

REKAYASA TIMBUNAN TINGGI PADA OPRIT JALAN RAYA TERHADAP KELONGSORAN DAN PEMAMPATANNYA

Suwarno^{1*}, Luthfi Amri Wicaksono²

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan (FTSPK), Institut
Teknologi Sepuluh Nopember

Jalan Arif Rahman Hakim, Surabaya, Jawa Timur

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jalan Kalimantan No.37, Kampus Tegalboto, Jember, Jawa Timur

*Email: suwarno.surabaya@gmail.com

Abstrak

Oprit jembatan jalan raya yang tinggi, seringkali terjadi masalah longsor dan penurunan (*settlement*). Untuk mengatasi masalah tersebut, dipergunakan material timbunan ringan, serta mengurangi beban timbunan pada oprit yaitu dengan cara memasang box culvert di bagian oprit paling tinggi (pada dinding abutment). Tinggi timbunan oprit pada abutment 1 dan abutment 2 adalah masing-masing 1.7 m dan 2.17 m dengan kemiringan rencana 1:2. Tanah pada BH-01 jembatan merupakan tanah lanau kelempungan dengan konsistensi medium yang memiliki nilai N-SPT rata-rata 10 sampai kedalaman 9.5 m; tanah pada BH-02 terdapat tanah pasir sampai kedalaman 7 m dengan N-SPT rata-rata 7 dan dilanjutkan lempung sampai kedalaman 30 m dengan N-SPT rata-rata 26; tanah pada BH-03 didominasi oleh lempung kepasiran sampai dengan kedalaman 28 m dengan N-SPT rata-rata 26 dan dilanjutkan oleh pasir sampai kedalaman 30 m; dan tanah pada BH-04 didominasi oleh lempung sampai kedalaman 10 m dengan N-SPT rata-rata 9. Rekayasa timbunan oprit dilakukan dengan memasang box culvert di dekat dinding abutment untuk mengurangi beban timbunan; serta yang stabil dan tidak memampat. Tujuan yang ingin dicapai adalah mengetahui angka keamanan terhadap kelongsoran dan mengurangi pemampatan tanah yang terjadi. Metoda yang dipakai adalah dengan memasang box culvert di belakang abutment untuk mengurangi beban timbunan dan serta memakai material timbunan ringan (*geofoam*). Hasil rekayasa ini menghasilkan angka keamanan longsor yang cukup aman dan besarnya pemampatan (*settlement*) cukup kecil.

Kata kunci: box culvert, *geofoam*, longsor, oprit, pemampatan

Abstract

When highway bridges are high, landslides and settlement problems often occur. To overcome this problem, light embankment material is used, and reduce the embankment load on the oprit, namely by installing a box culvert at the highest part of the oprit (on the abutment wall). The height of the oprite embankment at abutment 1 and abutment 2 is 1.7 m and 2.17 m respectively with a design slope of 1:2. The soil on the BH-01 bridge is a clayey silt soil with medium consistency which has an average N-SPT value of 10 to a depth of 9.5 m; The soil in BH-02 contains sand to a depth of 7 m with an average N-SPT of 7 and continued with clay to a depth of 30 m with an average N-SPT of 26; the soil in BH-03 is dominated by sandy clay to a depth of 28 m with an average N-SPT of 26 and continued by sand to a depth of 30 m; and the soil in BH-04 is dominated by clay to a depth of 10 m with an average N-SPT of 9. Oprite embankment engineering was carried out by installing a box culvert near the abutment wall to reduce the embankment load; and which is stable and does not compress. The goal to be achieved is to know the safety figures against landslides and reduce soil compression that occurs. The method used is to install a box culvert behind the abutment to reduce the embankment load and also use light embankment material (*geofoam*). The results of this engineering produce a landslide safety figure that is quite safe and the amount of settlement is quite small.

Key words: box culvert, *geofoam*, landslide, oprit, compression

1. PENDAHULUAN

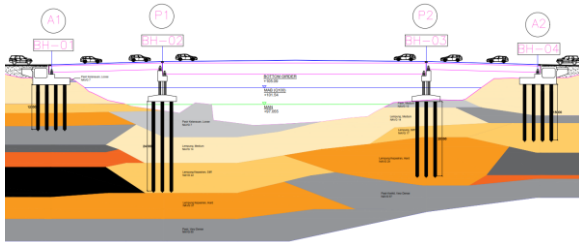
Oprit jembatan yang tinggi sangat membahayakan dan pada umumnya menimbulkan masalah pemampatan tanah (*settlement*) pada bagian oprit yang berdekatan dengan abutment jembatan. Sebagai contoh disini ditunjukkan oprit jembatan *box girder*

dengan bentang 148.4 meter, yang terdiri dari 3 segmen. Segmen 1 dan 3 memiliki panjang 30.55 m dan segmen 2 memiliki panjang 71.10 m.

Tinggi timbunan oprit abutment A1 dan A2 adalah 1.70 m dan 2.17 m dengan kemiringan rencana 1:2 dan panjang timbunan oprit adalah 18.00 m dan 16.5 m. Perlu direncanakan oprit

yang aman, perbaikan tanah dasar di bawah timbunan oprit jembatan serta perkuatannya.

Ilustrasi bentang jembatan ditunjukkan dalam Gambar 1. Dalam contoh analisa oprit jembatan ini disajikan oprit jembatan *abutment* A1 saja.



Gambar 1. Bentang jembatan

Gaya-gaya yang bekerja pada timbunan oprit jembatan adalah berat sendiri timbunan, beban kendaraan dan struktur yang ada di atas timbunan, tekanan air pori, dan gempa bumi.

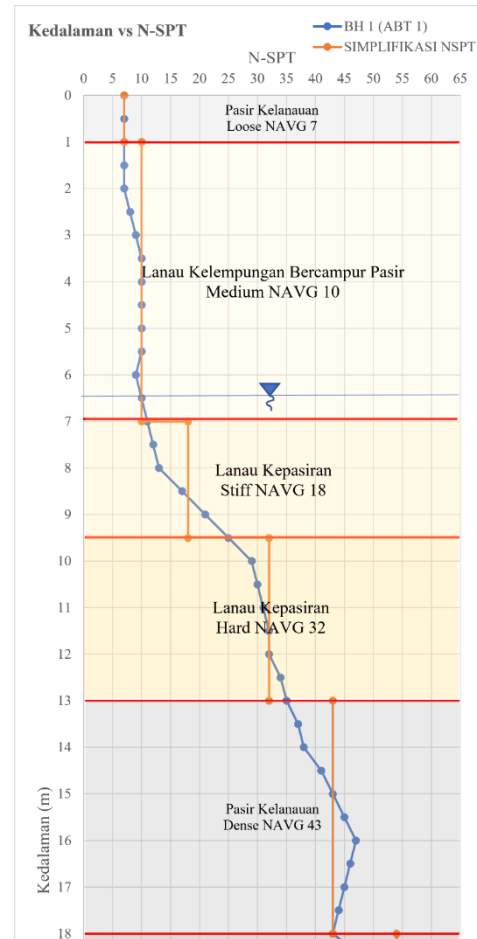
Tanah dasar di bor BH-01 (*abutment* A1) dan bor BH-04 (*abutment* A2) didominasi tanah lunak lanau kelepungan dengan konsistensi medium sampai kedalaman 9.00 meter, sedangkan pada bor di tengah sungai, BH-02 dan BH-03, memiliki kedalaman tanah keras di 30.00 m dan 24.00 m. Hasil bor BH-01 (*abutment* A1) dengan nilai-nilai SPT nya ditunjukkan dalam Gambar 2.

Untuk mengetahui tinggi timbunan yang mampu ditahan oleh tanah dasar pada saat proses penimbunan perlu dilakukan cek terhadap *bearing capacity*. Cek tersebut akan menghasilkan besarnya tinggi timbunan kritis seperti yang ditunjukkan dalam rumus 2.

$$SF = \frac{q_{maks}}{q} = \frac{c \times N_c}{\gamma \times h} \quad (1)$$

$$h = \frac{c \times N_c}{\gamma \times SF} \quad (2)$$

di mana SF adalah *safety factor*, c adalah kohesi tanah, γ adalah berat volume tanah dan N_c adalah faktor daya dukung.



Gambar 2. Nilai SPT bor BH 1 Abutment 1 (data proyek dan hasil korelasi)

Data tanah yang diperoleh, tidak terdapat hasil tes laboratorium sehingga perlu dilakukan korelasi tanah dasar untuk mendapatkan beberapa parameter tanah dasar yang dibutuhkan seperti $\gamma, \phi, C_u, C_c, C_s, C_v, LL$. Korelasi tersebut menggunakan beberapa tabel seperti dari J.E.Bowless, Burt G. Look, Biarez & Favre, dan NAVFAC DM7. Berdasarkan (SNI 8460:2017, 2018), analisa stabilitas dapat menggunakan pendekatan keseimbangan batas (*limit equilibrium method, LEM*), teori batas plastis, dan metode numerik seperti metode elemen hingga (*finite element method, FEM*). Nilai faktor keamanan untuk analisis lereng dibedakan berdasarkan biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng dan tingkat ketidakpastian kondisi analisis yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1
Nilai faktor keamanan untuk lereng tanah

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Tingkat ketidakpastian kondisi analisis	
	Rendah ^a	Tinggi ^b
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih

^aTingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.
^bTingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi, dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.

2. METODOLOGI

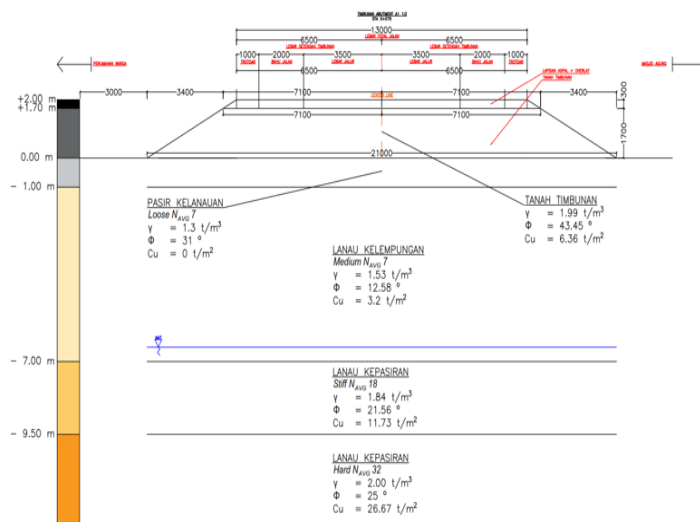
Alur studi ini dimulai dengan studi literatur, pengumpulan data sekunder, dan analisis data tanah. Kemudian dilanjutkan dengan dua proses perencanaan yang pertama adalah perencanaan pondasi pilar dan abutment dan yang kedua adalah perencanaan timbunan oprit. Perencanaan timbunan oprit dimulai dengan evaluasi stabilitas timbunan oprit eksisting, apabila sudah memenuhi SF maka tidak memerlukan perkuatan timbunan dan sebaliknya. Kemudian dilakukan cek terhadap waktu dan besar pemampatan yang terjadi dan dilanjut dengan cek *rate of settlement*. Jika *rate of settlement* sudah memenuhi syarat yaitu 2 cm/tahun maka timbunan tidak memerlukan perbaikan tanah dasar dan sebaliknya. Khusus untuk timbunan tinggi, diperlukan pengurangan beban timbunan oprit, berupa pemasangan *box culvert* atau alternatif lain dengan menggunakan *geofoam*. Setelah alternatif perencanaan dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan.

3. Hasil dan Pembahasan.

Perhitungan yang dilakukan meliputi perhitungan besarnya pemampatan (*settlement*), lamanya ya pemampatan untuk kondisi timbunan oprit normal (tanpa pemakaian *box culvert* dan *geofoam* untuk mengurangi berat timbunan).

3.1. Perhitungan Penurunan Oprit.

Timbunan oprit termasuk data tanah *bor log abutment A1* disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Penampang melintang oprit

Besar pemampatan (S_c) akibat tinggi timbunan oprit sebesar tinggi Rencana (H_{akhir}) disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2
Pemampatan timbunan oprit

Depth	Tebal	H	Z	OCR	Soil Type	$\Delta\sigma$	$\frac{\Delta\sigma_{total}}{1+m_2(\sigma'_{sisi\ timbun})}$	$\frac{\Delta\sigma+\sigma_{ov}}{1+m_2}$	S_c	S_c kumulatif
m	m	m	m			t/m ²	t/m ²	t/m ²	m	m
1	1	1.7	0.5	44.3	OC SOIL	1.69	3.38	3.53	LAPISAN PASIR	
2	1	1.7	1.5	12.4	OC SOIL	1.69	3.37	3.94	0.02	0.02
3	1	1.7	2.5	6.91	OC SOIL	1.67	3.35	4.45	0.01	0.03
4	1	1.7	3.5	4.98	OC SOIL	1.65	3.30	4.93	0.01	0.04
5	1	1.7	4.5	4.00	OC SOIL	1.61	3.23	5.40	0.01	0.05
6	1	1.7	5.5	3.41	OC SOIL	1.57	3.14	5.84	0.01	0.05
7	1	1.7	6.5	3.01	OC SOIL	1.51	3.03	6.26	0.01	0.06
8	1	1.7	7.5	2.66	OC SOIL	1.46	2.91	6.83	0.01	0.07
9	1	1.7	8.5	2.36	OC SOIL	1.40	2.79	7.56	0.00	0.07

Pemampatan dihitung akibat beban timbunan (Tabel 2), ditambah dengan beban perkerasan, dan beban kendaraan menghasilkan besarnya *settlement* sebesar:

$$\begin{aligned}
 S_c \text{ tinggi timbunan akhir} &= 0.07 \text{ m} \\
 S_c \text{ perkerasan} &= 0.0057 \text{ m} \\
 S_c \text{ beban kendaraan} &= 0.0343 \text{ m} \\
 S_c \text{ total} &= S_c \text{ tinggi timbunan akhir} + S_c \text{ perkerasan} + S_c \text{ beban kendaraan} \\
 &= 0.07 + 0.0057 + 0.0343 = 0.1098 \text{ m} = 10.98 \text{ cm (total settlement)}.
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan data yang digunakan untuk melakukan perhitungan lama waktu pemampatan:

$$\begin{aligned}
 C_v \text{ gabungan} &= 3.156 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s} \\
 T_v (U = 90\%) &= 0,848 \\
 H_{dr} &= 8 \text{ m} (= 9 \text{ m} - 1 \text{ m} = 8 \text{ m}).
 \end{aligned}$$

Sehingga lama waktu pemampatan pada kedalaman 9 m adalah :

$$\sum t_i = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{C_v} = \frac{0,848 \times (8 \text{ m})^2}{3,156 \times 10^{-8} \frac{\text{m}^2}{\text{detik}}} = 1719257405 \text{ detik} = 54,52 \text{ tahun}$$

Walaupun waktu yang dibutuhkan sangat lama dengan mempertimbangkan harga dan waktu dari pemasangan PVD maka jika *rate of settlement* yang dihasilkan kurang dari 2 cm/tahun dapat disimpulkan untuk tidak merencanakan perbaikan tanah dasar.

- Cek *Rate of settlement*

Pada tahun pertama didapatkan *rate of settlement* sebesar 1.6 cm/tahun.

3.2. Kontrol Stabilitas Timbunan.

Analisis perencanaan perkuatan timbunan oprit jembatan dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- Melakukan analisis stabilitas timbunan eksisting tanpa perkuatan dan dilakukan kontrol stabilitas menyeluruh lereng timbunan. Jika memenuhi dapat langsung menuju kesimpulan dan saran dan jika tidak memenuhi perlu direncanakan perkuatan timbunan dengan menggunakan *geotextile* (jika diperlukan).
- Menentukan tipe *geotextile* untuk perkuatan timbunan
- Melakukan kontrol stabilitas yang terdiri dari *internal stability*, *overall stability*, *foundation stability*, dan *differential settlement* untuk timbunan dengan variasi kemiringan 1:2 dan 1:1 dan *internal stability*, *external stability*, dan *differential settlement* untuk timbunan tegak, jika memenuhi langsung menuju kesimpulan dan saran, akan tetapi jika belum memenuhi maka diperlukan perencanaan jumlah lembar, panjang total, panjang lipatan, dan jarak antar vertikal dari *geotextile* yang dibutuhkan untuk variasi kemiringan lereng 1:2, 1:1, dan tegak
- Apabila perhitungan perencanaan *geotextile* sudah dilakukan, dilanjutkan dengan analisa terkait penggunaan lahan untuk semua variasi
- Memilih variasi kemiringan timbunan yang paling kuat dan efisien berdasarkan harga material perkuatan, material timbunan, dan harga tanah di lokasi proyek jembatan.

Metode Mayerhoff

Metode Mayerhoff menggunakan sudut $45 + \frac{\phi}{2}$ pada setiap lapisan tanahnya untuk menggambar bidang runtuh/*failure*.

$$B = 13 \text{ m}$$

$$H = 15,5 \text{ m (lihat Gambar 4)}$$

$$B/H = 0,83$$

$$N_c = 5,14 \text{ (dalam cakupan } B/H \text{ 0 s/d 1,49)}$$

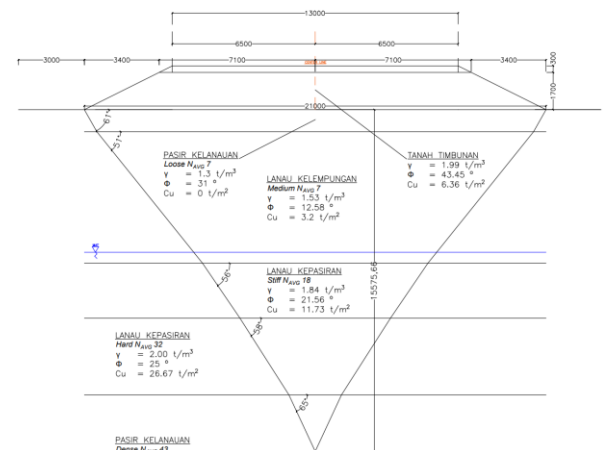
$$C = 7,88 \text{ t/m}^2 \text{ (Cu berbobot kedalaman 0,00 s/d } H = 15,5 \text{ m)}$$

$$\gamma = 1,989 \text{ t/m}^3$$

$$SF = 1$$

$$H_{kritis} = \frac{7,88 \times 5,14}{1,989 \times 1} = 20,36 \text{ m}$$

Gambar dari bidang *failure* metode Mayerhoff untuk timbunan oprit A1 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bidang runtuh metode Mayerhoff pada timbunan oprit A1

Analisa kebutuhan perbaikan tanah dasar adalah sebagai berikut:

Stabilitas global lereng dan kebutuhan perkuatan timbunan hasilnya disarikan sebagai berikut:

Tipe analisis = *undrained*

$$SF_{LEM} = 2,2 > 1,5 \text{ (OK)}$$

$$SF_{FEM} = 2,02 > 1,5 \text{ (OK)}$$

Karena $SF > 1,5$ dari metode analisis Mayerhoff, maka lereng dapat dikatakan aman dan tidak membutuhkan suatu perkuatan.

- Cek *bearing capacity* untuk menentukan H_{kritis} . H_{kritis} yang didapatkan untuk timbunan oprit A1 menggunakan metode Terzaghi adalah 8.2 m sudah melebihi tinggi timbunan eksisting yaitu 2.17 m sehingga tidak perlu membutuhkan tahapan penimbunan.

3.3. Pemasangan *Box Culvert* di bagian yang berdekatan dengan dinding *abutment*.

Fungsi pemasangan box culvert didekat dinding abutment adalah untuk mengurangi berat tanah timbunan sehingga tekanan vertikal di tanah dasar menjadi lebih kecil, akibatnya akan mengurangi besarnya pemampatan (*settlement*); yang sekaligus akan mempercepat lamanya pemampatan tanah.

Selain itu pemasangan *box culvert* akan memperkecil tekanan tanah ke samping (*lateral*) sehingga konstruksi abutment lebih aman menahan beban tekanan tanah ke samping.

3.4. Pemakaian Geofom.

Geofom merupakan rekayasa material yang dipakai sebagai bahan timbunan karena beratnya ringan, yang secara teknis menguntungkan konstruksi timbunan tinggi. Gambaran produk *geofom* ditunjukkan dalam Gambar 5 yang disalin dari *EPS Geofom* p.2.4.



Gambar 5. Geofom sebagai timbunan oprit jembatan.

4. Kesimpulan.

- Timbunan oprit A1 tidak memerlukan perbaikan tanah dasar karena memiliki *rate of settlement* yaitu 1.37 cm/tahun kurang dari maksimum yang diizinkan yaitu 2 cm/tahun.
- Timbunan oprit A1 sudah aman dan tidak memerlukan perkuatan lereng timbunan (*geotextile*) karena berdasarkan analisis *overall stability* didapatkan SF sebesar 1.9 lebih dari syarat yaitu 1.5. Berdasarkan cek bearing capacity, timbunan oprit A1 memiliki H_{kritis} masing-masing setinggi 8.68 m sudah lebih dari tinggi timbunan eksisting 1.7 m sehingga tidak diperlukan tahapan penimbunan.
- Pemakaian *box culvert* kosong yang dipasang diatas tanah dasar dekat abutment dapat mengurangi beban timbunan.
- Pemakaian material *geofom* dapat memperkecil tekanan vertikal ke tanah dasar, hal ini menguntungkan untuk tanah dasar yang lunak.

DAFTAR PUSTAKA

- The EPS Industry Allianc,
https://www.geofom.com/?pdf=EPS-Geofoam-Applications-Technical-Data.pdf&id=968Expanded_Polystyrene_EPS_Geofoam-Applications-Technical-Data.pdf, The EPS Industry Alliance 1298 Cronson Boulevard Suite 201 Crofton, MD 21114 800.607.3772 info@epscentral.org www.epsmolders.org
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Teknik Fondasi 1* Edisi Kedua. In Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C., 2008, *Teknik Fondasi 2*. Gajah Mada University Press, 316. https://www.academia.edu/download/57492139/Hardiyatmo_____1996_-_Teknik_Pondasi_1.pdf, diakses tgl 20 Februari 2023
- Karya, C, 2021, *Desain Spektra Indonesia*. <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>, diakses tgl 20 Februari 2023
- Mochtar, N. E., & Sari, P. T. K., 2018, *Percepatan Pemampatan dengan PVD (Prefabricated Vertical Drain) dan PHD (Prefabricated Horizontal Drain)*.
- Mochtar, N. E., & Sari, P. T. K., 2018, *Perhitungan Kenaikan Daya Dukung Tanah Akibat Pembebanan Bertahap*.
- NAVFAC-DM7 & West, K., 1982, *Foundations and Earth Structures. Design Manual 7.2*.
- NAVFAC-DM7, 1986, Naval Facilities Engineering Command. *Soil Mechanics Design*, 389.
- Ronald Thornton, P.E., NYS Executive Director, Precast Concrete Association of New York Inc. https://precast.org/theprecastshow/wp-content/uploads/sites/5/CP1-Box-Culvert-Design-Detailing_FINAL.pdf, diakses tgl 2 April 2024
- SNI 1725, 2016, *Pembebanan untuk Jembatan*. Badan Standarisasi Nasional, 1–63.
- SNI 2833, 2016, *SNI 2833*. 1–70.
- SNI 8460:2017, 2018, *Spesifikasi Umum 2018*. Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, Revisi 2, 6.1-6.104.
- Umum, K. P., Rakyat, D. A. N. P., Jenderal, D., & Marga, B., 2017, *Manual Perkerasan Jalan*. 1–235. <https://binamarga.pu.go.id/v3/uploads/files/112/manual-desain-perkerasan-jalan.pdf>, diakses tgl 20 Februari 2023.