

KAJIAN KORELASI TINGKAT KEPADATAN LALU LINTAS DI KOTA SEMARANG DENGAN KONSENTRASI CO DAN Pb

Widayani *) ; Purwanto**); Danny Sutisnanto**)

Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro,
Jl. Imam Barjo No. 3 Semarang, 50238

*) Subdit Bina Lingkungan Ditjen Praswil Dep. Kimpraswil

***) Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang

Ringkasan

Kota Semarang mempunyai potensi peningkatan kepadatan lalu lintas yang berakibat pada kemacetan, dan masyarakat tidak merasakan dampak akibat kemacetan sebagai inefisiensi ekonomi, karena bersifat *intangibile*. CO (Karbonmonoksida) yang berasal dari gas buang kendaraan, dalam kondisi *Idle* (diam) lebih besar 4-6% dibandingkan dengan kondisi berjalan normal 1-4%, demikian halnya dengan Pb (timbal) bila Hb darah anak berusia 5-10 tahun ditemukan kadar timbal 0,30 ppm, dapat menurunkan tingkat kecerdasan.

Kemacetan akibat volume kendaraan pada waktu aktifitas masyarakat yang secara bersamaan, menimbulkan pencemaran udara berupa CO dan Pb di udara dan ini perlu dicarikan solusi penanganannya.

Penelitian dilakukan pada bulan Februari 2004 pada tiga ruas jalan Kota Semarang (Teuku Umar, Brigjen Katamso dan MT. Umar) di korelasikan dan digunakan *Model Gaussian Plume* untuk mendapatkan hubungan dan prediksi konsentrasi CO dan Pb di udara dengan jumlah kendaraan dimasa yang akan datang

Korelasi antara jumlah kendaraan dengan peningkatan konsentrasi CO dan Pb berkorelasi positif pada saat waktu aktifitas masyarakat dimulai dengan tingkat korelasi yang berbeda. Hasil menunjukkan bahwa volume kendaraan tertinggi pada ruas jalan Teuku Umar dan Brigjen Katamso pada jam 06.30-07.30 dan 16.30-17.30 WIB sementara jalan MT. Haryono volume kendaraan tertinggi pada sore hari (16.30-17.30 WIB) sedangkan konsentrasi CO tertinggi di ketiga ruas jalan tersebut ditemukan pada jam 16.30-17.30 WIB dan telah melampaui Baku Mutu CO Udara Ambien Propinsi Jawa Tengah, sementara konsentrasi Pb ditemukan tertinggi pada jam 16.30-17.30 WIB.

Mengingat permasalahan dan potensi ketiga ruas jalan yang bervariasi maka alternatif pengendalian peningkatan konsentrasi CO dan Pb di udara akibat kepadatan lalu lintas pada masing-masing ruas jalan juga berbeda, yang meliputi pengalihan arus, pengaturan waktu dan pemakaian ruas jalan, dan penataan lingkungan jalan.

Kata kunci : CO (Karbon monoksida), Pb (Plumbum), Pencemaran Udara, Tingkat kepadatan lalu lintas

I. Pendahuluan

Semarang sebagai kota propinsi dan kota industri mempunyai daya tarik bagi tenaga kerja yang berakibat pada peningkatan aktifitas dan kepadatan penduduk, menuntut pelayanan jasa

angkutan yang memadai bagi masyarakat. Angkutan umum yang ada belum dapat memberikan pelayanan yang maksimal (nyaman dan aman), maka penggunaan kendaraan pribadi masih merupakan alternatif berkendara yang masih

diminati terutama masyarakat menengah keatas.

Mobilitas warga kota Semarang yang tinggi menjadikan beban jalan-jalan di perkotaan mengalami kemacetan akibat pemakaian jalan dengan waktu yang bersamaan. Masyarakat sebagai pengguna tidak merasakan dampak akibat kemacetan sebagai inefisiensi ekonomi, karena bersifat *intangibile*, artinya tidak dapat langsung diukur dengan rupiah, padahal biaya sosial ekonomi akibat kemacetan ini sangat besar. Pencemaran udara yang berasal dari gas buang kendaraan, berupa CO (Karbonmonoksida) dalam kondisi *Idle* (diam) lebih besar 4-6% dibandingkan dengan kondisi kendaraan berjalan normal sebesar 1-4% (Sidjabat, Obelin, 2000). Isnaeni dkk (2001), membagi sumber gas buang CO berdasarkan jenis bahan bakar dan kendaraan, dimana kendaraan penumpang (pribadi) dengan bahan bakar bensin menimbulkan CO tertinggi sebesar 462.63 gram/liter, dibandingkan dengan jenis bahan bakar disel sebesar 11.86 gram/liter.

CO (Karbonmonoksida) yang terakumulasi dengan gas lainnya di udara dapat menimbulkan keracunan bagi manusia dalam bentuk COHb (*karboksihemoglobin*) pada darah. Afinitas CO yang lebih besar dibandingkan oksigen (O₂) terhadap Hb menyebabkan fungsi Hb untuk membawa oksigen ke seluruh tubuh dapat mengakibatkan terganggunya syaraf yang memperlambat

refleksi. CO juga dapat menyebabkan kejang berlanjut kepada ketidaksadaran dan kematian. (Soedomo;2001).

Demikian halnya dengan timbal (Pb) yang dikeluarkan dari bahan bakar bensin kendaraan merupakan suatu ancaman kesehatan yang signifikan. Bank Dunia (2002) telah mengidentifikasi pengeluaran emisi timbal dari bensin sebagai suatu bahaya lingkungan yang besar bagi orang Indonesia, khususnya anak-anak. Pengaruh kesehatan pada sistem syaraf, ginjal, reproduksi, liver, jantung dan urat darah serta lambung dan usus. Dampak pada golongan anak-anak terhadap tingkat intelegensi mereka sangat sensitive, perkembangan pengetahuan dan tingkah laku dapat juga terpengaruh secara signifikan karena timbal. Bila dalam darah anak berusia 5-10 tahun ditemukan kadar timbal 0,30 ppm, maka dapat menyebabkan gerakan otot berlebihan, sehingga bisa menurunkan tingkat kecerdasan IQ). Setiap kenaikan kadar timbal dalam darah sebesar 10 mikrogram bisa menurunkan IQ 2,5 poin. (Aminah, 2002)

Mengingat dampak akibat zat pencemar CO dan Pb yang berasal dari gas buang kendaraan bermotor terhadap kesehatan, maka pencegahan, pengawasan dan pengendalian menjadi hal yang sangat penting, sehingga perbaikan dan pengaturan (*management*) diseluruh komponen transportasi diharapkan menjadi suatu tindakan yang efektif, sehingga dampak yang di

timbulkan akibat pencemaran udara dapat berkurang.

II. Materi dan Metode

2.1. Pengukuran Variabel

a. Perhitungan volume kendaraan

Penghitungan dilakukan secara manual dengan menggunakan counter dan formulir survey lalu lintas.

b. Pencatatan waktu

Waktu penelitian dicatat bersamaan dengan penghitungan volume lalu lintas dan pengukuran CO dan Pb di udara.

c. Pengukuran CO (Karbonmonoksida)

Pengambilan CO di udara dilakukan secara langsung dengan menggunakan mobil pemantauan udara model *IR Correlation Carbon Monoxide Analyzer by Environment s.a* (CO11M-LCD).

d. Pengukuran Pb (Timbal)

Pengambilan partikel udara menggunakan alat *High Volume Air Sampler* (HVAS) yang terhisap dan tertahan di permukaan filter, hasil detruksi asam diukur dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) untuk mengetahui kadar Pb di udara ambient.

2.2. Analisis Tingkat Pelayanan

Hasil rekapitulasi dari volume kendaraan merupakan bahan analisis kapasitas jalan atau v/c yang menunjukkan tingkat pelayanan (*Level of Service*). dengan persamaan berikut :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_{cs} \quad (\text{smp/jam})$$

dimana :

C = Kapasitas (smp/jam)

C_o = Kapasitas dasar (smp/jam)

FC_w = Faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas

FC_{sp} = Faktor penyesuaian pemisahan arah

FC_s = Faktor penyesuaian hambatan samping

FC_{cs} = Faktor penyesuaian ukurankota

2.3 Analisis Korelasi

Korelasi dinyatakan dengan koefisien (r) dan merentang dari -1 sampai +1. Koefisien 1, dengan tanda + atau -, menunjukkan korelasi sempurna antara dua perubahan. Sebaliknya, koefisien nol berarti tidak ada korelasi sama sekali. Keragaman dalam derajat korelasi dinyatakan oleh koefisien yang merentang dari 0 sampai 1 dari -1 sampai 0. Koefisien penentu (r^2) dapat dipakai sebagai taksiran untuk kekuatan kaitan antara dua perubahan yang berkorelasi, Korelasi volume kendaraan (X) terhadap konsentrasi CO/Pb di udara (Y) adalah $Y = a X$

2.4 Analisis Model Gaussian Plume

Pelepasan polutan ke udara secara transfer dan disperse dipengaruhi oleh kecepatan angin (U) yang secara kontinyu digunakan dan merupakan pelepasan yang *steady state* pada permukaan tanah

dengan gerakan angin kearah x pada kecepatan konstan u sepanjang sumbu x (pada y = z = 0) dinyatakan jika kecepatan angin besar maka sifat kontaminan akan menurun dan atau sebaliknya dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_{\max} = \frac{10^6 Q_{CO/Pb}}{\sqrt{2\pi} \tau_{ii} \bar{u} Ht \rho} \quad \text{Untuk itu}$$

persamaan *Model Gaussian Plume* yang digunakan

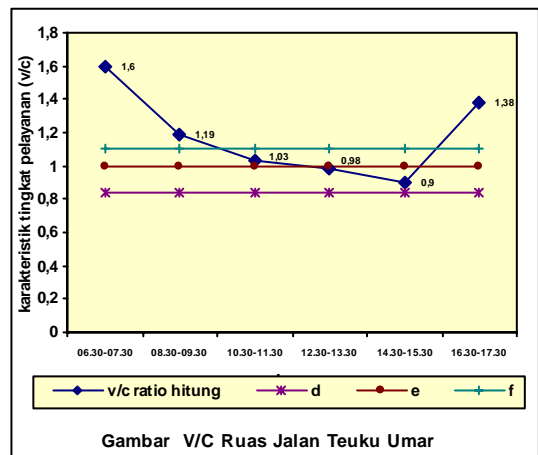
$$\text{adalah : } C_{\max} = \text{Kons} \frac{n}{u}$$

III. Hasil dan Pembahasan

Ruas jalan Teuku Umar hampir di sepanjang hari mengalami kepadatan lalu lintas, dari perhitungan v/c pada waktu-waktu penelitian, terlihat tingkat pelayanan jalan pada pagi dan sore hari pada batas bawah diatas tingkat pelayanan dengan kategori "D" yang artinya arus tidak stabil, kecepatan terganggu yang terkadang terhenti serta munculnya antrian panjang yang berakibat pada kecepatan rata-rata tidak dapat dipertahankan, sementara batas atas telah melampaui tingkat pelayanan kategori "F" yang artinya arus lalu lintas yang terjadi sudah dalam kondisi terpaksa dan terjadi kemacetan, kecepatan rendah, terjadi antrian yang panjang dan terjadi hambatan-hambatan. Beberapa penyebab berkurangnya kecepatan lalu lintas pada ruas jalan ini adalah :

- Prilaku pengendara yang berhenti tidak pada tempatnya,

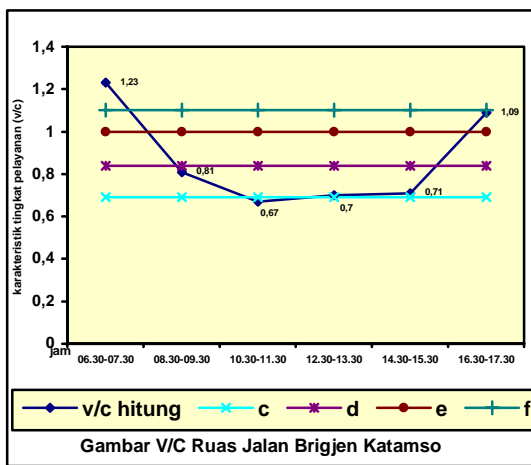
- Perpotongan jalan dan fariasi lajur dari 4 menjadi 2 lajur di sepanjang ruas jalan Teuku Umar
- Lebar badan jalan yang bervariasi dan terjadinya penyempitan badan jalan (*bottle neck*).
- Perbedaan ketinggian (elevasi) jalan yang lumayan tinggi sekitar 25%
- Tingginya nilai v/c ratio pada ruas jalan Teuku Umar juga disebabkan oleh banyaknya jenis kendaraan bus, truk, microbus dan angkot yang jumlahnya mendekati 50%.



Gambar 1. v/c ruas jalan Teuku Umar

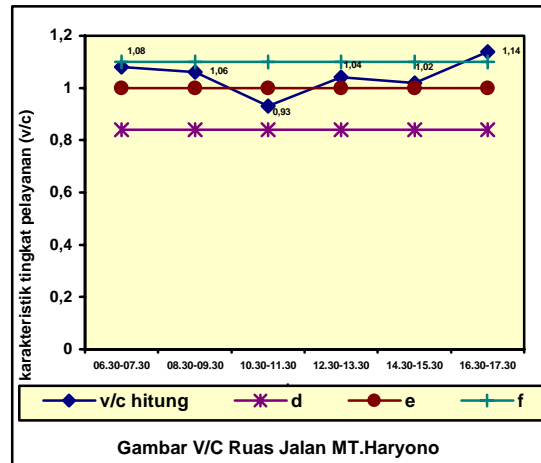
Ruas jalan Brigjen Katamso dari hasil perhitungan v/c pada waktu-waktu penelitian, dari jam 06.30 hingga 17.30 mengalami fluktuatif tingkat pelayanan, dengan tertinggi pada pagi hari (06.30-07.30) mencapai diatas tingkat pelayanan kategori "F", hingga pada jam 08.30-15.30 terlihat menurun dan stabil menduduki kategori "C" atau arus stabil dan pengemudi dapat memilih kecepatan, namun pada sore hari 15.30-17.30

meningkat naik hingga mencapai kondisi pada pagi hari. Lamanya arus stabil pada ruas jalan ini dikarenakan lebar jalan lebih luas (21 meter) dibandingkan ruas jalan Teuku Umar (17,5 m) dan MT. Haryono (19 m), selain itu diberlakukannya satu arah pada pagi hari (jam 06.00-09.00 WIB) menjadikan beban jalan oleh kendaraan menjadi berkurang.



Gambar 2. v/c ruas jalan Brigjen Katamso

Sementara pada ruas jalan MT. Haryono dari perhitungan v/c pada waktu-waktu tertentu didapatkan tingkat pelayanan rata-rata tinggi diatas tingkat pelayanan kategori "D". melihat trend yang terjadi pada ruas jalan MT. Haryono lebih disebabkan oleh banyaknya kendaraan jenis sepeda motor (52%), becak dan gerobak (9%). Selain itu pemakaian badan jalan digunakan sebagai tempat parkir sehingga lebar jalan efektif menjadi berkurang, sementara volume kendaraan berpotensi meningkat.



Gambar 3. v/c ruas jalan MT. Haryono

Konsentrasi CO (Karbonmonoksida)

Hasil pengukuran, konsentrasi CO di udara pada ruas jalan Jalan Teuku Umar dan Brigjen Katamso ditemukan nilai tertinggi pada pagi (06.30-07.30 WIB) dan sore hari (16.30-17.30 WIB), sementara ruas jalan MT. Haryono konsentrasi tertinggi ditemukan pada sore hari (16.30-17.30 WIB). Tingginya konsentrasi CO diyakini disebabkan oleh volume kendaraan, dimana volume kendaraan pada jam-jam tersebut merupakan jumlah yang tertinggi, sedangkan korelasi antara volume kendaraan terhadap perubahan konsentrasi CO bersifat positif. Penggunaan *Model Gaussian Plume*

$$\text{adalah } C_{\max} = \frac{10^6 Q_{CO/Pb}}{\sqrt{2\pi}\tau_{ii} \bar{u} Ht\rho} \text{ dengan}$$

persamaan linier dari volume kendaraan (**X**) terhadap konsentrasi CO/Pb di udara (**Y**) dan pencatatan kecepatan angin saat pengukuran sebagai (**U**) maka didapatkan persamaan :

$$C_{\max} = Kons \frac{n}{u}$$

Sementara korelasi volume kendaraan terhadap konsentrasi CO di ruas jalan MT. Haryono ($y = 9,2685x$), Teuku Umar ($y = 1,6978x$) dan Brigjen Katamso ($y = 2,1476x$), diperoleh model persamaan konsentrasi CO di udara yang berbeda :

$$C_{mak.CO} = \frac{n}{0,620.u} \text{ Ruas jalan Brigjen}$$

$$\text{Katamso } C_{mak.CO} = \frac{n}{0,103.u} \text{ Ruas jalan}$$

$$\text{MT. Haryono } C_{mak.CO} = \frac{n}{0,028.u}$$

Dimana :

C = Konsentrasi CO di udara (mg/m^3)

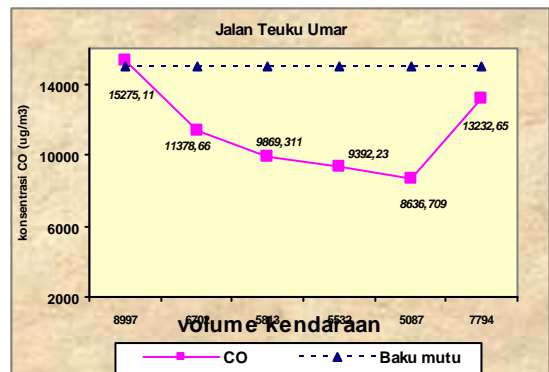
n = Volume kendaraan (unit)

u = Kecepatan angin (m/detik)

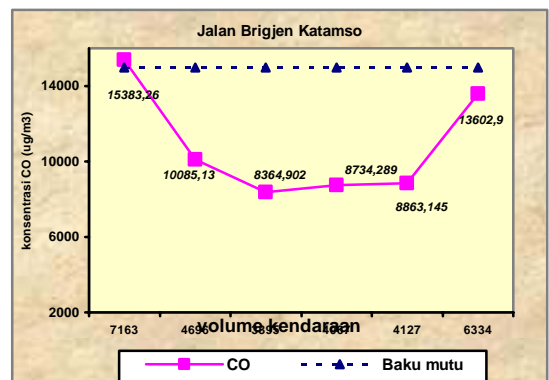
0,620; 0,103; 0,028 = Konstanta

Model persamaan di ketiga ruas jalan, menunjukkan bahwa volume kendaraan sebagai sumber emisi berbanding lurus dengan konsentrasi CO di udara, sementara kecepatan angin berbanding terbalik, dimana dengan kecepatan angin yang tinggi sebagai proses sebaran CO di udara menjadi semakin cepat sehingga proses pengenceran konsentrasi CO di udara terjadi

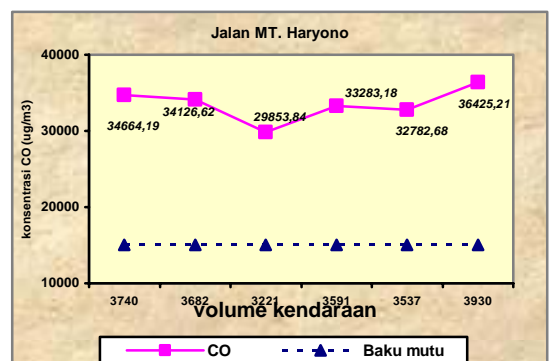
Hubungan antara perubahan volume kendaraan terhadap perubahan konsentrasi di udara adalah:



Gambar 4. Konsentrasi CO terhadap jumlah kendaraan pada ruas jalan Teuku Umar



Gambar 5. Konsentrasi CO terhadap jumlah kendaraan pada ruas jalan Brigjen Katamso



Gambar 6. Konsentrasi CO terhadap jumlah kendaraan pada ruas jalan MT. Haryono

Perlambatan arus kendaraan dan kemacetan, merupakan salah satu factor utama terjadinya peningkatan CO di udara. Bambang (2002), menyatakan bahwa emisi gas buang kendaraan dalam

kondisi macet menghasilkan CO 12 kali lebih tinggi dibandingkan pada kondisi jalan yang lambat (lancar). Demikian juga Bapedal (1997) membedakan emisi konsentrasi CO berdasarkan kondisi kendaraan, dimana pada kondisi perlambatan dan diam (Stasioner) CO yang ditimbulkan tertinggi yaitu mencapai 3,9 – 6,9%, sedangkan menurut Sidjabat (2000), pada pengoperasian kendaraan yang sama konsentrasi CO yang terbuang mencapai 6%.

Asmoro (2002), kecepatan rata-rata dan ratio volume per kapasitas v/c ratio merupakan aspek lalu lintas yang mempunyai korelasi paling signifikan terhadap CO ambient, sedangkan dijelaskan bahwa kecepatan rata-rata kendaraan berbanding terbalik dengan konsentrasi CO di udara. Tingginya pemakaian kendaraan bermotor berbahan bakar bensin juga berpengaruh terhadap peningkatan konsentrasi CO di udara (Bapedal, 1999). Sedangkan hasil perhitungan jumlah kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin yang melintas di ketiga ruas jalan (Teuku Umar, Brigjen Katamso dan MT. Haryono) rata-rata adalah 98%

Tingginya konsentrasi CO di udara pada ruas jalan MT Haryono disebabkan antara lain oleh Kondisi lingkungan sekitar ruas jalan, dimana lingkungan sekitar ruas jalan MT. Haryono sangat padat oleh bangunan dan kurangnya ruangan terbuka karena merupakan daerah komersial dengan tingkat kerapatan

bangunan dari jenis ruko (rumah toko) sangat tinggi, sehingga sirkulasi udara menjadi sangat rendah. Beroya (2000), berpendapat bahwa pada daerah perkotaan kecepatan pembersihan CO sangat lambat karena kecepatan disperse dipengaruhi oleh faktor-faktor meteorology, antara lain kecepatan arah angin, turbulensi udara dan stabilitas atmosfer, bahkan di kota-kota besar meskipun turbulensi udara dan stabilitas atmosfer bergerak dan aliran udara di atas dan di sekeliling bangunan, namun karena keterbatasan ruang maka gerakan udara terbatas sehingga konsentrasi CO di udara dapat meningkat

Mengingat CO merupakan gas buang hasil efek samping proses pembakaran yang tidak sempurna, maka aspek tingkat efisiensi pembakaran merupakan aspek yang perlu dipertimbangkan. Salah satu terjadinya proses pembakaran yang tidak sempurna adalah keausan komponen kendaraan, dan hal ini biasanya ditemui pada kendaraan yang tergolong usia tua.

Berdasarkan pengamatan di ketiga ruas jalan (Teuku Umar, Brigjen Katamso dan MT. Haryono) hampir 90% angkutan umum tergolong usia tua (keluaran sebelum tahun 1990).

Perubahan Konsentrasi Pb (Timbal) di Udara

Konsentrasi Pb pada jalan Teuku Umar dan Brigjen Katamso didapatkan nilai tertinggi pada pagi hari (06.30-07.30

WIB) dan sore hari (16.30-17.30 WIB), berbeda dengan ruas jalan MT. Haryono nilai konsentrasi Pb di udara ditemukan pada sore hari (16.30-17.30 WIB). Tingginya konsentrasi Pb diduga kuat juga berkorelasi positif terhadap perubahan volume kendaraan, korelasi tersebut dapat di lihat pada Gambar berikut :

Menggunakan *Model Gaussian Plume* dan Korelasi antara konsentrasi Pb di udara dengan volume kendaraan dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Ruas Jalan Teuku Umar } C_{\max.Pb} = \frac{n_{Pb}}{5263.u}$$

Ruas jalan Brigjen Katamso

$$C_{\max.Pb} = \frac{n_{Pb}}{111606.u} \quad \text{Ruas jalan MT.}$$

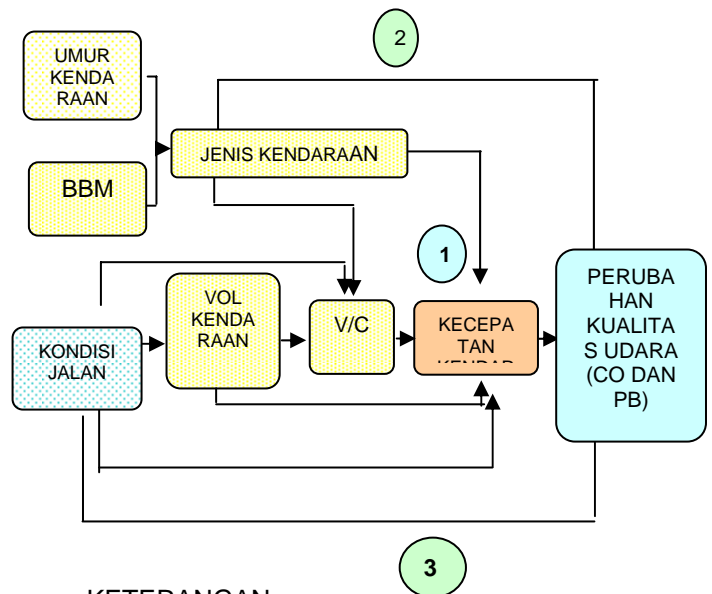
$$\text{Haryono } C_{\max.Pb} = \frac{n_{Pb}}{169,19.u}$$

Mengingat Pb (Timbal) merupakan bahan tambahan (*aditif*) yang digunakan untuk *anti knocking compound* berupa TEL (*Tertra Ethyl Lead*) yang selanjutnya teruapkan melalui knalpot kendaraan, sehingga peningkatan konsentrasi Pb di lingkungan perlu diwaspadai. Sulzer (1987), dalam setiap jarak tempuh polutan timah hitam yang dihasilkan bensin sebesar 0,09 gram, sedangkan berdasarkan pengamatan di jalan Teuku Umar, Brigjen Katamso dan MT. Haryono kendaraan yang melintasi sebanyak 98-99% tergolong kendaraan berbahan bensin.

Upaya Pengendalian

Banks (2002) menyatakan bahwa perencanaan jalan yang dilakukan juga harus merencanakan Model pencemaran udara untuk memprediksi polutan yang akan terjadi bila pembangunan jalan direalisasikan.

Secara sistematis faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan kualitas udara (CO dan Pb) dan proiritas pengendaliannya adalah :



KETERANGAN :
1, 2, 3 = Prioritas penanganan

Berdasarkan gambar tersebut diatas prioritas pengendalian penurunan kualitas udara yang disebabkan kecepatan kendaraan, dapat dirumuskan alternatif pengendalian sebagai berikut :

Ruas Jalan Teuku Umar

1. Pagi hari dimulai jam 06.00-08.00 wib arus lalu lintas yang berasal dari jalan

Setiabudi dan Gombel lama diberlakukan satu arah hingga pertigaan Kaliwiru;

2. Pengalihan kendaraan yang akan ke arah Selatan dapat melalui jalan Sultan Agung, Semeru dan keluar di jalan Karangrejo, mengikuti arus satu arah kemudian berbalik arah masuk di jalur lambat menuju Selatan.

3. Dilakukan kegiatan studi Capex (*Capacity Expansion*) untuk pembuatan jembatan layang (*fly over*) dari turunan Gombel sampai jalan Sultan Agung.

Ruas jalan Brigjen Katamso

Ruas jalan Brigjen Katamso saat ini telah di berlakukan satu arah pada pagi hari sebagai upaya pengurangan kepadatan lalu lintas, namun konsentrasi CO di udara akibat aktifitas kendaraan pada pagi hari (06.30-07.30 wib) masih melampaui Baku Mutu Udara Ambien Propinsi Jawa Tengah Hal ini disebabkan kendaraan yang melewati ruas jalan tersebut pada pagi hari 99% menggunakan bahan bakar bensin, dan di dominasi oleh kendaraan bermotor sebanyak 75%. Untuk itu upaya pengendalian yang disarankan adalah :

1. Tetap dilakukan satu arah untuk pagi hari (06.00-08.00 wib) namun hanya diperuntukan bagi kendaraan bermotor dan angkutan umum saja;

2. Untuk kendaraan roda empat/ kendaraan pribadi dialihkan, melewati

jalan Gempolsari, dan jalan Kamal dan Jeruk namun kondisi jalan ini perlu diperlebar guna memberikan pelayanan bagi kendaraan yang menggunakan jalur alternatif.

Ruas jalan MT. Haryono

Pemanfatan badan jalan sebagai lahan parkir kendaraan dan banyaknya perpotongan adalah penyebab ruang gerak kendaraan menjadi terhambat dan kecepatan arus tidak stabil, yang akhirnya peningkatan konsentrasi CO dan Pb.

Tingginya konsentrasi CO dan Pb di udara pada sore hari, disebabkan karena ruas jalan MT. Haryono sebagai pusat perdagangan masih melakukan aktifitasnya hingga sore hari (16.30-17.30) dan jenis kendaraan yang melintasi ruas jalan ini di dominasi jenis kendaraan berbahan bakar bensin (99%).

Alternatif pengendalian adalah penataan kembali kawasan komersial yang berwawasan lingkungan, melalui :

1. a. Larangan parkir disepanjang ruas jalan MT. Haryono;
 - b. Penertiban pedagang kaki lima (PKL) disepanjang ruas jalan tersebut;
 - c. Pengefektifan dan Penataan kembali jalur lambat;
2. Pembangunan gedung perparkiran di beberapa titik sepanjang ruas jalan tersebut;

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ditjen. Prasarana Wilayah Dep. Kimpraswil dan sahabatku Triyuni Atmojo

Daftar Pustaka

- Banks, James H, *Introduction To Transportation Engineering*, Mc-Graw-Hill Companies. 2002
- Directorate General of Highway, *Indonesian Highway Capacity Manual (IHCM , Part I (Urban Road)*, Jakarta. 1993
- Dix, H.M, *Environmental Pollution*, John Willey & Sons, New York. 1981
- Fardiaz, Srikandi, *Polusi Air dan Udara*. Kanisus Yogyakarta, 1992
- Kiely, Gerard, *Environmental Engineering*, McGraw-Hill, Singapore. 1998
- Kristanto, Philip, *Ekologi Industri*, ANDI. Yogyakarta. 2002
- Oglesby H Clarkson *et al.*, *Higway Engineering, fourth edision*, John Wiley & Sons, Inc. 1982
- Soedomo, Moestikahadi, *Kumpulan Karya Ilmiah mengenai Pencemaran Udara*, Penerbit ITB, Bandung. 2001
- Rau, John G, *Environmental Impact Analysis Handbook*. McGraw-Hill. 1980
- Wark, Kenneth *et al.*, *Air Polution* ^{3rd},. Addison Wesley Longman, Inc, USA. 1998
- Watts, J, Richard, *Hazardous Wastes : Sources Pathways Receptors*, USA. 1997