

Analisa Teknis dan Ekonomis Proteksi Perlindungan Pipa Crossing Rel Kereta Api di KP 0+020 Jaringan Pipa Transmisi Gresik – Semarang

Muhamad Fatih Zacky Jazuli^{1*}, Adi Wirawan Husodo², Ika Erawati³

Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,
Indonesia^{1*,2,3}

Email: zackyfatih@gmail.com^{1*}; aw.husodo@gmail.com²; ika.iqer@gmail.com³;

Abstract - Pipeline Crossing is pipe crossing that passes through any existing buildings such as railroad. In such case, cover protection is necessary for protecting pipe from damages such as cracks, ovality and others. There are two types of cover protection for pipe crossing, they are cased pipe and uncased pipe, in which both require stress calculation and cost calculation for cased pipe and uncased pipe. In this research, qualitative description method was used to calculate stress calculation and cost calculation. The results of calculation shows that the value of stress on the cased pipe is smaller than uncased pipe. Whereas the cost calculation shows that the cost of cased pipe is more expensive than cost of uncased pipe. As the result, based on the data calculation, cased pipe is more recommended than uncased pipe on railway pipeline crossing because it has the smaller value of stress though need cost is more expensive.

Keyword: Pipeline, Pipeline Crossing, Cased Pipe, Uncased Pipe

Nomenclature

Be Faktor penguburan untuk beban tanah
D Diameter luar pipa [in. atau m]
E Faktor sambungan longitudinal
E' Modulus reaksi tanah [psi]
Ee Faktor penggalan untuk beban tanah
Es Young's modulus baja [psi atau kPa]
F Desain faktor
Fi Faktor tumbukan
GHh Faktor geometri untuk tegangan siklik circumferential
GLh Faktor geometri untuk tegangan siklik longitudinal
KHe Faktor kekakuan untuk tegangan circumferential dari beban tanah
KHh Faktor kekakuan untuk tegangan siklik circumferential
KLh Faktor kekakuan untuk tegangan siklik longitudinal
p Tekanan internal, diambil dari MAOP atau MOP [psi atau kPa]
R Diameter dalam [in.]
S1 Tegangan circumferential maksimum [psi atau kPa]
S2 Tegangan longitudinal maksimum [psi atau kPa]
S3 Tegangan radial maksimal [psi atau kPa]
SFG Batasan ketahanan kelelahan dari las melingkar [psi atau kPa]
SFL Batasan ketahanan kelelahan dari las memanjang [psi atau kPa]
She Tegangan circumferential berasal dari beban tanah [psi atau kPa]

SHi Tegangan circumferential dari formula Barlow [psi atau kPa]
SMYS Spesifikasi minimum yield strength [psi atau kPa]
T Faktor derasi temperatur
T1 Temperatur pada waktu instalasi [°F atau °C]
T2 Temperatur operasi maksimum atau minimum [°F atau °C]
tw Ketebalan dinding pipa [in. atau mm]
vs Poisson's ratio baja
w Desain tekan permukaan tanah [lb/in² atau kN]
αT Koefisien dari ekspansi termal baja
γ Berat tanah [lb/in.³ atau kN/m³]
ΔSH ΔSHr [psi atau kPa]
ΔSL ΔSLr [psi atau kPa]

1. PENDAHULUAN

Pipeline merupakan suatu instalasi pipa sebagai media transportasi *fluida* dalam bentuk gas maupun cair menghubungkan dua daerah yang memiliki jarak yang cukup jauh. Proses instalasi *pipeline* akan lebih mudah apabila melewati hutan atau area perkebunan. *Pipeline* melewati berbagai macam kondisi lingkungan dan bangunan yang telah ada (*existing*) seperti bangunan gedung, jalan raya, rel kereta api, dan lain sebagainya. Ketika *pipeline* melewati bangunan *existing* diperlukan proteksi perlindungan agar pipa yang ada di bawahnya dapat terjaga dari kerusakan seperti: *crack*, *ovality*, dan lain sebagainya yang menyebabkan kebocoran pipa. Menurut API 1102 terdapat dua jenis proteksi perlindungan pipa *crossing* yaitu *Cased Pipe* dan *Uncased Pipe*. Dalam pemilihan

proteksi perlindungan tersebut memiliki ketentuan dan perhitungan yang sudah tercantum dalam API 1102. Selain itu, ada faktor ekonomis yang menjadi pertimbangan dalam pemilihan proteksi perlindungan tersebut. Disebutkan bahwa pada desain media perlindungan *pipeline crossing highway* untuk nilai tegangan *cased pipe* lebih kecil dari *slab concrete*, akan tetapi lebih ekonomis *slab concrete* dari *cased pipe* [1]. Pada penelitian ini menentukan rekomendasi penggunaan metode proteksi perlindungan pada *pipeline crossing* rel kereta api.

2. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian deskripsi dengan pendekatan kuantitatif untuk menghitung tegangan (akibat beban internal dan eksternal) dan biaya (material, *equipment* dan *manpower*) yang digunakan pada metode *pipeline crossing*. Berdasarkan dari perhitungan tegangan dan biaya tersebut, maka hasilnya akan direkomendasikan untuk instalasi *pipeline crossing* rel kereta api *single track*.

2.1 PERHITUNGAN TEGANGAN

Perhitungan tegangan digunakan untuk mengetahui nilai tegangan akibat beban *internal* dan beban *external*. Perhitungan tegangan terbagi menjadi dua, yaitu:

a. Tegangan Akibat Beban Eksternal

Beban eksternal pada jalur pipa menghasilkan *circumferential* dan *longitudinal*. Beban eksternal dapat disebabkan oleh *earth loads* (beban tanah) dan *live load*. Untuk tegangan *circumferential* pada jalur pipa yang disebabkan oleh beban tanah (*earth load*) (S_{HE}) dapat ditentukan dengan formula sebagai berikut [2]:

$$S_{HE} = K_{HE} \cdot B_e \cdot E_e \cdot \gamma \cdot D \quad (1)$$

Dimana K_{HE} merupakan faktor kekakuan untuk tegangan *circumferential* dari beban tanah, B_e merupakan faktor penguburan untuk beban tanah, γ merupakan berat tanah dan D merupakan diameter luar pipa.

Sedangkan *Live Load* berasal dari beban alat transportasi (w) yang melintas diatas jalur pipa, yaitu beban kereta api. Beban kereta api yang direkomendasikan adalah beban kereta api *cooper E-80* dengan beban $w = 13.9$ psi (96 KPa). *Live Loads* dapat mengalami kenaikan karena adanya *impact factor* (F_i) yang disebabkan oleh kedalaman penguburan (H) dari pipa yang mengalami *crossing*. Setelah nilai *impact factor* didapatkan maka perhitungan tegangan siklik *circumferential* pada rel kereta api dan perhitungan tegangan siklik *longitudinal* pada rel kereta api dapat dilakukan dengan formula sebagai berikut ini [2]:

$$\Delta S_{Hr} = K_{Hr} \cdot G_{Hr} \cdot N_H \cdot F_i \cdot w \quad (2)$$

Dimana K_{Hr} merupakan faktor kekakuan rel kereta api untuk tegangan siklik *circumferential*, G_{Hr} merupakan faktor geometri rel kereta api untuk tegangan siklik *circumferential* dan N_H merupakan faktor *single* atau *double track* rel Kereta Api untuk tegangan siklik *circumferential*. Untuk *single track* memiliki nilai factor sebesar 1.00. [2].

$$\Delta S_{Lr} = K_{Lr} \cdot G_{Lr} \cdot N_L \cdot F_i \cdot w \quad (3)$$

Dimana K_{Lr} merupakan faktor kekakuan rel kereta api untuk tegangan siklik *longitudinal*, G_{Hr} merupakan faktor geometri rel kereta api untuk tegangan siklik *longitudinal* dan N_H merupakan Faktor *single* atau *double track* rel Kereta Api untuk tegangan siklik *longitudinal*. Untuk *single track* = 1.00 [2].

b. Tegangan Beban Internal

Tegangan akibat beban internal (S_{Hi}) dihitung menggunakan parameter tekanan maksimum operasi (p), *outside diameter* (D) dan tebal pipa (t_w) [2].

$$S_{Hi} = \frac{p(D-t_w)}{2 \cdot t_w} \quad (4)$$

Untuk memvalidasi nilai tegangan akibat beban eksternal dan tegangan akibat beban internal dilakukan perhitungan tegangan principal untuk tegangan akibat beban eksternal dan internal secara *circumferential* dan *longitudinal*. dengan formula sebagai berikut:

$$S_1 = S_{He} + \Delta S_H + S_{Hi} \quad (5)$$

$$S_2 = \Delta S_L - [E_s \cdot \alpha_T \cdot (T_2 - T_1)] + [v_s \cdot (S_{he} + S_{Hi})] \quad (6)$$

$$S_3 = -p = -MAOP \text{ atau } -MOP \quad (7)$$

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} [(S_1 - S_2)^2 + (S_2 - S_3)^2 + (S_3 - S_2)^2]} \quad (8)$$

$$S_{eff} \leq SMYS \times F \quad (9)$$

Dimana S_1 merupakan tegangan *circumferential* maksimum, S_2 merupakan tegangan *longitudinal* maksimum, S_3 merupakan tegangan radial maksimum, E_s merupakan *Young's modulus* baja, α_T merupakan Koefisien dari ekspansi termal baja, T_1 merupakan Temperatur pada waktu instalasi, T_2 merupakan Temperatur operasi maksimum atau minimum, v_s merupakan *Possion's ratio* baja, $SMYS$ merupakan Spesifikasi *minimum yield strength* dan F merupakan desain faktor. Selain itu, perhitungan tegangan akibat tekanan internal dilakukan dengan formula Barlow's sebagai berikut:

$$\left[S_{Hi}(\text{Barlow}) = \frac{p \cdot D}{2 \cdot t_w} \right] \leq F \times E \times T \times SMYS \quad (10)$$

Dimana E merupakan faktor sambungan *longitudinal*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi *existing* pipa pada *pipeline crossing* memiliki panjang 11 m dan kedalaman pipa 5.9 m dengan diameter 28". Sedangkan tekanan operasi pada pipa sebesar 600 psi dengan temperature 120°F yang dapat diketahui pada **Tabel 1.** sebagai berikut:

Tabel 1 Variabel Desain *Pipelien*

Parameter			
Design Pressure (psi)	660	Design Life (years)	20
Maximum Operating Pressure (Psig)	600	Depth (m/inch)	5.29
Design Temperature (°F)	150	Cooper E-80 (psi)	13.9
Maximum Operating Temperature (°F)	120	Thermal Expansion	0.000074
Temperature Derating Factor	0.85	Temperature Installation	89.6
Location Class	3	Tolerance (%)	8
Design Factor	0.5	Corrosion Allowance (mm)	1.5

Sumber : Dokumen Perusahaan

I. Perhitungan Tegangan

Untuk menghitung tegangan akibat beban eksternal dan tegangan akibat beban internal pada *pipeline crossing* menggunakan variable desain *pipeline* pada tabel di atas. Perhitungan tegangan dibagi dua yaitu:

a. Tegangan Akibat Beban Eksternal

Perhitungan tegangan akibat beban eksternal adalah tegangan akibat beban tanah (*earth load*) pada *uncased pipe* sebagai berikut:

$$S_{HE} = 3300 \times 1,21 \times 0,94 \times 0,058 \times 28 = 6095,55 \text{ psi}$$

Maka hasil nilai tegangan akibat beban tanah adalah **6095.55 psi** dan perhitungan tegangan akibat beban tanah pada *cased pipe* sebagai berikut:

$$S_{HE} = 4800 \times 1,180 \times 0,92 \times 0,058 \times 32 = 9671,393 \text{ psi}$$

Hasil nilai tegangan akibat beban tanah pada *cased pipe* adalah **9671.393 psi**.

Perhitungan tegangan akibat *live load* terbagi menjadi dua yaitu tegangan siklik *circumferential* pada rel kereta api dan tegangan siklik *longitudinal* pada rel kereta api dengan nilai *impact factor* **1,375**. Untuk perhitungan tegangan siklik

circumferential pada rel kereta api sebagai berikut:

$$\Delta S_{Hr} = 330 \times 0,40 \times 1 \times 1,375 \times 13,9 = 2522,85 \text{ psi}$$

Perhitungan di atas merupakan nilai tegangan siklik *circumferential* pada rel kereta api (*Uncased Pipe*) **2522.85 psi**. Perhitungan nilai tegangan siklik *circumferential* pada rel kereta api (*Cased Pipe*) sebagai berikut:

$$\Delta S_{Hr} = 470 \times 0,38 \times 1 \times 1,375 \times 13,9 = 3413,493 \text{ psi}$$

Hasil nilai tegangan siklik *longitudinal* pada rel kereta api adalah **2401,008 psi**. Sedangkan perhitungan nilai tegangan siklik *longitudinal* pada rel kereta api (*Uncased Pipe*) sebagai berikut:

$$\Delta S_{Lr} = 335 \times 0,375 \times 1 \times 1,375 \times 13,9 = 2401,008 \text{ psi}$$

Maka hasil nilai tegangan siklik *longitudinal* pada rel kereta api (*Uncased Pipe*) adalah **2401.008 psi**. Perhitungan tegangan siklik *longitudinal* pada rel kereta api (*Cased Pipe*) sebagai berikut :

$$\Delta S_{Lr} = 505 \times 0,310 \times 1 \times 1,375 \times 13,9 = 2992,062 \text{ psi}$$

Maka hasil nilai tegangan siklik *longitudinal* pada rel kereta api (*Cased Pipe*) adalah **2992.062 psi**.

b. Tegangan Akibat Beban Internal

Merupakan tegangan yang diakibatkan dari pengaruh tekanan dan ketebalan pipa pada *pipeline crossing*. Perhitungan tegangan akibat beban internal pada *uncased pipe* sebagai berikut:

$$S_{Hi} = \frac{600(28 - 0,469)}{2.0,469} = 17610,45 \text{ psi}$$

Maka hasil nilai tegangan akibat beban internal adalah **17610.45 psi**. Sedangkan perhitungan tegangan akibat beban internal pada *cased pipe* sebagai berikut:

$$S_{Hi} = \frac{0(32 - 0,438)}{2.0,469} = 0 \text{ psi}$$

Maka hasil nilai tegangan akibat beban internal adalah 0 psi karena di dalam pipa *casing* tidak terdapat aliran *fluida*.

Dari perhitungan tegangan diatas dapat diketahui perbandingan nilai tegangan pada *uncased pipe* dan *cased pipe* yang ditunjukkan pada **Tabel 2.** berikut:

Tabel 2 Hasil Nilai Tegangan Pipeline Crossing

N o.	Parameter	Uncased ng	Cased g
1	Earth Load	6095.5	9671.
	Live Load	54	393
	Teg. Longitudinal Siklik	2401.0	2073.
2	Railway	08	706
	Teg. Circumferential	2522.8	2469.
	Siklik Railway	50	335
3	Inernal Load	17610.	0
		448	

Batasan nilai tegangan adalah cara validasi nilai tegangan pada metode *uncased pipe* dan *cased pipe*. Untuk validasi nilai tegangan menggunakan dua cara yaitu tegangan principal dan *barlow's formula*:

a. Tegangan Principal

Tegangan Prinsipal atau tegangan efektif dihitung menggunakan hasil dari nilai tegangan akibat beban eksternal dan tegangan akibat beban internal. Perhitungan nilai tegangan *circumferential* pada *uncased pipe* dihitung dengan perhitungan berikut ini:
 $S_1 = 6160,40 + 2522,85 + 17610,45$
 $= 26228,85 \text{ psi}$

Hasil nilai tegangan *circumferential* maksimum pada *uncased pipe* adalah **26228.85 psi**. Sedangkan perhitungan tegangan *circumferential* maksimum pada *cased pipe* sebagai berikut:
 $S_1 = 9671,393 + 3413,493 + 0$
 $= 13084,886 \text{ psi}$

Hasil nilai tegangan *circumferential* maksimum pada *cased pipe* adalah **13084,886 psi**. Kedua hasil nilai tegangan *circumferential* pada *cased pipe* tersebut lebih kecil dari nilai tegangan *circumferential* pada *uncased pipe*.

Nilai tegangan *longitudinal* pada *uncased pipe* dihitung dengan formula berikut ini:
 $S_2 = 2401,008 - [29000000 \times 0,0000074(120 - 89,6)] + [0,3(6160,40 + 17610,45)]$
 $= 2988,968 \text{ psi}$

Hasil nilai tegangan *longitudinal* pada *uncased pipe* adalah **2988.968 psi**. Sedangkan perhitungan nilai tegangan *longitudinal* pada *cased pipe* sebagai berikut:
 $S_2 = 2992,062 - [29000000 \times 0,0000074(69 - 89,6)] + [0,3(9671,393 + 0)]$
 $= 9395.884 \text{ psi}$

Hasil nilai tegangan *longitudinal* pada *cased pipe* adalah **9395.884 psi**. Kedua hasil nilai tegangan *longitudinal* pada *cased pipe* tersebut lebih besar dari *uncased pipe*.

Nilai tegangan radial pada *uncased pipe* dihitung pada formula berikut ini:
 $S_3 = -600 \text{ psi}$

Maka nilai tegangan radial pada *uncased pipe* adalah -600 psi. Sedangkan perhitungan nilai tegangan radial pada *cased pipe* sebagai berikut:
 $S_3 = 0 \text{ psi}$

Hasil nilai tegangan radial pada *cased pipe* adalah 0 psi. Dari kedua nilai tegangan radial pada *uncased pipe* lebih kecil dari nilai tegangan radial pada *cased pipe*. Sehingga dari ketiga nilai tegangan di atas, dilakukan perhitungan tegangan efektif pada *uncased pipe* sebagai berikut:

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(26228,85 - 2988,968)^2 + (2988,968 - (-600))^2 + ((-600) - 26228,85)^2 \right]}$$

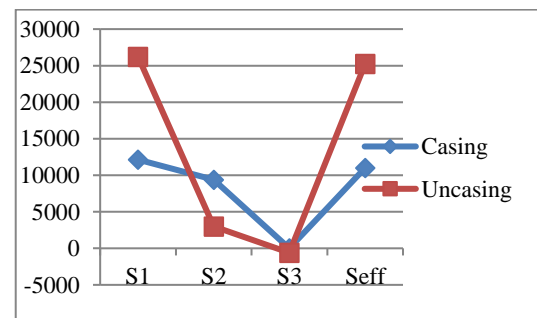
$$= 25226,57 \text{ psi}$$

Maka hasil nilai tegangan efektif pada *uncased pipe* adalah **25226,57 psi**. Sedangkan perhitungan tegangan efektif pada *cased pipe* sebagai berikut:

$$S_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(13084,886 - 10314,240)^2 + (10314,240 - 0)^2 + (0 - 13084,886)^2 \right]}$$

$$= 11027.558 \text{ psi}$$

Hasil dari perhitungan tegangan efektif pada *cased pipe* adalah **11207.558 psi**. dari hasil kedua perhitungan tegangan efektif pada *cased pipe* lebih kecil dari nilai tegangan efektif pada *uncased pipe*. Berdasarkan hasil dari perhitungan tegangan principal dapat dibandingkan kedua nilai tegangan principal *cased pipe* dan *uncased pipe* yang ditunjukkan pada **Gambar 1** Berikut ini:



Gambar 1 Grafik Hasil Nilai Tegangan Principal

b. Barlow's Formula

Perhitungan tegangan internal adalah tegangan yang diakibatkan oleh tekanan internal dengan menggunakan formula barlow's. Untuk perhitungan pada *uncased pipe* tersebut sebagai berikut:

$$S_{Hi}(\text{Barlow}) = \frac{600 \times 18}{2 \times 0,469} \leq 0,5 \times 1 \times 0,85 \times 52000$$

$$17910,45 \leq 22100$$

Hasil nilai tegangan internal pada *uncased pipe* adalah 17910.45 psi. Sedangkan perhitungan formula barlow pada *cased pipe* sebagai berikut:

$$S_{Hi}(\text{Barlow}) = \frac{0 \times 32}{2 \times 0,438} \leq 0,5 \times 1 \times 0,85 \times 52000$$

$$0 \leq 22100$$

Hasil nilai tegangan internal pada *cased pipe* adalah 0 psi. dari hasil perhitungan tegangan dengan menggunakan formula barlow's pada *uncased pipe* dan *cased pipe* tersebut dibandingkan dengan nilai SMYS bahwa nilai tegangan formula barlow's lebih kecil dari nilai SMYS, maka kedua metode proteksi perlindungan tersebut bisa diaplikasikan. Sehingga perbandingan dari hasil nilai tegangan dengan menggunakan *Barlow's Formula*, dapat disimpulkan nilai tegangan pada metode *Cased Pipe* lebih rendah dari hasil nilai tegangan pada metode *Uncased Pipe*. Karena pada *Cased Pipe* tidak mempunyai tekanan operasi *fluida* yang beroperasi.

Perbandingan *uncased pipe* dan *cased pipe* dari beberapa nilai tegangan principal dan tegangan internal ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Hasil Nilai Tegangan *Barlow's Formula* dan Tegangan *Principal*

No.	Deskripsi	Casing	Uncasing
1	Barlow's	0	17910.448
2	S1	12140.728	26228.85
3	S2	9395.884	26228.85
4	S3	0	-600
5	Seff	11027.558	25226.575

II. Perhitungan Biaya

Pada penelitian ini, perhitungan biaya terdapat tiga perhitungan diantaranya biaya kebutuhan material, *equipment* dan *manpower*.

Kebutuhan biaya material untuk *cased Pipe* antara lain *Pipe API 5L X52 dia 28" sch STD*, *Pipe ASTM A35 Gr B Spiral Pipe (SAW) dia 32"*, *Spacer 28" x 32"* dan *End Seal 28" x 32"*. Sedangkan kebutuhan biaya pada *Uncased Pipe* hanya *Pipe API 5L X52 dia 28" sch STD*. Pada kebutuhan material pada *uncased pipe* lebih kecil dari *cased pipe* karena pada *cased pipe* membutuhkan beberapa material tambahan

sebagai penunjang pada instalasi tersebut. Sehingga untuk kebutuhan biaya material pada *uncased pipe* sebesar Rp. 24.326.736,00,- sedangkan *cased pipe* sebesar Rp. 51.561.792,00. Dari jumlah kebutuhan biaya material tersebut dapat disimpulkan bahwa biaya material pada *uncased pipe* lebih kecil dari *cased pipe*.

Kebutuhan biaya *equipment cased pipe* dan *uncased pipe* memiliki kebutuhan yang sama diantaranya *Boring Sets*, *Excavator PC 200*, *Welding Sets* dan *Boom Truck 5 ton* karena pada kedua metode proteksi perlindungan tersebut memiliki standar minimal kebutuhan *equipment* yang dapat menunjang pada saat instalasi *pipeline crossing*. Sehingga kebutuhan biaya *equipment* sebesar Rp. 373.300.000,00. Dari kebutuhan biaya tersebut dapat disimpulkan bahwa kebutuhan biaya *equipment* memiliki biaya yang sama.

Sedangkan kebutuhan *manpower* adalah kebutuhan pekerja yang menunjang pada instalasi *pipeline crossing* ini. Pekerja yang dibutuhkan diantaranya *Construction Manager*, *Safety Inspector*, *Boring Engineer*, *Boring Supervisor*, *Operator Boring*, *Welder*, *Fitter* dan *Helper*. Pada masing – masing pekerja mempunyai tugas dan tanggungjawab masing – masing. Pada *uncased pipe* dan *cased pipe* memiliki kebutuhan *manpower* yang sama untuk menunjang proses instalasi *pipeline crossing*. Sehingga kebutuhan biaya *manpower* sebesar Rp. 87.300.000,00. Dari perhitungan biaya *manpower* tersebut dapat disimpulkan bahwa kebutuhan biaya pada *uncased pipe* dan *cased pipe* mempunyai kebutuhan biaya yang sama.

Dari hasil perhitungan biaya di atas dapat disimpulkan bahwa total kebutuhan biaya pada *cased pipe* sebesar Rp.512.161.792,00 dan *uncased pipe* Rp. 484.926.736,00. Dari total kebutuhan biaya tersebut dapat disimpulkan bahwa total kebutuhan biaya pada *cased pipe* lebih besar dari *uncased pipe* karena kebutuhan material pada *cased pipe* lebih besar, meskipun kebutuhan *equipment* dan *manpower* sama. Perbedaan total kebutuhan biaya ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Total Kebutuhan Biaya

No.	Items	Casing	Uncasing
1	Material	Rp 51,561,792.00	Rp 24,326,736.00
2	Equipment	Rp 373,300,000.00	Rp 373,300,000.00
3	Manpower	Rp 87,300,000.00	Rp 87,300,000.00
Total		Rp 512,161,792.00	Rp 484,926,736.00

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan hasil di atas, pada *uncased pipe* hasil nilai tegangan akibat *internal load* sebesar 17610.45 *psi*, nilai tegangan akibat *external load* sebesar 6095.55 *psi*, tegangan *circumferential* akibat beban siklik rel kereta api sebesar 2522.85 *psi* dan tegangan *longitudinal* akibat beban siklik rel kereta api sebesar 2401.008 *psi*. Sedangkan pada *cased pipe* hasil nilai tegangan akibat *internal load* adalah sebesar 0 *psi*, nilai tegangan akibat *external load* adalah sebesar 9671.393 *psi*, tegangan *circumferential* akibat beban siklik rel kereta api sebesar 3413.493 *psi* dan tegangan *longitudinal* akibat beban siklik rel kereta api sebesar 2992.062 *psi*. Hasil nilai tegangan efektif pada *uncased pipe* sebesar 25226.57 *psi* sedangkan *cased pipe* sebesar 11493.079 *psi*. Kebutuhan biaya pada *uncased pipe* sebesar Rp. 484.926.736,00,-. Sedangkan kebutuhan biaya pada *cased pipe* sebesar Rp.512.161.792,00,-. Berdasarkan dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa *Cased Pipe* lebih direkomendasikan daripada *Uncased Pipe* untuk proteksi perlindungan *pipeline crossing railway* karena pada hasil nilai tegangan pada *cased crossing* lebih kecil dari *uncased crossing* meskipun mempunyai kebutuhan harga material yang lebih besar dari *uncased crossing*.

5. PUSTAKA

- [1] Maulana, A. R. (2016). Desain Media Perlindungan Pipeline Crossing pada Jaringan Pipa Gas KIM - KEK di KM 33 (Studi Kasus di PT. TEGMA Engineering). *Proceeding 1st Conference On Piping Engineering and Its Application* (p. 26). Surabaya: Program D4 Teknik Perpipaan - Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- [2] API. (2008). *API 1102 (Seventh Edition), Steel Pipelines Crossing Railroads and Highways, API Recommended Practice 1102*. Washington, D.C.: American Petroleum Institute.