



Terbit online pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Analisis Penurunan Kinerja Jalan Akibat Beban Lalu Lintas berdasarkan FWD di Ruas Jalan Nasional

Fandy Agisman^a, Leo Sentosa^b, Muhamad Yusa^c

^{a,b,c} Kampus Bina Widya, Jl HR Soebrntas km 12,5, Pekanbaru 28293, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 02 Januari 2024

Revisi Akhir: 28 Juni 2024

Diterbitkan Online: 29 Juni 2024

KATA KUNCI

*Remaining Structural Life,
 Falling Weight Deflectometer,
 Beban Lalu Lintas.*

KORESPONDENSI

Telepon : 082389232279

Email : fandy.agisman@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Jalan Nasional Simpang Kayu Ara menuju Simpang Lago merupakan ruas jalan lintas timur Sumatera penghubung antara Provinsi Riau dan Provinsi Jambi. Maka dilakukan survei untuk mengetahui sisa umur struktur perkerasan jalan berdasarkan data lendutan (FWD) dan rata-rata lalu lintas harian. Hal ini dilakukan guna mengetahui kondisi struktur perkerasan jalan, sehingga dapat diketahui jenis perawatan yang tepat untuk menjaga kondisi jalan tetap stabil dan bagus. Analisis dilakukan dengan melihat pertumbuhan beban lalu lintas kendaraan tahun 2017-2021 dan membandingkannya dengan data lendutan tahun 2017-2021 pada ruas jalan tersebut. Dengan menggunakan metode MDP tahun 2017 diperoleh pertumbuhan beban lalu lintas pada ruas jalan Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan 34%, Bts. Pelalawan – Sikijang Mati 41%, Sikijang Mati – Simpang Lago 38%. Dan untuk pengurangan 1 tahun sisa umur perkerasan pada data lendutan ruas Simpang Kayu Ara -Bts. Pelalawan 6,4 Juta Esal, Bts. Pelalawan – Sikijang Mati 3,6 Juta Esal, Sikijang Mati – Simpang Lago 1,97 Juta Esal.

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan sarana transportasi darat yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat. Menurut [1] Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori dan jalan kabel. Sementara berdasarkan [2] Jalan raya adalah jalur tanah di atas permukaan bumi yang dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran dan jenis konstruksinya sehingga dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang dari suatu tempat ke tempat lain dengan mudah dan cepat.

Penggunaan jalan sebagai sarana transportasi darat sangat berpengaruh kepada kebutuhan harian manusia, terutama

dalam sarana angkutan bahan pangan dan kebutuhan lainnya dari suatu tempat ke tempat yang lainnya. Dalam mobilitas masyarakat melaksanakan kegiatan perekonomian dan aktivitas sosial, kualitas jalan yang baik akan memberikan keamanan, kemudahan, kenyamanan dan kelancaran [3]. Hal tersebut dapat tercapai apabila jalan dalam kondisi mantap dalam melayani lalu lintas yang melewatinya. Permasalahan yang dihadapi untuk mencapai jalan yang mantap adalah kerusakan jalan yang dapat disebabkan oleh beberapa faktornya.

[4] faktor penyebab kerusakan jalan yakni peningkatan beban volume lalu lintas, sistem drainase dan sifat material yang kurang baik serta proses pelaksanaan pekerjaan yang kurang sesuai dengan spesifikasi. Ruas jalan akan berfungsi secara optimal apabila didukung oleh perencanaan jalan yang memperhatikan faktor kebutuhan lalu lintas serta kondisi lingkungan yang tersedia [5]. Pemeliharaan jalan merupakan upaya untuk meningkatkan

kembali kondisi jalan yang layak secara fungsional dan struktural. Berdasarkan grafik Direktorat Preservasi jalan (2016) nilai struktur dari perkerasan jalan menurun seiring berjalannya waktu, semakin lama nilai kekuatan struktur semakin menurun dan perlunya pemeliharaan secara rutin ataupun berkala terhadap struktur perkerasan jalan sehingga dapat memenuhi pelayanan jalan dengan baik. [6] menyebutkan bahwa salah satu faktor pemicu terjadinya kerusakan pada struktur perkerasan jalan disebabkan oleh beban berlebih dari kendaraan (overload). Bertambahnya beban lalu lintas dan bertambahnya umur perkerasan jalan dalam melayani beban kendaraan sebanding dengan berkurangnya kemampuan struktur perkerasan jalan dalam melayani beban yang diterima. Hal ini juga disebabkan oleh faktor tingginya temperatur yang menyebabkan aspal menjadi lunak dan terjadinya lendutan oleh beban kendaraan. Untuk mengetahui nilai lendutan dari suatu lapisan jalan dapat diperoleh dengan pengujian menggunakan alat Bangkelman Beam (BB) atau *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Dengan menggunakan alat ini, dapat diketahui beberapa data seperti nilai lendutan balik maksimum dan lendutan balik titik belok. Dengan data tersebut dapat diketahui dan diperoleh data nilai kekuatan dan umur sisa dari suatu lapisan perkerasan jalan.

Berdasarkan hal tersebut penelitian ini akan menganalisa nilai penurunan kinerja / umur jalan nasional akibat beban lalu lintas berdasarkan nilai FWD pada lokasi struktur perkerasan jalan yang sudah dilakukan pemeliharaan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan atau pedoman apakah grafik dari nilai konstruksi jalan secara aktual sesuai dengan grafik penurunan nilai kondisi jalan yang dijelaskan Direktorat Preservasi Jalan.

Studi kasus pada penelitian adalah ruas Jalan Nasional Lintas Timur Provinsi Riau yakni Simpang Kayu Ara (Pekanbaru) menuju Simpang Lago (Pelalawan). Jalan ini merupakan penghubung antara beberapa kabupaten yang ada di Provinsi Riau dan Jalan nasional menuju Provinsi Jambi sebagai sarana distribusi barang/jasa serta mengangkut bahan dasar industri yang ada di Provinsi Riau. Ruas jalan ini dijadikan objek penelitian karena tidak ada dilakukannya kegiatan preservasi pada jalan nasional ini, karena dipersiapkan untuk kegiatan kontrak Kerjasama Pemerintah dengan Badan Usaha (KPBU) Preservasi Jalintim Riau pada tahun 2021.

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah : Menganalisa dan mempengaruhi pertumbuhan beban lalu lintas terhadap nilai lendutan / pelayanan struktur perkerasan jalan berdasarkan data FWD serta mengetahui pengaruh terhadap umur sisa perkerasan

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Jalan

Jalan merupakan suatu lapisan perkerasan konstruksi yang terdiri dari beberapa jenis lapis penunjangnya. Setiap lapisan berfungsi untuk mendistribusikan beban yang diterima pada lapis permukaan ke tanah dasar. Menurut [7] bahan pengikat yang digunakan untuk membentuk lapisan atas perkerasan jalan dibedakan menjadi aspal / perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan komposit (*composite pavement*) yakni kombinasi antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur.

Beban yang diterima oleh perkerasan jalan melalui roda kendaraan dengan permukaan jalan sebagai gaya vertikal, gaya horizontal yang disebabkan oleh rem dan gerakan roda kendaraan sebagai getaran. Beban tersebut didistribusikan melalui bidang kontak antara roda ke lapis permukaan jalan dibawahnya. Lapisan yang berada pada konstruksi terdiri dari lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas, lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja, lapisan pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar hanya menerima gaya vertikal [8]. Maka dengan demikian diperlukannya perencanaan tebal lapisan perkerasan jalan yang sesuai dengan kebutuhan lalu lintas dan tanah dasar pendukungnya agar umur rencana yang diharapkan sesuai.

2.2. Kerusakan Jalan

Kelebihan muatan atau beban lalu lintas yang berlebih merupakan salah satu faktor utama penyebab kerusakan jalan secara perlahan. Menurut [9] kualitas suatu jalan mengalami penurunan karena volume dan beban lalu lintas yang berlebih, yang mana hal tersebut dapat dilihat dengan kondisi permukaan jalan secara struktural dan fungsional mengalami kerusakan. Menurut Badan Litbang Prasarana Transportasi (2005), kerusakan pada ruas jalan terbagi menjadi 2 yakni:

- a. Kerusakan Struktural
Kerusakan pada ruas jalan, sebagian atau keseluruhan, yang menyebabkan perkerasan tidak lagi mampu mendukung beban lalu lintas, untuk itu perlu adanya perkuatan struktur dari perkerasan dengan cara pelapisan ulang (*overlay*) atau perbaikan kembali terhadap lapisan yang ada.
- b. Kerusakan Fungsional
Kerusakan fungsional adalah kerusakan pada permukaan jalan yang dapat menyebabkan tergantungnya fungsi jalan tersebut. Kerusakan fungsional dapat berdampak atau tidak dengan

kerusakan struktural. Pada kerusakan fungsional perkerasan jalan masih mampu menahan beban yang bekerja namun tidak memberikan tingkat kenyamanan dan keamanan seperti yang diinginkan. Maka dari itu perlu dilakukan perawatan pada permukaan perkerasan agar tetap kondisi baik.

Terdapat 19 jenis kerusakan yang terjadi pada perkerasan jalan akibat beberapa faktor menurut Manual Pemeliharaan Jalan Direktorat Jenderal Bina Marga No.03/MN/B/1983 yaitu sebagai berikut:

- a. Retak Kulit Buaya (*Alligator Cracking*)
- b. Kegemukan (*Bleeding*)
- c. Retak Kotak-kotak (*Block Cracking*)
- d. Cekungan (*Bumps and Sags*)
- e. Keriting (*Corrugation*)
- f. Ambblas (*Depression*)
- g. Retak Pinggir (*Edge Cracking*)
- h. Retak Sambung (*Joint Reflection Cracking*)
- i. Pinggiran Jalan Turun Vertikal (*Lane/Shoulder Drop Off*)
- j. Retak Memanjang / Melintang (*Longitudinal / Transverse Cracking*)
- k. Tambalan (*Patching and Utility Cut Patching*)
- l. Pengausan Agregat (*Polished Agregat*)
- m. Lubang (*Potholes*)
- n. Rusak perpotongan rel
- o. Alur (*Rutting*)
- p. Sungkur (*Shoving*)
- q. Patah Slip
- r. Mengembang Jembul (*Swell*)
- s. Pelepasan Butir (*Raveling*)

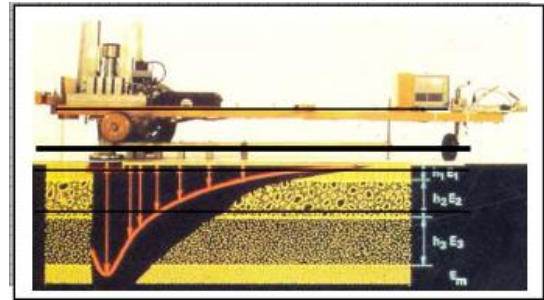
2.3. Kerusakan Jalan

Falling Weight Deflectometer merupakan alat yang digunakan untuk pengujian struktur perkerasan jalan yang sudah digunakan pada berbagai negara. Bina Marga (2005), lendutan adalah besarnya gerak turun vertikal suatu permukaan perkerasan akibat beban. Metode pengukuran lendutan dibagi menjadi dua yakni destruktif dan non destruktif. Pada non destruktif terdapat dua metode yaitu *surface loading test* dan *seismic techniques*.

Berdasarkan [10] FWD merupakan alat uji lendutan dari struktur perkerasan jalan yang menghasilkan nilai lendutan untuk menentukan tebal lapis tambah yang diperlukan, yang mana pengujian ini bersifat tidak merusak (*non-destructive*) dan *dinamis*, *load transfer efficiency*, serta evaluasi karakteristik dari masing-masing lapisan perkerasan jalan.

Alat FWD memiliki prinsip kerja dengan memberikan beban impuls kepada perkerasan jalan melalui pelat beban berbentuk lingkaran yang efeknya merupakan simulasi dari

beban sumbu standar yang bergerak [7]. Alat FWD terdiri dari berbagai rangkaian komponen alat dengan sensor yang ditarik oleh kendaraan penarik seperti mobil



Gambar 1 Diagram cekung lendutan

Dengan pengujian yang dilakukan diperoleh lendutan pada pusat beban (d_{i1}). Nilai yang diperoleh harus dikoreksi dengan faktor muka air tanah, koreksi suhu temperature dan koreksi beban uji.

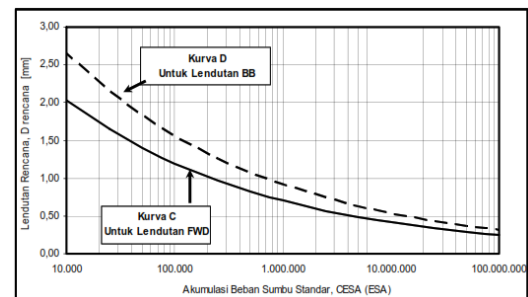
Untuk lendutan rencana / ijin (Drencana) dilakukan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* dengan menggunakan rumus :

$$D_{rencana} = 17,004 \times CESA^{(-0,2307)}$$

Dengan :

Drencana : lendutan rencana

CESA : Akumulasi ekivalensi beban sumbu standar (ESA) atau CESA



Gambar 2 Grafik Hubungan antara lendutan rencana dan lalu lintas

2.4. Analisa Beban Lalu Lintas

Lalu lintas yang melalui permukaan jalan memiliki beban yang dapat dihitung dengan menggunakan volume lalu lintas yang ada pada tahun survey dan diproyeksikan ke depan sepanjang umur rencana. Hal yang paling utama dalam perencanaan desain perkerasan adalah beban poros kendaraan komersial serta volume lalu lintas yang dinyatakan dalam beban poros standar.

Umur rencana pada pekerjaan jalan merupakan jumlah tahunan pada awal mula jalan mulai digunakan untuk lalu lintas kendaraan hingga dilakukan perbaikan yang bersifat struktural. Di dalam buku (Sukirman, 2010) dalam pemeliharaan perkerasan jalan harus tetap dilaksanakan

selama umur rencana jalan tersebut. Seperti pekerjaan pemotongan rumput dan lapisan non struktural yang berfungsi sebagai lapisan aus pada permukaan jalan.

Berdasarkan Peraturan Bina Marga Kementerian PUPR beberapa hal yang harus diperhatikan dalam analisis lalu lintas, diantaranya:

- Data Lalu Lintas

Keberhasilan dari suatu desain perkerasan dapat dipengaruhi oleh akurasi data lalu lintas yang diperoleh. Untuk menghindari terjadinya kesalahan data, perlu melakukan perhitungan mendetail yang mencakup semua kendaraan niaga pada tahap perencanaan.

- Jenis Kendaraan

Dalam analisis data hanya untuk kendaraan komersial memiliki roda 6 atau lebih yang harus dipertimbangkan, karena beban poros yang dihasilkan kendaraan ringan atau kendaraan penumpang relatif kecil sehingga rendah untuk potensi kerusakan struktural pada perkerasan jalan.

- Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Pertumbuhan lalu lintas mengalami perubahan setiap tahunnya, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti kesejahteraan masyarakat, perkembangan suatu daerah, produksi suatu wilayah dan sebagainya. Berdasarkan Tabel Bina Marga untuk factor laju pertumbuhan lalu lintas sebagai berikut :

Tabel 1 Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (%)

Jalan	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata
Arteri dan perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan desa	1,00	1,00	1,00	1,00

Sumber : MDP No. 02/M/BM/2017

Pertumbuhan lalu lintas juga dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$LHR_n = (1+i)^n LHR_0$$

Dengan :

LHR_n = LHR setelah n periode (kendaraan/hari)

LHR_0 = LHR di awal periode (kendaraan/hari)

i = Tingkat pertumbuhan lalu lintas (%)

n = Banyak periode pertumbuhan

- Lalu Lintas Lajur Rencana

Lajur rencana merupakan salah satu bagian lintasan dengan lalu lintas kendaraan niaga (truk dan bus) terbesar. Beban disebut dengan (ESA) beban standar kumulatif per sumbu, dengan mempertimbangkan factor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL). Faktor distribusi lajur dilihat dari jumlah lajur setiap arah lalu lintas.

Tabel 2 Faktor Distribusi Lajur (DL)

Jumlah Lajur Setiap Arah	Kendaraan Niaga pada Jalur Desain (% Terhadap Populasi Kendaraan Niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : Bina Marga,2017

- Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Faktor*)

VDF merupakan salah satu parameter yang dapat menentukan tebal perkerasan cukup signifikan, dan apabila semakin berat kendaraan maka nilai VDF juga naik dan nilai ESAL (*Ekuivalent Single Axle Load*) ikut membesar. Pada perencanaan desain perkerasan, beban lalu lintas diubah menjadi beban standar (ESA) dengan menggunakan factor kerusakan kendaraan (VDF) *Vehicle Damage Faktor*.

- Manual Desain Perkerasan (MDP 2017)

Merupakan salah satu metode yang dikeluarkan Direktorat Jenderal Bina Marga, dengan pendekatan dengan desain mekanistik, prosedur pendukung empiris, dan solusi berdasarkan chart yang mengakomodasikan secara komprehensif. MDP 2017 membagi klasifikasi kendaraan berdasarkan jenisnya, dalam perhitungan hanya kendaraan niaga yang diperhitungkan dalam analisis karena berpotensi menimbulkan kerusakan pada struktural perkerasan.

Tabel 3 Nilai VDF Masing-masing Jenis Kendaraan

Jenis kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku dan Papua			
	Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal		Beban aktual		Normal	
	P.A/D	S.A/D	P.A/D	S.A/D	P.A/D	S.A/D	P.A/D	S.A/D	P.A/D	S.A/D	P.A/D	S.A/D	P.A/D	S.A/D	P.A/D	S.A/D	P.A/D	S.A/D	P.A/D	S.A/D
5B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
6A	0.55	0.5	0.55	0.5	0.55	0.5	0.55	0.5	0.55	0.5	0.55	0.5	0.55	0.5	0.55	0.5	0.55	0.5	0.55	0.5
6B	4.5	7.4	3.4	4.8	5.3	9.2	4.0	5.1	4.8	8.5	3.4	4.7	4.9	9.0	2.9	4.0	3.0	4.0	2.5	3.0
7A1	10.1	18.4	5.4	7.4	8.2	14.4	4.7	6.4	9.9	18.3	4.1	5.3	7.2	11.4	4.9	6.7	-	-	-	-
7A2	10.5	20.0	4.3	5.8	10.2	19.0	4.3	5.6	9.6	17.7	4.2	5.4	9.4	19.1	3.8	4.8	4.9	9.7	3.9	6.0
7B1	-	-	-	-	11.8	18.2	9.4	13.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13.7	21.8	12.8	17.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15.9	29.5	7.0	9.6	11.0	19.8	7.4	9.7	11.7	20.4	7.0	10.2	13.2	25.5	6.5	8.8	8.0	11.9	6.5	8.8
7C2A	19.8	36.0	6.1	8.1	17.7	33.0	7.6	10.2	8.2	14.7	4.0	5.2	20.2	42.0	6.6	8.5	-	-	-	-
7C2B	20.7	42.8	6.1	8.0	13.4	24.2	6.5	8.5	-	-	-	-	17.0	28.8	9.3	13.5	-	-	-	-
7C3	24.5	51.7	6.4	8.0	18.1	34.4	6.1	7.7	13.5	22.9	9.8	15.0	28.7	59.6	6.9	8.8	-	-	-	-

Sumber : MDP No. 02/M/BM/2017

Berdasarkan tabel diatas Bina Marga melakukan revisi terhadap pembagian wilayah yang semula berdasarkan nilai VDF pulau menjadi wilayah provinsi

RIAU												
Kondisi	Kelas Kendaraan	Gol 5B	Gol 6A	Gol 6B	Gol 7A1	Gol 7A2	Gol 7B1	Gol 7B2	Gol 7C1	Gol 7C2A	Gol 7C2B	Gol 7C3
Faktual	VDF 4	1.2	0.5	3.0	9.8	13.6	-	-	9.3	15.9	21.2	15.3
	VDF 5	1.3	0.4	4.3	16.0	26.1	-	-	16.0	27.9	44.4	27.6
Normal	VDF 4	1.2	0.5	1.7	2.6	4.9	-	-	4.2	6.8	4.0	6.0
	VDF 5	1.3	0.4	2.2	2.9	6.3	-	-	5.1	8.8	4.7	7.6

Sumber : Suplemen MDP No. 18/SE/Dd/2020

Untuk perhitungan beban gandar standar kumulatif atau gandar Tunggal setara kumulatif adalah beban gandar total

kumulatif dari lalu lintas rencana pada jalur rencana dengan persamaan sebagai berikut:

$$ESA_{TH-1} = \sum LHR_{JK} \times VDF_{JK} \times 365 \times DD \times DL \times R$$

Dengan :

ESA_{TH-1} = Kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (Equivalent Standard Axle) pada tahun pertama

LHR = Lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari)

VDF = Faktor Ekivalen Beban (Vehicle Damage Factor) tiap jenis kendaraan niaga

DD = Faktor distribusi arah

DL = Faktor distribusi lanjur

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas kumulatif

2.5. Remaining Structural Life

Nilai RSL (*Remaining Struktural Life*) merupakan prediksi dari umur sisa perkerasan jalan yang menggunakan parameter beban lalu lintas yang melalui ruas jalan tersebut sampai pada kondisi ruas tersebut tidak mampu melayani beban lalu lintas.

Dengan menggunakan rumus dari *Integrated Road Management System (IRMS)* versi 3 dan Pedoman No.07/P/BM/2021 tentang Perencanaan dan Pemograman Pekerjaan Preservasi Jaringan Jalan yang dikeluarkan oleh Bina Marga maka penggunaan data lendutan dapat digunakan untuk perhitungan berikut:

$$RSL = \frac{\ln\left(\frac{CAP \times r + CESA \times (1 + R)}{CESA}\right)}{\ln(1 + R)} - 1$$

Dengan:

RSL = Remaining Structural Life (tahun)

CAP = Remaining Structural Capacity (ESA)

CESA = Cumulative Equivalent Standard Axle

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

Tujuan mengetahui nilai RSL ini adalah untuk menentukan dan memperhitungkan pemilihan penanganan selanjutnya pada kegiatan preservasi jalan, baik berupa perbaikan jalan, rekonstruksi jalan maupun pemeliharaan rutin jalan. Untuk mendapatkan nilai sisa kapasitas struktur (CAP) dengan persamaan berikut

$$CAP = \left\{ \frac{[SNP - (Ki \times 1,05)]}{[Kg \times 2,135]} \right\}^{\frac{1}{Kc \times 0,175}}$$

Dimana :

SNP = Nilai Struktur Perkerasan

Ki, Kg, Kc = Faktor Kalibrasi berdasarkan tipe perkerasan Perkerasan Lentur Aspal Full Depth dengan nilai Ki = 0, Kg = 1.93 dan Kc = 0,61

$$SNP = \frac{280}{[d0^{0,67}]}$$

D0 = Defleksi sensor d0 FWD yang dinormalisasi ke beban 40 Kn (microns)

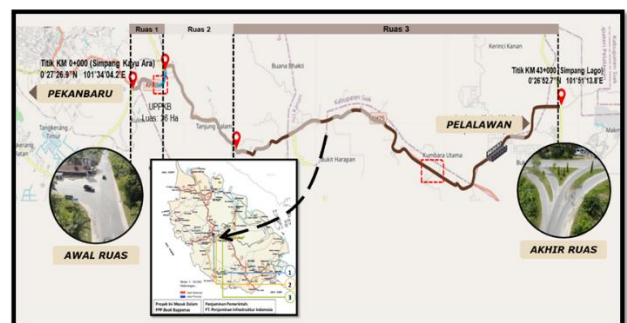
3. METODOLOGI

Penelitian ini akan dilakukan dengan metode deskriptif analisis, yaitu akan menganalisa data data yang diperoleh, baik data primer maupun data sekunder yang diperoleh dari BPJN Riau dan Satker P2JN Provinsi Riau. Penelitian ini berpedoman pada beberapa metoda perhitungan faktor kerusakan yang disebabkan kendaraan lalu lintas harian terhadap nilai lendutan struktur perkerasan yang diperoleh dari data pengujian FWD (*Falling Weight Deflectometer*).

3.1. Studi Kasus Penelitian

Studi kasus penelitian berlokasi di jalan Simpang Kayu Ara (Pekanbaru) menuju Simpang Lago (Pelalawan) dengan panjang 42,85 Km yang terdiri dari 3 ruas Jalan Nasional, yang dapat dilihat pada gambar berikut:

1. 010.15k (Simpang Kayu Ara – Bts. Pelalawan) sepanjang 3,42 Km
2. 010 (Bts. Pelalawan – Sikijang Mati) sepanjang 8.64 Km
3. 011 (Sikijang Mati – Simp. Lago Pelalawan) sepanjang 30,79 Km



Gambar 3 Peta Studi Kasus Penelitian

3.2. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dimulai dari pengumpulan data primer dan data sekunder, kemudian dilanjutkan menganalisa dengan metoda MDP 2017 dan data lendutan menggunakan hasil pengujian FWD (*Falling Weight Deflectometer*)

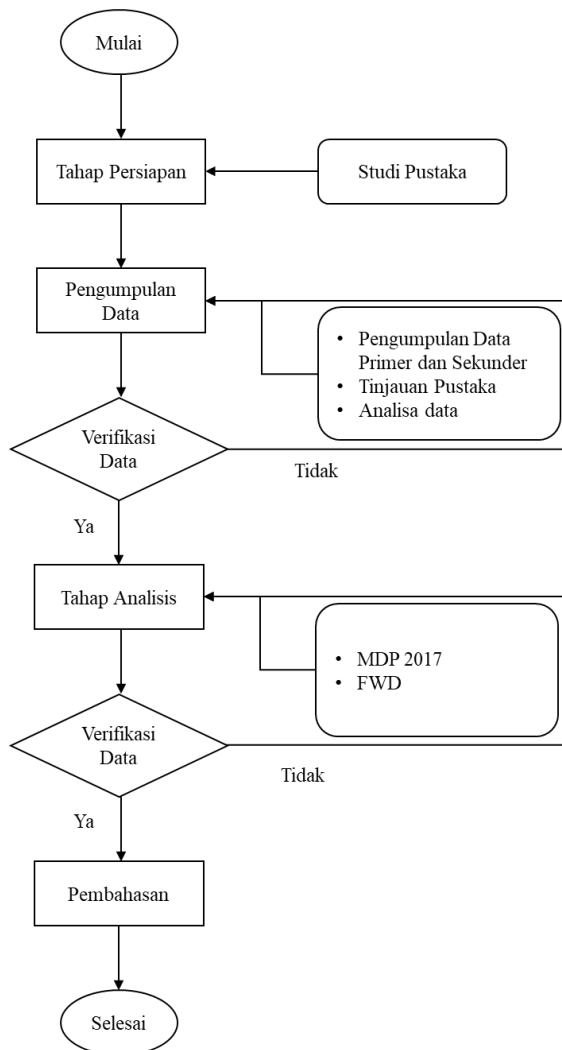
3.3. Tahapan Penelitian

Berdasarkan metodologi penelitian ini melakukan beberapa tahapan sebagaimana berikut :

- Mengumpulkan data yang dibutuhkan, kemudian mengolah menggunakan metoda analisis yang dipilih.

- Melakukan survei pada instansi terkait yang akan dijadikan narasumber data.
- Melakukan survei lokasi yang menjadi studi kasus, guna memperoleh kondisi visual jalan.
- Melakukan evaluasi data lendutan dan histori penanganan serta lalu lintas pada jalan yang dipilih
- Memberikan kesimpulan terhadap hasil dan rekomendasi mengenai studi lebih lanjut penelitian.

3.4. Bagan Alir



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Beban Lalu Lintas (CESA)

Nilai kumulatif ESAL merupakan kumulatif beban ekuivalen selama satu tahun, yang mana nilai tersebut diperoleh dari hasil perkalian nilai volume lalu lintas harian rata-rata dari hasil survey (LHR) pada tahun yang di tinjau dengan nilai faktor kerusakan yang disebabkan oleh kendaraan, koefisien distribusi arah, jumlah hari dalam satu tahun dan koefisien distribusi lajur lalu lintas

Tahun	Ruas 1	Kenaikan / Tahun (%)	Ruas 2	Kenaikan / Tahun (%)	Ruas 3	Kenaikan / Tahun (%)
2017	325.215		111.169		121.858	
2018	551.046	41%	584.417	81%	416.256	71%
2019	1.328.391	59%	1.048.958	44%	846.226	51%
2020	1.392.553	5%	1.148.029	9%	1.219.517	31%
2021	1.522.415	9%	1.293.404	11%	984.353	-24%
Rata-rata		28%		36%		32%

Dengan menggunakan data LHR pada tabel diatas serta memakai perhitungan dengan menggunakan nilai faktor ekuivalen beban dan pembagian golongan beban berdasarkan jenis sumbu dengan metoda yakni MDP 2017.

Dalam Manual Desain Perkerasan 2017 dan direvisi menggunakan SE Suplemen MDP 2017 pada tahun 2020, perhitungan analisa beban lalu lintas atau Ekuivalen Single Axle Load (ESAL) menggunakan volume lalu lintas dari kendaraan niaga, yang dimulai dari penggolongan kendaraan 5B, 6A, 6B, 7A, 7B dan 7C karena diasumsikan penyumbang kerusakan yang disebabkan oleh beban lalu lintas oleh golongan kendaraan tersebut. Didalam Suplemen MDP 2017 nilai VDF sudah ditentukan berdasarkan provinsi

Tabel 4 Nilai VDF Provinsi Riau

Golongan Kendaraan	5B	6A	6B	7A1	7A2	7B1
VDF 4 Faktual	1,2	0,5	3	9,8	13,6	-
VDF 4 Normal	1,2	0,5	1,7	2,6	4,9	-

Golongan Kendaraan	7B2	7C1	7C2A	7C2B	7C3
VDF 4 Faktual	-	9,3	15,9	21,2	15,3
VDF 4 Normal	-	4,2	6,8	4	6

Sumber : Suplemen MDP No. 18/SE/Dd/2020

Contoh perhitungan untuk kendaraan golongan 5B pada ruas Simpang Kayu Ara – Bts. Kab. Pelalawan di tahun 2017 dengan VDF 4 normal.

$$\begin{aligned}
 ESA_{TH-1} &= \sum LHR_{JK} \times VDF_{JK} \times 365 \times DD \times DL \times R \\
 &= 118 \times 1,2 \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 4,83 \\
 &= 124.986
 \end{aligned}$$

Dari persamaan diatas, diperoleh hasil sebagai berikut pada tahun 2017 ruas 1 (Simpang Kayu Ara – Batas Kabupaten Pelalawan) sebesar 1.223.928 ESAL

Tabel 5 Hasil Perhitungan
Simpang Kayu Ara – Bts. Kab. Pelalawan

No.	Golongan Kendaraan	VDF 4 Normal	LHR 2017	ESA 2017	LHR 2018	ESA 2018	LHR 2019	ESA 2019	LHR 2020	ESA 2020	LHR 2021	ESA 2021
1	Mobil Perumpang	-	3553,14		7349,43		20864,43		21872		17979	
2	5B	1,2	118	124.988	77	81.146	160	168.790	167	176.942	94	99.581
3	6A	0,5	315	138.643	751	330.931	1.385	610.358	1.452	639.829	168	73.918
4	6B	1,7	237	355.574	192	287.713	1.042	1.561.873	1.093	1.637.311	2.105	3.153.716
5	7A	2,6	159	363.747	192	440.032	851	1.951.006	892	2.045.240	1.556	3.566.750
6	7B	4,9	17	72.810	106	458.455	117	507.201	123	531.699	0	617
7	7C	4,2	45	168.185	192	710.821	84	310.984	88	326.005	248	918.673
	Kumulatif		4.454	1.223.928	8.859	2.309.099	24.504	5.110.213	25.687	5.357.096	22.150	7.813.256

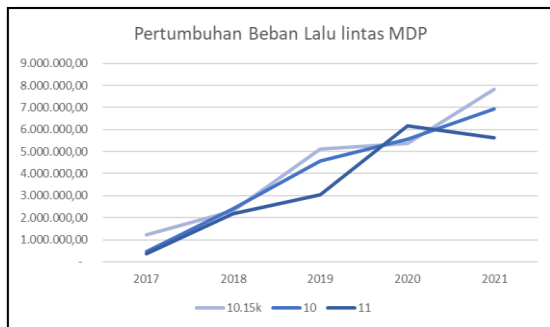
Tabel 6 Hasil Perhitungan
Bts. Kab. Pelalawan – Sikijang Mati

No.	Golongan Kendaraan	VDF 4 Normal	LHR 2017	ESA 2017	LHR 2018	ESA 2018	LHR 2019	ESA 2019	LHR 2020	ESA 2020	LHR 2021	ESA 2021
1	Mobil Penumpang	-	552,14		7896,00		14948,00		13174		12354	
2	SB	1,2	60	63.164	104	110.461	71	75.102	70	74.346	85	90.062
3	6A	0,5	71	31.103	803	353.849	860	379.160	221	97.592	125	55.218
4	6B	1,7	111	165.692	192	287.713	887	1.329.604	1.583	2.372.351	1.558	2.334.461
5	7A	2,6	29	65.808	192	440.032	849	1.944.786	1.192	2.732.850	1.510	3.459.689
6	7B	4,9	7	30.852	118	509.052	130	562.117	1	6.170	0	617
7	7C	4,2	28	103.133	192	710.821	77	283.482	77	283.482	266	983.197
Kumulatif			857	459.752	9.497	2.411.930	17.822	4.574.251	16.319	5.566.792	15.898	6.923.243

Tabel 7 Hasil Perhitungan
Sikijang Mati – Simpang Lago

No.	Golongan Kendaraan	VDF 4 Normal	LHR 2017	ESA 2017	LHR 2018	ESA 2018	LHR 2019	ESA 2019	LHR 2020	ESA 2020	LHR 2021	ESA 2021
1	Mobil Penumpang	-	753,71		6409,57		10703,57		9876		2990	
2	SB	1,2	135	142.950	85	89.910	61	64.977	81	85.226	82	86.435
3	6A	0,5	103	45.333	368	162.003	1.142	503.133	425	187.250	51	22.541
4	6B	1,7	70	105.110	193	289.854	399	597.904	1.377	2.063.873	919	1.377.557
5	7A	2,6	25	56.968	193	443.306	587	1.344.652	1.101	2.522.328	1.376	3.152.910
6	7B	4,9	0	1.851	108	464.525	71	306.665	1	4.319	1	2.468
7	7C	4,2	0	1.587	193	716.110	59	217.372	357	1.321.155	268	993.775
Kumulatif			1.088	393.799	7.550	2.165.809	13.022	3.034.704	13.218	6.184.152	5.687	5.635.685

Maka diperoleh perbandingan pertumbuhan beban lalu lintas dari ketiga ruas dari tahun 2017 – 2021 sebagai berikut



Gambar 4 Grafik Pertumbuhan (CESA) Beban Lalu Lintas 2017-2021 MDP 2017

4.2. Perhitungan RSL Data Lendutan

Analisa dan Prediksi Nilai RSL (*Remaining Struktural Life*) dengan menggunakan data lendutan (FWD). Data lendutan yang diperoleh merupakan hasil bacaan geophone dari pengujian. Untuk mengetahui nilai RSL dilakukan beberapa tahapan analisa berdasarkan persamaan Contoh perhitungan pada Ruas Simpang Kayu Ara – Bts. Kab. Pelalawan Sta 00+000 – 00+200 pada tahun 2017 dengan data d0 : 233,30

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \text{SNP} &= \frac{a}{d_0^b} = \frac{280}{233,3^{0,67}} = 7,26 \\
 \bullet \quad \text{CAP} &= \frac{[\text{SNP} - (K \times 1,05)]}{[K \times 2,135]} \times \frac{1}{0,61 \times 0,175} \\
 &= \frac{[7,26 - (0,00 \times 1,05)]}{[1,93 \times 2,135]} \times \frac{1}{0,61 \times 0,175} \\
 &= 200,28 \text{ Mesa}
 \end{aligned}$$

<https://doi.org/10.35583/js.v12i1.230>

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad \text{RSL} &= \frac{\text{Ln} \left(\frac{\text{CAP} \times r + \text{CESA} \times (1+r)}{\text{CESA}} \right)}{\text{Ln}(1+r)} - 1 \\
 &= \frac{\text{Ln} \left(\frac{200,28 \times 4,83 + 1.223.928,03 \times (1 + 4,83)}{1.223.928,03} \right)}{\text{Ln}(1 + 4,83)} - 1 \\
 &= 2,90 \text{ Tahun}
 \end{aligned}$$

Tabel 8 Hasil Perhitungan RSL (2017) FWD
Ruas (10.15k) Simpang Kayu Ara – Bts. Kab. Pelalawan

Nomor	Nomor Ruas	Nama Ruas	STA	2017			
				Data DO	SNP	CAP	RSL
1	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	00+000	233,30	7,26	200,28	2,90
2	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	00+213	198,20	8,09	557,28	3,48
3	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	00+415	225,30	7,43	249,31	3,03
4	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	00+619	213,00	7,71	354,63	3,23
5	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	00+806	418,80	4,90	5,09	0,94
6	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	01+028	341,20	5,62	18,43	1,58
7	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	01+209	324,20	5,82	25,40	1,75
8	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	01+404	365,30	5,37	12,01	1,36
9	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	01+615	378,80	5,24	9,56	1,24
10	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	01+813	322,20	5,84	26,40	1,78
11	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	02+016	223,80	7,46	259,99	3,05
12	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	02+214	173,40	8,85	1289,57	3,96
13	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	02+404	218,10	7,59	305,69	3,14
14	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	02+607	276,10	6,48	69,58	2,31
15	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	02+803	200,80	8,02	513,51	3,43
16	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	03+006	478,30	4,48	2,21	0,59
17	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	03+219	289,30	6,28	51,91	2,15
18	010.15k	Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan	03+422	241,20	7,10	162,51	2,78

Berdasarkan tabel 8 diperoleh rata rata umur sisa perkerasan jalan Simpang Kayu ara – Bts. Kab. Pelalawan sebesar 2,37 Tahun

Tabel 9 Hasil Perhitungan RSL (2017)
Ruas (10) Bts. Kab. Pelalawan – Sikijang Mati

Nomor	Nomor Ruas	Nama Ruas	STA	2017			
				Data D1	SNP	CAP	RSL
1	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	00+000	223,9	7,46	259,50	3,05
2	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	00+214	315,5	5,93	30,12	1,85
3	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	00+417	323,0	5,83	25,99	1,77
4	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	00+610	340,6	5,63	18,64	1,59
5	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	00+809	207,6	7,85	417,07	3,32
6	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	01+014	155,8	9,51	2527,92	4,34
7	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	01+208	221,6	7,51	276,88	3,09
8	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	01+406	226,6	7,40	240,69	3,01
9	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	01+612	245,5	7,01	145,45	2,72
10	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	01+822	212,8	7,72	356,38	3,23
11	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	02+018	200,8	8,02	514,05	3,44
12	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	02+208	312,6	5,96	31,92	1,88
13	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	02+410	240,8	7,10	164,35	2,79
14	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	02+613	290,0	6,27	51,16	2,14
15	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	02+808	173,5	8,85	1284,91	3,95
16	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	03+043	181,6	8,58	963,83	3,79
17	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	03+205	187,3	8,41	794,80	3,68
18	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	03+407	155,8	9,51	2527,92	4,34
19	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	03+608	228,6	7,35	227,36	2,97
20	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	03+804	139,5	10,24	5058,86	4,73
21	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	04+011	130,4	10,71	7713,96	4,97
22	010	Bts. Pelalawan - Sikijang Mati	04+222	170,7	8,95	1424,80	4,01

Berdasarkan tabel 9 diperoleh rata rata umur sisa perkerasan jalan Bts. Kab. Pelalawan – Sikijang Mati sebesar 3,37 Tahun

Tabel 10 Hasil Perhitungan RSL (2017)
Ruas (11) Sikijang Mati – Simpang Lago

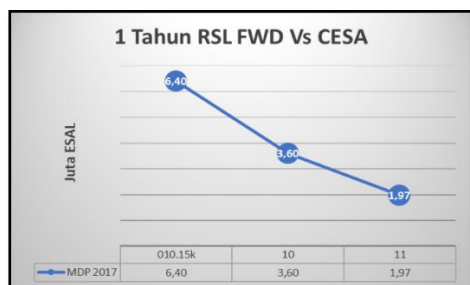
Nomor	Nomor Ruas	Nama Ruas	STA	2017			
				Data DO	SNP	CAP	RSL
1	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	00+000	370,30	5,32	11,02	1,31
2	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	00+211	158,20	9,41	2293,56	4,28
3	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	00+423	140,90	10,17	4744,41	4,69
4	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	00+633	347,90	5,55	16,31	1,52
5	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	00+815	171,20	8,93	1397,17	4,00
6	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	01+006	283,80	6,36	58,55	2,21
21	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	04+058	140,30	10,20	4873,20	4,71
22	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	04+216	228,30	7,36	229,45	2,98
23	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	04+406	169,80	8,98	1471,06	4,03
24	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	04+610	137,20	10,35	5606,83	4,79
25	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	04+816	303,90	6,08	38,11	1,98
26	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	05+024	263,10	6,69	94,18	2,48
27	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	05+210	195,00	8,18	617,22	3,54
28	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	05+411	456,00	4,63	2,98	0,71
29	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	05+613	325,90	5,80	24,58	1,74
30	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	05+820	225,50	7,42	247,93	3,02
31	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	06+013	320,10	5,87	27,51	1,80
32	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	06+214	159,50	9,36	2178,73	4,25
33	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	06+410	384,70	5,19	8,68	1,19
34	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	06+612	198,40	8,09	553,76	3,48
35	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	06+818	146,60	9,90	3699,01	4,55
36	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	07+008	242,80	7,06	155,90	2,76
37	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	07+210	354,60	5,48	14,47	1,45
38	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	07+411	384,10	5,19	8,76	1,20
39	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	07+612	240,40	7,11	165,93	2,80
40	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	07+815	499,80	4,35	1,68	0,49
41	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	08+011	217,00	7,62	315,55	3,16
42	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	08+217	140,10	10,21	4917,03	4,71
43	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	08+420	312,60	5,96	31,92	1,88
44	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	08+613	248,30	6,96	135,45	2,68
45	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	08+809	208,70	7,82	403,06	3,30
46	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	09+027	344,40	5,59	17,38	1,55
47	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	09+211	355,00	5,48	14,37	1,45
48	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	09+413	219,30	7,56	295,34	3,12
49	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	09+610	185,90	8,45	833,12	3,71
50	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	09+805	180,90	8,60	988,61	3,81
51	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	10+009	704,50	3,46	0,19	0,08
52	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	10+211	131,60	10,65	7282,96	4,94
53	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	10+414	375,90	5,27	10,03	1,27
54	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	10+615	325,60	5,80	24,72	1,74
55	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	10+818	252,00	6,89	123,44	2,63
56	011	Seikijang Mati - Simp. Lago (Pelalawan)	11+021	384,00	5,20	8,78	1,20

Berdasarkan tabel 10 diperoleh rata-rata umur sisa perkerasan jalan Sikijang Mati – Simpang Lago sebesar 3,34 tahun.

Maka jalan Simpang Kayu menuju Simpang Lago Pelalawan pada tahun 2017 memiliki Umur Sisa Perkerasan rata-rata sebesar 3,03 tahun berdasarkan data hasil pengujian lendutan (FWD) pada struktur lapisan perkerasan

4.3. Perhitungan Penurunan RSL Terhadap Beban Lalu Lintas

Beban Lalu Lintas pada Jalur Lintas Timur dari simpang Kayu Ara – Simpang Lago (Pelalawan) ini terbagi menjadi 3 ruas. Nilai pertumbuhan CESA dari tahun 2017 – 2021 sudah dilakukan perhitungan dengan beban lalu lintas VDF MDP 2017 seperti grafik dan tabel



Gambar 5. Grafik Penurunan RSL Setiap Ruas Jalan

Berdasarkan analisa dan perhitungan sebelumnya terlihat perbandingan antara pengaruh pertambahan beban lalu lintas pertahun dengan 3 metoda terhadap nilai umur sisa

perkerasan, maka diperoleh untuk penurunan 1 tahun Umur Sisa Perkerasan dengan Cesa hasil hitungan VDF MDP 2017 diperlukan beban lalu lintas sebesar

- Ruas Simpang Kayu Ara - Bts. Pelalawan 6,4 Juta ESAL
- Ruas Bts. Pelalawan – Sikijang Mati 3,6 Juta ESAL
- Ruas Sikijang Mati – Simpang Lago 1,97 Juta ESAL

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini persentase pertumbuhan beban lalu lintas dari tahun 2017-2021 pada ruas berikut:

- Simpang Kayu Ara -Bts. Pelalawan 34 %
- Bts. Pelalawan – Sikijang Mati 41%
- Sikijang Mati – Simpang Lago 38%

Dan untuk penurunan 1 tahun umur sisa perkerasan terhadap data lendutan sebagai berikut:

- Ruas Simpang Kayu Ara -Bts. Pelalawan 6,4 Juta Esal
- Bts. Pelalawan – Sikijang Mati 3,6 Juta Esal
- Sikijang Mati – Simpang Lago 1,97 Juta Esal

Berdasarkan hasil dan pembahasan, penelitian ini diharapkan dapat dilanjutkan oleh peneliti berikutnya dengan memperhatikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Sebaiknya dilakukan analisis lebih lanjut mengenai perilaku kendaraan yang melewati ruas yang dijadikan studi kasus
2. Untuk hasil yang lebih detail, sebaiknya data-data ditambahkan dengan data beban faktual lalu lintas yang diperoleh dari jembatan penimbangan kendaraan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Permen PUPR Nomor 05 Tahun, “Permen PUPR Nomor 05 Tahun 2018.” 2018.
- [2] C. H. Oglesby, *Teknik Jalan Raya, Jilid 1*, Jilid 1. Jakarta, 1999.
- [3] R. Faisal, “Perbandingan Metode Bina Marga Dan Metode Pci (Pavement Condition Index) Dalam Mengevaluasi Kondisi Kerusakan Jalan (Studi Kasus Jalan Tengku Chik Ba Kurma, Aceh),” *Teras Jurnal*, vol. 10, no. 1, p. 110, 2020.
- [4] S. E. Priana, “Analisa Faktor Penyebab Kerusakan Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Lingkar Utara Kota Padang Panjang),” *Rang Teknik Journal*, vol. 1, no. 1, 2018.
- [5] F. Alfianti, “TIM EJOURNAL Ketua Penyunting : Penyunting : Mitra bestari : Penyunting Pelaksana : Redaksi : Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya Website :

tekniksipilunesa . org Email : REKATS,” *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 202–208, 2017.

- [6] I. Iskahar, S. Anjarwati, and L. O. Rejeki, “Pengaruh Beban Berlebih Terhadap Umur Rencana Perkerasan Jalan (Studi Kasus Ruas Jalan Jenderal Soedirman Sokaraja),” *CIVeng: Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 2, no. 2, pp. 75–86, 2021.
- [7] S. Sukirman, *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*, vol. 53, no. 9. 2010.
- [8] S. Sukirman, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. 1999.
- [9] H. Yunardhi, “Analisa Kerusakan Jalan Dengan Metode Pci Dan Alternatif Penyelesaiannya (Studi Kasus : Ruas Jalan D.I. Panjaitan),” *Jurnal Teknologi Sipil*, vol. 2, no. 2, 2018.
- [10] Kementrian PUPR, “Cara uji lendutan permukaan jalan dengan falling weight deflectometer (FWD),” *PEDOMAN Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil*, no. September, 2019.