

PERENCANAAN KABEL PADA JEMBATAN SUNGAI NUNUKAN TIPE PELENGKUNG TUNGGAL

I Nyoman Adi Resa Putrawan¹, Ester Priskasari², Vega Aditama³, I Nyoman Sudiasa⁴, Sriliani Surbakti⁵

¹*Prodi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Jl. Sigura-gura Kota Malang
Email: 2121064@scholar.itn.ac.id*

²*Prodi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Jl. Sigura-gura Kota Malang
Email: insinyumaju@gmail.com*

³*Prodi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Jl. Sigura-gura Kota Malang
Email: vegaaditama@gmail.com*

⁴*Prodi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Jl. Sigura-gura Kota Malang
Email: vegaaditama@gmail.com*

⁵*Prodi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Jl. Sigura-gura Kota Malang
Email: vegaaditama@gmail.com*

ABSTRACT

The design of the Nunukan River Bridge adopts an arch bridge type with suspension hangers. The preliminary design data consist of a total bridge length of 240 m and a width of 9.5 m. The main structural system is an arch truss composed of box profiles assembled into a unified framework, connected by hanger cables that transfer the loads from the deck through longitudinal girders, transverse girders, and edge girders to the arch structure. In the design of the hanger cables, considerations include cable dimensioning, connection detailing, and the behavior of cables under unsymmetrical loading as well as improper tensioning during erection or maintenance. The analysis shows that the appropriate hanger cable dimension is Dyform 6 × 7 IWRC Bridge Rope with a diameter of 60 mm.

Keywords: Bridges, Cables, Arches

ABSTRAK

Perencanaan Jembatan Sungai Nunukan dirancang dengan tipe jembatan pelengkung kabel. Data awal perencanaan meliputi panjang total jembatan 240 m dan lebar 9,5 m. Struktur utama jembatan berupa rangka pelengkung dengan profil box yang dirangkai menjadi satu kesatuan, serta dihubungkan oleh kabel penggantung untuk menyalurkan beban dari lantai kendaraan melalui gelagar memanjang, gelagar melintang, dan gelagar tepi ke struktur pelengkung. Dalam perencanaan kabel penggantung, aspek yang diperhitungkan meliputi dimensi kabel, sistem sambungan, serta perilaku kabel akibat beban tidak simetris maupun kondisi tegangan yang tidak sesuai saat pemasangan atau pemeliharaan. Dari hasil analisis diperoleh dimensi kabel penggantung yang sesuai yaitu Dyform 6 × 7 IWRC Bridge Rope dengan diameter 60 mm.

Kata kunci: Jembatan, Kabel, Pelengkung

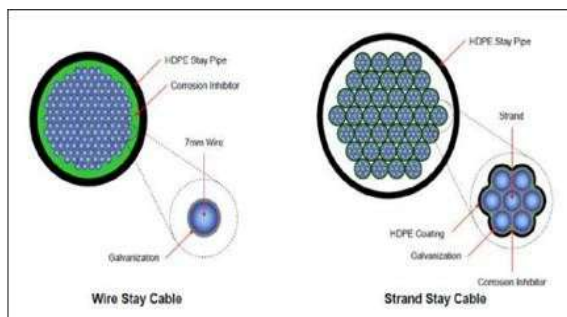
(Sumber: SNI 1725-2016)

sebuah desain suatu jembatan, sebab fungsinya



untuk menyalurkan beban mati dari struktur atas (lantai jembatan) menuju ke menara atau pylon.

Sehelai kabel bisa terdiri dari satu atau lebih tali structural, *strand structural* (untaian struktural) *locked oil strand* (lilitan untaian terkunci) atau *parallel wire strand* (untaian kawat paralel). Suatu strans selain jenis *parallel wire strand* dibuat dari kawat yang dibentuk spiral pada sekitar sebuah kawat pusat di satu atau lebih lapisan simetris dan diproduksi di Amerika Serikat berdasar pada standari pesifikasi ASTM A-586. Sistem kabel dapat disederhanakan dengan melakukan peninjauan kabel sebagai suatu tatanan longitudinal. Tatanan transversal atau tatanan melintang bisa menggunakan tiga alternative, yakni *single plane* (satu bidang), *two lateral plane* (dua bidang), dan tiga atau lebih bidang. Kabel satu bidang dimanfaatkan untuk jembatan dengan lebar yang relative kecil dan jumlah lajur lalu lintas yang genap, sedangkan untuk dua bidang dipakai pada jembatan dengan lebar jalur lintas cukup besar, seperti jembatan Galapoka (jembatan Merah Putih), jembatan Suramadu, dan lainnya. Jembatan *cablerstayed* dengan jumlah bidang kabel tiga atau lebih, biasanya digunakan untuk jembatan yang begitu lebar. Selain penataan pada arah transversal, penataan juga dilaksanakan



pada arah melintang. Tatanan melintang secara umum diketahui dengan tipe sejajar, tipe kipas, tipe *radiating*, dan tipe bintang (Zamad, 2017).

Pemilihan jenis kabel bergantung pada segi pelaksanaan, struktur serta keuangan. Saat ini, jenis ruji kabel yang seringkali dan umum untuk digunakan berdasar pedoman perencanaan teknis beruji kabel ialah: (American Institute of Steel Construction 2016)

1. *Parallel Wire Cables*

Terbuat dari kawat bulat galvanis dengan diameter 5 hingga 7 mm berbentuk hexagonal, dengan suatu helix panjang. Kawat tersebut pada umumnya dibungkus oleh *High Density Polyethylene* (HDPE) tube.

2. *Parallel Strand Cables*

Terbentuk dari beberapa strand. Selanjutnya *strand-strand* tersebut dipasang secara paralel. Pada tiap kabel bisa terdiri dari beberapa *strand* antara lain sebanyak 7, 19, 37, 61, 91 ataupun 127 buah.



Gambar 3. Wire Stayed Cable

(Sumber: Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel)



Gambar 4. Strand Stayed Cable

(Sumber: Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel)

3. PEMBAHASAN

Kabel penggantung (hanger)

Kabel memiliki fungsi sebagai penggantung antara gelagar induk dengan gelagar busur/pelengkung. Dalam perencanaannya, kabel gantung harus memperhentikan baik pada situasi batas layan maupun kondisi batas ultimit. Pada perencanaan ini, kabel penggantung direncanakan

berdasar pada kondisi batas ultimit, dimana ketahanan tarik dari kabel dilakukan pemeriksaan dibawah kombinasi berbagai beban yang berkaitan dengan keadaan batas ultimit, dengan faktor reduksi kekuatan $\phi = 0,80$ yang diterapkan kepada kekuatan.

Dimensi dan kontrol kabel

Untuk melakukan perhitungan dimensi dari kabel, sebelumnya harus diketahui terlebih dulu mengenai gaya tarik yang terjadi pada kabel. Untuk menghitung tegangan tarik dari kabel bisa menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{q l^2}{8f} + 16 \left(\frac{f}{l} \right) \dots \dots \dots (2.56)$$

Keterangan:

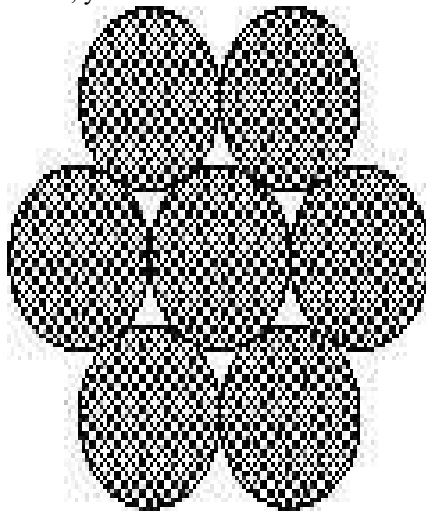
- q: beban total jembatan l:
panjang jembatan
f: sag maksimum dari kabel

Perpanjangan elastis kabel dengan tegangan yang sama

2) Open Bridge Sockets

Dimensi dari jenis sambungan bisa dilihat pada gambar dibawah ini.

Cable roof structures berpendapat bahwa terdapat dua jenis penyambung yang bisa diaplikasikan untuk menyambung kabel ke struktur, yakni:



1) Close Bridge Sockets

Untuk dimensi daripada sambungan bisa dilihat pada gambar dibawah ini.

Tabel 3. Jenis-Jenis Kabel

Jenis Kabel	Diagram 1	Diagram 2	Diagram 3	Diagram 4	Diagram 5
	Coated bars 1 Ø 25 Steel 825/1080	Uncoated bars 26 Ø 16	Plastic wires 134 Ø 7	Strands 21 Ø 14	Latched coil cables
Tendons	Bars Ø 20.5, 32, 36 mm	Bars Ø 16 mm	Wire Ø 6, 7 mm	Strand Ø 0.5, 0.6, 0.7 of 7 twisted wires	Wire with different profiles Ø 2-7 mm
0.2% proof stress, $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	835 - 1080	1350	1470	1570 - 1670	-
Ultimate tensile strength, σ_u (N/mm ²)	1030 - 1230	1500	1670	1770 - 1870	1000 - 1300
Fatigue					
$\Delta \sigma$ (N/mm ²)	80	-	350	300 - 320	120 - 150
m_{max}/σ_u	0.6	-	0.45	0.5 - 0.45	0.45
Modulus of elasticity, E (N/mm ²)	210 000	210 000	205 000	190 000 - 200 000	180 000 - 165 000
Failure Load kN	7339	7624	7467	7634	7310

(Sumber: Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel)

Struktur kabel penggantung



Gambar 12. 58 Kabel Penggantung

Tabel 4. Analisa Gaya Batang Kabel Penggantung

No	Batang	Axial	Critical
1	244	-70360	Tarik
2	244	-70350	Tarik

Nilai gaya PU rebesar ialah 1535844,4 N

(Sumber: Program Bantu Midas Civil V22)

- Perhitungan dimensi batang tarik 244

Dimensi kabel = Macalloy 520 (permodelan Midas Civil V22)

$P_u = 70360,92$

$N = 703,60 \text{ kN}$

Material dari staad pro v8i digantikan material kabel dengan spesifikasi :

Gambar 13. Penampang kabel penggantung dyform 6 x 7 IWRC Bridge Rope Φ 60 mm

Diameter = 60 mm

Type = Macalloy S520

$P_n = 1360$

Kontrol :

$\frac{P_n}{1360 \text{ kN}} \geq \frac{P_u}{703,60 \text{ kN}}$

Perhitungan kontrol lendutan rangka batang

Kontrol lendutan rangka batang harus kurang dari lendutan ijin, perhitungan sebagai berikut :

Lendutan ijin = $\frac{1}{800} \times L$

Panjang jembatan = 240 m

Kontrol = $\frac{1}{800} \times 240$

= 0,3 < Lendutan ada = 0,04 m (Midas Civil V22).

Sambungan kabel pada gelagar induk

Dimensi gelagar induk = Box 800 x 608 x 30 x 30

$h = 800 \text{ mm}$

$b = 600 \text{ mm}$

$f_u = 345 \text{ Mpa}$

$f_y = 450 \text{ Mpa}$

Mutu baut = A490 = 1024,25

Mpa Diameter baut = $\Phi 22 \text{ mm}$

2,2cm Diameter lubang = 22 mm + spasi lubang

= 22 mm + 2 mm

$d = 24 \text{ mm}$

P (Panjang Baut) = 5 Cm

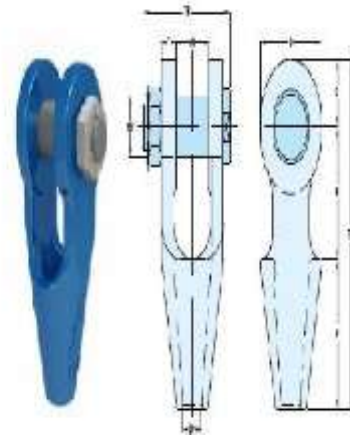
= 153584,44

- 1) Perhitungan Sambungan Socket

Direncanakan menggunakan kabel wire ropes diameter = 34,925 mm

Open Spelter Sockets with bolt and nut

Quenched and tempered cast steel



Gambar 14. Open Spelter Sockets with bolt and nut

Tabel 5. Dimensi Open Spelter Sockets With Bolt And Nut

Model no.	HTL	Formed Ø		Strand Ø		Dimensions (mm)											Weight (kg)
		A	B	C	D	ØH	ØP	T	TL	TS	W						
OS100P	Ø	Ø	-	-	50	40	10	34	8	16	9	109	51	19	0,4		
OS100P	12	Ø	-	-	57	45	12	42	10	20	11	124	62	21	0,7		
OS100P	20	11-13	-	-	64	51	17	50	15	25	12	142	67	25	1		
OS100P	25	14-16	11	-	70	63	22	56	18	30	14	171	81	31	1,5		
OS100P	40	18-18	18-18	18-18	80	75	42	70	22	35	16	205	95	38	3		
OS100P	55	22-22	18-18	18-18	101	89	45	80	25	41	18	235	110	44	4,0		
OS100P	75	25-28	1	20-22	124	101	60	104	28	51	22	275	128	57	8		
OS110P	90	28-30	1/2	20-22	137	114	65	114	29	57	25	306	142	67	10		
OS110P	125	31-36	1/2-1/2	20-22	159	127	72	129	33	63	28	338	155	81	15		
OS110P	150	37-38	1/2	20-22	182	152	80	142	42	70	38	384	177	98	22		
OS120P	170	40-42	1/2	20-22	205	165	85	156	45	76	41	418	197	114	27		
OS120P	225	45-48	1/2-1/2	20-22	251	192	100	179	52	85	48	498	219	139	41		

Dari tabel di dapat diameter baut

pengunci, $d = 121 \text{ mm}$

ϕ baut = 12,1 cm

ϕ Lubang baut (db) = 12,1 + 0,2
= 12,3 cm

kuat tarik bahan baut = 1035

Mpa $F_u = 1035 \text{ Mpa}$

- Luas Baut

$A_b = \pi \times D^2$

= $\pi \times 3,14 \times 12,2^2$

= 115,03cm²

- Kekuatan geser desain

baut : m (bidang geser

) = 1

$\Phi R_{nv} = \Phi \times (r \times f_u^b) \times m \times A_b$

= $0,75 \times (0,5 \times 10350) \times 1 \times 115$

= 446485,138 Kg

- Menentukan jarak minimum baut pengunci :

$$\begin{aligned} \text{Jarak baut ketepi plat jarak tepi baut} \\ &= 1,5 \text{ db} < S < B \\ &= 181,5 < 34,5 < 127 \text{ ok} \\ \text{Diambil jarak tepi baut} &= 120 \text{ mm} \\ &= 12 \text{ cm} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\Phi \quad R_{nv} \quad \geq \quad R_{uv}$$

$$153584,44 \text{ kg} \quad \geq \quad 446485,138 \text{ kg} \quad \text{Aman}$$

2) Menghitung Plat Penyambung

Direncanakan plat penyambung T 75 x 80 untuk irisan tunggal dan Ganda kekuatan tarik desain baut :

- Luas Baut

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 2,2^2 \\ &= 3,779 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- Kekuatan geser desain baut : m

$$\begin{aligned} (\text{bidang geser}) &= 2 \\ \Phi R_{nv} &= \Phi \times (r \times f_u^b) \times m \times A_b \\ &= 0,75 \times (0,4 \times 1035) \times 2 \times 3,799 \\ &= 23594,274 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Luas nominal :

$$\begin{aligned} A_g &= 528,6 \text{ cm}^2 \text{ (Tabel Baja) } A_n \\ &= A_g - n \times d \times t \\ &= 528,6 - 8 \times 2,4 \times 5 \\ &= 432,6 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$L = 3 d < L < 15tp \text{ atau } 200$$

- a. Syarat jarak baut ke tepi plat:

$$\begin{aligned} \text{i. } 1,5 \times d &= 1,5 \times 22 = 33 \text{ mm} \\ 4tp + 10 &= 4 \times 1,4 + 10 = 156 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil jarak tepi baut = 50 mm

- b. Syarat jarak antar baut:

$$\begin{aligned} 3 \times d &= 3 \times 22 \\ &= 66 \text{ mm} \\ 15tp + 10 &= 15 \times 1,4 + 10 \\ &= 310 \text{ mm Diambil} \end{aligned}$$

jarak antar baut = 31 mm

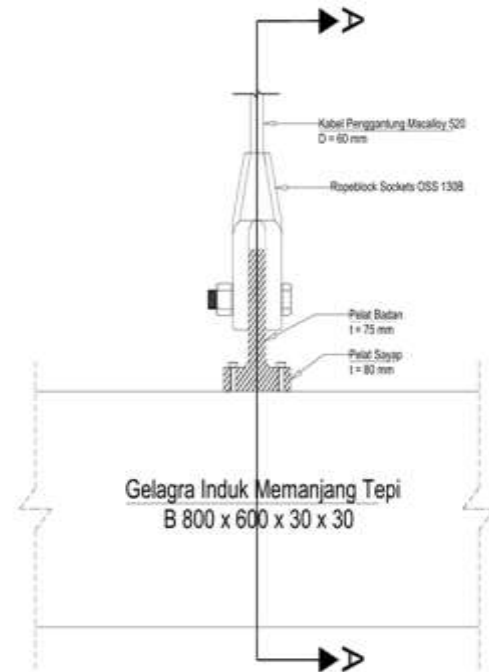
Maka dipakai plat penyambung

BOX 800 x 600 x 30 x 30, dengan tebal tp = 5 cm

Maka digunakan ketebalan, t = 5 cm

Kontrol

$$\begin{aligned} \Phi \quad R_{nv} &\geq \quad R_{uv} \\ 38396,110 \text{ kg} &\geq \quad 23594,274 \text{ kg} \\ &\quad \text{Aman} \end{aligned}$$



Gambar 15. Sambungan kabel ke gelagar induk memanjang

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan bahwa pada dimensi kabel menggunakan diameter kabel : Penampang kabel penggantung dyform 6 x 7 IWRC Bridge Rope Φ 60 mm.

Perencanaan jembatan Sungai Nunukan Provinsi Kalimantan Utara ini bisa direncanakan dengan menggunakan baja pipa tipe Pelengkung sebagai salah satu alternatif, dengan alasan bahwa jembatan Pelengkung *arch bridge* bisa memberikan hasil perencanaan yang ekonomis dan kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction. 2016. *Reflections. Specification for Structural Steel Buildings (AISC 360-16)*. Vol. 37. Chicago. <https://doi.org/10.1080/10462937.2017.1349256>.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. 2016. "Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa SNI 2833," 1–70.
- Hadi Pratomo, Winarni. 1994. "Struktur Beton Prategang (Teori Dan Prinsip Desain)." *Nova*, no. January.
- Kementerian PUPR. 2015. "Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel."

- Nasional, Badan Standardisasi. 2005. "Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan," 1–140.
- SNI 1725. 2016. "Pembebanan Untuk Jembatan." *Badan Standarisasi Nasional*, 1–63.
- Zamad, Muhammad Kadri. 2017. "Desain Elemen Kabel Jembatan Cable-Stayed the Influence of Variation Spaced Stay Cable in Cable-Stayed Bridge (Case Study : Suramadu.)"