

Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Jalan Ki Ageng Gribig Malang

Muhammad Agus Hilmi¹, Yanna Lutfiana², Achmad Dzulfikar Alfiansyah³, Zetta Rasullia Kamandang⁴

^{1,2,3,4}Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

Keywords :

Rigid Pavement; Road; Design

Kata Kunci :

Perkerasan Kaku; Jalan; Perencanaan

Article History :

Submitted : 3 Februari 2023

Accepted : 29 Desember 2023

Available Online : Desember 2023

Korespondensi Penulis :

Achmad Dzulfikar

Alfiansyah

Email :

achmad.d.ts@upnjatim.ac.id

Abstract

The quality and convenience of road infrastructure is a crucial factor in the smooth mobility of society. This is proven by the large number of changes in flexible pavement types to rigid pavement on a number of roads in Indonesia. Jalan Ki Ageng Gribig Malang is one of the roads that still uses flexible pavement. Due to the existence of the Malang Toll Road Exit on this road, it is possible that heavy vehicles will pass through the Ki Ageng Gribig road section, so in this study rigid pavement thickness planning will be carried out using the Manual Desain Perkerasan 2017 method. Based on planning analysis and calculations using the Manual Desain Perkerasan 2017, the rigid pavement thickness was 295 mm, the foundation layer (LMC) was 100 mm thick, the drainage layer (LFA class A) was 150 mm thick, using road shoulders and dowel connections and the foundation structure was cement stability 300 mm thick.

Abstrak

Kualitas dan kemudahan infrastruktur jalan merupakan faktor krusial dari lancarnya mobilitas masyarakat. Hal tersebut dibuktikan oleh banyaknya pergantian tipe perkerasan lentur dengan perkerasan kaku pada sejumlah jalan di Indonesia. Jalan Ki Ageng Gribig Malang adalah salah satu jalan yang masih menggunakan perkerasan lentur. Dikarenakan adanya Exit Toll Malang di jalan ini, tidak menutup kemungkinan kendaraan berat akan melewati ruas jalan Ki Ageng Gribig, sehingga dalam kajian ini akan dilakukan perencanaan tebal perkerasan kaku menggunakan metode Manual Desain Perkerasan 2017. Berdasarkan analisis dan perhitungan perencanaan menggunakan Manual Desain Perkerasan 2017, didapatkan tebal perkerasan kaku 295 mm, lapis pondasi (LMC) setebal 100 mm, lapis drainase (LFA kls A) setebal 150 mm, menggunakan bahu jalan dan sambungan dowel dan struktur pondasi berupa stabilitas semen setebal 300 mm.

DOI :

Sitasi : Hilmi, Muhammad Agus, dkk. 2023. Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Jalan Ki Ageng Gribig Malang. Vol. 02 No. 02. hal. 56-64

© 2023 Composite: Journal of Civil Engineering

This is an open access article distributed under the CC BY-SA 4.0 license

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

1. Pendahuluan

Kemacetan lalu lintas menjadi masalah utama di berbagai kota besar di Indonesia. Mobilitas penduduk yang padat serta pertumbuhan kendaraan yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, menjadikan kualitas infrastruktur jalan sebagai faktor utama dalam menunjang kelancaran dalam memenuhi berbagai kebutuhan. Hal tersebut dibuktikan oleh banyaknya peralihan penggunaan perkerasan lentur menjadi perkerasan kaku pada sejumlah jalan di Indonesia.

Maraknya peralihan jenis perkerasan ini berdasarkan asumsi bahwa perkerasan kaku dianggap memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan jenis perkerasan lentur. Perkerasan kaku memiliki kekakuan lebih besar jika dibandingkan perkerasan lentur, sehingga perkerasan kaku memiliki penyaluran beban yang lebih baik (Adit, 2021). Mengingat ada berbagai jenis tanah, yang mana secara teknis nilai daya dukung tanah yang biasanya dinyatakan dalam CBR memiliki peran penting dalam penentuan tipe perkerasan yang akan digunakan. Jika nilai CBR rendah maka sebaiknya menggunakan tipe perkerasan kaku, jika nilai CBR tinggi maka akan dipilih perkerasan lentur (Prayogo et al., 2018). Namun, hingga sekarang masih terdapat jalan di Indonesia yang tetap menggunakan tipe perkerasan lentur, salah satunya adalah jalan Ki Ageng Gribig yang lokasinya berada di Kota Malang, Jawa Timur. Mengingat pembukaan akses jalan tol gerbang tol Malang dan Jalan Ki Ageng Gribig masuk ke dalam jalan dengan daerah rawan kecelakaan (Pratama et al., 2020), maka akan direncanakan menggunakan perkerasan kaku.

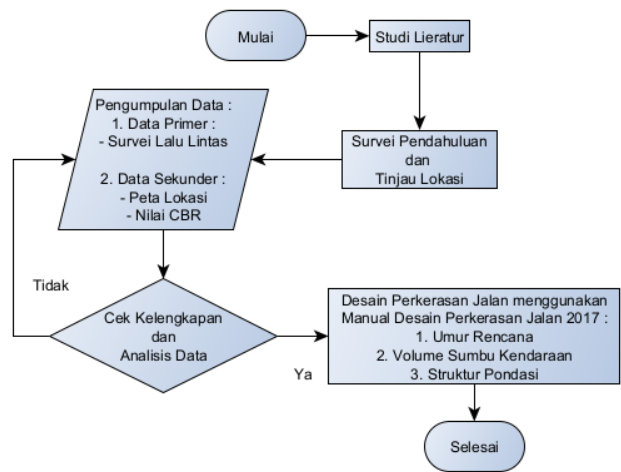
Pemilihan jenis perkerasan sangat berpengaruh terhadap kualitas jalan terutama untuk sebagian wilayah. Untuk memberikan masa layan sesuai umur rencana harus memperhitungkan tebal perkerasan dengan tepat. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam perencanaan tebal perkerasan kaku seperti metode Analisa Komponen, ASSHTO dan Manual Desain Perkerasan Bina Marga. Pada kajian ini dilakukan perencanaan tebal perkerasan kaku pada jalan Ki Ageng Gribig Malang menggunakan metode Manual Desain Perkerasan 2017.

Rigid Pavement atau perkerasan kaku adalah perkerasan yang menjadikan semen sebagai bahan pengikat lapisan perkerasan, sehingga dalam perkerasan kaku plat beton menjadi pemikul utama beban lalu lintas kendaraan. Dalam perancangan perkerasan kaku pada ruas jalan ini adalah dengan menggunakan penulangan, sehingga kajian ini bertujuan untuk mengetahui ketebalan lapis perkerasan kaku di Jalan Ki Ageng Gribig dengan menggunakan metode Manual Desain Perkerasan Bina Marga 2017.

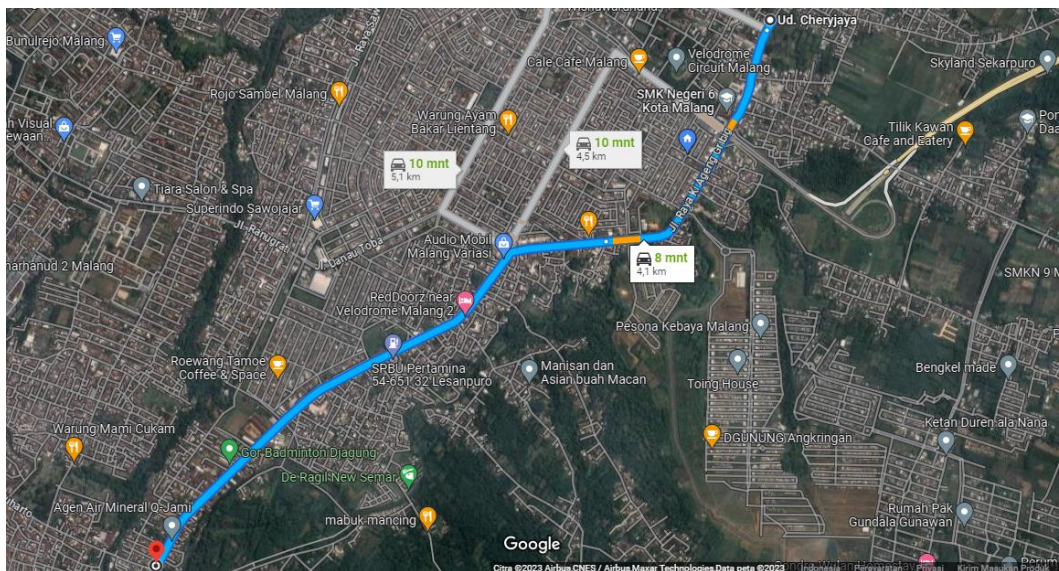
2. Metode Kajian

Jalan Ki Ageng Gribig Kota Malang dijadikan sebagai studi kasus kajian. Proses pengumpulan data dilakukan dengan studi literatur terhadap kajian yang relevan. Selanjutnya proses pengumpulan data dilanjutkan dengan survei lokasi dengan pengamatan lapangan. Adapun data yang diperlukan dalam kajian ini yaitu menggunakan data sekunder meliputi peta lokasi yang diambil dari Google Earth dan nilai CBR diperoleh dari kajian-kajian terdahulu serta data primer berupa volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) yang berdasarkan kondisi di lapangan selama 1 hari dengan waktu pencatatan per 15 menit sesuai dengan Pd. T-19-2004-B tentang Survei Pencacahan Lalu Lintas dengan cara Manual. Analisis perencanaan perkerasan kaku didasarkan pada pedoman peraturan Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017).

Lokasi kajian berdasarkan tampilan Google Earth yang menunjukkan di Jalan Ki Ageng Gribig. Lokasi kajian memiliki karakteristik lingkungan pemukiman dengan kegiatan niaga (pertokoan). Jalan tersebut menghubungkan antara Kabupaten Malang dan Kota Malang. Pada lokasi kajian juga terdapat gerbang Tol yaitu Gerbang Tol Malang sebagai akses masuk kendaraan-kendaraan dari luar Kota Malang. Untuk lokasi kajian ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Alur Kajian



Gambar 2. Lokasi Kajian

Sumber : Google Maps, 2023

3. Hasil dan Pembahasan Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

Data lalu lintas harian rata-rata diambil melalui hasil survei lapangan di Jalan Ki Ageng Gribig, Kota Malang dengan mengambil waktu survei tersibuk pada siang dan sore hari di masing-masing arah ruas jalan. Kemudian dilakukan analisis dari data tersebut untuk memperoleh nilai lalu lintas harian rata-rata (LHR) yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan LHR

Kendaraan	Jumlah (VJP)	emp	smp/jam	k	LHR (VJP/k) smp/hari/2 arah
Bus sedang	1	1,2	1,2	0,16	7,5
Bus besar	71	1,2	85,2	0,16	532,5
Truk Sedang 2 As	82	1,2	98,4	0,16	615,0
Truk Besar 2 As	2	1,2	2,4	0,16	15
Truk Besar 3 As	8	1,2	9,6	0,16	60
Truk Gandeng	1	1,2	1,2	0,16	7,5
Truk konteiner	0	1,2	0	0,16	0
Total					1237,5

Sumber : Hasil Survei Lalu Lintas, 2023

Dari hasil analisis diperoleh bahwa nilai LHR tertinggi pada golongan kendaraan Truk Sedang 2 As yaitu 615 smp/hari/2 arah dan disusul oleh kendaraan berat lainnya. Untuk total LHR sebesar 1237,5 smp/hari/2 arah.

CBR Desain tanah dasar

Kajian ini tidak melakukan uji daya dukung tanah, sehingga nilai CBR diambil dari nilai CBR peneliti terdahulu yang relevan. Terdapat beberapa hasil analisa CBR dari beberapa kajian di kota Malang. Pertama, didapat CBR tanah 2,37 % < 5 % (Georgius Jeri Satrio Mikael Lede, 2019). Kedua, hasil analisis nilai CBR sebesar 4,8% (Affandhie, 2012). Ketiga, CBR yang diperoleh daya dukung tanah sebesar 2,4% (Jesus, Arifianto, dkk 2018). Dalam kajian ini maka diambil nilai CBR sebesar 4,8% karena nilai tersebut paling relevan dan memenuhi syarat desain perkerasan kaku dengan analisis kendaraan berat.

Umur Rencana

Penentuan umur rencana dalam desain perkerasan kaku dapat disesuaikan tabel 2 berikut:

Tabel 2. Umur Rencana (UR)

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (Tahun) ¹
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan Lapisan berbutir ²	20
	Pondasi jalan Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (overlay), seperti: jalan perkotaan, underpass, jembatan, terowongan. <i>Cement Treated Based (CTB)</i>	40
Perkerasan kaku	Lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah, lapis beton semen, dan pondasi jalan.	
Jalan tanpa lapisan penutup	Semua elemen (termasuk pondasi jalan)	Minimum 10

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017

Lalu Lintas

Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (R)

Nilai faktor pengali pertumbuhan lalu lintas ditentukan berdasarkan laju pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana perkerasan jalan yang dihitung dengan persamaan:

$$R = \frac{(1 + 0,01 i)^{UR} - 1}{0,01 i}$$

Keterangan :

- R = faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif
- i = laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%)
- UR = umur rencana (tahun)

Tabel 3. Faktor Laju Pertumbuhan Lalu lintas (i%)

Klasifikasi 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 : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017

Perhitungan faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (R):

$$R = \frac{(1 + 0,01 i)^{UR} - 1}{0,01 i} = \frac{(1 + 0,01 \times 3,5)^{40} - 1}{0,01 \times 3,5} = 84,56$$

Umur rencana dalam kajian digunakan 40 tahun, dengan laju pertumbuhan lalu lintas tahunan untuk kelas jalan kolektor rural adalah 3,5% sehingga didapatkan faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif 84,56.

Faktor distribusi arah (DD)

Faktor distribusi arah (DD) pada jalan 2 arah didapatkan dari perbandingan jumlah volume tertinggi pada satu sisi arah jalan pada jam padat dengan volume total kendaraan pada jam padat.

$$DD = \frac{\text{Volume arah A}}{\text{Volume arah A} + \text{Volume arah B}} = \frac{84}{(84 + 81)} = 0,51\%$$

Faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL)

Nilai DL diambil berdasarkan acuan tabel Faktor Distribusi Lajur MDP 2017. Untuk jalan dengan jumlah lajur setiap arah 1 didapatkan nilai DL 100%

Tabel 4. Faktor Distribusi Lajur

Jumlah Lajur setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017

Beban Sumbu Standart Kumulatif

Beban sumbu standar kumulatif merupakan jumlah keseluruhan kelompok sumbu lalu lintas pada lajur yang didesain selama umur rencana. Beban komulatif kelompok sumbu dihitung dengan menjumlahkan seluruh beban sumbu masing-masing kendaraan.

$$\text{Beban Sumbu Standart Kumulatif umur rencana 40 tahun} = \text{LHR}_{awal} \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R}_{40}$$

Dari volume lalu lintas harian rata-rata, diperoleh Kumulatif Kelompok Sumbu Seluruh Kendaraan sebesar 40062996,15 CESAL.

Tabel 5. Perhitungan Beban Sumbu Standar Komulatif

Jenis Kendaraan	LHR smp/hari/2 arah	Jumlah Kelompok Sumbu	Kelompok Sumbu	Jumlah Kelompok Sumbu Rencana 40 Tahun
Bus sedang	7,5	2	15	235664,68
Bus besar	532,5	2	1065	16732192,51
Truk Sedang 2 As	615,0	2	1230	19324504,03
Truk Besar 2 As	15,0	2	30	471329,37
Truk Besar 3 As	60,0	3	180	2827976,20
Truk Gandeng	7,5,0	4	30	471329,37
Truk konteiner	0,0	5	0	0,00
Total	1237,5	Kumulatif Kelompok Sumbu Seluruh Kendaraan		40062996,15

Desain Perkerasan Kaku

Dalam menentukan desain perkerasan kaku dengan acuan hasil dari beban sumbu standar kumulatif kendaraan dan struktur perkerasan. Untuk nilai kumulatif sebesar 40062996,15 digunakan desain perkerasan sesuai tabel 6.

Tabel 6. Desain Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu lintas Berat

Struktur Perkerasan	R1	R2	R3	R4	R5
Kelompok sumbu kendaraan berat (<i>overloaded</i>) (10E6)	< 4.3	< 8.6	< 25.8	< 43	< 86
Dowel dan bahu beton	Ya				
STRUKTUR PERKERASAN (mm)					
Tebal pelat beton	265	275	285	295	305
Lapis Pondasi LMC	100				
Lapis Drainase (dapat mengalir dengan baik)	150				

Sumber : Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017

Berdasarkan analisa tabel desain perkerasan kaku yang digunakan:

Tebal pelat beton : 295 mm
Lapis Pondasi (LMC) : 100 mm
Lapis darinase (LFA kls A) : 150 mm
Sambungan : dengan dowel

Penentuan Struktur Pondasi

Berdasarkan Tabel 6, didapatkan kelas kekuatan tanah dasar adalah SG4 untuk desain pondasi dengan nilai CBR sebesar 4.8% dan ditentukan desain pondasi minimum berupa stabilitas semen setebal 300 mm. Perhitungan nilai daya dukung tanah untuk perencanaan stabilisasi kapur atau semen diperoleh dari formula berikut:

$$CBR_{\text{stabilisasi}} = \text{tanah asal} \times \frac{2 (\text{tebal lapis stabilisasi dalam mm})}{150} = 4,8 \times \frac{2 (300)}{150} = 19,2\%$$

Sehingga didapatkan nilai CBR stabilisasi tanah dasar sebesar 19,2 %.

Tabel 6. Desain pondasi jalan minimum

CBR Tanah dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Pondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan Kaku
			Beban lalu lintas pada lajur rencana dengan tahun umur rencana 40 tahun (juta ESA5)			
			<2	2-4	>4	
			Tebal minimum perbaikan tanah dasar			Stabilisasi Semen ⁽⁶⁾
≥6	SG6	Perbaikan tanah dasar dapat berupa stabilisasi semen atau material timbunan pilihan (sesuai persyaratan Spesifikasi Umum, Devisi 3 - Pekerjaan Tanah) (pemadatan lapisan ≤ 200 mm tebal gembur)	Tidak diperlukan perbaikan			
5	SG5		-	-	100	
4	SG4		100	150	200	
3	SG3		150	200	300	
2,5	SG2.5		175	250	350	
Tanah ekspansif (potensi pemuai > 5%)				400	500	600
Perkerasan di atas tanah lunak(2)	SG1 (3)	Lapis penopang(4)(6)	1000	1100	1200	Berlaku Ketentuan yang sama dengan pondasi jalan perkerasan lentur
		-atau- lapis penopang dan geogrid (4) (5)	650	750	850	
Tanah gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum - ketentuan lain berlaku)		Lapis penopang berbutir(4)(5)	1000	1250	1500	

Sumber : Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017

Perencanaan tulangan

Menganalisis tulangan direncanakan dengan perkerasan beton bertulangan bersambung (BBDT) atau *jointed reinforced concrete pavement (JRCP)* metoda ini mengacu pada PD T-14-2003. Adapun parameter dalam perencanaan tulangan sambungan sebagai berikut:

Tebal pelat	= 29,5 cm
Lebar Pelat	= 7 m
Panjang Pelat	= 5 m
Gravitasi	= 9.81 m/dt ²
Koefisien gesek pelat beton dengan pondasi (μ)	= 1.8
Kuat tarik ijin Baja	= 240 MPa
Berat isi (beton)	= 2400 kg/m ³

Perhitungan penulangan digunakan rumus :

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s}$$

a. Perhitungan tulangan (memanjang)

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s} = \frac{1,8 \cdot (5) \cdot 2400 \cdot (9,81) \cdot 0,295}{2 \cdot 240} = 130,23 \text{ mm}^2 / \text{m}'$$

$$A_{smin} = 0,1\% \times \text{Luas Penampang Beton} = 0,1\% \times 295 \times 1000 = 295 \text{ mm}^2 / \text{m}' \text{ (menentukan)}$$

b. Perhitungan tulangan (melintang)

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s} = \frac{1,8 \cdot (7) \cdot 2400 \cdot (9,81) \cdot 0,295}{2 \cdot 240} = 182,32 \text{ mm}^2/\text{m}'$$

$$A_{smin} = 0,1\% \times \text{Luas Penampang Beton} = 0,1\% \times 295 \times 1000 \\ = 295 \text{ mm}^2/\text{m}' \text{ (menentukan)}$$

Tabel 7. Ukuran dan berat tulangan polos 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	4,076
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

Sumber : Kementerian PUPR, 2003

Digunakan tulangan bujur sangkar, diameter 9 mm, jarak tulangan melintang & tulangan memanjang 200 mm dengan luas penampang $318 \text{ mm}^2 \geq A_{smin}$ melintang dan memanjang = $295 \text{ mm}^2/\text{m}'$

Perencanaan sambungan

Perencanaan sambungan dalam perkerasan beton bertulangan bersambung (BBDT) dihitung berdasarkan metoda mengacu pada PD T-14-2003. Untuk lapis Pondasi stabilisasi semen, perencanaan sambungan melintang menggunakan tulangan polos yang dipasang pada sepertiga dari tebal pelat. Dengan pelat beton setebal 305 mm spesifikasi dowel (ruji) yang dipakai sebagai berikut :

Diameter = 40 mm
Panjang = 450 mm
Jarak antar dowel = 300 mm

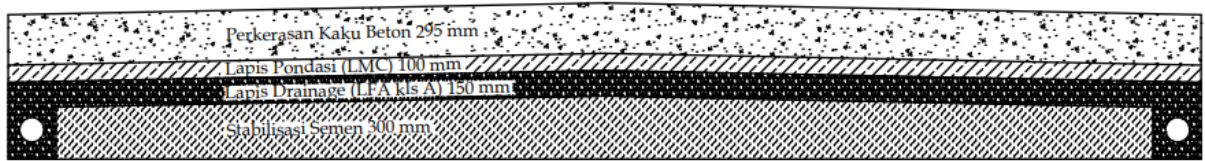
Batang pengikat (Tie-bar)

batang pengikat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$l = (38,3 \times \phi) + 75 \\ = (38,3 \times 16) + 75 \\ = 687,8 \text{ mm} \approx 70 \text{ cm}$$

Sehingga dipakai perencanaan:

Diameter batang = 16 mm (ulir)
Panjang = 70 cm
Jarak antar tie bar = 60 cm.



Gambar 3. Penampang Perkerasan Kaku hasil analisis

4. Simpulan

Berdasarkan analisis dan perhitungan perencanaan menggunakan Manual Desain Perkerasan metode Bina Marga tahun 2017, didapatkan desain perkerasan kaku untuk Jalan Ki Ageng Gribig Malang. Untuk tebal pelat beton sebesar 295 mm, lapis pondasi beton kurus (LMC) setebal 100 mm dan lapis drainase (LFA kls A) setebal 150 mm. Perencanaan tebal lapisan perkerasan Jalan Ki Ageng gribig direncanakan menggunakan sambungan dowel dengan bahu jalan. Untuk struktur pondasi minimum berupa stabilisasi semen setebal 300 mm.

5. Daftar Pustaka

- Adit, A. (2021). Akademisi UGM: Perkerasan Jalan Aspal atau Beton Perlu Pertimbangan Matang. *Kompas.Com*.
- Affandhie, R. B. A. (2012). *Perencanaan Jalan Lingkar Barat Kepanjen STA 0+000 – STA 4+232 Kabupaten Malang dengan menggunakan Perkerasan Lentur*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2004). *Suroai Pencacahan Lalu Lintas dengan cara Manual (Pd. T-19-2004-B)*.
- Georgius Jeri Satrio Mikael Ledo. (2019). *Analisa Daya Dukung Tanah terhadap Kerusakan Jalan pada Ruas Jalan Megamendung, Kelurahan Pisang Candi, Kecamatan Sukun, Kota Malang*. Universitas Tribhuwana Tunggaladewi.
- Google Maps. (2023). *Ruas Jalan Ki Ageng Gribig Kota Malang*. <https://www.google.com/maps/dir/-7.9712291,112.6735988/-7.9938156,112.647832/@-7.9824226,112.663568,2606m/data=!3m1!1e3!4m2!4m1!3e0?entry=ttu>
- Jesus, A. D. S. De, Arifianto, A. K., & ... (2018). Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Ki Ageng Gribig Kelurahan Kedungkandang Kecamatan Kedungkandang Kota Malang. *Jurnal Penelitian Teknik*, 2(1), 175–184.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2003). *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003)* (p. 51). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga. (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017)*. In *Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Vol. 1)*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. <https://ocw.upj.ac.id/files/Slide-CIV-314-modul-praktikum-jalan.pdf>
- Pratama, H. P., Sunaryo, D. K., & Sai, S. S. (2020). *Analisis Daerah Rawan Kecelakaan untuk Pembuatan Peta Rawan Kecelakaan (Studi Kasus : Kota Malang, Jawa Timur)*.
- Prayogo, A., Suprayitno, H., & Budianto, H. (2018). Penentuan Kriteria dalam Pemilihan Jenis Perkerasan pada Dataran Tinggi di Kabupaten Trenggalek. *Journal of Civil Engineering*, 33(1), 27. <https://doi.org/10.12962/j20861206.v33i1.4565>