

STUDI PENYEBAB KERUSAKAN LAPISAN PERMUKAAN PERKERASAN LENTUR PADA TIKUNGAN RUAS JALAN BATU-PUJON KABUPATEN MALANG

Nusa Sebayang
Tri Kurniati

Teknik Sipil FTSP ITN Malang

ABSTRAKSI

Banyak ruas-ruas jalan di Indonesia dibangun beberapa puluh tahun yang lalu, sebagian dibangun pada masa Pemerintahan Kolonial Belanda. Permasalahan yang muncul adalah perkembangan teknologi transportasi dimana karakteristik kendaraan pada waktu dibangun jalan berbeda dengan kendaraan yang ada sekarang, khususnya kecepatan kendaraan. Hal ini berdampak terhadap bagian tikungan jalan yang cenderung mengalami kerusakan. Hasil pengamatan ruas jalan propinsi segmen Batu-Pujon menunjukkan bahwa terdapat kerusakan permukaan perkerasan di sekitar tikungan, sementara di bagian lain kondisi permukaan perkerasan dalam keadaan baik. Tujuan studi ini adalah untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan dan melakukan usaha pencegahan terhadap terjadinya kerusakan.

Metode studi dilakukan dengan survey yang dilaksanakan dalam 2 tahap, selama 3 hari dalam kurun 12 jam/hari dengan pencatatan jumlah kendaraan dalam interval waktu 15 menit. Volume lalu lintas, kecepatan, dan kapasitas ruas jalan dianalisa dengan menggunakan MKJI Ditjen Bina Marga 1997. Sedangkan survei geometrik dilakukan selama 2 hari dalam waktu 6 jam/hari.

Hasil pengukuran geometrik eksisting pada jalan-jalan tikungan (jari-jari tikungan, superelevasi, kecepatan rata-rata lalu lintas) dan perhitungan nilai koefisien gesek menunjukkan bahwa upaya mengurangi tingkat kerusakan jalan dapat dilakukan dengan memperbesar jari-jari tikungan dan membuat kecepatan rata-rata kendaraan sekitar 50 km/jam. Dengan demikian, maka kerusakan permukaan perkerasan dapat dikurangi sebesar 22% sampai 32%.

Kata Kunci: Jari-jari Tikungan, Kecepatan, Superelevasi, Koefisien Gesekan

PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan suatu lintasan sarana transportasi yang berfungsi memberikan pelayanan yang optimum pada arus lalu lintas sebagai akses ke tempat tujuan. Jalan raya juga berperan sebagai sarana penting dan tidak dapat dipisahkan dari kehidupan masyarakat sehari-hari,

dimana kegiatan ekonomi dan industri berkembang. Seperti halnya kota-kota besar lainnya, Kota Malang sebagai kota yang memiliki tingkat pergerakan penduduk yang cukup besar, juga harus diimbangi dengan sarana yang memadai khususnya masalah jalan. Pada kenyataannya, jalan-jalan di Kota Malang masih belum memenuhi, terutama pada jalan-jalan yang menelusuri bukit atau gunung. Salah satu jalan yang banyak menelusuri bukit dengan karakteristik meliputi tikungan, tanjakan, dan turunan adalah daerah Batu-Pujon.

Daerah Batu-Pujon terletak di arah Barat Kota Malang yang merupakan jalan luar kota yang menghubungkan Kota Malang dengan kota-kota lainnya seperti Kediri, Madiun, Ngantang, Jombang, dan lain-lainnya. Jalan yang dulu perencanaannya disesuaikan dengan kondisi lalu lintas yang ada pada saat itu, kini tidak lagi sesuai karena semakin bertambahnya penduduk, dan jenis kendaraan-kendaraan berat yang melebihi kapasitas jalan tersebut. Akibatnya jalan Batu – Pujon tersebut, khususnya pada lapisan atas (permukaan) perkerasan tikungan, banyak terjadi kerusakan. Kerusakan yang timbul, selain retak-retak, paling dominan yaitu pengausan jalan, sehingga pada permukaan perkerasan jalan terjadi gerusan dan berlubang.

Pengausan permukaan perkerasan biasanya timbul akibat adanya gesekan antara ban dan permukaan perkerasan. Hal ini terjadi dikarenakan ada gaya-gaya, yaitu gaya sentrifugal, yang bekerja pada saat kendaraan melintasi tikungan dan tidak sepenuhnya bisa diimbangi oleh kemiringan jalan. Gaya sentrifugal bekerja ke arah sebelah luar jari-jari busur tikungan. Disamping faktor tersebut di atas, beberapa faktor lain yang memungkinkan membantu percepatan kerusakan antara lain, cuaca, beban kendaraan, cuaca, terutama suhu udara yang tinggi, sistem drainase yang kurang baik/lengkap, mutu bahan yang tidak memenuhi syarat, serta desain tebal perkerasan yang tidak sesuai dengan tuntutan beban kendaraan dan masalah pelaksanaan.

Dengan melihat latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan penelitian terhadap kerusakan yang terjadi pada lapisan atas (permukaan) perkerasan pada tikungan. Penelitian ini diharapkan akan memperoleh faktor utama penyebab kerusakan dan standar geometrik jalan yang sesuai dengan kondisi lalu lintas sekarang ini, terutama di ruas jalan Jalan Propinsi Batu-Pujon Kabupaten Malang, yaitu:

- Tikungan-1, pada Sta 21+640
- Tikungan-2, pada Sta 22 +520

KAJIAN PUSTAKA

Sistem Jaringan Jalan

Secara umum sistem jaringan jalan dibagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu:

- Sistem jaringan jalan primer, merupakan sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk pengembangan semua wilayah di tingkat nasional, dengan menghubungkan semua simpul jasa distribusi yang berwujud pusat-pusat kegiatan.
- Sistem jaringan jalan sekunder, merupakan sistem jaringan jalan dengan peranan pelayanan distribusi barang dan jasa untuk masyarakat di dalam kawasan perkotaan.

Klasifikasi Jalan

Sistem Jaringan Jalan Nasional terdiri atas jaringan jalan arteri primer, jaringan jalan kolektor primer, jaringan jalan strategis nasional, dan jalan tol.

Jaringan jalan arteri primer dikembangkan berdasarkan kesatuan sistem orientasi untuk menghubungkan: (a) antar Pusat Kegiatan Nasional (PKN), (b) antara Pusat Kegiatan Nasional dan Pusat Kegiatan Wilayah (PKW), dan (c) antara PKN dan/atau PKW dengan bandar udara, pusat penyebaran skala pelayanan primer/sekunder/tersier dan pelabuhan internasional/nasional. Sistem jaringan jalan kolektor primer adalah jaringan jalan yang dikembangkan untuk menghubungkan: (a) antar Pusat Kegiatan Wilayah (PKW) dan (b) antara Pusat Kegiatan Wilayah (PKW) dan Pusat Kegiatan Lokal (PKL). Sedangkan jaringan jalan strategis nasional adalah jaringan jalan yang dikembangkan untuk menghubungkan: (a) antar Pusat Kegiatan Strategis Nasional (PKSN) dalam satu kawasan perbatasan negara, (b) antara Pusat Kegiatan Strategis Nasional (PKSN) dan pusat kegiatan lainnya, serta (c) PKN dan/atau PKW dengan kawasan strategis nasional.

Jalan Arteri, yaitu merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna. Jalan kolektor yaitu jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi. Sedangkan jalan lokal, yaitu jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat dan kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.

Kelas jalan dikelompokkan berdasarkan penggunaan jalan dan kelancaran lalu lintas dan angkutan jalan, serta spesifikasi penyediaan prasarana jalan. Pengaturan kelas jalan berdasarkan spesifikasi penyediaan prasarana jalan dikelompokkan atas jalan bebas hambatan, jalan raya, jalan sedang, dan jalan kecil (PP 34/2006); dimana: (1) jalan bebas hambatan (*freeway*) adalah jalan umum untuk lalulintas menerus dengan pengendalian jalan masuk secara penuh dan tanpa adanya persimpangan sebidang serta dilengkapi dengan pagar ruang milik jalan, paling sedikit 2 lajur setiap arah, dan dilengkapi dengan median; (2) jalan raya (*highway*) adalah jalan umum untuk lalulintas secara menerus dengan pengendalian jalan masuk secara

terbatas dan dilengkapi dengan median, paling sedikit 2 lajur setiap arah, lebar lajur paling sedikit 3,5 meter; (3) jalan sedang (*road*) adalah jalan umum dengan lalu lintas jarak sedang dengan pengendalian jalan masuk tidak dibatasi, paling sedikit 2 lajur untuk 2 arah dengan lebar jalur paling sedikit 7 meter; serta jalan kecil (*street*) adalah jalan umum untuk melayani lalu lintas setempat, paling sedikit 2 lajur untuk 2 arah dengan lebar jalur paling sedikit 5,5 meter.

Tabel 1.
Kelas Jalan menurut Pasal 11 PP No. 43/1993
Tentang Prasarana dan Lalu lintas Jalan

Fungsi	Kelas	MST (ton)	Dimensi
Arteri	I	> 10	Lebar maks 2,50 m; Panjang maks 18,0 m
	II	10	
	III A	8	
Kolektor	III A	8	Panjang maks 12,0 m
	III B	8	Panjang maks 12,0 m
Lokal	III C	8	Lebar maks 2,10 m; Panjang maks 9,0 m

Keterangan:

MST = muatan sumbu terberat

Gaya Sentrifugal

Apabila suatu kendaraan bergerak dengan kecepatan tetap V pada bidang datar atau miring dengan lintasan berbentuk suatu lengkung seperti lingkaran, maka pada kendaraan tersebut bekerja gaya kecepatan V dan gaya sentrifugal F . Gaya sentrifugal mendorong kendaraan secara radial keluar dari jalur jalannya, berarah tegak lurus terhadap gaya kecepatan V (*Silvia Sukirman, 1999*).

Gaya Sentrifugal (F) yang terjadi:

$$F = m \cdot a$$

dimana: $m = \text{massa} = \frac{G}{g}$

$G = \text{berat kendaraan (kg)}$

$g = \text{gaya gravitasi bumi (m/dt}^2\text{)}$

$$a = \text{kecepatan sentrifugal} = \frac{V^2}{R}$$

$V = \text{kecepatan kendaraan (m/dt)}$

$R = \text{jari-jari lengkung (m)}$

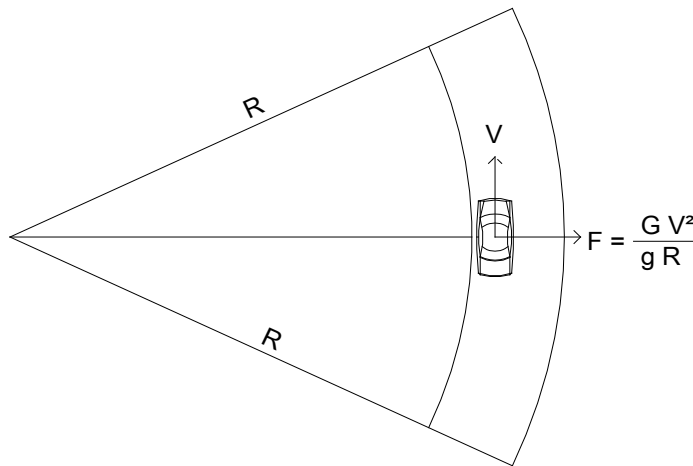
Dengan demikian besarnya gaya sentrifugal dapat ditulis sebagai berikut:

$$F = \frac{G \cdot V^2}{g \cdot R}$$

Untuk dapat mempertahankan kendaraan tersebut tetap pada sumbu lajur jalan, maka perlu diadakan suatu gaya yang dapat mengimbangi gaya tersebut, sehingga akan terjadi suatu keseimbangan.

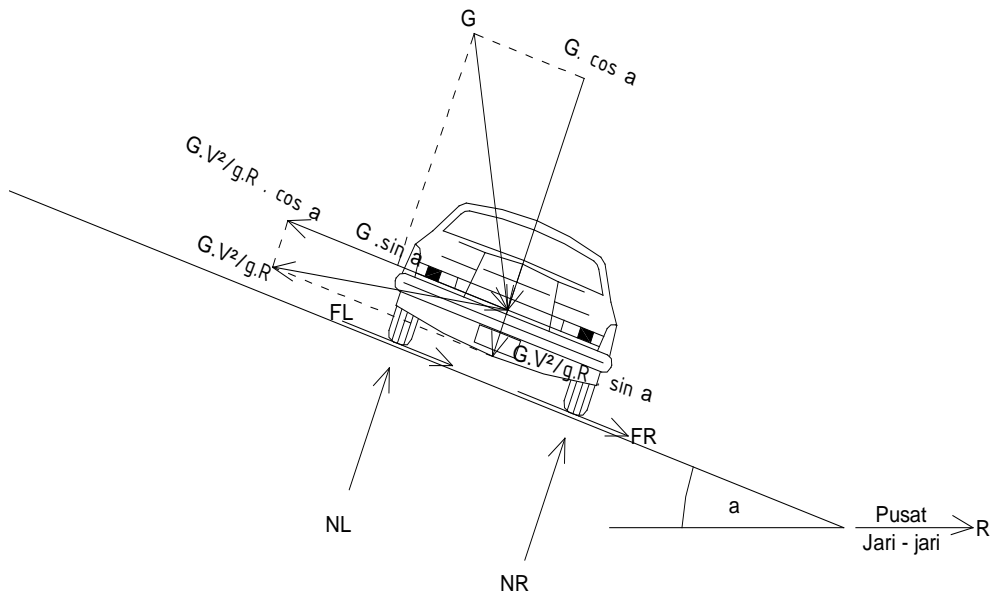
Gaya yang mengimbangi terhadap gaya sentrifugal dapat berasal dari:

- Gaya gesekan melintang antara ban kendaraan dengan permukaan jalan.
- Komponen berat kendaraan akibat kemiringan melintang permukaan jalan akan menyebabkan rasa tidak nyaman bagi pengemudi yang mengendarai kendaraannya dengan kecepatan rendah.



Gambar 1.
Arah Gaya Sentrifugal pada Lengkung Horizontal

Gaya gesek adalah gaya yang melawan gerak relatif dua benda pada permukaan kasar. Gaya gesek juga berarti besarnya gesekan yang timbul antara ban dan permukaan jalan dalam arah melintang jalan yang berfungsi untuk mengimbangi gaya sentrifugal.



Gambar 2.

Arah Gaya-gaya yang Bekerja pada Kendaraan Saat Melintasi Tikungan

$$F = F_L + F_R$$

$$N = N_L + N_R$$

$$\text{Tg } \alpha = \text{cross slope} = \text{superelevasi} = e$$

Gaya yang sejajar permukaan perkerasan:

$$\sum F_V = 0$$

$$N = G \cdot \cos \alpha + \frac{G \cdot V^2}{g \cdot R} \cdot \sin \alpha$$

$$\sum F_H = 0$$

$$\frac{G \cdot V^2}{g \cdot R} \cos \alpha = F + G \cdot \sin \alpha$$

Berdasarkan Hukum Newton III, gaya aksi sama dengan gaya reaksi, maka rumus yang digunakan untuk menghitung gaya gesek adalah:

$$F_s = f \cdot N$$

Dengan demikian, dari persamaan di atas diperoleh:

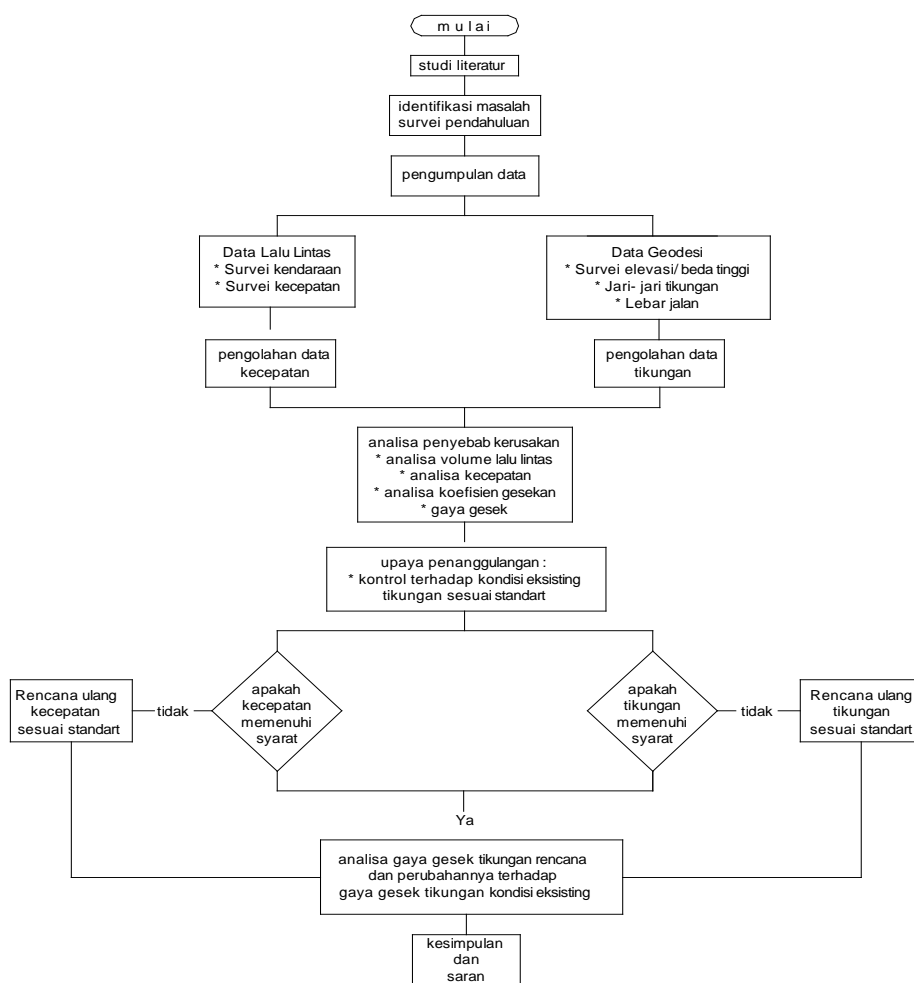
$$F_s = f \cdot \left(G \cdot \cos \alpha + \frac{G \cdot V^2}{g \cdot R} \cdot \sin \alpha \right) + G \cdot \sin \alpha$$

dimana:

- F_s = gaya gesekan antara ban dengan permukaan jalan (kgm/s^2)
- f = koefisien gesekan melintang
- e = kemiringan melintang
- G = berat kendaraan (kg)
- V = kecepatan kendaraan (m/dt^2)
- R = jari- jari tikungan (m)
- g = gravitasi bumi $9,8 \text{ m/dt}^2$

METODOLOGI KEGIATAN PELAKSANAAN

Metodologi studi tentang penyebab kerusakan jalan di tikungan diperlihatkan pada bagan alir berikut.



Gambar 3.
Bagan Alir Studi Penyebab Kerusakan Jalan

HASIL SURVEI LAPANGAN

Survei Volume Lalulintas

Survei yang dilakukan di lokasi studi adalah survei volume lalulintas dan survei kecepatan. Volume lalulintas akan berpengaruh terhadap kecepatan terjadinya kerusakan permukaan perkerasan jalan. Semakin banyak jumlah kendaraan yang melintas, maka semakin cepat pula permukaan perkerasan mengalami keausan. Hasil survei volume lalulintas menunjukkan bahwa jenis kendaraan yang melintas berfluktuasi dari hari ke hari. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan selama tiga hari, maka terlihat perbedaan jenis kendaraan yang melintas. Pada hari biasa kendaraan yang dominan melintas di lokasi studi adalah kendaraan truk dua as, sedangkan pada hari libur kendaraan yang melintas didominasi oleh kendaraan ringan (mobil pribadi). Hal ini dapat dipahami berhubung lokasi studi tersebut merupakan lokasi wisata dan kawasan agropolitan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4, 5, 6, 7, 8, dan 9.

Survei Kecepatan Lalulintas

Pengamatan kecepatan lalulintas dilakukan di 2 lokasi, yaitu tikungan 1 dan tikungan 2 ruas jalan Batu-Pujon. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kecepatan rata-rata kendaraan di tikungan 1 adalah 39,5 km/jam, sedangkan kecepatan rata-rata kendaraan di tikungan 2 adalah 34,34 km/jam.

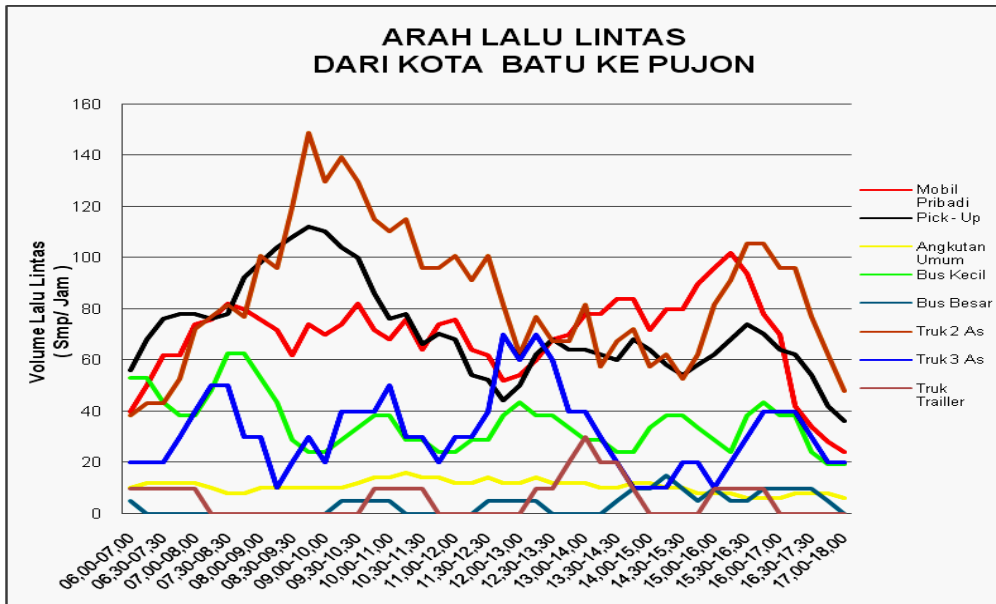
Hasil Pengukuran Jari-jari Tikungan

Besar jari-jari tikungan akan berpengaruh terhadap kecepatan kendaraan serta kemiringan melintang badan jalan di tikungan. Ketiga komponen tersebut harus berada pada keseimbangan, sehingga kendaraan tidak terlempar keluar saat melintasi tikungan. Berdasarkan hasil pengukuran di lokasi diketahui bahwa besar jari-jari tikungan di tikungan 1 adalah 37 meter, sedangkan jari-jari tikungan 2 adalah 19 meter. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur theodolite.

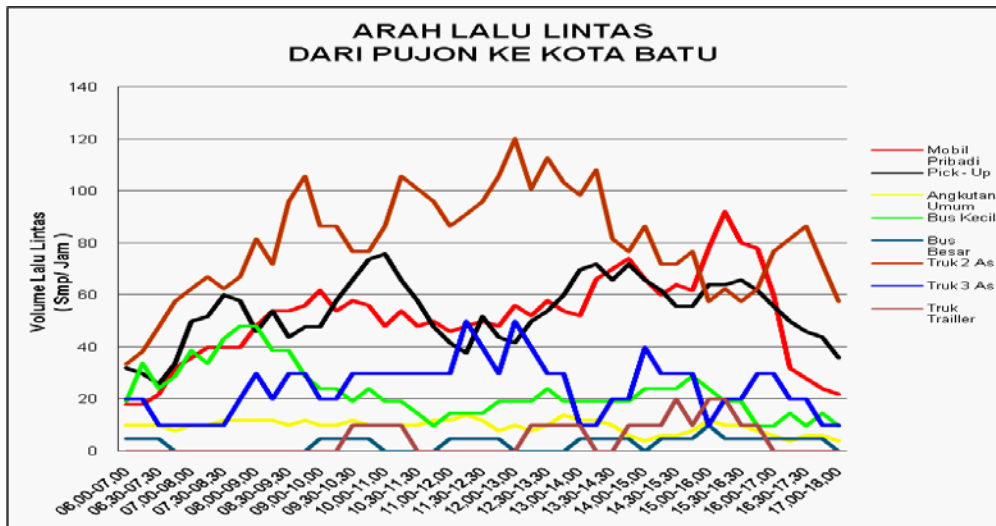
Kemiringan Melintang Jalan

Kemiringan melintang badan jalan berfungsi untuk menjaga keseimbangan kendaraan saat melintasi tikungan. Oleh karena itu, besar kemiringan melintang sangat bergantung pada kecepatan rencana dan besar jari-jari tikungan. Apabila besar kemiringan melintang tidak dapat mengimbangi besar gaya sentrifugal yang terjadi, maka gaya gesekan harus diperbesar melalui pengereman kendaraan. Adanya pengereman tersebut akan mengakibatkan terjadinya gesekan permukaan roda kendaraan dengan permukaan perkerasan yang mengakibatkan terjadinya keausan dan kerusakan permukaan perkerasan. Hasil pengukuran kemiringan

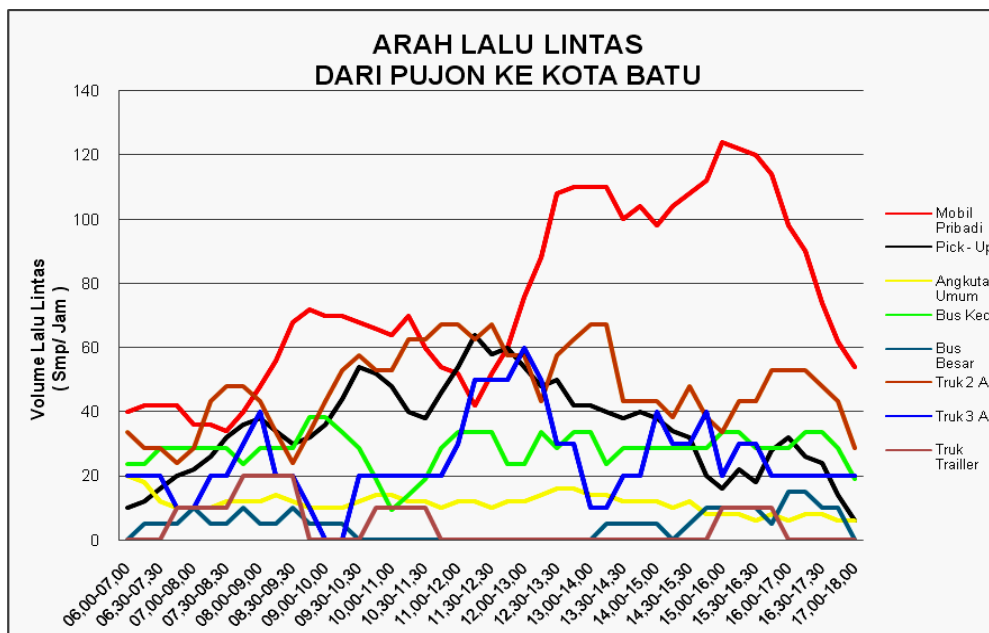
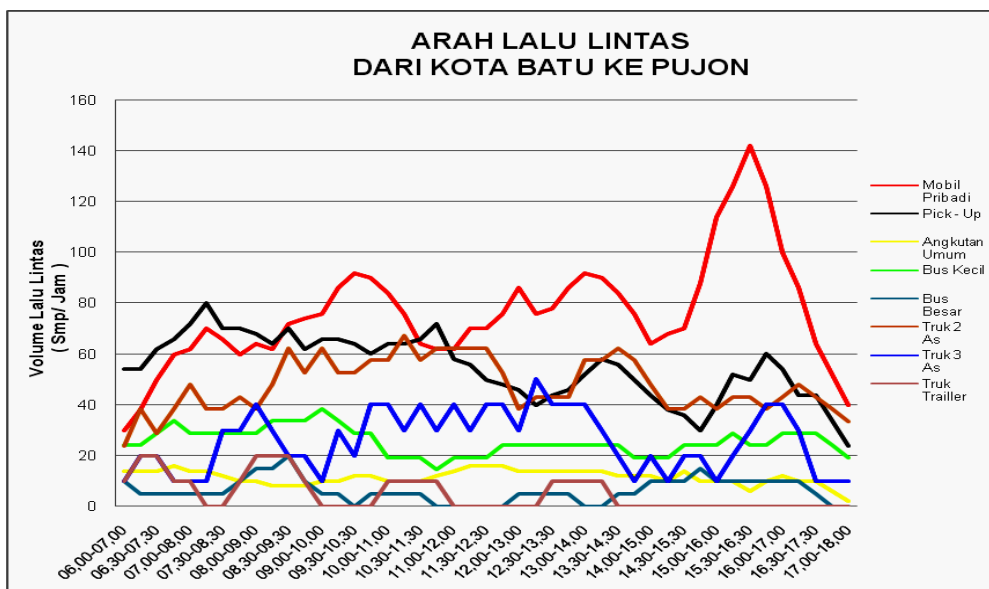
melintang jalan di tikungan 1 adalah sebesar 10,9%, sedangkan di lokasi tikungan 2 adalah sebesar 13,7%.

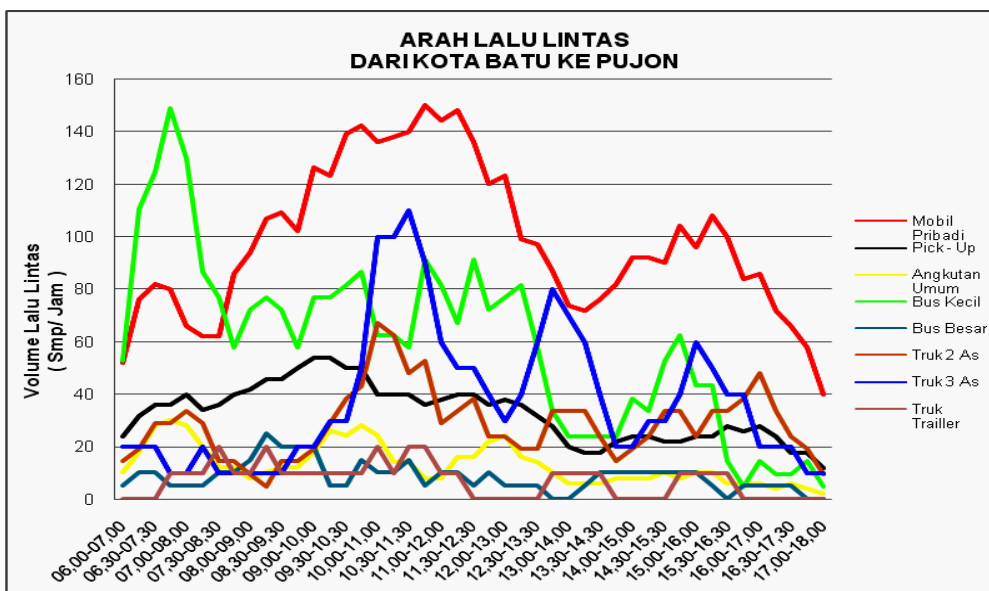


Gambar 4.
Grafik Fluktuasi Volume Lalulintas Dari Arah Kota Batu Ke Pujon (hari biasa)

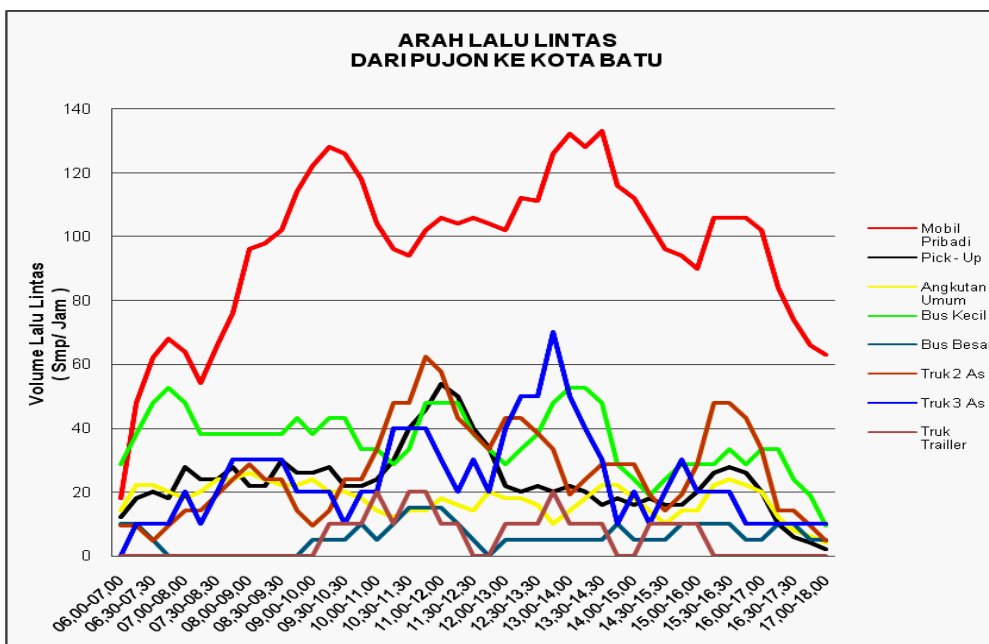


Gambar 5.
Grafik Fluktuasi Volume Lalulintas Dari Arah Pujon Ke Kota Batu (hari biasa)





Gambar 8.
Grafik Fluktuasi Volume Lalulintas Dari Arah Kota Batu Ke Pujon (hari Minggu)



Gambar 9.
Grafik Fluktuasi Volume Lalulintas Dari Arah Pujon Ke Kota Batu (hari Minggu)

ANALISIS PENYEBAB KERUSAKAN PERMUKAAN PERKERASAN

Metode Pendekatan

Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa terjadi kerusakan permukaan perkerasan di bagian tikungan jalan, sementara di bagian lurus jalan tidak terjadi kerusakan. Diduga kerusakan permukaan perkerasan terjadi akibat adanya pengereman kendaraan saat melintasi tikungan. Untuk membuktikan dugaan tersebut, maka dilakukan pengecekan terhadap tiga komponen yang berpengaruh pada keseimbangan, yaitu kecepatan kendaraan, besar jari-jari tikungan, dan kemiringan melintang tikungan. Apabila ketiga komponen berada pada keseimbangan, maka kerusakan jalan yang terjadi bukan disebabkan oleh pengereman kendaraan di tikungan. Untuk itu, pada studi ini akan dilakukan evaluasi keseimbangan kendaraan dengan rumus keseimbangan gaya.

Analisis Besar Koefisien Gesekan

Jika benda terletak di atas bidang yang kasar kemudian ditarik dengan gaya F , maka antara benda dengan permukaan bidang akan terjadi gesekan atau dikatakan terdapat gaya geser. Gaya geser memperlambat gerak benda dan arahnya melawan arah gerak benda. Sebuah benda yang berada di atas bidang datar yang kasar ditarik gaya F , maka timbul gaya gesek F_s . Besarnya gaya gesek bergantung pada kondisi permukaan bidang (koefisien gesekan) dan besar gaya tekan normal. Makin kasar permukaan bidang, maka makin besar koefisien gesekan; sedangkan bila berada di permukaan bidang licin sempurna, maka koefisien gesek adalah sama dengan nol. Harga koefisien gesek adalah $0 \leq f_s \leq 1,0$.

Pada studi ini dicoba melakukan pengecekan ada atau tidaknya gaya gesek yang terjadi pada saat kendaraan melewati tikungan. Rumus yang digunakan untuk analisis adalah:

$$F_s = f \left(G \cdot \cos \alpha + \frac{G \cdot V^2}{g \cdot R} \cdot \sin \alpha \right) + G \cdot \sin \alpha$$

Rumus tersebut dapat disederhanakan menjadi rumus berikut.

$$f = \frac{V^2}{127 \cdot R} - e$$

Besar nilai koefisien gesekan tergantung kepada nilai V (kecepatan kendaraan), R (jari-jari tikungan), dan e (kemiringan melintang jalan di tikungan). Hasil perhitungan nilai koefisien gesekan di lokasi tikungan adalah sebagai berikut:

Tikungan-1

$$V = 40,54 \text{ km/jam}$$

$$e = 10,9 \% = 0,109$$

$$R = 37,0 \text{ m}$$

$$f = \frac{V^2}{127 \cdot R} - e = \frac{40,54^2}{127 \times 37,0} - 0,109 = 0,241$$

Tikungan-2

$$V = 37,89 \text{ km/jam}$$

$$e = 13,7\% = 0,137$$

$$R = 19,0 \text{ m}$$

$$f = \frac{V^2}{127 \cdot R} - e = \frac{37,89^2}{127 \times 19,0} - 0,137 = 0,458$$

Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

Tabel 2.
Perhitungan Koefisien Gesekan Kendaraan yang Melintasi Tikungan-1 (*hari biasa*)

JENIS KENDARAAN	ARAH LALULINTAS BATU KE PUJON			ARAH LALULINTAS PUJON KE BATU		
	Total (Σ) Koef. Gesek	Banyaknya (n) waktu	Koef. Gesek (f) Rata-rata	Total (Σ) Koef. Gesek	Banyaknya (n) waktu	Koef. Gesek (f) Rata-rata
Mobil Pribadi	3.009	13	0.231	3.071	13	0.236
Pick - Up	2.836	13	0.218	3.093	13	0.238
Angkutan Umum	2.933	13	0.226	3.183	13	0.245
Bis Kecil	2.658	13	0.204	2.711	13	0.209
Truk 2 As	2.323	13	0.179	2.487	13	0.191
Truk 3 As	2.084	13	0.160	2.527	13	0.194
Bis Besar	1.317	7	0.188	1.357	7	0.194
Truk Trailler	1.122	6	0.187	1.087	5	0.217
Total			1.594			1.725

Tabel-3.
Perhitungan Koefisien Gesekan Kendaraan yang Melintasi Tikungan-2 (*hari biasa*)

JENIS KENDARAAN	ARAH LALULINTAS BATU KE PUJON			ARAH LALULINTAS PUJON KE BATU		
	Total (Σ) Koef. Gesek	Banyaknya (n) waktu	Koef. Gesek (f) Rata-rata	Total (Σ) Koef. Gesek	Banyaknya (n) waktu	Koef. Gesek (f) Rata-rata
Mobil Pribadi	4.690	13	0.361	5.629	13	0.433
Pick - Up	5.243	13	0.403	5.628	13	0.433
Angkutan Umum	5.021	13	0.386	6.088	13	0.468
Bis Kecil	3.756	13	0.289	4.073	13	0.313
Truk 2 As	8.755	13	0.673	4.969	13	0.382
Truk 3 As	3.660	13	0.282	4.453	13	0.343
Bis Besar	1.689	7	0.241	2.623	6	0.437
Truk Trailler	1.299	4	0.325	1.873	5	0.375
Total			2.960			3.184

Tabel 4.
Perhitungan Koefisien Gesekan Kendaraan yang Melintasi Tikungan-1 (hari Sabtu)

JENIS KENDARAAN	ARAH LALULINTAS BATU KE PUJON			ARAH LALULINTAS PUJON KE BATU		
	Total (Σ) Koef. Gesek	Banyaknya (n) waktu	Koef. Gesek (f) Rata-rata	Total (Σ) Koef. Gesek	Banyaknya (n) waktu	Koef. Gesek (f) Rata-rata
Mobil Pribadi	3.295	13	0.253	3.322	13	0.256
Pick - Up	3.046	13	0.234	3.091	13	0.238
Angkutan Umum	2.532	13	0.195	3.201	13	0.246
Bis Kecil	2.778	13	0.214	3.002	13	0.231
Truk 2 As	2.513	13	0.193	2.949	13	0.227
Truk 3 As	2.130	13	0.164	2.100	12	0.175
Bis Besar	2.002	10	0.200	0.787	7	0.112
Truk Trailler	0.602	6	0.100	0.458	5	0.092
Total			1.554			1.576

Tabel 5.
Perhitungan Koefisien Gesekan Kendaraan yang Melintasi Tikungan-2 (hari Sabtu)

JENIS KENDARAAN	ARAH LALULINTAS BATU KE PUJON			ARAH LALULINTAS PUJON KE BATU		
	Total (Σ) Koef. Gesek	Banyaknya (n) waktu	Koef. Gesek (f) Rata-rata	Total (Σ) Koef. Gesek	Banyaknya (n) waktu	Koef. Gesek (f) Rata-rata
Mobil Pribadi	4.021	13	0.309	5.718	13	0.440
Pick - Up	5.665	13	0.436	6.410	13	0.493
Angkutan Umum	4.652	13	0.358	5.744	13	0.442
Bis Kecil	4.219	13	0.325	5.172	13	0.398
Truk 2 As	9.795	13	0.753	6.070	13	0.467
Truk 3 As	3.451	12	0.288	5.172	13	0.398
Bis Besar	3.120	10	0.312	2.391	7	0.342
Truk Trailler	0.574	8	0.072	1.208	6	0.201
Total			2.852			3.180

Tabel 6.
Perhitungan Koefisien Gesekan Kendaraan yang Melintasi Tikungan-1 (hari Minggu)

JENIS KENDARAAN	ARAH LALULINTAS BATU KE PUJON			ARAH LALULINTAS PUJON KE BATU		
	Total (Σ) Koef. Gesek	Banyaknya (n) waktu	Koef. Gesek (f) Rata-rata	Total (Σ) Koef. Gesek	Banyaknya (n) waktu	Koef. Gesek (f) Rata-rata
Mobil Pribadi	3.799	13	0.292	3.681	13	0.283
Pick - Up	3.843	13	0.296	3.533	13	0.272
Angkutan Umum	4.252	13	0.327	3.908	13	0.301
Bis Kecil	4.379	13	0.337	3.819	13	0.294
Truk 2 As	2.822	13	0.217	4.079	13	0.314
Truk 3 As	3.804	13	0.293	2.509	12	0.209
Bis Besar	2.990	11	0.272	1.006	9	0.112
Truk Trailler	1.461	8	0.183	0.444	6	0.074
Total			2.216			1.858

Tabel 7.
Perhitungan Koefisien Gesekan Kendaraan yang Melintasi Tikungan-2 (*hari Minggu*)

JENIS KENDARAAN	ARAH LALULINTAS BATU KE PUJON			ARAH LALULINTAS PUJON KE BATU		
	Total (Σ) Koef. Gesek	Banyaknya (n) waktu	Koef. Gesek (f) Rata-rata	Total (Σ) Koef. Gesek	Banyaknya (n) waktu	Koef. Gesek (f) Rata-rata
Mobil Pribadi	4.395	13	0.338	3.603	13	0.277
Pick - Up	5.317	13	0.409	3.957	13	0.304
Angkutan Umum	3.519	13	0.271	4.781	13	0.368
Bis Kecil	3.922	13	0.302	4.805	13	0.370
Truk 2 As	9.264	13	0.713	5.287	13	0.407
Truk 3 As	3.559	13	0.274	3.115	12	0.260
Bis Besar	1.870	11	0.170	2.185	11	0.199
Truk Trailler	0.916	8	0.114	1.147	6	0.191
Total			2.590			2.375

Tikungan-1

Arah Kota Batu ke Pujon

$$\begin{aligned} \text{Koef. rata-rata/hari} &= \frac{\Sigma \text{ koef. gesek 3 hari}}{3 \times n \text{ kend}} = \frac{1,594 + 1,554 + 2,216}{3 \times 8 \text{ kend}} \\ &= \frac{5364}{24} = 0,224 \end{aligned}$$

Arah Pujon ke Kota Batu

$$\begin{aligned} \text{Koef. rata-rata/hari} &= \frac{\Sigma \text{ koef. gesek 3 hari}}{3 \times n \text{ kend}} = \frac{1,725 + 1,576 + 1,858}{3 \times 8 \text{ kend}} \\ &= \frac{5,159}{24} = 0,215 \end{aligned}$$

Tikungan-2

Arah Kota Batu ke Pujon

$$\begin{aligned} \text{Koef. rata-rata/hari} &= \frac{\Sigma \text{ koef. gesek 3 hari}}{3 \times n \text{ kend}} = \frac{2,960 + 2,852 + 2,590}{3 \times 8 \text{ kend}} \\ &= \frac{8,402}{24} = 0,350 \end{aligned}$$

Arah Pujon ke Kota Batu

$$\begin{aligned} \text{Koef. rata-rata/hari} &= \frac{\Sigma \text{ koef. gesek 3 hari}}{3 \times n \text{ kend}} = \frac{3,184 + 3,180 + 2,375}{3 \times 8 \text{ kend}} \\ &= \frac{8,739}{24} = 0,364 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan di Tikungan-1 menunjukkan bahwa nilai rata-rata koefisien gesekan adalah 0,22, sedangkan untuk Tikungan-2 diperoleh besar rata-rata adalah 0,355. Terlihat bahwa semakin kecil nilai jari-jari tikungan, maka semakin besar gaya gesekan yang diperlukan. Untuk

menjaga keseimbangan gerakan kendaraan saat melintasi tikungan, maka koefisien gesekan antara roda dengan permukaan harus diperbesar. Upaya memperbesar gaya gesekan biasanya dapat dilakukan dengan melakukan pengereman kendaraan. Adanya pengereman oleh pengemudi untuk menjaga keseimbangan gerakan melintasi tikungan tersebut mengakibatkan terjadi gesekan yang besar antara permukaan roda kendaraan dengan permukaan perkerasan yang lama kelamaan akan mempercepat kerusakan pada permukaan perkerasan. Hal inilah yang mengakibatkan pada bagian tikungan lebih dulu mengalami kerusakan dibandingkan dengan pada bagian lurus jalan.

Upaya Penanggulangan Kerusakan Perkerasan Jalan di Tikungan

Penanggulangan kerusakan perkerasan jalan dapat dilakukan dengan melakukan perbaikan geometrik tikungan dengan cara memperbesar jari-jari tikungan (R) dan juga menyesuaikan kemiringan melintang jalan sesuai dengan kecepatan rencana kendaraan di tikungan tersebut. Untuk itu, langkah rekonstruksi tikungan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Menggunakan kecepatan kendaraan hasil survei rencana sebagai dasar untuk melakukan perhitungan kebutuhan jari-jari tikungan.
- Menetapkan besar jari-jari tikungan rencana, yaitu jari-jari terbesar yang diperlukan.
- Merencanakan tikungan dengan menghitung kemiringan melintang yang dibutuhkan sesuai dengan R tikungan rencana dan kecepatan rencana kendaraan di tikungan.

Penanggungan kerusakan jalan di Tikungan-1 dan Tikungan-2 dapat dilakukan dengan melakukan rekonstruksi perbaikan geometrik simpang. Berdasarkan hasil analisa kecepatan kendaraan yang melintasi ruas di Tikungan-1 dan Tikungan-2, maka dapat dihitung koefisien gesekan dengan perhitungan sebagai berikut:

- Bila $V < 80$ km/jam berlaku $f = -0,00065.V + 0,192$
- V antara 80-112 km/jam berlaku $f = -0,00125 . V + 0,24$

Hasil perhitungan kebutuhan jari-jari tikungan diperlihatkan pada Tabel 8, 9, 10, dan 11.

Tabel 8.
Perhitungan Kebutuhan Jari-jari Tikungan-1 (Pergerakan Arah Batu-Pujon)

Jenis Kendaraan	Kecepatan (V rata2) (km/jam)			Koef. Gesek (f rata2)			V rerata Eksisting (km/jam)	f rerata Eksisting	f rerata Standar	Besar Jari-jari (R) tikungan Eksisting (m)	Kebutuhan Jari-jari (R) Tikungan (m)
	Hari			Hari							
	Biasa	Sabtu	Minggu	Biasa	Sabtu	Minggu					
Mobil Pribadi	39.96	41.23	43.37	0.231	0.253	0.292	41.52	0.259	0.165	37.0	49.5
Pick - Up	39.16	40.15	43.59	0.218	0.234	0.296	40.97	0.249	0.165	37.0	48.2
Angkutan Umum	39.61	37.70	45.22	0.226	0.195	0.327	40.84	0.249	0.165	37.0	47.9
Bis Kecil	38.30	38.85	45.66	0.204	0.214	0.337	40.94	0.252	0.165	37.0	48.1
Truk 2 As	37.62	38.34	38.87	0.179	0.193	0.217	38.28	0.196	0.167	37.0	41.8
Truk 3 As	35.60	36.60	43.34	0.160	0.164	0.293	38.51	0.206	0.167	37.0	42.3
Bis Besar	37.80	37.72	43.17	0.188	0.200	0.727	39.56	0.372	0.166	37.0	44.8
Truk Trailer	36.49	37.41	39.63	0.187	0.100	0.183	37.84	0.157	0.167	37.0	40.8

Tabel 9.
Perhitungan Kebutuhan Jari-jari Tikungan-1 (Pergerakan Arah Pujon-Batu)

Jenis Kendaraan	Kecepatan (V rata2) (km/jam)			Koef. Gesek (f rata2)			V rerata Eksisting (km/jam)	f rerata Eksisting	f rerata Standar	Besar Jari-jari (R) tikungan Eksisting (m)	Kebutuhan Jari-jari (R) Tikungan (m)
	Hari			Hari							
	Biasa	Sabtu	Minggu	Biasa	Sabtu	Minggu					
Mobil Pribadi	40.24	41.36	42.87	0.236	0.256	0.341	41.49	0.278	0.165	37.0	49.5
Pick - Up	40.34	40.32	42.25	0.238	0.238	0.193	40.97	0.223	0.165	37.0	48.2
Angkutan Umum	40.75	40.81	43.84	0.245	0.246	0.112	41.80	0.201	0.165	37.0	50.2
Bis Kecil	38.56	39.91	43.30	0.209	0.231	0.074	40.59	0.171	0.166	37.0	47.2
Truk 2 As	33.83	40.43	45.50	0.191	0.227	0.338	39.92	0.252	0.166	37.0	45.6
Truk 3 As	36.23	38.12	39.64	0.194	0.175	0.409	38.00	0.259	0.167	37.0	41.1
Bis Besar	31.21	38.01	35.61	0.194	0.112	0.271	34.94	0.192	0.169	37.0	34.5
Truk Trailer	32.45	42.46	31.91	0.217	0.920	0.302	35.61	0.480	0.169	37.0	35.9

Tabel 10.
Perhitungan Kebutuhan Jari-jari Tikungan-2 (Pergerakan Arah Batu-Pujon)

Jenis Kendaraan	Kecepatan (V rata2) (km/jam)			Koef. Gesek (f rata2)			V rerata Eksisting (km/jam)	f rerata Eksisting	f rerata Standar	Besar Jari-jari (R) tikungan Eksisting (m)	Kebutuhan Jari-jari (R) Tikungan (m)
	Hari			Hari							
	Biasa	Sabtu	Minggu	Biasa	Sabtu	Minggu					
Mobil Pribadi	34.64	32.80	33.83	0.361	0.309	0.338	33.76	0.336	0.170	19.0	29.2
Pick - Up	36.00	37.08	36.23	0.403	0.346	0.409	36.44	0.386	0.168	19.0	34.2
Angkutan Umum	35.49	34.48	31.21	0.386	0.358	0.217	33.73	0.320	0.170	19.0	29.2
Bis Kecil	32.01	33.34	32.45	0.289	0.325	0.302	32.60	0.305	0.171	19.0	27.2
Truk 2 As	31.59	34.91	45.07	0.673	0.753	0.713	37.19	0.713	0.168	19.0	35.7
Truk 3 As	32.58	32.64	31.31	0.282	0.265	0.274	32.18	0.274	0.171	19.0	26.5
Bis Besar	34.77	34.87	28.15	0.241	0.312	0.170	32.60	0.241	0.171	19.0	27.2
Truk Trailer	34.85	31.48	27.56	0.325	0.072	0.114	31.30	0.170	0.172	19.0	25.0

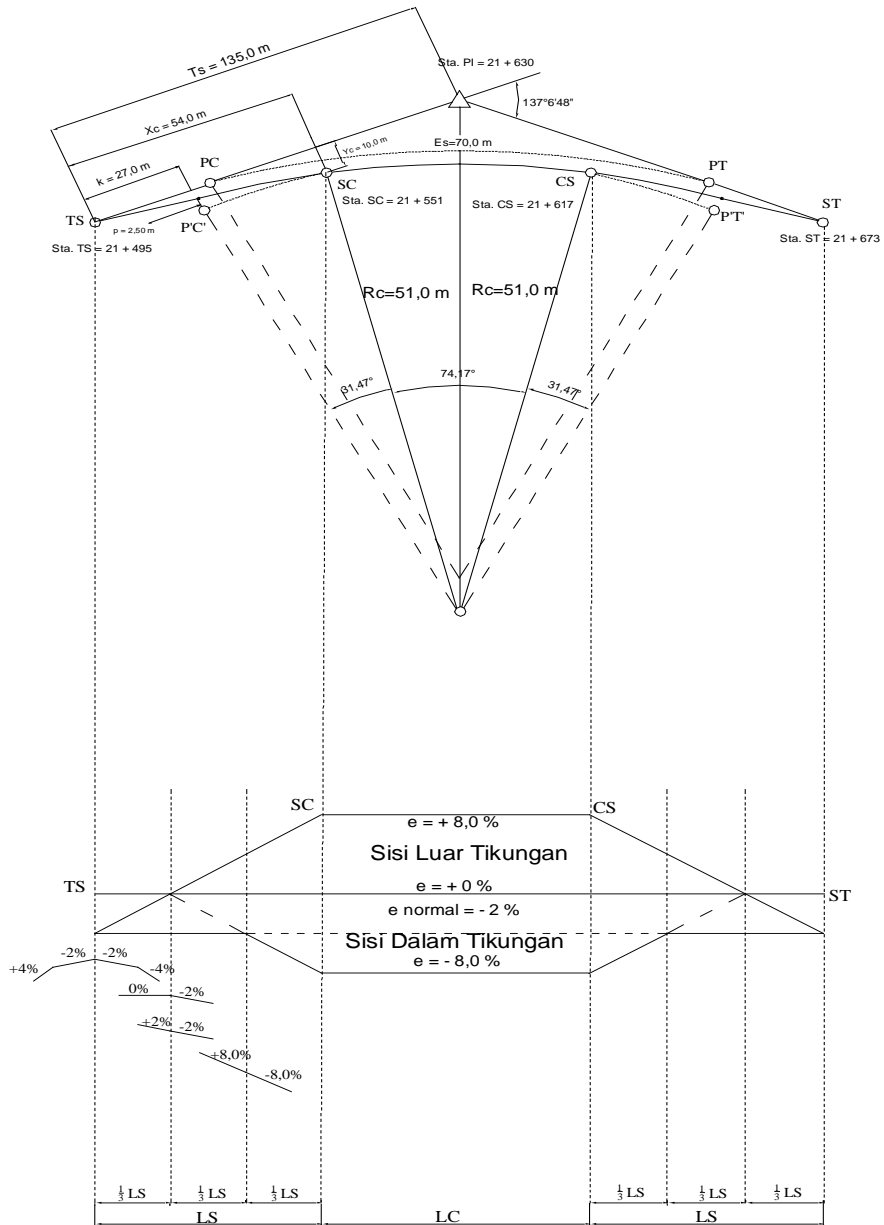
Tabel 11.
Perhitungan Kebutuhan Jari-jari Tikungan-2 (Pergerakan Arah Pujon-Batu)

Jenis Kendaraan	Kecepatan (V rata2) (km/jam)			Koef. Gesek (f rata2)			V rerata Eksisting (km/jam)	f rerata Eksisting	f rerata Standar	Besar Jari-jari (R) tikungan Eksisting (m)	Kebutuhan Jari-jari (R) Tikungan (m)
	Hari			Hari							
	Biasa	Sabtu	Minggu	Biasa	Sabtu	Minggu					
Mobil Pribadi	37.00	37.29	31.59	0.433	0.440	0.277	35.29	0.383	0.169	19.0	32.0
Pick - Up	37.05	38.80	32.58	0.433	0.493	0.304	36.14	0.410	0.169	19.0	33.7
Angkutan Umum	38.12	37.32	34.77	0.468	0.442	0.368	36.74	0.426	0.168	19.0	34.8
Bis Kecil	32.83	35.90	34.85	0.313	0.398	0.370	34.53	0.360	0.170	19.0	30.6
Truk 2 As	35.14	38.11	36.17	0.382	0.467	0.407	36.47	0.419	0.168	19.0	34.3
Truk 3 As	33.89	35.66	31.27	0.343	0.398	0.260	33.61	0.334	0.170	19.0	29.0
Bis Besar	37.13	37.00	29.45	0.437	0.342	0.199	34.53	0.326	0.170	19.0	30.6
Truk Trailer	35.13	33.85	28.10	0.375	0.201	0.191	32.36	0.256	0.171	19.0	26.8

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka untuk menanggulangi terjadinya kerusakan di tikungan direncanakan rekonstruksi sebagai berikut: Pada Tikungan-1 direncanakan perbaikan geometrik tikungan sebagai berikut:

- R tikungan = 51 m
- e maksimum = 0.08
- f = 0.169

Geometrik tikungan diperlihatkan pada Gambar 10.

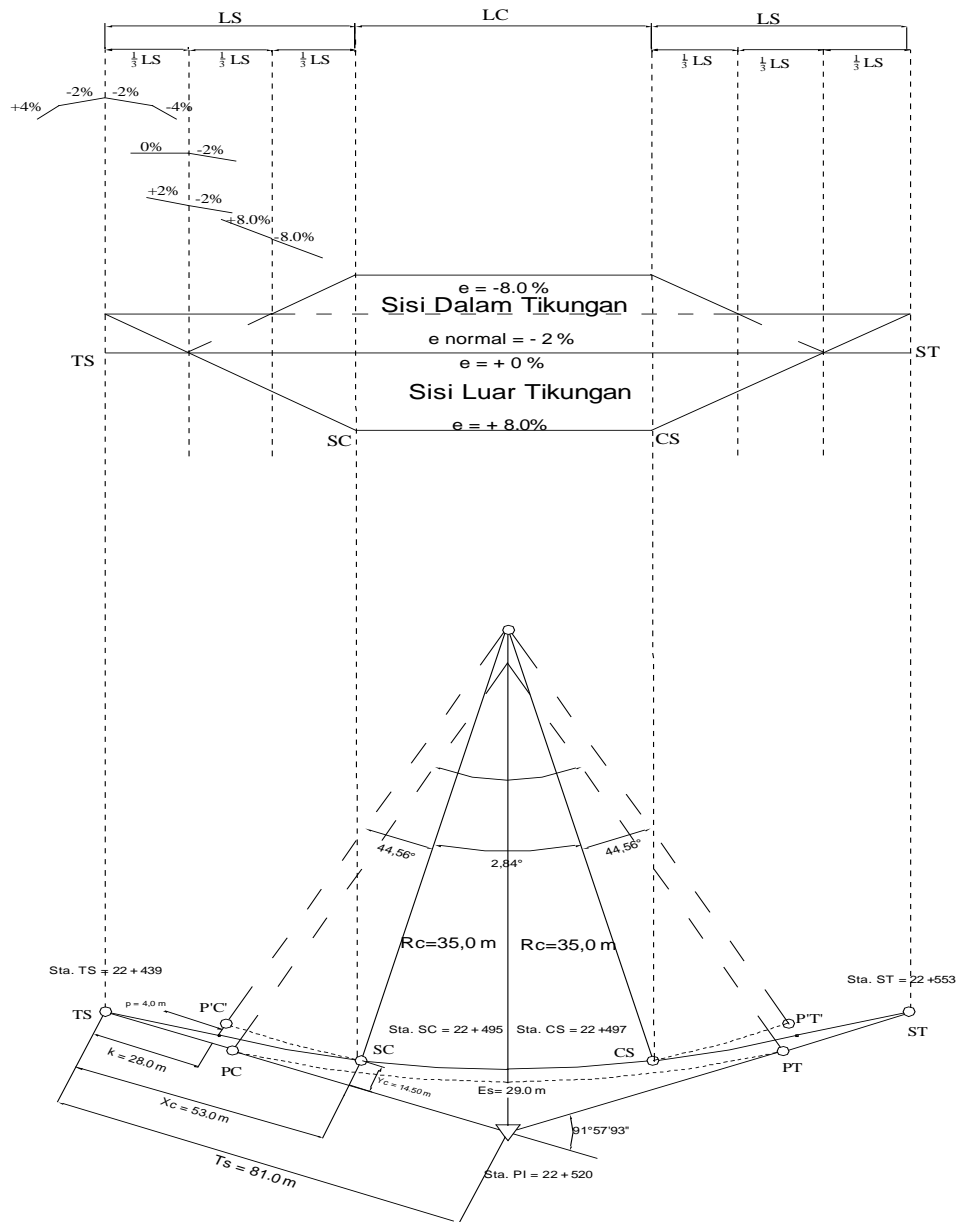


Gambar 10.
Gambar Rencana Tikungan-1 dan Diagram Superelevasi Spiral Circle Spiral

Sedangkan pada Tikungan-2 direncanakan perbaikan geometrik tikungan sebagai berikut:

- R tikungan = 36 m
- e maksimum = 0.08
- f = 0.172

Geometrik tikungan-2 diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11.
Gambar Rencana Tikungan-2 dan Diagram Superelevasi Spiral Circle Spiral

KESIMPULAN

Kesimpulan

1. Penyebab kerusakan permukaan perkerasan pada ruas jalan Batu-Pujon di Tikungan-1 dan Tikungan-2 adalah akibat kecepatan kendaraan melintasi tikungan lebih tinggi dari yang seharusnya.
2. Penanggulangan kerusakan dapat dilakukan dengan melakukan perbaikan geometrik tikungan dengan cara memperbesar jari-jari tikungan, yaitu pada Tikungan-1 diperbesar dari $R=37$ m menjadi $R=51$ m, dan pada Tikungan-2 diperbesar dari $R=19$ m menjadi $R=36$ m, sehingga kecepatan kendaraan dapat ditingkatkan sesuai dengan kecepatan lalu lintas eksisting di lokasi tikungan tersebut, yaitu 50 km/jam.

Saran

Untuk meningkatkan kelancaran transportasi pada ruas-ruas jalan yang di angun pada beberapa puluh tahun lalu, perlu dilakukan evaluasi geometrik tikungan, sehingga kecepatan kendaraan dapat disesuaikan dengan kemampuan kendaraan saat ini. Dengan demikian, hal ini dapat mempercepat waktu tempuh kendaraan yang melintasi ruas jalan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2003. *Petunjuk Praktikum Ilmu Ukur Tanah Bab I, III, dan IV*. Malang: Institut Teknologi Nasional Malang.
- Anonim. 1997. *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota*. Jakarta: Penerbit Departemen PU.
- Anonim. 1990. *Peraturan Perencanaan Geometrik Jalan Raya No. 13/1970*. Jakarta: Penerbit Departemen PU.
- Clarckson, H. Oglesby, R. Gary Hicks. 2005. *Teknik Jalan Raya*. Edisi ke-4 Jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Daryanto. 2000. *Fisika Teknik*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Ditjen DPU: Binamarga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*.
- Hendarsin, Shirley L. 2000. *Perencanaan Teknik Jalan Raya*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung.
- Saodang, Hamirhan. 2004. *Konstruksi Jalan Raya*. Bandung: Penerbit Nova.
- Sukirman, Silvia. 1999. *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung: Penerbit Nova.
- _____. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Penerbit Nova.
- Umar, Yahdi. 1994. *Pengantar Fisika Teknik Mekanika*. Jakarta: Penerbit Gunadarma.