

PENGUKURAN CO PADA RUAS JALAN UNTUK MEREDUKSI POLUSI UDARA YANG DITIMBULKAN OLEH KENDARAAN BERMOTOR

Tampanatu P. F. Sompie¹, Sandri L. Sengkey², Syanne Pangemanan³

^{1,2,3}Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Kampus Politeknik Manado, Telp 0431-815288,
email: tpf_sompie@yahoo.com, sandrisengkey@yahoo.com, upe_sp2000@yahoo.com

Abstrak

Indikator kemajuan suatu wilayah atau kota ditunjukkan oleh pembangunan yang terjadi pada kota tersebut dengan berbagai aspek di dalamnya. Salah satu aspek yang dapat dijadikan parameter pengukuran adalah di bidang transportasi. Di perkotaan, kemajuan ini dapat dilihat dengan bertambahnya jumlah kendaraan yang lalu lalang di jalan-jalan perkotaan yang mengindikasikan peningkatan ekonomi penduduk di kawasan tersebut yang dibarengi dengan tingginya aktivitas kerja masyarakat, yang pada umumnya diakibatkan oleh bertambahnya populasi penduduk. Pertambahan jumlah kendaraan sering tidak diimbangi dengan pembangunan jalan yang dilakukan, akibatnya terjadi kemacetan terutama pada jam-jam sibuk. Dampak dari kemacetan ini menimbulkan pencemaran udara, dimana jenis polutan yang paling banyak dihasilkan oleh buangan kendaraan bermotor adalah CO. Tujuan penelitian ini adalah mengukur konsentrasi CO yang dihasilkan kendaraan bermotor pada ruas jalan kemudian merumuskan strategi pengendalian pencemaran udara yang disebabkan oleh kendaraan bermotor. Metode yang digunakan adalah metode survey dan observasi lapangan; pemodelan polusi udara skala mikro digunakan untuk menganalisa data. Hasil menunjukkan bahwa 80,22% - 92,00% persentasi gas CO di udara pada ruas jalan yang ditinjau dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Perawatan dan pemeriksaan kendaraan bermotor, pemakaian bahan bakar ramah lingkungan, pembatasan jumlah kendaraan, serta peningkatan kecepatan rata-rata kendaraan perlu dilakukan untuk mengendalikan pencemaran udara di kawasan ini.

Kata kunci: gas CO; kendaraan bermotor, pencemaran udara, ruas jalan

Pendahuluan

Perkembangan kota mengindikasikan tingkat kemajuan pada wilayah tersebut. Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor dapat menjadi cerminan dari meningkatnya ekonomi masyarakat perkotaan. Aktivitas kerja penduduk kota yang tinggi sangat tergantung pada sarana transportasi kendaraan bermotor, dimana jarak dari tempat tinggal menuju tempat kerja tidak menjadi kendala yang berarti. Di Kota Manado, peningkatan dalam jumlah kendaraan bermotor terjadi cukup pesat, dimana pada selang waktu tahun 2005 sampai tahun 2010 terjadi peningkatan sebesar 87,95% untuk kendaraan roda dua dan sebesar 40,59% untuk kendaraan roda empat. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor ini semestinya diimbangi dengan penambahan jalan baru serta peningkatan sarana jalan yang memadai. Akan tetapi di Kota Manado hampir tidak terdapat pembangunan jalan baru. Ketidakseimbangan antara pertambahan jumlah kendaraan bermotor dengan sarana jalan yang tersedia mengakibatkan pada beberapa ruas jalan yang menjadi jalur utama kendaraan umum terjadi kemacetan terutama pada jam-jam sibuk.

Kemacetan kendaraan bermotor ini memberikan dampak negatif berupa pencemaran udara. Penggunaan bahan bakar minyak yang dipergunakan sebagai penggerak bagi kendaraan, sistem ventilasi mesin dan yang terutama buangan dari knalpot kendaraan hasil pembakaran bahan bakar yang merupakan campuran gas dan aerosol menjadi penyebab utama keluarnya berbagai pencemar. Polutan yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor antara lain karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (CO₂). Dari berbagai jenis polutan ini, CO merupakan salah satu polutan yang paling banyak dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Polutan CO yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor memberi dampak negatif bagi kesehatan manusia dikarenakan CO merupakan bahan pencemar berbantuan gas yang beracun. Senyawa ini mengikat haemoglobin (Hb) yang berfungsi mengantarkan oksigen ke seluruh tubuh, yang menyebabkan fungsi Hb untuk membawa oksigen ke seluruh tubuh menjadi terganggu. Berkurangnya persediaan oksigen ke seluruh tubuh akan membuat sesak napas dan dapat menyebabkan kematian apabila tidak segera mendapat udara segar kembali.

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan ditinjau dalam makalah ini tentang pencemaran udara yang bersumber pada aktivitas kendaraan bermotor berupa pengukuran CO

pada ruas jalan, dimana pengamatan yang dilakukan pada ruas jalan Sam Ratulangi Manado. Hal ini bertujuan untuk dapat menentukan konsentrasi gas CO yang diakibatkan oleh lalu lintas pada ruas jalan, sehingga dapat diperoleh tindakan pengendalian pencemaran udara akibat kendaraan bermotor.

Dasar Teori

Udara merupakan campuran beberapa gas yang perbandingannya tidak tetap, tergantung pada keadaan suhu udara, tekanan udara dan lingkungan sekitarnya. Udara adalah juga atmosfer yang berada di sekeliling bumi yang fungsinya sangat penting bagi kehidupan di dunia ini. Menurut Khisty dan Lalil (2006) pencemaran udara merupakan pengotoran udara sekitar oleh senyawa kimiawi atau partikel-partikel padat pada suatu konsentrasi yang berpengaruh buruk pada kesehatan manusia. Pencemaran udara menurut Wardhana (2006) diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing di dalam udara yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya. Kehadiran bahan atau zat asing di dalam udara dalam jumlah tertentu serta berada di udara dalam waktu yang cukup lama, akan dapat mengganggu kehidupan manusia, hewan dan binatang. Bila keadaan seperti tersebut terjadi, maka udara dikatakan telah tercemar. Pencemaran udara akibat kegiatan transportasi yang sangat penting adalah yang diakibatkan oleh kendaraan bermotor di jalan raya. Dari beberapa komponen pencemaran udara, yang paling banyak berpengaruh adalah karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), belerang oksida (SO_x), hidrokarbon (HC), partikel (partikulat). Menurut Munawar (2005) hampir di seluruh kota besar terjadi permasalahan transportasi berupa pencemaran udara. Ditinjau dari jumlah polutan yang mencemari udara, sebagian besar polutan disumbangkan oleh sektor transportasi, khususnya transportasi darat.

Karbon monoksida (CO) merupakan suatu gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan juga tidak berasa. Sumber dari gas ini yaitu segala proses pembakaran yang tidak sempurna dari bahan-bahan yang mengandung karbon atau oleh pembakaran di bawah tekanan dan temperatur tinggi seperti yang terjadi pada pembakaran internal di dalam mesin. Gas CO dalam jumlah banyak (konsentrasi tinggi) akan dapat mempengaruhi kesehatan. Pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, maka baku mutu udara ambien nasional untuk gas CO adalah 30.000 µg/m³ pada waktu pengukuran 1 jam dan 10.000 µg/m³ pada waktu pengukuran 24 jam. Baku mutu udara ambien nasional adalah batas maksimum zat / komponen pencemar diperbolehkan ada / masuk di udara ambien untuk semua kawasan di Indonesia. Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir, yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya.

Secara umum terbentuknya gas CO adalah melalui proses berikut:

1. Pembakaran bahan bakar minyak (fosil) dengan udara yang reaksinya tidak stoikiometris adalah pada harga $ER > 1$
2. Pada suhu tinggi terjadi reaksi antara karbon dioksida (CO₂) dengan karbon C yang menghasilkan gas CO
3. Pada suhu tinggi, CO₂ dapat terurai kembali menjadi CO dan oksigen

Proses stoikiometris adalah proses pembakaran dimana semua atom oksigen bereaksi sempurna dengan bahan bakar. *Equivalent Ratio* (ER) adalah perbandingan antara jumlah bahan bakar yang digunakan dengan jumlah bahan bakar stoikiometris.

ER = 1, berarti reaksi stoikiometris tepat sama dengan pemakaian udara

ER < 1, berarti pemakaian udara kurang dari keperluan reaksi stoikiometris

ER > 1, berarti pemakaian udara lebih dari keperluan reaksi stoikiometris

Pada pembakaran dengan ER > 1, bahan bakar yang digunakan lebih banyak dari udara, sehingga hal ini memungkinkan terjadinya gas CO.

Akibat yang ditimbulkan oleh emisi kendaraan bermotor berupa pencemaran udara sangat merugikan dikarenakan gas CO pada jumlah banyak (konsentrasi tinggi) dapat menyebabkan gangguan kesehatan, bahkan dapat mengakibatkan kematian. Karbon monoksida apabila terhisap ke dalam paru-paru akan ikut peredaran darah dan akan menghalangi masuknya oksigen yang dibutuhkan oleh tubuh. Hal ini terjadi karena gas CO bersifat racun metabolis, ikut bereaksi secara metabolis dengan darah (Wardhana, 2004). Seperti halnya oksigen, gas CO mudah beraksi dengan darah (hemoglobin). Ikatan CO dengan darah (karboksihemoglobin) jauh lebih stabil dari pada oksigen dengan darah (oksihemoglobin). Keadaan ini menyebabkan darah menjadi lebih mudah menangkap gas CO, sehingga menyebabkan fungsi darah sebagai pengangkut oksigen terganggu.

Pengendalian pencemaran udara menurut Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 meliputi upaya pencegahan dan/atau penanggulangan pencemaran udara dan pemulihan mutu udara. Terdapat tiga aspek utama yang menentukan intensitas terhadap dampak lingkungan khususnya pencemaran udara, kebisingan dan penggunaan energi di daerah perkotaan, yaitu:

1. Aspek perencanaan transportasi (manusia dan barang)
2. Aspek rekayasa transportasi meliputi pola aliran moda transportasi, sarana jalan, sistem lalu lintas, dan faktor transportasi lainnya
3. Aspek teknik mesin dan sumber energi (bahan bakar) alat transportasi

Dalam banyak hal masalah pencemaran udara perkotaan akibat transportasi akan timbul karena sinergitas ketiga aspek tersebut. Perencanaan pola transportasi yang tidak memadai, baik dalam hal sarana maupun sistem lalu lintasnya, akan sangat menentukan intensitas pencemaran udara yang terjadi. Kapadatan lalu lintas yang sering disertai dengan kemacetan, pola jalan kendaraan berhenti yang sering, serta kecepatan aliran lalu lintas akan sangat mempengaruhi secara langsung besarnya emisi bahan pencemar yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor. Di pihak lain, jenis dan karakteristik perangkat mesin, sistem pembakaran, dan jenis bahan bakar, merupakan faktor yang akan ikut menentukan emisi pencemar yang dikeluarkan oleh setiap kendaraan bermotor (Widowati, et.al, 2008).

Sektor transportasi memproduksi pencemar udara akibat pembakaran bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan bermotor. Berdasarkan hal ini maka strategi untuk menurunkan pencemar udara sektor transportasi adalah dengan cara menurunkan emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Faktor emisi diperlukan untuk perhitungan emisi dari suatu sumber di suatu daerah dalam suatu periode tertentu. Faktor emisi bergantung dari jenis bahan bakar dan sektor kegiatan yang memanfaatkan bahan bakar tersebut serta efisiensi pemanfaatan energi yang dilakukan. Untuk sektor transportasi di Indonesia bahan bakar yang biasa dipakai yaitu bensin, solar dan gas, sehingga perlu diteliti bagaimana faktor emisi dari masing-masing jenis bahan bakar tersebut. Disamping itu, faktor lain yang sangat berpengaruh yaitu konsumsi bahan bakar.

Model merupakan suatu bentuk matematis yang dalam hal ini digunakan untuk memperkirakan konsentrasi polutan dalam waktu dan ruang sebagai fungsi dari distribusi emisi dan parameter meteorologi serta keadaan geofisik, dimana model juga berguna untuk mengestimasi kualitas udara pada suatu titik oleh adanya emisi dari sumber tertentu. Model prediksi polusi udara skala mikro akibat lalu lintas yang dikeluarkan oleh Dirjen Bina Marga sesuai dengan keputusan No. 60/KPTS/Db/1999, terbagi dua model yaitu Model Sumber Volume atau *Osaka Municipal Government* (OMG) dan Model Sumber Garis. Model sumber volume (OMG) menitikberatkan pemodelan pada kondisi pencampuran (*mixing*) udara dipermukaan jalan untuk *street canyon*; model ini menyebutkan adanya suatu volume imajiner yang melayang di atas permukaan jalan yang dibentuk oleh emisi kendaraan bermotor yang melintasi ruas jalan tersebut. Sementara perhitungan Model sumber garis didasarkan pada asumsi bahwa emisi polutan di jalan raya adalah sebuah garis yang tak terbatas sehingga setiap titik yang memiliki jarak yang sama dari tepi jalan akan menerima polusi dengan konsentrasi yang sama. Untuk pemilihan model didasarkan pada kondisi geometrik lingkungan jalan, dalam hal ini kerapatan bangunan atau *Building Coverage Ratio* (BCR) dan ketinggian bangunan.

Tabel 1. Kriteria Pemilihan Model

Ketinggian Bangunan h (m)	Kerapatan Bangunan (BCR)	Model Dasar
< 10	< atau = 0,3	Sumber Garis
> atau = 10	< atau = 0,3	Sumber Garis
> atau = 10	> 0,3	Sumber Volume (OMG)

Pada dasarnya model sumber garis digunakan pada lokasi dengan lingkungan yang terbuka. Kondisi di luar ketentuan tersebut, dianggap bahwa jalan telah terbentuk sebagai *street canyon* (lembah jalan) dimana terjadi turbulensi angin di antara kedua sisi jalan akibat ketinggian gedung yang menghambat hembusan angin, atau dengan kata lain lokasi tersebut merupakan lingkungan tertutup sehingga angin tidak berhembus secara bebas dan akibatnya turbulensi lateral terjadi secara sempurna.

Metodologi

Survey pendahuluan dilakukan untuk menentukan lokasi penelitian yang kemudian ditetapkan lokasi penelitian pada ruas jalan Sam Ratulangi Manado berdasarkan pertimbangan bahwa pada lokasi ini terdapat persekolahan, pusat-pusat perdagangan, perkantoran serta perbelanjaan, sehingga sering terjadi kemacetan yang diakibatkan oleh terjadinya tarikan lalu lintas yang besar pada ruas jalan ini. Sementara segmen jalan yang dijadikan titik penelitian diambil berdasarkan pertimbangan pada segmen ini terdapat pertemuan arus lalu lintas dari 3 (tiga) ruas jalan utama, serta komposisi kendaraan yang melewati segmen ini bervariasi. Penelitian ini bersifat deskriptif yang menjelaskan tingkat pencemaran udara dengan melakukan survey dan pengamatan langsung di lapangan. Analisis data dilakukan dengan menggunakan pemodelan polusi udara skala mikro, dimana teknik analisa data dilakukan dengan pendekatan kuantitatif untuk menentukan konsentrasi polutan akibat emisi kendaraan bermotor.

Hasil dan Diskusi

Lokasi penelitian ini berada di kota Manado, dengan ruas jalan yang menjadi lokasi pengamatan adalah ruas jalan Sam Ratulangi Manado dengan data-data umum berupa:

- Jumlah penduduk : 410.481 jiwa (Badan Pusat Statisti Kota Manado, 2011)
- Tipe jalan : 4-lajur 1-arah tak-berbagi (4/1 UD)
- Panjang segmen : 163 meter
- Lebar jalur : 14 meter

Berdasarkan tata guna lahan, di sisi kiri dan kanan segmen jalan terdapat bangunan toko, gedung perdagangan / jasa, rumah makan, persekolahan, dengan ketinggian bangunan yang berbeda-beda. Untuk menentukan tinggi bangunan digunakan asumsi tinggi per lantai 3 meter, dan untuk menghitung rasio bangunan terhadap tanah (BCR) digunakan foto udara lokasi pengamatan dengan bantuan *Google Earth*. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh ketinggian bangunan (h) yang ada pada lokasi penelitian rata-rata 7,1 meter, dan BCR rata-rata 0,71.

Tabel 2, Tinggi Bangunan dan BCR

No. Bangunan	Tinggi Bangunan (m)	Luas Tanah (m ²)	Luas Bangunan (m ²)	BCR
1	3	560	349	0.62
2	3	448	288	0.64
3	9	1368	1080	0.79
4	6	728	364	0.50
5	9	175.75	147.25	0.84
6	9	111	93	0.84
7	9	285	165	0.58
8	6	160	125	0.78
9	6	128	100	0.78
10	9	448	228	0.51
11	10.5	256	200	0.78
12	12	850	550	0.65
13	6	602	462	0.77
14	3	516	396	0.77
15	6	4719	3692	0.78
Rata-rata	7.1			0.71

Untuk perhitungan pemodelan di lokasi pengamatan digunakan Model Sumber Garis, berdasarkan kondisi di lokasi $h < 10$ m dan $BCR > 0,3$ tidak ditentukan model dasarnya. Meskipun $BCR > 0,3$ namun dengan didasarkan pada keadaan lingkungan dimana terdapat bukaan berupa lorong-lorong dan ketinggian bangunan kurang dari 10 meter sehingga angin masih bisa berhembus secara bebas, maka kondisi *street canyon* belum tepat digunakan.

Data hasil pengukuran udara ambien menunjukkan besarnya konsentrasi gas CO yang ada di udara, yang merupakan hasil dari berbagai sumber pencemar. Data hasil perhitungan yang menunjukkan konsentrasi gas CO yang ada di udara yang dihasilkan hanya oleh sumber pencemar lalu lintas.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Perhitungan CO Dengan Hasil Pengukuran Udara Ambien

Hari	Hasil Perhitungan	Hasil Pengukuran Ambien		Selisih	
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(ppm)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(%)
Senin					
Pagi	10903.06	10.8	12342.86	1439.80	11.67
Siang	15577.07	15.2	17371.43	1794.35	10.33
Sore	13422.55	10.1	11542.86	-1879.69	-16.28

Lanjutan Tabel 3

Sabtu					
Pagi	7885.54	7.5	8571.43	685.88	8.00
Siang	8777.92	8.6	9828.57	1050.66	10.69
Sore	13028.31	9.7	11085.71	-1942.60	-17.52
Minggu					
Pagi	8020.62	7.7	8800.00	779.38	8.86
Siang	7242.99	7.9	9028.57	1785.59	19.78
Sore	9809.96	7.2	8228.57	-1581.39	-19.22

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, terdapat selisih minus dimana hasil pengukuran udara ambien lebih kecil daripada hasil perhitungan dan hal ini terjadi pada jam padat sore untuk setiap pengamatan. Selisih negatif ini hanya terjadi pada sore hari dikarenakan oleh intensitas cahaya panas matahari yang semakin berkurang menyebabkan suhu permukaan bumi semakin rendah sehingga hasil pengukuran udara ambien lebih kecil. Kondisi dimana hasil perhitungan lebih besar antara lain dapat disebabkan oleh faktor-faktor berupa pengambilan data kecepatan angin dan penentuan stabilitas atmosfer yang tidak sesuai dengan kondisi di lokasi. Pada saat pengambilan sampel untuk kecepatan angin, terdapat kemungkinan dilakukan pada saat kecepatan anginnya rendah sehingga konsentrasi CO jadi tinggi. Selain itu, penentuan stabilitas atmosfer yang kurang tepat bisa menjadi penyebab lainnya. Jika dilihat dari selisih positifnya, berdasarkan tabel di atas dapat terlihat selisih hasil pengukuran udara ambien dengan hasil perhitungan berkisar 8,00% - 19,78%. Hasil ini dapat disimpulkan bahwa konsentrasi gas CO yang berasal dari sumber-sumber pencemar yang lain selain lalu lintas sebesar 8,00% - 19,78%. Sumber-sumber pencemar ini dilihat dari tata guna lahan di lokasi penelitian berasal dari industri rumah makan, rumah tangga dan persampahan.

Berdasarkan hasil analisa, konsentrasi gas CO di lokasi pengamatan masih berada di bawah baku mutu udara ambien, sehingga strategi pengendalian yang perlu dilakukan berupa langkah-langkah pencegahan agar konsentrasi gas CO tidak meningkat mendekati ambang batas. Untuk melakukan pengendalian, perlu memperhatikan pada sumber pencemar yaitu emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor sehingga strategi yang perlu dilakukan adalah:

- Pemeriksaan dan perawatan kendaraan bermotor
Berdasarkan data hasil uji emisi yang dilakukan pada bulan April 2009 di kota Manado terhadap 324 kendaraan berbahan bakar bensin, 145 kendaraan lulus uji emisi, sedangkan 179 kendaraan atau sekitar 55,24% tidak lulus. Uji emisi ini dilakukan terhadap kandungan CO dan HC. Hasil ini memperlihatkan bahwa lebih dari 50% kendaraan tidak memenuhi batas baku mutu emisi sehingga apabila tidak segera ditindaklanjuti dapat menyebabkan kenaikan konsentrasi gas CO di udara dengan cepat.
- Meningkatkan kecepatan rata-rata kendaraan
Laju emisi kendaraan juga dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan, semakin rendah kecepatan kendaraan maka CO yang dihasilkan semakin meningkat. Di lokasi pengamatan merupakan lokasi yang sering mengalami kemacetan terutama pada jam-jam padat dikarenakan daerah tersebut merupakan kawasan persekolahan yang cukup besar, juga terdapat rumah makan, pertokoan serta perkantoran. Upaya yang dapat dilakukan untuk dapat meningkatkan kecepatan kendaraan dengan meningkatkan kapasitas ruas jalan, dimana hal ini dapat dilakukan dengan memperkecil faktor hambatan samping yang ada.
- Membatasi jumlah kendaraan
Jumlah kendaraan berbanding lurus dengan kekuatan emisi, hal ini berarti semakin banyak jumlah kendaraan yang melintas di jalan, semakin besar emisi yang dilepaskan ke udara. Berdasarkan hasil pengamatan di lokasi penelitian, jumlah kendaraan yang melintas didominasi oleh kendaraan pribadi. Kondisi ini sama juga terjadi dengan kota-kota lain di Indonesia. Dalam upaya untuk membatasi jumlah kendaraan, maka perlu dilakukan usaha-usaha untuk menarik pengguna kendaraan pribadi beralih ke moda transportasi angkutan umum, seperti meningkatkan pelayanan angkutan umum terutama menyangkut faktor keamanan, kenyamanan, dan kemudahan akses memperoleh angkutan umum.
- Pemakaian bahan bakar ramah lingkungan
Penggunaan kendaraan berbahan bakar ramah lingkungan akan dapat mengurangi konsentrasi polutan yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Upaya mewujudkan transportasi yang ramah lingkungan pada dasarnya dapat dilakukan dengan upaya mencegah terjadinya perjalanan yang tidak perlu (*unnecessary mobility*) atau dengan penggunaan teknologi angkutan yang dapat mengurangi dampak lingkungan akibat kendaraan bermotor.

Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis yang dilakukan mengenai tingkat konsentrasi gas CO yang diakibatkan oleh aktivitas lalu lintas pada ruas jalan yang menjadi objek penelitian berada di ruas jalan Sam Ratulangi Manado, yaitu: persentasi gas CO yang terdapat di udara sebesar 80,22% - 92,00% dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Diperlukan tindakan pencegahan untuk mengendalikan pencemaran udara agar konsentrasi CO dapat dikendalikan dan tidak meningkat pesat, dimana dilihat dari sumber pencemar yaitu emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor maka pemeriksaan dan perawatan kendaraan bermotor, pemakaian bahan bakar ramah lingkungan, pembatasan jumlah kendaraan, serta peningkatan kecepatan rata-rata kendaraan perlu dilakukan.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik Kota Manado., (2011), "*Manado Dalam Angka*"
- Departemen Pekerjaan Umum., (1999), "*Tata Cara Prediksi Polusi Udara Skala Mikro Akibat Lalu Lintas*", Penerbit Mediatama Saptakarya, Jakarta
- Khisty J. C. dan Lall, K. B., (2006), "*Dasar-Dasar Rekayasa Transportasi*", Erlangga, Jakarta
- Miro, F., (2002), "*Perencanaan Transportasi*", Penerbit Erlangga, Surabaya
- Munawar, A., (2005), "*Dasar-Dasar Teknik Transportasi*", Beta Offset, Yogyakarta
- Morlok, E., "(1991), "*Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*", Penerbit Erlangga, Surabaya
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama, Jakarta
- Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Jakarta
- Ryadi, S., (1982), "*Pencemaran Udara*", Penerbit Usaha Nasional, Surabaya
- Wardhana, A. W., (2004), "*Dampak Pencemaran Lingkungan*", Edisi Revisi, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta
- Widowati, W., Sastiono, A., Jusuf, R., (2008), "*Efek Toksik Logam – Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*", Penerbit Andi Offset, Yogyakarta