

Analisa Biaya Kerugian Kemacetan Jalan Akibat Pelaksanaan Perbaikan Lapisan Base Course Menggunakan Cement Treated Base (CTB) pada Ruas Jalan Laden – Bunder Kabupaten Pamekasan

Ahmad Faqihul Muqoddam^{1,*}, Hera Widyastuti¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: faqihulm20@gmail.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	25 Juli 2023	<i>Road repair can be done through Road Maintenance, Rehabilitation, and Reconstruction. Road reconstruction can be accomplished by replacing the base course layer. One of the materials to choose from is a cement-treated base (CTB). The implementation of road reconstruction resulted in traffic jams. Congestion occurs due to decreased road performance resulting in long queues, and additional vehicle operational costs (BOK). This will cause harm to road users. The method for calculating road user losses due to congestion during road repairs uses the Tzedakis method. Factors that influence the calculation of the cost of congestion losses using the Tzedakis method are the number of vehicles, ideal speed, travel speed, time value, BOK, and delay. The results of calculating the cost of losses during road repairs on the base course layer with a CTB thickness of 15 cm, a handling width of 3 meters, and a handling length of 1000 meters with a processing time of 8 days are Rp. 130,844,724,-. Meanwhile, with a CTB thickness of 30 cm and a processing time of 12 days, the road congestion loss is Rp. 149,708,512,-.</i>
Diperbaiki	28 Juli 2023	
Disetujui	22 Agustus 2023	

Keywords: road repair, cement treated base (CTB), cost of congestion losses

Abstrak

Perbaikan Jalan dapat dilakukan dengan penggantian lapisan pondasi atas (*base course*). Salah satu material yang dapat dipilih yaitu *cement treated base* (CTB). Direncanakan penggantian lapisan pondasi atas (*base course*) dengan menggunakan CTB dengan tebal perkerasan 15 cm dan 30 cm dengan lebar dan panjang penanganan 3 m dan 1000 m. Tebal perkerasan mempengaruhi lama waktu pekerjaan. Jika tebal perkerasan 15 cm membutuhkan lama waktu pengerjaan 8 hari dan jika tebal perkerasan 30 cm membutuhkan lama waktu pengerjaan 12 hari. Pelaksanaan perbaikan jalan akan mengakibatkan kemacetan yang merugikan pengguna jalan. Kerugian dihitung menggunakan metode Tzedakis. Faktor yang sangat mempengaruhi perhitungan kerugian adalah kecepatan kendaraan. Perbaikan jalan mengakibatkan kecepatan melambat. Berdasarkan hasil perhitungan, biaya kerugian pengguna jalan sebesar Rp. 130.844.724, dengan lama waktu pengerjaan 8 hari. Sedangkan lama waktu pengerjaan 12 hari sebesar Rp. 149.708.512,-.

Kata kunci: perbaikan jalan, cement treated base (CTB), biaya kerugian kemacetan

1. Pendahuluan

Faktor-faktor penyebab kerusakan jalan secara umum disebabkan sistem drainase yang tidak baik, sifat material konstruksi perkerasan yang kurang baik, iklim, kondisi tanah yang tidak stabil, perencanaan lapis perkerasan yang tipis, proses pelaksanaan pekerjaan konstruksi perkerasan yang kurang sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam spesifikasi, yang saling terkait dan mempengaruhi [1]. Perbedaan nilai distribusi beban as kendaraan overload tiga kali lipat lebih besar dari kendaraan standart sehingga menyebabkan perkerasan mengalami kerusakan dini [2].

Kerusakan jalan dapat terjadi pada lapisan aus (*surface*) atau pada lapisan pondasi. Perbaikan jalan dapat dilakukan dengan penanganan pemeliharaan, rehabilitasi dan rekonstruksi. Pemilihan penanganan didasari oleh jenis

kerusakan yang terjadi di lapangan. Penanganan overlay ialah memperbaiki fungsi jalan misalnya penanganan bentuk permukaan, kenyamanan dan perbaikan lain pada permukaan jalan yang sifatnya non struktural. Sedangkan penanganan rehabilitasi perbaikan jalan, perbaikan lapisan perkerasan pada struktur jalan akibat deformasi permanen atau deformasi akibat *fatigue*. Struktur perkerasan jalan dengan permukaan tanah asli terdiri dari Lapisan Pondasi Agregat Kelas B (LPB), Lapisan Pondasi Agregat Kelas A (LPA) atau *Cement Treated Base* (CTB), *Asphaltic Concrete Base Course* (AC-Base), *Asphalt Concrete – Baring Course* (AC-BC), dan *Asphaltic Concrete Wearing Course* (AC-WC). Penanganan Overlay non struktural dapat dilakukan dengan pengahamparan diatas lapisan *eksisting* dengan campuran *Hot Rolled Sheet Base Course* (HRS-Base) jika

dibutuhkan dan sebagai lapisan teratas yaitu AC-WC atau HRS-WC. Sedangkan penanganan rehabilitasi struktural dapat dilakukan dengan pembongkaran aspal eksisting lalu dilakukan pengkrikilan kembali dengan Lapisan Agregat Kelas A (LPA) atau menggunakan *Cement Tretated Base* (CTB) selanjutnya di lakukan penutupan dengan lapisan aus (AC-BC dan AC-WC) [4].

Metode penghamparan *Cement Tretated Base* (CTB) dengan metode mekanis, menggunakan alat *high density screed paver* dengan dual tamping rammer untuk mendapatkan kepadatan, toleransi kerataan dan kehalusan permukaan. Pemadatan harus dilakukan dengan pemadat kaki kambing bervibrasi (*vibratory padfoot roller*) dengan berat statis minimum. Setelah di lakukan pemadatan, dilakukan perawatan (*curing*) minimal 4 hari. Selama proses perawatan, akses jalan harus di tutup total hingga proses perawatan selesai. Berdasarkan metode penghamparan antara Agregat Kelas A dan *Cement Tretated Base* (CTB), proses perbaikan jalan akan mengalami kemacetan sehingga mengganggu proses aksesibilitas dan perekonomian pada ruas jalan yang ditangani [5].

Kemacetan mengakibatkan kerugian bagi pengguna jalan. Dalam hal perbaikan jalan, akibat dari lajur yang ditutup maka kapasitas jalan menjadi menurun. Hal ini mengakibatkan terjadi panjang antrian dan tundaan. Dengan adanya Panjang antrian dan tundaan, maka pengguna jalan akan bertambah biaya operasional kendaraan (BOK). Pengguna jalan akan mengalami kerugian selama waktu penutupan jalan akibat perbaikan jalan. Oleh karena itu dihitung berapa kerugian yang dialami pengguna jalan saat lama waktu perbaikan jalan pada lapisan *base course* menggunakan *cement treated base* (CTB).

2. Metode

Metode penelitian pada penelitian ini dimulai dari pengumpulan data yang terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari data geometrik jalan dan volume lalu lintas kendaraan. Data geometrik jalan dan volume lalu lintas kendaraan dibutuhkan untuk perhitungan analisis umur rencana, analisis kinerja ruas jalan, analisis panjang antrian dan analisis biaya operasional kendaraan. Data sekunder terdiri dari data jumlah penduduk dan data Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). Data jumlah penduduk dan PDRB dibutuhkan untuk perhitungan analisis nilai waktu.

Setelah pengumpulan data, selanjutnya dilakukan analisis volume lalu lintas. Volume lalu lintas diperoleh dari hasil survei *traffic counting*. Data diambil tiap golongan kendaraan selama 15 menit. Survei dilakukan selama 24 jam. Hasil

survei dikonversi menjadi satuan kendaraan ringan (skr) dengan cara hasil survei dikalikan dengan ekuivalensi kendaraan ringan (ekr). Hasil perhitungan konversi ke skr diakumulasikan setiap jam. Kemudian dilakukan pencarian volume lalu lintas pada jam puncak (*peakhour*).

Tahapan selanjutnya adalah analisis prediksi lama waktu pekerjaan. Tujuan perhitungan Analisis prediksi lama waktu pekerjaan untuk mengetahui berapa lama perbaikan jalan dengan panjang dan lebar penanganan serta tebal perkerasan yang telah ditentukan. Analisis prediksi lama waktu pekerjaan dihitung berdasarkan produktivitas dan dilakukan penjadwalan. Perhitungan produktivitas berdasarkan pedoman Peraturan Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) No 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Bagian III Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Bina Marga [6]. Perhitungan produktivitas peralatan yang digunakan dalam pekerjaan perbaikan jalan pada lapisan *base course* dengan menggunakan *Cement Tretated Base* (CTB) dapat dilihat pada persamaan 1 hingga persamaan 5.

Produktivitas *Wheel Loader*

$$Q = \frac{V \times F_b \times F_a \times 60}{T_s \times Bil} \quad (1)$$

dimana;

- V = kapasitas *bucket*;
- F_b = faktor *bucket*;
- F_a = faktor efisiensi alat;
- L = jarak dari *stock pile ke cold bin* (m);
- VF = kecepatan rata-rata bermuatan;
- VR = kecepatan rata-rata kosong;
- T₁ = waktu tempuh isi: = (L/vF) x 60 (menit);
- T₂ Z = waktu tempuh kosong = (L/vR) x 60 (menit);
- Z = waktu pasti atau *Fixed time*, terdiri atas;
- t₁ = t₁ + t₂ + t₃ + t₄
- t₂ = mengisi (*Loading time*);
- t₃ = berputar (*Turning time*);
- T_s = menumpuk (*Dumping time*);
- Bil = Waktu Siklus;
- = berat isi material

Produktivitas *Batching Plant*

$$Q = \frac{V \times F_a \times 60}{1000 \times T_s} \quad (2)$$

dimana;

- V = kapasitas produksi;
- F_a = faktor efisiensi alat;
- 60 = perkalian 1 jam ke menit;
- 1000 = perkalian dari satuan km ke meter;
- T₁ = lama waktu mengisi;

- T2 = lama waktu mengaduk;
 T3 = lama waktu menuang;
 T4 = lama waktu menunggu dll;
 Ts = waktu siklus; T1 + T2 + T3 + T4.

Produktivitas *Dump Truck*

$$Q = \frac{V \times F_a \times 60}{T_s \times \text{Bil}} \quad (3)$$

dimana;

- V = kapasitas bucket;
 Fa = faktor efisiensi alat;
 VF = kecepatan rata-rata bermuatan;
 VR = kecepatan rata-rata kosong;
 Ts = T1 + T2 + T3 + T4;
 T1 = Waktu memuat;
 T2 = waktu tempuh isi;
 T3 = waktu tempuh kosong;
 T4 = lain-lain;
 Bil = berat isi material (lepas, gembur).

Produktivitas *Vibratory Padfoot Roller*

$$Q = \frac{\{(b - b_0) + b_0\} \times V \times 1000 \times F_a \times t}{N \times n} \quad (4)$$

dimana;

- b = lebar roda alat pemadat (m);
 be = lebar efektif pemadatan = (b - b0) (m);
 bo = lebar overlap (0,20 m);
 W = lebar area pemadatan (m);
 v = kecepatan pemadatan, 4,0km/jam;
 1000 = perkalian dari km ke (m);
 Fa = faktor efisiensi alat;
 n = jumlah lintasan (pass, maju-mundur), pada umumnya n = 8 lintasan. Nilai n antara 4 dan 12 kali sampai padat tergantung jenis bahan atau campuran yang akan dipadatkan.
 N = jumlah "lajur" lintasan pemadatan selebar be = (b - b0) di area pekerjaan

Produktivitas *Watertank Truck*

$$Q = \frac{P_a \times F_a \times 60}{W_c \times 1000} \quad (5)$$

dimana;

- V = Volume tangki air (m³);
 Wc = Kebutuhan air /m³ material padat;
 pa = Kapasitas pompa air;
 Fa = Faktor efisiensi alat;
 60 = Perkalian 1 jam ke menit;
 1000 = Perkalian dari km ke m;

Selanjutnya adalah tahapan analisis kinerja ruas jalan. Tujuan perhitungan analisis kinerja ruas jalan untuk mengetahui daya tampung yang dapat dilayani pada suatu ruas jalan. Pada penelitian ini analisis kinerja ruas jalan

dihitung dengan dua kondisi yaitu saat kondisi normal dan kondisi saat perbaikan jalan. Analisis kinerja ruas jalan menghasilkan kapasitas (C), derajat jenuh (DJ) dan *level of service*. Perhitungan analisis kinerja ruas jalan berdasarkan acuan pedoman kapasitas jalan perkotaan (PKJI) tahun 2014 [3]. Kapasitas (C) adalah arus lalu lintas maksimum dalam satuan ekr/jam yang dapat dipertahankan sepanjang segmen jalan tertentu dalam kondisi tertentu, yaitu yang melingkupi geometrik, lingkungan, dan lalu lintas [3]. Perhitungan kapasitas dapat dilihat pada persamaan 6.

$$\text{Kapasitas (C)} = n \times C_0 \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK} \quad (6)$$

dimana;

- C₀ = Kapasitas dasar (skr/jam);
 FC_{LJ} = Faktor penyesuaian lebar lajur atau jalur lalu lintas;
 FC_{PA} = Faktor penyesuaian pemisahan arah (hanya pada jalan tak terbagi);
 FC_{HS} = Faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan/kerb;
 FC_{UK} = Faktor penyesuaian ukuran kota.

Derajat Jenuh (DJ) adalah ukuran utama yang digunakan - untuk menentukan tingkat kinerja segmen jalan [3]. - Perhitungan derajat kejenuhan dapat dilihat pada persamaan 7.

$$DJ = \frac{Q}{C} \quad (7)$$

dimana;

- Q = Kapasitas (skr/jam);
 C = Kapasitas dasar (skr/jam).

Kinerja ruas jalan dinilai berdasarkan tingkat derajat kejenuhan dan indeks tingkat pelayanan. Berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) Tahun 1997 [7], indeks tingkat pelayanan dibagi 6 kategori dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tahapan selanjutnya adalah analisis panjang antrian. Tujuan perhitungan panjang antrian untuk mengetahui panjang antrian maksimum saat perbaikan jalan. Perhitungan panjang antrian menggunakan metode *queueing analysis* [8]. Rumusan perhitungan dapat dilihat pada persamaan 8.

$$\text{Panjang Antrian (Q}_M) = \frac{\lambda r}{3600} \quad (8)$$

dimana;

- λ = Volume Kendaraan (skr);
 r = Delay maksimum (detik).

Setelah mendapatkan panjang antrian saat pelaksanaan perbaikan jalan, selanjutnya analisis Biaya konsumsi bahan bakar. Tujuan analisis biaya konsumsi bahan bakar kendaraan untuk mengetahui biaya tambahan yang dikeluarkan oleh pengendara saat kondisi pelaksanaan perbaikan jalan.

Tabel 1. Indeks Tingkat Pelayanan Kinerja Ruas Jalan

Indeks Tingkat Pelayanan	Kondisi Arus Lalu Lintas	Rasio V/C (DJ)
A	Kondisi arus lalu lintas bebas dengan kecepatan tinggi dan volume lalu lintas rendah	0,00-0,20
B	Arus stabil, tetapi kecepatan operasi mulai dibatasi oleh kondisi lalu lintas	0,21-0,44
C	Arus stabil, tetapi kecepatan dan gerak kendaraan dikendalikan	0,45-0,74
D	Arus mendekati tidak stabil, kecepatan masih dapat dikendalikan, V/C masih dapat di tolerir	0,75-0,84
E	Arus tidak stabil kecepatan terkadang terhenti, permintaan sudah mendekati kapasitas	0,85-1,00
F	Arus dipaksakan, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, antrian panjang (macet)	≥ 1

Rumusan perhitungan biaya konsumsi bahan bakar liter per 1000 km dapat dilihat pada persamaan 9 sampai persamaan 11.

Golongan I

$$Y = 0,05693 V^2 - 6,425593 V + 269,18567 \quad (9)$$

Golongan IIA

$$Y = 0,21692 V^2 - 24,15490 V + 954,78624 \quad (10)$$

Golongan IIB

$$Y = 0,21557 V^2 - 24,17699 V + 947,80862 \quad (11)$$

dimana;

$$Y = \text{Biaya Konsumsi Bahan Bakar (liter/1000km);}$$

$$V = \text{Kecepatan Tempuh (km/jam).}$$

Faktor yang mempengaruhi perhitungan biaya operasional kendaraan ialah kecepatan tempuh kendaraan. Kecepatan tempuh dihitung berdasarkan kecepatan normal yang dipengaruhi *delay* maksimum (r)

Perhitungan biaya operasional kendaraan sepeda motor menggunakan metode ND Lea [9] dengan cara menambahkan pada biaya operasional kendaraan auto (mobil penumpang).

Tahapan selanjutnya adalah analisis nilai waktu. Nilai waktu adalah sejumlah uang yang disediakan seseorang untuk dikeluarkan (atau dihemat) untuk menghemat satu unit waktu perjalanan [Tamin, 2008]. Analisis nilai waktu dalam penelitian ini ditinjau berdasarkan metode *income approach*.

Rumusan metode *income approach* dapat dilihat pada persamaan 12.

$$\text{Nilai waktu dasar } (\lambda) = \frac{\frac{PDRB}{\text{Jumlah Penduduk}}}{\text{Waktu jam Kerja Tahunan}} \quad (12)$$

Tahapan yang terakhir adalah perhitungan biaya kerugian kemacetan. Perhitungan biaya kerugian kemacetan dihitung berdasarkan jumlah kendaraan saat jam puncak (*peakhour*). Sedangkan biaya operasional kendaraan dihitung berdasarkan konsumsi bahan bakar. Dengan menggunakan metode Tzedakis, rumusan yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 13.

$$C = N \times [G \times A + (1 - \frac{A}{B}) \times V'] \times T \quad (13)$$

dimana;

$$N = \text{Jumlah Kendaraan (skr);}$$

$$G = \text{Biaya Operasional Kendaraan (per km);}$$

$$A = \text{Kecepatan Tempuh (km / jam)}$$

$$B = \text{Kecepatan Arus Bebas (km / jam)}$$

$$V' = \text{Biaya Nilai Waktu (skr / jam)}$$

$$T = \text{Lama Waktu Antrian (jam)}$$

Tahapan simpulan diperoleh dari hasil perhitungan analisis. Hasil dari penelitian ini besar harapan dapat menjadi gambaran terhadap kerugian kemacetan jalan saat pelaksanaan perbaikan jalan pada lapisan *base course* menggunakan *cement treated base* (CTB).

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan beberapa hasil perhitungan analisis diantaranya analisis volume lalu lintas, prediksi lama waktu pekerjaan, kinerja ruas jalan, panjang antrian, biaya operasional kendaraan, nilai waktu dan biaya kerugian kemacetan.

Berdasarkan pengolahan hasil survei *traffic counting*, total volume lalu lintas rata-rata kedua arah terjadi jam puncak (*peakhour*) pada pukul 06.45 – 07.45 dengan volume 1239 skr/jam.

Penelitian ini dilakukan pada ruas jalan Laden – Bunder Kabupaten Pamekasan. Data geometrik jalan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Data Geometrik Jalan

Nama Ruas Jalan	Tipe Jalan	Lebar Jalur 2 Arah	Lebar Lajur	Lebar Bahu Jalan
Laden – Bunder Link 07	2/2 UD	6 m	3 m	2 m

Perhitungan lama waktu pekerjaan berdasarkan produktivitas alat dan penjadwalan. penjadwalan dan pemilihan peralatan untuk setiap jenis pekerjaan sangat penting agar kemampuan operasinya bisa optimal dan saling menunjang terhadap peralatan lainnya [11]. Hasil perhitungan

produktivitas masing-masing alat yang digunakan saat pekerjaan perbaikan *base course* menggunakan *Cement Treated Base* (CTB) dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Produktivitas Alat

Peralatan yang Digunakan	Produktivitas Alat Per Jam
<i>Wheel Loader</i>	114,94 m ³
<i>Batcing plant</i>	33,20 m ³
<i>Dump Truck</i>	128,78 m ³
<i>Vibratory Padfoot Roller.</i>	154,05 m ³
<i>Water Tank Truck</i>	71,14 m ³

Setelah mengetahui produktivitas masing-masing alat maka dilakukan penjadwalan. Pada penelitian ini rencana penanganan perbaikan lapisan *base course* menggunakan *Cement Treated Base* (CTB) pada setengah lebar badan jalan yaitu 3 meter dengan panjang penanganan sebesar 1 kilometer dengan tebal rencana CTB sebesar 15 cm dan 30 cm. Volume *Cement Treated Base* (CTB) yang dibutuhkan sebesar 450 m³ untuk tebal 15 cm dan 900 m³ untuk tebal 30 cm. Contoh penjadwalan pekerjaan penghamparan *Cement Treated Base* (CTB) dengan asumsi 1 Segmen sepanjang 125 meter dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Contoh penjadwalan pekerjaan penghamparan *Cement Treated Base* (CTB) per hari

Alat Berat	A	B	Jam							
			1	2	3	4	5	6	7	
<i>Wheel Loader</i>	114,94	1,00								
<i>Batcing plant</i>	33,20	4,00								
<i>Dump Truck</i>	128,78	1,00								
<i>Vibratory Padfoot Roller.</i>	154,05	1,00								
<i>Water Tank Truck</i>	71,14	2,00	dilakukan selama 4 hari							

dimana;

A : Produktivitas Alat Per Jam

B : Waktu yang dibutuhkan (Volume pekerjaan / Produktivitas Alat)

Berdasarkan tabel 4 dan tabel 5, maka lama waktu pekerjaan perbaikan lapisan *base course* menggunakan *Cement Treated Base* (CTB) dengan tebal CTB 15 cm dan 30 cm dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Kinerja ruas jalan dipengaruhi oleh kapasitas dasar, faktor geometrik jalan dan faktor ukuran kota [12]. Perhitungan analisis kinerja ruas jalan diawali dengan perhitungan kapasitas, derajat kejenuhan dan penilaian indeks tingkat pelayanan. Perhitungan kapasitas jalan berdasarkan Pedoman

Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) Jalan Perkotaan 2014.

Contoh perhitungan kapasitas saat kondisi normal;

$$\text{Kapasitas (C)} = n \times C_0 \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK}$$

$$\text{Kapasitas (C)} = 1 \times 2900 \times 0,87 \times 1 \times 0,98 \times 0,94$$

$$\text{Kapasitas (C)} = 2324,188 \text{ skr/jam}$$

Hasil perhitungan diperoleh kapasitas saat kondisi normal sebesar 2324,188 skr/jam. Sedangkan saat kondisi perbaikan jalan sebesar 1162,094 skr/jam.

Selanjutnya perhitungan derajat kejenuhan contoh perhitungan derajat kejenuhan saat kondisi normal :

$$DJ = Q/C$$

$$DJ = 1239 \text{ skr/jam} / 2324,188 \text{ skr/jam}$$

$$DJ = 0,53$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh derajat kejenuhan saat kondisi normal sebesar 0,53 termasuk pada kategori indeks tingkat pelayanan tipe C yaitu arus stabil, tetapi kecepatan operasi mulai dibatasi oleh kondisi lalu lintas. Derajat kejenuhan saat kondisi perbaikan jalan sebesar 1,06 pada kategori indeks tingkat pelayanan tipe F arus dipaksakan, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, antrian panjang (macet).

Tabel 5. Contoh penjadwalan pekerjaan penghamparan *Cement Treated Base* (CTB) per segmen

Segmen pekerjaan	Hari											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
segmen 1												
segmen 2												
segmen 3												
segmen 4												
segmen 5												
segmen 6												
segmen 7												
segmen 8												

Tabel 6. Lama Waktu Pekerjaan

Tebal Perkerasan	Panjang 1 Segmen	Jumlah Segmen	Lama Waktu Pekerjaan
15 cm	250 m	4	8 hari
30 cm	125 m	8	12 hari

Berdasarkan tabel 6 dihasilkan lama waktu pekerjaan untuk tebal perkerasan 15 cm sebesar 8 hari dan tebal perkerasan 30 cm sebesar 12 hari.

Perhitungan analisis panjang antrian menggunakan metode *queueing analysis*. Nilai *delay* maksimum (r) sesuai dengan panjang segmen. Contoh perhitungan panjang antrian dengan nilai r sebesar 5 menit;

$$\text{Panjang Antrian (Q}_M) = \frac{1239 \times (5 \times 60)}{3600} = 103,263 \text{ skr}$$

Dengan asumsi panjang kendaraan ringan adalah 3 meter maka panjang antrian $103,25 \times 3 = 309,75$ meter. Panjang antrian dipengaruhi panjang segmen penanganan jalan. Semakin panjang segmen penanganan saat pelaksanaan makin panjang antrian kendaraan [13]. Rekapitulasi perhitungan panjang antrian berdasarkan segmen dan nilai *delay* maksimum (*r*) dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Panjang Antrian

Tebal Perkerasan	Hari Ke-	Delay (r)	Panjang Antrian (QM)
15 cm	1	5,0 menit	309,25
	2	7,5 menit	464,68
	3	10,0 menit	619,57
	4	12,5 menit	774,47
	5	12,5 menit	774,47
	6	10,0 menit	619,57
	7	7,5 menit	464,68
	8	5,0 menit	309,25
30 cm	1	2,5 menit	154,89
	2	5,0 menit	309,25
	3	7,5 menit	464,68
	4	7,5 menit	464,68
	5	10,0 menit	619,57
	6	10,0 menit	619,57
	7	10,0 menit	619,57
	8	10,0 menit	619,57
	9	7,5 menit	464,68
	10	7,5 menit	464,68
	11	5,0 menit	309,25
	12	2,5 menit	154,89

Berdasarkan tabel 7 dihasilkan panjang antrian terpanjang sebesar 774,47 meter dengan nilai *delay* maksimum selama 12,5 meter.

Perhitungan biaya operasional kendaraan dihitung berdasarkan konsumsi bahan bakar. Sebelum menghitung konsumsi bahan bakar, perlu dilakukan perhitungan kecepatan tempuh saat perbaikan jalan. Contoh perhitungan kecepatan tempuh;

Panjang jalan : 6,2 km;

Kecepatan normal : 25,58 km/jam;

Delay maksimum : 5 menit;

Maka, Kecepatan Tempuh = $\frac{6,2}{\frac{6,2}{27,96} + (\frac{5}{60})} = 19,03$ km/jam.

Kecepatan tempuh dipengaruhi panjang segmen penanganan. Semakin panjang segmen penanganan maka kecepatan semakin menurun [13]. Rekapitulasi perhitungan kecepatan tempuh tiap golongan kendaraan dapat dilihat pada **Tabel 8**. Setelah mendapatkan kecepatan tempuh, selanjutnya dapat dihitung biaya operasional kendaraan. Contoh perhitungan

konsumsi bahan bakar untuk golongan I dengan waktu *delay* 5 menit;

$$Y = 0,05693 V^2 - 6,425593 V + 269,18567$$

$$Y = 0,05693 (19,03)^2 - 6,425593 (19,03) + 269,18567$$

$$Y = 167,50 \text{ liter} / 1000\text{km}$$

Maka biaya konsumsi bahan bakar adalah 167,50 x Rp. 10.000 (harga bahan bakar Paltalite) = Rp. 1.675.000,- per 1000 km. Rekapitulasi perhitungan biaya operasional dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 8. Kecepatan tempuh

Delay (r)	Golongan I	Golongan IIA	Golongan IIB
2,5 menit	21,83	18,28	17,86
5,0 menit	19,03	16,28	15,94
7,5 menit	16,87	14,68	14,40
10,0 menit	15,16	13,36	13,13
12,5 menit	13,76	12,26	12,07

Tabel 9. Biaya Operasional Kendaraan

Delay (r)	Golongan I	Golongan IIA	Golongan IIB
2,5 menit	Rp. 1.560.563	Rp. 1.160.976	Rp. 3.976.812
5,0 menit	Rp. 1.675.000	Rp. 1.221.623	Rp. 4.196.565
7,5 menit	Rp. 1.769.600	Rp. 1.272.549	Rp. 4.381.601
10,0 menit	Rp. 1.848.706	Rp. 1.315.823	Rp. 4.539.223
12,5 menit	Rp. 1.915.676	Rp. 1.352.996	Rp. 4.674929

Biaya operasional kendaraan sepeda motor dihitung berdasarkan metode ND.Lea. Prosentase penambahan BOK untuk golongan I akibat dari volume sepeda motor sebesar 71%. Maka, total biaya operasional kendaraan setelah penambahan prosentase akibat volume sepeda motor dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Total Biaya Operasional Kendaraan

Delay (r)	Golongan I	Golongan IIA	Golongan IIB
2,5 menit	Rp. 2.668.563	Rp. 1.160.976	Rp. 3.976.812
5,0 menit	Rp. 2.864.250	Rp. 1.221.623	Rp. 4.196.565
7,5 menit	Rp. 3.026.016	Rp. 1.272.549	Rp. 4.381.601
10,0 menit	Rp. 3.161.287	Rp. 1.315.823	Rp. 4.539.223
12,5 menit	Rp. 3.275.806	Rp. 1.352.996	Rp. 4.674929

Semakin tinggi nilai tundaan dan panjang antrian semakin besar pula konsumsi bahan bakar [14].

Perhitungan analisis nilai waktu dengan metode *income Approach*. Dengan asumsi 5 hari kerja dalam 1 minggu Jam kerja tahunan adalah 2.112 jam, berdasar pada 1 minggu = 40 jam; 1 tahun = 52 minggu kerja efektif

$$\text{Nilai waktu dasar } (\lambda) = \frac{\text{Rp. } 12.031.560.000}{\frac{857.820}{2112}} = \text{Rp. } 7.157,-.$$

Maka nilai waktu diperoleh dari $\lambda \times$ nilai okupansi. Nilai waktu tiap kendaraan dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Perhitungan biaya kerugian kemacetan dihitung berdasarkan metode Tzedakis. Metode Tzedakis menggunakan komponen

biaya operasional kendaraan (Rp/kend.km), kecepatan kendaraan eksisting (km/jam), kecepatan kendaraan ideal (km/jam), nilai waktu perjalanan (Rp/kend.jam), dan waktu dalam antrian (jam) [15]. Pada penelitian ini biaya kerugian dihitung berdasarkan biaya konsumsi bahan bakar saat terjadi perbaikan jalan. Contoh perhitungan biaya kerugian kemacetan saat *delay* maksimum 5 menit untuk Golongan I;

Jumlah kend. Gol I (N) : 1062 skr/jam

BOK (G) : Rp 2.864/ km

Kecepatan Arus Bebas (B): 38,56 km/jam

Kecepatan Tempuh (A) : 19,03km/jam

Biaya Nilai Waktu (V') : Rp 21.472 / skr/ jam

Lama waktu antrian (T) : 0,083 jam

$$C = N \times [G \times A + (1 - \frac{A}{B}) \times V'] \times T$$

$$C = 418 \times [2.864 \times 19,03 + (1 - \frac{19,03}{38,56}) \times 21.472] \times 0,083$$

$$C = \text{Rp. } 5.763.164,-$$

Rekapitulasi perhitungan biaya kerugian kemacetan berdasarkan waktu *delay* maksimum dan Golongan kendaraan dapat dilihat pada **Tabel 12**.

Berdasarkan tabel 12, maka total biaya kerugian kemacetan akibat perbaikan jalan dapat dilihat pada **Tabel 13**.

Tabel 11. Nilai Waktu

Gol. Kend	Okupansi Orang/Kend.	λ	Nilai Waktu
Gol. I	8	Rp. 7.157,-	Rp. 21.472,-
Gol. IIA	3	Rp. 7.157,-	Rp. 386.503,-
Gol. IIB	54	Rp. 7.157,-	Rp. 21.472,-

Tabel 12. Biaya Kerugian Kemacetan Berdasarkan Waktu *Delay* Maksimum Dan Golongan Kendaraan

<i>Delay</i> (r)	Golongan I (Rp.)	Golongan IIA (Rp.)	Golongan IIB (Rp.)
2,5 menit	2.990.014	1.168.338	456.070
5,0 menit	5.786.309	2.571.465	971.768
7,5 menit	8.380.111	4.136.575	1.526.853
10,0 menit	10.789.111	5.820.350	2.109.357
12,5 menit	13.028.302	7.590.972	2.711.189

Tabel 13. Total Biaya Kerugian Kemacetan

Tebal Perkerasan	Hari Ke-	<i>Delay</i> (r)	Biaya Kerugian (Rp.)
15 cm	1	5,0 menit	9.329.542
	2	7,5 menit	14.043.539
	3	10,0 meni	18.718.818
	4	12,5 meni	23.330.463
	5	12,5 meni	23.330.463
	6	10,0 meni	18.718.818
	7	7,5 menit	14.043.539
	8	5,0 menit	9.329.542

Tebal Perkerasan	Hari Ke-	<i>Delay</i> (r)	Biaya Kerugian (Rp.)
Total			130.844.724
30 cm	1	2,5 menit	4.614.422
	2	5,0 menit	9.329.542
	3	7,5 menit	14.043.539
	4	7,5 menit	14.043.539
	5	10,0 meni	18.718.818
	6	10,0 meni	18.718.818
	7	10,0 meni	18.718.818
	8	10,0 meni	18.718.818
	9	7,5 menit	14.043.539
	10	7,5 menit	14.043.539
	11	5,0 menit	9.329.542
	12	2,5 menit	4.614.422
Total			149.708.512

Berdasarkan tabel 6 dan 13 biaya kerugian pengguna jalan akibat perbaikan jalan dengan menggunakan tebal CTB 15 cm sebesar Rp. 130.844.724,- dan jika tebal CTB 30 cm kerugian pengguna jalan sebesar Rp. 149.708.512,-.

4. Simpulan

Dari hasil analisis dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Derajat kejenuhan saat kondisi normal sebesar 0,53 termasuk ITP "C" yaitu arus stabil, tetapi kecepatan operasi mulai dibatasi oleh kondisi lalu lintas. Derajat kejenuhan saat kondisi perbaikan jalan sebesar 1,06 termasuk ITP "F" arus dipaksakan, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas, antrian panjang (macet)
- Panjang antrian terpanjang saat jam puncak *peakhour* dengan *delay* maksimum 12,5 menit sebesar 774,47 meter.
- Biaya kerugian kemacetan pengguna jalan saat perbaikan jalan pada lapisan *base course* dengan tebal CTB 15 cm, lebar penanganan 3 meter dan panjang penanganan 1000 meter serta lama waktu pekerjaan selama 8 hari sebesar Rp. 130.844.724,-. Jika tebal CTB 30 cm lebar penanganan 3 meter dan panjang penanganan 1000 meter serta lama waktu pekerjaan 24 hari biaya kerugian kemacetan jalan sebesar Rp. 149.708.512,-.

Daftar Pustaka

- [1] I. Udiana et al., "Analisa Faktor Penyebab Kerusakan Jalan (Studi Ruas Jalan W.J. Lalamentik dan Ruas Jalan Gor Flobamora)," *Jurnal Teknik Sipil.*, vol III. No.1, 2014.
- [2] R. Melinda and C.A Prastyanto., "Evaluasi Nilai Distribusi Beban As Kendaraan Data Aktual di Lapangan untuk Kendaraan dengan Konfigurasi

- Sumbu 1.2 H dan 1.2+2.2,” *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil.*, vol 17. No.1, pp. 35-42, 2014.
- [3] Kementerian Pekerjaan Umum, “Pedoman Kapasitas Jalan Perkotaan,” *Jakarta Kementeri. Pekerj. Umum*, 2014.
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum, “Manual Desain Perkerasan Jalan,” *Jakarta Kementeri. Pekerj. Umum*, 2017.
- [5] Kementerian Pekerjaan Umum, “Spesifikasi Umum,” *Jakarta Kementeri. Pekerj. Umum*, 2018.
- [6] Kementerian Pekerjaan Umum, “Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat,” *Jakarta Kementeri. Pekerj. Umum*, 2022.
- [7] Kementerian Pekerjaan Umum, “Manual Kapasitas Jalan Indonesia,” *Jakarta Kementeri. Pekerj. Umum*, 1997.
- [8] A. D. May, *Traffic Flow Fundamentals*. 1990.
- [9] N.D.Lea, “Traffic and Economic Studies and Analysis.” 1975.
- [10] A. Tzedakis, “Different Vehicle Speeds and Congestion Costs,” *J. Transp. Econ. Policy*, vol. 14, pp. 81–103, 1980.
- [11] D. D. Supit., “Analisa Produktivitas Dan Efektifitas Alat Berat Untuk Pekerjaan Tanah Dan Pekerjaan Perkerasan Berbutir,” *DynamicSainT.*, Jilid. V. No.1, 2020.
- [12] A. Magfirona et al., “Analisis Kinerja Ruas Jalan Di Kawasan Kerten Surakarta,” in *Prosiding Konferensi Nasional ke-5.*, 2019.
- [13] M. I. Mujahidin et al., “Evolusi Kecepatan Kendaraan Akibat Zona Kerja Perbaikan Jalan,” *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana, Departemen Teknik Sipil FT-UI, Depok.*, 2019.
- [14] D. Kalimanto et al., “Hubungan Tundaan dan Panjang Antrian Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Akibat Penyempitan Jalan (Bottleneck) Pada Pembangunan Flyover Palur (Studi Kasus : Jalan Raya Palur KM 7.5),” *Matriks Teknik Sipil.*, vol 2. No.4, 2014.
- [15] F. M. Hayati et al., “Biaya Kemacetan Dan Polusi Karbon Monoksida Pada Lalu Lintas Akibat Adanya Pembangunan Fly – Over,” *Jurnal Tata Kota dan Daerah.*, vol 5. No.2, 2013.