

ANALISIS BEBAN EMISI UDARA CO dan NO₂ AKIBAT SEKTOR TRANSPORTASI DARAT DI KOTA PROBOLINGGO

CO AND NO₂ EMISSIONS RATE ANALYSIS DUE TO LAND TRANSPORTATION SECTOR ON PROBOLINGGO CITY

Yaaresya William Kristi dan Rachmat Boedisantoso
Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Sukolilo - Surabaya 60111
Email: boedirb@yahoo.com; yaaresya@ymail.com

Abstrak

Sektor transportasi *roadside* merupakan salah satu penyumbang terbesar dalam penurunan kualitas udara ambien di suatu kota. Parameter udara ambien terbesar yang dihasilkan dari aktifitas transportasi tersebut adalah Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂). Kota Probolinggo, kota dengan kategori penduduk sedang, merupakan kota jasa di Jawa Timur yang memiliki visi sebagai Kota Jasa Berwawasan Lingkungan Yang Maju, Sejahtera dan Berkeadilan. Makna berwawasan lingkungan di sini mengindikasikan perlu adanya aspek kualitas lingkungan, salah satu hal nya yaitu kualitas udara ambien dalam pembangunan kota. Pembangunan kota yang baik dapat memberi kenyamanan bagi masyarakat yang tinggal di dalamnya. Salah satu acuan dalam pembangunan kota adalah dengan mempertimbangkan kajian tata ruang kota tersebut. Kajian tata ruang memerlukan informasi mengenai aspek lingkungan, salah satunya aspek sumber daya udara. Beban emisi dapat diketahui dari data faktor emisi dan jumlah kendaraan yang melintas. Faktor emisi menggunakan data sekunder dari USEPA dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Sedangkan jumlah kendaraan didapat setelah melakukan *traffic counting* di ruas jalan yang dipilih. Terdapat 10 ruas jalan yang dipilih yang meliputi jalan nasional dan jalan lokal. Beban emisi terbesar terdapat di ruas jalan simpang lima Gladak Serang yaitu sebesar 29,36 kg/km.jam NO₂ dan 97,27 kg/km.jam CO. Sedangkan beban emisi terkecil terdapat di ruas jalan timur TWSL yaitu sebesar 3,96 kg/km.jam dan 12,93 kg/km.jam.

Kata kunci: Udara, emisi, beban emisi, transportasi, Probolinggo

Abstract

Roadside transport sector is one of the largest contributors to the decline of ambient air quality in a city. The ambient air parameters resulting from the transport activity is Carbon Monoxide (CO) and Nitrogen Dioxide (NO₂). Probolinggo city, a city with a population categories being, a service city in East Java which has a vision as city Environmental Services The Forward, Prosperous and Justice. Meaning environmentally sound here indicate the need for aspects of environmental quality, its one thing that the ambient air quality in urban development. Good urban development can provide comfort for the people who live in it. One benchmark in urban development is to consider the study of the city's layout. Assessment requires information on the spatial aspects of the environment, one aspect of air resources. Issuance costs can be known from the data emission factors and the number of passing vehicles. Emission factors using secondary data from the USEPA and the Ministry of Environment and Forestry. While the number of vehicles acquired after counting traffic on selected roads. There are 10 roads covering selected national roads and local roads. The issuance costs are at the intersection of five roads Gladak Serang is equal to 29.36 kg / km.hours NO₂ and 97.27 kg / km.hours CO. While the smallest burden on the roads east TWSL that is equal to 3.96 kg / km.hours and 12.93 kg / km.hours.

Keywords: air, emissions, emission rate, transportation, Probolinggo,

1. PENDAHULUAN

Menurut Marsh (1983) dalam Catanese *et al* (1988), perencanaan lingkungan merupakan spesialisasi atau titik pusat perencanaan kota yang menempatkan prioritas utama pada berbagai masalah lingkungan, mencakup masalah penggunaan lahan, serta kebijakan dan rancangan penggunaannya. Istilah lingkungan di sini dapat mengacu terutama pada segala sesuatu yang berhubungan dengan kualitas dan kuantitas air, udara dan iklim, tanah dan lapangan, serta flora dan fauna karena kaitannya dengan kondisi manusia dan lingkungan buatan.

Model kota sebagai media ekologis dapat membantu kita untuk memahami secara lebih jelas tentang peran dan lingkup tugas perencanaan lingkungan dalam proses perencanaan kota. Peramalan merupakan salah satu fungsi utama perencanaan kota karena dapat menjadi pedoman bagi para pembuat keputusan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di masa mendatang serta mencegah kesulitan yang akan mengancam daya tahan hidup masyarakat kota. Kegiatan yang dilaksanakan masyarakat terhadap lingkungan di perkotaan, baik yang direncanakan maupun tidak direncanakan akan merubah lingkungan tersebut. Bukan hanya karakteristik lingkungan itu saja yang terpengaruh secara langsung, melainkan kesehatan dan kesejahteraan masyarakat pun terpengaruh. Sehingga perlu memahami akan kegiatan yang dilakukan agar tidak terjadi hal-hal yang merugikan lingkungan maupun manusia itu sendiri melalui dampak tidak langsung. Kualitas udara misalnya, merupakan persoalan yang lebih serius di hampir seluruh daerah perkotaan daripada daerah lain yang bukan perkotaan.

Kehidupan sehari-hari, bekerja dan aktifitas belajar mengajar di sekolah, erat kaitannya dengan penggunaan sarana transportasi jalan raya. Hal tersebut berkaitan dengan sejumlah efek yang merugikan kesehatan, termasuk asma, gangguan kardiovaskular, dan gejala gangguan pernapasan (HEI, 2007). Polusi udara bukan hanya masalah estetika, tetapi juga masalah kesehatan. Penyakit yang dapat menyerang

yaitu serangan jantung, gangguan pernapasan, peradangan tenggorokan, alergi, iritasi mata dan kanker paru-paru. Efek kesehatan yang ditimbulkan mengenai polusi udara di kota, mengindikasikan bahwa polusi udara harus dikurangi (Mabahwi *et al.*, 2015).

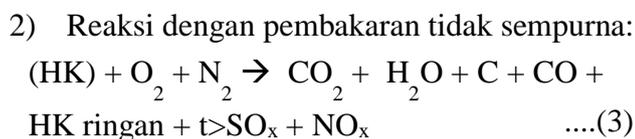
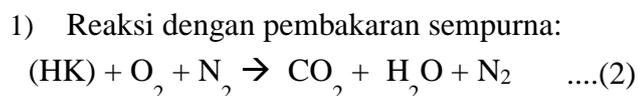
Sektor transportasi sudah mulai dikenal luas sebagai sumber yang signifikan dalam peningkatan polusi udara di dunia luas. Beberapa jurnal telah menjelaskan tentang moda transportasi individual sebagai salah satu dampak lingkungan dari sektor transportasi. (Colvile *et al.*, 2000). Paparan di pinggir jalan akibat emisi kendaraan telah mendapat perhatian untuk menunjukkan hubungan antara emisi dari tingkat lalu lintas yang merugikan bagi kesehatan (Batterman *et al.*, 2010). Emisi dari polusi kendaraan bermotor dipengaruhi oleh tipe dari kendaraan tersebut (ringan atau beratnya kendaraan, umur, kondisi operasional dan perawatannya), pengolahan gas buang dan pelumas mesin yang digunakan. (HEI, 2010a).

Dampak kesehatan yang merugikan dari karbon monoksida berkaitan dengan *carboxy haemoglobin* (COHb) dalam darah. terdapat beberapa studi kajian yang menjelaskan adanya hubungan antara kualitas udara ambien CO dan dampak yang merugikan bagi kelahiran bayi seperti bobot bayi yang rendah dan perlambatan pertumbuhan bayi dalam kandungan. (NEPC, 2010). Berdasarkan analisis NEPC (2010), berbagai jenis efek kesehatan telah diidentifikasi akibat dari terpaparnya NO₂. Penurunan fungsi paru-paru dan peningkatan timbulnya penyakit pernapasan telah tercatat di populasi umum, khususnya pada anak-anak. Studi pendekatan pada aspek transportasi/jalan biasanya menggunakan beberapa aspek yang berpengaruh pada paparan untuk mengevaluasi penyebab yang berpotensi pada efek kesehatan (Lipfert dan Wyzga, 2008). Aspek tersebut mencakup jarak, jumlah lalu lintas, atau total panjang jalan dalam radius sekitar lokasi yang terkena dampak (HEI, 2010b). Strategi dalam penataan ruang juga memerlukan pertimbangan dasar multi-dimensi. Salah satu dimensi tersebut

yaitu dimensi lingkungan hidup, khususnya jika menyangkut dengan proses pembangunan berkelanjutan (sosial, ekonomi, dan lingkungan). Lingkungan udara telah banyak dijadikan pertimbangan dalam penataan ruang di banyak Negara, mengingat ketentuan dan undang-undang yang berlaku dalam menciptakan lingkungan hidup yang sehat dan nyaman bagi penduduk (Soedomo, 2001). Sumber pencemar udara yang disebabkan oleh kegiatan manusia (antropogenik) berasal dari pembakaran bahan bakar fosil yang pada umumnya termasuk dalam keluarga karbon atau hidrokarbon. Oksidasi yang sempurna dari bahan bakar senyawa hidrokarbon sederhana membentuk karbon dioksida (CO_2) dari keseluruhan karbon dan air (H_2O) dari hidrogen (Flagan *et al.*, 1988). Rumus molekul bahan bakar yang digunakan umumnya adalah senyawa oktana (C_8H_{18}). Pembakaran oktana dalam udara dapat dibuat persamaan stoikiometri sebagai berikut:



Reaksi yang terjadi adalah reaksi stoikiometri di mana semua atom oksigen bereaksi sempurna dengan bahan bakar namun pada kenyataannya sangat sulit terjadi, karena adanya suhu tinggi reaksi pembakaran yang terjadi selalu disertai pembentukan gas-gas lain (Perkins dan Henry, 1974 dalam Dewi dan Budiyaniti, 2010). Pembentukan CO juga dipengaruhi oleh keberadaan Oksigen (O_2), dalam persamaan berikut:



Sebagian besar nitrogen oksida dihasilkan dari sistem pembakaran dalam bentuk NO, akan tetapi biasanya terdapat juga nitrogen dioksida (NO_2). Tingkat NO_2 dalam zona pembakaran biasanya rendah, tetapi saat dikeluarkan kadar NO_2 nya dapat naik secara signifikan seketika itu juga. Pada kondisi temperatur pembakaran

tinggi, sebelum membentuk NO_2 , Nitrogen Monoksida (NO) dapat dihasilkan melalui reaksi antara gas nitrogen (N_2) di atmosfer dengan senyawa nitrogen yang dikandung dalam bahan bakar



Nitrogen Dioksida dibentuk oleh oksidasi NO. Reaksi kimia untuk proses umunya yaitu:

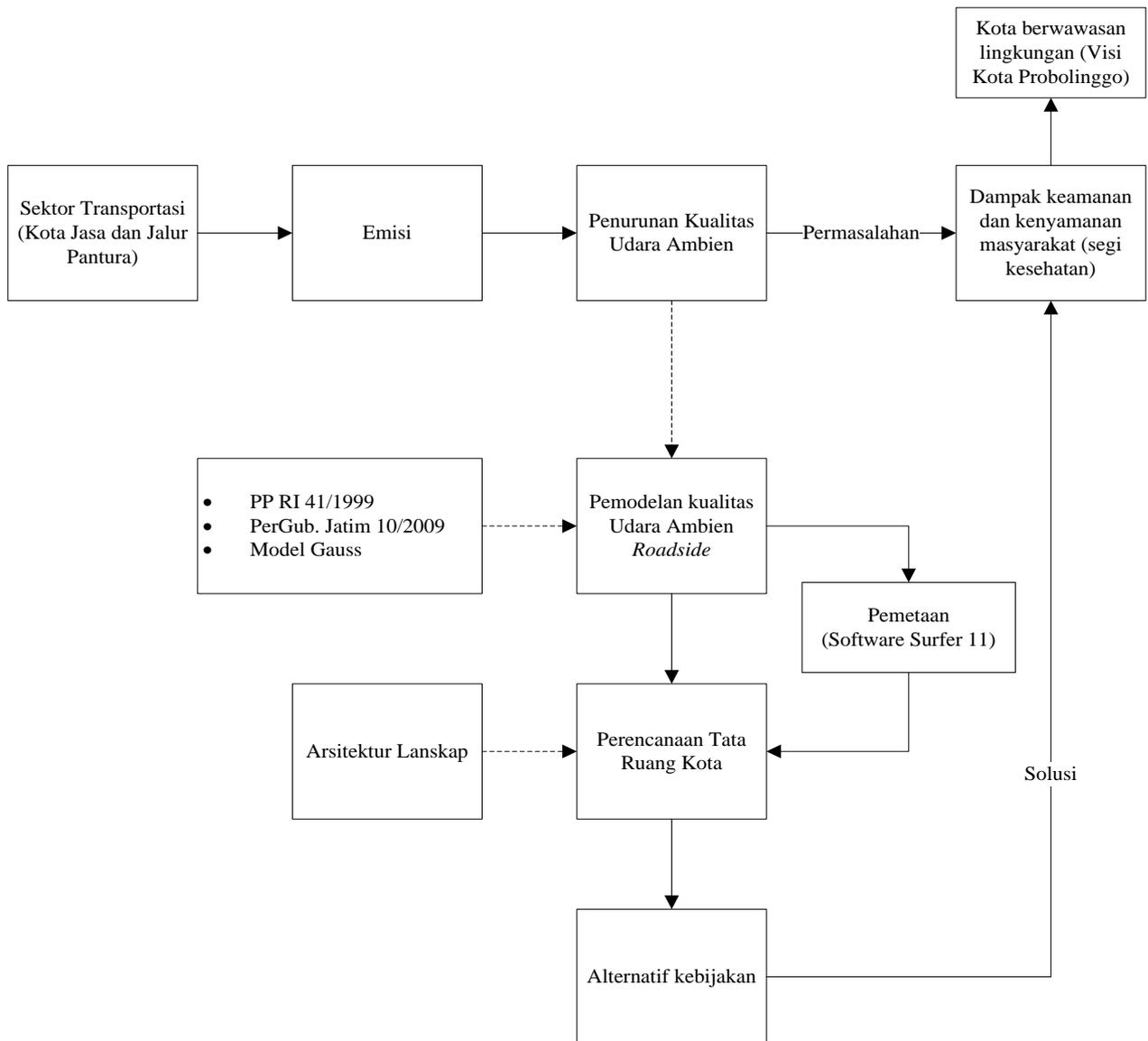


Isu lingkungan dan dampak sosial akan diperburuk dengan meningkatnya jumlah penduduk, berkurangnya sumber daya alam dan perubahan iklim. Pemodelan saat ini dapat mencakup cuaca, iklim dan aplikasi kualitas udara dapat diterapkan untuk menunjukkan dampak dari isu ini (Ching, 2013).

Analisis beban emisi merupakan salah satu langkah dalam pemodelan untuk menentukan konsentrasi udara ambien. Salah satu jenis Pemodelan yang menggunakan beban emisi sebagai salah satu datanya yaitu Model FLLS (*Finite Length Line Source*). Model banyak digunakan dalam keilmuan untuk membuat prediksi dan/atau untuk menyelesaikan permasalahan dan sering digunakan untuk mengidentifikasi solusi terbaik untuk pengelolaan dari masalah lingkungan (El-Harbawi, 2008).

2. METODA

Udara merupakan aspek penting dalam kesehatan masyarakat suatu kota. Salah satu penyumbang pencemaran udara adalah sektor transportasi. Salah satu jalur daerah yang dilewati oleh jalur transportasi Nasional yaitu Kota Probolinggo, dalam hal ini merupakan salah satu jalur Pantura (Pantai Utara). Pemilihan lokasi di Kota Probolinggo beriringan dengan adanya visi dari Kota ini. Kota Probolinggo merupakan kota sedang yang mempunyai visi “Kota Jasa Berwawasan Lingkungan Yang Maju, Sejahtera dan Berkeadilan”.



Gambar 1. Dasar Pemikiran Penelitian

Analisis Beban Emisi

Beban emisi dihitung dengan rumus:

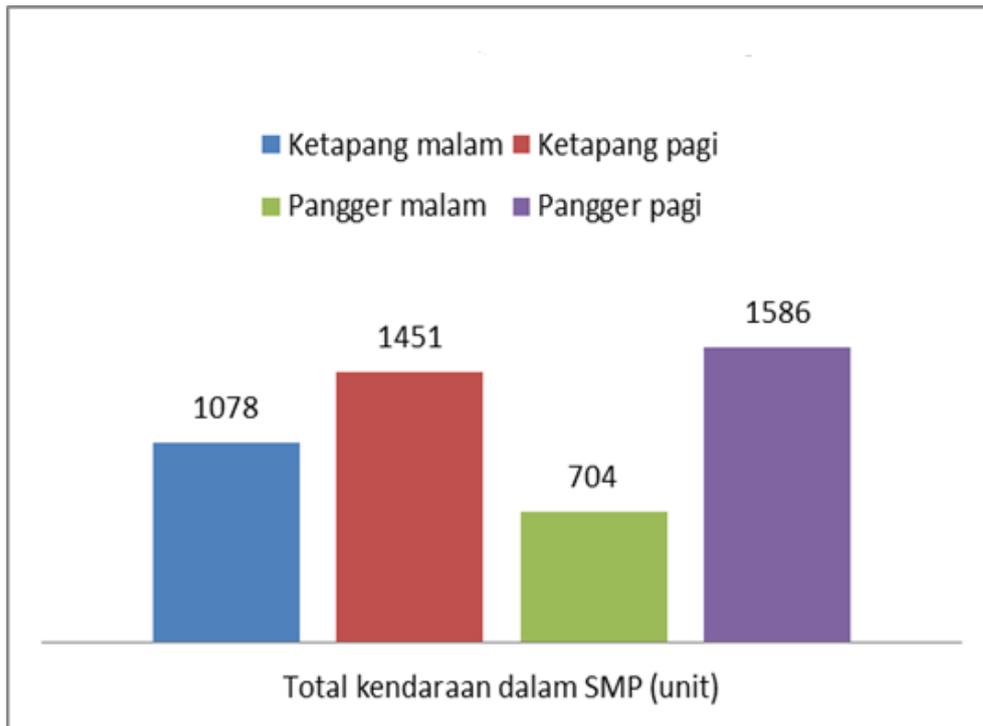
$$Q \text{ (kg/km.jam)} = \text{Jumlah kendaraan (unit)} \times \text{FE (g/km.unit)} \dots(9)$$

FE merupakan Faktor Emisi berdasarkan tiap jenis kendaraannya. Ekuivalen SMP (Satuan Mobil Penumpang) tidak digunakan karena faktor emisi yang digunakan sudah berdasarkan klasifikasi kendaraan.

Traffic Counting Sampling

Sistem sampling *traffic counting (TC)* dilakukan

secara *grab sampling* dilakukan di 10 lokasi yang berbeda. *Traffic counting* dilakukan dengan perekaman menggunakan kamera dan handycam yang akan dihitung manual selanjutnya. Sampling tersebut dilakukan selama 1 (satu) jam di pagi hari dengan variasi rentang waktu pukul 06.00-08.00 WIB. Pemilihan rentang waktu di pagi hari didasarkan pada penelitian pendahuluan dan data sekunder. Penelitian pendahuluan dilakukan dengan membandingkan kepadatan arus kendaraan pagi, siang, sore dan malam hari. Berikut adalah hasil penelitian pendahuluan dengan membandingkan waktu pagi dan malam hari:



Gambar 2. Perbandingan TC pagi dan malam

Faktor Emisi

Faktor emisi didapat dari data sekunder. Data sekunder yang digunakan berasal dari USEPA dan Kementerian Lingkungan Hidup dapat dilihat pada Tabel 1 tentang faktor emisi NO₂ dan Tabel 2 tentang factor emisi CO

Tabel 1. Faktor Emisi NO₂

Jenis Kendaraan	CO ₂ Faktor (kg/unit)	CH ₄ Faktor (kg/unit)	NO ₂ Faktor (kg/unit)	Unit
Mobil penumpang	0,368	0,018	0,013	kendaraan mil
Sepeda motor	0,197	0,07	0,007	n-mil
Truk kecil	0,501	0,024	0,019	kendaraan mil
Truk besar	1,456	0,018	0,011	kendaraan mil
Bus	0,058	0,0007	0,0004	kendaraan mil

Sumber : USEPA, 2014 dalam Handriyono (2014)

Tabel 2. Faktor Emisi CO

Kategori	CO (g/km)	CO ₂ (g/kg BBM)	SO ₂ (g/km)
Sepeda motor	14	3180	0,008
Mobil penumpang (bensin)	40	3180	0,026
Mobil penumpang (solar)	2,8	3172	0,44
Mobil penumpang Bis	32,4	3178	0,11
Truk	11	3172	0,93
Angkutan kota	8,4	3172	0,82
Pick-up	43,1	3180	0,029
	31,8	3178	0,13

Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup, 2010

Pemilihan Lokasi Sampling

Lokasi Sampling Traffic Counting dilakukan di 10 lokasi dengan mempertimbangkan jenis jalan. Berikut adalah daftar lokasi sampling yang dipilih :

- 1) Pertigaan Depan Terminal Bis Bayuangga (Jalan Nasional)

- 2) Pertigaan Ketapang (Jalan Nasional)
- 3) Perempatan Pilang (Jalan Nasional-Jalan Kota)
- 4) Pertigaan Pelabuhan Niaga Mayangan (Jalan Nasional-Jalan Kota)
- 5) Pertigaan KFC (Jalan Nasional – Jalan Kota)
- 6) Simpang Lima Gladak Serang (Jalan Kota)
- 7) Perempatan Pasar Wonoasih (Jalan Nasional-Jalan Kota)
- 8) Pertigaan SMPN 4 (Jalan Kota)
- 9) Perempatan Randu Pangger (Jalan Nasional-Jalan Kota)
- 10) Timur TWSL (Jalan Kota)

Proyeksi Beban Emisi

Proyeksi dilakukan sebelumnya terkait jumlah pertumbuhan kendaraan di Kota Probolinggo berdasarkan objek pajak. Metode yang digunakan adalah *Least Square* setelah dibandingkan antara metode Arimatik dan Geometrik. Metode *Least Square* dipilih karena berdasarkan perhitungan memiliki nilai r (nilai koefisien korelasi) yang mendekati 1.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum y)(\sum x)}{\sqrt{\{n(\sum y^2) - (\sum y)^2\}\{n(\sum x^2) - (\sum x)^2\}}} \dots(10)$$

Tabel 3. Perbandingan nilai r

Metode	r
Aritmatik	0,90
Geometrik	0,85
Least Square	0,90

$$Y = a + b(x)$$

$$a = \{(\sum p)(\sum t^2) - (\sum t)(\sum p.t)\} / \{n(\sum t^2) - (\sum t)^2\}$$

$$b = \{n(\sum p.t) - (\sum t)(\sum p)\} / \{n(\sum t^2) - (\sum t)^2\}$$

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai hasil dari *traffic counting* yang akan digunakan untuk menghitung beban emisi. Perbedaan jenis jalan tentunya akan mempengaruhi jumlah kendaraan yang melintas. Jumlah kendaraan yang mendominasi pada jam puncak pagi hari yaitu motor, dengan jumlah 6.151 unit/jam yang

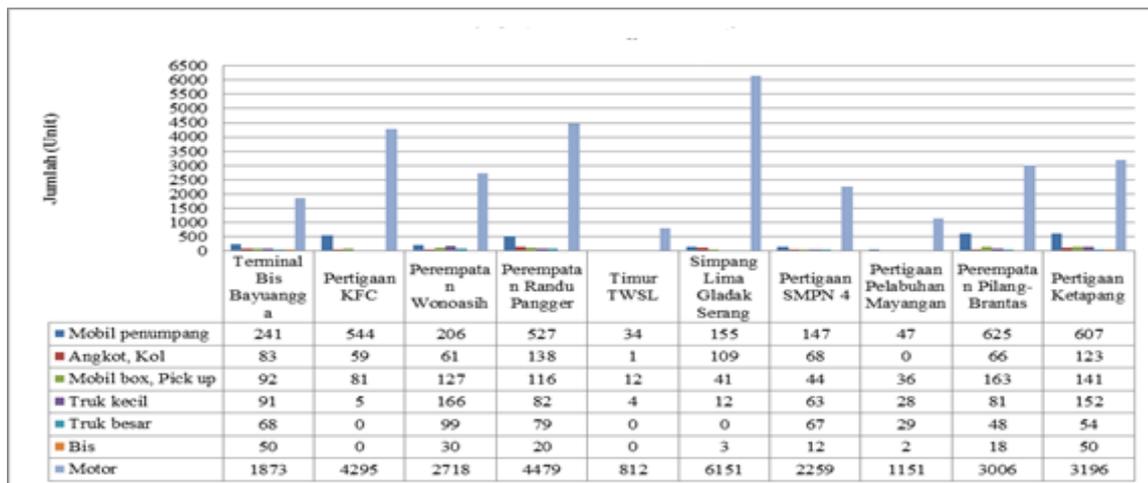
berlokasi di Simpang Lima Gladak Serang. Karakter arus lalu lintas di Simpang Lima Gladak Serang didominasi oleh kendaraan kecil yang nantinya dapat menyumbang beban emisi. Motor paling banyak melintas di Simpang Lima Gladak Serang. Karakter jalan Simpang Lima Gladak Serang merupakan jalan lokal yang keberadaannya cukup vital menghubungkan kawasan pemukiman, sekolah, dan perkantoran. Kendaraan kecil berjenis mobil penumpang dijumpai paling banyak di Perempatan Pilang-Brantas dengan jumlah 625 unit/jam. Hal ini dapat dipengaruhi oleh adanya daerah perindustrian di Jalan Brantas sekaligus daerah pemukiman. Selain itu juga Perempatan Pilang-Brantas juga menjadi akses masuk kota dari Probolinggo ke Probolinggo Timur setelah Ketapang. Jenis angkot (angkutan kota)/kol paling banyak dijumpai di Perempatan Randu Pangger dengan jumlah 138 unit/jam. Mobil box dan pick up banyak dijumpai di Perempatan Pilang-Brantas dengan jumlah 163 unit/jam. Kendaraan berjenis truk baik truk kecil maupun truk besar, paling banyak dijumpai di Perempatan Wonoasih. Perempatan Wonoasih merupakan akses jalan penghubung antar kota di sisi selatan Kota Probolinggo yang menghubungkan jalan menuju Lumajang dan Jember ke selatan dan menuju Tongas ke barat. Selain itu juga sebagai akses jalan penghubung lokal menuju Probolinggo bagian selatan. Daerah tersebut terdapat Pasar tradisional dan Pasar Sapi. Sedangkan jumlah bis terbanyak berada di Terminal Bis, sesuai dengan peruntukkan lahan lokasi sampling dengan jumlah 50 unit/jam. Jumlah yang sama dengan titik lokasi di Pertigaan Ketapang yang menjadi jalan akses masuk kota dan menuju terminal bis.

Perhitungan Beban Emisi

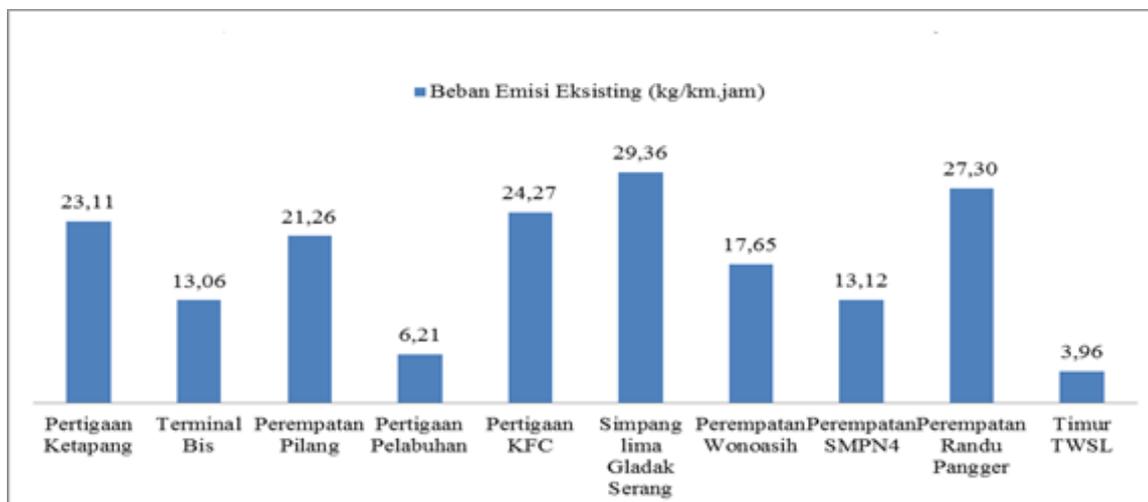
Setelah mendapat data mengenai jumlah kendaraan yang melintas, beban emisi kemudian dihitung dengan rumus yang terdapat pada Persamaan 9. Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5, lokasi yang memiliki Beban Emisi tertinggi yaitu Simpang Lima Gladak Serang, sesuai dengan banyaknya jumlah kendaraan yang melintas.



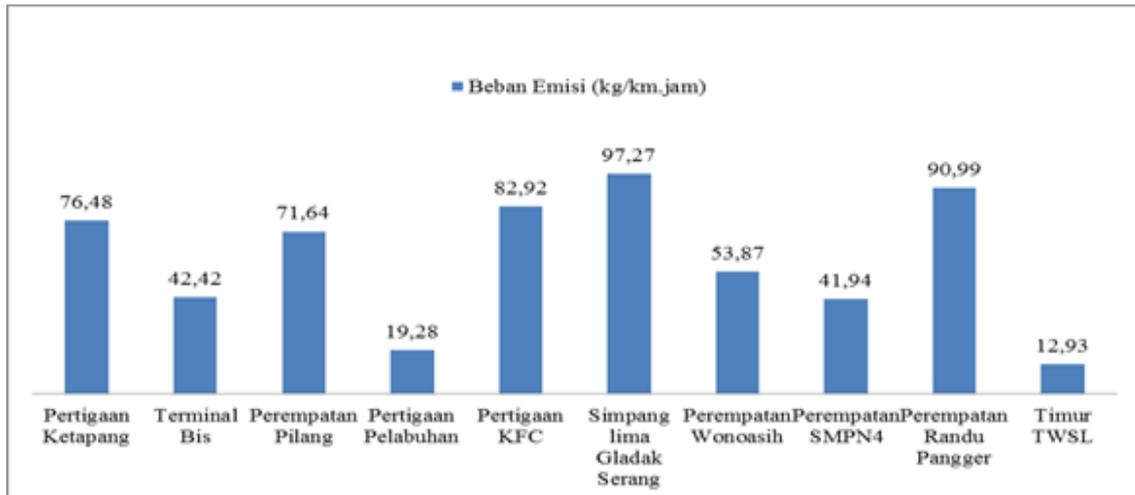
Gambar 2. Lokasi Sampling



Gambar 4. Grafik Rekapitulasi Hasil Traffic Counting



Gambar 5. Beban Emisi NO₂ Eksisting



Gambar 6. Beban Emisi CO Eksisting

Faktor yang membuat tingginya beban emisi di lokasi ini yaitu tingginya jumlah kendaraan motor yang mencapai 6.151 unit/jam. Angka ini tertinggi dibandingkan jumlah motor yang melintas di lokasi lainnya. Kendaraan berjenis angkot (angkutan kota) juga berpengaruh terhadap tingginya beban emisi. Hal ini dikarenakan Faktor Emisi (FE) dari angkot juga relatif tinggi yaitu 43,1 g/km (Kementerian Lingkungan Hidup, 2010). Jumlah angkot yang melintas di Simpang Lima Gladak Serang sebanyak 109. Angka ini terbanyak ketiga di kategori kendaraan jenis angkot setelah lokasi Randu Pangger dan Ketapang. Berdasarkan perhitungan ini pula dapat diketahui bahwa Beban Emisi yang dihasilkan dari sektor transportasi lebih besar berasal dari parameter CO dibanding NO₂.

Lokasi kedua dengan beban emisi tertinggi yaitu Perempatan Randu Pangger. Daerah ini merupakan Perempatan pertama setelah batas Kota Probolinggo sisi timur. Jenis Kendaraan yang berperan penting dalam menyumbang beban emisi di lokasi ini yaitu kategori mobil penumpang dan mobil box. Mobil penumpang yang melintas di Perempatan Randu Pangger lebih tinggi dibanding di Simpang Lima Gladak Serang. Begitu juga dengan kendaraan mobil box yang berjumlah 116 unit/jam nya. Adanya kendaraan yang melintas berjenis truk juga ikut menyumbang tingginya beban emisi. Jika dibandingkan dengan Simpang lima Gladak Serang, kendaraan motor lebih sedikit sedikit

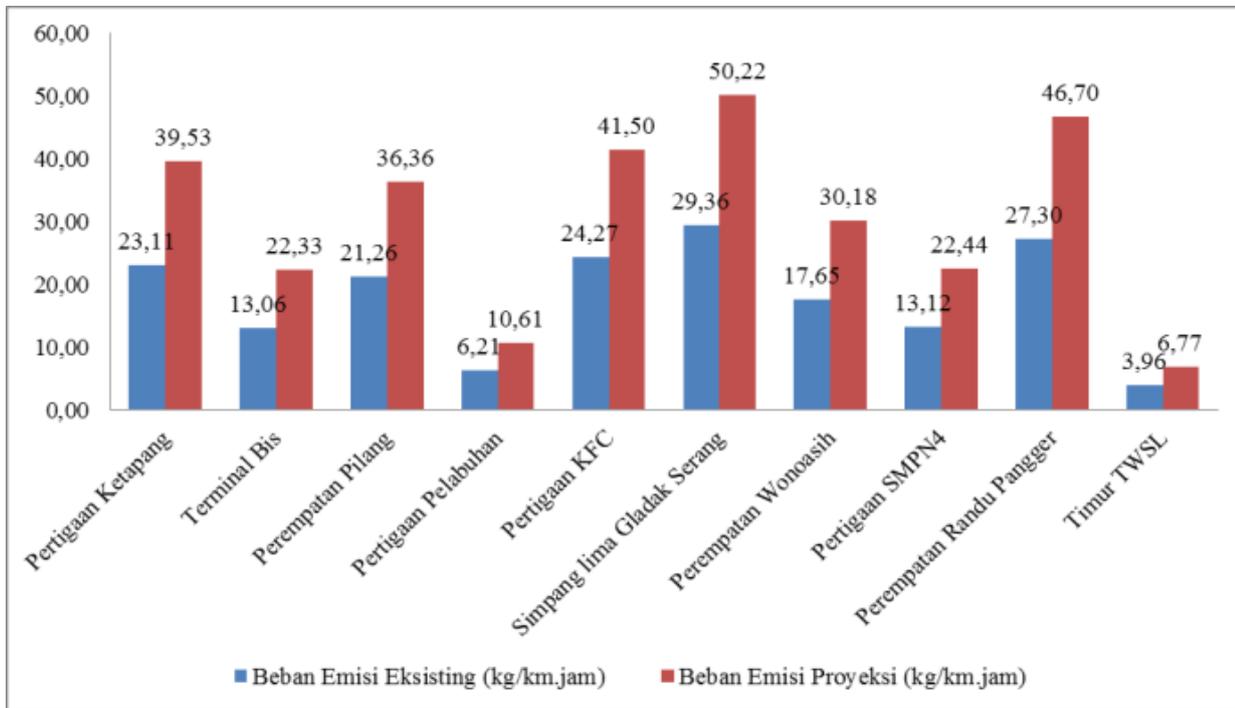
banyak di Simpang lima Gladak Serang. Kawasan Jalan Panglima Sudirman sebagai jantung Kota Probolinggo juga teridentifikasi sebagai kawasan yang mempunyai beban emisi tinggi, ketiga tertinggi berdasarkan lokasi penelitian lainnya. Faktor yang membuat daerah ini memiliki beban emisi yang tinggi yaitu mobil penumpang dan motor. Perbatasan Kota Probolinggo sebelah barat (Ketapang), berada di urutan keempat dengan beban emisi tertinggi. Mobil penumpang yang masih mendominasi di area tersebut, disusul dengan kendaraan jenis truk kecil yang mencapai 152 unit/jam. Kawasan dengan lokasi beban emisi terendah yaitu berada di Timur TWSL. Hal ini tentunya disebabkan karena masih jarang kendaraan yang melintas di lokasi tersebut. Jenis kendaraan yang paling banyak yaitu motor.

Proyeksi Beban Emisi

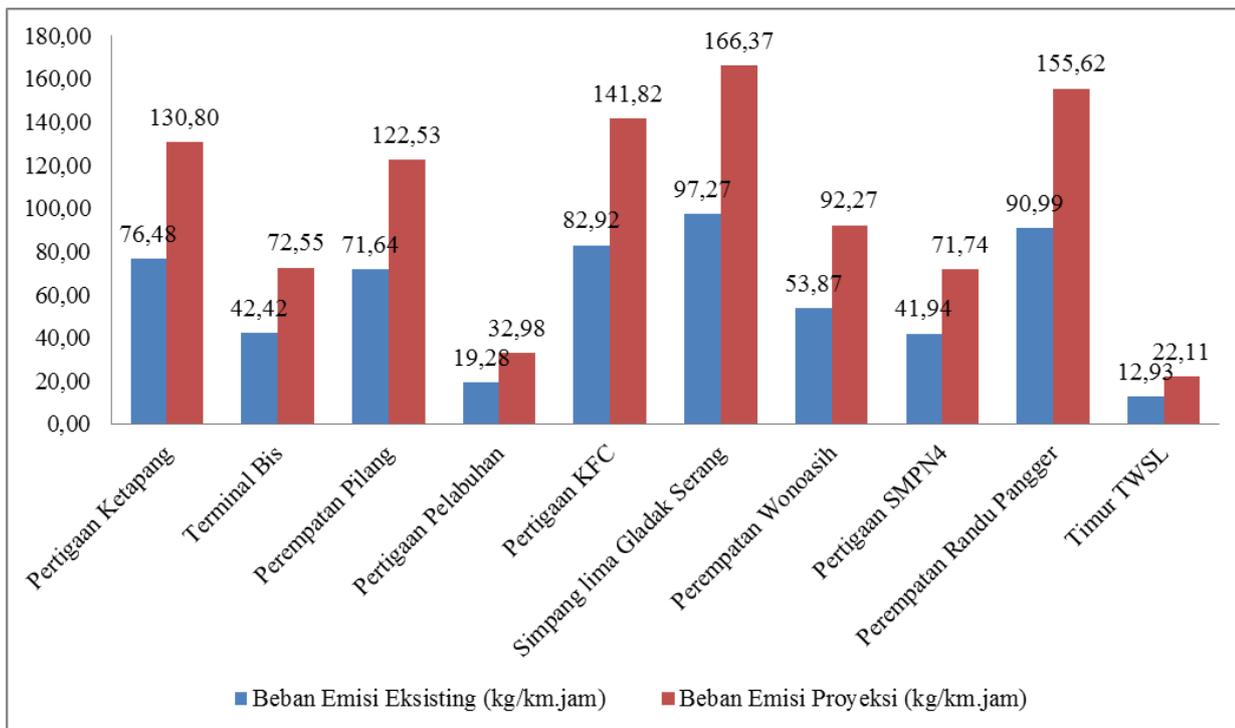
Beban Emisi diproyeksikan dari hasil *traffic counting* yang juga diproyeksikan. Pada kali ini, tahun proyeksi yang dilakukan selama 10 tahun yaitu pada tahun 2025. Berikut tersaji mengenai hasil proyeksi beban emisi jika dibandingkan dengan beban emisi eksisting. Tujuan dari Proyeksi Beban Emisi adalah untuk mengetahui gambaran dari Beban Emisi yang timbul di kemudian hari (dalam hal ini menggunakan perencanaan 10 tahun) akibat pertumbuhan kendaraan. Peningkatan kebutuhan konsumsi transportasi mungkin dapat berdampak pada keamanan dari usaha menjaga energi masa

depan dan berhadapan dengan dampak lingkungan akibat emisi transportasi (Ratanavaraha and Jomnonkwao, 2015) Terdapat peningkatan beban emisi yang cukup signifikan setelah dilakukan proyeksi.

Faktor Emisi masih sama menggunakan data dari USEPA dan Kementerian Lingkungan Hidup. Pada hasil proyeksi, kenaikan beban emisi pada tahun ke 10, yaitu tahun 2025, terdapat kenaikan beban emisi hingga 71%.



Gambar 7. Perbandingan antara Beban Emisi NO₂ Eksisting dan Proyeksi

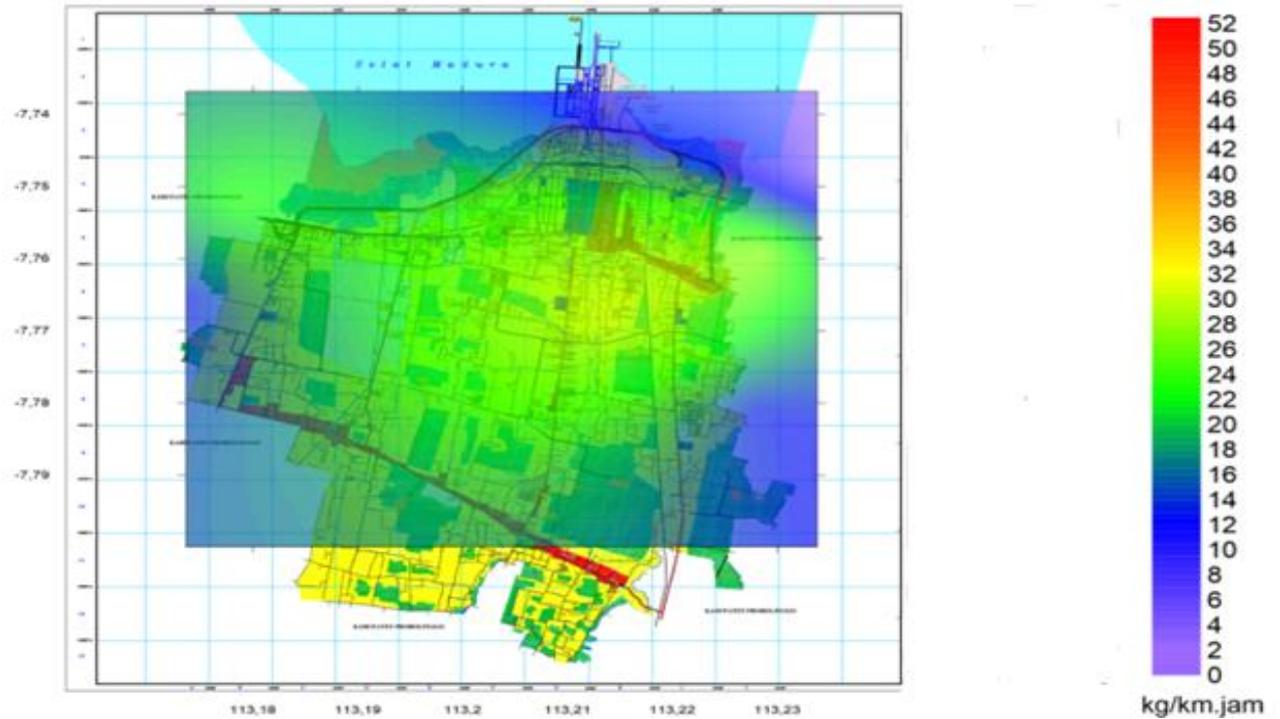


Gambar 8. Perbandingan antara Beban Emisi CO Eksisting dan Proyeksi

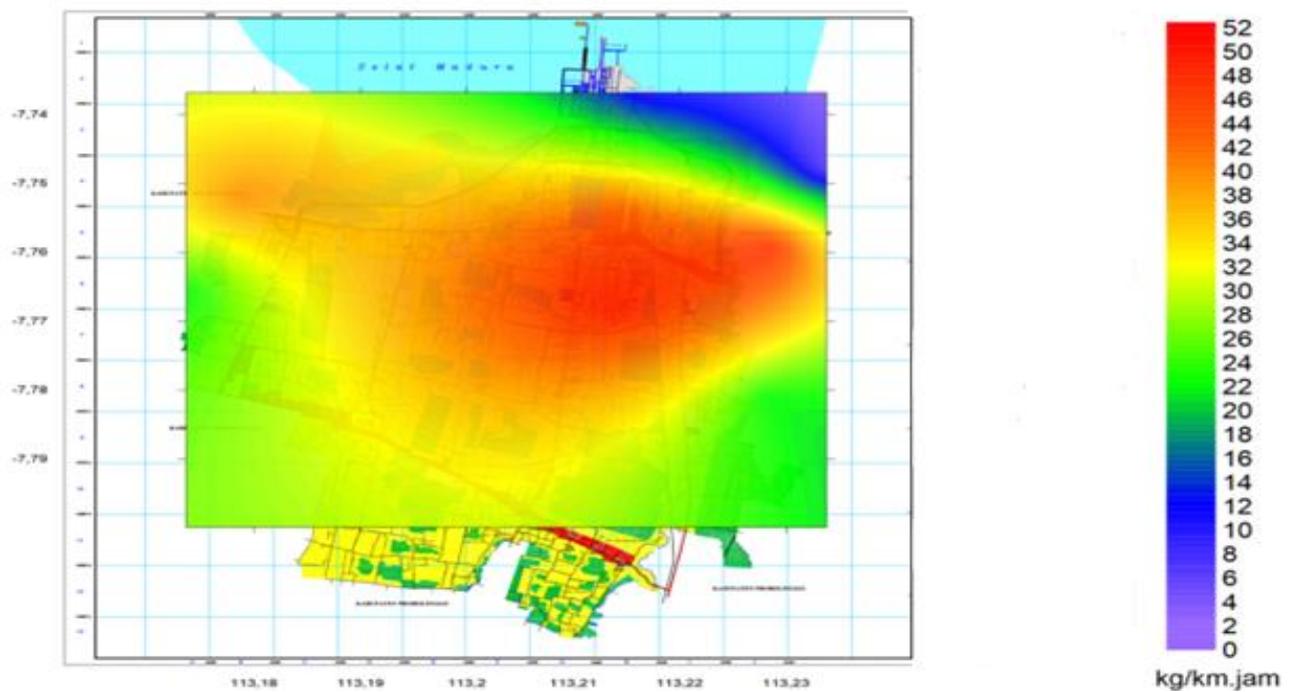
Pemetaan Beban Emisi

Berdasarkan data *traffic counting* dan selanjutnya diikuti dengan perhitungan beban

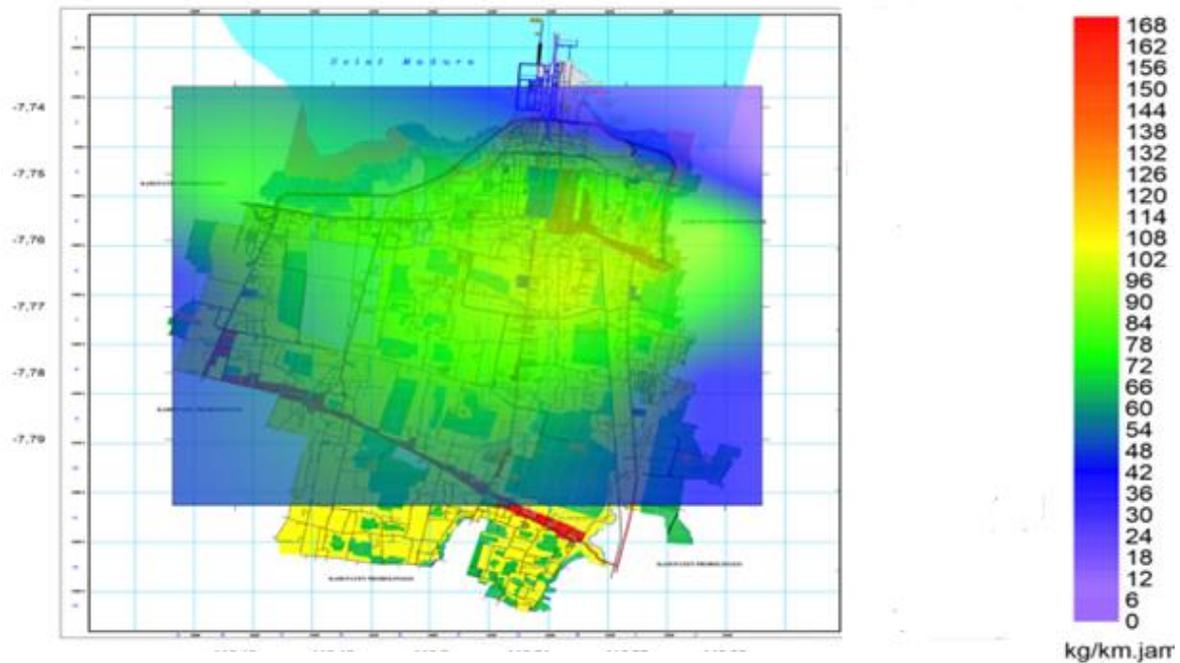
emisi, maka dapat dipetakan sebaran beban emisi di beberapa ruas jalan Kota Probolinggo. Pemetaan tersebut divisualisasikan dengan *Software Surfer 11*.



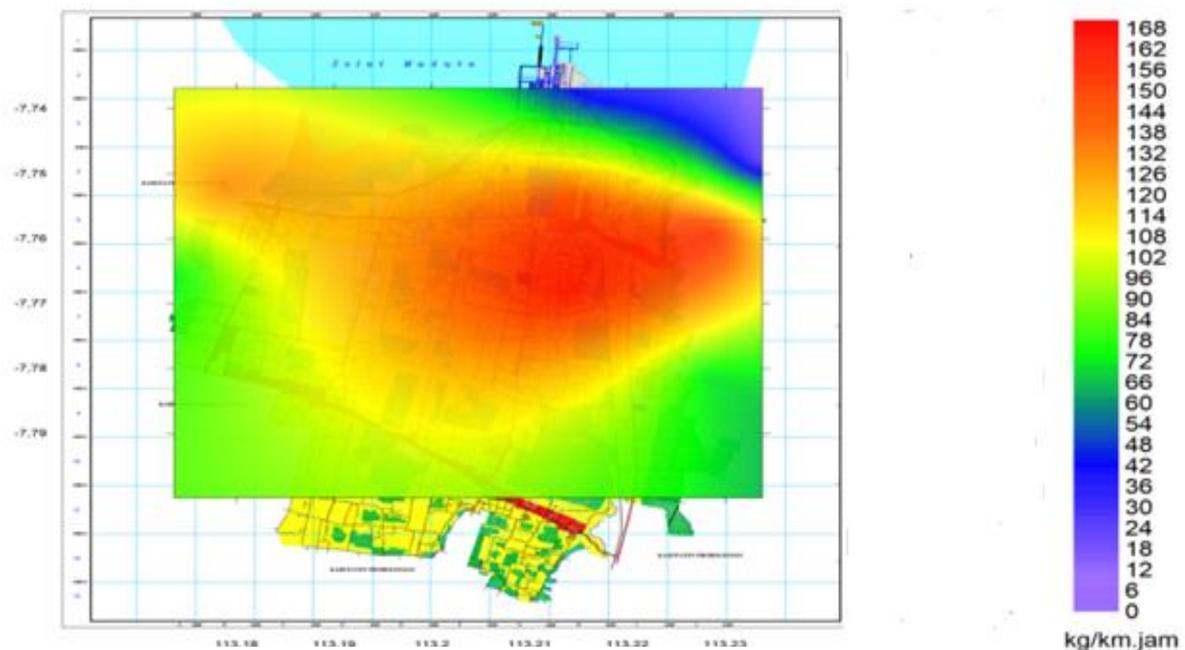
Gambar 9. Pemetaan Beban Emisi NO₂ Eksisting (kg/km.jam)



Gambar 10 Pemetaan Beban Emisi NO₂ Proyeksi (kg/km.jam)



Gambar 11. Pemetaan Beban Emisi CO eksisting (kg/km.jam)



Gambar 12. Pemetaan Beban Emisi CO proyeksi (kg/km.jam)

Berdasarkan Gambar 9 hingga Gambar 12, dapat terlihat lebih ringkas bagaimana persebaran beban emisi di Kota Probolinggo berdasarkan 10 lokasi sampling seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Beban Emisi NO_2 memang relatif lebih kecil dibandingkan dengan CO. Hal ini tentunya disebabkan karena faktor emisi kedua jenis pencemar tersebut yang berbeda. Pada pembakaran bahan bakar

kendaraan, produksi emisi CO memang lebih besar dibandingkan dengan NO_2 . Perbandingan antara beban emisi eksisting dan proyeksi dapat terlihat dengan perbedaan rentang warna pada skala yang sama untuk masing-masing parameternya. Pada parameter NO_2 , rentang beban emisinya berkisar dari angka 0 hingga 52 kg/km.jam. Beban emisi eksisting hanya sampai rentang warna hijau saja, sedangkan jika

diproyeksikan warna tersebut dapat berubah hingga ke merah. Pada parameter CO, rentang beban emisinya berkisar dari angka 0 hingga 168 kg/km.jam. Area Tengah Kota Probolinggo dapat dikatakan memiliki beban emisi paling tinggi dibandingkan dengan beban emisi di daerah sekitarnya. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, beban emisi terbesar baik NO₂ maupun CO beradai di lokasi *sampling* Simpang Lima Gladak Serang. Setelah itu di tempat kedua berada di lokasi *sampling* Perempatan Randu Pangger. Tinggi nya beban emisi di Gladak Serang dapat disebabkan oleh tingginya motor dan angkot yang melintas di lokasi tersebut. Sedangkan lokasi dengan beban emisi terendah tentu berada di timur TWSL. Karakter lokasi ini belum ramai pemukiman dan peruntuukan lainnya. Peruntuukan lahan didominasi oleh pertanian dan Ruang Terbuka Hijau.

Faktor Vegetasi untuk Sebagai Penyerap Emisi Kendaraan

Vegetasi yang berada di tepi jalan dapat berfungsi sebagai penyerap beban emisi/polutan. Vegetasi tersebut antara lain berupa pohon, semak, rumput, dan sawah yang mana biasa disebut Ruang Terbuka Hijau (RTH). Salah satu fungsi dari RTH yaitu fungsi ekologis, maksudnya antara lain sebagai paru-paru kota, pengatur iklim mikro, sebagai peneduh, produsen oksigen, penyerap air hujan, dan sebagai penyerap polutan yang mana menjadi fokus dari pembahasan sub-bab ini. Beban dan Konsentrasi Emisi yang diperhitungkan kali ini hanya mengenai CO sebagai perwakilan parameter. Karena parameter CO merupakan parameter dengan persentase terbesar dari emisi kendaraan. Sehingga dalam mencari kemampuan serapan emisi karbon dapat menggunakan luas taman/jalur hijau. Skenario yang digunakan dalam perhitungan ini yaitu menggunakan RTH jalur hijau eksisting yang disesuaikan dengan yang ada Peta Rencana RTH dari RTRW Kota Probolinggo. Setelah dilakukan perhitungan

beban emisi dan konsentrasi yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, dilakukan perhitungan jumlah serapan emisi karbon terhadap RTH yang terdapat pada lokasi penelitian. Pada kali ini terdapat tiga segmen yang diperhitungkan yaitu segmen 1 : Jalan Raya Bromo (depan terminal bis); segmen 2: pertigaan KFC; Segmen 3: Timur TWSL.

Terdapat beberapa pendekatan untuk perhitungan serapan emisi karbon. Pada kali ini pendekatan yang dilakukan adalah dengan membandingkan intensitas cahaya dengan luas tutupan RTH . Ada beberapa faktor yang mempengaruhi dalam perhitungan, antara lain:

1) Intensitas cahaya.

Intensitas cahaya ditentukan berdasarkan posisi lokasi penelitian berada pada rentang garis lintang. Fotosintesis oleh tumbuhan hijau merupakan proses di mana organisme hidup mengkonversi energi cahaya menjadi energi kimia berupa molekul organik. Selama siang hari ada sejumlah tertentu sinaran gelombang pendek yang tiba pada permukaan bumi Indonesia berada rentang garis lintang khatulistiwa, maka dari itu nilai angot fluks nya mengikuti rentang nilai tersebut.

2) Laju serapan CO₂.

Fotosintesis juga dipengaruhi oleh laju serapan CO₂. Laju serapan CO₂ dihitung berdasarkan hasil penelitian Pentury (2003) dalam Afandi dan Hidayat, 2010. Rumus persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$S = 0,2278 e^{(0,0048 \cdot I)} \quad \dots(12)$$

Dimana,

S : laju serapan CO₂ per satuan luas

I : intensitas cahaya

E : bilangan pokok logaritma natural

0,0048 : Koefisien intensitas cahaya

0,2278 : Konstanta penjumlahan

Sehingga dari Rumus tersebut dapat dihitung laju serapan CO₂, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Laju Serapan CO₂

Bulan	Intensitas Cahaya (Watt/m ²)	Laju Serapan CO ₂ (µg/cm ² /menit)	Laju Serapan CO ₂ (µg/m ² /thn)
Januari	409,34	1,63	8,54 x 10 ⁹
Februari	467,06	2,14	11,3 x 10 ⁹
Maret	425,83	1,76	9,24 x 10 ⁹
April	424,86	1,75	9,2 x 10 ⁹
Mei	389,46	1,48	7,76 x 10 ⁹
Juni	389,46	1,48	7,76 x 10 ⁹
Juli	384,12	1,44	7,57 x 10 ⁹
Agustus	397,70	1,54	8,08 x 10 ⁹
September	432,14	1,81	9,53 x 10 ⁹
Oktober	420,01	1,71	8,99 x 10 ⁹
November	423,41	1,74	9,14 x 10 ⁹
Desember	402,07	1,57	8,25 x 10 ⁹
Total	4965,43	20,04	105,33 x 10⁹

tahap sebelumnya. Luas dari tutupan vegetasi ini dihitung dari pengukuran dengan *Software Google Earth* dengan *history* tanggal pencitraan 23 Oktober 2015. Hasil pengukurannya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Luas Ruang Terbuka Hijau berdasarkan segmen lokasi penelitian

No.	Wilayah Jalan	Luas Wilayah Jalan (m)	Luas RTH (ha)	Luas RTH (m ²)
1	Jalan Raya Bromo	1000 x 10	0,9	9000
2	Jalan Raya Panglima Sudirman	1000 x 10	1,44	14400
3	Jalan Basuki Rahmat	1000 x 6	0,45	4500

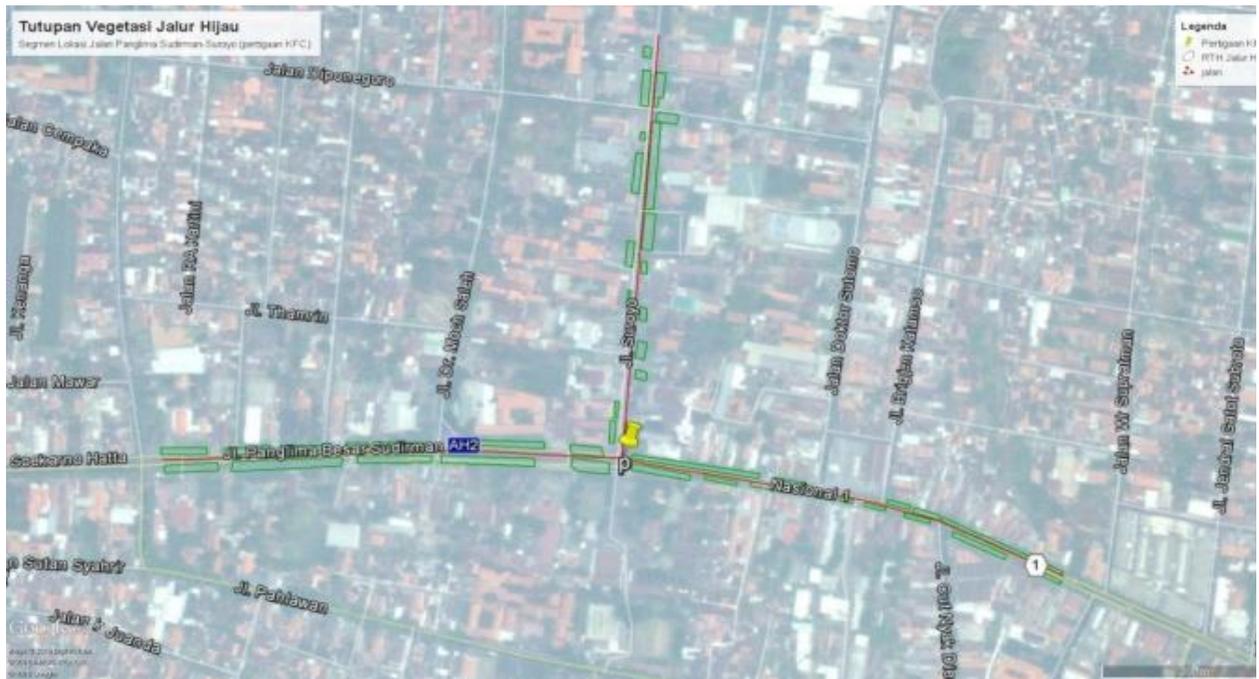
3) Kemampuan nilai serapan karbon

Aspek yang digunakan dalam penentuan kemampuan nilai serapan karbon yaitu Ruang Terbuka Hijau di sepanjang jalan lokasi penelitian. Ruang Terbuka Hijau yang dimaksud di sini yaitu jalur taman jalan dan/atau vegetasi pepohonan yang berada di tepi jalan. Pada perhitungan kali ini digunakan skenario luas dari tutupan vegetasi pohon di jalur hijau dengan radius panjang jalan 1 km. Jarak 1 km merupakan input jarak yang dilakukan pada asumsi perhitungan dan pemetaan dispersi pada

Gambar mengenai plot dalam pengukuran luas RTH jalur hijau vegetasi pepohonan tersaji pada Gambar 15 hingga 16. Pada Gambar tersebut, area RTH jalur hijau vegetasi pepohonan digambarkan dengan area bergaris hijau. Sedangkan untuk warna merah mewakili keberadaan jalan memanjang dengan batas 1 km, sesuai dengan *input* saat pemodelan dan visualisasi pemetaan. Setelah mendapatkan Luas RTH, kemudian dihitung Total Daya Serap RTH dengan cara mengalikan Luas RTH dengan Laju Serapan CO₂.



Gambar 13. Plot pengukuran tutupan jalur hijau vegetasi pepohonan di segmen terminal



Gambar 14. Plot pengukuran tutupan jalur hijau vegetasi pepohonan di segmen pertigaan KFC



Gambar 15. Plot pengukuran tutupan jalur hijau vegetasi pepohonan di segmen timur TWSL

Setelah mendapatkan Laju Serapan dan Total Daya Serap RTH, selanjutnya dilakukan perbandingan dengan konsentrasi Karbon Monoksida yang dihasilkan. Pada penelitian ini

parameter yang digunakan adalah CO, sehingga perlu konversi dari CO ke CO₂. Berikut cara konversi yang digunakan (Mulyadin dan Gusti, 2013).

$$S = \left(\frac{MsCO}{MrCO}\right) \times MrCO_2 \quad \dots(13)$$

Keterangan:

S = Total Emisi CO₂ (kg/tahun)

Ms = Massa CO (Kg/tahun)

Mr = Massa relatif (Mr CO = 28;

Mr CO₂ = 44)

Pada perhitungan kali ini, Total Emisi yang digunakan yaitu total beban emisi sebelum dan setelah proyeksi tahun 2025. Sehingga didapatkan hasil konversi yang dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Beban Emisi CO₂ per tahun sebelum proyeksi (eksisting)

No.	Wilayah Jalan	Beban Emisi CO (kg/jam)	Konversi Beban Emisi CO ke CO ₂ (kg/jam)	Beban Emisi CO ₂ (ton/tahun)
1	Jalan Raya Bromo	42,42	66,66	583,93
2	Jalan Raya Panglima Sudirman	82,92	130,30	1.141,40
3	Jalan Basuki Rahmat	12,93	20,32	177,96

Tabel 7. Beban Emisi CO₂ per tahun setelah Proyeksi

No.	Wilayah Jalan	Beban Emisi CO (kg/jam)	Konversi Beban Emisi CO ke CO ₂ (kg/jam)	Beban Emisi CO ₂ (ton/tahun)
1	Jalan Raya Bromo	72,55	114,01	998,71
2	Jalan Raya Panglima Sudirman	141,82	222,85	1.952,18
3	Jalan Basuki Rahmat	22,11	34,75	301,38

Jika dihubungkan dengan Skenario daya serap RTH Taman Jalan/Jalur Hijau berdasarkan luas tutupan vegetasi pepohonan di sepanjang tepi jalan, maka dapat diketahui kemampuan daya serap RTH eksisting saat ini berdasarkan pencitraan *Software* Google Earth, 2016. Berdasarkan perbandingan antara Beban Emisi

eksisting dan daya serap RTH eksisting, didapatkan hasil bahwa beban emisi masih di bawah daya Serap RTH seperti yang dapat dilihat pada Tabel 8. Hal ini berarti luasan tutupan vegetasi pepohonan di sepanjang segmen penelitian masih mencukupi untuk menyerap beban emisi (Tabel 9). Setelah dibandingkan dengan beban emisi hasil proyeksi, terdapat kekurangan daya serap RTH di segmen Jalan Raya Bromo dan Jalan Panglima Sudirman (pertigaan KFC), tersaji pada Tabel 10.

Tabel 8. Perbandingan daya serap RTH terhadap beban emisi eksisting

No.	Wilayah Jalan	Beban Emisi CO ₂ (ton/tahun)	Total Daya Serap RTH (ton/tahun)
1	Jalan Raya Bromo	583,93	947,97
2	Jalan Raya Panglima Sudirman	1.141,40	1516,75
3	Jalan Basuki Rahmat	177,96	473,99

Tabel 9. Perbandingan daya serap RTH terhadap beban emisi proyeksi

No.	Wilayah Jalan	Beban Emisi CO ₂ (ton/tahun)	Total Daya Serap RTH (ton/tahun)
1	Jalan Raya Bromo	998,71	947,97
2	Jalan Raya Panglima Sudirman	1.952,18	1.516,75
3	Jalan Basuki Rahmat	301,38	473,99

Usulan Penataan Ruang dan Arsitektur lanskap

1. Segmen Jalan Raya Bromo

Terkait dengan adanya kekurangan daya serap dari skenario perhitungan dari RTH Taman Jalan/Jalur Hijau sepanjang tepi jalan, terdapat Skenario kedua dengan penambahan perhitungan daya serap dari RTH pepohonan yang ada di Terminal (non jalur hijau). Berikut hasil perhitungannya:



Gambar 16. Area perhitungan skenario kedua

Tabel 10. Perhitungan Skenario kedua pada Segmen Jalan Raya Bromo

No.	Kode	Luas (ha)	Daya Serap (ton/ha/thn)	Kemampuan serap RTH (ton/tahun)
Eksisting				
1	Area-1	0,64	569,07	364,20
2	Area-2	0,34	569,07	193,48
3	Area-3	0,14	569,07	79,67
Usulan penambahan				
4	Area-4	0,11	569,07	62,60
5	Area-5	0,27	569,07	153,65
Total		1,5	569,07	853,61
				50,74
Kekurangan				802,86
Surplus (cadangan)				

Keterangan : Daya Serap vegetasi berdasarkan Prasetyo dkk. (2002) dalam Afandi dan Hidayat, 2010.

2. Segmen Jalan Raya Panglima Sudirman

Terkait dengan adanya kekurangan daya serap dari skenario perhitungan dari RTH Taman Jalan/Jalur Hijau sepanjang tepi jalan, terdapat skenario kedua dengan penambahan perhitungan daya serap dari RTH pepohonan yang ada di halaman/pekarangan dari bangunan serta *roof garden*.

Hal ini terkait dengan karakter KDB bangunan di segmen wilayah ini yang berkisar dari 60% - 100% (Pemerintah Kota Probolinggo, 2008). Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum (2008), Arahan RTH untuk wilayah dengan KDB 70-90% diarahkan dengan tanaman pot dan *roof garden* (KDB \geq 90%). Setelah dilakukan perhitungan penambahan perhitungan dari rekayasa skenario kedua, didapatkan daya serap yang dapat memenuhi kekurangan dari daya serap RTH Taman Jalan/Jalur Hijau, seperti pada Tabel 11.

Tabel 11. Perhitungan Skenario kedua pada segmen Jalan Panglima Sudirman

No.	Kode	Luas (ha)	Daya Serap (ton/ha/thn)	Kemampuan serap RTH (ton/thn)
1	Total RTH Pepohonan	2,38	569,07	1354,39
2	Roof garden, green wall	2,04	55	112,2
Total				1466,59
Kekurangan (ton/tahun)				435,43
Surplus (ton/tahun)				918,95

Keterangan : Daya Serap vegetasi berdasarkan Prasetyo dkk. (2002) dalam Afandi dan Hidayat, 2010.

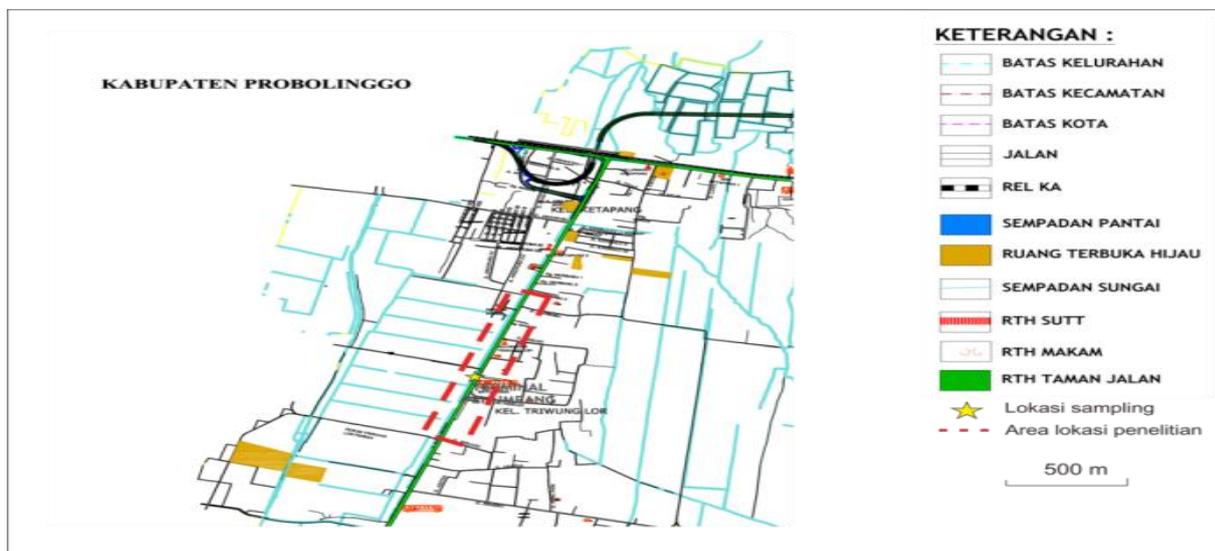
Lokasi area yang dihitung pada RTH Pepohonan di halaman/pekarangan, ditunjukkan dengan warna oranye pada Gambar 17. Sedangkan untuk area *Roof garden* ditunjukkan dengan warna kuning pada Gambar 18.



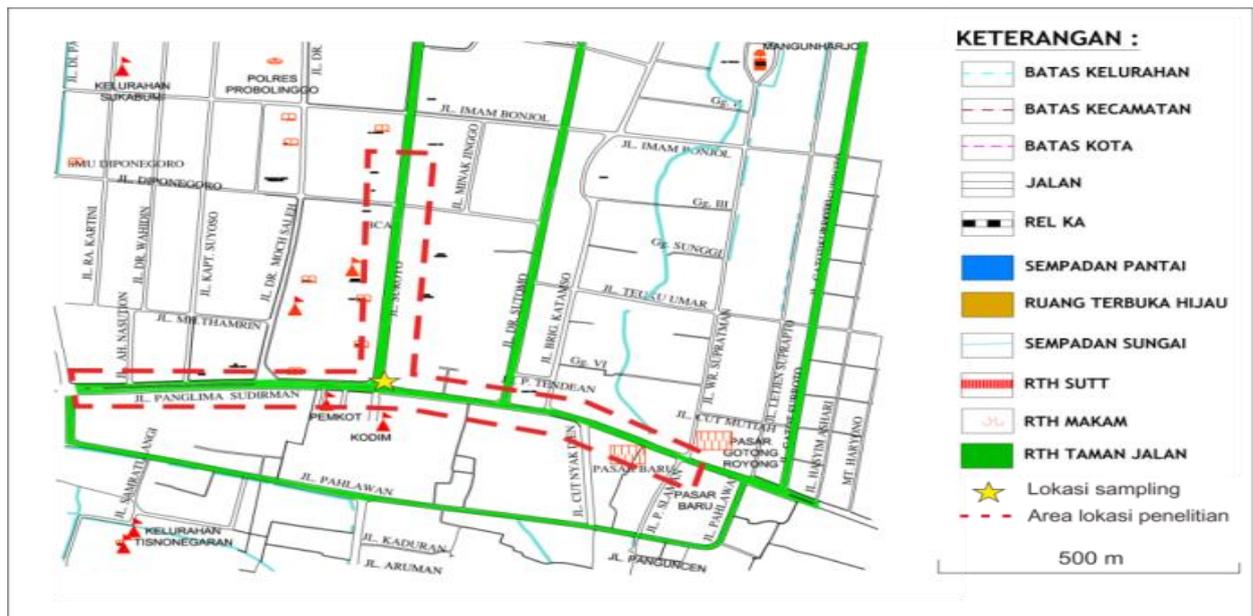
Gambar 17. Area perhitungan RTH pepohonan dari halaman dan pekarangan



Gambar 18. Area Perhitungan Roof Garden



Gambar 19. Segmen Jalan Raya Bromo (Sumber: Peta Rencana RTH dalam RTRW Kota Probolinggo)



Gambar 20. Segmen Jalan Panglima Sudirman (Sumber: Peta Rencana RTH dalam RTRW Kota Probolinggo)

3. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dari data penelitian yang telah disusun, dapat ditarik beberapa kesimpulan. Beban emisi CO dari sektor transportasi darat lebih besar dibandingkan dengan beban emisi NO₂. Jumlah kendaraan yang melintas per jam nya paling banyak berada di Simpang Lima Gladak Serang. Hal ini tentu juga secara signifikan mendukung beban emisi yang paling besar berada di lokasi tersebut. Beban Emisi terendah berada di titik *sampling* timur TWSL. Jenis kendaraan yang paling banyak mempengaruhi beban emisi di Kota Probolinggo yaitu motor, angkot, dan mobil penumpang. Meskipun Kota Probolinggo merupakan jalur transportasi Pantura, transportasi lokal di tengah Kota Probolinggo yang lebih dapat memberikan beban emisi lebih tinggi daripada di sisi jalan yang merupakan jalur transportasi Pantura. Angkot (angkutan kota) merupakan transportasi massal yang paling banyak di Kota Probolinggo, namun memiliki faktor emisi yang cukup tinggi juga. Faktor emisi CO dari angkutan kota merupakan yang tertinggi dari jenis kendaraan lainnya. Penganjuran penggunaan angkot untuk mengurangi penggunaan motor, perlu diikuti juga langkah perawatan mesin angkot dan uji

emisi angkot secara berkala sebagai bentuk pemantauan kualitas emisi. Beban emisi eksisting masih memenuhi serapa vegetasi RTH yang ada di sekitar lokasi masing-masing segmen. Setelah dilakukan proyeksi, maka dapat diketahui bahwa ada kekurangan tutupan vegetasi RTH. Hal ini dapat menjadi salah satu usulan kebijakan penataan ruang. Terkait dengan perlunya ada penambahan luas serapan RTH selain dari RTH Jalur Hijau, khususnya pada segmen wilayah Jalan Raya Bromo dan Jalan Panglima Sudirman. Penambahan daya serap di segmen wilayah Jalan Raya Bromo bisa dengan melestarikan RTH pepohonan yang telah ada di area Terminal saat ini. Penambahan daya serap di segmen wilayah Jalan Panglima Sudirman dengan kombinasi antara RTH pepohonan di halaman/pekarangan dan *roof garden*.

DAFTAR PUSTAKA

Afandi, A dan Hidayat T. 2010. *Kajian Kualitas Udara dan Kemampuan Ruang Terbuka Hijau (RTH) dalam Menyerap Emisi Karbon Akibat Lalu Lintas di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Universitas Katolik Parahyangan.

- Batterman, S.A., Zhang, K., and Kononowech, R. 2010. *Prediction and Analysis of Near-Road Concentrations Using a Reduced-Form Emission/Dispersion Model*. Environmental Health.
- Catanese, A.J dan Snyder, J.C. *Urban Planning*. 2nd Edition. McGraw-Hill Inc, New York.
- Colvile, R.N., Hutchinson, E.J., Mindell, J.S., and Warren, R.A. 2000. *Transport Sector As A Source of Air Pollution*. Department of Epidemiology and Public Health, Imperial College, London, UK.
- Ching, J.K.S. 2013. *A perspective on urban canopy layer modeling for weather, climate and air quality applications*. Journal of Urban Climate, 3(1), hal. 13-39.
- Dewi, Y.S dan Budiyaniti T. 2010. *Pengaruh Campuran Kadar Kerosin Dalam Premium Terhadap Emisi Gas Pada Kendaraan Bermotor*. Jurnal Ilmiah, 6(2). Jakarta: Fakultas Teknik-Universitas Satya Negara Indonesia.
- Ginting, C. 2009. *Interaksi antara peningkatan konsentrasi karbondioksida dan suhu terhadap pertumbuhan tanaman*. Buletin Ilmiah INSTIPER, 16(1).
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R.R., Rahayu, S. 2011. *Petunjuk praktis pengukuran cadangan karbon dari tingkat lahan ke bentang lahan edisi Ke-2*. Word Agroforestry Centre.
- HEI Air Toxics Review Panel. 2007. *Mobile-Source Air Toxics: A Critical Review of The Literature on Exposure and Health Effects*. Special Report. Health Effects Institute, Boston, M.A.
- HEI Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution. 2010. *Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects*. HEI Special Report. Health Effects Institute, Boston, MA.
- HEI International Scientific Oversight Committee. 2010. *Outdoor Air Pollution and Health in the Developing Countries of Asia: A Comprehensive Review*. Special Report. Health Effects Institute, Boston, MA.
- Kementrian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2010. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah*. Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 2008. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 5 tentang Pedoman Penyediaan Dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan*. Jakarta.
- Khalil, M. A. K., R. A. Rasmussen and M. X. Wang ang L. Ren. 1991. *Methane emission from rice field in China*. *Enviromental Sciense Technology*. 25: p 979-981.
- Lipfert, F.W. dan Wyzga, R.E. 2008. *On exposure and response relationships for health effects associated with exposure to vehicular traffic*. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, vol.18, hal. 588-599.
- Mabahwi, N.A., Leh, O.L.H., Omar, D. 2015. *Urban Air Quality and Human Health Effects in Selangor, Malaysia*. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 170, hal. 282-291.
- Mulyadin dan Gusti. 2013. *Analisis Kebutuhan Luasan Area Hijau Berdasarkan Daya Serap CO di Kabupaten Karanganyar Jawa Tengah*. Bogor.
- NEPC. 2010. *Review of the Natinal Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure*. Discussion Paper Air Quality Standards. Adelaide.

Ratanavaraha, V. And Jomnonkwao, S. 2015. *Trends in Thailand CO₂ Emissions in the Transportation Sector and Policy Mitigation*. Transport Policy.

Soedomo M. 2001. *Pencemaran Udara*. ITB. Bandung.

Handriyono, R.E. 2015. *Pemodelan Dispersi (NO₂) Dari Sumber Garis*

Menggunakan Aplikasi Open Source R Berdasarkan Model Gauss. Thesis Magister Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.

Pemerintah Kota Probolinggo. 2008. *Peraturan Daerah Kota Probolinggo Nomor 4 tentang Bangunan Gedung*. Probolinggo.