

Perencanaan Perkerasan Kaku Jalan Eksisting Lenangguar – Lunyuk STA 04 – STA 06

Umami Khairiyah Br Maha^{a*}, Hermansyah^a, Dedy Dharmawansyah^a

^a Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teknologi Sumbawa, Nusa Tenggara Barat, 84371, Indonesia

Keywords:
Rigid pavement design
Lunyuk

Kata kunci:
Perencanaan perkerasan kaku
Lunyuk

ABSTRACT

The existence of roads is essential to support economic growth, agriculture, and other sectors. This is because the road is an essential means of transportation to serve people and goods from one place to another safely, comfortable, and economical. Therefore, it is necessary to plan related to the road pavement. Inappropriate pavement planning is the main cause of road damage. The planning for rigid pavement refers to the often-used guidelines, namely, the Road Pavement Design Manual (Revised on June 2017). The thick design of rigid pavement for the Lenangguar - Lunyuk, using quality of concrete of K₄₀₀ with a thickness of 19 cm. The sub-foundation uses Lean Mix Concrete with K₁₂₅ concrete quality and 10 cm of thickness. Dowel 33 mm in diameter uses steel bars 45 cm in length and 40 cm distances. Tie Bar fastener with 16 mm in diameter using a threaded rod, length 70 cm, and distance between rods 75 cm, respectively.

ABSTRAK

Keberadaan jalan raya sangatlah penting untuk menunjang laju pertumbuhan ekonomi, pertanian dan sektor lainnya. Hal ini dikarenakan jalan merupakan suatu sarana transportasi yang sangat penting untuk melayani pergerakan manusia dan atau barang dari suatu tempat ke tempat lain secara aman, nyaman dan ekonomis, maka dari itu perlu dilakukan perencanaan terkait perkerasan jalan. Perencanaan perkerasan jalan yang tidak sesuai menjadi penyebab utama dari kerusakan jalan. Perencanaan perkerasan kaku ini mengacu pada pedoman yang sering digunakan yaitu, Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017). Dalam rancangan tebal perkerasan kaku jalan lintas Lenangguar – Lunyuk, menggunakan beton K 400 dengan tebal 19 cm. Pondasi bawah menggunakan *Lean Mix Concrete* dengan mutu beton K 125 dengan tebal 10 cm. Dowel berdiameter 33 mm menggunakan ruji baja polos dengan panjang 45 cm dan jarak 40 cm. Pengikat *Tie Bar* berdiameter 16 mm menggunakan batang ulir, panjang 70 cm dan jarak antar batang 75 cm.



This is an open access article under the [CC-BY](#) license.

1. Pendahuluan

Jalan lintas Lenangguar – Lunyuk merupakan jalan yang menghubungkan Desa Lenangguar dan Desa Lunyuk yang masuk dalam kategori jalan provinsi. Jalan Lenangguar – Lunyuk terletak di wilayah selatan dan sebagian besar terdiri dari dataran tinggi dengan ketinggian rata-rata 231 meter dari permukaan laut.

Jenis perkerasan pada jalan Lintas Lenangguar – Lunyuk saat ini menggunakan perkerasan lentur (Aspal). Perkerasan ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya

adalah memiliki nilai ekonomis tinggi, akan tetapi memiliki kelemahan terhadap kondisi cuaca. Sehingga inovasi terus dilakukan untuk perbaikan sifat fisik dan mekaniknya sebagaimana yang dilakukan oleh [1]–[4]. Banyaknya jenis kendaraan yang melintas pada ruas jalan ini menyebabkan kerusakan pada beberapa titik dibagian badan jalan. Kerusakan ini berupa, badan jalan yang tidak rata akibat penurunan tanah, lubang-lubang akibat genangan air hujan dan lain-lain. Pada tahun 2019 terjadi kerusakan pada badan jalan dikarenakan semakin meningkatnya jumlah kendaraan yang melintas [5]. Untuk meminimalisir terjadinya kerusakan jalan yang lebih

*Corresponding author.
E-mail: Ummimaha22@gmail.com

<https://doi.org/10.21831/inersia.v17i1.39500>

Received 18 March 2021; Revised 19 May 2021; Accepted 21 May 2021
Available online 28 May 2021

serius lagi, maka dari itu perlu dilakukannya perencanaan terkait tebal perkerasan jalan yang sesuai dengan kondisi tanah dasar dari jalan tersebut dan mampu melayani beban kendaraan yang melintas pada arus jalan tersebut.

Perencanaan perkerasan jalan yang digunakan disini adalah perkerasan kaku. Pemilihan jenis perkerasan ini karena perkerasan kaku merupakan perkerasan jalan yang memiliki tingkat kekakuan yang cukup tinggi dibandingkan dengan perkerasan lentur (aspal) sebesar 10 kali lipat. Meskipun penelitian Penyebaran beban yang relatif luas pada daerah subgrade dan beton sendiri bagian utama yang menanggung beban struktural.

Perencanaan tebal perkerasan kaku ini mengacu pada metode Manual Perkerasan Jalan yang merupakan salah satu metode perencanaan perkerasan kaku yang umum digunakan [6] sampai dengan [7].

2. Metode

2.1 Lokasi Penelitian



Gambar 1. Lokasi penelitian

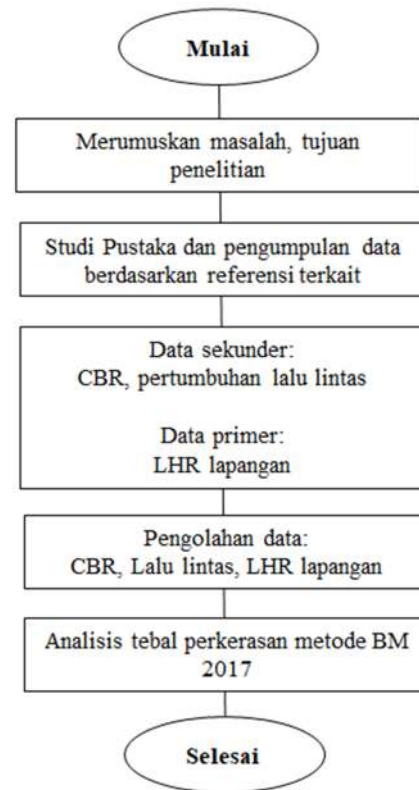
2.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data-data dari dinas terkait dan melakukan survey langsung ke lokasi penelitian. Perencanaan dilakukan agar uraian data-data yang diperoleh dapat mencakup seluruh permasalahan dalam penelitian. Data diperoleh dari data lalu lintas harian rerata dan data hujan simpang bersinyal seturunan.

2.3 Tahapan Penelitian

Desain perkerasan kaku memerlukan data-data mengenai obyek yang akan direncanakan. Data yang dibutuhkan

dalam penelitian ini berupa data lalu lintas harian rerata (LHR) dan data hari hujan yang selanjutnya dihitung menggunakan metode Bina Marga tahun 2017. Tahapan penelitian yang digunakan dapat dijelaskan dalam bagan alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

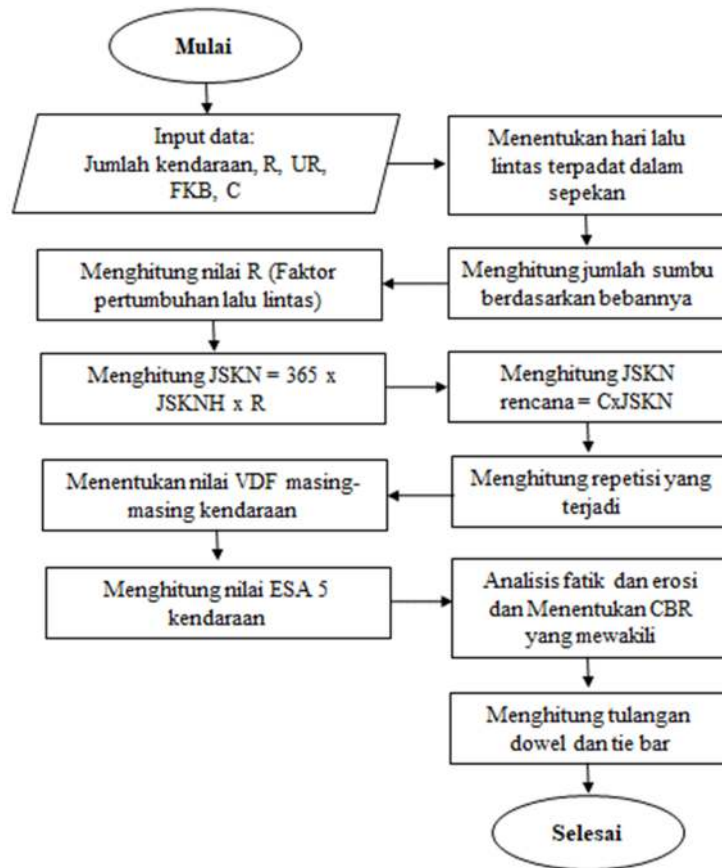
2.4 Perencanaan dengan Menggunakan Metode Bina Marga 2017

Metode ini mengacu pada pedoman Manual Desain Perkerasan Jalan [6] dan pedoman Manual Desain Perkerasan Jalan [8]. Sistem perhitungan tebal pelat beton perkerasan dengan metode Bina Marga tahun 2017.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Lalu Lintas

Data lalu lintas yang digunakan yaitu data LHR (lalu lintas harian rata-rata) ini adalah data primer yang didapatkan melalui survey secara langsung ke lokasi penelitian. Survey ini dilakukan selama satu pekan kemudian menentukan hari puncak atau jadwal lalu lintas terpadat.



Gambar 3. Bagan alir perencanaan metode Bina Marga 2017[9]

3.2 Analisa Data Pertumbuhan Lalu Lintas

Dari hasil survey kendaraan selama satu pekan, maka ditentukan hari puncak banyaknya kendaraan yaitu hari selasa sebagai awal pekan, hari kamis sebagai pertengahan pekan dan hari sabtu sebagai akhir pekan. Adapun data LHR puncak yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 2.

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

$$= \frac{(1+0,01 \times 3,5)^{20}-1}{0,01 \times 3,5}$$

$$= 28,28$$

$$JSKN = 365 \times JSKNH \times R$$

$$= 365 \times 1258 \times 28,28$$

$$= 1,2 \times 10^7$$

Jumlah sumbu kendaraan niaga (JSKN) selama umur rencana 20 tahun.

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

$$= 1,00 \times 1,2 \times 10^7$$

$$= 1,2 \times 10^7$$

Tabel 1. Jumlah sumbu berdasarkan bebannya

Jenis Kend	Konfigurasi beban Smb (ton)				Jumlah Kend (bh)	Jumlah Smb/ken	Jumlah Smb	STRT		STRG		STdRG	
	RD	R B	RG D	RGB				BS (bh)	JS (bh)	BS (bh)	JS (bh)	BS (bh)	JS (bh)
1		2		3	4	5=3x4	6	7	8	9	10	11	
Motor	1	1			3851								
Pick Up	1	1			629								
Mobil Box	1	1			113								
Bus Kecil	3	5			14	2	28	3	14	5	14		
Bus Sedang	3	5			19	2	38	3	19	5	19		
Truck Kecil	2	4			247	2	294	2	247				
Truk Sedang	5	8			243	2	686	4	247	8	243		

Jenis Kend	Konfigurasi beban Smb (ton)				Jumlah Kend (bh)	Jumlah Smb/ken	Jumlah Smb	STRT		STRG		STdRG	
	RD	R B	RG D	RGB				BS (bh)	JS (bh)	BS (bh)	JS (bh)	BS (bh)	JS (bh)
1			2		3	4	5=3x4	6	7	8	9	10	11
Truck 3 Gandar	6	14			6	2	12	6	6			14	6
			Total				1258		776		276	14	6

Tabel 2. Data lalu lintas terpadat satu pekan

Waktu	Jenis Kendaraan							
	Motor	Pick Up	Mobil Box	Bus Besar	Bus Kecil	Truck Kecil	Truck Sedang	Truck 3 Gandar
Selasa, 01 Sep 2020	1694	178	20	4	7	80	77	4
Kamis, 03 Sep 2020	749	246	44	5	6	78	79	
Sabtu, 05 Sep 2020	676	180	49	6	8	89	89	2
Total	3119	604	113	15	21	247	245	6

Selanjutnya, setelah didapatkan jumlah sumbu niaga maka akan dilakukan perhitungan repetisi sumbu yang terjadi, perhitungan repetisi sumbu yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 3 yang terdiri dari jenis sumbu, beban sumbu, jumlah sumbu, proporsi beban dan sumbu, lalu lintas rencana sampai dengan dengan repetisi beban yang terjadi pada obyek penelitian.

3.3 Data Nilai CBR subgrade (Tanah Dasar)

Data rangkuman tes CBR Timbunan Pilihan adalah data skunder yang di dapatkan dari Dinas PUPR (Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang) Provinsi Nusa Tenggara Barat. Nilai CBR tanah dasar yang mewakili dari sejumlah harga CBR yang dilaporkan diketahui sebagai berikut: 12.65:12.51:10.47 disajikan pada Tabel 6.

Tabel 3. Perhitungan repetisi yang terjadi

Jenis Sumbu	Beban Sumbu	Jumlah Sumbu	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu	Lalu Lintas Rencana	Repetisi yang Terjadi
1	2	3	4	5	6	7= 4 x 5 x 6
STRT	6	6	0.01	0.73	1.2×10^7	8.6×10^4
	5	243	0.31	0.73	1.2×10^7	2.7×10^6
	4	247	0.32	0.73	1.2×10^7	2.8×10^6
	3	33	0.04	0.73	1.2×10^7	3.5×10^5
	2	247	0.32	0.73	1.2×10^7	2.8×10^6
Total		776	1			
STRG	8	243	0.88	0.26	1.2×10^7	2.7×10^6
	5	33	0.12	0.26	1.2×10^7	3.7×10^5
Total		276	1			
STdRG	14	6	1	0.01	1.2×10^7	1.2×10^5
		6	1			
Kumulatif		1058				11.9×10^6

Tabel 5. Perhitungan ESA 5

Jenis kendaraan	LHRT 2020	LHRT 2023	LHRT 2026	VDF 5 Aktual	VDF 5 Normal	ESA 5 (22'' - 25'')	ESA 5 (23'' - 40'')
1	2	3	4	5	6	7	8
MP& kendaraan ringan	4593	5291	6095				
5A	14	16	18	1,0	1,0	9.081,20	74.062,35
5b	19	22	25	1,0	1,0	12.486,65	103.614,38
6a1	247	284	303	0,5	0,5	80.595,65	627.903,11
6b1.1	243	280	299	4,0	3,0	63.556,84	3.717.683,78
7a2	6	8	11	9,7	6,0	44.043,82	273.541,95
						78.1892,32	4.796.805,56
		Total					5.578.696,88

Keterangan:

Kolom : 3 = $2 \times (1 + i)^n$

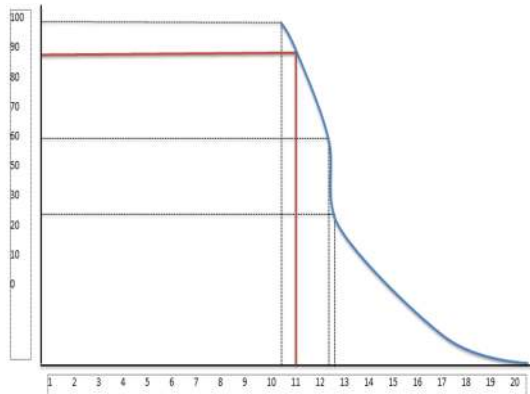
Kolom : 4 = $2 \times (1 + i)^n$

Kolom : 7 = $(3) \times (5) \times 365 \times 0.5 \times 1 \times R_{(2022-2025)}$

Kolom : 8 = $(4) \times (6) \times 365 \times 0.5 \times 1 \times R_{(2023-2040)}$

Tabel 6. Data nilai CBR [10]

No	CBR	Jumlah yang sama atau lebih besar	Persen% yang sama atau lebih besar
1	10.47	3	$3/3 \times 100\% = 100\%$
2	12.51	2	$2/3 \times 100\% = 66.6\%$
3	12.65	1	$1/3 \times 100\% = 33.3\%$



Gambar 4. Nilai CBR lapangan

3.4 Data Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)

Data pendukung lainnya yang berhubungan dengan penentuan tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*) mengacu kepada [8]–[13]: (a) Umur rencana yang ditentukan untuk perencanaan tebal perkerasan kaku (*rigid pavement*) yaitu 20 tahun; (b) Fungsi jalan yaitu arteri atau jalan bebas hambatan (*freeway*) menghubungkan antar kota atau antar daerah yang

menghendaki waktu dan jarak tempuh dengan efektif; (c) Panjang jalan yang direncanakan km 4 s/d km 6 (3 Km); (d) Terdiri dari 1 lajur 2 arah dengan tanpa menggunakan bahu jalan; (e) Faktor keamanan beban FKB jalan Kolektor 1,00; (f) Kuat tarik lentur beton (f'_{cf}) 4 MPa ($F'_{c} = 285 \text{ kg/cm}^2$ silinder); (g) Nilai CBR tanah dasar 11%; (8) Pertumbuhan lalu lintas (i) 3,50% pertahun diambil dari nilai pertumbuhan lalu lintas rata-rata seluruh Indonesia; (h) Tebal pelat yang ditaksir 19 cm; (i) Material yang digunakan dalam perkerasan kaku (*rigid pavement*) yaitu: (a) *Subbase* menggunakan *lean-mix concrete* dengan beton mutu K125 10 cm; (b) Perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan tipe Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT) dengan Ruji menggunakan mutu beton K_{400} .

Setelah data perencanaan tebal pelat ditentukan, maka selanjutnya yang dilakukan adalah menganalisis nilai fatik dan erosi yang akan terjadi. Untuk mengetahui tegangan ekivalen dan faktor erosi selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 4. Karena nilai CBR sebesar 11% tidak terdapat pada tabel, maka digunakan nilai CBR sebesar 10%.

Tabel 7. Tegangan ekivalen dan faktor erosi [14]

Tebal slab (mm)	CBR eff tnh dsr(%)	Tegangan Setara					Faktor erosi						
		STRT	STRG	STdRG	STr RG	STRT	Tanpa Ruji			Dengan Ruji			
							STRG	STdRG	STrRG	STRT	STR G	STd RG	STr RG
190	5	0,99	1,58	1,35	1,05	2,07	2,67	2,78	2,82	1,86	2,46	2,57	2,64
190	10	0,96	1,49	1,26	0,99	2,05	2,65	2,72	2,75	1,84	2,44	2,51	2,56
190	15	0,94	1,44	1,21	0,97	2,04	2,64	2,70	2,72	1,83	2,43	2,48	2,53
190	20	0,93	1,42	1,19	0,96	2,03	2,63	2,69	2,70	1,82	2,42	2,46	2,50
190	25	0,92	1,40	1,17	0,94	2,03	2,63	2,67	2,68	1,81	2,41	2,44	2,48
190	35	0,90	1,35	1,12	0,91	2,02	2,62	2,63	2,64	1,79	2,40	2,40	2,43
190	50	0,88	1,29	1,08	0,88	2,00	2,60	2,60	2,60	1,77	2,38	2,36	2,38
190	75	0,87	1,22	1,02	0,86	1,98	2,58	2,55	2,55	1,76	2,36	2,32	2,38
200	5	0,91	1,47	1,27	0,99	2,01	2,61	2,74	2,78	1,8	2,4	2,52	2,6
200	10	0,89	1,39	1,18	0,93	1,99	2,59	2,69	2,71	1,78	2,38	2,46	2,52
200	15	0,87	1,35	1,15	0,9	1,98	2,59	2,66	2,68	1,77	2,37	2,43	2,49
200	20	0,86	1,33	1,12	0,89	1,97	2,58	2,64	2,66	1,76	2,36	2,42	2,48
200	25	0,85	1,3	1,1	0,87	1,97	2,57	2,62	2,64	1,75	2,35	2,4	2,44
200	35	0,83	1,25	1,05	0,84	1,96	2,56	2,58	2,6	1,73	2,33	2,36	2,39
200	50	0,82	1,2	1,01	0,82	1,94	2,54	2,55	2,55	1,71	2,31	2,32	2,33
200	75	0,81	1,14	0,95	0,8	1,92	2,52	2,51	2,5	1,69	2,3	2,27	2,26

Tabel 8. Analisa fatik dan erosi

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (KN)	Beban Rencana Per Roda (kn)	Repetisi yang Terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisa Fatik		Analisa Erosi	
					Repetisi Ijin	Persen Rusak	Repetisi Ijin	Persen Rusak
1	2	3	4	5	6	7= 4x100/6	8	9=4x100/8
STRT	6 (60)	30,00	8,6 x 10 ⁴	TE = 0,96 FRT = 0,26 FE = 1,84	TT	0	TT	0
	5 (50)	25,00	2,7 x 10 ⁶		TT	0	TT	0
	4 (40)	20,00	2,8 x 10 ⁶		TT	0	TT	0
	3 (30)	15,00	3,5 x 10 ⁵		TT	0	TT	0
	2 (20)	10,00	2,8 x 10 ⁶		TT	0	TT	0
STRG	8 (80)	20,00	2,7 x 10 ⁶	TE = 1,49 FRT = 0,41 FE = 2,44	TT	0	TT	0
	5 (50)	12,50	3,7 x 10 ⁵		TT	0	TT	0
					TE = 1,26			
STdRG	14 (140)	17,50	1,2 x 10 ⁵	FRT = 0,34 FE = 2,51	TT	0	TT	0
Total						0	0 < 100%	

Karena nilai % rusak fatik yang didapat lebih kecil 100% maka tebal pelat yang direncanakan setebal 190 mm (19 cm) dapat digunakan.

3.5 Perhitungan Dowel dan Tulangan

3.5.1. Dowel

Untuk menentukan ukuran dowel sebagai pengikat/penyambung pada sambungan pelat beton dengan tebal pelat perkerasan sebesar 190 mm (19 cm), direncanakan ruji yang digunakan adalah ruji baja polos. Pada saat pemasangan dowel sebagai penyambung/pengikat separuh panjang terikat dan separuh dilumasi atau dicat untuk memberikan kebebasan bergerak pada pelat beton dan tidak salinng terikat. Diameter dowel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 11, dan didapatkan ukuran dowel sebagai berikut:

- Diameter = 33 mm
- Panjang = 450 mm
- Jarak anatar ruji = 300 mm

3.5.2. Pengikat Tie Bar

Disarankan untuk sambungan memanjang harus dilengkapi dengan batang ulir. Batang ulir yang bergerigi akan memperkuat/mepererat sambungan batang dengan pelat beton, sehingga akan menambah kekuatan pada pelat beton. Batang ulir yang digunakan dengan mutu minimum BJTU- 24 dan berdiameter 16 mm. Untuk ukuran batang pengikat tie bar dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini:

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

$$= (38,3 \times 16) + 75$$

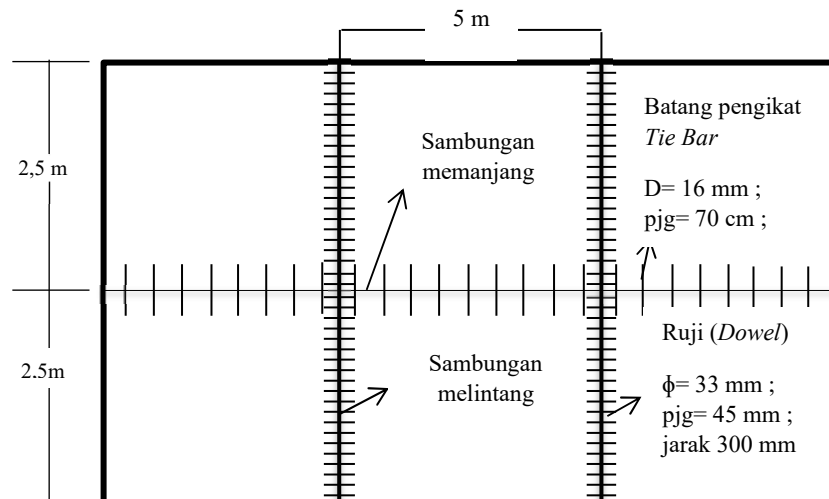
- = 687,8 mm
- = 700 mm
- = 70 cm

Jadi, dowel dan pengikat tie bar yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Jenis perkerasan = Perkerasan Beton bersambung
- Tanpa Tulangan dengan ruji
- Tebal pelat = 190 mm = 19 cm
- Lebar pelat = 2 x 2,5 m
- Panjang pelat = 5 m
- Sambungan susut setiap jarak = 5 m
- Ruji digunakan dengan diameter = 33 mm
- Panjang ruji = 450 mm
- Jarak ruji = 300 mm
- Batang pengikat digunakan baja ulir :
- Diameter = 16 mm
- Panjang = 70 cm
- Jarak = 75 cm

4. Simpulan

Dari penelitian tersebut, didapatkan hasil perencanaan perkerasan jalan yang sesuai dengan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan tahun 2017 yaitu : (a) Rancangan tebal perkerasan kaku (Rigid Pavement) ini menggunakan jenis perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan (BBTT) dengan ruji. Beton yang digunakan untuk struktur atas adalah K₄₀₀ dengan ketebalan 19 cm, didapatkan dari perhitungan tebal perkerasan. Pondasi bawah beton menggunakan lean-mix concrete dengan beton mutu K-125 10 cm. Dowel yang digunakan berdiameter 33 mm, panjang 45 cm, jarak 40 cm dan jarak setiap sambungan dowel adalah 4 m didapatkan dari hasil perhitungan dowel; (b) Sambungan pada dowel menggunakan baja polos.



Gambar 5. Perkerasan Beton Bersambung Tanpa Tulangan (BBTT)

Pengikat *tie bar* berdiameter 16 mm, panjang 70 cm dan jarak antar batang 75 cm didapatkan dari hasil perhitungan umur rencana 20 tahun.

Daftar Rujukan

- [1] F. Ma'arif, "Efek variasi kadar bitumen terhadap kinerja Marshall laboratorium dengan menggunakan agregat Bantak (studi kinerja agregat Bantak dengan menggunakan emulsi, modifikasi polymer, AC 60/70 dan Shell (Singapore) pada lalulintas berat)," *INERSIA*, vol. 2, no. 8, 2012, doi: <https://doi.org/10.21831/inersia.v8i2.3999>.
- [2] S. Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit, 2003.
- [3] F. Ma'arif and Pramudiyanto, "Uji kinerja Marshall agregat Bantak Merapi dengan menggunakan serat polypropylene," *INERSIA*, vol. 10, no. 1, 2014, doi: <https://doi.org/10.21831/inersia.v10i1.4424>.
- [4] H. Hardiyatmo, *Pemeliharaan Jalan Raya*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2007.
- [5] BPS Kabupaten Sumbawa, "Kecamatan Lenangguar dalam Angka 2018," Sumbawa, 2018.
- [6] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga, *Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Perumahan Rakyat, 2017.
- [7] Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, *Manual Desain Perkerasan Jalan, Nomor 02/M/BM/2013*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, 2013.
- [8] Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, *Perencanaan Tebal Perkerasan Jalan Semen Beton Metode SNI 2003 Pd T-14-2003*. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003.
- [9] Direktorat Jendral Bina Marga, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 1997.
- [10] H. C. Hardiyatmo, *Analisis dan Perancangan Fondasi 2, Cetakan Pertama*. Yogyakarta: Gajah Mada Press, 2015.
- [11] I. Hadijah and M. Harizalsyah, "Perencanaan Jalan Dengan Perkerasan Kaku Menggunakan Metode Analisa Komponen Bina Marga," Universitas Muhammadiyah Metro, 2017.
- [12] A. Suryawan, *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement) : Seri Buku Teknik Sipil Praktis*. Yogyakarta: Beta Offset, 2016.
- [13] A. Suryawan, *Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (Rigid Pavement)*. Yogyakarta: Beta Offset, 2009.
- [14] S. Totomihardjo, *Bahan dan Struktur Jalan Raya*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM, 2004.