} + KPM_{<0,1-0,5} + KPM_{<0,5-1} + KPM_{<1-2,5} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 5)}$$

Dengan

KPM_{2,5} : Hasil konsentrasi PM_{2,5} (µg/m³)

KPM_{<0,1} : Konsentrasi PM_{<0,1} (µg/m³)

KPM_{<0,1-0,5} : Konsentrasi PM_{<0,1-0,5} (µg/m³)

KPM_{<0,5-1} : Konsentrasi PM_{<0,5-1} (µg/m³)

KPM_{<1-2,5} : Konsentrasi PM_{<1-2,5} (µg/m³)

Hasil perhitungan contoh uji udara yang diambil akan ditampilkan dalam satuan massa partikulat per satuan volume yaitu µg/m³. Konsentrasi yang diperoleh akan dihubungkan dengan kondisi meteorologi yang diukur di sekitar wilayah penelitian. Selanjutnya digunakan persamaan Canter untuk mengonversi konsentrasi PM_{2,5} ke dalam 24 jam agar dapat dilakukan perbandingan terhadap baku mutu, Persamaan Canter dapat dilihat sebagai berikut.

f. Konversi Konsentrasi $PM_{2,5}$

$$C_{24} = C_1 \times \left(\frac{t_1}{t_{24}}\right)^p \text{.....(Persamaan 6)}$$

Dimana :

C = konsentrasi $PM_{2,5}$ dalam jam ($\mu g/m^3$)

p = faktor konversi (0,18)

t = waktu sampling (jam)

3. Analisis Dispersi Menggunakan GRAL

Percobaan akan dijalankan pada laptop ASUS *Vivobook X415DAP_M415DA* dengan spesifikasi/ parameter keteknikan sebagai berikut.

a. Prosesor: AMD *Ryzen 3 3250U with Radeon Graphics*-4CPUs, 2.6 GHz.

b. Memori: 8 GB RAM.

c. OS: *Windows 10 Home Single Language*, 64-bit

Input dataset yang diperlukan ke dalam *software*, sebagai berikut:

a. Data meteorologi dalam format “.met”

b. Data sumber emisi

c. Data bangunan

d. Data vegetasi

Pada penelitian ini hanya berfokus pada lantai 1 sampai lantai 5 dari permukaan tanah, *vertical grade* dipisahkan menjadi 5 *layers*, dengan ketebalan masing-masing 4 m. Model dijalankan dalam *mode prognistic*, dan *micro-flow fields* yang dihitung dengan mempertimbangkan susunan bangunan. Resolusi bangunan 5 m x 5 m, berdasarkan permukaan digital model dikurang digital *elevation model*, diterapkan untuk merepresentasikan topografi dan bangunan di sebuah komunitas perumahan. Secara umum, data-data dan pengaturan yang dilakukan sebelum memulai komputasi menggunakan *software GRAL* dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Informasi Dasar *Domain Model* Dan Pengaturan Parameter

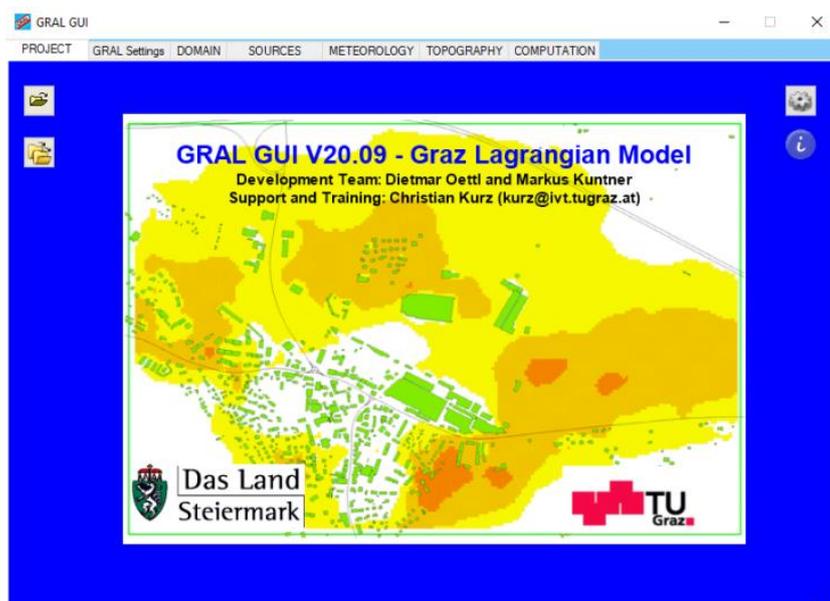
(a) Informasi dasar dan data <i>input</i>	
<i>Domain model</i>	500 m x 600 m
<i>Rerata solar radiation</i>	0,4 ± 0,7 MJ/m ²
Rerata kecepatan angin	2,4 ± 1,4 m/s
Kecenderungan arah angin	Selatan, Tenggara
Stabilitas atmosfer Pasquill-Gifford*	55% kelas B, 10% kelas C, 40% kelas F
Faktor Emisi** - mobil	PM _{2,5} - 0,062 g/VKT
Faktor Emisi** - motor	PM _{2,5} - 0,035 g/VKT
(b) <i>Parameter settings</i>	
Waktu dispersi	3600s

<i>Released particles numbers</i>	300/s
<i>Roughness length</i>	7,35 m
Resolusi bangunan	5 m x 5 m
<i>Grid konsentrasi</i>	<i>Horizontal : 2 m x 2 m</i>
	<i>Vertikal : 5 layers, 4 m per layer</i>

*(US-EPA,2000)

** (T-EPA, 2010). Satuan dari faktor emisi adalah *grams per vehicles kilometer travelled* (g/KVT)

Setelah itu dilakukan perhitungan dalam kondisi *online*. Setelah perhitungan selesai, dilakukan analisis emisi berdasarkan musim. *Output* yang diperoleh dari pemodelan ini yaitu diagram *wind rose* persebaran polutan, dan peta persebaran polutan di Kelurahan Simping Tiga Sipin. Langkah-langkah penyetulan *software* dapat dilihat pada Lampiran 4. Berikut ini merupakan tampilan awal *software* GRAL dan contoh *output* dari pemodelan GRAL seperti terlihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Tampilan awal software GRAL

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum Kecamatan Kota Baru

Lokasi penelitian ini berada di Lorong Angkasa, Kelurahan Simpang Tiga Sipin, Kecamatan Kota Baru Kota Jambi. Kecamatan Kota baru berada di sebelah Barat Kota Jambi, dengan ketinggian rata-rata 15 m dari permukaan air laut. Batas wilayah Kecamatan Kota Baru yaitu disebelah Utara Kecamatan Kota Baru berbatasan dengan Kecamatan Telanaipura, di sebelah Selatan berbatasan dengan kabupaten Muaro Jambi, di sebelah Timur berbatasan dengan Kecamatan Jelutung dan Jambi Selatan, serta di sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Alam Barajo. Menurut data penduduk tahun 2019 yang diperoleh dari sensus penduduk tahun 2010, jumlah penduduk Kecamatan Kota Baru sebanyak 78.619 jiwa, dengan rata-rata kepadatan penduduk sebesar 2.177 orang/km², dengan rincian kepadatan penduduk per kelurahan sebagai berikut (Kecamatan Kota Baru dalam angka, 2020). Data kepadatan penduduk di setiap kelurahannya dapat terlihat pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. Kepadatan Penduduk Per Kelurahan di Kecamatan Kota Baru

No.	Nama Kecamatan	Kepadatan Penduduk (orang/km ²)
1	Simpang III Sipin	8.228
2	Suka Karya	5.340
3	Kenali Asam Bawah	1.281
4	Kenali Asam Atas	1.036
5	Paal Lima	2.122

Sumber: Kecamatan Kota Baru dalam angka (2020)

Kelurahan Simpang III Sipin memiliki luas 2,91 km² atau 8.08% dari luas Kecamatan Kota Baru, memiliki 46 Rukun Tetangga (RT), dengan jumlah penduduk berdasarkan data tahun 2019 sebanyak 23.944 jiwa. Terdapat 10 kelompok pertokoan, 9 minimarket/swalayan, dan 180 Toko Kelontong, dan 85 warung/kedai makan yang ada pada kelurahan ini. Rata-rata transportasi yang digunakan masyarakat antar wilayah di Kelurahan Simpang III Sipin menggunakan kendaraan pribadi, dan terdapat angkutan umum dengan trayek tetap (Kecamatan Kota Baru dalam angka, 2020).

Salah satu yang mempengaruhi perubahan kualitas udara ambien adalah meningkatnya jumlah penduduk yang dapat mempengaruhi peningkatan terhadap jumlah transportasi. Menurut Ismiyati *et al.*, (2014), sektor transportasi memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap pencemaran udara di perkotaan dibandingkan dengan sektor lainnya dengan kontribusi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber pencemar udara berkisar 60-70%,

kontribusi pencemar yang berasal dari industri atau cerobong asap berkisar 10-15% dan sisanya berasal dari pembakaran lain. Penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) pada kendaraan bermotor dapat mengemisikan zat-zat pencemar seperti CO, NO_x, SO_x, debu, hidrokarbon dan timbal yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Semakin bertambahnya jumlah kendaraan yang beroperasi dikhawatirkan dapat menurunkan kualitas udara dan meningkatkan konsentrasi PM_{2,5}, hal tersebut dikhawatirkan dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia dan hewan.

Menurut Septiani (2021) peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang membutuhkan bahan bakar akan menghasilkan emisi saat digunakan dan dapat menyebabkan terjadinya pencemaran udara yang akan memberikan dampak negatif terhadap kehidupan manusia. Jumlah kendaraan di Kota Jambi pada akhir tahun 2018 sebanyak 511.639, akhir tahun 2019 sebanyak 587.059, dan akhir tahun 2020 sebanyak 780.207. Kendaraan bermotor yang dicatat adalah semua jenis kendaraan kecuali kendaraan bermotor TNI/Polri dan Korps Diplomatik (Jambi dalam angka, 2021). Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara jumlah kendaraan dan konsentrasi PM_{2,5} pada tahun 2017 hingga 2020 seperti yang terlihat pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. Grafik tren peningkatan PM_{2,5} terhadap jumlah kendaraan di Kota Jambi

Sumber: Jambi dalam angka (2021)

Berdasarkan gambar 7 tersebut dapat dilihat bahwa grafik tren peningkatan PM_{2,5} seiring bertambahnya jumlah kendaraan yang ada di Kota Jambi mengalami kenaikan. Kenaikan yang signifikan terlihat pada tahun 2019 dimana konsentrasi PM_{2,5} sebesar 45,07 µg/Nm³ sedangkan pada tahun 2017 dan 2018 berturut-turut sebesar 13,01 µg/Nm³ dan 21,51 µg/Nm³. Penurunan

konsentrasi $PM_{2,5}$ yang terjadi pada tahun 2020 meskipun terjadi peningkatan jumlah kendaraan dikarenakan pada tahun 2019 terjadi kebakaran hutan dan lahan yang cukup luas di dibandingkan tahun-tahun sebelumnya di Provinsi Jambi sehingga juga mempengaruhi peningkatan konsentrasi tahunan $PM_{2,5}$. Menurut Plasmanto (2019) yang ditulis dalam berita *online* Liputan6, Kota Jambi dan sekitarnya mengalami bencana kabut asap yang diakibatkan oleh kebakaran hutan dan lahan gambut. Kebakaran itu membuat akses pendidikan beberapa kali diliburkan untuk melindungi pelajar dari bahaya kabut asap akibat tingginya indeks standar pencemaran udara (ISPU) terutama pada pagi hari. Selain itu, kebakaran hutan dan lahan yang luas mengakibatkan fenomena langit merah yang terjadi di Kota Jambi pada Senin, 14 Oktober 2019 akibat terhalangnya sinar matahari oleh partikel asap. Selain itu pandemi *Corona Virus Disease-2019* yang masuk ke Indonesia pada awal tahun 2020 membatasi mobilisasi masyarakat sehingga menurunkan emisi $PM_{2,5}$ di udara.

Menurut Irawan *et al.*, (2011), kendaraan bermotor berkontribusi sebagai sumber polusi udara mencapai 60-70%, yang berasal dari kegiatan industri berkisar 10-15%, sedangkan sisanya berasal dari pembakaran rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan/lahan dan lain-lain. Akan tetapi peningkatan konsentrasi $PM_{2,5}$ pada tahun 2017 dibandingkan dengan tahun 2018 tidak hanya dipengaruhi oleh peningkatan jumlah transportasi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Hadi (2021) pada tahun 2017 pemerintah mulai menerapkan standar emisi *Euro-4* bagi kendaraan bermotor. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan No. 20 Tahun 2017 menyebutkan bahwa penggunaan dengan standar emisi *Euro-4* dapat mengurangi ambang batas untuk partikulat dan nitrogen oksida dalam mesin. Oleh sebab itu, peningkatan yang terjadi di Kota Jambi dapat disebabkan oleh faktor lain, salah satu diantaranya adalah kebakaran hutan dan lahan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sari (2021), bahwa peningkatan konsentrasi $PM_{2,5}$ di udara ambien dapat dipengaruhi oleh kejadian kebakaran hutan dan lahan serta dipengaruhi oleh luas kebakaran dan jenis hutan yang terbakar. Menurut Fernando *et al.*, (2017), kebakaran lahan memiliki perbedaan dengan kebakaran vegetasi, karena kebakaran lahan merupakan kebakaran lahan gambut yang berasal dari pohon mati yang lapuk kemudian ditimbun tanah untuk selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai lahan, tanah gambut sangat mudah terbakar pada musim kemarau. Terjadinya kebakaran hutan dan lahan di Provinsi Jambi mengakibatkan meningkatnya konsentrasi $PM_{2,5}$ di udara.

4.2 Kondisi Meteorologi di Sekitar Lokasi Pengukuran

Menurut Serlina (2020), kondisi meteorologi mempengaruhi keberadaan polutan di lingkungan, baik sebagai penghambat atau pemicu pembentukan

polutan. Diantara faktor meteorologi yang dapat mempengaruhi pencemaran udara yaitu suhu, kelembapan, dan kecepatan angin. Pergerakan angin dapat mempengaruhi pelarutan, penyebaran dan pengangkutan polutan di atmosfer dalam skala lokal ataupun regional. Menurut Sepriani *et al.*, (2014) kecepatan angin dapat mempengaruhi konsentrasi partikulat. Apabila kecepatan angin tinggi maka partikulat akan tersebar luas dan menurunkan konsentrasinya, apabila kecepatan angin rendah, maka konsentrasi pencemar akan menumpuk pada suatu lokasi. Kondisi meteorologi di sekitar perletakan alat *Air Nano Sampler* selama periode pengukuran konsentrasi PM_{2,5} dapat dilihat pada tabel 6 berikut.

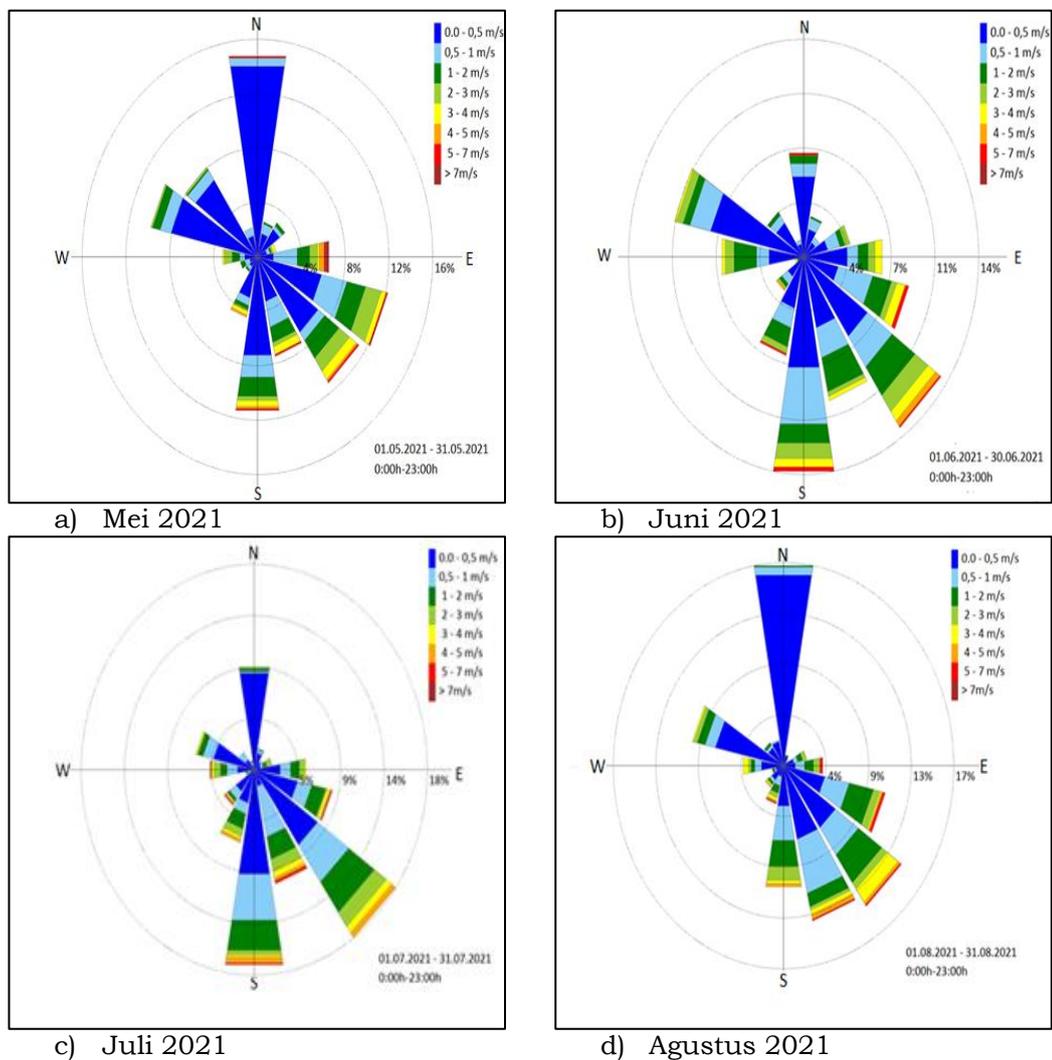
Tabel 6. Kondisi Meteorologi di Kota Jambi Selama Periode Pengambilan Sampel

Bulan/Tahun	Suhu Rata-Rata (°C)	Kecepatan Angin (m/s)	Kelembapan Rata-Rata (%)
Mei/2021	27,7	1,6	84,7
Juni/2021	27,7	1,8	82,4
Juli/2021	27,1	2,1	80,8
Agustus/2021	26,7	2,0	84,8

Sumber: Badan Meteorologi dan Geofisika Online (2021)

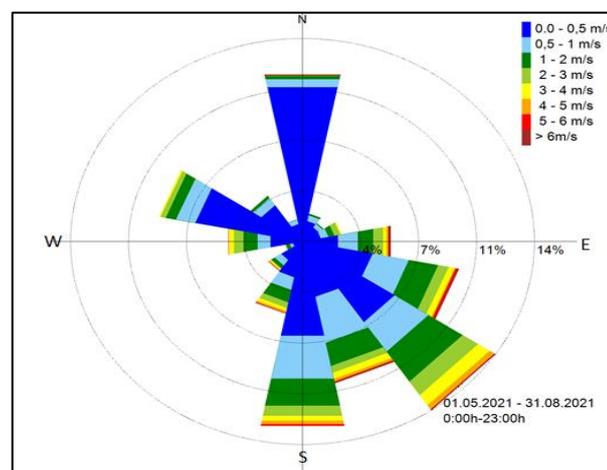
Berdasarkan tabel 6 di atas, diketahui suhu tertinggi terjadi pada bulan Mei 2021 dan Juni 2021 dengan nilai rata-rata suhu yang sama yaitu 27,7°C. Sedangkan suhu terendah terjadi pada bulan Agustus 2021, dengan nilai rata-rata suhu sebesar 26,7°C. Nilai suhu rata-rata dari masing-masing bulan tidak begitu jauh rentangnya, hal itu dapat dikarenakan oleh kondisi cuaca yang tidak terlalu berbeda. Kecepatan angin tertinggi terdapat pada bulan Juli 2021 dengan nilai sebesar 2,1 m/s, dan kecepatan angin terendah terdapat pada bulan Mei 2021 dengan nilai sebesar 1,6 m/s. Menurut Hutauruk *et al.*, (2020), Konsentrasi maksimum PM_{2,5} akan mencapai puncaknya pada musim peralihan hingga musim kemarau, dikarenakan curah hujan yang lebih sedikit dan kecepatan angin *calm* (>1m/s) sering terjadi sehingga menyebabkan polutan terperangkap di suatu lokasi, suhu dan kecepatan angin yang rendah akan menyebabkan penumpukan partikulat.

Pada penelitian ini data kecepatan angin, arah angin, serta stabilitas atmosfer akan disajikan dalam bentuk *wind rose*. *Wind rose* merupakan gambaran dalam format melingkar dengan jari-jari yang menunjukkan arah angin. Menurut Iqbal *et al.*, (2020) *wind rose* merupakan grafik yang menampilkan gambaran distribusi arah angin dan kecepatan angin di suatu wilayah, dan panjang dari setiap kategori yang mengelilingi lingkaran merepresentasikan frekuensi waktu dimana angin berhembus dari suatu arah tertentu. Penggunaan *wind rose* memberikan banyak manfaat dikarenakan sumber data dengan jumlah yang banyak dapat di tampilkan dalam sebuah diagram. Berikut ini merupakan *wind rose* hasil analisis kondisi meteorologi menggunakan *software* GRAL selama periode penelitian dari bulan Mei-Agustus 2021.



Gambar 8. Wind rose perbulan Mei-Agustus 2021

Pada gambar 8 merupakan *wind rose* data kecepatan dan arah angin selama bulan Mei, Juni, Juli, dan Agustus 2021 yang diolah menggunakan *software Graz Lagrangian Model (GRAL)*. Pada bulan Mei 2021 arah angin dominan yaitu berasal dari arah Utara dan Timur Menenggara, pada bulan Juni 2021 arah angin dominan berasal dari arah Tenggara dan Selatan, pada bulan Juli 2021 arah angin dominan berasal dari arah Tenggara dan Selatan dan pada bulan Agustus 2021 arah angin cenderung berasal dari arah Utara dan Tenggara. Berikut ini merupakan *wind rose* apabila data meterologi bulan Mei-Agustus disatukan, seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. *Wind rose* Kota Jambi per 4 bulan Mei-Agustus 2021
Sumber: Hasil running GRAL (2021)

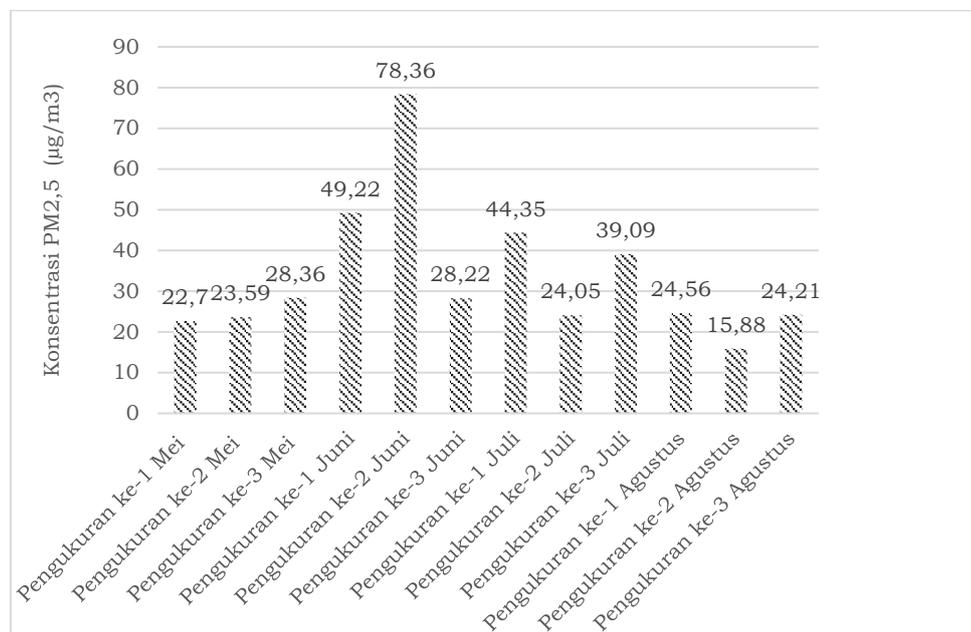
Pada Gambar 9 mewakili kondisi kecepatan angin dan arah angin pada bulan Mei-Agustus 2021 di Kota Jambi dan sekitarnya. Berdasarkan gambar tersebut, tampak arah yang dominan selama bulan Mei hingga Agustus. Arah angin sering terjadi dari arah Tenggara, arah Selatan, Selatan Menenggara dan Utara. Arah angin dari Utara cukup sering terjadi umumnya dengan kecepatan 0,0-0,5 m/s. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Chaloulakou *et al.*, (2003) menghasilkan nilai korelasi negatif antara kecepatan angin dan konsentrasi PM. Kuatnya nilai negatif pada korelasi antara kecepatan angin dan konsentrasi PM mengindikasikan dominasi dari sumber lokal. Kecepatan angin yang kuat akan membawa polusi yang berasal dari suatu wilayah, dan kecepatan angin yang rendah akan menyebabkan polusi di suatu sistem berpotensi terus meningkat.

Berdasarkan penelitian Alfiandy *et al.*, (2020), korelasi konsentrasi harian PM_{2,5} dengan kecepatan angin bernilai negatif, menurutnya hal tersebut menandakan bahwa kecepatan angin yang kuat akan membuat PM_{2,5} yang ada di suatu lokasi akan terdispersi ke area sekitarnya sehingga konsentrasi akan menurun. Besar presentase kecepatan angin dan arah angin selama bulan Mei-Agustus 2021 yang diolah menjadi *wind rose* pada Gambar 9, dapat terlihat

pada tabel yang ada pada lampiran 2. Tabel tersebut merupakan tabel yang berisi data arah angin dan kecepatan angin dari tanggal 1 Mei hingga 31 Agustus 2021 yang disajikan dalam 16 arah mata angin. Tabel tersebut dapat diperoleh dari aplikasi GRAL ketika memasukkan salah satu data *input* untuk memodelkan udara, yaitu data meteorologi dari DLH Kota Jambi. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa arah angin terbanyak yaitu mengarah ke Tenggara yaitu sebesar 14,4 % dan selatan 13,4 %, dan arah angin paling sedikit yaitu ke arah Barat Barat Daya (BBD) yaitu sebesar 1,1%. Kecepatan angin dan suhu di suatu wilayah dipengaruhi oleh musim. Berdasarkan prakiraan BMKG, waktu pengukuran pada penelitian ini masuk ke dalam musim kemarau, yaitu musim kemarau dimulai pada bulan April 2021.

3.3 Konsentrasi PM_{2,5} di Kecamatan Kota Baru

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi PM_{2,5} di Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi menggunakan metode gravimetri yang sesuai dengan SNI 7119.14-2016. Pengukuran berat filter sesudah dan sebelum digunakan dilakukan untuk mengetahui berat PM_{2,5}. Menurut Septiani (2021), perbedaan berat filter yang telah digunakan dan sebelum digunakan terjadi akibat adanya pola saringan yang terbentuk pada permukaan filter sesuai ukuran PM_{2,5}.



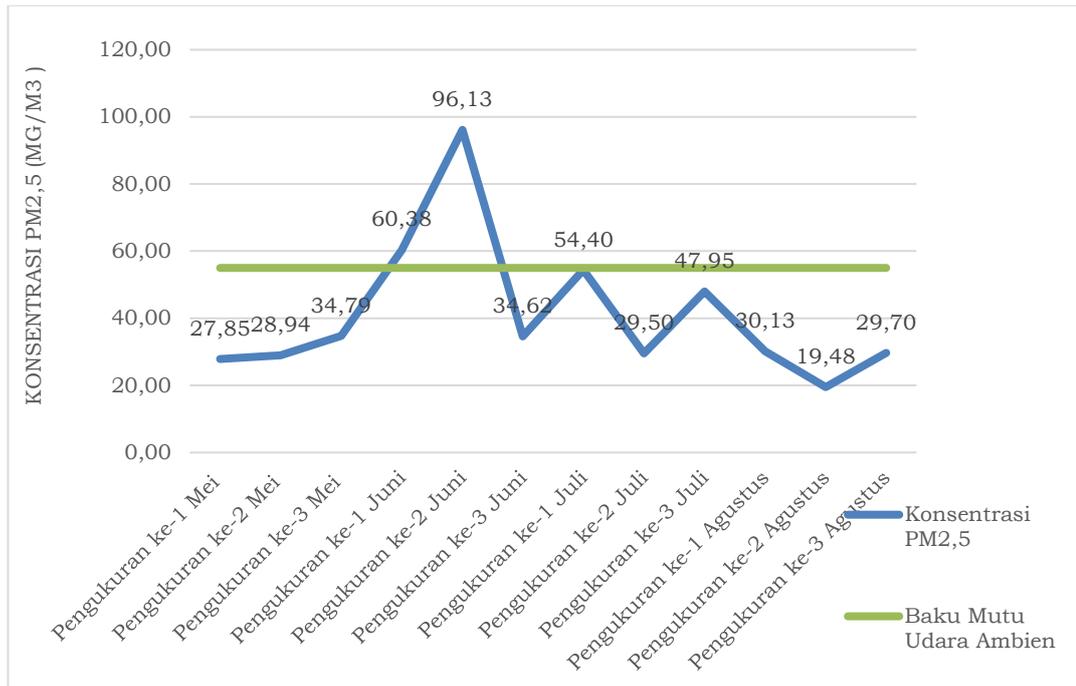
Gambar 10. Konsentrasi PM_{2,5} berdasarkan waktu *sampling*

Berdasarkan hasil pengukuran pada Gambar 10 di atas, diperoleh bahwa konsentrasi pada pengukuran ke-2 bulan Juni memiliki konsentrasi paling tinggi yaitu 78,36 µg/m³ dengan nilai rata-rata kecepatan angin di lokasi penelitian pada pengukuran ke 2 bulan Juni lebih rendah dibandingkan nilai rata-rata pengukuran lainnya, dengan nilai kecepatan angin rata-rata yaitu 0,9

m/s, sementara konsentrasi terendah pada pengukuran ke-2 bulan Agustus yaitu sebesar $15,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nilai kecepatan angin rata-rata yaitu 1,0 m/s. Kecepatan angin mempengaruhi tingkat konsentrasi partikulat. Ketika angin bertiup kencang, partikulat akan tersebar lebih luas dan menurunkan konsentrasinya. Menurut Rosalia *et al.*, (2018) konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ yang rendah dapat dipengaruhi oleh kecepatan angin yang membawa partikulat menuju dari sumber pencemar menuju tempat yang lebih jauh sehingga menghasilkan konsentrasi yang lebih rendah di sekitar wilayah yang dekat dengan pencemar. Kelembaban pada pengukuran ke-2 bulan Juni memiliki rata-rata sebesar 86% sedangkan kelembaban rata-rata pada pengukuran ke-2 bulan Agustus sebesar 88%. Menurut Cahyadi *et al.*, (2016), kelembaban udara relatif turun maka akan meningkatkan konsentrasi polutan, dikarenakan udara yang kering membuat polutan terangkat dan melayang ke udara bebas.

Hujan merupakan salah satu kondisi meteorologi yang dapat mempengaruhi konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$. Menurut Azis *et al.*, (2020) terjadinya hujan dapat menyebabkan pencucian partikulat $\text{PM}_{2,5}$ (*washing out*) di atmosfer yang dapat menurunkan konsentrasinya. Pada pengukuran bulan Mei 2021 memiliki konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan pengukuran bulan Juni dan Juli. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh kejadian hujan yang masih sering terjadi pada bulan Mei 2021 tepatnya pada pengukuran ke-1 (hari pertama dan kedua), dan pengukuran ke-2 (hari pertama).

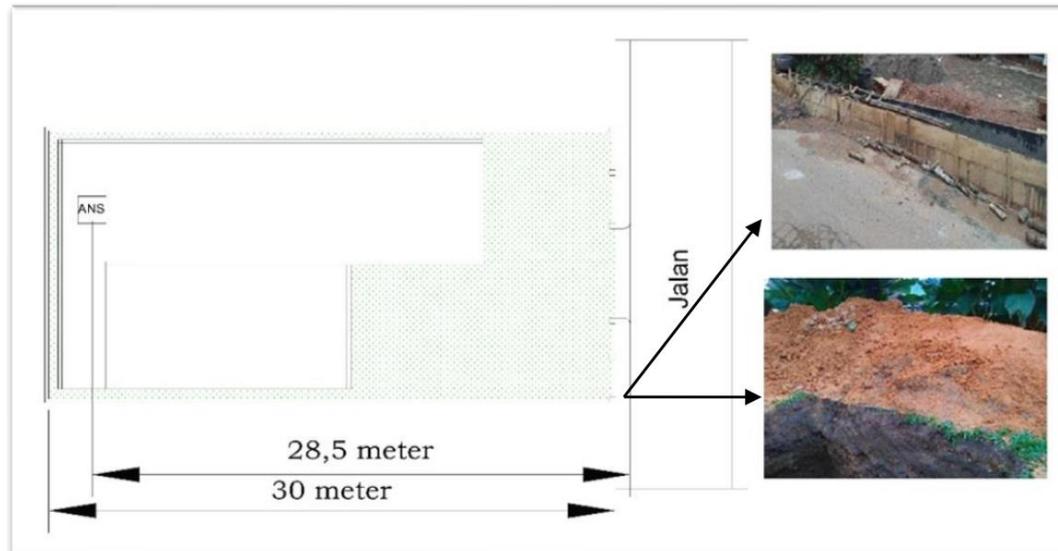
Pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup ditetapkan baku mutu $\text{PM}_{2,5}$ dengan waktu pengukuran 24 jam. Pada penelitian ini pengukuran konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ dilakukan selama 72 Jam, oleh karena itu hasil pengukuran selanjutnya dikonversi dengan persamaan *Canter* agar dapat dibandingkan dengan baku mutu. Contoh perhitungan konversi dapat dilihat pada Lampiran 1. Setelah dilakukan konversi, selanjutnya konsentrasi dapat dibandingkan dengan baku mutu seperti pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Perbandingan Konsentrasi PM_{2,5} dengan Baku Mutu

Dalam pada PP. Nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pemerintah Indonesia menetapkan standar baku mutu PM_{2,5} untuk pengukuran selama 24 jam sebesar 55 µg/m³. Berdasarkan Gambar 11 diketahui bahwa dari hasil pengukuran yang dilakukan terdapat 2 pengukuran yang melewati baku mutu yaitu pengukuran ke-1 bulan Juni dan pengukuran ke-2 bulan Juni. Konsentrasi yang melewati baku mutu secara berturut-turut yaitu 60,38 µg/m³ dan 96,13 µg/m³.

Tingginya konsentrasi pada pengukuran ke-1 bulan Juni 2021 dapat dikarenakan terjadinya pembakaran sampah rumah tangga di lokasi penelitian tepatnya pada tanggal 07 Juni 2021 pukul 16.30. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Aziz et al., (2021) pembakaran sampah rumah tangga secara langsung berpengaruh terhadap kenaikan konsentrasi PM_{2,5} sebesar 64 µg/m³. Konsentrasi pada pengukuran ke-2 bulan Juni 2021 merupakan konsentrasi tertinggi PM_{2,5} selama penelitian yaitu sebesar 96,13 µg/m³. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan tingginya konsentrasi partikulat di suatu wilayah, yaitu kondisi meteorologi dan kondisi lokasi penelitian. Saat pengukuran awal bulan Juni 2021, diketahui terdapat pekerjaan konstruksi pembangunan drainase yang berada pada radius kurang dari 1 Km di sekitar lokasi penelitian seperti yang di tunjukkan pada Gambar 12 berikut.



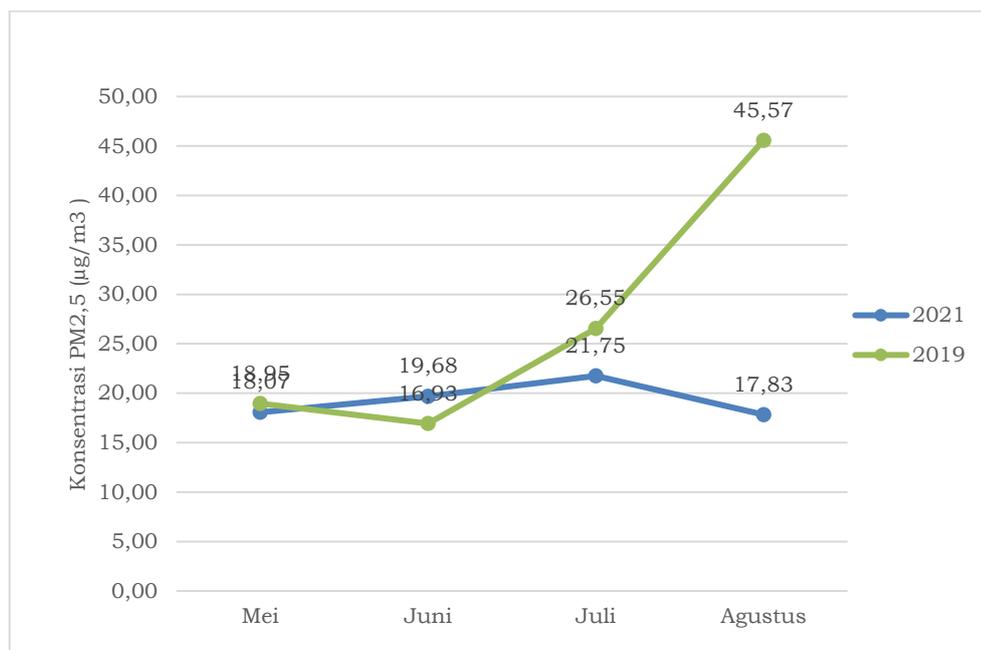
Gambar 12. Pengerjaan Drainase di dekat lokasi penelitian

Pekerjaan pembangunan drainase berlangsung pada awal bulan Juni hingga akhir bulan Juli, dimana tahap penggalian tanah dilakukan pada awal Juni kemudian tanah galian dibiarkan selama beberapa minggu sebelum pembangunan dimulai. Hal tersebut mengakibatkan tingginya beberapa nilai konsentrasi pada kedua bulan tersebut. Tanah sebagai salah satu sumber $PM_{2,5}$ dapat dilihat pada penelitian yang dilakukan oleh Santoso dalam Zannaria *et al.*, (2009) yang mengemukakan bahwa kontribusi faktor tanah dan debu jalan terhadap $PM_{2,5}$ di Kota Bandung adalah sebesar 20%. Selain itu, salah satu faktor yang dapat mempengaruhi tingkat konsentrasi $PM_{2,5}$ adalah kebakaran hutan. Cholianawati *et al.*, (2020) menjelaskan bahwa di Provinsi Riau, Sumatera Selatan dan Jambi, kebakaran lahan menjadi sumber $PM_{2,5}$. Menurut Zuraya (2021), sejak bulan Januari hingga Agustus 2021 telah terjadi kebakaran hutan dan lahan di Provinsi Jambi seluas 172,9 hektare (ha). Asap kebakaran hutan dapat mempengaruhi manusia yang berada jauh dari lokasi kebakaran. Hal itu diakibatkan oleh kombinasi fisika asap kebakaran itu sendiri dan arus angin yang dapat membawa polusi udara ke seluruh dunia. Menurut Jolly *et al.*, (2015), $PM_{2,5}$ yang dihasilkan oleh kebakaran hutan, sepuluh kali lebih berbahaya dibandingkan $PM_{2,5}$ dari sumber lain.

Konsentrasi $PM_{2,5}$ terendah adalah pada pengukuran ke-2 bulan Agustus sebesar $19,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal tersebut terjadi dikarenakan berkurangnya aktivitas masyarakat di Kota Jambi dikarenakan pemerintah melakukan pembatasan aktivitas akibat pandemi virus COVID-19 yang terkonfirmasi masuk ke Indonesia pada bulan Maret 2020. Pada bulan Desember tahun 2019 COVID-19 pertama kali ditemukan di Kota Wuhan, Cina. Penyebaran infeksi terus meningkat hingga ke negara lain, oleh sebab itu diterapkan kebijakan *lockdown* oleh pemerintah setempat untuk membatasi pergerakan manusia agar dapat mengurangi penyebaran (Arfiani & Azizah, 2021).

Menurut Arfiani & Azizah (2021), penerapan kebijakan *lockdown* mengakibatkan kenaikan kualitas udara di negara China, India, dan Pakistan, di Indonesia juga mengalami peningkatan kualitas udara akibat diberlakukan Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) namun tidak signifikan. Pembatasan aktivitas dapat menurunkan kegiatan industri dan mobilitas transportasi sehingga polusi udara yang diemisikan dapat berkurang.

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2021), untuk mengetahui dan menjelaskan dampak PSBB terhadap kualitas udara ambien, tidak dapat dilakukan dengan membandingkan data kualitas udara di suatu wilayah pada saat diberlakukan PSBB dan bulan sebelum diberlakukannya PSBB, akan tetapi data dapat dibandingkan pada bulan yang sama dengan tahun yang berbeda (*year on year*). Perbandingan kualitas udara sebelum pandemi COVID-19 dengan kualitas udara selama penelitian dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Perbandingan Konsentrasi $PM_{2,5}$ sebelum pandemi dan selama pandemi Covid-19

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Jambi (2021)

Pada Gambar 13 ditampilkan perbandingan konsentrasi $PM_{2,5}$ sebelum pandemi yaitu pada tahun 2019 dan konsentrasi selama pandemi pada tahun 2021. Secara keseluruhan terjadi penurunan konsentrasi $PM_{2,5}$ terutama pada bulan Agustus 2021, hal tersebut dikarenakan selama bulan tersebut pemerintah Kota Jambi melakukan Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM). PPKM merupakan istilah yang diterapkan pemerintah untuk mengganti istilah PSBB. Pemerintah Kota Jambi meningkatkan kebijakan untuk membatasi kegiatan masyarakat yang semula hanya PPKM

mikro menjadi PPKM level 4 yang tertuang dalam Instruksi Wali Kota Jambi Nomor : 18/INS/VIII/HKU/2021 Tentang Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat Level 4 *Corona Virus Disease* 2019 di Wilayah Kota Jambi pada 10 Agustus 2021. Kebijakan PPKM membuat beberapa profesi pekerjaan melakukan pekerjaan dari rumah, kegiatan belajar mengajar di sekolah dilakukan secara daring, penutupan restoran dan pertokoan *non-essentials*, serta melakukan penyekatan ruas jalan di berbagai titik. Kebijakan ini sangat mempengaruhi kegiatan industri dan mobilitas masyarakat di lokasi penelitian sehingga dapat berpotensi menurunkan konsentrasi $PM_{2,5}$. Namun, berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Wibowo *et al.*, (2020) menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi $PM_{2,5}$ di Jakarta dan Surabaya akan tetapi konsentrasi $PM_{2,5}$ di Jambi masih fluktuatif. Namun pada penelitian tersebut dilaksanakan pada awal hingga pertengahan bulan Mei 2020 yang tidak terlalu lama sejak kasus COVID-19 pertama kali diumumkan masuk ke Indonesia tepatnya pada tanggal 2 Maret 2020 oleh Presiden Republik Indonesia Joko Widodo, sehingga jumlah pasien terdampak COVID-19 yang berbeda dan kebijakan tingkat PSBB yang berbeda pula, akibatnya aktivitas masyarakat dan industri yang tidak menurun secara signifikan sehingga tidak berpengaruh besar terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$.

Menurut Arfiani dan Azizah (2021), pengaruh pembatasan aktivitas masyarakat untuk mengurangi penyebaran COVID-19 menurunkan polusi udara di beberapa negara di Asia seperti Cina, India, dan Pakistan, sedangkan di Indonesia tidak terjadi penurunan yang signifikan akibat aktivitas industri dan pergerakan transportasi yang juga tidak berkurang secara signifikan. Selain faktor aktivitas industri dan masyarakat, menurut hasil penelitian Febriadi (2021), kondisi meteorologi berupa kecepatan angin, kelembapan dan temperatur selama musim pandemi COVID-19 mempengaruhi konsentrasi $PM_{2,5}$. Hubungan antara kecepatan angin dan kelembapan dengan konsentrasi $PM_{2,5}$ adalah berbanding terbalik, sedangkan temperatur berbanding lurus dengan konsentrasi $PM_{2,5}$.

3.4 Analisis Sebaran Konsentrasi $PM_{2,5}$ Menggunakan Software *Graz Lagrangian Model*

Menurut Ling *et al.*,(2020), GRAL model (V20.09) yang digunakan pada penelitian ini dapat menyimulasikan dispersi dari beberapa sumber polutan dan PM yang menggunakan data kecepatan angin atau aliran tidak homogen yang dihitung oleh pre-prosesor meteorologi GRAL itu sendiri. Bangunan, vegetasi dan dinding yang menjadi penghalang aliran gas di suatu wilayah dapat diperhitungkan. Kebanyakan dari model dispersi Gaussian dapat digunakan untuk menyimulasi pada area dataran, seperti CALINE-4, AEOLIUS, CAR-FMI,

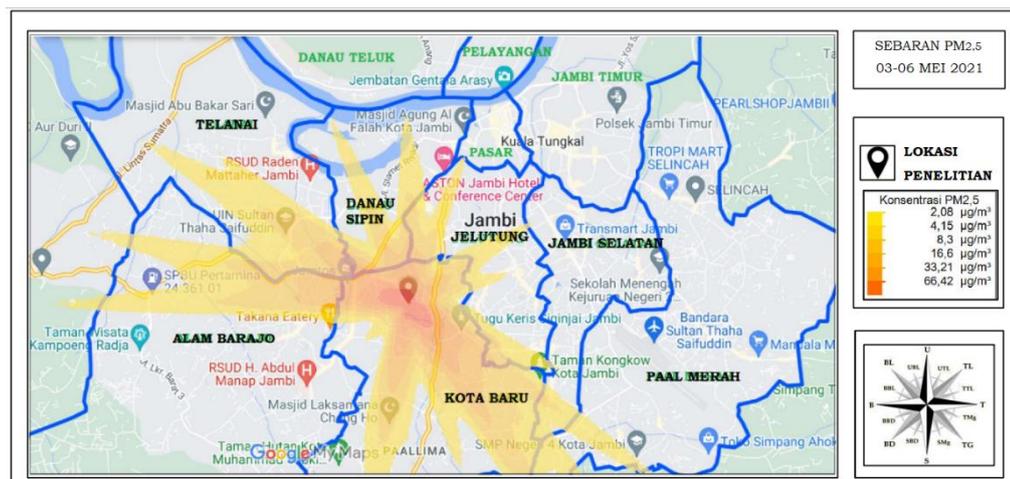
ADMS, dan OSPM. tidak seperti model Gaussian, GRAL dapat mensimulasikan dispersi di kedua area, dataran maupun area yang kompleks. Selain itu, GRAL cukup efisien dikarenakan waktu *Central Processing Unit* (CPU) dan kapasitas penyimpanan dapat digunakan lintas skala perkotaan mikro maupun meso. Algoritma khusus yang pada GRAL dapat digunakan untuk menghitung kecepatan angin yang rendah (Kecepatan angin < 1,5 m/s). Melihat susunan bangunan yang ada di lokasi penelitian yang kompleks dan kecepatan angin yang rendah yang sering ditemukan berdasarkan data kecepatan angin yang diperoleh dari stasiun meteorologi terdekat yang menunjukkan rata-rata kecepatan angin 0,9 m/s dan 1,1 m/s di sekitar lokasi penelitian berdasarkan pengukuran langsung. Dengan kecepatan angin yang rendah serta tata letak bangunan, maka GRAL dipertimbangkan dengan berbagai keunggulan yang dimilikinya, dan GRAL digunakan pada penelitian ini. Berikut ini merupakan sebaran partikulat PM_{2,5} pada lokasi penelitian yang diukur selama 4 bulan sejak bulan Mei 2021 – Agustus 2021 selama 72 jam.

4.4.1 Sebaran PM_{2,5} pada bulan Mei 2021

Pengukuran dilakukan selama 3 kali, dengan hasil *running* sebagai berikut.

a. Pengukuran Sepuluh Hari Pertama di Bulan Mei 2021

Berdasarkan hasil *running* Graz Lagrangian Model (GRAL) terhadap data hasil pengukuran langsung yang dilakukan selama 72 jam pada tanggal 3-6 Mei 2021 diketahui bahwa sebaran polutan seperti yang ditampilkan pada Gambar 14.



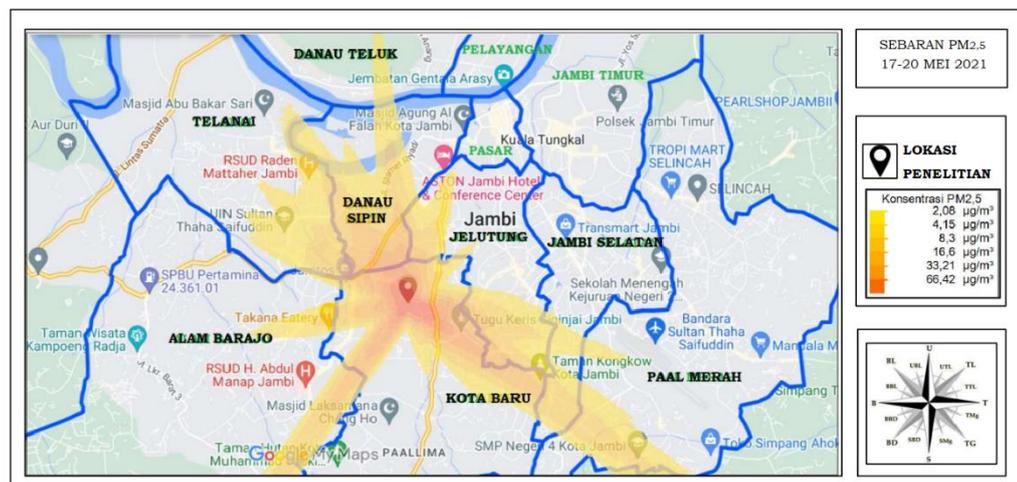
Gambar 14. Sebaran PM_{2,5} sepuluh hari pertama di bulan Mei 2021

Konsentrasi PM_{2,5} di lokasi penelitian yang diukur menggunakan alat *Air Nano Sampler* selama 72 jam pada sepuluh hari pertama dibulan Mei 2021 yaitu sebesar 27,66 µg/m³ Arah angin dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan angin rata-rata berkisar 0,5-0,1 m/s yaitu mengarah ke arah Timur Tenggara

dan ke arah Utara Barat Laut. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan kondisi meteorologi saat pengukuran dilakukan. Diketahui berdasarkan kondisi meteorologi, daerah yang terpapar $PM_{2,5}$ di Kecamatan Kota baru dan beberapa Kecamatan yang berada disekitarnya yaitu Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah seperti yang terlihat pada gambar 14.

b. Pengukuran Sepuluh Hari Kedua di Bulan Mei 2021

Berdasarkan hasil *running* Graz Lagrangian Model (GRAL) terhadap data hasil pengukuran langsung yang dilakukan selama 72 jam pada tanggal 17-20 Mei 2021 diketahui bahwa sebaran polutan seperti yang ditampilkan pada gambar 15.



Gambar 15. Sebaran $PM_{2,5}$ sepuluh hari kedua di bulan Mei 2021

Konsentrasi $PM_{2,5}$ di lokasi penelitian yang diukur menggunakan alat *Air Nano Sampler* selama 72 jam pada sepuluh hari kedua dibulan Mei 2021 yaitu sebesar 28,75 $\mu g/m^3$. Arah angin dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan angin rata-rata berkisar 0,5-0,1 m/s yaitu mengarah ke arah Barat Laut dan Timur Laut. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan kondisi meteorologi saat pengukuran dilakukan. Diketahui berdasarkan kondisi meteorologi, daerah yang terpapar $PM_{2,5}$ di Kecamatan Kota baru dan beberapa Kecamatan yang berada disekitarnya yaitu Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Danau Teluk, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah seperti yang terlihat pada gambar 15.

c. Pengukuran Sepuluh Hari Ketiga di Bulan Mei 2021

Berdasarkan hasil *running* Graz Lagrangian Model (GRAL) terhadap data hasil pengukuran langsung yang dilakukan selama 72 jam pada tanggal 24-2027 Mei 2021 diketahui bahwa sebaran polutan seperti yang ditampilkan pada gambar 16.



Gambar 16. Sebaran PM_{2,5} sepuluh hari ketiga di bulan Mei 2021

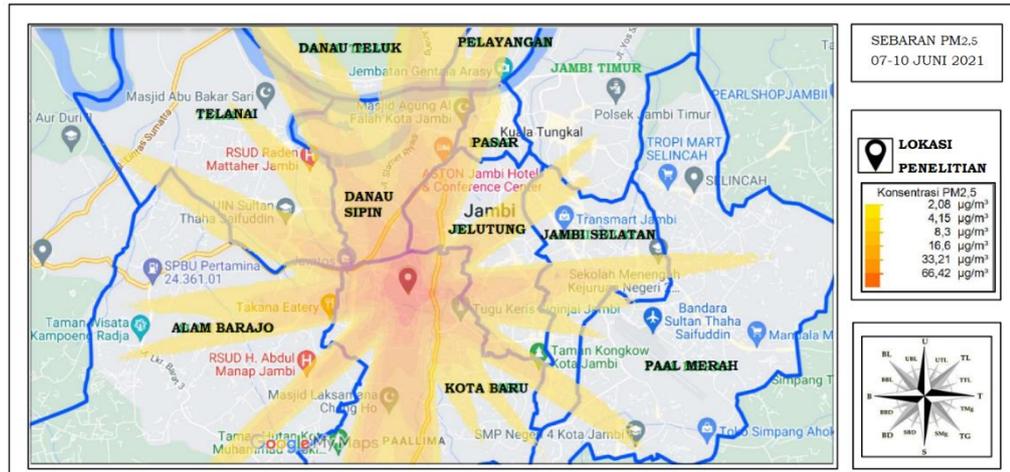
Konsentrasi PM_{2,5} di lokasi penelitian yang diukur menggunakan alat *Air Nano Sampler* selama 72 jam pada sepuluh hari ketiga dibulan Mei 2021 yaitu sebesar 34,56 µg/m³. Arah angin dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan angin rata-rata berkisar 0,5-0,1 m/s yaitu mengarah ke arah Tenggara dan Selatan Menenggara. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan kondisi meteorologi saat pengukuran dilakukan. Diketahui berdasarkan kondisi meteorologi daerah yang terpapar PM_{2,5} di Kecamatan Kota Baru dan beberapa Kecamatan yang berada disekitarnya yaitu Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Jelutung, Danau Teluk, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah seperti yang terlihat pada gambar 16.

4.4.2 Sebaran PM_{2,5} pada Bulan Juni 2021

Pengukuran dilakukan selama 3 kali, dengan hasil *running* sebagai berikut.

a. Pengukuran Sepuluh Hari Pertama di Bulan Juni 2021

Berdasarkan hasil *running* Graz Lagrangian Model (GRAL) terhadap data hasil pengukuran langsung yang dilakukan selama 72 jam pada tanggal 7-10 Juni 2021 diketahui bahwa sebaran polutan seperti yang ditampilkan pada gambar 17.

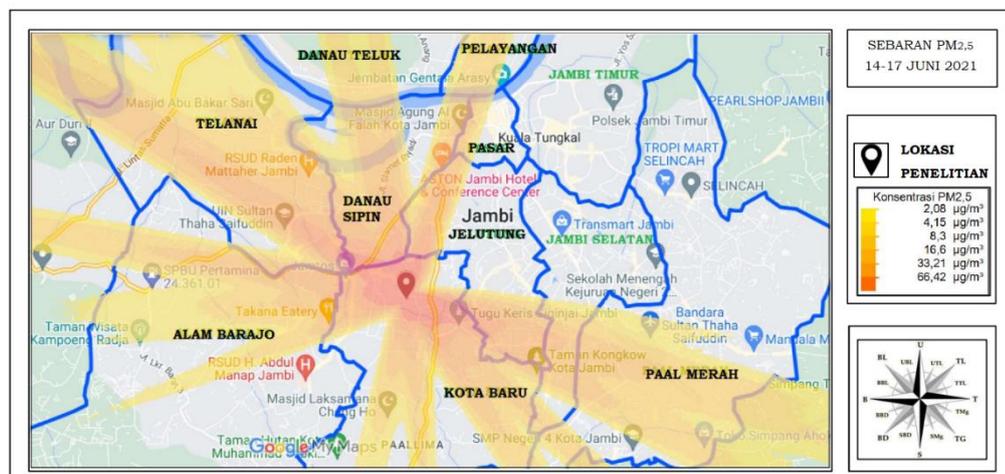


Gambar 17. Sebaran $PM_{2,5}$ sepuluh hari pertama di bulan Juni 2021

Konsentrasi $PM_{2,5}$ di lokasi penelitian yang diukur menggunakan alat *Air Nano Sampler* selama 72 jam pada sepuluh hari pertama dibulan Juni 2021 yaitu sebesar $59,98 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Arah angin dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan angin rata-rata berkisar $0,5-0,1 \text{ m/s}$ yaitu mengarah ke arah Selatan dan Utara. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan kondisi meteorologi saat pengukuran dilakukan. Diketahui berdasarkan kondisi meteorologi, daerah yang terpapar $PM_{2,5}$ di Kecamatan Kota Baru dan beberapa Kecamatan yang berada disekitarnya yaitu Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Danau Teluk, Pasar Jambi, Pelayangan, Jelutung, Paal Merah dan Jambi Selatan seperti yang terlihat pada gambar 17.

b. Pengukuran Sepuluh Hari Kedua di Bulan Juni 2021

Berdasarkan hasil *running* Graz Lagrangian Model (GRAL) terhadap data hasil pengukuran langsung yang dilakukan selama 72 jam pada tanggal 14-16 Juni 2021 diketahui bahwa sebaran polutan seperti yang ditampilkan pada gambar 18.

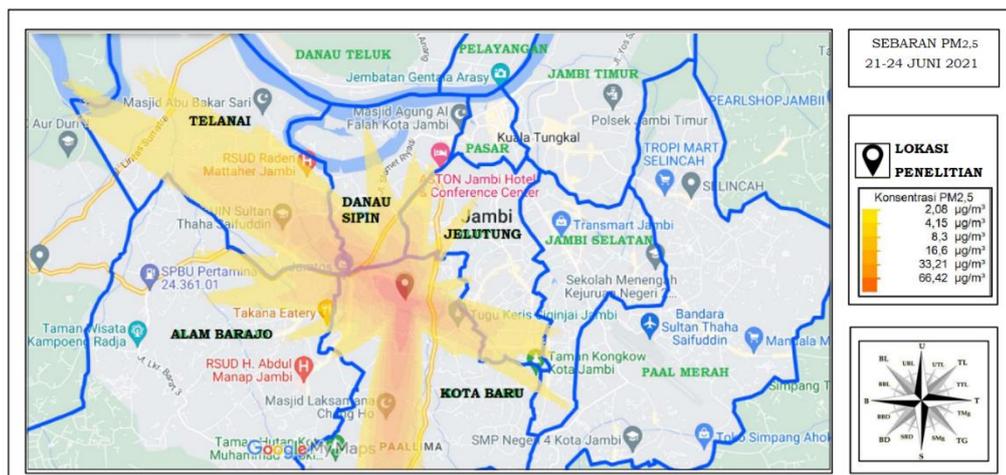


Gambar 18. Sebaran $PM_{2,5}$ sepuluh hari kedua di bulan Juni 2021

Konsentrasi $PM_{2,5}$ di lokasi penelitian yang diukur menggunakan alat *Air Nano Sampler* selama 72 jam pada sepuluh hari kedua dibulan Juni 2021 yaitu sebesar $95,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Arah angin dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan angin rata-rata berkisar $0,5-0,1 \text{ m/s}$ yaitu mengarah ke arah Tenggara dan Barat-Barat Laut. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan kondisi meteorologi saat pengukuran dilakukan. Diketahui berdasarkan kondisi meteorologi, daerah yang terpapar $PM_{2,5}$ di Kecamatan Kota Baru dan beberapa Kecamatan yang berada disekitarnya yaitu Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Danau Teluk, Pasar Jambi, Pelayangan, Jelutung, Paal Merah dan Jambi Selatan seperti yang terlihat pada gambar 18.

c. Pengukuran Sepuluh Hari Ketiga di Bulan Juni 2021

Berdasarkan hasil *running* Graz Lagrangian Model (GRAL) terhadap data hasil pengukuran langsung yang dilakukan selama 72 jam pada tanggal 21-23 Juni 2021 diketahui bahwa sebaran polutan seperti yang ditampilkan pada gambar 19.



Gambar 19. Sebaran $PM_{2,5}$ sepuluh hari ketiga di bulan Juni 2021

Konsentrasi $PM_{2,5}$ di lokasi penelitian yang diukur menggunakan alat *Air Nano Sampler* selama 72 jam pada sepuluh hari kedua dibulan Juni 2021 yaitu sebesar $34,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Arah angin dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan angin rata-rata berkisar $0,5-0,1 \text{ m/s}$ yaitu mengarah ke arah Utara dan Timur Tenggara. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan kondisi meteorologi saat pengukuran dilakukan. Diketahui berdasarkan kondisi meteorologi, daerah yang terpapar $PM_{2,5}$ di Kecamatan Kota Baru dan beberapa Kecamatan yang berada disekitarnya yaitu Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, dan Jelutung seperti yang terlihat pada gambar 19.

4.4.3 Sebaran $PM_{2,5}$ pada Bulan Juli 2021

Pengukuran dilakukan selama 3 kali, dengan hasil *running* sebagai berikut.

a. Pengukuran Sepuluh Hari Pertama di Bulan Juli 2021

Berdasarkan hasil *running* Graz Lagrangian Model (GRAL) terhadap data hasil pengukuran langsung yang dilakukan selama 72 jam pada tanggal 5-8 Juli 2021 diketahui bahwa sebaran polutan seperti yang ditampilkan pada gambar 20.

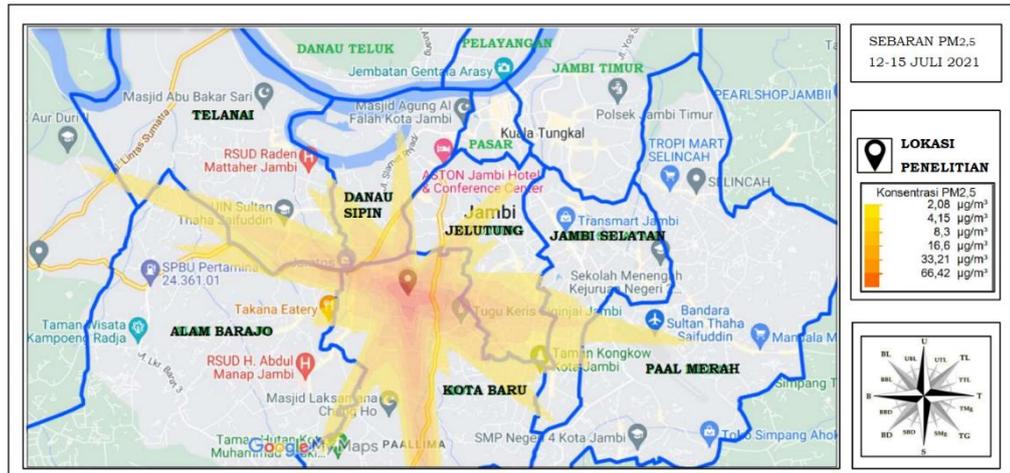


Gambar 20. Sebaran PM_{2,5} sepuluh hari pertama di bulan Juli 2021

Konsentrasi PM_{2,5} di lokasi penelitian yang diukur menggunakan alat *Air Nano Sampler* selama 72 jam pada sepuluh hari pertama dibulan Juli 2021 yaitu sebesar 54,05 µg/m³. Arah angin dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan angin rata-rata berkisar 0,5-0,1 m/s yaitu mengarah ke arah Utara dan Timur-Tenggara. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan kondisi meteorologi saat pengukuran dilakukan. Diketahui berdasarkan kondisi meteorologi, daerah yang terpapar PM_{2,5} di Kecamatan Kota Baru dan beberapa Kecamatan yang berada disekitarnya yaitu Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Danau Teluk, Pasar Jambi, Pelayangan, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah seperti yang terlihat pada gambar 20.

b. Pengukuran Sepuluh Hari Kedua di Bulan Juli 2021

Berdasarkan hasil *running* Graz Lagrangian Model (GRAL) terhadap data hasil pengukuran langsung yang dilakukan selama 72 jam pada tanggal 12-15 Juli 2021 diketahui bahwa sebaran polutan seperti yang ditampilkan pada gambar 21.



Gambar 21. Sebaran PM_{2,5} sepuluh hari kedua di bulan Juli 2021

Konsentrasi PM_{2,5} di lokasi penelitian yang diukur menggunakan alat *Air Nano Sampler* selama 72 jam pada sepuluh hari kedua dibulan Juli 2021 yaitu sebesar 29,31 ug/m³. Arah angin dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan angin rata-rata berkisar 0,5-0,1 m/s yaitu mengarah ke arah Barat-Barat Laut dan Selatan-Barat Daya. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan kondisi meteorologi saat pengukuran dilakukan. Diketahui berdasarkan kondisi meteorologi, daerah yang terpapar PM_{2,5} di Kecamatan Kota Baru dan beberapa Kecamatan yang berada disekitarnya yaitu Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah seperti yang terlihat pada gambar 21.

c. Pengukuran Sepuluh Hari Ketiga di Bulan Juli 2021

Berdasarkan hasil *running* Graz Lagrangian Model (GRAL) terhadap data hasil pengukuran langsung yang dilakukan selama 72 jam pada tanggal 26-29 Juli 2021 diketahui bahwa sebaran polutan seperti yang ditampilkan pada gambar 22.



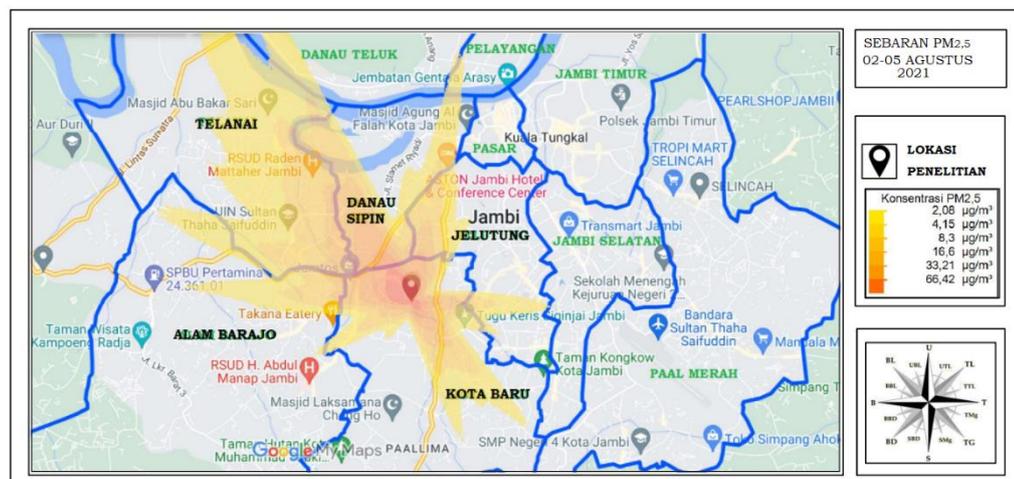
Gambar 22. Sebaran PM_{2,5} sepuluh hari ketiga di bulan Juli 2021

Konsentrasi $PM_{2,5}$ di lokasi penelitian yang diukur menggunakan alat *Air Nano Sampler* selama 72 jam pada sepuluh hari kedua dibulan Juli 2021 yaitu sebesar $47,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Arah angin dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan angin rata-rata berkisar $0,5-0,1 \text{ m/s}$ yaitu mengarah ke arah Selatan dan Tenggara. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan kondisi meteorologi saat pengukuran dilakukan. Diketahui berdasarkan kondisi meteorologi, daerah yang terpapar $PM_{2,5}$ di Kecamatan Kota Baru dan beberapa Kecamatan yang berada disekitarnya yaitu Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Danau Teluk, Pelayangan, Pasar Jambi, Jambi Timur, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah seperti yang terlihat pada gambar 22.

4.5.4 Sebaran $PM_{2,5}$ pada Bulan Agustus 2021

a. Pengukuran Sepuluh Hari Pertama di Bulan Agustus 2021

Berdasarkan hasil *running* Graz Lagrangian Model (GRAL) terhadap data hasil pengukuran langsung yang dilakukan selama 72 jam pada tanggal 2-5 Agustus 2021 diketahui bahwa sebaran polutan seperti yang ditampilkan pada gambar 23.

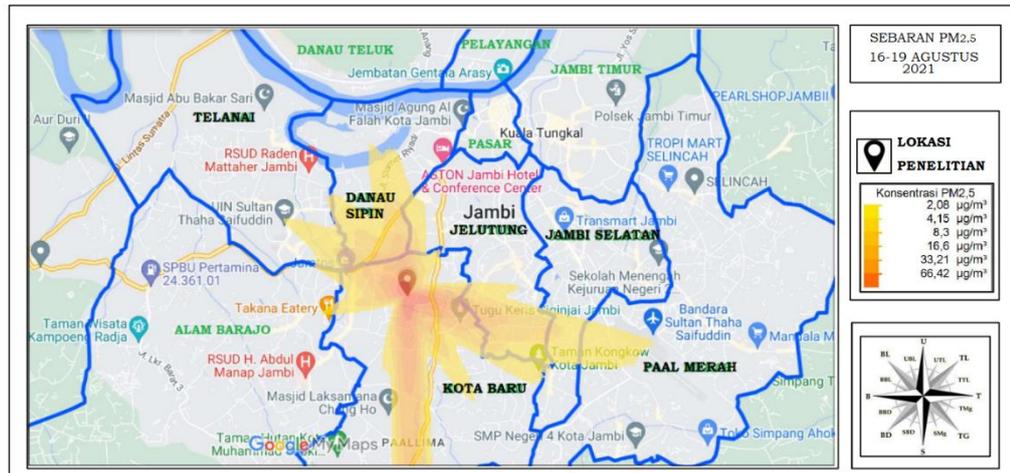


Gambar 23. Sebaran $PM_{2,5}$ sepuluh hari pertama di bulan Agustus 2021

Konsentrasi $PM_{2,5}$ di lokasi penelitian yang diukur menggunakan alat *Air Nano Sampler* selama 72 jam pada sepuluh hari pertama dibulan Agustus 2021 yaitu sebesar $29,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Arah angin dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan angin rata-rata berkisar $0,5-0,1 \text{ m/s}$ yaitu mengarah ke arah Tenggara dan Timur-Tenggara. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan kondisi meteorologi saat pengukuran dilakukan. Diketahui berdasarkan kondisi meteorologi, daerah yang terpapar $PM_{2,5}$ di Kecamatan Kota Baru dan beberapa Kecamatan yang berada disekitarnya yaitu Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, dan Jelutung seperti yang terlihat pada gambar 23.

b. Pengukuran Sepuluh Hari Kedua di Bulan Agustus 2021

Berdasarkan hasil *running* Graz Lagrangian Model (GRAL) terhadap data hasil pengukuran langsung yang dilakukan selama 72 jam pada tanggal 16-19 Agustus 2021 diketahui bahwa sebaran polutan seperti yang ditampilkan pada gambar 24.

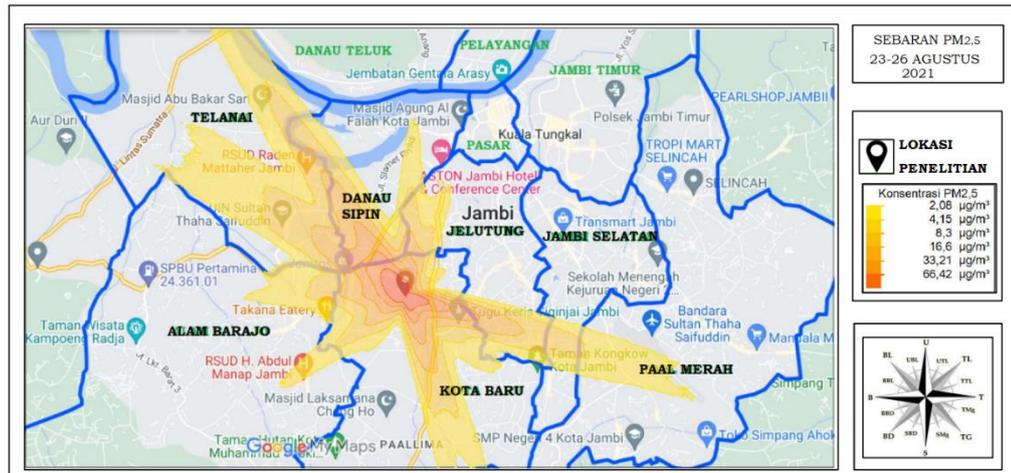


Gambar 24. Sebaran PM_{2,5} sepuluh hari kedua di bulan Agustus 2021

Konsentrasi PM_{2,5} di lokasi penelitian yang diukur menggunakan alat *Air Nano Sampler* selama 72 jam pada sepuluh hari kedua dibulan Agustus 2021 yaitu sebesar 19,35 µg/m³. Arah angin dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan angin rata-rata berkisar 0,5-0,1 m/s yaitu mengarah ke arah Barat-Barat Laut dan Tenggara. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan kondisi meteorologi saat pengukuran dilakukan. Diketahui berdasarkan kondisi meteorologi daerah yang terpapar PM_{2,5} di Kecamatan Kota Baru dan beberapa Kecamatan yang berada disekitarnya yaitu Kecamatan Telanaipura, Danau Sipin, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah seperti yang terlihat pada gambar 24.

c. Pengukuran Sepuluh Hari Ketiga di Bulan Agustus 2021

Berdasarkan hasil *running* Graz Lagrangian Model (GRAL) terhadap data hasil pengukuran langsung yang dilakukan selama 72 jam pada tanggal 23-26 Agustus 2021 diketahui bahwa sebaran polutan seperti yang ditampilkan pada gambar 25.



Gambar 25. Sebaran PM_{2,5} sepuluh hari ketiga di bulan Agustus 2021

Konsentrasi PM_{2,5} di lokasi penelitian yang diukur menggunakan alat *Air Nano Sampler* selama 72 jam pada sepuluh hari kedua dibulan Agustus 2021 yaitu sebesar 29,50 ug/m³. Arah angin dominan di lokasi penelitian dengan kecepatan angin rata-rata berkisar 0,5-0,1 m/s yaitu mengarah ke arah Tenggara dan Selatan Menenggara. Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan kondisi meteorologi saat pengukuran dilakukan. Diketahui berdasarkan kondisi meteorologi, daerah yang terpapar PM_{2,5} di Kecamatan Kota Baru dan beberapa Kecamatan yang berada disekitarnya yaitu Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah.

Analisis hasil sebaran PM_{2,5} dilakukan dengan melihat perbedaan warna yang menunjukkan perbedaan konsentrasi. Terdapat 6 interval warna kuning hingga jingga yang digunakan pada penelitian ini dengan nilai konsentrasi dari warna paling kekuningan hingga jingga yaitu 2,08 µg/m³, 4,15 µg/m³, 8,3 µg/m³, 16,6 µg/m³, 33,21 µg/m³, dan 66,42 µg/m³. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan pada bulan Mei 2021 hingga Agustus 2021 diketahui bahwa kesebelas kecamatan yang ada di Kota Jambi terpapar PM_{2,5} dengan kecamatan yang sering terpapar yaitu Kecamatan Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Jelutung, Jambi Selatan dan Paal Merah. Lokasi terpapar pada setiap waktu pengukuran dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Kawasan Terpapar PM_{2,5} di Kota Jambi

Waktu pengukuran	Pengukuran PM _{2,5}	Sebaran PM _{2,5}
Mei-2021	Pengukuran Pertama	Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah
	Pengukuran Kedua	Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Danau Teluk, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah
	Pengukuran Ketiga	Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Jelutung, Danau Teluk, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah
Jun-21	Pengukuran Pertama	Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Danau Teluk, Pasar Jambi, Pelayangan, Jelutung, Jambi Selatan dan Paal Merah
	Pengukuran Kedua	Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Danau Teluk, Pasar Jambi, Pelayangan, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah
	Pengukuran Ketiga	Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, dan Jelutung
Jul-21	Pengukuran Pertama	Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Danau Teluk, Pasar Jambi, Pelayangan, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah
	Pengukuran Kedua	Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah
	Pengukuran Ketiga	Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Danau Teluk, Pelayangan, Pasar Jambi, Jambi Timur, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah
Agu-21	Pengukuran Pertama	Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, dan Jelutung
	Pengukuran Kedua	Telanaipura, Danau Sipin, Jelutung, Jambi Selatan, dan Paal Merah
	Pengukuran Ketiga	Alam Barajo, Telanaipura, Danau Sipin, Jelutung, Jambi Selatan dan Paal Merah

Menurut Lestari dan Muazir (2009), konfigurasi massa bangunan dan jalan-jalan yang terbentuk di suatu kawasan perkotaan mempengaruhi iklim mikro yang terbentuk. Elemen yang termasuk iklim mikro diantaranya adalah aliran udara, radiasi matahari, panas dan kelembaban. Kondisi bangunan dan konfigurasi dimensi serta jarak juga mempengaruhi iklim mikro yang terbentuk. Aliran udara di kawasan perkotaan memiliki skala spasial dan temporal yang berbeda dan aliran udara di kawasan perkotaan tersebut mempengaruhi kualitas udara setempat. Sehingga diketahui bahwa jarak antar bangunan dan pola bangunan yang terbentuk mempengaruhi persebaran polutan yang ada di kawasan tersebut. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Ling *et al.*, (2020), bahwa dispersi PM cenderung dipengaruhi jarak bangunan rumah terhadap tepi jalan. Dispersi PM di kawasan urban banyak dipengaruhi oleh kepadatan rumah, ketinggian bangunan dan lebar gang antar perumahan. Konsentrasi dan

persebaran dipengaruhi oleh kecepatan angin yang membawa partikulat dari sumber menuju tempat yang berbeda.

Hasil simulasi konsentrasi $PM_{2,5}$ yang dihasilkan oleh GRAL terbagi atas konsentrasi *total*, *day max*, *max*, dan *mean*. *Total* menunjukkan keseluruhan konsentrasi $PM_{2,5}$ yang diprediksi ada di suatu wilayah domain, *day max* menunjukkan konsentrasi $PM_{2,5}$ maksimum pada siang hari, *max* menunjukkan konsentrasi $PM_{2,5}$ maksimum yang diprediksi ada di suatu wilayah domain, dan *mean* menunjukkan konsentrasi rata-rata $PM_{2,5}$ di suatu wilayah domain. Pada tabel juga diperlihatkan konsentrasi pada setiap *layer* atau ketinggian. Semakin bertambahnya ketinggian, akan semakin berkurang konsentrasi yang ada di lokasi pengukuran. Hal ini dapat dipengaruhi oleh *input* sumber pencemar yang masuk ke wilayah domain hanya bersumber dari aktivitas kendaraan bermotor.

Penelitian ini dapat memiliki keterbatasan dalam memperkirakan konsentrasi $PM_{2,5}$ menggunakan parameter meteorologi, yaitu parameter meteorologi yang digunakan terlalu sedikit serta terdapat variabel lain yang dapat berpengaruh besar terhadap variasi konsentrasi $PM_{2,5}$ di wilayah tersebut seperti kondisi iklim mikro dan pengaruh lalu lintas. Akan tetapi pada penelitian ini telah diketahui bahwa model GRAL dapat digunakan untuk memodelkan $PM_{2,5}$ di Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi. Hasil pemodelan menggunakan GRAL berupa peta sebaran $PM_{2,5}$ di kawasan domain dapat digunakan oleh pemerintah terkait dalam manajemen kualitas udara di perkotaan. Serta hasil pengukuran menggunakan *Air Nano Sampler* dapat digunakan sebagai data evaluasi kondisi kualitas udara di wilayah tersebut dan sekitarnya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pemodelan $PM_{2,5}$ pada musim kemarau menggunakan *Software Graz Lagrangian Model* di Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Konsentrasi $PM_{2,5}$ di Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi selama periode pengukuran memiliki nilai rata-rata konsentrasi tertinggi pada bulan Juni 2021 dan konsentrasi terendah pada bulan Agustus 2021. Rata-rata konsentrasi $PM_{2,5}$ pada bulan Mei-Agustus 2021 yang diukur selama 3 kali setiap bulannya di Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi secara berturut-turut yaitu $18,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $19,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $21,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $17,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
2. Secara umum konsentrasi $PM_{2,5}$ pada lokasi pengukuran tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan pemerintah pada Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dengan konsentrasi sebesar $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, kecuali 2 pengukuran yaitu pada pengukuran ke-1 bulan Juni ($60,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan pengukuran ke-2 bulan Juni ($96,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
3. Dari hasil pemodelan dispersi $PM_{2,5}$ pada domain model yang berlokasi di Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi diketahui bahwa arah persebaran polutan $PM_{2,5}$ yang terpapar $PM_{2,5}$ adalah Kecamatan Danau Sipin, Kecamatan Jelutung, Kecamatan Alam Barajo, Kecamatan Jambi Selatan, Kecamatan Pasar Jambi dan Kecamatan Telanaipura.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Perlunya penelitian di lakukan di beberapa lokasi pemantauan yang berbeda di Kota Jambi agar kondisi pencemaran udara di Kota Jambi dapat terus terpantau dan diketahui di keseluruhan wilayah.
2. Penelitian berikutnya dapat dilakukan secara mendetail dengan populasi berdasarkan klasifikasi aktivitas masyarakat seperti pelajar, pekerja, serta pedagang beserta sumber dan lokasi yang mendetail mengenai dampak pajanan $PM_{2,5}$ serta menambah parameter pencemar udara lainnya seperti *Ultrafine Particles* (UFPs).
3. Hasil penelitian dapat dibandingkan dengan baku mutu yang diakui secara internasional apabila penelitian ini diteruskan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, N. D., & Azizah, R. (2021). Pengaruh *Lockdown* dan Pembatasan Aktivitas Selama Pandemi COVID-19 Terhadap Polusi Udara di Asia. *Jurnal Penelitian Kesehatan Suara Forikes*, 12(3); 280–286.
- Ahmad, A. (2017). Studi reduksi PM_{2,5} Udara Ambien oleh Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Industri PT Petrokimia Gresik. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Alfiandy, S., Virgianto, R. H., & Putri, A. S. (2020). Modeling of daily PM_{2,5} concentration based on the principal components regression in South and Central Jakarta. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1434, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
- Aprianto, M, C. (2017). Kajian Fisika Lingkungan dan Demografi untuk Karakteristik PM_{2,5} di Wilayah Perkotaan. *Omega: Jurnal Fisika dan Pendidikan Fisika*. 3(1); 27-30.
- Arba, S. (2019) Konsentrasi Respirable Debu Particulate Matter (PM_{2,5}) Dan Gangguan Kesehatan Pada Masyarakat Di Pemukiman Sekitar PLTU. *Promotif: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 9(2); 178-184.
- Arfiani, N. D., & Azizah, R. (2021). Pengaruh *Lockdown* dan pembatasan Aktivitas Selama Pandemi COVID-19 Terhadap Polusi Udara di Asia. *Jurnal Penelitian Kesehatan" SUARA FORIKES"(Journal of Health Research" Forikes Voice"*), 12(3); 280-286.
- Aziz, M. F., Abdurrachman, A., Chandra, I., Majid, L. I., Vaicdan, F., & Salam, R. A. (2021). Pemantauan Konsentrasi Gas (CO₂, NO₂) Dan Partikulat (PM_{2,5}) Pada Struktur Horizontal Di Kawasan Dayeuhkolot, Cekungan Udara Bandung Raya. *Jurnal Sains Dirgantara*, 18(1), 1–12.
- Badan Pusat Statistik. 2020. Kecamatan Kota Baru dalam Angka 2020. Jambi: Badan Pusat Statistik
- Badan Pusat Statistik. 2021. Jambi dalam Angka 2021. Jambi: Badan Pusat Statistik
- Chaloulakou, A., Kassomenos, P., Spyrellis, N., Demokritou, P., & Koutrakis, P. (1989). Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} particle concentrations in Athens, Greece. *Atmospheric Environment*, 37(5);

649-660.

- Cholianawati, N. (2016). Partikulat Halus ($PM_{2,5}$) Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Manusia (Fine Particulate ($PM_{2,5}$) And It's Impact On Human Health). *Berita Dirgantara*, 20(1); 15–20.
- Cholianawati, N., Satyawardhana, H., Gusnita, D., & Cahyono, W. E. (2020). Pengaruh Enso Terhadap Variasi Tahunan Partikulat Halus ($PM_{2,5}$). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 7(1); 43–48.
- Febriadi, Y. (2021). Particulate Matter 2,5 ($PM_{2,5}$) Di Udara Ambien Selama Pandemi Covid-19 di Indonesia (Vol. 5). Universitas Andalas.
- Fernando, J. alex, Huboyo, H. S., & Zaman, B. (2017). Identifikasi Kontribusi Pencemaran PM_{10} Menggunakan Metode Reseptor Chemical Mass Balance (CMB) (Studi Kasus: Kota Pekanbaru, Provinsi Riau). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6.
- Haidar, F. A. (2020). Analisis pengaruh aktivitas kendaraan bermotor dan faktor meteorologi terhadap konsentrasi $PM_{2,5}$ pada udara ambien di kawasan universitas pertamina.
- Hutauruk, R. C. H., Rahmanto, E., & Pancawati, M. C. (2020). Variasi Musiman dan Harian PM di Jakarta Periode 2016-2019. *Buletin GAW Bariri*, 1(1); 20–28.
- Iqbal, M., Yusuf, muhammad I., & Hiandro, A. (2020). Studi Potensi Energi Angin Di Kawasan Pesisir Sungai Kakap Kubu Raya. 1(1); 1–8.
- Irawan, R. B., Purwanto, & Hadiyanto. (2011). Modifikasi Catalytic Converter Menggunakan Tembaga Berlapis Mangan Untuk Mereduksi Emisi Gas Buang Motor Bensin. *Traksi*, 1(2), 48–61.
- Ismiyati, Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog)*, 01(03), 241–248.
- Jing, Z., Liu, P., Wang, T., Song, H., Lee, J., Xu, T., Xing, Y. (2020). Effects of Meteorological Factors and Anthropogenic Precursors on $PM_{2,5}$ Concentrations in Cities in China. *Sustainability*. 12; 1-13
- Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human Health Effects of Air Pollution. *Environmental Pollution*, 151(2); 362–367.

- Lestari, & Muazir, S. (2019). Pengaruh Tata Bangunan dan Jalan terhadap Aliran Udara pada Kawasan Perkotaan. *Tata Loka*, Vol. 23 No, 95–104
- Medina, S. (2012). Summary report of the APHEKOM project 2008–2011. Institut de Veille Sanitaire, Saint-Maurice Cedex.
- Muliane, U., & Lestari, P. (2014). Pemantauan Kualitas Udara Ambien Daerah Padat Lalu Lintas Dan Komersial Dki Jakarta: Analisis Konsentrasi $PM_{2,5}$ Dan Black Carbon. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 18(2), 178–188. <https://doi.org/10.5614/jtl.2012.8.2.8>
- Oettl, D. (2008). Modelling of primary PM_{10} concentrations for the city of Graz, Austria. *Hrvatski Meteoroloski Casopis*, 43 PART 1, 375–379.
- Oettl, D., & Uhrner, U. (2011). Development and evaluation of GRAL-C dispersion model, a hybrid Eulerian-Lagrangian approach capturing NO-NO₂-O₃ chemistry. *Atmospheric Environment*, 45(4), 839-847.
- Petrov, A., & Georgieva, E. (2019). An Urban Air Pollution Modelling Test: GRAL vs. CUTE case 1. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2075, No. 1, p. 120007). AIP Publishing LLC.
- Prabowo, K., & Muslim, B. (2018). Penyehatan Udara. *BPPSDM*, 66(3); 25.
- Rivaldi, R. A. (2021). Hubungan Distribusi Temporal $PM_{2,5}$ Dengan Faktor Meteorologi dan Penelurusan Trajektori $PM_{2,5}$ dengan Model HYSPLIT di Kota Bandung. Institut Teknologi Bandung (Doctoral dissertation, Intitut Teknologi Nasional Bandung).
- Romanov, A. A., Gusev, B. A., Leonenko, E. V., Tamarovskaya, A. N., Vasiliev, A. S., Zaytcev, N. E., & Philippov, I. K. (2020). Graz lagrangian model (GRAL) for pollutants tracking and estimating sources partial contributions to atmospheric pollution in highly urbanized areas. *Atmosphere*, 11(12); 1–26.
- Rosalia, O., Wispriyono, B., & Kusnoputranto, H. (2018). Karakteristik Risiko Kesehatan Non Karsinogen pada Remaja Siswa Characteristic of Health Risks on Students Due to Dust Inhalation Debu Particulate Matter <2,5 ($PM_{2,5}$). *Jurnal Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 14(1); 26–35.
- Saputra, R., Handika, R. A., & Lestari, R. A. (2019). Analisis Sebaran Polutan Particulate Matter (PM_{10}) Pada Harian Musim Kemarau di Kota Jambi. *Jurnal Engineering*, 1(1); 26-31.

- Sari, G. I. P. (2021). Analisis Hubungan Kejadian Pneumonia dengan Konsentrasi $PM_{2,5}$ Di Udara Ambien serta Karakteristik Faktor Resiko Pada Balita Dan Sumber $PM_{2,5}$ di Dalam Rumah. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Jambi: Jambi.
- Sepriani, K. D., Turyanti, A., & Kudsy, M. (2014). Sebaran Partikulat (PM_{10}) Pada Musim Kemarau Di Kabupaten Tangerang Dan Sekitarnya. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 15(2); 89.
- Septiani, D. (2021). Analisis Hubungan Karakteristik Lalu Lintas Terhadap Konsentrasi Pm_{10} Di Udara Roadside Kota Jambi (Studi Kasus: Jalan H.O.S. Tjokroaminoto, Kota Jambi). Universitas Jambi: Jambi.
- Serlina, Y. (2020). Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi NO_2 di Udara Ambien (Studi Kasus Bundaran Hotel Indonesia DKI Jakarta). *Jurnal Serambi Engineering*, 5(3); 1128-1235.
- Tai, A. P. K., Mickley, L. J., & Jacob, D. J. (2010). Correlations between fine particulate matter ($PM_{2,5}$) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of $PM_{2,5}$ to climate change. *Atmospheric Environment*, 44(32); 3976–3984.
- Wang, J., & Ogawa, S. (2015). Effects of Meteorological Condition on $PM_{2,5}$ Concentration in Nagasaki, Japan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8); 9089–9101.
- World Health Organization. (2013). Health Effects of Particulate Matter: Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia
- Xing, Y, F., Xu, Y, H., Shi, M,H., Lian Y,X. (2016). The Impact of $PM_{2,5}$ on the Human Respiratory System. *Journal of Thoracic Disease*. 8; 69-74
- Zannaria, N. D., Roosmini, D., & Santoso, M. (2009). Karakteristik Kimia Paparan Partikulat Terespirasi. *Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 9(1), 37–50.

Lampiran 1

Perhitungan Konsentrasi PM_{2,5}Hasil Perhitungan Konsentrasi PM_{2,5} (Senin, 03-05-2021)1. Berat total *filter*

$$M_{total} = M_{akhir} - M_{awal}$$

$$M_{total} = 147,883 \text{ mg} - 146,432 \text{ mg} - 0,75 \text{ mg}$$

$$M_{total} = 1,08 \text{ mg}$$

2. Laju Aliran rata-rata

$$Q_{rata - rata} = (Q_{awal} + Q_{akhir})/2$$

$$Q_{rata - rata} = (40 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} + 40 \frac{\text{liter}}{\text{menit}})/2$$

$$Q_{rata - rata} = 40 \frac{\text{liter}}{\text{menit}}$$

3. Volume Total

$$V_{total} = Q_{rata - rata} \times (60 \times t) / 1000$$

$$V_{total} = 40 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times (60 \times 72) / 1000$$

$$V_{total} = 172,8$$

4. Konsentrasi PM

$$K_{pm} = (1000 \times M_{total}) / V_{total}$$

$$K_{pm} = (1000 \times 1,08) / 172,8$$

$$K_{pm} = 4,06$$

5. Konsentrasi PM_{2,5}

$$KPM_{2,5} = KPM_{<0,1} + KPM_{<0,1-0,5} + KPM_{<0,5-1} + KPM_{<1-2,5}$$

$$KPM_{2,5} = 4,06 + 3,45 + 9,06 + 6,13$$

$$KPM_{2,5} = 22,70$$

6. Konversi Canter

$$C_{24} = C_1 \times \left(\frac{t_1}{t_{24}} \right)^p$$

$$C_{24} = 22,70 \times (72 \text{ jam} / 24 \text{ jam})^{0,186}$$

$$C_{24} = 27,8464$$

Tabel Konsentrasi PM_{2,5} Mei-Agustus 2021

Starting date (yyyy/mm/dd)	Sampler	Particle Size	After Sampling (mg)	Before Sampling	Collection amount (mg)	Flow rate (start)	Flow rate (after)	average flow	operation	Total volume (m ³)	Concentration (µg/m ³)	PM _{2,5}
03/05/2021	NS-BF	<0.1	147,883	146,432	0,70	40	40	40	72	172,8	4,06	22,70
03/05/2021	NS-IF	0.1-0.5	10,397	9,8	0,60	40	40	40	72	172,8	3,45	
03/05/2021	NS-4	0.5-1.0	153,852	151,537	1,565	40	40	40	72	172,8	9,06	
03/05/2021	NS-3	1.0-2.5	142,002	140,192	1,06	40	40	40	72	172,8	6,13	
03/05/2021	NS-2	2.5-10	143,021	141,108	1,163	40	40	40	72	172,8	6,73	
03/05/2021	NS-1	>10	144,755	143,865	0,14	40	40	40	72	172,8	0,81	
17/05/2021	NS-BF	<0.1	147,629	146,14	0,74	40	40	40	72	172,8	4,28	23,59
17/05/2021	NS-IF	0.1-0.5	10,452	9,772	0,68	40	40	40	72	172,8	3,94	
17/05/2021	NS-4	0.5-1.0	149,673	147,373	1,55	40	40	40	72	172,8	8,97	
17/05/2021	NS-3	1.0-2.5	148,966	147,108	1,108	40	40	40	72	172,8	6,41	
17/05/2021	NS-2	2.5-10	148,697	146,544	1,403	40	40	40	72	172,8	8,12	
17/05/2021	NS-1	>10	145,609	144,397	0,462	40	40	40	72	172,8	2,67	

24/05/2021	NS-BF	<0.1	153,578	152,229	0,60	40	40	40	72	172,8	3,47	28,36
24/05/2021	NS-IF	0.1-0.5	10,798	9,808	0,99	40	40	40	72	172,8	5,73	
24/05/2021	NS-4	0.5-1.0	156,338	153,613	1,975	40	40	40	72	172,8	11,43	
24/05/2021	NS-3	1.0-2.5	157,094	155,007	1,337	40	40	40	72	172,8	7,74	
24/05/2021	NS-2	2.5-10	155,068	152,891	1,427	40	40	40	72	172,8	8,26	
24/05/2021	NS-1	>10	154,46	153,564	0,146	40	40	40	72	172,8	0,84	
07/06/2021	NS-BF	<0.1	156,374	154,407	1,22	40	40	40	72	172,8	7,04	49,22
07/06/2021	NS-IF	0.1-0.5	11,131	9,797	1,33	40	40	40	72	172,8	7,72	
07/06/2021	NS-4	0.5-1.0	159,433	155,15	3,533	40	40	40	72	172,8	20,45	
07/06/2021	NS-3	1.0-2.5	158,48	155,309	2,421	40	40	40	72	172,8	14,01	
07/06/2021	NS-2	2.5-10	156,835	154,028	2,057	40	40	40	72	172,8	11,90	
07/06/2021	NS-1	>10	155,111	153,728	0,633	40	40	40	72	172,8	3,66	
14/06/2021	NS-BF	<0.1	156,296	155,016	0,53	40	40	40	72	172,8	3,07	78,36
14/06/2021	NS-IF	0.1-0.5	10,811	9,812	1,00	40	40	40	72	172,8	5,78	
14/06/2021	NS-4	0.5-1.0	143,795	141,435	1,61	40	40	40	72	172,8	9,32	
14/06/2021	NS-3	1.0-2.5	169,428	158,277	10,401	40	40	40	72	172,8	60,19	
14/06/2021	NS-2	2.5-10	159,889	158,064	1,075	40	40	40	72	172,8	6,22	
14/06/2021	NS-1	>10	154,539	153,407	0,382	40	40	40	72	172,8	2,21	
21/06/2021	NS-BF	<0.1	154,855	153,38	0,72	40	40	40	72	172,8	4,20	28,22
21/06/2021	NS-IF	0.1-0.5	10,673	9,803	0,87	40	40	40	72	172,8	5,03	
21/06/2021	NS-4	0.5-1.0	141,758	139,295	1,713	40	40	40	72	172,8	9,91	
21/06/2021	NS-3	1.0-2.5	147,12	144,802	1,568	40	40	40	72	172,8	9,07	
21/06/2021	NS-2	2.5-10	144,033	141,297	1,986	40	40	40	72	172,8	11,49	
21/06/2021	NS-1	>10	147,621	146,26	0,611	40	40	40	72	172,8	3,54	

05/07/2021	NS-BF	<0.1	156,497	154,771	0,98	40	40	40	72	172,8	5,65	44,35
05/07/2021	NS-IF	0.1-0.5	11,174	9,806	1,37	40	40	40	72	172,8	7,92	
05/07/2021	NS-4	0.5-1.0	159,259	155,366	3,143	40	40	40	72	172,8	18,19	
05/07/2021	NS-3	1.0-2.5	165,114	162,188	2,176	40	40	40	72	172,8	12,59	
05/07/2021	NS-2	2.5-10	155,94	153,24	1,95	40	40	40	72	172,8	11,28	
05/07/2021	NS-1	>10	153,65	152,405	0,495	40	40	40	72	172,8	2,86	
12/07/2021	NS-BF	<0.1	155,489	154,295	0,44	40	40	40	72	172,8	2,57	24,05
12/07/2021	NS-IF	0.1-0.5	10,784	9,802	0,98	40	40	40	72	172,8	5,68	
12/07/2021	NS-4	0.5-1.0	160,234	157,91	1,574	40	40	40	72	172,8	9,11	
12/07/2021	NS-3	1.0-2.5	158,285	156,38	1,155	40	40	40	72	172,8	6,68	
12/07/2021	NS-2	2.5-10	163,288	161,147	1,391	40	40	40	72	172,8	8,05	
12/07/2021	NS-1	>10	157,155	156,216	0,189	40	40	40	72	172,8	1,09	
26/07/2021	NS-BF	<0.1	162,4	160,78	0,87	40	40	40	72	172,8	5,03	39,09
26/07/2021	NS-IF	0.1-0.5	11,359	9,821	1,54	40	40	40	72	172,8	8,90	
26/07/2021	NS-4	0.5-1.0	164,725	161,355	2,62	40	40	40	72	172,8	15,16	
26/07/2021	NS-3	1.0-2.5	159,308	156,831	1,727	40	40	40	72	172,8	9,99	
26/07/2021	NS-2	2.5-10	165,315	162,666	1,899	40	40	40	72	172,8	10,99	
26/07/2021 1	NS-1	>10	158,514	157,166	0,598	40	40	40	72	172,8	3,46	
02/08/2021	NS-BF	<0.1	153,805	152,186	0,87	40	40	40	72	172,8	5,03	24,56
02/08/2021	NS-IF	0.1-0.5	10,413	9,811	0,60	40	40	40	72	172,8	3,48	
02/08/2021	NS-4	0.5-1.0	155,954	153,626	1,578	40	40	40	72	172,8	9,13	
02/08/2021	NS-3	1.0-2.5	154,484	152,539	1,195	40	40	40	72	172,8	6,92	
02/08/2021	NS-2	2.5-10	156,015	153,946	1,319	40	40	40	72	172,8	7,63	
02/08/2021	NS-1	>10	155,149	153,835	0,564	40	40	40	72	172,8	3,26	

16/08/2021	NS-BF	<0.1	153,69	152,406	0,53	40	40	40	72	172,8	3,09	15,88
16/08/2021	NS-IF	0.1-0.5	10,269	9,78	0,49	40	40	40	72	172,8	2,83	
16/08/2021	NS-4	0.5-1.0	153,77	152,065	0,955	40	40	40	72	172,8	5,53	
16/08/2021	Ns-3	1.0-2.5	154,733	153,217	0,766	40	40	40	72	172,8	4,43	
16/08/2021	NS-2	2.5-10	165,099	163,201	1,148	40	40	40	72	172,8	6,64	
16/08/2021	NS-1	>10	155,852	154,808	0,294	40	40	40	72	172,8	1,70	
23/08/2021	NS-BF	<0.1	155,864	154,428	0,69	40	40	40	72	172,8	3,97	24,21
23/08/2021	NS-IF	0.1-0.5	10,311	9,772	0,54	40	40	40	72	172,8	3,12	
23/08/2021	NS-4	0.5-1.0	165,304	162,756	1,798	40	40	40	72	172,8	10,41	
23/08/2021	Ns-3	1.0-2.5	154,574	152,663	1,161	40	40	40	72	172,8	6,72	
23/08/2021	NS-2	2.5-10	163,702	161,585	1,367	40	40	40	72	172,8	7,91	
23/08/2021	NS-1	>10	153,69	152,669	0,271	40	40	40	72	172,8	1,57	

Lampiran 2

Tabel Arah angin dan kecepatan angin Mei-Agustus 2021

Arah	0 - 0,5 m/s [%]	0,5 - 1 m/s [%]	1 - 2 m/s [%]	2 - 3 m/s [%]	3 - 4 m/s [%]	4 - 5 m/s [%]	5 - 6 m/s [%]	> 6 m/s [%]	Jumlah [%]
Utara (U)	11,2	0,6	0,2	0	0	0	0	0,1	12,1
Utara Timur Laut (UTL)	1,5	0,4	0,1	0	0	0	0	0	2
Timur Laut (TL)	1,2	0,3	0,1	0	0	0	0	0	1,6
Timur Timur Laut (TTL)	1,2	0,5	0,4	0,4	0,1	0	0	0	2,5
Timur (T)	2,2	1,3	1	0,6	0,2	0,1	0	0,1	5,6
Timur Menenggara (TTG)	4,4	2,3	1,9	0,7	0,4	0,1	0,1	0,1	9,9
Tenggara (TG)	6,9	2,5	2,6	1,2	0,9	0,3	0	0,1	14,4
Selatan Menenggara (STG)	4	3,3	1,7	0,5	0,5	0,2	0	0,1	10,3
Selatan (S)	6,8	3,1	2	0,7	0,3	0,2	0,1	0	13,4
Selatan Barat Daya (SBD)	2,6	0,9	0,9	0,4	0,2	0,1	0	0	5,2
Barat Daya (SD)	1,6	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0	2,6
Barat Barat Daya (SBD)	0,6	0,2	0,2	0	0	0	0	0	1,1
Barat (B)	2	0,8	0,9	0,6	0,3	0	0	0	4,7
Barat Barat Laut (BBL)	6,8	1,2	0,7	0,3	0,1	0	0	0	9,1
Barat Laut (BL)	3,1	0,6	0,2	0	0	0	0	0	3,9
Utara Barat Laut (UBL)	1,3	0,3	0	0	0	0	0	0	1,6
Jumlah	57,4	18,8	13,1	5,5	3,1	1,1	0,2	0,5	100

Lampiran 3

Data meteorologi di lokasi penelitian

1. Tabel kondisi meteorologi

Pengukuran	Rata-rata			
	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Kecepatan Angin (m/s)	Konsentrasi PM2,5 (µg/m ³)
Pengukuran ke-1 Mei	32,8	56,2	1,0	27,66
Pengukuran ke-2 Mei	32,6	56,5	1,0	28,75
Pengukuran ke-3 Mei	35,1	49,6	1,0	34,56
Pengukuran ke-1 Juni	34,6	44,8	1,1	59,98
Pengukuran ke-2 Juni	31,2	56,5	0,9	95,49
Pengukuran ke-3 Juni	31,6	50,2	1,2	34,39
Pengukuran ke-1 Juli	32,6	42,3	1,0	54,05
Pengukuran ke-2 Juli	29,5	51,0	1,6	29,31
Pengukuran ke-3 Juli	32,7	45,0	1,4	47,64
Pengukuran ke-1 Agustus	32,7	42,1	1,1	29,93
Pengukuran ke-2 Agustus	31,3	42,6	1,0	19,35
Pengukuran ke-3 Agustus	30,1	53,1	1,0	29,50

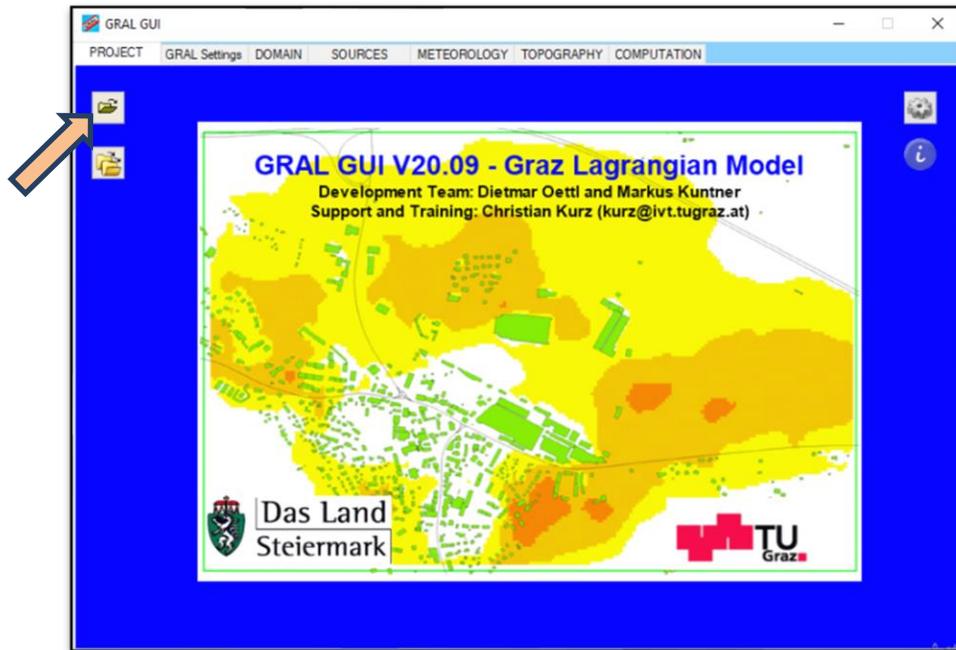
2. Terjadinya hujan selama pengukuran

- 1) Pengukuran ke 1 Mei, hujan pada hari pertama dan kedua
- 2) Pengukuran ke 2 Mei, hujan pada malam hari pertama
- 3) Pengukuran ke 2 Juni, hujan pada hari pertama kedua
- 4) Pengukuran ke 3 Juni, gerimis pada hari pertama dan kedua
- 5) Pengukuran ke 2 Juli, Hujan pada hari pertama dan gerimis pada hari kedua
- 6) Pengukuran ke 3 Agustus, hujan pada hari pertama

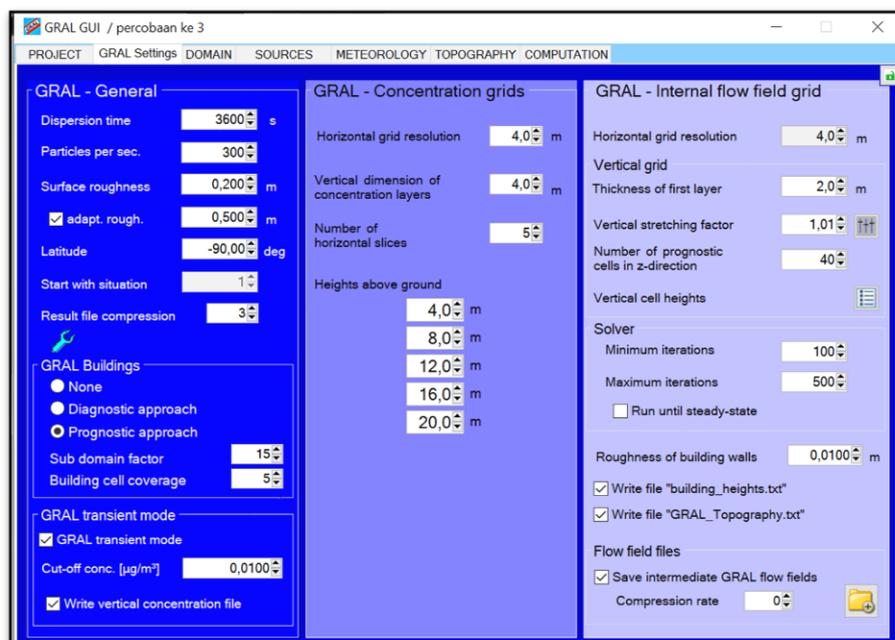
Lampiran 4

Pengaturan *Tab Software* Sebelum Dilakukan Pemodelan

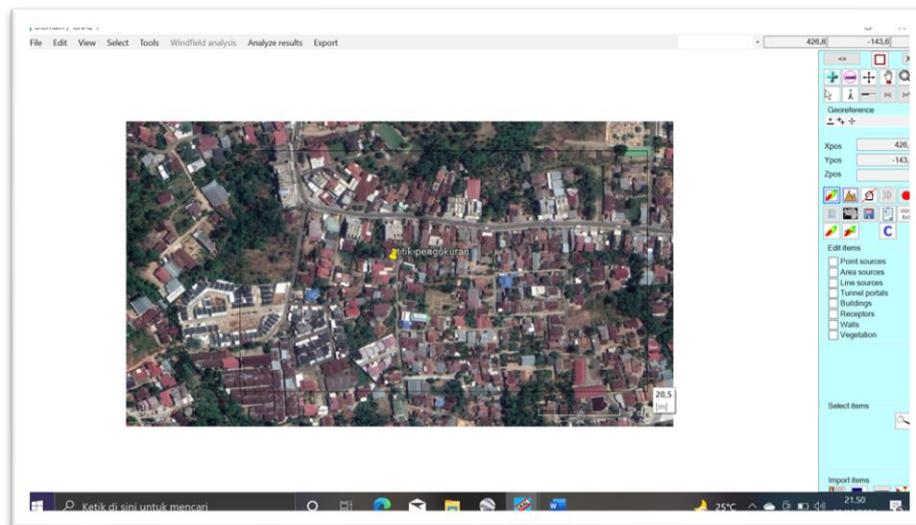
- 1) Unduh *software* pada <https://graz.tugraz.at> kemudian install, setelah itu buka *software*, hingga menunjukkan tampilan seperti gambar berikut. Setelah itu klik “membuat *project* baru” lalu kita pilih folder untuk tempat menyimpan semua data yang diperlukan pada folder tersebut.



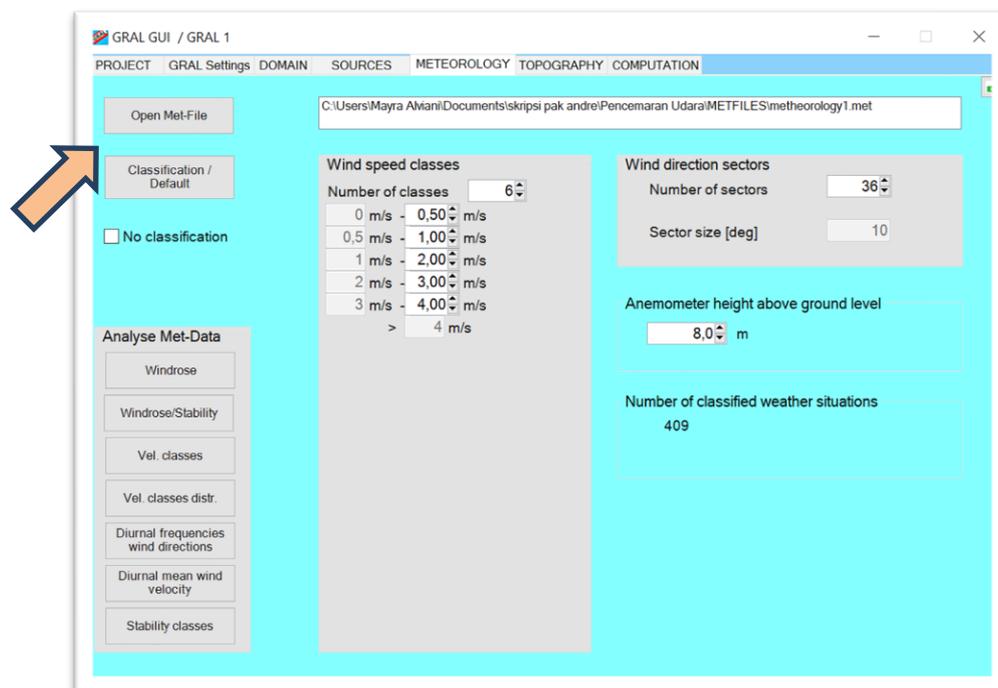
- 2) Masuk ke *tab Gral Settings*, sesuaikan dengan *manual Gral User Interface (GUI)*.



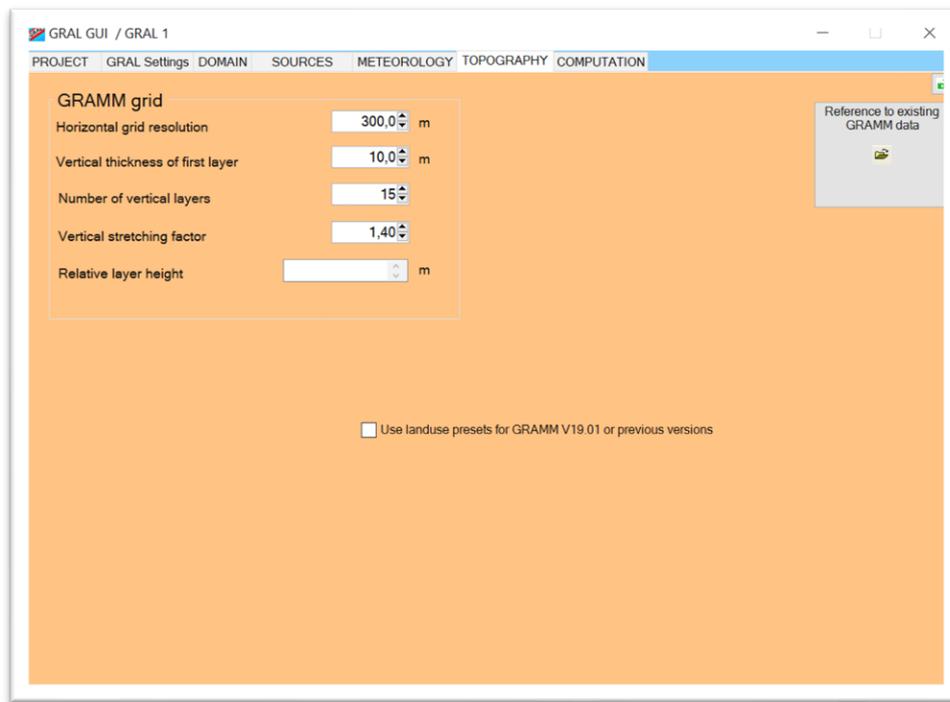
- 3) Masuk ke *tab domain*, masukkan peta wilayah yang akan dimodelkan. *Georeferencing* peta menggunakan pilihan 2 skala dan satu titik. Setelah itu tentukan wilayah domain, definisikan halangan yang dapat menghambat aliran udara (seperti bangunan, dan vegetasi) dan masukkan sumber emisi.



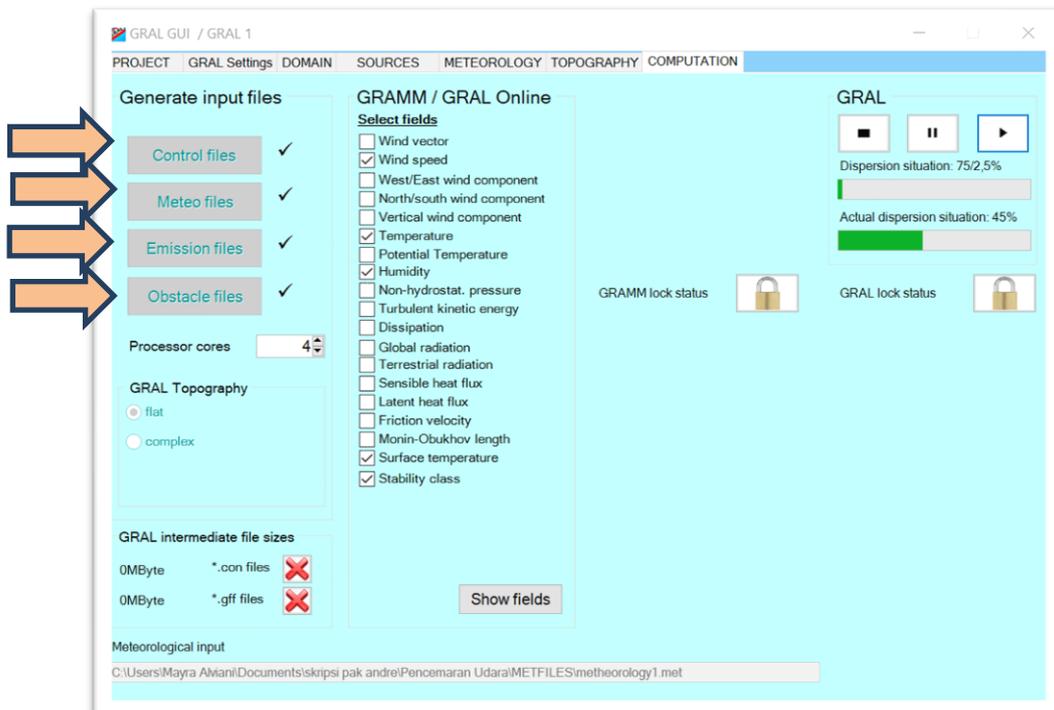
- 4) Masuk ke *tab meteorologi*, data meteorologi 24 jam yang sudah kita miliki, diolah menggunakan *microsoft excel*, lalu simpan file dalam format “.csv” lalu ubah menjadi format “.met”. Lalu buka file, pastikan tampilan data menggunakan tanda koma (,) atau titik koma (;) sebagai pemisah. Lalu analisis meteorologi data menjadi *wind rose*.



- 5) Masuk ke tab “topography”, sesuaikan data dengan *GRAL manual*.



- 6) Setelah seluruh data input dimasukkan dan terbaca pada *software*. Lakukan *running software*, dan tunggu hingga selesai.



Lampiran 5

Perhitungan Uji NMSE dan Uji FB

Diketahui:

$$C_o = 22,70$$

$$C_s = 24,5$$

- Uji NMSE

$$NMSE = \frac{(\overline{C_o} - \overline{C_s})^2}{\overline{C_o} * \overline{C_s}}$$

$$= 0,006$$

(*ideal value*: 0; *accepted value*: ≤ 4)

- Uji FB

$$FB = \frac{\overline{C_o} - \overline{C_s}}{0.5 * (\overline{C_o} + \overline{C_s})}$$

$$= 0,039$$

(*ideal value*: 0; *accepted value*: $-0.3 \leq FB \leq 0.3$)

Lampiran 6

Dokumentasi Selama Penelitian

