

**PREDIKSI TINGKAT EMISI GAS KARBON DIOKSIDA (CO₂)
DARI KEGIATAN TRANSPORTASI
AKIBAT BEROPERASINYA RUMAH SAKIT PENDIDIKAN
DI KAMPUS UNIVERSITAS ANDALAS LIMAU MANIS**

Fadjar Goembira, Irma Surianti, Taufiq Ihsan

Laboratorium Kualitas Udara Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas
Andalas

Email: fgoembira@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilaksanakan untuk memprediksi pengaruh beroperasinya Rumah Sakit Pendidikan (RSP) di Kampus Universitas Andalas (Unand) Limau Manis terhadap emisi dan dispersi CO₂ dari aktivitas transportasi, serta dampak lain terhadap tingkat pelayanan ruas jalan. Perhitungan volume kendaraan dilakukan di jalan-jalan yang direncanakan akan menjadi akses ke RSP Unand, yaitu Jalan Utama Gerbang Depan, Jalan Utama Gerbang Samping, dan Jalan Lingkar Selatan Unand dengan metode survei pencacahan lalu lintas. Perhitungan dispersi CO₂ dilakukan menggunakan software Caline4. Hasil analisis menunjukkan bahwa volume kendaraan terbesar terdapat di Jalan Utama Gerbang Depan sebesar 1.708 smp/jam, diikuti oleh Jalan Lingkar Selatan sebesar 266 smp/jam, dan Jalan Utama Gerbang Samping sebesar 157 smp/jam. Beroperasinya RSP Unand diprediksi meningkatkan emisi CO₂ dari aktivitas transportasi di Jalan Utama Gerbang Depan, Jalan Utama Gerbang Samping, dan Jalan Lingkar Selatan sebesar 76.403,77 mg/m.jam, 7.356,61 mg/m.jam, dan 11.123,31 mg/m.jam, dan diperkirakan akan terdispersi ke arah timur laut. Diperkirakan akan terjadi kenaikan konsentrasi CO₂ ambien di kawasan kampus hingga 6,5 ppm, serta derajat kejenuhan ruas jalan naik hingga 0,25. Pengoptimalan Jalan Utama Gerbang Samping sebagai jalan akses utama ke RSP Unand diperkirakan dapat mereduksi emisi CO₂ dari aktivitas transportasi dan menurunkan derajat kejenuhan jalan di Jalan Utama Gerbang Depan sebesar 15.449 mg/m.jam dan 0,05, serta menurunkan konsentrasi CO₂ ambien hingga 1,5 ppm.

Kata kunci: Laju emisi CO₂, dispersi CO₂, Transportasi, RSP Unand

ABSTRACT

This research was done to predict the impact of Andalas University Education Hospital establishment at Limau Manis Campus towards CO₂ emission and dispersion from transportation sector, and also the impact on road level of service. Vehicle volume calculations were conducted at some roads that are planned as the hospital access roads, namely front and side gate main roads, and the south ring road by using traffic census survey method. The estimation of CO₂ dispersion was carried out by using Caline4 software. Analysis results show that the biggest vehicle volume was observed at the front gate main road, i.e., 1,708 smp/hour (smp: passenger vehicle unit), followed by 226 and 157 smp/hour at the south ring road and side gate main road, respectively. The operation of Andalas University hospital is estimated to increase CO₂ emission from transportation activities at those roads, i.e., 76,403.77, 7,356.61, and 11,123.31mg/meter.hour at the front and side main gate roads, and the south ring road, correspondingly. The dispersion is estimated to the north east direction. The ambient CO₂ concentration in campus area is also forecasted to increase up to 6.5ppm, while the road saturation degree will be increased to 0.25. Optimization use of the side gate main road as the main access to the hospital is predicted to reduce CO₂ emission from transportation activities and will decrease the road saturation degree at the front gate main road up to 15,449mg/m.hour and 0.05, respectively, and also decreasing the ambient CO₂ concentration up to 1.5ppm.

Key words: CO₂ emissionrate, CO₂dispersion, Transportation, Unand Hospita

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Emisi gas rumah kaca adalah hasil kegiatan manusia yang meningkatkan konsentrasi gas-gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO₂), metana, klorofluoro karbon dan nitrogen oksida (Soedomo, 2001). Penelitian yang dilakukan oleh Kementerian Negara Lingkungan Hidup bekerjasama dengan *Japan International Cooperation Agency* (JICA) tahun 1997 menunjukkan bahwa sekitar 70% kontribusi pencemaran udara berasal dari sektor transportasi.

Universitas Andalas (Unand) saat ini memiliki 15 fakultas, salah satunya adalah Fakultas Kedokteran, yang perlu ditunjang dengan adanya Rumah Sakit Pendidikan (RSP). Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi mensyaratkan bahwa setiap universitas yang mempunyai Fakultas Kedokteran diharuskan mempunyai *University Hospital* (Rumah Sakit Pendidikan). RSP Unand akan didirikan di atas tanah seluas 3,5 Ha dengan luas bangunan 21.306 m². Pembangunan fisik rumah sakit dimulai pada tahun 2014 dan direncanakan pada tahun 2016 RSP Unand akan mulai beroperasi dengan kapasitas 200 tempat tidur dan 667 tenaga kerja.

Selain memberikan dampak positif, beroperasinya RSP Unand juga akan memberikan dampak negatif, salah satunya adalah perubahan pergerakan arus lalu lintas. Rumah sakit merupakan salah satu jenis kegiatan yang akan menimbulkan tarikan pergerakan kendaraan. Hal ini akan menimbulkan dampak lalu lintas seperti menurunnya tingkat pelayanan ruas jalan (*level of service*) akibat peningkatan volume lalu lintas sehingga menyebabkan kemacetan dan kondisi lingkungan yang buruk akibat polusi udara (Bohoh dkk, 2011).

Meningkatnya jumlah kendaraan yang masuk ke kawasan Kampus Unand Limau Manis akan meningkatkan jumlah sumber emisi CO₂ di kawasan kampus. Hal ini mengakibatkan CO₂ terakumulasi di atmosfer dan berpotensi menyebabkan terjadinya *global warming*. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh beroperasinya RSP Unand

terhadap emisi CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan transportasi.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini antara lain adalah:

1. Menghitung volume kendaraan yang masuk ke Kampus Unand Limau Manis sebelum dan setelah RSP beroperasi;
2. Menganalisis tingkat pelayanan ruas jalan di jalan Kampus Unand Limau Manis sebelum dan setelah RSP beroperasi;
3. Menghitung laju emisi CO₂ dari kegiatan transportasi di jalan Kampus Unand Limau Manis sebelum dan setelah RSP beroperasi;
4. Menganalisis dispersi pencemar CO₂ di Jalan Kampus Unand Limau Manis sebelum dan setelah RSP beroperasi;
5. Menganalisis pengaruh beroperasinya RSP di Kampus Unand Limau Manis terhadap laju emisi dan dispersi CO₂ serta dampak terhadap tingkat pelayanan ruas jalan.

METODOLOGI

Survei Pendahuluan

a. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan untuk mengetahui pertumbuhan kendaraan di Kampus Unand adalah data volume kendaraan yang melewati Jalan Utama Gerbang Depan pada tahun 2013 dan 2014. Data sekunder yang dibutuhkan untuk mengetahui tarikan kendaraan akibat beroperasinya RSP Unand Limau Manis adalah data luas tanah, luas bangunan, jumlah pegawai dan jumlah tempat tidur RSP Unand dan RS TNI Reksodiwiryo.

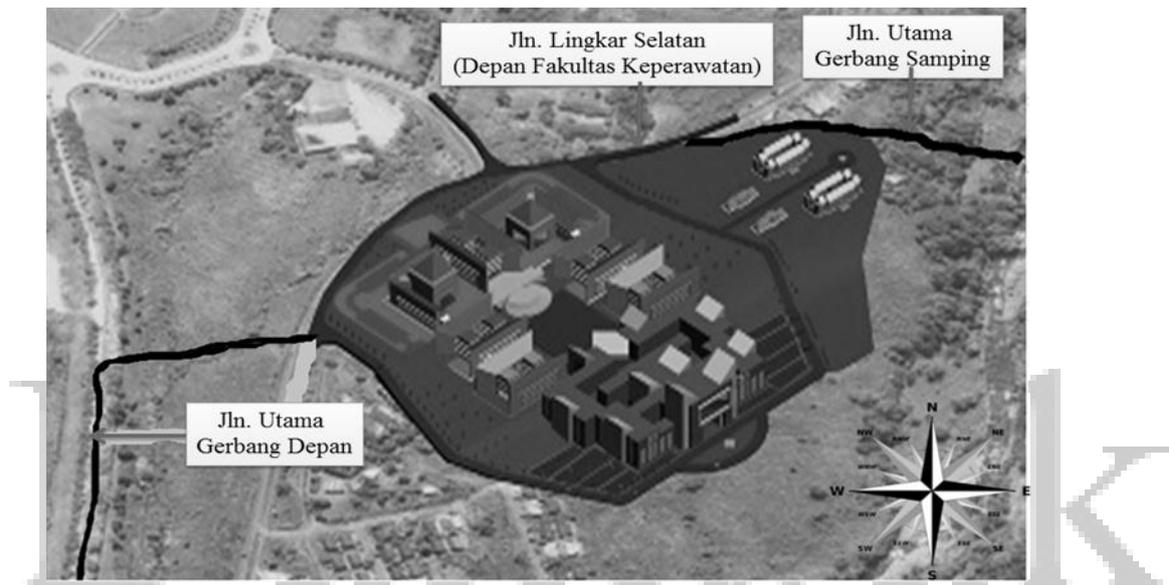
b. Lokasi dan Waktu Sampling

Lokasi perhitungan kendaraan untuk mengetahui volume kendaraan di Kampus Unand Limau Manis adalah di gerbang depan Kampus Unand (Jalan Pasar Baru-Kampus Unand), Jalan Lingkar Selatan Unand (di depan Fakultas Keperawatan Unand) dan gerbang samping Kampus Unand (Jalan Limau Manis-Kampus Unand). Survei pencacahan kendaraan di Kampus Unand Limau Manis dilakukan pada hari Senin dari jam 06.00–18.00 WIB

yang ditetapkan sebagai hari tersibuk dari survei pendahuluan yang dilakukan dengan menghitung kendaraan dari hari Senin sampai Jum'at pada pukul 06.00–18.00 WIB.

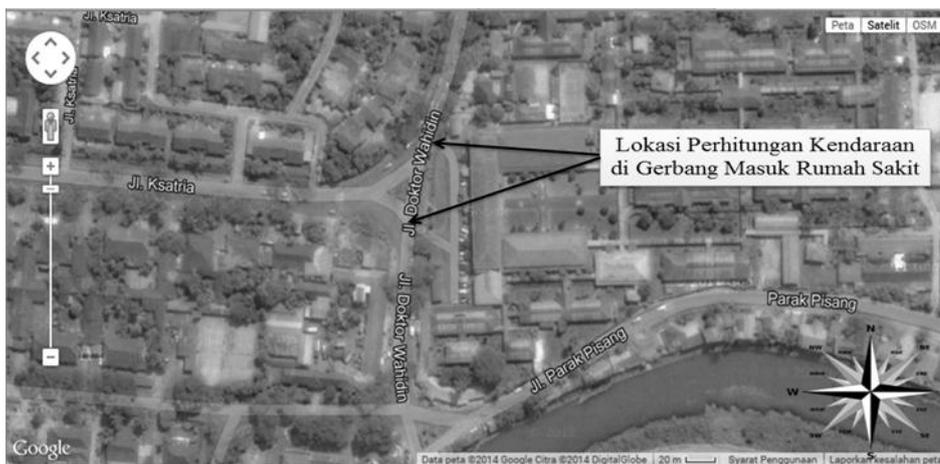
Perhitungan kendaraan untuk menentukan besarnya tarikan kendaraan akibat beroperasinya RSP Unand dilakukan dengan analogi pada kegiatan lain yang saat ini telah beroperasi, yaitu pada kegiatan di Rumah Sakit TNI Reksodiwiryo Padang. Lokasi ini dipilih karena rumah sakit ini merupakan

rumah sakit pendidikan dan data sekunder bangunan seperti luas bangunan dan jumlah tempat tidur hampir sama dengan luas bangunan dan rencana jumlah tempat tidur di RSP Unand. Hari penelitian untuk melakukan survei pencacahan lalu lintas ditetapkan pada hari kerja sehingga diharapkan lalu lintas dalam keadaan normal, yaitu hari Selasa dan Kamis dengan mengacu pada penelitian Arnaldi (2007). Peta lokasi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 3.2 Peta Lokasi Penelitian di Kampus Unand Limau Manis

Sumber: Diolah dari Google, 2014



Gambar 3.3 Peta Lokasi Penelitian di Rumah Sakit Reksodiwiryo, Padang

Sumber: Diolah dari Google Earth, 2014

Sampling

a. Sampling Data Meteorologi, Konsentrasi CO₂ Background, dan Konsentrasi CO₂ Roadside

Pengambilan data meteorologi dilakukan selama 12 jam, dari jam 06.00-18.00 WIB dengan pengambilan data per 15 menit. Data meteorologi yang diambil adalah suhu, tekanan, kelembaban, kecepatan, dan arah angin dengan *pocket watherman*, anemometer dan kompas.

Konsentrasi CO₂ *background* dan CO₂ *roadside* ditentukan dengan cara melakukan pengambilan sampel CO₂ menggunakan alat *impinger* dengan meletakkan larutan absorban di dalamnya kemudian sampel dianalisis di laboratorium. CO₂ *background* diambil di kawasan Instalasi Pengolahan Air (IPA) Kampus Unand sebagai lokasi yang tidak terpengaruh oleh kegiatan transportasi. CO₂ *roadside* diambil di lokasi yang terpengaruh oleh kegiatan transportasi yaitu pada jarak 5 m dari ruas jalan di beberapa jalan Kampus Unand dengan mempertimbangkan lokasi peletakan alat sampling yang memungkinkan sesuai dengan arah angin dominan.

b. Sampling Volume Kendaraan di Kampus Unand dan RS TNI Reksodiwiryo

Kendaraan yang dihitung dikelompokkan menjadi kendaraan penumpang, kendaraan niaga kecil, kendaraan niaga besar, dan sepeda motor. Kendaraan penumpang dibagi kembali menjadi kendaraan penumpang berbahan bakar bensin dan berbahan bakar solar. Kendaraan niaga kecil dibagi menjadi bus kecil berbahan bakar bensin, bus kecil berbahan bakar solar, truk kecil berbahan bakar bensin, dan truk kecil berbahan bakar solar. Kendaraan niaga besar dibagi menjadi bus dan truk.

c. Sampling Data Konsumsi Bahan Bakar dan Jarak Tempuh

Ketika dilakukan penghitungan kendaraan di Kampus Unand, juga diberikan kuesioner kepada pengemudi kendaraan di lokasi sampling untuk mengetahui nilai *fuel economy* (FE) kendaraan. Jumlah kuesioner yang digunakan ditentukan dengan mengambil volume kendaraan total satu hari

pada survei pendahuluan sebagai populasi. Jumlah sampel untuk pengukuran emisi dihitung dengan Persamaan Slovin (Sari, 2012), yaitu:

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan: n = Jumlah sampel
N = Jumlah populasi
e = Presentase

kesalahan yang diinginkan (asumsi)

d. Sampling Data Fisik Jalan

Data fisik jalan yang diambil dalam penelitian ini adalah tipe jalan, lebar jalan, tipe *alinyemen* jalan, persen pemisahan jalan, dan kelas hambatan samping jalan. Data ini diambil pada setiap jalan yang dijadikan lokasi penelitian. Tipe jalan dan kelas hambatan samping jalan diambil dengan melakukan pengamatan visual di lapangan. Lebar jalan, tipe *alinyemen* jalan, dan persen pemisahan jalan ditentukan dengan melakukan pengukuran menggunakan meteran.

Analisis Data Sebelum dan Setelah RSP Unand Beroperasi

a. Penentuan Nilai Faktor Emisi (fe)

Pada penelitian ini digunakan nilai faktor emisi yang dikeluarkan oleh IPCC (2007) dengan menggunakan perbandingan nilai FE kendaraan yang masuk ke Kampus Unand Limau Manis yang diperoleh dari kuesioner dengan FE menurut IPCC. Nilai FE didapat dengan membandingkan jarak yang ditempuh kendaraan perhari dengan jumlah bahan bakar yang dihabiskan perhari yang terdapat pada kuesioner. Perhitungan faktor emisi terlihat pada Persamaan 2 (Sari, 2012).

$$fe_{CO_2} = \frac{FE \text{ menurut IPCC}}{FE \text{ menurut kuesioner}} \times fe \text{ menurut IPCC} \dots \dots \dots (2)$$

b. Prediksi Volume Kendaraan Setelah RSP Unand Beroperasi (Tahun 2016)

Volume kendaraan bermotor di Kampus Unand Limau Manis pada saat RSP Unand beroperasi pada tahun 2016 terdiri dari volume kendaraan yang masuk ke Kampus Unand tanpa adanya pengaruh pendirian RSP dan volume kendaraan yang masuk ke

Kampus Unand karena beroperasinya RSP Unand.

Volume kendaraan pada tahun 2016 dihitung menggunakan Persamaan Geometri (Persamaan 3). Pertumbuhan kendaraan di Kampus Unand dalam penelitian ini didapat dengan membandingkan volume kendaraan yang masuk ke Kampus Unand pada bulan Oktober tahun 2013 dengan volume kendaraan pada bulan September tahun 2014 melalui Persamaan 4, selanjutnya nilai ini ditetapkan sebagai persen pertumbuhan kendaraan di Kampus Unand.

$$P_k = P_o \times (1 + \Delta p)^n \dots\dots\dots(3)$$

$$\Delta p = \frac{(\text{kendaraan th 2014} - \text{kendaraan th 2013})}{\text{kendaraan tahun 2013}} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- P_k = Volume kendaraan yang akan dicari
- P_o = Volume kendaraan tahun sebelumnya
- Δp = Pertumbuhan kendaraan
- n = Selisih tahun rencana dengan tahun sebelumnya

Prediksi volume kendaraan akibat beroperasinya RSP Unand dilakukan dengan cara melakukan penghitungan tarikan kendaraan dengan persamaan regresi. Persamaan yang digunakan pada penelitian ini adalah persamaan yang dihasilkan dari penelitian Arnaldi (2007) dalam penelitian Pemodelan Tarikan Perjalanan Pada Rumah Sakit di Kota Padang yang salah satu lokasinya adalah di RS TNI Reksodiwiryo. Penelitian ini menghasilkan suatu Persamaan tarikan kendaraan pada saat jam puncak sebagai berikut:

$$\text{Jumlah mobil} = 0,195 \times \text{JP}^{0,95} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Jumlah sepeda motor} = 0,347 \times \text{JTT}^{0,986} \dots\dots\dots(6)$$

Ket: JP = Jumlah Pegawai
JTT = Jumlah Tempat Tidur

Persamaan yang telah dihasilkan dari penelitian sebelumnya pada tahun 2007 divalidasi kembali dengan data volume kendaraan dan data sekunder yang ada pada tahun 2014 di RS TNI Reksodiwiryo. Volume kendaraan yang masuk ke Kampus Unand akibat beroperasinya RSP Unand didapat dengan cara memasukkan data jumlah pegawai dan jumlah tempat tidur rencana ke Persamaan 5 dan 6.

c. Laju Emisi Pencemar CO₂

Emisi pencemar CO₂ dihitung dengan mengalikan volume kendaraan di suatu ruas jalan dengan faktor emisi dan konsumsi energi spesifiknya. Nilai faktor emisi kendaraan dihitung dengan persamaan 2 dan konsumsi energi spesifik diambil dari nilai yang ditetapkan IPCC (2007).

Prediksi emisi CO₂ akibat beroperasinya RSP di Kampus Unand Limau Manis dihitung dengan cara yang sama dengan perhitungan ketika RSP belum beroperasi. Volume kendaraan yang digunakan adalah total volume akibat aktivitas pendidikan dan rumah sakit.

d. Dispersi Pencemar CO₂

Dispersi Pencemar CO₂ dihitung dengan *software* Caline4. Data yang diinputkan adalah koordinat awal dan akhir ruas jalan, koordinat reseptor, data meteorologi, data volume kendaraan, faktor emisi, dan data konsentrasi CO₂ *background*. Koordinat awal dan akhir ruas jalan serta koordinat reseptor diambil di peta wilayah penelitian (koordinat pada *Autocad*). Data meteorologi diambil dari data pengukuran meteorologi di lapangan, data volume kendaraan diambil dari perhitungan volume kendaraan di lokasi studi dan nilai faktor emisi didapat dari hasil perhitungan 2. *Output* Caline4 adalah konsentrasi CO₂ di titik reseptor. Hasil perhitungan divalidasi dengan melakukan pengambilan nilai konsentrasi CO₂ *roadside* di beberapa titik reseptor. Pola dispersi CO₂ kemudian dipetakan menggunakan *software* *Surfer* 10 dengan menginputkan koordinat dan nilai konsentrasi CO₂.

Dispersi CO₂ setelah RSP beroperasi dihitung dengan menginputkan volume lalu lintas akibat aktivitas pendidikan dengan volume lalu lintas hasil prediksi tarikan kendaraan. Data meteorologi dan konsentrasi CO₂ *background* diasumsikan sama dengan saat sekarang.

e. Tingkat Pelayanan Ruas Jalan

Tingkat pelayanan ruas jalan dinyatakan dengan derajat kejenuhan (D). Nilai derajat kejenuhan didapat dengan membandingkan volume kendaraan hasil survei pencacahan lalu lintas dengan kapasitas jalan. Derajat kejenuhan dihitung dengan Persamaan 7 dan

kapasitas jalan dihitung menggunakan Persamaan 8 (Direktorat Jenderal Bina Marga dan Direktorat Bina Jalan Kota, 1997).

$$\text{Derajat kejenuhan} = \frac{\text{Arus lalu lintas (smp/jam)}}{\text{Kapasitas jalan (smp/jam)}} \dots\dots\dots(7)$$

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_{cs} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

- C = Kapasitas jalan SMP/jam
- C_o = Kapasitas jalan dasar (smp/jam)
- FC_w = Faktor penyesuaian lebar jalan
- C_{sp} = Faktor penyesuaian pemisahan arah
- FC_{sf} = Faktor penyesuaian hambatan samping
- FC_{cs} = Faktor penyesuaian ukuran kota

Tingkat pelayanan ruas jalan saat ini diketahui dengan membandingkan volume kendaraan yang saat ini terhitung dengan kapasitas jalan di Kampus Unand. Tingkat pelayanan ruas jalan pada saat RSP Unand telah beroperasi dihitung dengan membandingkan jumlah volume lalu lintas hasil prediksi tarikan kendaraan dengan kapasitas jalan yang sama dengan kapasitas jalan saat ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan akan menjelaskan data-data hasil pengukuran di wilayah studi, hasil analisis, dan pembahasannya. Pembahasan tersebut terdiri dari analisis kondisi eksisting wilayah studi meliputi kondisi jalan, meteorologi, dan volume lalu lintas eksisting Unand, analisis pencemar CO₂ sebelum RSP Unand beroperasi meliputi perhitungan laju emisi dan dispersi CO₂ disertai dengan pemetaannya dan tingkat pelayanan ruas jalan, serta analisis pencemar CO₂ akibat berdirinya RSP Unand meliputi prediksi tarikan kendaraan, prediksi laju emisi CO₂, prediksi dispersi CO₂ disertai dengan pemetaannya, dan tingkat pelayanan ruas jalan. Selain itu, juga akan menjelaskan hasil perbandingan pengaruh beroperasinya RSP Unand terhadap laju emisi CO₂, dispersi CO₂, dan tingkat pelayanan ruas jalan terhadap kondisi eksisting saat ini.

Kondisi Eksisting Lokasi Penelitian

a. Kondisi Jalan

Lokasi penelitian pada penelitian ini dilakukan di gerbang depan Kampus Unand (Jalan Pasar Baru-Kampus Unand), Jalan Lingkar Selatan Unand (di depan Fakultas Keperawatan Unand) dan gerbang samping Kampus Unand (Jalan Limau Manis-Kampus Unand). Lokasi ini dipilih berdasarkan kebijakan perencanaan transportasi Unand yang menetapkan tentang akses jalan ke RSP Unand. Rekapitulasi kondisi jalan di wilayah studi terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kondisi Jalan di Lokasi Penelitian

Parameter	Jl. Utama Gerbang Depan	Jl. Utama Gerbang Samping	Jl. Lingkar Selatan
Klasifikasi Jalan	Jalan perkotaan	Jalan perkotaan	Jalan perkotaan
Lebar Jalan	12 m	6,5 m	12 m
Tipe Jalan	Empat lajur terbagi	Dua lajur tak terbagi	Empat lajur terbagi
Tipe alenyemen	Gunung	Bukit	Datar
Persen pemisahan arah	50-50	50-50	50-50
Hambatan samping	Rendah	Rendah	Rendah
Ujung	Bundaran di depan gedung rektorat	Pertigaan Jalan Lingkar Selatan Portal	Bundaran di depan Fakultas Kedokteran
Titik Pengenal	Pangkal Gerbang depan Kampus Unand	Gerbang samping Kampus Unand	Bundaran Fakultas Teknik
Status Drainase	Terbuka	Terbuka	Terbuka
Trotoar Kanan	1 m	Tidak ada	1 m
Trotoar Kiri	1 m	Tidak ada	1 m
Jarak pohon dari pinggir jalan	0,5 m	1 m	0,5 m
Tata Guna Lahan	Pemukiman dan perguruan tinggi,	Perguruan tinggi	Perguruan tinggi

b. Kondisi Meteorologi

Berdasarkan hasil pengukuran, terlihat perbedaan suhu pada pagi, siang dan sore hari di lokasi penelitian dimana suhu pada siang hari lebih tinggi daripada suhu di pagi dan sore hari. Perbedaan suhu ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya kemiringan jatuhnya sinar matahari dan keadaan awan. Pada siang hari sudut jatuh sinar matahari lebih tegak lurus dibandingkan sudut jatuh matahari pada pagi dan sore hari sehingga

radiasi matahari yang diterima lokasi studi pada siang hari lebih besar dibandingkan pagi dan sore hari, akibatnya suhu pada siang hari akan lebih tinggi dibandingkan pada pagi dan sore hari. Keadaan awan di lokasi penelitian juga mempengaruhi radiasi matahari. Kondisi cuaca pada pagi dan sore hari cenderung lebih berawan dibandingkan pada siang hari yang cuacanya lebih cerah atau berawan sedikit. Hal ini menyebabkan pada pagi dan sore hari radiasi yang diterima lokasi studi lebih sedikit daripada siang hari. Menurut Swarinoto dan Sugiyono (2011) perbedaan suhu di setiap tempat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya lama penyinaran, kemiringan sinar matahari, keadaan awan, dan keadaan permukaan bumi.

Perbedaan tekanan pada pagi, siang dan sore hari disebabkan karena adanya perbedaan suhu. Suhu pada siang hari lebih tinggi daripada suhu pagi dan sore hari sehingga tekanan pada siang hari juga akan lebih tinggi daripada tekanan pagi dan sore hari. Yulfida (2013) menyatakan tekanan udara dipengaruhi oleh ketinggian tempat dan suhu. Perbedaan tekanan pada ketinggian yang sama disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari.

Kelembaban pada pagi dan sore hari lebih tinggi daripada kelembaban pada siang hari. Pada saat suhu udara rendah maka kelembaban udara akan meningkat dan sebaliknya. Suhu siang hari lebih tinggi dari pada suhu di pagi dan sore hari, sehingga kelembaban pada siang hari lebih rendah dari pada kelembaban di pagi dan sore hari. Kecepatan angin di wilayah studi terbesar terjadi pada siang hari akan tetapi perbedaan kecepatan angin antara pagi, siang, dan sore hari tidak jauh berbeda. Pada siang hari, turbulensi dan pergerakan vertikal sangat besar akibat pengaruh dari sinar matahari sehingga menyebabkan variasi kecepatan angin akan kecil karena adanya transfer energi yang besar antara berbagai lapisan atmosfer (Melissa, 2007).

Tabel 2 Data Kondisi Meteorologi di Kampus Unand Limau Manis

Waktu (WIB)	Parameter Meteorologi					
	T (°C)	P (inHg)	R (%)	Kecepatan Angin (m/detik)	Arah Angin	
Pagi (06.00 – 11.00 WIB)						
06.00	-	25,5	29,04	100	0,692	100 % BD
07.00	-	26,9	28,78	100	0,662	50% BD, 50% B
08.00	-	30,2	29,08	98,7	0,435	50% B, 25% BD, 25% Calm
09.00	-	31,1	29,08	99,3	0,337	50% TL, 25% T, 25% BD
10.00	-	31,5	29,07	97,5	0,490	50% BD, 25% T, 25% TL
Rata-rata		29,0	29,01	99,1	0,531	BD
Siang (11.00 – 15.00 WIB)						
11.00	-	32,3	29,05	95,1	0,498	75% B, 25% TG, 25% BD
12.00	-	33,0	29,04	92,3	0,653	50% BD, 50% B
13.00	-	31,3	29,03	95,4	0,627	50% TL, 25% BD, 25% U
14.00	-	29,6	29,00	97,6	0,652	25% TG, 25% B, 25% BL, 25% Calm
15.00	-	29,2	28,99	100	0,458	75% BD, 25% Calm
Rata-rata		31,5	29,03	95,1	0,608	B
Sore (15.00 – 18.00 WIB)						
15.00	-	29,2	28,99	100	0,458	75% BD, 25% Calm
16.00	-	29,6	29,00	99	0,333	100% BD
17.00	-	28,4	28,67	100	0,330	100% BD
18.00	-	29,1	28,89	99,67	0,374	BD
Rata-rata sehari		29,9	28,97	98,1	0,504	BD

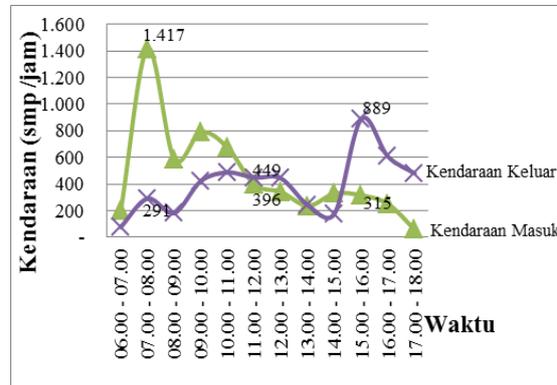
Ket:
 T = Suhu P = Tekanan RH = Kelembaban Relatif
 B = Barat S = Selatan BD = Barat Daya
 U = Utara TG = Tenggara BL = Barat Laut
 T = Timur TL = Timur Laut

Arah angin dominan pada pagi dan sore hari di lokasi penelitian berasal dari barat daya sedangkan pada siang hari berasal dari barat. Kampus Unand Limau Manis terletak di Kota Padang yang arah anginnya dipengaruhi oleh siklus angin darat dan angin laut. Angin laut terjadi pada pagi hingga menjelang sore hari, daratan menyerap energi panas lebih cepat dari lautan sehingga suhu udara di darat lebih panas daripada di laut. Akibatnya, udara panas di daratan akan naik dan digantikan udara dingin dari lautan sehingga angin berhembus dari laut ke darat (Yuliando, 2014). Pengambilan data meteorologi yang dilakukan oleh Yuliando (2014) pada tahun

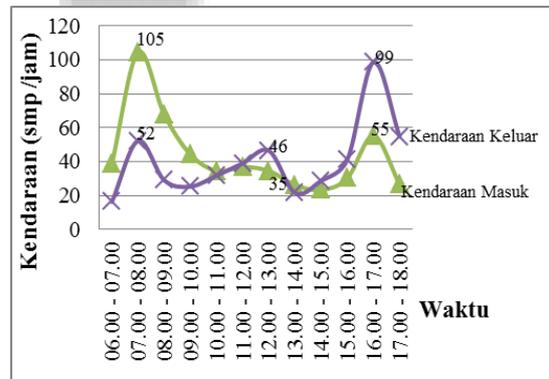
2013 di Kampus Unand Limau Manis menyimpulkan bahwa arah angin dominan pada siang hari berasal dari barat dan barat daya.

c. Pengukuran Volume Kendaraan

Fluktuasi jumlah kendaraan di ketiga lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3, 4, dan 5.



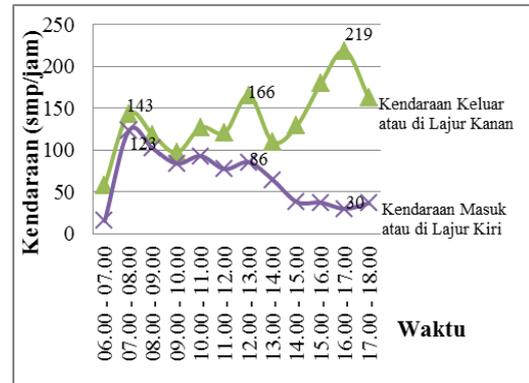
Gambar 3 Fluktuasi Volume Kendaraan yang Melewati Jalan Utama Gerbang Depan (Jl. Pasar Baru-Kampus Unand)



Gambar 4 Fluktuasi Volume Kendaraan yang Melewati Jalan Utama Gerbang Samping Kampus Unand (Jl. Limau Manis-Kampus Unand)

Berdasarkan Gambar 3, 4, dan 5, jam puncak pagi hari (waktu survei 06.00-11.00 WIB) di lokasi penelitian terjadi pada pukul 07.00-08.00. Volume kendaraan pada jam sibuk pagi di Jl. Utama Gerbang Depan dan Gerbang Samping didominasi oleh kendaraan yang masuk ke kawasan Kampus Unand. Hal ini terjadi karena jam 08.00 WIB merupakan jam sibuk untuk memulai aktivitas pendidikan di Kampus Unand, baik perkuliahan maupun kegiatan perkantoran. Volume kendaraan di Jalan Lingkar Selatan pada jam puncak pagi mengalami keseimbangan di lajur kiri dan

lajur kanan. Hal ini dikarenakan Jalan Lingkar Selatan akan dilalui oleh kendaraan masuk yang berasal dari gerbang depan dan gerbang samping kampus.



Gambar 5 Fluktuasi Volume Kendaraan yang Melewati Jalan Lingkar Selatan Kampus Unand (Jalan di Depan Fakultas Keperawatan)

Jam puncak siang hari (waktu survei 11.00-15.00 WIB) di lokasi penelitian terjadi pada pukul 11.00-12.00 WIB. Volume kendaraan yang masuk dan yang keluar dari kawasan Kampus Unand melalui Jalan Utama Gerbang Depan dan Gerbang Samping pada jam sibuk siang telah seimbang, dimana terjadi penurunan volume kendaraan yang masuk namun terjadi peningkatan volume kendaraan yang keluar, sedangkan di Jalan Lingkar Selatan terjadi penurunan volume kendaraan di lajur kiri dan kenaikan volume kendaraan di lajur kanan. Penurunan volume kendaraan yang masuk ke kawasan kampus disebabkan karena jumlah pengunjung yang masuk ke kawasan Unand pada siang hari lebih sedikit, yaitu mahasiswa yang memiliki jadwal perkuliahan pada *shift* 3 namun tidak memiliki jadwal pada *shift* 1 dan 2.

Jam puncak sore (waktu survei 15.00-18.00 WIB) di Jalan Utama Gerbang Depan Kampus Unand terjadi pada pukul 15.00-16.00 WIB dan di Jalan Utama Gerbang Samping dan Jalan Lingkar Selatan terjadi pada pukul 16.00-17.00 WIB. Volume kendaraan pada jam sibuk sore didominasi oleh kendaraan yang keluar dari kawasan Kampus Unand. Hal ini dikarenakan pada jam 15.00-16.00 WIB umumnya mahasiswa

dan civitas akademik telah selesai beraktivitas di kawasan kampus sehingga akan pulang atau keluar dari kawasan kampus. Kendaraan yang keluar dari kawasan kampus terus terjadi hingga jam 18.00 WIB namun mengalami penurunan kepadatan.

Analisis Emisi Gas Karbon Dioksida Sebelum RSP Unand Beroperasi

a. Laju Emisi CO₂

Laju emisi pada penelitian ini dihitung dengan mengalikan volume kendaraan dengan faktor emisinya menggunakan dua metode, yaitu menggunakan volume kendaraan dalam satuan unit kendaraan dan menggunakan volume kendaraan dalam satuan mobil penumpang. Jika laju emisi dihitung menggunakan volume kendaraan dalam satuan unit kendaraan, maka laju emisinya didapat dengan menjumlahkan seluruh laju emisi kendaraan yang berada di ruas jalan pada saat tersebut, sedangkan jika digunakan volume kendaraan dalam satuan mobil penumpang, maka laju emisi didapat dengan cara mengkalikan volume kendaraan dalam satuan mobil penumpang dengan faktor emisi rata-rata kendaraan. Rekapitulasi hasil perhitungan terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3 Laju Emisi CO₂ di Lokasi Penelitian

No	Lokasi	Waktu (Jam Puncak)	Laju Emisi CO ₂ (mg/m.jam)	
			Kendaraan Dalam Satuan Unit	Kendaraan Dalam Satuan smp
1	Jl. Utama	Pagi	395.481,54	395.482,27
2	Gerbang	Siang	183.826,20	195.645,64
3	Depan	Sore	259.911,14	278.689,97
4	Jl. Utama	Pagi	29.777,68	36.294,99
5	Gerbang	Siang	15.664,06	18.512,18
6	Samping	Sore	28.395,76	35.646,66
7	Jl. Lingkar	Pagi	60.837,75	62.147,22
8	Selatan	Siang	51.970,13	58.164,61
9		Sore	49.963,63	57.608,89

Perhitungan laju emisi berdasarkan volume kendaraan dalam satuan smp menghasilkan nilai laju emisi yang lebih tinggi dibandingkan jika dihitung berdasarkan volume kendaraan dalam satuan unit kendaraan. Hal ini dikarenakan ketika menggunakan satuan mobil penumpang, laju emisi dihitung dengan melakukan pendekatan faktor emisi yang disamakan untuk semua jenis kendaraan, sedangkan pada perhitungan berdasarkan volume kendaraan dalam satuan unit kendaraan, laju

emisi dihitung spesifik untuk setiap kendaraan, karena itu hasil perhitungan menggunakan volume kendaraan dalam satuan mobil penumpang menjadi lebih besar.

Perhitungan dengan kedua metode ini secara analisis statistik memiliki korelasi yang sangat kuat dengan nilai koefisien korelasi 0,999. Analisis *t-Test* memperlihatkan bahwa hasil perhitungan dari kedua metode memiliki nilai yang tidak berbeda secara statistik yang ditunjukkan dengan nilai $t = -0,111$ yang berada dalam daerah penerimaan untuk kepercayaan 95%, artinya perhitungan menggunakan volume kendaraan dalam satuan mobil penumpang bisa digunakan untuk menghitung laju emisi yang valid secara statistik. Perhitungan laju emisi ketika RSP telah beroperasi dihitung dengan menggunakan volume kendaraan dalam satuan mobil penumpang.

b. Perhitungan Dispersi CO₂ Menggunakan Software Caline4

Perhitungan dispersi CO₂ dilakukan pada jam puncak (jam 07.00–08.00 WIB) pada jalan-jalan yang direncanakan akan menjadi jalan akses ke RSP Unand jika nanti beroperasi. Sebelum menggunakan *software* Caline4 untuk memprediksi konsentrasi CO₂ di titik reseptor maka perlu dilakukan validasi terhadap *output* perhitungan *software* dengan cara membandingkan hasil perhitungan *software* Caline4 dengan data hasil pengukuran konsentrasi CO₂ pada titik reseptor secara langsung di lapangan. Perbandingan hasil perhitungan menggunakan Caline4 dengan hasil pengukuran CO₂ *roadside* terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4 memperlihatkan bahwa konsentrasi CO₂ yang hasil *output* Caline4 memiliki nilai yang lebih rendah daripada hasil pengukuran udara *roadside* di lapangan dikarenakan terdapat sumber CO₂ selain aktivitas transportasi yang berkontribusi terhadap hasil pengukuran CO₂ di lapangan yang tidak diperhitungkan oleh pemodelan. Perhitungan menggunakan Caline4 hanya memperhitungkan emisi CO₂ akibat aktivitas transportasi dan mengabaikan sumber lain, sedangkan pada pengukuran di lapangan CO₂ yang terukur adalah CO₂ pada titik reseptor yang berasal tidak hanya dari

kegiatan transportasi tapi juga dari sumber lain seperti CO₂ dari hasil respirasi manusia serta hasil penguraian senyawa organik.

Tabel 4 Perbandingan Nilai Konsentrasi CO₂ Roadside Hasil Output Caline4 dan Pengukuran Udara Roadside

No	Lokasi	Konsentrasi CO ₂ (ppm)	
		Pengukuran Udara Roadside	Output Software Caline4
1	Jl. Utama Gerbang Depan	28,2	21,3
2	Jl. di Depan Fakultas Ekonomi	9,4	5,4
3	Jl. di Depan Fakultas Hukum	10,4	5,9
4	Jl. di Depan Koperasi Mahasiswa Unand	15,3	12,1
5	Jl. Lingkar Selatan	9,6	5,4
6	Jl. Tanjakan di Fakultas Teknik	20,3	20,3

Analisis korelasi antara konsentrasi CO₂ hasil *output* Caline4 dengan data hasil pengukuran di lapangan menunjukkan bahwa kedua data ini memiliki korelasi yang kuat dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,605. Analisis validasi juga didukung oleh analisis *t-Test*. Perhitungan *t-Test* menggunakan tingkat kepercayaan 95% memperlihatkan bahwa hasil perhitungan berada dalam wilayah penerimaan nilai dengan $t = -0,508$ untuk data pengujian (n) sebesar 6 buah yang menunjukkan bahwa menggunakan Caline4 memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran di lapangan. Hasil analisis korelasi dan analisis *t-Test* menunjukkan bahwa *software* Caline4 mampu menghasilkan data yang valid secara statistik.

Perhitungan konsentrasi CO₂ dilakukan terhadap titik reseptor yang berada 5 m di kiri dan kanan badan jalan yang direncanakan akan menjadi akses ke RSP Unand ketika nanti beroperasi. Jalan-jalan tersebut adalah Jalan Utama Gerbang Depan, Jalan Utama Gerbang Samping, dan Jalan Lingkar Selatan Unand. Sketsa peletakan reseptor terlihat pada Gambar 6 dan pemetaan konsentrasi CO₂ hasil penggunaan *software Surfer* terlihat pada Gambar 7.

Tabel 5 Konsentrasi CO₂ Hasil Perhitungan Caline4 Sebelum RSP Unand Beroperasi

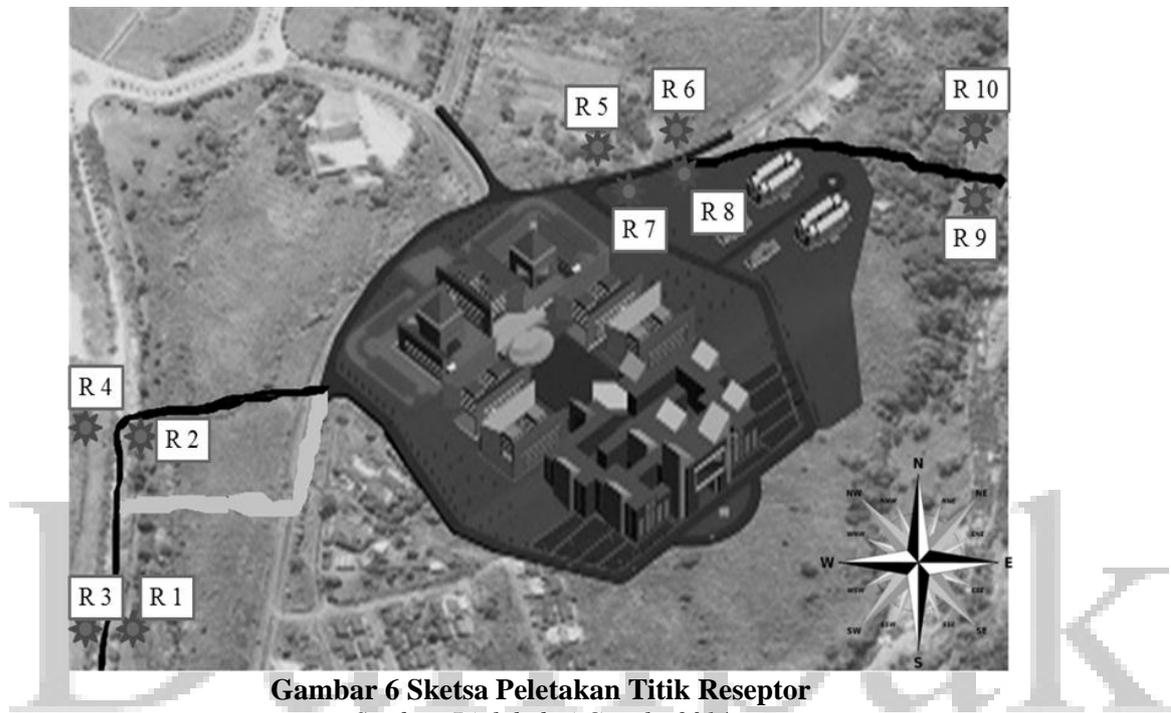
No	Titik	Peletakan	Konsentrasi (ppm)
1	Reseptor 1	5 m di kanan ruas Jl. Utama Gerbang Depan	13,5
2	Reseptor 2	5 m di kanan ruas Jl. Utama Gerbang Depan	31,3
3	Reseptor 3	5 m di kiri ruas Jl. Utama Gerbang Depan	9,9
4	Reseptor 4	5 m di kiri ruas Jl. Utama Gerbang Depan	8,1
5	Reseptor 5	5 m di kiri ruas Jl. Lingkar Selatan	7,9
6	Reseptor 6	5 m di kiri ruas Jl. Lingkar Selatan	10,9
7	Reseptor 7	5 m di kanan ruas Jl. Lingkar Selatan	5,9
8	Reseptor 8	5 m di kanan ruas Jl. Lingkar Selatan	5,8
9	Reseptor 9	5 m di kanan Jl. Utama Gerbang Samping	9,0
10	Reseptor 10	5 m di kiri Jl. Utama Gerbang Samping	6,6

Tabel 5 memperlihatkan bahwa konsentrasi CO₂ di sisi kiri dan kanan jalan memiliki nilai yang berbeda walaupun memiliki jarak yang sama dari badan jalan. Reseptor 2 dan 4 merupakan reseptor yang berada pada jarak 5 m di kiri dan kanan Jalan Utama Gerbang Depan. Kedua reseptor ini terletak segaris dan tegak lurus terhadap ruas jalan akan tetapi konsentrasi CO₂ di reseptor 2 lebih tinggi daripada konsentrasi di reseptor 4. Hal ini dikarenakan dispersi CO₂ dipengaruhi oleh faktor meteorologi. Pencemar akan didispersikan lebih banyak ke titik yang berada di hilir ruas jalan pada arah datangnya angin dominan. Angin dominan bertiup dari barat daya dan reseptor 2 terletak setelah ruas jalan pada arah angin dominan sehingga konsentrasi pada titik ini menjadi lebih tinggi. Hal serupa juga terjadi pada reseptor 1 dan 3, 5 dan 7, 6 dan 8, serta 9 dan 10, dimana konsentrasi di reseptor 3, 5, 6, dan 9 lebih tinggi daripada konsentrasi di reseptor 3, 7, 8, dan 10.

Gambar 7 memperlihatkan bahwa CO₂ akan terdispersi ke arah timur laut dari ruas jalan, sehingga lokasi ini perlu diperhatikan sebagai lokasi yang diharapkan mampu mereduksi CO₂. Kondisi eksisting saat ini memperlihatkan bahwa area penerima dispersi CO₂ dari aktivitas transportasi sebagian besar merupakan area penghijauan Kampus Unand. CO₂ di jalan Utama

Gerbang Depan Kampus Unand terdispersi ke sisi kanan ruas jalan. Pada sisi ini terdapat kawasan pemukiman dan hutan jati yang masih berada dalam kategori kawasan hijau. Akan tetapi saat ini dilakukan pembangunan Jalan *By Pass* antara Jalan Utama Gerbang Depan dengan Jalan Lingkar Selatan (Jalan di Depan Fakultas Kesehatan Masyarakat) sehingga hutan jati

di kawasan ini berkurang akibat adanya pembangunan. Jalan Utama Gerbang Depan Kampus Unand merupakan jalan yang memiliki volume kendaraan paling besar dan angkanya meningkat setiap tahunnya, oleh karena itu perlu dipertimbangkan untuk melakukan penanaman kembali untuk mengantisipasi peningkatan konsentrasi CO₂.



Gambar 6 Sketsa Peletakan Titik Reseptor

Sumber: Diolah dari Google, 2014



Gambar 7 Pemetaan Konsentrasi CO₂ di Kampus Unand Limau Manis

Sumber: Hasil Penelitian, 2014

CO₂ Jalan Utama Lingkar Selatan didispersikan ke kiri ruas jalan. Pada sisi ini

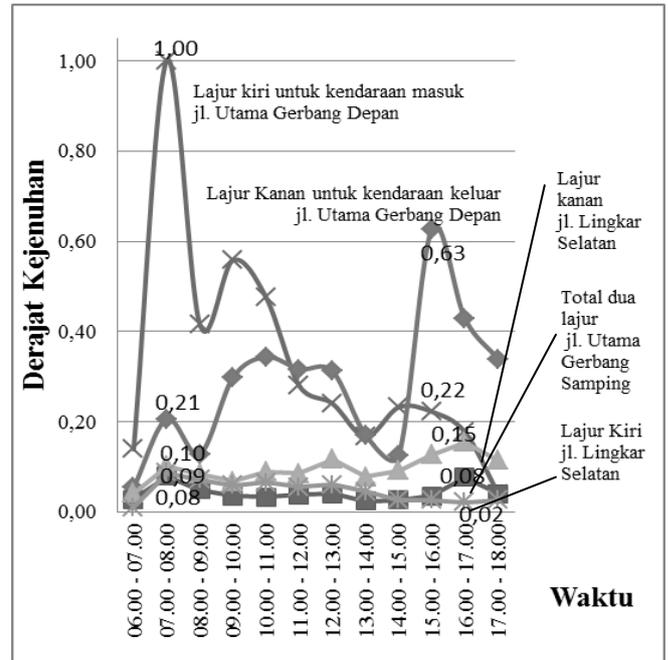
terdapat hutan Jati yang berada dalam wilayah Fakultas Hukum. Area hutan jati ini

merupakan satu-satunya kawasan penghijauan di area penerima dispersi CO₂ sehingga kawasan ini diharapkan tetap dijaga dan ditingkatkan fungsinya sebagai kawasan penghijauan, serta tidak mengalokasikan pembangunan infrastruktur kampus di kawasan ini. CO₂ di Jalan Utama Gerbang Samping Kampus Unand terdispersi ke sisi kanan jalan. Pada sisi ini terdapat kawasan penghijauan. Medan di sisi kanan jalan ini sedikit sulit dengan tebing yang terjal, sehingga akan sulit untuk melakukan penanaman pohon. Oleh karena itu upaya yang dilakukan adalah dengan tetap menjaga tanaman yang saat ini telah ada di kawasan tersebut.

c. Tingkat Pelayanan Ruas Jalan

Jalan Utama Gerbang Depan dan Jalan Lingkar Selatan memiliki tipe jalan empat lajur terbagi dengan lebar jalan per lajur 6 m dengan tipe *alinyemen* jalan gunung. Pemisahan arah lalu lintas sama besar atau 50-50 dengan hambatan samping yang rendah. Kondisi ini menyebabkan Jalan Utama Gerbang Depan memiliki kapasitas jalan sebesar 1.417 smp/jam per lajur jalan. Jalan Utama Gerbang Samping memiliki tipe jalan dua lajur tak terbagi dengan lebar jalan 6,5 m dan tipe *alinyemen* jalan bukit. Pemisahan arah lalu lintas sama besar atau 50-50 dengan hambatan samping yang rendah. Jalan Utama Gerbang Samping memiliki kapasitas jalan yang lebih kecil dibandingkan dengan dua jalan lainnya, yaitu 1.996 smp/jam untuk total kedua lajur, yaitu lajur kiri dan lajur kanan.

Gambar 8 menunjukkan bahwa terjadi fluktuasi tingkat pelayanan ruas jalan pada setiap 1 jam pengamatan. Fluktuasi ini disebabkan karena volume kendaraan di ruas jalan tidak terdistribusi merata di setiap jam, akan tetapi terjadi perubahan volume yang dipengaruhi oleh aktivitas pengguna jalan. Ketika suatu ruas jalan dengan kapasitas yang bernilai tetap dilalui oleh volume kendaraan yang berbeda-beda jumlahnya, maka akan mengakibatkan terjadinya fluktuasi tingkat pelayanan ruas jalan. Tingkat pelayanan ruas jalan dinyatakan dalam angka derajat kejenuhan. Semakin tinggi nilai derajat kejenuhan, semakin buruk tingkat pelayanan ruas jalan pada saat itu.



Gambar 8 Fluktuasi Tingkat Pelayanan Ruas Jalan di Lokasi Penelitian

Tingkat pelayanan ruas jalan lajur kiri terburuk terjadi di Jalan Utama Gerbang Depan dengan nilai derajat kejenuhan 1 dan tingkat pelayanan kelas E, artinya pada jam ini volume kendaraan mendekati kapasitas, arus kendaraan akan terhambat, dan kecepatan kendaraan rendah, sedangkan di dua lokasi penelitian lainnya derajat kejenuhan pada lajur kiri bernilai 0,1 dan 0,08, artinya tingkat pelayanan berada pada tingkatan A dimana terjadi arus bebas, volume rendah dan kecepatan tinggi, pengemudi dapat memilih kecepatan yang dikehendaki. Rendahnya tingkat pelayanan ruas jalan lajur kiri pada pagi hari terjadi karena pada jam 07.00-08.00 WIB volume kendaraan berada pada nilai tertinggi akibat waktu dimulainya aktivitas di Kampus Unand sehingga kendaraan di lajur kiri menjadi padat.

Pengaruh Beroperasinya RSP Unand Terhadap Laju Emisi dan Dispersi CO₂ Serta Tingkat Pelayanan Ruas Jalan

a. Volume Kendaraan Pada Tahun Pertama RSP Unand Beroperasi (Tahun 2016)

Prediksi penambahan kendaraan akibat aktivitas pendidikan di Kampus Unand dilakukan dengan melihat pertumbuhan kendaraan di Kampus Unand. Volume kendaraan total yang melewati Jalan Utama

Gerbang Depan Kampus Unand dalam sehari pada tahun 2013 adalah sebesar 9.365 smp dan pada tahun 2014 sebesar 10.336 smp. Peningkatan yang terjadi adalah sebesar 9,24 %. Persen pertumbuhan ini digunakan untuk memprediksi volume kendaraan pada tahun 2016.

Prediksi volume kendaraan akibat beroperasinya RSP Unand dilakukan dengan menghubungkan data sekunder rumah sakit terhadap volume kendaraan melalui Persamaan 5 dan 6. Persamaan ini dibuat pada tahun 2007 dan dalam selang waktu 7 tahun telah terjadi banyak perubahan data sekunder di Rumah Sakit TNI Reksodiwiryo, sehingga dilakukanlah validasi persamaan tarikan kendaraan untuk memastikan keakuratan persamaan yang dihasilkan. Persamaan ini divalidasi dengan memasukkan volume kendaraan hasil perhitungan menggunakan persamaan tarikan kendaraan dan hasil perhitungan langsung di lapangan.

Analisis korelasi memperlihatkan bahwa volume kendaraan hasil pengukuran langsung dan perhitungan menggunakan persamaan tarikan kendaraan berkorelasi kuat dengan nilai koefisien korelasi 1. Analisis *t-Test* memperlihatkan bahwa nilai yang dihasilkan dari perhitungan menggunakan persamaan tarikan kendaraan tidak berbeda dengan data hasil perhitungan di lapangan. Oleh sebab itu, persamaan tarikan kendaraan ini dapat digunakan untuk memprediksi volume kendaraan akibat beroperasinya RSP Unand. Perbedaan volume kendaraan disebabkan karena penggunaan persamaan yang merupakan model dengan kemampuan memprediksi selalu kurang dari 100%.

Berdasarkan perhitungan prediksi kendaraan didapat bahwa kendaraan yang akan masuk ke Kampus Unand akibat beroperasinya RSP Unand pada saat jam puncak adalah sebesar 94 unit mobil dan 64 unit sepeda motor. Berdasarkan survei di rumah sakit perbandingan, mobil yang masuk ke rumah sakit 99,99 % merupakan kendaraan ringan. Sehingga disimpulkan bahwa volume kendaraan yang masuk ke kawasan kampus adalah 158 unit atau 110 smp pada saat jam puncak.

Perbandingan volume kendaraan di Jalan Utama Gerbang Depan dan Jalan Utama Gerbang Samping saat ini adalah 10:1, perbandingan ini juga dipakai untuk memprediksikan pertambahan volume kendaraan akibat beroperasinya RSP Unand. 91% dari volume kendaraan akibat beroperasinya RSP Unand masuk dari Jalan Utama Gerbang Depan dan 9% sisanya masuk melalui Jalan Utama Gerbang Samping. Survei pencacahan lalu lintas di RS TNI Reksodiwiryo Padang, memperlihatkan bahwa pada jam puncak pagi perbandingan volume kendaraan yang masuk dan keluar dari kawasan rumah sakit adalah 3:1, artinya 75% dari total kendaraan yang masuk ke kawasan Unand disebabkan oleh beroperasinya rumah sakit merupakan volume kendaraan yang masuk dan 25% lainnya merupakan kendaraan keluar. Rekapitulasi volume kendaraan sebelum dan setelah RSP Unand beroperasi di lokasi penelitian terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Volume Kendaraan Pada Saat Jam Puncak Sebelum dan Setelah RSP Unand Beroperasi

No	Lokasi	Volume Kendaraan (smp)		
		Sebelum RSP Beroperasi	Setelah RSP Beroperasi	
1	Jl. Utama Gerbang Depan	Kendaraan masuk	1.417	1.770
		Kendaraan Keluar	291	373
2	Jl. Utama Gerbang Samping	Total Kendaraan	157	159
3	Jl. Lingkar Selatan	Lajur Kiri	123	147
		Lajur Kanan	143	281

Beban kendaraan yang tidak merata di kedua pintu masuk Kampus Unand mengakibatkan perbedaan konsentrasi CO₂ *roadside* dan tingkat pelayanan yang sangat signifikan antar keduanya. Jalan Utama Gerbang Depan berada pada tingkat pelayanan ruas jalan yang rendah serta menghasilkan emisi CO₂ paling tinggi, sedangkan Jalan Utama Gerbang Samping memiliki tingkat pelayanan ruas jalan yang sangat baik serta emisi CO₂ rendah. Oleh karena itu permasalahan tingkat pelayanan ruas jalan dan emisi CO₂ di Jalan Utama Gerbang

Depan dapat dikurangi dengan memanfaatkan Jalan Utama Gerbang Samping. 90% kendaraan yang masuk ke kawasan Kampus Unand akibat beroperasinya RSP diharapkan masuk melalui Jalan Utama gerbang samping dan 10% yang dianggap sebagai kondisi darurat boleh masuk melalui Jalan Utama Gerbang Depan. Perbandingan volume kendaraan di sebelum RSP beroperasi, setelah RSP beroperasi dan setelah RSP beroperasi dengan menerapkan pembagian jalan akses utama terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Volume Kendaraan Pada Saat Jam Puncak Sebelum RSP Beropersi, Setelah RSP Beroperasi dan Kondisi Rekomendasi

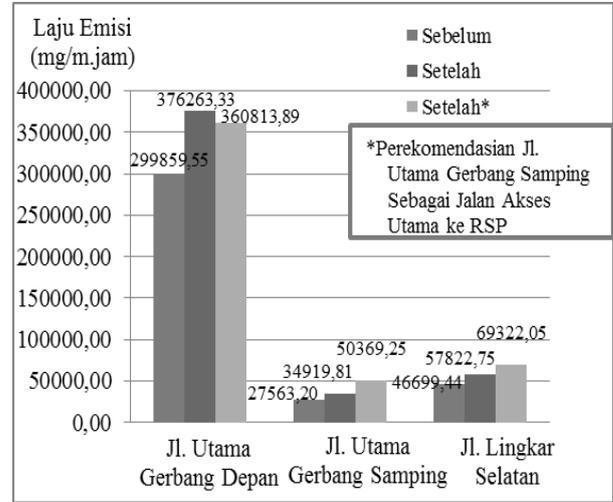
No	Lokasi	Volume Kendaraan (smp)		
		Sebelum RSP Beroperasi	Setelah RSP Beroperasi	Rekomendasi
1	Kendaraan masuk dan keluar Jl. Utama Gerbang depan	1.417	1.770	1.704
		291	373	351
		1.708	2.143	2.055
2	Jl. Utama Gerbang Samping	157	159	287
3	Jl. Lingkar Selatan	123	155	149
		143	182	245
		266	337	395

b. Laju Emisi CO₂

Pengalokasian Jalan Utama Gerbang Samping mengakibatkan penurunan volume kendaraan di Jalan Utama Gerbang depan serta pertambahan volume kendaraan di Jalan Utama Gerbang Samping, dan Jalan Lingkar Selatan. Perubahan volume kendaraan mengakibatkan terjadi perubahan laju emisi dan konsentrasi di titik reseptor yang terletak di sekitar ruas jalan. Perbandingan laju emisi setelah RSP beroperasi, dan pada kondisi rekomendasi pengoptimalan Jalan Utama Gerbang Samping terlihat pada Gambar 9.

Gambar 9 memperlihatkan bahwa Jalan Utama Gerbang Depan merupakan jalan yang mengalami kenaikan laju emisi paling tinggi, diikuti oleh Jalan Lingkar Selatan, dan kenaikan paling sedikit terjadi di Jalan Utama Gerbang Samping. Perbedaan kenaikan laju emisi ini disebabkan karena pertambahan volume kendaraan di lokasi

penelitian juga tidak sama. Jalan Utama Gerbang Depan merupakan jalan yang memiliki volume kendaraan paling besar dibandingkan kedua lokasi lainnya dikarenakan jalan ini menyatu dengan jalan utama Kecamatan Pauh sehingga akses masuk ke kawasan Kampus Unand lebih diminati pada gerbang ini dibandingkan Jalan Utama Gerbang Samping.



Gambar 9 Laju Emisi CO₂ Sebelum, Setelah RSP Beroperasi dan Pada Kondisi Pengoptimalan Jalan Utama Gerbang Samping

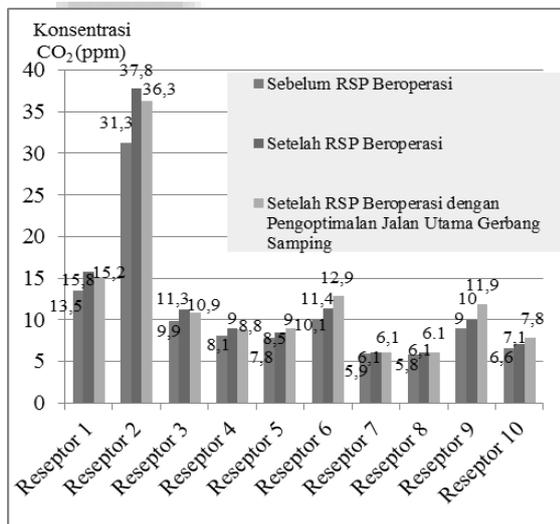
Meskipun volume kendaraan akibat aktivitas rumah sakit pada Jalan Utama Gerbang Samping dan Jalan Lingkar Selatan memiliki nilai yang sama akan tetapi kenaikan laju emisi pada Jalan Lingkar Selatan lebih tinggi dibandingkan Jalan Utama Gerbang Samping. Hal ini dikarenakan volume kendaraan akibat aktivitas pendidikan pada Jalan Lingkar Selatan lebih tinggi dibandingkan Jalan Utama Gerbang Samping. Beroperasinya RSP Unand akan menaikkan laju emisi sebesar hingga 76.403,77 mg/m.jam di jalan Kampus Unand Limau Manis. Analisis statistik memperlihatkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara laju emisi sebelum dan setelah RSP Beroperasi.

Pengoptimalan Jalan Utama Gerbang Samping sebagai jalan akses utama ke RSP Unand mengakibatkan laju emisi di Jalan Utama Gerbang Depan mengalami penurunan sedangkan laju emisi di Jalan Utama Gerbang Samping dan Jalan Lingkar Selatan mengalami kenaikan

dikarenakan volume kendaraan di Jalan Utama Gerbang Depan akibat aktivitas rumah sakit dialihkan ke Jalan Utama Gerbang Samping. Pengoptimalan Jalan Utama Gerbang samping akan mereduksi laju emisi di Jalan Utama Gerbang Depan sebesar 15.449,44 mg/m.jam dan penurunan ini bernilai signifikan secara statistik. Penurunan laju emisi di Jalan Utama Gerbang Depan secara tidak langsung akan menurunkan konsentrasi CO₂ udara ambien di sekitar Jalan Utama Gerbang Depan.

c. Dispersi CO₂

Pertambahan kendaraan yang melewati suatu ruas jalan akan menyebabkan kenaikan laju emisi CO₂ dan secara tidak langsung akan menaikkan konsentrasi CO₂ yang diterima oleh titik-titik yang berada pada jarak tertentu dari badan jalan tersebut.



Gambar 10 Konsentrasi CO₂ di Titik Reseptor Sebelum, Setelah RSP Beroperasi dan Pada Kondisi Pengoptimalan Jalan Utama Gerbang Samping

Gambar 10 memperlihatkan bahwa pertambahan yang terjadi pada masing-masing reseptor berbeda walaupun reseptor tersebut berada di sekitar ruas jalan yang sama. Reseptor 2, 6, dan 9 merupakan reseptor yang berada di hilir arah angin dominan di ruas jalan penelitian dengan konsentrasi CO₂ terbesar dimiliki oleh reseptor 2, diikuti oleh reseptor 6, dan

terakhir reseptor 10. Perbedaan ini disebabkan karena perbedaan volume kendaraan yang melewati ruas jalan. Jalan Utama Gerbang Depan memiliki volume kendaraan lebih besar daripada Jalan Lingkar Selatan sehingga konsentrasi CO₂ di reseptor 2 lebih tinggi daripada reseptor 6. Volume kendaraan di Jalan Lingkar Selatan lebih besar daripada volume kendaraan di Jalan Utama Gerbang samping, sehingga konsentrasi CO₂ reseptor 6 lebih tinggi daripada reseptor 9.

Reseptor 1, 3, dan 4 berada pada jalan yang sama dengan reseptor 2 akan tetapi memiliki kenaikan konsentrasi CO₂ lebih rendah daripada reseptor 2. Hal ini dikarenakan reseptor 2 berada di hilir arah datangnya angin dominan di Jalan Utama Gerbang Depan sehingga dampak pertambahan volume kendaraan paling besar terjadi pada reseptor 2. Hal serupa juga terjadi pada reseptor 6 dan reseptor 10, keduanya merupakan reseptor yang mengalami kenaikan konsentrasi paling tinggi dibandingkan reseptor lain di ruas jalan yang sama. Hal ini juga disebabkan karena reseptor 6 dan reseptor 10 berada di hilir arah angin dominan sehingga konsentrasinya lebih besar.

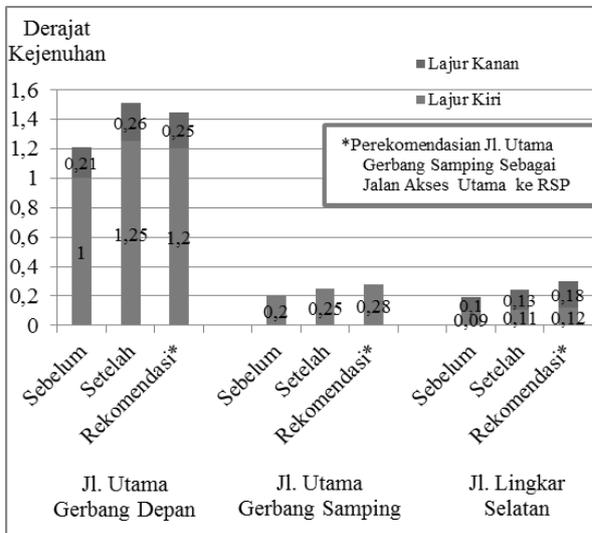
Beroperasinya RSP Unand dapat menaikkan konsentrasi CO₂ secara signifikan di reseptor sebesar 0,2 ppm hingga 6,5 ppm. Jalan Utama Gerbang Depan merupakan jalan dengan pembebanan CO₂ paling tinggi, padahal kawasan di sekitar Jalan Utama Gerbang Depan merupakan kawasan berkembang yang wilayah hijaunya cenderung berkurang. Jalan Utama Gerbang Samping memiliki pembebanan CO₂ paling rendah, padahal di sekitar jalan ini banyak terdapat kawasan hijau.

Pengoptimalan Jalan Utama Gerbang Samping sebagai jalan akses utama ke rumah sakit menyebabkan pereduksian konsentrasi CO₂ di titik reseptor yang berada di sekitar Jalan Utama Gerbang Depan dan pertambahan nilai konsentrasi di Jalan Utama Gerbang Samping dan Jalan Lingkar Selatan. Hal ini dikarenakan volume kendaraan di Jalan Utama Gerbang Depan mengalami pengurangan sedang di dua ruas jalan lainnya mengalami pertambahan. Pengoptimalan Jalan Utama Gerbang

Samping sebagai jalan akses utama ke RSP Unand akan mengakibatkan penurunan konsentrasi CO₂ yang berarti di sekitar Jalan Utama Gerbang depan sebesar 0,2 ppm hingga 1,5 ppm, serta meningkatkan konsentrasi CO₂ di sekitar Jalan Utama Gerbang Samping dan Jalan Lingkar Selatan sebesar 0 hingga 1,9 ppm.

d. Tingkat Pelayanan Ruas Jalan

Tabel 7 memperlihatkan bahwa terdapat penambahan volume kendaraan di masing-masing ruas jalan dan terdapat perbedaan volume kendaraan antara lajur kiri dan lajur kanan jalan. Perbedaan ini menyebabkan pembebanan yang tidak merata antara lajur kiri dan kanan sehingga penurunan tingkat pelayanan ruas jalan dilihat terhadap masing-masing lajur. Perbandingan tingkat pelayanan ruas jalan yang ditandai dengan perubahan derajat kejenuhan sebelum RSP Unand beroperasi dan setelah beroperasi terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Tingkat Pelayanan Ruas Jalan yang Dinyatakan dengan Derajat Kejenuhan Sebelum, Setelah RSP Beroperasi dan Pada Kondisi Pengoptimalan Jalan Utama Gerbang Samping

Gambar 11 memperlihatkan bahwa beroperasinya RSP Unand mengakibatkan penurunan tingkat pelayanan ruas jalan yang ditandai dengan meningkatnya angka derajat kejenuhan sebesar 0,02 hingga 0,25. Jalan Utama Gerbang Depan merupakan jalan dengan tingkat pelayanan terburuk, terutama pada lajur kiri. Hal ini dikarenakan volume kendaraan yang melewati ruas jalan ini

tinggi akibat kombinasi volume kendaraan aktivitas pendidikan dan rumah sakit. Jalan Utama Gerbang samping mengalami penurunan tingkat pelayanan ruas jalan yang kecil karena penambahan kendaraan yang rendah, begitupun dengan Jalan Lingkar Selatan. Tingkat pelayanan ruas Jalan Utama Gerbang Depan telah berada pada Kelas F dengan peningkatan derajat kejenuhan 0,25, sedangkan Jalan Utama Gerbang Samping dan Jalan Lingkar Selatan tetap pada kelas A dengan peningkatan derajat kejenuhan hanya 0,05 dan 0,03. Secara keseluruhan, beroperasinya RSP memberikan perubahan nilai derajat kejenuhan yang berarti di lokasi penelitian.

Volume kendaraan di lajur kiri Jalan Utama Gerbang Depan harus menjadi perhatian pihak Unand dalam melakukan perencanaan pengaturan transportasi. Tingginya volume kendaraan pada jam puncak sangat dipengaruhi oleh jadwal perkuliahan dan kegiatan perkantoran. Salah satu upaya yang bisa dilakukan adalah dengan pereduksian dengan mengalokasikan Jalan Utama Gerbang Depan hanya untuk aktivitas pendidikan juga bisa dijadikan pertimbangan. Pengaplikasian alternatif ini akan sangat sulit dilaksanakan karena kecenderungan kendaraan yang masuk ke kawasan Unand lebih banyak melalui gerbang depan. Akan tetapi dengan perencanaan manajemen dan pengawasan yang baik antara semua pihak tidak tertutup kemungkinan hal ini bisa dilaksanakan.

Gambar 11 memperlihatkan bahwa rekomendasi pengoptimalan Jalan Utama Gerbang Samping sebagai jalan akses utama ke RSP menyebabkan tingkat pelayanan ruas Jalan di jalan Utama Gerbang Depan mengalami kenaikan yang berarti yang ditandai dengan menurunnya nilai derajat kejenuhan, sedangkan Jalan Utama Gerbang Samping dan Jalan Lingkar Selatan mengalami penurunan tingkat pelayanan ruas jalan yang ditandai dengan meningkatnya nilai derajat kejenuhan. Tingkat pelayanan ruas jalan di Jalan Utama Gerbang Depan ketika akses rumah sakit dialihkan ke Jalan Utama Gerbang Samping tetap berada pada kelas F, namun nilai derajat kejenuhannya berkurang sebesar 0,01 hingga 0,05. Pengalihan volume kendaraan ini menyebabkan kenaikan derajat kejenuhan

di Jalan Utama Gerbang Samping dan Jalan Lingkar Selatan sebesar 0,01 hingga 0,05, akan tetapi tingkat pelayanan di kedua jalan ini masih berada pada tingkatan yang baik.

SIMPULAN

Volume lalu lintas yang melewati Jalan Utama Gerbang Depan, Jalan Utama Gerbang Samping, dan Jalan Lingkar Selatan Kampus Unand pada saat jam puncak adalah sebesar 1.708 smp, 157 smp, dan 266 smp.

Tingkat pelayanan ruas jalan terendah pada saat jam puncak terjadi di Jalan Utama Gerbang Depan dengan nilai derajat kejenuhan 1, diikuti oleh Jalan Lintas Selatan dengan nilai derajat kejenuhan 0,19, dan Jalan Utama Gerbang Samping dengan nilai derajat kejenuhan 0,08.

Laju Emisi CO₂ dari kegiatan transportasi tertinggi berada di Jalan Utama Gerbang Depan sebesar 395.481,5 mg/m.jam, diikuti oleh Jalan Lingkar Selatan dan Jalan Utama Gerbang Samping sebesar 60.837,7 mg/m.jam dan 29.777,6 mg/m.jam.

CO₂ akibat aktivitas transportasi di Kampus Unand terdispersi ke arah timur laut dan menyebabkan konsentrasi di titik yang berada 5 m dari badan jalan searah datangnya angin dominan di jalan Utama Gerbang Depan, Jalan Utama Gerbang Samping, dan Jalan Lintas Selatan sebesar 31,3 ppm, 10,9 ppm, dan 9 ppm.

Beroperasinya RSP Unand dapat menaikkan laju emisi dan konsentrasi CO₂ ambien sebesar 76.403,77 mg/m.jam dan 6,5 ppm, serta menurunkan tingkat pelayanan ruas jalan yang ditandai dengan peningkatan nilai derajat kejenuhan hingga 0,25.

DAFTAR PUSTAKA

Arnaldi, D. 2007. *Pemodelan Tarikan Perjalanan Pada Rumah Sakit di Kota Padang*. Skripsi. Padang: Fakultas Teknik Universitas Andalas.

Bohoh, Y. Wicaksono, A. dan Bowoputro, H. 2011. *Kajian Dampak Lalu Lintas Akibat Pemindahan Pasar di Malinau*. Jurnal Rekayasa Sipil. Vol. 5. No. 3 (diakses 17 Februari 2014).

Direktorat Jenderal Bina Marga dan Direktorat Bina Jalan Kota. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: Sweroad bekerja sama dengan PT Bina Karya (Persero).

IPCC. 2007. *Revised 2007 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reverence Manual*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

JICA (Japan International Cooperation Agency). 1997. *Main Report: The Study on The Integrated Air Quality Management for Jakarta Metropolitan Area*. Indonesia: Bapedal.

Melissa. 2007. *Validasi dan Aplikasi Model Caline4 pada Jalur Trans-Jakarta Busway*. Skripsi. Bandung: Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung.

Sari, N.H. 2012. *Inventori Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂ dan CH₄) dari Kendaraan Bermotor di Kota Padang*. Skripsi. Padang: Fakultas Teknik Universitas Andalas.

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

Swarinoto, Y.S dan Sugiyono. 2011. *Pemanfaatan Suhu dan Kelembaban Udara dalam Persamaan Regresi untuk Simulasi Prediksi Total Hujan Bulanan di Bandar Lampung*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika. Volume 12 No.3 (diakses tanggal 6 September 2014).

Yulfida H, Y. 2013. *Perbandingan Kadar Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) di Udara Ambien Berdasarkan Keberadaan Pohon Angsana (Pterocarpus indicus) di Beberapa Jalan Raya di Kota Medan Tahun 2012*. Skripsi. Medan: Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatera Utara.

Yuliando, D.T. 2012. *Pemetaan Konsentrasi Total Suspended Particulate (TSP) dan Konsentrasi Logam Ca, Si, Al, Fe, Na di Udara Ambien Kawasan Barat PT Semen Padang dan Sekitarnya*. Skripsi. Padang: Fakultas Teknik Universitas Andalas.