

PENINGKATAN JALAN PERKERASAN KAKU (*RIGID PAVEMENT*) PADA RUAS JALAN LINGKAR KEBUN RAYA CIBINONG KABUPATEN BOGOR

Muhamad Mufti Ravianto¹, Arif Mudianto², Puji Wiranto³

ABSTRAK

Ruas Jalan lingkaran Kebun Raya Cibinong Kabupaten Bogor termasuk kedalam kelas jalan lokal yang mempunyai lebar jalan 6 m, menggunakan konstruksi jalan perkerasan lentur, terbentang dari jalan sampora menuju jalan raya lipi. Dikarenakan fungsi jalan lingkaran kebun raya cibinong kabupaten bogor mengalami kerusakan, maka perlu perbaikan struktur jalan. Hal yang menyebabkan salah satunya yaitu sistem drainase yang tidak layak, beban lalu lintas yang over, serta repatisi beban. Tujuan dari penelitian ini adalah meredesain perkerasan lentur (*hotmix*) menjadi perkerasan jalan kaku (*Rigid Pavement*) menggunakan metode Bina Marga (Pd T-14-2003). Disarankan menggunakan perkerasan kaku (*rigid pavement*), menggunakan jenis perkerasan beton bersambung tanpa tulangan, umur rencana 40 tahun dengan CBR Tanah Dasar 6%, tebal perkerasan kaku 20 cm menggunakan Beton K-400 (400 kg/cm²), untuk lapis pondasi kelas A 10 cm, sambungan melintang (*Ruji/dowel*) digunakan Baja Polos \varnothing 33 mm, panjang 45 cm, jarak 30 cm, sedangkan digunakan baja ulir D 16 mm, panjang 70 cm, jarak 75 cm untuk batang pengikat (*Tie Bars*). Mutu beton Perlu diperhatikan harus sesuai dengan perhitungan K-400, umur beton 28 hari dalam proses pembetonannya, disarankan juga untuk memperhatikan mutu beton sesuai metode Bina Marga (Pd T-14-2003) bila dipasaran tidak ditemui diameter besi yang sesuai dengan perencanaan, maka gunakan besi diameter atas yang mendekati dengan ketentuan, dilakukan kembali perhitungan pembesian dengan ketebalan perkerasan yang sama 20 cm.

Kata Kunci: *Redesain, Rigid Pavement, Beton Tanpa Tulangan, Tie Bars*

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Infrastruktur dalam bidang transportasi adalah jalan raya, jalan raya merupakan salah satu prasarana perhubungan darat yang mempunyai peranan penting bagi pertumbuhan perekonomian dan sosial budaya, yang nantinya diharapkan dapat menciptakan keselarasan dan kesejahteraan masyarakat sehingga negara maju dan dapat tercapainya tujuan pembangunan itu sendiri. Jalan raya merupakan suatu sarana transportasi yang sangat penting karena dengan jalanlah maka daerah yang satu dapat berhubungan dengan daerah yang lainnya. Untuk menjamin agar jalan dapat memberikan pelayanan sebagaimana yang diharapkan maka diusahakan peningkatan jalan. Dengan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor, hal ini menyebabkan meningkatnya jumlah arus lalu lintas dengan kemampuan jalan raya terbatas.

Jalan lingkaran kebun raya cibinong memiliki lebar 6 m, dan jalan ini termasuk jenis jalan lokal, dan jalan tersebut menggunakan konstruksi perkerasan lentur (*flexibel pavement*), Jalan ini termasuk wilayah dari Kecamatan Cibinong yang memiliki panjang 1 km dan Jalan ini merupakan salah satu akses menuju antara Jalan Raya lipi dan jalan raya sampora. Dimana hal ini cukup

banyaknya aktivitas lalu lintas kendaraan di jalan lingkaran kebun raya Cibinong.

Maka dari itu banyak sekali hal yang mengakibatkan kerusakan pada Jalan yang cukup banyak akibat aktivitas atau beban kendaraan roda empat maupun roda dua, melihat dari fungsi jalan lingkaran kebun raya cibinong yang cukup strategis maka sangat diperlukan pemeliharaan dan peningkatan agar jalan tersebut dapat digunakan kembali dengan baik dan efektif. Dari latar belakang tersebut, peneliti mencoba merencanakan kembali perkerasan jalan lingkaran kebun raya cibinong Kabupaten Bogor yang dituangkan dalam suatu Tugas Akhir dengan judul "Peningkatan Jalan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) Pada Ruas Lingkaran Kebun Raya Cibinong.

1.2. Maksud Dan Tujuan

Merencanakan ulang perkerasan jalan dan peningkatan Jalan Lingkaran Kebun Raya Cibinong Kabupaten Bogor agar dapat meningkatkan tingkat pelayanan jalan bagi para pengguna jalan, dengan tujuan agar dapat memberikan pelayanan yang aman, baik dan nyaman bagi para pengguna jalan yang melewati jalan tersebut.

1.3. Tinjauan Pustaka

A. Uraian Umum

Agar memenuhi fungsi, perkerasan beton semen harus:

1. Mereduksi tegangan yang terjadi pada tanah dasar (akibat beban lalu-lintas) sampai batas-batas yang masih mampu di pikul tanah dasar tersebut, tanpa menimbulkan penurunan/perbedaan lendutan yang dapat merusak perkerasan.
2. Mampu mengatasi pengaruh penurunan dan kembang susut kekuatan tanah dasar, serta pengaruh cuaca dan kondisi lingkungan.

Perkerasan beton semen merupakan struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang tersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan.

1. Klasifikasi Jalan

- Menurut Fungsinya
Jalan Alteri, Jalan Kolektor, dan Jalan Lokal
- Menurut Kelas

Tabel 1. Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

Fungsi	Kelas	Muatan Sumbu Terberat MST(Ton)
Arteri	I	>10
	I	10
	I	8
	III A	
Kolektor	III	8
	AIII	
	B	
Lokal	III C	8

Sumber: TPGJAK NO.038/T/BM/1997

- Menurut Medan Jalan

Tabel 2. Klasifikasi Menurut Medan Jalan

No	Jenis Medan	Notasi	Kemiringan Median (%)
1	Datar	D	<3
2	Perbukitan	B	3-25
3	Pegunungan	G	>25

Sumber: TPGJAK NO.038/T/BM/1997

- Menurut wewenang pembinaan

Klasifikasi jalan menurut fungsi jalan pada Bina Marga dalam (TPGJAK) No.038/T/BM/1997 terbagi atas: Jalan Raya, Jalan Provinsi, Jalan Kabupaten, Jalan Kotamadya dan Jalan Khusus

2. Jenis Konstruksi Perkerasan

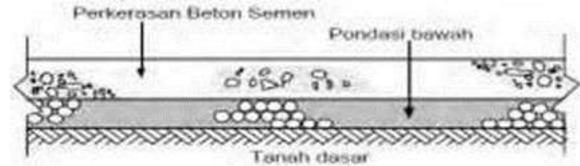
Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi: (Sukirman 2003),

- Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*).
- Konstruksi perkerasan kaku (*flexible pavement*).

- Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*).

B. Struktur Perkerasan Kaku

Struktur perkerasan beton semen secara tipikal sebagaimana terlihat pada gambar 1 berikut ini:



Sumber: Pd T-14-2003

Gambar 1. Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen

4 jenis perkerasan beton semen: “

- a. Perkerasan kaku menerus dengan tulangan atau “continuously reinforced concrete pavement” (CRCP)
- b. Perkerasan beto semen'prategang' atau “prestressed concrete pavement”
- c. Perkerasan beton semen pracetak (dengan dan tanpa prategang) {Diklat Perkerasan Kaku, Badan Pengembangan Daya Manusia (BPSDM)}
- d. Perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan atau “jointed unreinforced (plain) concrete pavement” (JPCP)
- e. Perkerasan kaku bersambung dengan tulangan atau “jointed reinforced concrete pavement” (JRCP)

C. Kelebihan dan kekurangan dari perkerasan kaku

Keuntungan dari perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah:

1. Dapat menahan beban kendaraan yang berat.
2. Tahan terhadap genangan air dan banjir.
3. Dapat mencapai umur rencana 20 tahun.
4. Dapat lebih bertahan lama terhadap kondisi drainase yang lebih buruk dan terdapat genangan air.
5. Pengadaan material lebih mudah di dapat.

Kekurangan dari perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah:

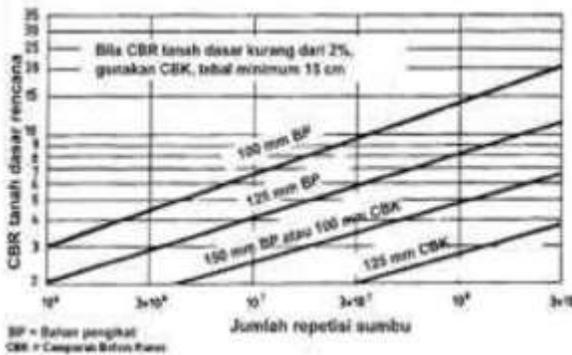
1. Kualitas jalan beton yang sangat bergantung pada perawatannya, perawatan curing yang kurang baik hingga mengakibatkan kerusakan pada beton contoh nya banyak nya retak pada beton akibat perawatan yang kurang baik.
2. Kebanyakan digunakan hanya pada jalan kelas tinggi, serta pada perkerasan lapangan terbang.
3. Agak sulit untuk menetapkan saat yang tepat untuk melakukan pelapisan ulang.
4. Tebal konstruksi perkerasan kaku adalah tebal pelat beton tidak termasuk pondasi.

D. Dasar-dasar Perancangan

- Tanah Dasar

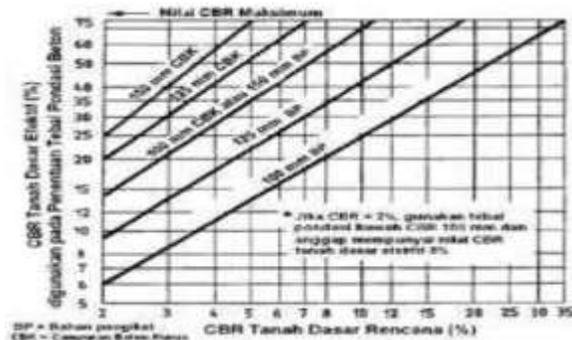
Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan adanya pengujian CBR insitu atau CBR laboratorium, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2 %, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5%. (*Pd T-14-2003*).
- Pondasi Bawah

Tebal minimum lapisan pondasi bawah yang disarankan dapat dilihat pada Gambar 2 dan CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 3 berikut ini:



Sumber: *Pd T-14-2003*

Gambar 2. Tebal Pondasi Bawah Minimum Untuk Perkerasan Beton Semen



Sumber: *Pd T-14-2003*

Gambar 3. CBR Tanah Dasar Efektif dan Tebal Pondasi Bawah

Pondasi Bawah Dengan Bahan Pengikat (*Bound Sub-base*)

Pondasi bawah dengan bahan pengikat (BP) dapat digunakan salah satu dari:

- Agar dapat menjamin kekuatan campuran dan ketahanan terhadap erosi stabilisasi matrial berbutir dengan bahan pengikat harus sesuai dengan hasil perencanaan . berikut jenis bahan pengikat yaitu semen, kapur, serta abu terbang dan/atau slag yang dihaluskan.
- Campuran beraspal bergradasi rapat (*dense-*

graded asphalh).

kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari minimum 5,5 MPa (55 kg/cm). Yang harus dimiliki campuran beton kurus giling padat

- Beton Semen

Kekuatan beton dapat dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strenght*) dengan umur 28 hari, yang diperoleh dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3-5 MPa (30-50 kg/cm²). kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan yaitu hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm²) terdekat. Hubungan antara kuat tarik- lentur dengan kuat tekan karakteristik beton dapat didekati dengan rumus berikut :

$$fcf = K(fc')^{0,50} \text{ MPa} \dots \dots \dots (1)$$

$$fcf = 3,13(fc')^{0,50} \text{ kg/cm}^2 \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

fcf = Kuat Tarik Lentur Beton umur 28 Hari (kg/cm²)

fc' = Kuat Tekan Beton Karakteristik 28 Hari (kg/cm²)

K = Konstanta, 0,7 Untuk Agregat Tidak Dipecah Dan 0,75 Untuk Agregat Pecah.

menurut SNI 03-2491-1991 Kuat tarik lentur dapat juga ditentukan dari hasil uji kuat tarik belah beton yang dilakukan

sebagai berikut :

$$fcf = 1,37 \times fcs \text{ MPa} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

fcs = Kuat Tarik Belah Beton umur 28 Hari (kg/cm²)

serat baja (*steel-fibre*) dapat memperkuat beton, untuk meningkatkan kuat tarik lenturnya dan mengendalikan retak pada pelat khususnya untuk bentuk tidak lazim. Serat baja dapat digunakan pada campuran beton, untuk putaran dan perhentian bus, jalan plaza tol.

- Lalu-Lintas

Data pencacahan volume lalu lintas merupakan informasi yang diperlukan untuk pengoperasian jalan, fase perencanaan, manajemen sampai desain. (Sukirman 1994). Terdapat 4 jenis konfigurasi sumbu untuk perencanaan yaitu :

- Sumbu Tunggal Roda Tunggal (STRT).
- Sumbu Tunggal Roda Ganda (STRG).
- Sumbu Tandem Roda Ganda (STdRG).
- Sumbu Tridem Roda Ganda (STrRG).

Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur dan koefisien distribusi (C) dapat ditentukan dari lebar perkerasan sesuai Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga pada lajur rencana

Lebar perkerasan (L_p)	Jumlah lajur (n_l)	Koefisien distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50$ m	1 lajur	1	1
$5,50 \text{ m} < L_p < 8,25$ m	2 lajur	0,70	0,50
$8,25 \text{ m} < L_p < 11,25$ m	3 lajur	0,50	0,433
$11,25 \text{ m} < L_p < 15,00$ m	4 lajur	-	0,41
$15,00 \text{ m} < L_p < 18,75$ m	5 lajur	-	0,423
$18,75 \text{ m} < L_p < 22,00$ m	6 lajur	-	0,40

Sumber: Pd T-14-2003

Tabel 5. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (i), (%)

Jenis	Jawa	Sumatera	Kalimantan	\bar{i}
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: Manual Perkerasan Jalan (Revisi 2017), 2017

• Umur Rencana

Umur rencana (UR) perkerasan jalan dapat ditentukan atas pertimbangan pola lalu-lintas, klasifikasi fungsional jalan, serta nilai ekonomi jalan yang terkait, yang dapat ditentukan antara lain dengan metode *Benefit Cost Ratio*, *Internal Rate of Return*,. Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun. (Pd-T-14-2003).

Pertumbuhan Lalu-Lintas

Volume lalu-lintas dapat bertambah apabila sesuai dengan umur rencana yang di tentukan atau sampai tahap di mana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu- lintas yang dapat ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{(1+i)UR-1}{i} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

R = Faktor pertumbuhan lalu lintas

i = "Laju pertumbuhan lalu lintas per tahun dalam %"

UR = Umur rencana (Tahun). (Pd-T-14-2003).

Faktor pertumbuhan lalu lintas (R) dapat juga ditentukan berdasarkan Tabel 6:

Tabel 6. Faktor pertumbuhan lalu lintas (R)

Umur Rencana (Tahun)	Laju pertumbuhan (i) per tahun (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1
10	10	10,9	12	13,2	14,5	15,9
15	15	17,3	20	23,3	27,2	31,8
20	20	24,3	29,8	36,8	45,8	57,3
25	25	32	41,6	54,9	73,1	98,3
30	30	40,6	56,1	79,1	113,3	164,5
35	35	50	73,7	111,4	172,3	271
40	40	60,4	95	154,8	259,1	442,6

Sumber: Pd T-14-2003 Pertumbuhan Lalu-Lintas

Lalu-lintas rencana merupakan jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga yang terdapat pada lajur rencana selama umur rencana, lalu lintas rencana juga meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan. Beban sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10 kN (1 ton) bila diambil dari survai beban. (Pd-T-14- 2003)

Jumlah sumbu kendaraan niaga (JSKN) selama umur rencana dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$JSKN=JSKNH \times 365 \times R \times C \quad (5)$$

Keterangan:

JSKN = Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana.

JSKNH = Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka.

R = Faktor pertumbuhan kumulatif.

C = Koefisien distribusi kendaraan. (Pd-T-14-2003).

Faktor Keamanan Beban

Pada penentuan beban sumbu, beban rencana yaitu dikalikan dengan faktor keamanan beban (FKB). Faktor keamanan beban ini digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan seperti terlihat pada tabel 7. beriku ini:

Tabel 7. Faktor Keamanan Beban (FKB)

No	Penggunaan	Nilai Fkb
1	Jalan bebas hambatan (utama/ mayor/ freeway) dan jalan bebas hambatan yang aliran lalu lintasnya tidak terganggu serta volume kendaraan sangat tinggi. Bila menggunakan data lalu lintas dari hasil survey beban (weight-in-motion) dan adanya kemungkinan rute alternatif, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15	1,2
2	Jalan bebas hambatan (freeway) dan jalan arteri dengan volume kendaraan sangat menengah	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan sangat rendah	1

Sumber: Pd T-14-2003

• Bahu jalan

Yaitu beton semen dalam pedoman ini merupakan bahu yang dikunci dan diikatkan dengan lajur lalu-lintas dengan ukuran lebar minimum 1,50 m, atau bahu yang menyatu terhadap lajur lalu-lintas dengan lebar 0,60 m, yang mencakup juga terhadap saluran dan kreb. (Pd- T-14- 2003)

• Sambungan

Sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk:

- pengendalian retak dan Membatasi tegangan yang disebabkan oleh penyusutan, pengaruh lenting serta beban lalu- lintas.
- Memudahkan pelaksanaan pada pekerjaan.
- Mengakomodasi gerakan pelat.

Beberapa jenis sambungan Pada perkerasan beton antara lain: Sambungan memanjang, Sambungan isolasi dan Sambungan melintang.

Semua sambungan harus ditutup dengan bahan penutup (*joint sealer*), kecuali pada sambungan isolasi terlebih dahulu harus diberi bahan pengisi (*joint filler*). (Pd-T- 14- 2003)

Sambungan Memanjang Dengan Batang Pengikat (*Tie Bars*).

Jarak terhadap antara sambungan memanjang sekitar 3 - 4 m. Sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir dengan mutu minimum BJTU-24 dan berdiameter 16 mm. Ukuran batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$A_t = 204 \times b \times h \dots\dots\dots (6)$$

$$l = (38,3 \times d) + 75 \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

A_t = Luas penampang tulangan per meter Panjang sambungan (mm^2).

b = Jarak paling kecil antar jarak sambungan atau sambungan dengan tepi perkerasan (m).

h = Tebal pelat (m)

l = Panjang batang pengikat (mm). d = Diameter batang pengikat yang dipilih. (Pd-T-14-2003).

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm. (Pd- T-14-2003).

Sambungan Susut Melintang (*Dowel/Ruji*)

Diameter ruji tergantung pada tebal pelat beton sebagaimana terlihat pada Tabel 9. (Pd-T- 14- 2003).

Tabel 9. Diameter Ruji

No	Tebal pelat beton, h (mm)	Diameter ruji (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33
5	$220 < h \leq 250$	36

Sumber: Pd T-14-2003

• Perencanaan Tulangan

Tujuan utama penulangan untuk :

1. Membatasi lebar retakan, agar kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan dan terhindar dari retak memanjang.
2. Memungkinkan penggunaan pelat yang lebih panjang.
3. Mengurangi biaya pemeliharaan.

Perkerasan Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan

Pelat harus diberi tulangan. Penerapan tulangan umumnya dilaksanakan pada :

- a) Pelat yang memiliki bentuk tak lazim (*odd-shaped slabs*), pelat dikatakan tidak lazim

apabila perbandingan antara lebar dengan panjang lebih besar dari 1,25, atau abila pola sambungan pada pelat tidak berbentuk empat persegi panjang atau bujur sangkar.

- b) Pelat yang memiliki sambungan tidak sejalur (*mismatched joints*).
- c) Pelat berlubang (*pits or structures*).

Perkerasan Beton Semen Bersambung Dengan Tulangan

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

A_s = luas penampang pada tulangan baja (mm^2 /m lebar pelat)

f_s = kuat-tarik ijin tulangan (MPa). Biasanya 0,6 kali tegangan leleh.

g = gravitasi (m/detik^2).

h = tebal pelat beton (m)

L = jarak antara sambungan yang tepi dan/atau tidak diikat bebas pelat (m)

M = berat volume pelat per satuan (kg/m^3)

μ = koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah

Luas penampang tulangan berbentuk anyaman bujur sangkar dan empat persegi panjang.

Tabel 10. Berat Tulangan Polos dan ukuran Anyaman Las

Tulangan Memanjang		Tulangan melintang		Luas Penampang Tulangan		Berat per Satuan Luas (kg/m^2)
Diameter (mm)	Jarak (mm)	Diameter (mm)	Jarak (mm)	Memanjang (mm^2/m)	Melintang (mm^2/m)	
Empat persegi panjang						
12,5	100	8	200	1227	251	11,606
11,2	100	8	200	986	251	9,707
10	100	8	200	785	251	8,138
9	100	8	200	636	251	6,967
8	100	8	200	503	251	5,919
7,1	100	8	200	396	251	5,091
9	200	8	250	318	201	4,078
8	200	8	250	251	201	3,552
Bujur sangkar						
8	100	8	100	503	503	7,892
10	200	10	200	393	393	6,165
9	200	9	200	318	318	4,994
8	200	8	200	251	251	3,946
7,1	200	7,1	200	198	198	3,108
6,3	200	6,3	200	156	156	2,447
5	200	5	200	98	98	1,542
4	200	4	200	63	63	0,987

Menurut Prasarana Wilayah (2003) dan Departement Permukima tulangan memanjang yang dibutuhkan pada perkerasan beton semen bertulang berikut:

$$P_s = 100 \times f_{ct} \times (1,3 - 0,2\mu) \dots\dots (9)$$

$$f_y - n f_{ct}$$

Tabel 11. Hubungan angka ekivalen baja dan kuat tekan beton dan beton (n)

f'_c (kg/cm^2)	n
175 - 225	10
235 - 285	8
290 - ke atas	6

Sumber: Pd T-14-2003

Persentase minimum dari tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0.6% luas penampang beton, secara teoritis jarak antara retakan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan berikut :

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n \cdot p^2 \cdot u \cdot f_b \cdot (\epsilon_s \cdot E_c - f_{ct})} \dots \dots \dots (10)$$

Untuk menjamin agar jarak antara retakan yang optimum dan didapat retakan- retakan yang halus, maka :

- Persentase tulangan dan luas tulangan dan perbandingan antara keliling harus besar.
 - Diharuskan menggunakan tulangan ulir (*deformed bars*) agar dapat memperoleh tegangan lekat yang lebih tinggi.
- Jarak retakan teoritis yang dihitung dengan persamaan di atas harus memberikan hasil antara 250 dan 150 cm. Jarak antar tulangan yang di gunakan ialah 100 mm - 225 mm. Diameter batang tulangan memanjang berkisar antara 20 mm dan 12 mm.

II. METODE PENELITIAN

Metode untuk menganalisa kerusakan jalan adalah dengan menggunakan metode bina warga (Pd T-14-2003). Menggunakan metode bina marga (Pd T-14-2003) merupakan metode yang ada di indonesia yang mempunyai hasil akhir yaitu urutan prioritas serta bentuk program pemeliharaan sesuai nilai yang di dapat dari urutan prioritas. Pada metode ini menggabungkan nilai yang di dapat dari survei visual yaitu jenis kerusakan serta survei LHR (Lalu-lintas Harian Rata-rata) dan selanjutnya didapat nilai kondisi jalan serta nilai kelas LHR.

2.1. Lokasi Penelitian

Jalan Lingkar Kebun Raya Cibinong Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2. Teknik Oengumpulan Data

Data primer yang didapat dari pengamatan atau survey langsung di lapangan dan data sekunder yang didapat dari Dinas PUPR Kabupaten Bogor.

1. Data primer, yaitu data yang didapat dari pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan, yang termasuk data primer adalah sebagai berikut:
 - LHR (Lalu Lintas Harian Rata Rata)
Lalu lintas harian rata rata yang merupakan volume lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati satu titik pengamatan selama satuan waktu, yang diperoleh dari melakukan Survei *Traffic Counting* pada lokasi tinjauan.
 - Dokumentasi Lapangan
Pembuatan data untuk mendapatkan foto-foto kondisi kerusakan dan keramaian pengguna jalan di lapangan.
2. Data sekunder, yaitu data yang didapat dari studi literatur, jurnal, skripsi, situs internet serta instansi-instansi terkait. Yang dimaksud data sekunder yaitu sebagai berikut:
 - CBR (*California Bearing Ratio*)
 - Batas wilayah

2.3. Metode Perhitungan

Program yang digunakan adalah:

1. *AutoCad 2020* : Digunakan pada *detailing* dan *drafting*
2. *Microsoft Excel 2021* : Digunakan pada hitungan manual desain struktur perkerasan kaku (*Rigid pavement*)

Adapun elemen yang harus terlebih dahulu di hitung sebelum dilakukan perhitungan terhadap perkerasan antara lain:

1. Beban Mati
Muatan mati merupakan muatan yang berasal dari berat sendiri pelat beton, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap satu kesatuan tetap dengan pelat.
2. Beban Hidup
Beban hidup yang dimana berasal dari berat kendaraan lalu lintas yang melintas dan berat orang pejalan kaki dimana dianggap bekerja pada struktur pelat beton.

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1. Inventarias

Dari hasil inventori jalan yang dilakukan, dapat dilihat

kondisi *eksisting* pada ruas Jalan Lingkar Kebun Raya Cibinong Kabupaten Bogor dikategorikan sebagai jalan yang rusak sedang hingga rusak berat. Perencanaan perkerasan kaku (*Rigid Pavement*) pada ruas jalan Lingkar Kebun Raya Cibinong Kabupaten Bogor dilakukan pada STA. 2+350 – STA. 3+350 dalam KM. Sehingga panjang total perkerasan yang direncanakan adalah 1 KM.

3.2. Perencanaan Tebal Perkerasan

1. Menentukan Nilai CBR Karakteristik

Data CBR (*California Bearing Ratio*) yang telah didapatkan diurutkan dari nilai CBR terkecil sampai terbesar, kemudian dihitung CBR Segmen. Nilai R ditentukan berdasarkan jumlah titik pengamatan berdasarkan tabel 12 dan perhitungan disajikan pada Tabel 13.

Tabel 12. Nilai R

Jumlah titik pengamatan	Nilai R
2	1,41
3	1,91
4	2,24
5	2,48
6	2,67
7	2,83
8	2,96
9	3,08
>10	3,18

(Sumber: Perkerasan Jalan Raya, Silvia Sukirman, 1999)

Tabel 13 Data Nilai CBR

No. Titik	STA	Nilai CBR (%)
1	0+000	6,9
2	0+150	6,8
3	0+300	6,8
4	0+450	6,9
5	0+600	6,9
6	0+750	5,3
CBR RATA-RATA		6,60
CBR MINIMUM		5,3
CBR MAKSIMUM		6,9

(Sumber: Dinas PUPR Kab. Bogor, 2022)

Menentukan Nilai CBR Tanah Dasar dengan rumus,
 CBR segmen = Nilai CBR rata-rata – {(CBR maks – CBR min)/R}

$$\begin{aligned}
 &= 6,60 - \{(6,9 - 5,3)/2,67\} \\
 &= 6,60 - (0,6) \\
 &= 6\%
 \end{aligned}$$

Nilai CBR Tanah dasar = 6%

2. Perhitungan Perkerasan Kaku

a. Data Parameter Perencanaan

Direncanakan perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan, sehingga digunakan dowel sebagai sambungan susut melintang dan sambungan pelaksanaan melintang, dan juga perencanaan lainnya meliputi

- Pertumbuhan pada Lalu Lintas
 - (i) = 4,8%
- Umur Rencana (UR) = 40 Tahun
- CBR Tanah Dasar = 6 %
- Bahu Jalan = Tidak

- Dowel = Ya

Untuk bahan pondasi bawah digunakan bahan campuran beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) dimana harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 hari minimum 5 MPa (50 kg/cm²) tanpa menggunakan fly ash atau 7 MPa (70 kg/cm²) bila menggunakan fly ash sesuai dengan Pd T-14-2003.

Sedangkan untuk bahan beton semen memiliki kekuatan yang dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari yang besarnya secara tipikal sekitar 3-5 MPa (30-50 kg/cm²) sesuai dengan Pd T-14-2003.

Dalam perencanaan ini Kuat Tarik Lentur diasumsikan sebesar 5 MPa (50 kg/cm²)

b. Analisis Lalu Lintas

Berdasarkan data lalu-lintas harian rata-rata, maka dapat di analisis perhitungan jumlah sumbu berdasarkan jenis dan bebannya, seperti terlihat pada tabel 14 di bawah ini.

Tabel 14. Data LHR Survei

JARI	JENIS KENDARAAN					
	Mobil Pemangkas	Mobil Wanita Berasap	Bus	Truk 2 Ax Kcil	Truk 2 Ax Besar	Truk 3 Ax
Sutra	167	17	7	11	7	0
Minggu	188	19	9	21	4	0
Senin	111	14	5	17	6	0
TOTAL	466	59	21	56	17	0

(Sumber: Survei Traffic Counting, 2023)

Tabel 15. Tabel Konfigurasi Beban Sumbu (Ton)

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)			
	RD	RB	RGD	RGB
(1)	(2)			
MP	1	1	-	-
Bus	3	5	-	-
Truk 2as Kcl	2	4	-	-
Truk 2as Bsr	5	8	-	-
Truk 3as Td	6	14	-	-
Truk Gandg.	6	14	5	5

(Sumber : Perencanaan Perkerasan kaku Jalan Beton

Dari Tabel 14 dan Tabel 15 maka dapat dilakukan analisis untuk jumlah sumbu berdasarkan jenis dan bebannya, analisis disajikan di tabel 16

Tabel 16. Perhitungan Jumlah Sumbu Berdasarkan Jenis dan Bebannya

Jenis Kendaraan	Kendaraan Berasap (Tons)		Jumlah Roda	Jumlah Sumbu	Jumlah Sumbu	STRT		STRG		STDRG	
	Beban	Beban				Beban	Beban	Beban	Beban	Beban	Beban
Mobil Pemangkas	1	1	2	466	1	1	0	0	0	0	0
Mobil Wanita Berasap	1	1	2	17	1	1	0	0	0	0	0
Bus	3	5	4	188	3	5	0	0	0	0	0
Truk 2 Ax Kcil	2	4	4	56	2	4	0	0	0	0	0
Truk 2 Ax Besar	5	8	4	17	5	8	0	0	0	0	0
Truk 3 Ax Td	6	14	4	21	6	14	0	0	0	0	0
Truk Gandg.	6	14	8	56	6	14	5	5	0	0	0
TOTAL	167	17	21	466	167	17	5	5	0	0	0

(Sumber: Hasil Hitungan Excel 2019, 2023)

Keterangan :

- BS = Beban Sumbu
- JS = Jumlah Sumbu
- STRT = Sumbu Tunggal Roda Tunggal
- STRG = Sumbu Tunggal Roda Ganda
- STDRG = Sumbu Tandem Roda Ganda

Jumlah sumbu kendaraan niaga (JKSN) selama umur rencana (UR) (40 tahun).

- Faktor Umur Rencana

$$R = \frac{(1+i)^{UR} - 1}{i}$$

$$= \frac{(1+5\%)^{40} - 1}{5\%} = 115,063$$

- Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga

$$JKSN = 365 \times JSKNH \text{ (Tabel 4.5)} \times R$$

(Faktor Umur Rencana)

$$= 365 \times 182 \times 15,063$$

$$= 7643635$$

Tabel 17. Koefisien Distribusi (c) Kendaraan Niaga Pada Lajur Rencana

Lebar perkerasan (L _p)	Jumlah lajur (n)	Koefisien distribusi	
		1 Arah	2 Arah
L _p < 5,50 m	1 lajur	-	-
5,50 m ≤ L _p < 8,25 m	2 lajur	0,70	0,50
8,25 m ≤ L _p < 11,25 m	3 lajur	0,50	0,475
11,25 m ≤ L _p < 15,00 m	4 lajur	-	0,45
15,00 m ≤ L _p < 18,75 m	5 lajur	-	0,425
18,75 m ≤ L _p < 22,00 m	6 lajur	-	0,40

- Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) Rencana

$$JSKN_{Rencana} = C \times JSKN$$

$$= 0,50 \times 7643635 \text{ (JSKN)}$$

$$= 3821817$$

1. Perhitungan Repetisi Sumbu Yang Terjadi

Untuk Menghitung repetisi sumbu yang terjadi, sebelumnya harus menghitung proporsi beban dan juga proporsi sumbunya. Berdasarkan Tabel 18 tentang Perhitungan Jumlah Sumbu Berdasarkan Jenis dan Bebannya maka dapat dihitung jumlah proporsi beban dengan menggunakan rumus:

$$\frac{\text{Jumlah Sumbu}}{\text{Total Jumlah Sumbu}}$$

Tabel 18. Perhitungan Proporsi Beban

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (Ton)	Jumlah Sumbu (Buah)	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu
1	2	3	4	5
1	0	0	-	-
2	0	0	-	-
3	17	17 / 144	0,11	0,11
4	23	23 / 144	0,16	0,16
5	21	21 / 144	0,15	0,15
6	34	34 / 144	0,24	0,24
TOTAL	20	144	1,00	1,00
STRG	8	17	17 / 38	0,45
STARG	5	21	21 / 48	0,55
TOTAL	13	38	1	1,00
STRG	14	0	0	0
TOTAL	14	0	0	0

(Sumber: Hasil Hitungan Excel 2019, 2023)

Perhitungan pada Tabel 18 dan Tabel 19 difokuskan dengan kesesuaian data lalu lintas harian yang ada, karena pada beban sumbu 6 Ton tidak ada kendaraan yang tercatat lewat, maka tidak perlu dilakukan perhitungan, namun tetap terlampir untuk kelengkapan data, dan hanya satu yang digunakan karena untuk efisiensi ruang. Hal

ini juga berlaku di tabel perhitungan perhitungan lainnya.

Kemudian Proporsi Sumbunya dihitung menggunakan rumus:

Total Jumlah Sumbu (STRT/ STRG/ STdRG)

∑Total Jumlah Sumbu
Tabel 19. Perhitungan Proporsi Sumbu

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (Ton)	Jumlah Sumbu (Buah)	Proporsi Sumbu	Proporsi Beban
1	2	3	4	5
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	17	17 / 144	0,11	0,11
4	23	23 / 144	0,16	0,16
5	21	21 / 144	0,15	0,15
6	34	34 / 144	0,24	0,24
TOTAL	20	144	1,00	1,00
STRG	8	17	17 / 38	0,45
STARG	5	21	21 / 48	0,55
TOTAL	13	38	1	1,00
STRG	14	0	0	0
TOTAL	14	0	0	0
TOTAL	47	182	-	-

(Sumber: Hasil Hitungan Excel 2019, 2023)

Setelah Proporsi Beban, Proporsi Sumbu dan juga Lalu Lintas Rencana diketahui, maka Repetisi yang terjadi dapat dihitung, dengan rumus:

Proporsi Beban x Proporsi Sumbu x Lalu Lintas Rencana.

Perhitungan disajikan dalam Tabel 20

Tabel 20. Perhitungan Repetisi Sumbu Yang Terjadi

Jenis Sumbu	Beban Sumbu	Jumlah Sumbu	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu	JSKN Rencana	Repetisi yang Terjadi
1	2	3	4	5	6	7 (4*5*6)
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	17	0,11	0,11	3821817	326519,90	326519,90
4	23	0,16	0,16	3821817	1181547,84	1181547,84
5	21	0,15	0,15	3821817	459618,04	459618,04
6	34	0,24	0,24	3821817	1181547,84	1181547,84
TOTAL	20	1,00	1,00	3821817	3087453,6	3087453,6
STRG	8	0,45	0,45	3821817	143963,53	143963,53
STARG	5	0,55	0,55	3821817	420399,87	420399,87
TOTAL	13	1	1	3821817	764363,4	764363,4
STRG	14	0	0	0	0	0
TOTAL	14	0	0	0	0	0
TOTAL	47	182	-	-	-	-

(Sumber: Hasil Hitungan Excel 2019, 2023)

2. Perhitungan Tebal Plat Beton/Slab Beton Data Parameter Perencanaan

Direncanakan perkerasan kaku bersambung tanpa tulangan, sehingga digunakan dowel sebagai sambungan susut melintang dan sambungan pelaksanaan melintang. Kemudian juga data yang digunakan meliputi:

- Sumber Data Beban = Hasil Survey
- Jenis Perkerasan = BBTT dengan Ruji
- Umur Rencana (UR) = 40 Tahun
- JSKN Rencana = 4012372
- CBR = 6% Penentuan tebal pondasi bawah, CBR efektif, dan taksiran tebal perkerasan diambil berdasarkan Gambar 1., Gambar 2. dan Gambar 3, berikut :

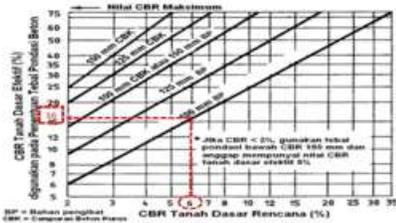
Tabel 21. Faktor Keamanan Beban

No.	Penggunaan	Nilai F _{sd}
1	Jalan bebas hambatan utama (major freeway) dan jalan berlaik banyak, yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu-lintas dari hasil survei beban (weight-in-motion) dan adanya kemungkinan route alternatif, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15.	1,2
2	Jalan bebas hambatan (freeway) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah.	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah.	1,0

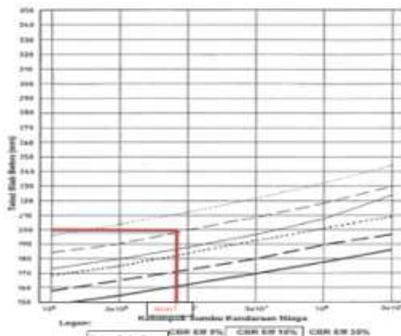
(Sumber: Perencanaan Perkerasan Beton Semen, Pd T-14-2003)



Gambar 2. Tebal Pondasi Bawah Minimum Untuk Perkerasan Beton Semen



Gambar 3. Tebal Pondasi Bawah Dan CBR Tanah Dasar Efektif

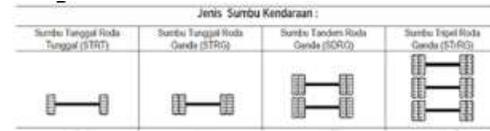


Gambar 4. Grafik Perencanaan, $f_{cf} = 4,25$ Mpa, Lalu Lintas Dalam Kota, Dengan Ruji, FKB = 1,1

Dari pencarian data pada Gambar dan Tabel, didapat:

- Faktor Keamanan Beban (F_{KB}) = 1,1
- Jenis Lapis Pondasi Direncanakan = BP (Bahan Pengikat)
- Tebal Lapis Pondasi Bawah = 100 mm (Agregat Kelas A)
- CBR Efektif = 16%
- Tebal Taksiran Pelat Beton = 200 mm

Untuk mengetahui keamanan maka dilakukannya Analisa fatik dan erosi sesuai dengan perencanaan perkerasan beton semen, Pd T-14- 2003 Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah. Hal pertama yang dilakukan adalah merencanakan beban rencana per roda. Dimana FKB telah diketahui pada Tabel 21 dan jumlah roda diketahui pada gambar 5 sebagai berikut :



Gambar 5. Jumlah Roda

Kemudian beban rencana per roda ditentukan oleh rumus:

$$\frac{\text{Beban Sumbu (kN)} \times \text{FKB}}{\text{Jumlah Roda}}$$

Tabel 22. Beban Rencana per Roda

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (kN)	Beban Rencana per Roda (kN)
STRG	6	$\frac{80 \times 1,1}{2} = 44$
STRG	5	$\frac{80 \times 1,1}{2} = 44$
STRT	4	$\frac{80 \times 1,1}{2} = 44$
STRG	3	$\frac{80 \times 1,1}{2} = 44$
STRG	2	$\frac{80 \times 1,1}{2} = 44$
TOTAL	8	$\frac{80 \times 1,1}{2} = 44$
STRG	5	$\frac{80 \times 1,1}{2} = 44$
TOTAL	14	$\frac{140 \times 1,1}{2} = 77$
STRG		

(Sumber: Hasil Hitungan Excel 2019, 2023)

Lalu dilanjut menentukan tegangan ekivalen dan faktor erosi, Cara menentukan faktor tegangan dan erosi didasarkan pada CBR efektif dan perkiraan tabel perkerasan yang dapat dilihat pada tabel 23:

Tabel 23. Tegangan Ekuivalen dan Faktor Erosi untuk Perkerasan Tanpa Bahu Beton

Tebal Lapis Pondasi (cm)	CBR Efektif (%)	Tegangan Ekuivalen (TE)				Faktor Erosi (FE)			
		STRG	STRG	STRG	STRG	STRG	STRG	STRG	STRG
100	15	1,12	1,20	1,28	1,36	1,44	1,52	1,60	1,68
100	20	1,15	1,23	1,31	1,39	1,47	1,55	1,63	1,71
100	25	1,18	1,26	1,34	1,42	1,50	1,58	1,66	1,74
100	30	1,21	1,29	1,37	1,45	1,53	1,61	1,69	1,77
100	35	1,24	1,32	1,40	1,48	1,56	1,64	1,72	1,80
100	40	1,27	1,35	1,43	1,51	1,59	1,67	1,75	1,83
100	45	1,30	1,38	1,46	1,54	1,62	1,70	1,78	1,86
100	50	1,33	1,41	1,49	1,57	1,65	1,73	1,81	1,89
100	55	1,36	1,44	1,52	1,60	1,68	1,76	1,84	1,92
100	60	1,39	1,47	1,55	1,63	1,71	1,79	1,87	1,95
100	65	1,42	1,50	1,58	1,66	1,74	1,82	1,90	1,98
100	70	1,45	1,53	1,61	1,69	1,77	1,85	1,93	2,01
100	75	1,48	1,56	1,64	1,72	1,80	1,88	1,96	2,04
100	80	1,51	1,59	1,67	1,75	1,83	1,91	1,99	2,07
100	85	1,54	1,62	1,70	1,78	1,86	1,94	2,02	2,10
100	90	1,57	1,65	1,73	1,81	1,89	1,97	2,05	2,13
100	95	1,60	1,68	1,76	1,84	1,92	2,00	2,08	2,16
100	100	1,63	1,71	1,79	1,87	1,95	2,03	2,11	2,19
100	105	1,66	1,74	1,82	1,90	1,98	2,06	2,14	2,22
100	110	1,69	1,77	1,85	1,93	2,01	2,09	2,17	2,25
100	115	1,72	1,80	1,88	1,96	2,04	2,12	2,20	2,28
100	120	1,75	1,83	1,91	1,99	2,07	2,15	2,23	2,31
100	125	1,78	1,86	1,94	2,02	2,10	2,18	2,26	2,34
100	130	1,81	1,89	1,97	2,05	2,13	2,21	2,29	2,37
100	135	1,84	1,92	2,00	2,08	2,16	2,24	2,32	2,40
100	140	1,87	1,95	2,03	2,11	2,19	2,27	2,35	2,43
100	145	1,90	1,98	2,06	2,14	2,22	2,30	2,38	2,46
100	150	1,93	2,01	2,09	2,17	2,25	2,33	2,41	2,49
100	155	1,96	2,04	2,12	2,20	2,28	2,36	2,44	2,52
100	160	1,99	2,07	2,15	2,23	2,31	2,39	2,47	2,55
100	165	2,02	2,10	2,18	2,26	2,34	2,42	2,50	2,58
100	170	2,05	2,13	2,21	2,29	2,37	2,45	2,53	2,61
100	175	2,08	2,16	2,24	2,32	2,40	2,48	2,56	2,64
100	180	2,11	2,19	2,27	2,35	2,43	2,51	2,59	2,67
100	185	2,14	2,22	2,30	2,38	2,46	2,54	2,62	2,70
100	190	2,17	2,25	2,33	2,41	2,49	2,57	2,65	2,73
100	195	2,20	2,28	2,36	2,44	2,52	2,60	2,68	2,76
100	200	2,23	2,31	2,39	2,47	2,55	2,63	2,71	2,79
100	205	2,26	2,34	2,42	2,50	2,58	2,66	2,74	2,82
100	210	2,29	2,37	2,45	2,53	2,61	2,69	2,77	2,85
100	215	2,32	2,40	2,48	2,56	2,64	2,72	2,80	2,88
100	220	2,35	2,43	2,51	2,59	2,67	2,75	2,83	2,91
100	225	2,38	2,46	2,54	2,62	2,70	2,78	2,86	2,94
100	230	2,41	2,49	2,57	2,65	2,73	2,81	2,89	2,97
100	235	2,44	2,52	2,60	2,68	2,76	2,84	2,92	3,00
100	240	2,47	2,55	2,63	2,71	2,79	2,87	2,95	3,03
100	245	2,50	2,58	2,66	2,74	2,82	2,90	2,98	3,06
100	250	2,53	2,61	2,69	2,77	2,85	2,93	3,01	3,09
100	255	2,56	2,64	2,72	2,80	2,88	2,96	3,04	3,12
100	260	2,59	2,67	2,75	2,83	2,91	2,99	3,07	3,15
100	265	2,62	2,70	2,78	2,86	2,94	3,02	3,10	3,18
100	270	2,65	2,73	2,81	2,89	2,97	3,05	3,13	3,21
100	275	2,68	2,76	2,84	2,92	3,00	3,08	3,16	3,24
100	280	2,71	2,79	2,87	2,95	3,03	3,11	3,19	3,27
100	285	2,74	2,82	2,90	2,98	3,06	3,14	3,22	3,30
100	290	2,77	2,85	2,93	3,01	3,09	3,17	3,25	3,33
100	295	2,80	2,88	2,96	3,04	3,12	3,20	3,28	3,36
100	300	2,83	2,91	2,99	3,07	3,15	3,23	3,31	3,39
100	305	2,86	2,94	3,02	3,10	3,18	3,26	3,34	3,42
100	310	2,89	2,97	3,05	3,13	3,21	3,29	3,37	3,45
100	315	2,92	3,00	3,08	3,16	3,24	3,32	3,40	3,48
100	320	2,95	3,03	3,11	3,19	3,27	3,35	3,43	3,51
100	325	2,98	3,06	3,14	3,22	3,30	3,38	3,46	3,54
100	330	3,01	3,09	3,17	3,25	3,33	3,41	3,49	3,57
100	335	3,04	3,12	3,20	3,28	3,36	3,44	3,52	3,60
100	340	3,07	3,15	3,23	3,31	3,39	3,47	3,55	3,63
100	345	3,10	3,18	3,26	3,34	3,42	3,50	3,58	3,66
100	350	3,13	3,21	3,29	3,37	3,45	3,53	3,61	3,69
100	355	3,16	3,24	3,32	3,40	3,48	3,56	3,64	3,72
100	360	3,19	3,27	3,35	3,43	3,51	3,59	3,67	3,75
100	365	3,22	3,30	3,38	3,46	3,54	3,62	3,70	3,78
100	370	3,25	3,33	3,41	3,49	3,57	3,65	3,73	3,81
100	375	3,28	3,36	3,44	3,52	3,60	3,68	3,76	3,84
100	380	3,31	3,39	3,47	3,55	3,63	3,71	3,79	3,87
100	385	3,34	3,42	3,50	3,58	3,66	3,74	3,82	3,90
100	390	3,37	3,45	3,53	3,61	3,69	3,77	3,85	3,93
100	395	3,40	3,48	3,56	3,64	3,72	3,80	3,88	3,96
100	400	3,43	3,51	3,59	3,67	3,75	3,83	3,91	3,99
100	405	3,46	3,54	3,62	3,70	3,78	3,86	3,94	4,02
100	410	3,49	3,57	3,65	3,73	3,81	3,89	3,97	4,05
100	415	3,52	3,60	3,68	3,76	3,84	3,92	4,00	4,08
100	420	3,55	3,63	3,71	3,79	3,87	3,95	4,03	4,11
100	425	3,58	3,66	3,74	3,82	3,90	3,98	4,06	4,14
100	430	3,61	3,69	3,77	3,85	3,93	4,01	4,09	4,17
100	435	3,64	3,72	3,80	3,88	3,96	4,04	4,12	4,20
100	440	3,67	3,75	3,83	3,91	3,99	4,07	4,15	4,23
100	445	3,70	3,78	3,86	3,94	4,02	4,10	4,18	4,26
100	450	3,73	3,81	3,89	3,97	4,05	4,13	4,21	4,29
100	455	3,76	3,84	3,92	4,00	4,08	4,16	4,24	4,32
100	460	3,79	3,87	3,95	4,03	4,11	4,19	4,27	4,35
100	465	3,82	3,90	3,98	4,06	4,14	4,22	4,30	4,38
100	470	3,85	3,93	4,01	4,09	4,17	4,25	4,33	4,41
100	475	3,88	3,96	4,04	4,12	4,20	4,28	4,36	4,44
100	480	3,91	3,99	4,07	4,15	4,23	4,31	4,39	4,47
100	485	3,94	4,02	4,10	4,18	4,26	4,34	4,42	4,50
100	490	3,97	4,05	4,13	4,21	4,29	4,37	4,45	4,53
100	495	4,00	4,08	4,16	4,24	4,32	4,40		

Y1 = Nilai TE/FE dari TRT/STRG/STdRG Atas
 Y2 = Nilai TE/FE dari TRT/STRG/STdRG Bawah
 Y = Nilai TE/FE yang dicari
 Hasil dari perhitungan interpolasi disajikan di Tabel 24

Tabel 24. Interpolasi

TE STRT			
X1	15	Y1	1,82
X	16	Y	1,018
X2	20	Y2	1,81

FE STRT (dengan Ragi)			
X1	15	Y1	2,22
X	16	Y	2,218
X2	20	Y2	2,21

TE STRG			
X1	15	Y1	1,83
X	16	Y	1,644
X2	20	Y2	1,82

FE STRG (dengan Ragi)			
X1	15	Y1	2,82
X	16	Y	2,818
X2	20	Y2	2,81

TE STdRG			
X1	15	Y1	1,4
X	16	Y	1,392
X2	20	Y2	1,38

FE STdRG (dengan Ragi)			
X1	15	Y1	2,81
X	16	Y	2,918
X2	20	Y2	2,82

(Sumber: Hasil Hitungan Excel 2019, 2023)

Setelah mendapatkan tegangan ekivalen (TE) dan faktor erosi (FE) maka dapat ditentukan faktor rasio tegangan (FRT) untuk masing masing jenis sumbu dari STRT, STRG dan STdRG. Untuk menentukan Faktor Rasio Tegangan (FRT) menggunakan rumus:

$$\frac{TE \text{ STRT/STRG/STdRG}}{Kuat Tarik Lentur Beton}$$

Kuat Tarik Lentur Beton
 Kuat Tarik Lentur diasumsikan sesuai pada halaman 10 yaitu sebesar 5 MPa (50 kg/cm²). Maka dari itu Faktor Rasio Tegangan (FRT) dari masing masing sumbu adalah sebagai berikut:

$$FRT \text{ STRT} = \frac{TE \text{ STRT}}{Kuat Tarik Lentur Beton} = \frac{1,018}{5} = 0,20$$

$$FRT \text{ STRG} = \frac{TE \text{ STRG}}{Kuat Tarik Lentur Beton} = \frac{1,644}{5} = 0,32$$

$$FRT \text{ STdRG} = \frac{TE \text{ STRG}}{Kuat Tarik Lentur Beton} = \frac{1,392}{5} = 0,28$$

Setelah mendapatkan nilai Faktor Rasio Tegangan maka Analisis Fatik dan Erosi dapat dilakukan untuk mencari Repetisi Beban Ijin.

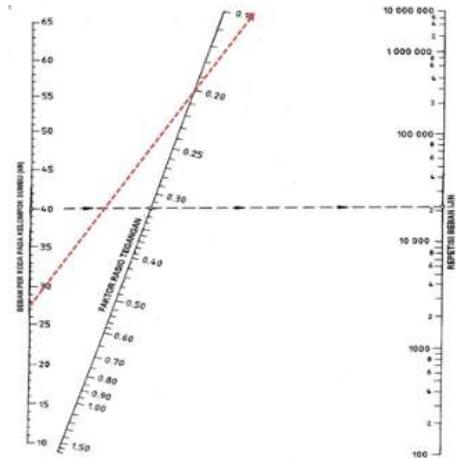
Karena banyaknya beban sumbu yang ada, dan Analisis yang dilakukan dua kali yaitu Analisis Fatik dan Erosi, maka dalam bab ini diagram yang ditampilkan hanya beberapa, yaitu Beban Sumbunya yang paling besar, Karena pada beban sumbu 6 Ton (60 kN) tidak ada kendaraan yang tercatat melewati Jalan Lingkar Kebun Raya Cibinong, maka beban sumbu yang digunakan adalah Beban Sumbu 5 Ton (50 kN) untuk STRT dan Beban Sumbu 8 Ton (50 kN) untuk STRG. Untuk STdRG tidak dilakukan Analisis Fatik dan Erosi.

Karena tidak adanya kendaraan yang tercatat melewati Jalan Lingkar Kebun Raya Cibinong ini. Diagram Analisis Fatik dan Erosi untuk Beban Sumbu 5 Ton (50 kN), dimana diketahui: Beban Rencana per Rodanya = 27,5 kN

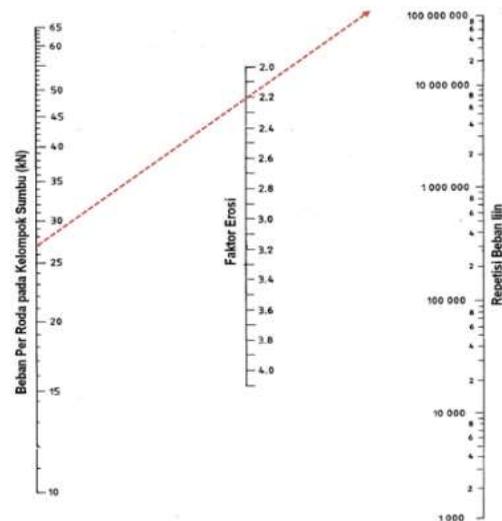
Faktor Rasio Tegangan (FRT) untuk STRT = 0,20

Faktor Erosi (FE) untuk STRT = 2,218

Berturut turut disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6



Gambar 6. Analisis Fatik dan Beban Repetisi Ijin Berdasarkan Rasio Tegangan, dengan /tanpa Bahu Beton untuk Beban Sumbu 5 Ton.



Gambar 7. Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin, Berdasarkan Faktor Erosi, Tanpa Bahu Beton Untuk Beban Sumbu 5 Ton

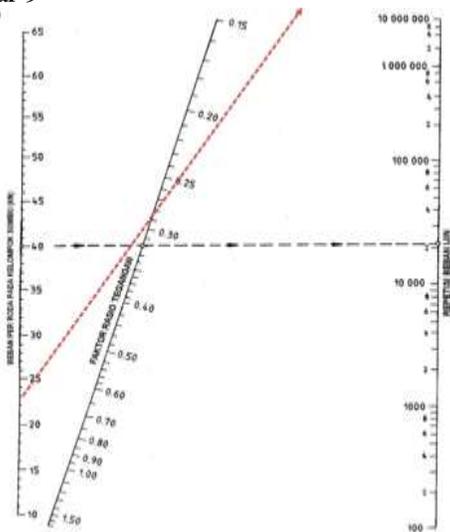
Dari Gambar 7 tentang Analisis Fatik dan Erosi pada Beban Sumbu 5 Ton (5 kN) terlihat garis panah melewati Nilai Repetisi Beban Ijin yang tersedia di diagram, dimana hal ini berarti Repetisi Beban Ijin yang ada nilainya dinyatakan Tidak Terbatas (TT). Kemudian Diagram Analisis Fatik dan Erosi untuk Beban Sumbu 8 Ton (80 kN), dimana diketahui:

Beban Rencana per Rodanya = 22 kN

Faktor Rasio Tegangan (FRT) untuk STRG (Hal.48) = 0,32

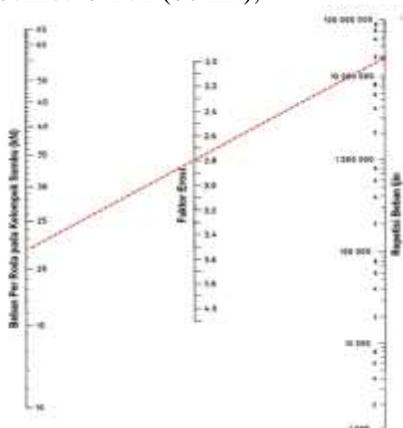
Faktor Erosi (FE) untuk STRG = 2,818

Berturut turut disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 9



Gambar 8. Analisis Fatik dan Beban Repetisi Ijin Berdasarkan Rasio Tegangan, dengan /tanpa Bahu Beton untuk Beban Sumbu 8 Ton.

Sama halnya dengan Analisis Fatik pada Beban Sumbu 8 Ton (80 kN) pada Gambar 7 terlihat garis panah juga melewati Nilai Repetisi Beban Ijin yang tersedia di diagram, dimana hal ini berarti Repetisi Beban Ijin yang ada nilainya juga dinyatakan Tidak Terbatas (TT). Namun berbeda halnya dengan Analisis Erosi pada Beban Sumbu 8 Ton (80 kN),



Gambar 9. Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin, Berdasarkan Faktor Erosi, Tanpa Bahu Beton Untuk Beban Sumbu 8 Ton

Pada gambar 9 terlihat Repetisi Beban Ijin didapat senilai 20.000.000. Dengan ini Persen Rusak dari Analisis Fatik dan Erosinya dapat dihitung, Rumus yang digunakan untuk menghitung Persen Rusak dari Analisis Fatik dan Erosi adalah sebagai berikut:

$$\frac{(\text{Repetisi yang Terjadi pada Beban Sumbu} \times 100)}{\text{Repetisi Beban Ijin}}$$

Perhitungan Persen Rusak dari Analisis Fatik dan Erosi adalah sebagai berikut:

- Untuk Beban Sumbu 5 Ton (50 kN)

Repetisi yang terjadi = 336319,90

Repetisi Beban Ijin = TT (∞)

Karena Repetisi Beban Ijinnya sama, dan bernilai Tidak Terbatas (TT), Maka bisa dipastikan Persen Rusak yang didapat adalah 0%, atau jika secara matematis, perhitungannya yaitu sebagai berikut:

$$\frac{(336319,90 \times 100)}{TT(\infty)} = 0\%$$

Seperti yang kita ketahui, berapapun angka jika dibagi (∞) maka hasilnya akan 0.

Jadi untuk Persen Rusak dari Analisis Fatik dan Erosi untuk Beban Sumbu 5 Ton (kN) yaitu 0%.

- Untuk Beban Sumbu 8 Ton (80 kN)

Repetisi yang terjadi (Tabel 4.9) = 343963,53

Repetisi Beban Ijin

Analisis Fatik = TT (∞)

Analisis Erosi = 20.000.000

Persen Rusak Analisis Fatik

$$= \frac{(343963,53 \times 100)}{TT(\infty)}$$

= 0%

Persen Rusak Analisis Erosi

$$= \frac{(343963,53 \times 100)}{20.000.000}$$

= 1,71%

Jadi Persen Rusak Analisis Fatik dan Analisis Erosi untuk beban sumbu 8 Ton (80kN) berbeda, dimana Persen Rusak untuk Analisis Fatik didapat nilai 0%, Sementara Persen Rusak Analisis Erosi didapat 1,71%.

Guna mempersingkat ruang, untuk Analisis Fatik dan Erosi dari Beban Sumbu lainnya di masukan kedalam Tabel 25.

Tabel 25. Analisa Fatik dan Erosi

Jenis Struktur	Beban Sumbu (kN)	Beban Sumbu (kN)	Beban Sumbu (kN)	Repetisi yang Terjadi	Faktor Rasio Tegangan	Analisis Fatik	Faktor Erosi	Analisis Erosi	Persen Rusak
1	5	50	50	336319,90	0,20	TT	0	0	0%
	8	80	80	343963,53	0,20	TT	20.000.000	1,71%	1,71%
2	5	50	50	336319,90	0,20	TT	0	0	0%
	8	80	80	343963,53	0,20	TT	20.000.000	1,71%	1,71%
3	5	50	50	336319,90	0,20	TT	0	0	0%
	8	80	80	343963,53	0,20	TT	20.000.000	1,71%	1,71%
4	5	50	50	336319,90	0,20	TT	0	0	0%
	8	80	80	343963,53	0,20	TT	20.000.000	1,71%	1,71%
5	5	50	50	336319,90	0,20	TT	0	0	0%
	8	80	80	343963,53	0,20	TT	20.000.000	1,71%	1,71%
6	5	50	50	336319,90	0,20	TT	0	0	0%
	8	80	80	343963,53	0,20	TT	20.000.000	1,71%	1,71%
7	5	50	50	336319,90	0,20	TT	0	0	0%
	8	80	80	343963,53	0,20	TT	20.000.000	1,71%	1,71%
8	5	50	50	336319,90	0,20	TT	0	0	0%
	8	80	80	343963,53	0,20	TT	20.000.000	1,71%	1,71%

Keterangan :

- TE = Tegangan Ekuivalen
- FRT = Faktor Rasio Tegangan
- FE = Faktor Erosi
- TT = Tidak Terbatas

Karena % Fatik (Lelah) = 0% < 100% dan Rusak Erosi = 1,71% < 100% Maka perencanaan tebal pelat 200 mm = 20 cm (OK), dengan tebal perkerasan

beton 20 cm, masih sangat aman terhadap kerusakan fatik dan erosi sampai umur 40 tahun. Repitasi ijin untuk analisa fatik dan erosi dari masing-masing beban sumbu kendaraan, dapat ditentukan melalui diagram.

3. Perhitungan Sambungan Pada Plat Beton

Tujuan dari pemasangan sambungan memanjang yaitu untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang. Jarak antar sambungan memanjang sekitar 4-5 m. Dalam pemasangannya juga diperlukan data pelengkap, dan data pelengkap sebagai berikut:

- Jenis Perkerasan = BBTT
- Tebal Pelat Beton (h) = 200 mm
- Lebar Pelat (L) = 6 m
- Panjang Pelat = 1000 m
- Jarak Antar Sambungan (b) = 5 m

Menurut Pd T-14-2003 dimana mengacu pada tabel 25 tentang analisa fatik dan erosi, maka digolongkan pada no. 4 dengan rentang nilai h antara 190 mm sampai dengan 220 mm dengan ketentuan sambungan susut melintang. Maka:

$$\text{Kedalaman Sambungan} = 0,5 \times h = 0,5 \times 200 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter Ruji} = 33 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang Ruji} = 45 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak Antar Ruji} = 30 \text{ cm}$$

Tabel 26 Diameter Ruji

No	Tebal pelat beton, h (mm)	Diameter ruji (mm)
1	125 < h ≤ 140	20
2	140 < h ≤ 160	24
3	160 < h ≤ 190	28
4	190 < h ≤ 220	33
5	220 < h ≤ 250	36

Ruji Polos Panjang 45 cm, Jarak Antar Ruji 30 cm.

(Sumber: Perencanaan Perkerasan Beton Semen, Pd T-14-2003)

Untuk sambungan memanjang dengan batang pengikat (Tie Bars), yang bertujuan untuk mengendalikan retak memanjang, Menurut Pd T-14-2003 perhitungan sambungan memanjang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_t = 204 \times b \times h$$

$$= 204 \times 5 \times 0,200 = 204 \text{ mm}^2$$

Dicoba D Tie Bars (yang tersedia di pasaran) : D16 mm dengan jarak 750 mm

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times (1000 / \text{jarak tulangan})$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (16)^2 \times (1000 / 750)$$

$$= 267,946 \text{ mm}^2 > 204 \text{ mm}^2$$

Maka dari itu digunakan diameter tie bars D16 mm dengan jarak 750 mm

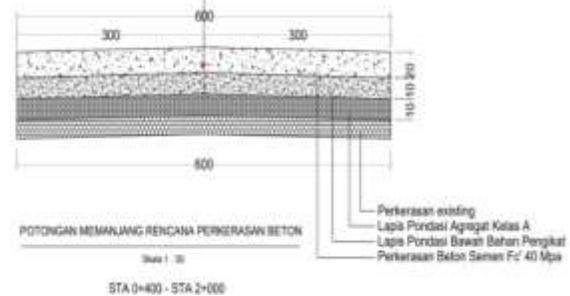
$$I = (38,3 \times D) + 75$$

$$= (38,3 \times 16) + 75 = 695,8 \text{ mm} = 70 \text{ cm}$$

Maka sambungan memanjang dipasang tulangan baja ulir D16 mm dengan panjang 70 cm dan jarak 75 cm.

Dari hasil perhitungan direncanakan untuk panjang jalan 1000 meter dan lebar jalan 2 x 3 meter dengan

umur rencana 40 tahun, menggunakan perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan jenis perkerasan beton semen tanpa tulangan, beton yang digunakan untuk struktur atas adalah K-400 (400 kg/cm²) dengan ketebalan 20 cm, disesuaikan dengan perhitungan tebal perkerasan dan jenis pondasi bawah bahan pengikat menggunakan beton mutu K-125 dengan ketebalan 10 cm.



(Sumber: AutoCad 2019, 2023)

Gambar 10. Rencana Perkerasan Jalan Beton

Urugan pasir bawah pondasi menggunakan agregat kelas A dengan ketebalan rata-rata 10 cm menyesuaikan dengan kondisi existing jalan. Ruji Digunakan Baja Polos, panjang 45 cm, jarak 30 cm, Batang Pengikat (*Tie Bars*) Digunakan Baja Ulir D 16 mm, panjang 70 cm, jarak 75 cm.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

1. Perencanaan jalan perkerasan kaku (*rigid pavement*) menggunakan jenis perkerasan kaku beton semen bersambung dengan tulangan.
2. Beton yang digunakan untuk struktur atas menggunakan k-400 dengan ketebalan 20 cm, disesuaikan dengan perhitungan perencanaan tebal perkerasan.
3. Pondasi bawah beton kurus menggunakan beton k-125 dengan ketebalan 10 cm.
4. Urugan pasir bawah pondasi menggunakan agregat kelas A dengan ketebalan rata-rata 10 cm.

4.2. Saran

1. Metode-metode praktis yang sudah dilaksanakan dilapangan, sebaiknya tetap mengacu pada standar yang sudah ditetapkan agar terhindar dari kegagalan teknis .
2. Dalam perencanaan jalan perkerasan kaku harus diperhatikan berat maksimum kendaraan yang melewati jalan tersebut agar nantinya mendapatkan hasil tebal perkerasan yang cukup dan memadai
3. Dalam pelaksanaan pekerjaan, bila dipasaran tidak

- ditemui diameter besi yang sesuai dengan hasil perencanaan, maka dapat digunakan dengan besi yang diameter atas yang mendekati dengan ketentuan harus dilakukan perhitungan ulang kembali pembesian dengan tebal perkerasan yang sama dengan 20 cm.
4. Untuk mendapatkan tebal perkerasan yang optimum lebih baik melakukan penyelidikan nilai CBR tanah sehingga nantinya nilai CBR tanah yang efektif dapat tercapai untuk menentukan tebal perkerasan kaku.
 5. Pelaksanaan pekerjaan Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) harus diperhatikan dengan seksama akan mutu beton yang disyaratkan sesuai dengan perhitungan K-400 (400 kg/cm²), serta umur waktu beton 28 hari dalam proses pelaksanaan pembetonannya sehingga tidak mengalami kerusakan kembali pada saat digunakan .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Affandi, Widajat, Dachlan, Reostaman, Purnomo dan Suhaili, “*Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd- T-14- 2003)*”, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2003.
- [2] Ainun Hikmah “*Perencanaan perkerasan kaku (Rigid Pavement) Jalan Purwodadi-kudus Ruas 198*”, **Jurnal Universitas Semarang**, Semarang, 2013.
- [3] Ara, Yeremias Pau, “*Studi Perencanaan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Pada Ruas Jalan Aegela-Danga*”, **Jurnal Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang**, Malang, 2015, 01-09.
- [4] Direktorat Bina Teknik, “*Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota (TPGJAK)*”, Bina Marga, 1997.
- [5] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga, “*Manual Perkerasan Jalan (Revisi 2017)*”, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga, Jakarta, 2017.
- [6] Rahadian, Radia, Augustine, Kosasih, Sugeng, Seigfried, Iawan, James, indii, James dan Jameson, “*Manual Desain Perkerasan Jalan*”, Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, Jakarta, 2013.
- [7] Saodang, I.H, “*Konstruksi Jalan Raya 2*”, Nova, Bandung, 2005.
- [8] Sukirman, Silvia, “*Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*”, Nova, Bandung, 1994.
- [9] Sukirman, Silvia, “*Beton Aspal Campuran Panas*”, Grafika Yuana Marga, Bandung, 2003.

PENULIS :

1. **Muhamad Mufti Ravianto ST.** Alumni (2023) Program Studi Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Pakuan (raviantoo123@gmail.com)
2. **Ir. Arif Mudianto, MT.** Dosen Program Studi Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Pakuan
3. **Ir. Puji Wiranto, MT.** Program Studi Teknik Sipil - Fakultas Teknik Universitas Pakuan