



KOMPARASI BAJA KONVENSIONAL DAN BAJA KOMPOSIT SANDWICH PANEL SEBAGAI MATERIAL PELAT LANTAI JEMBATAN PENYEBERANGAN

Audana Zulhimantara*¹, Edy Utomo²

^{1,2}) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan
Jl. Amal Lama No. 1 Kota Tarakan, Kalimantan Utara
Email: ¹audana16@gmail.com, ²edyutomo99@gmail.com

ABSTRACT: Floor plate is one of the main parts of civil building structures both buildings and bridges. Sandwich panel is a composite materials of synthetic resin and steel plate. Where the density of Sandwich panel is lighter than conventional steel and has greater flexural strength. Yet, it has never been done before in the realm of civil engineering, so further analysis is needed to obtain optimal result. The used of Sandwich panel with dimensions of 4-10-4 mm changes the beam structure on the pedestrian bridge. The horizontal beam profile used was WF450.200.9.14 with a maximum span of 2 meters and the distance between the beams was 2.6 meters. The vertical beam profile used was WF250.250.9.14 with a span of 2.6 meters and the distance between the beams was 2 meters. The column profile used was WF440.300.11.18 with a height of 5.4 meters. The comparison of the maximum stress values that occur in steel floor plates was 5.227 MPa and the one using a Sandwich panel was 32.271 MPa. The deformation values that occur in steel floor plates was 23.048 mm and the one using a Sandwich panel was 26.517 mm. The comparison of the total weight values that occur in steel floor plates was 22.005 tons and the one using Sandwich panel was 20.590 tons.

Keywords: sandwich panel, steel plate, n method, pedestrian bridge

ABSTRAK: Plat lantai adalah salah satu bagian utama dari struktur bangunan sipil baik gedung maupun jembatan. Plat lantai sendiri mendistribusikan beban ke balok anak dan balok induk. *Sandwich panel* adalah material komposit antara *synthetic resin* dengan plat baja. Dimana densitas *sandwich panel* lebih ringan dari pada baja konvensional serta memiliki kuat lentur yang lebih besar. Penggunaan *sandwich panel* dengan dimensi 4-10-4 mm memberikan perubahan struktur balok pada jembatan penyeberangan. Profil balok arah horizontal yang digunakan adalah WF450.200.9.14 dengan bentang maksimal 2 meter dan jarak antar balok adalah 2,6 meter. Profil balok arah vertikal yang digunakan adalah WF250.250.9.14 dengan bentang 2,6 meter dan jarak antar balok adalah 2 meter. Profil kolom yang digunakan adalah WF440.300.11.18 dengan tinggi 5,4 meter. Perbandingan nilai tegangan maksimum yang terjadi pada plat lantai baja adalah sebesar 5,227 Mpa, sedangkan *sandwich panel* sebesar 32,271 MPa. Nilai deformasi yang terjadi pada plat lantai baja adalah sebesar 23,048 mm dan yang menggunakan *sandwich panel* sebesar 26,517. Perbandingan nilai berat total yang terjadi pada plat lantai baja adalah sebesar 22,005 Ton dan yang menggunakan *sandwich panel* sebesar 20,590 Ton.

Kata kunci: sandwich panel, plat baja, metode n, tegangan

1. PENDAHULUAN

Struktur *sandwich* sebagian besar ditemukan dalam kasus kekakuan lentur dan kekuatan. *Sandwich* memiliki tiga struktur lapisan yang terdiri dari lembaran penutup atas dan bawah (*Face Sheets*) dan

lapisan inti (*Core Material*) di antara penutupnya yang terikat bersama. Lembaran penutup *sandwich* menahan beban bidang, sementara inti mempertahankan jarak antara penutup. Lembar penutup *sandwich* dapat dibuat dari bahan isotropik atau anisotropik seperti lembaran logam dan FRP laminasi masing-masing (Baril & Bajaj, 2014).

Momcilovic & Motok (2009) menyatakan *Sandwich Plate System* (SPS) merupakan material ringan dalam bentuk komposit *sandwich panel* yang terdiri dari struktur dua pelat logam yang dipisahkan oleh material inti elastomer. Pelat logam disatukan dengan parameter bar pada bagian tepi pelat, *polyurethane* elastomer berada diantara pelat dengan proses injeksi. Berdasarkan pengujian material *sandwich panel*, terjadi beberapa perubahan dari sifat asli komponen material pembentuknya. Bentuk *sandwich panel* mampu memberikan absorpsi beban yang lebih besar hingga material mengalami kegagalan. Hal ini ditunjukkan pada peningkatan nilai kekuatan *core* material sebesar 79,07% pada pemberian beban tarik aksial. Pada kelenturan material, *sandwich panel* mampu memberikan peningkatan nilai tegangan lentur sebesar 29,02% dengan kondisi defleksi yang rendah (Utomo, 2016).

Perkembangan material kini telah mengalami kemajuan cukup pesat yang ditunjukkan dengan adanya beberapa material inovatif yang dikembangkan dan digunakan pada berbagai macam bentuk konstruksi, termasuk untuk material konstruksi jembatan. Material komposit adalah material yang terdiri atas lebih dari satu bahan untuk menghemat bahan dan mengurangi berat, seperti *sandwich panel* dengan kombinasi pelat baja dan *synthetic resin*. Dinda (2009) menyatakan *synthetic resin* adalah suatu campuran bahan non metalik buatan biasanya dari senyawa organik. Melihat *sandwich panel* belum pernah dianalisis pada bangunan maupun konstruksi sipil lainnya, peneliti bermaksud untuk melakukan studi komparatif yaitu membandingkan penggunaan plat baja konvensional dengan *sandwich panel* pada konstruksi sipil Jembatan Penyeberangan Orang (JPO) Simpang THM Kota Tarakan yang menggunakan material baja pada balok dan platnya mengingat metode sambungan untuk *sandwich panel* adalah las.

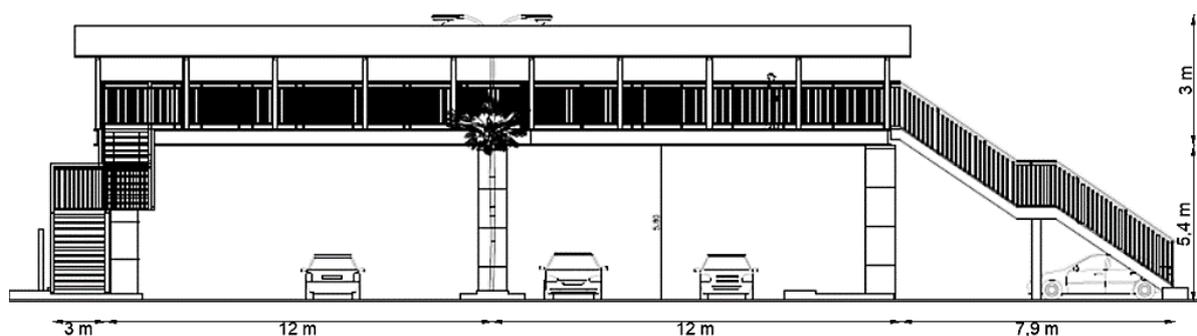
2. METODE PENELITIAN

2.1. Jenis Penelitian

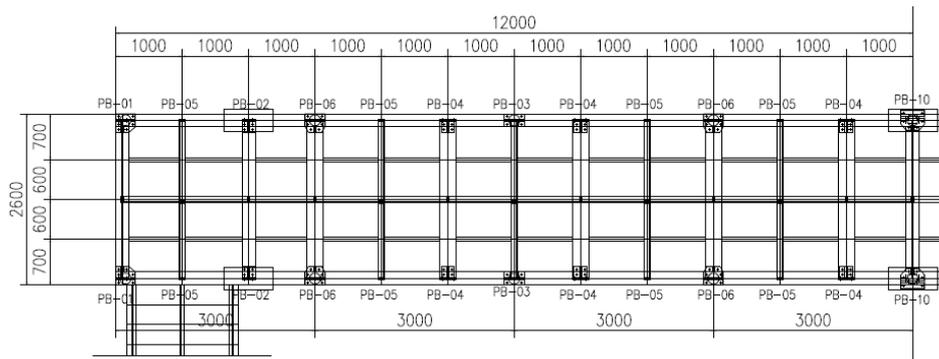
Penelitian ini merupakan penelitian terapan, yang mana akan dilakukan perbandingan desain antara penggunaan material *sandwich panel* dengan baja konvensional pada Jembatan Penyeberangan Orang dengan indikator pembanding adalah besar tegangan, gaya momen, deformasi, dan berat total struktur.

2.2. Analisis Eksiting JPO

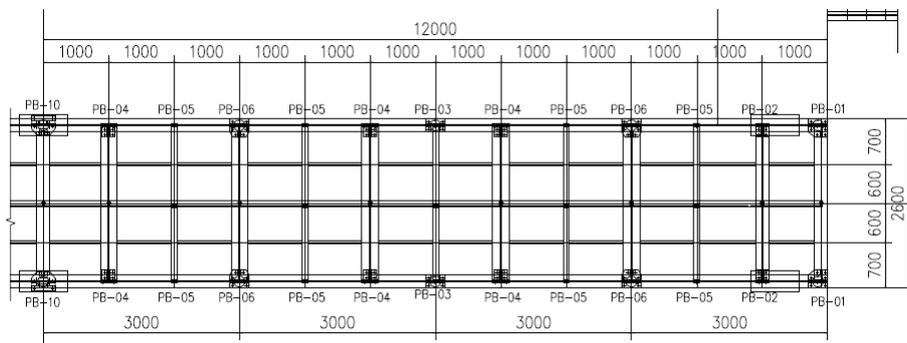
Beban yang digunakan sesuai dengan SNI 03-1729 (2002) adalah beban mati (D), beban hidup (L), beban air hujan (H), beban gempa (E) dan beban angin (W) dengan kombinasi pembebanan sebanyak 13 buah variasi. Mengetahui material apa saja yang digunakan sangat penting untuk proses pembebanan struktur. Material tersebut terbagi menjadi beberapa bagian mulai dari atap jembatan, plat lantai, dan struktur balok kolom jembatan. Gambar tampak JPO dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 1. Tampak Samping JPO



(a)



(b)

Gambar 2. Tampak Samping JPO:

(a) Denah lantai jembatan sisi barat (mm); (b) Denah lantai jembatan sisi timur (mm)

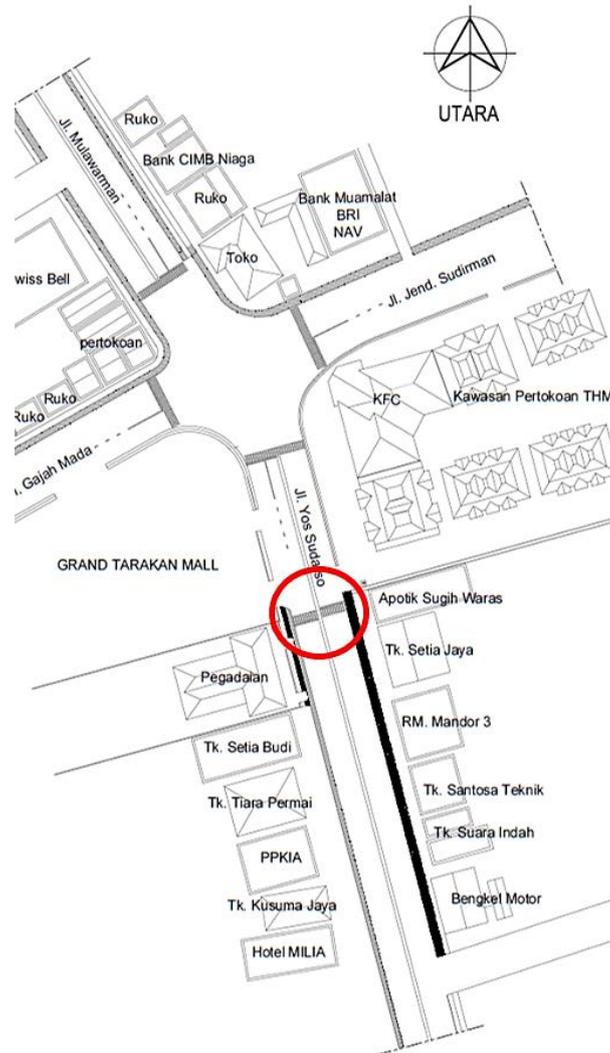
Data sekunder lainnya adalah data teknis pada konstruksi eksisting JPO. Adapun data teknis dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Data Teknis Konstruksi Eksisting JPO

| Elemen | Informasi |
|-------------------------|---|
| Nama | Jembatan penyeberangan orang |
| Fungsi | Sebagai fasilitas untuk menyeberang bagi pejalan kaki |
| Tipe jalan | Arteri Primer dengan 2 jalur dan 4 lajur |
| Alat sambung | Las dan baut |
| Material Atap dan Pagar | <ul style="list-style-type: none"> - Penutup Atap : <i>Spandek finish roll</i> 0.5 mm - Gording : Pipa hollow 4cm - Kuda-kuda : Galvanish Ø 4" - Balok : Galvanish Ø 4" - Kolom : Galvanish Ø 3" - Tirai : Galvanish Ø 2" - Railing : Galvanish Ø 2" |
| Material Struktur Utama | <ul style="list-style-type: none"> - Mutu Baja : BJ 37 ($f_y = 240$ MPa, $f_u = 370$ MPa) - Pelat lantai : Plate Bordest 4.5 mm - Balok : WF 450.200.9.14 mm; WF 250.250.9.14 mm; UNP 250.90.9.13 mm; L 50.50.5 mm - Kolom : WF 600.200.13.23 mm - Pondasi : <i>Bor pile</i> diameter 40CM |

2.3. Lokasi Penelitian

Lokasi Jembatan Penyeberangan Orang (JPO) Simpang THM yang digunakan sebagai objek penelitian terletak di Jl. Yos Sudarso tepatnya di Kompleks Pertokoan THM Kota Tarakan Provinsi Kalimantan Utara, untuk posisi yang lebih detail dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Denah Lokasi JPO

(Sumber : Dinas Perhubungan Provinsi Kalimantan Utara, 2018)

2.4. Analisis Sandwich Panel

Analisis data secara manual dilakukan setelah analisis struktur selesai dilakukan dan telah muncul nilai seperti momen, deformasi, tegangan, dan lain sebagainya, kemudian menghitung ketebalan *sandwich panel* dan tegangan pada *sandwich panel* dengan metode n.

2.4.1. Menentukan ketebalan pelat atas dan bawah

Penentuan ketebalan dari penggunaan sandwich panel, yang terdiri dari 3 bagian ketebalan, yaitu t_1 untuk ketebalan lapisan atas (*top plate*), t_2 untuk ketebalan lapisan bawah (*bottom plate*) dan t_c untuk ketebalan lapisan core material. Pada ketebalan lapisan atas dan bawah digunakan ketebalan minimum yang telah disyaratkan dalam peraturan Det Norske Veritas (2012) sebagai pendekatan.

$$t_{1,2_min} = 0.5 \left(t_0 + \frac{k.L}{f_1^{0.5}} \right) \quad (1)$$

dimana:

$t_{1,2}$ = Tebal plat atas dan bawah *sandwich panel* (mm)

t_k = Ketebalan korosi (mm)

$t_{0,k}$ = Koefisien tipe struktur

L = Panjang total (m)

f_l = Koefisien terhadap mutu baja

2.4.2. Menentukan tipe dimensi

Sebelum menentukan ketebalan *core material* yang digunakan pada *sandwich panel* akan ditentukan terlebih dahulu luasannya (panjang dan lebar). Pada penggunaan *sandwich panel* sebagai plat lantai akan dihilangkan beberapa balok anak sehingga plat lantai yang awalnya berukuran 1 x 1,3 meter akan diperbesar.

2.4.3. Trial and error lapisan tengah (*core material*)

- **Penentuan luas penampang**

$$A_T = b \times h \quad (2)$$

dimana:

A_T = Luas penampang (cm²)

b = Lebar penampang (cm)

h = Tinggi penampang (cm)

- **Lengan momen**

$$y = h_T - (h/2) \quad (3)$$

Dimana :

y = Lengan momen penampang diukur dari bawah (cm)

h_T = Tinggi total penampang (cm)

- **Momen inersia individu**

$$I = 1/12 \times b \times h^3 \quad (4)$$

dimana :

I = Momen inersia penampang (cm⁴)

- **Titik berat terhadap dasar**

$$\bar{y} = \Sigma(A_T \times y) / \Sigma A_T \quad (5)$$

dimana:

\bar{y} = Titik berat terhadap dasar (cm)

- **Momen inersia total**

$$I_{tr} = I_0 - \bar{y}^2 \cdot \Sigma A_T \quad (6)$$

dimana:

I_{tr} = Momen inersia total (cm⁴)

$I_0 = \Sigma A_T + \Sigma I$

- **Modulus penampang terhadap dasar**

$$Z_{rule} = I_{tr} / \bar{y} \quad (7)$$

dimana :

Z_{rule} = Modulus penampang terhadap dasar (cm³)

- **Ketebalan *core material* yang digunakan**

$$R = 0,01 A_R 0,1 \left[\frac{b^2}{d(t_1+t_2)} + 11,7 \left(\frac{b t_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] k P_{eq,R} \quad (8)$$

dimana:

$$A_R = \left(\frac{a}{b} \right)^{0,65}$$

$$P_{eq,R} = 0,0017 (Z_{rule}/l^2). \text{ (MPa)}$$

$$l = \text{panjang panel. (m)}$$

$$Z_{rule} = \text{ekivalen modulus penampang. (cm}^3\text{) : disesuaikan penampang jembatan}$$

$$t_c = \text{pilihan ketebalan lapsian inti. (mm)}$$

$$a = \text{panjang panel pada tepi terpanjang. (mm)}$$

$$b = \text{lebar panel pada tepi terpendek. (mm)}$$

$$d = \text{parameter ketebalan, } d = t_c + (t_1 + t_2)/2$$

$$t_1, t_2 = \text{lembalan panel lapisan atas dan bawah. (mm)}$$

$$k = \text{faktor kekuatan baja.}$$

$$R = \text{nilai indeks ketebalan } core \text{ material, } R \leq 1.$$

- **Transformasi material**

$$n = E_{baja} / E_{core \text{ material}} \quad (9)$$

dimana:

$$n = \text{Koefisien transformasi material}$$

$$E_{baja} = 200000 \text{ MPa}$$

$$E_{core \text{ material}} = 2792,06 \text{ Mpa}$$

- **Lebar bidang transformasi**

$$b_T = b_E / n \quad (10)$$

dimana :

$$b_T = \text{Lebar bidang transformasi (cm)}$$

$$b_E = \text{Lebar efektif penampang (cm)}$$

- **Tegangan pada bidang yang bertransformasi**

Triwiyono (2000) mengatakan bahwa pengembangan persamaan-persamaan transformasi tegangan dengan merubah orientasi sumbu-sumbu yang bertujuan untuk mendapatkan tegangan atau regangan ekstrim (maksimum dan minimum), tegangan lentur tarik dan tekan maksimum yang bekerja di suatu penampang terjadi di titik yang terletak paling jauh dari sumbu netral (Gere & Timoshenko, 1972). Tegangan atau regangan ekstrim dapat digunakan untuk mengetahui apakah struktur masih mampu menahan beban luar atau beban telah melampaui kekuatan bahannya. Dalam perancangan, ukuran-ukuran batang harus dipilih sedemikian rupa sehingga tegangan-tegangan normal dan geser yang terjadi tidak melampaui tegangan (Triwiyono, 2000). Persamaan yang digunakan untuk mencari tegangan pada bidang yang bertransformasi disajikan pada persamaan (11).

$$\sigma = M x \bar{y} / n x I_{tr} \quad (11)$$

dimana:

$$\sigma = \text{Tegangan pada bidang tertransformasi (MPa)}$$

$$M = \text{Momen yang bekerja pada bidang (N.mm)}$$

2.5. Komparasi Penggunaan Baja Konvensional dan *Sandwich Panel*

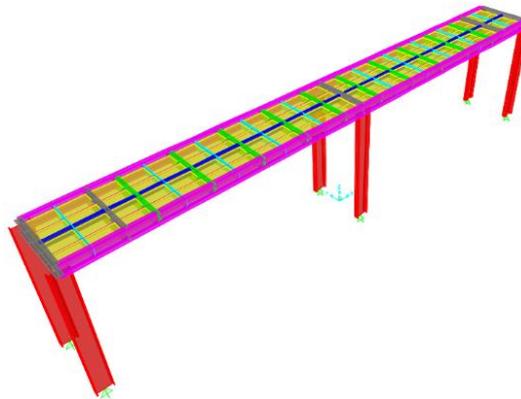
Setelah mendapatkan semua data pada jembatan penyeberangan struktur baja dan struktur baja komposit sandwich panel, maka dilakukan komparasi dengan membandingkan kedua jenis struktur tersebut. Adapun yang dikomparasikan adalah momen, deformasi, tegangan dan berat total struktur.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis eksisting JPO

Pemodelan struktur dilakukan dalam 3D menggunakan bantuan *software* SAP2000 dengan melakukan konversi beban atap menjadi beban titik dan tangga tidak dianalisis sehingga dalam pemodelan struktur ini hanya akan dilakukan pada struktur utamanya saja.

Momen maksimal yang terjadi pada jembatan penyeberangan dengan plat lantai baja 4 mm adalah sebesar 14,55 N.mm yang terjadi dengan kombinasi pembebanan 1,2D+1,6L+0,5H. Hasil analisis tegangan dengan bantuan SAP2000 berupa tabel *element stress – area shell*. Tegangan maksimal yang terjadi pada plat lantai adalah sebesar 2,515 MPa yang terjadi dengan kombinasi pembebanan 1,2D+1,6L+0,5H. Deformasi maksimum yang terjadi pada struktur jembatan penyeberangan ini adalah sebesar 23,408 mm dengan kombinasi pembebanan 1,2D+1,0Ex+0,5L. Adapun pemodelan struktur jembatan penyeberangan orang simpang THM seperti Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Pemodelan struktur *existing* jembatan penyeberangan

3.2. Analisis sandwich panel

Berdasarkan mutu baja yang digunakan untuk *sandwich panel* adalah BJ37 dengan $f_y = 240$ Mpa, maka yang mendekati adalah NV-27 dengan $f_y < 265$ MPa, maka nilai f_t adalah 1,08. Pemodelan struktur mengasumsikan bahwa struktur ini adalah struktur yang terbuka maka asumsi yang mendekati yaitu *weather deck* dengan t_0 dan k masing-masing adalah 5,5 dan 0,02. Ketebalan korosi yang diperhitungkan adalah 0,5 mm pada tiap sisi terluar pelat baja.

$$t_{1,2} = 0,5 + (0,5 \times (5,5 + (0,02 \times 24/1,082))) = 4 \text{ mm (tebal plat baja atas dan bawah)}$$

Pada penggunaan *sandwich panel* sebagai pelat lantai akan dihilangkan beberapa balok anak sehingga plat lantai yang awalnya berukuran 1 x 1,3 meter akan diperbesar, maka didapatkan beberapa opsi luasan *sandwich panel* seperti pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Opsi luasan *sandwich panel*

| Tipe <i>Sandwich panel</i> | Panjang (m) | Lebar (m) |
|----------------------------|-------------|-----------|
| SP Tipe 1 | 1 | 1,3 |
| SP Tipe 2 | 1 | 2,6 |
| SP Tipe 3 | 2 | 1,3 |
| SP Tipe 4 | 2 | 2,6 |

Setelah menentukan opsi luasan *sandwich panel* maka akan dilakukan *trial and error* untuk mengetahui ketebalan *sandwich panel*. Dimulai dengan menghitung modulus penampang pada 3 potongan yang berbeda. ketiga jenis potongan melintang tersebut memiliki nilai titik berat terhadap dasar dan modulus

elastisitas yang berbeda. Dari kedua nilai tersebut dapat dihitung nilai R pada masing-masing tipe *sandwich panel* dengan empat opsi tebal *core* pada kelipatan 10 mm seperti terlihat pada Tabel 3 di bawah ini

Tabel 3. Rekapitulasi *trial and error* penentuan ketebalan *core material*

| Potongan | Tipe SP | Asumsi ketebalan (mm) | R |
|--------------|-----------|-----------------------|------------|
| Potongan A-A | SP tipe 1 | 40 | 0,0000464 |
| | | 30 | 0,0000604 |
| | | 20 | 0,0000860 |
| | | 10 | 0,0001465 |
| | SP tipe 2 | 40 | 0,0000278 |
| | | 30 | 0,0000362 |
| | | 20 | 0,0000514 |
| | | 10 | 0,0000878 |
| | SP tipe 3 | 40 | 0,0000307 |
| | | 30 | 0,0000400 |
| | | 20 | 0,0000570 |
| | | 10 | 0,0000971 |
| SP tipe 4 | 40 | 0,0000437 | |
| | 30 | 0,0000568 | |
| | 20 | 0,0000807 | |
| | 10 | 0,0001379 | |
| Potongan B-B | SP tipe 1 | 40 | 0,0000483 |
| | | 30 | 0,0000629 |
| | | 20 | 0,0000896 |
| | | 10 | 0,0001526 |
| | SP tipe 2 | 40 | 0,0000290 |
| | | 30 | 0,0000377 |
| | | 20 | 0,0000536 |
| | | 10 | 0,0000915 |
| | SP tipe 3 | 40 | 0,0000320 |
| | | 30 | 0,0000417 |
| | | 20 | 0,0000594 |
| | | 10 | 0,0001012 |
| SP tipe 4 | 40 | 0,0000456 | |
| | 30 | 0,0000592 | |
| | 20 | 0,0000841 | |
| | 10 | 0,0001436 | |
| Potongan C-C | SP tipe 1 | 40 | 0,0005576 |
| | | 30 | 0,0008467 |
| | | 20 | 0,0012052 |
| | | 10 | 0,0020536 |
| | SP tipe 2 | 40 | 0,0003907 |
| | | 30 | 0,0005075 |
| | | 20 | 0,0007213 |
| | | 10 | 0,0012316 |
| | SP tipe 3 | 40 | 0,00043125 |
| | | 30 | 0,00056136 |
| | | 20 | 0,00079902 |
| | | 10 | 0,00136153 |
| SP tipe 4 | 40 | 0,00061311 | |
| | 30 | 0,00079648 | |
| | 20 | 0,00113185 | |
| | 10 | 0,00193266 | |

Dari Tabel 3 di atas dapat dilihat bahwa semua tipe dan asumsi tebal *core* aman untuk digunakan. Yang akan diambil adalah tipe *sandwich panel* dengan luasan terbesar dan asumsi tebal paling kecil yaitu SP Tipe 4 dengan dimensi 2600 mm x 2000 mm dan tebal *core* 10 mm.

Berdasarkan hasil analisis oleh SAP2000 didapatkan nilai momen plat lantai pada jenis struktur jembatan yang menggunakan *sandwich panel* 4-10-4 mm terjadi pada kombinasi pembebanan 1,2D+1,6L+0,5H sebesar 1341,33 N.mm. Nilai tegangan pada jenis struktur jembatan yang menggunakan *sandwich panel* 4-10-4 mm terjadi pada kombinasi pembebanan 1,2D+1,6L+0,5H dengan nilai sebesar 8,332 MPa. Nilai deformasi pada jenis struktur jembatan yang menggunakan *sandwich panel* 4-10-4mm terjadi pada kombinasi pembebanan 1,2D+1,6L+0,5H sebesar 26,517 mm. Tegangan yang dihasilkan tiap penampang tertransformasi dengan *sandwich panel* yang dihitung dengan metode n tersaji dalam Tabel 4 dan kontrol pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 4. Tegangan yang terjadi pada tiap penampang tertransformasi

| Jenis Penampang | Tegangan | | | | |
|------------------|---------------|---------------|------------|------------|---------------|
| | σ_{a1} | σ_{a2} | σ_a | σ_b | σ_{sp} |
| | MPa | | | | |
| WF450.200.9.14 V | 9,3 | 8,9 | 8,71 | 8,9 | 13 |
| WF250.250.9.14 V | 17 | 15 | 15 | 40 | 25 |
| WF450.200.9.14 H | 9,3 | 8,9 | 8,71 | 8,9 | 13 |

Tabel 5. Kontrol *sandwich panel* terhadap tegangan

| Jenis Penampang | Kontrol <i>core material</i> | Kontrol baja |
|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| | $\sigma < 24 \text{MPa}$ | $\sigma < 240 \text{MPa}$ |
| | σ_{a1}, σ_{a2} | $\sigma_a, \sigma_b, \sigma_{sp}$ |
| WF450.200.9.14 V | OK! | OK! |
| WF250.250.9.14 V | OK! | OK! |
| WF450.200.9.14 H | OK! | OK! |

3.3. Cek profil balok dan kolom

Pengecekan profil balok dilakukan dengan menggunakan syarat $M_n < M_p$, maka didapat nilai M_n dan M_p masing-masing profil seperti pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Pengecekan profil balok jembatan penyeberangan

| Profil balok | M_n | M_p | Kontrol $M_n < M_p$ |
|-------------------|-------|-------|---------------------|
| WF450.200.9.14 H | 12 | 11,7 | Aman |
| WF450.200.9.14 V | 1,3 | 11,7 | Aman |
| WF 250.250.9.14 V | 1,7 | 4,1 | Aman |

Dari Tabel 13. dapat dilihat bahwa beberapa profil yang digunakan boros dan dapat diganti dengan profil yang lebih hemat. Pada pemilihan profil dapat dilakukan dengan metode *trial and error* seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengecekan profil balok yang dikecilkan

| Profil balok | M_n | M_p | Kontrol $M_n < M_p$ |
|-------------------|-------|-------|---------------------|
| WF450.200.9.14 H | 12 | 11,7 | Aman |
| WF 200.200.8.12 V | 1,3 | 2,4 | Aman |

Perubahan profil balok yang digunakan mempengaruhi terhadap tegangan yang terjadi pada bidang transformasi *sandwich panel* dengan profil balok, sehingga harus dihitung kembali keamanan struktur terhadap tegangan yang dihasilkan. Hasil perhitungan tegangan pada tiap penampang yang telah diganti dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Tegangan yang terjadi pada tiap penampang yang telah diganti

| Jenis Penampang | Kontrol <i>core material</i> | Kontrol baja |
|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| | $\sigma < 24 \text{MPa}$ | $\sigma < 240 \text{MPa}$ |
| | σ_{a1}, σ_{a2} | $\sigma_a, \sigma_b, \sigma_{sp}$ |
| WF450.200.9.14 H | OK! | OK! |
| WF200.200.8.12 V | PATAH! | OK! |

Dari Tabel 8 dapat dilihat bahwa penampang WF200.200.8.12 arah vertikal yang diganti tidak aman terhadap tegangan. Maka penampang perlu dibesarkan kembali agar kuat menahan tegangan. Dicoba kembali profil WF250.250.9.14 untuk arah vertikal, didapatkan hasil tegangan sebagai berikut.

Tabel 9. Tegangan pada profil WF250.250.9.14

| Jenis Penampang | Kontrol <i>core material</i> | Kontrol baja |
|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| | $\sigma < 24 \text{MPa}$ | $\sigma < 240 \text{MPa}$ |
| | σ_{a1}, σ_{a2} | $\sigma_a, \sigma_b, \sigma_{sp}$ |
| WF250.250.9.14 V | OK! | OK! |

Dari Tabel 9 dapat dilihat bahwa profil WF250.250.9.14 aman menahan tegangan yang terjadi, sehingga dipakai profil tersebut untuk balok arah vertikal.

Profil kolom yang digunakan adalah WF600.200.13.23 memiliki nilai $\phi_b \cdot M_p > M_u$ sebesar $78,88 > 15$. Dari nilai tersebut profil ini boros, maka dapat diganti dengan profil yang lebih hemat. Metode *trial and error* digunakan untuk menentukan profil baja yang hemat, dicoba menggunakan profil WF440.300.11.18 dengan mutu baja dan bentang yang sama. Didapatkan nilai $\phi_b \cdot M_p = 58,9$ menunjukkan profil ini aman dan lebih irit daripada menggunakan profil sebelumnya. Maka profil WF600.200.13.23 digantikan dengan WF440.300.11.18. Secara rinci rekapitulasi ukuran profil elemen struktur pada JPO yang dikaji dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Profil setelah *redesign* menggunakan *sandwich panel*

| Nama Bagian | Profil yang digunakan |
|-------------|--|
| Balok | Horizontal WF450.200.9.14 Vertikal WF250.250.9.14 |
| Kolom | WF440.300.11.18 |
| Plat | <i>Sandwich panel</i> 4-10-4 mm |

3.4. Komparasi pelat lantai baja konvensional dan *sandwich panel* pada JPO

Hasil komparasi antara struktur pelat baja konvensional dan pelat dengan *sandwich panel* pada JPO simpang THM Kota Tarakan dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Komparasi struktur jembatan penyeberangan plat baja dengan plat *sandwich panel*

| Komparasi | Satuan | Plat Baja 4 mm | <i>Sandwich panel</i> 4-10-4 mm |
|----------------------|--------|----------------|------------------------------------|
| Momen | N.mm | 14,55 | 1341,330 |
| Deformasi | mm | 23,048 | 26,517 |
| Tegangan | MPa | 5,227 | 32,271 |
| Berat total struktur | Ton | 22,005 | 20,590 |

Berdasarkan dari Tabel 4.11 diketahui bahwa nilai momen kedua jenis struktur sangat berbeda jauh, momen pada struktur jembatan penyeberangan yang menggunakan sandwich panel 4-10-4 mm lebih besar karena ada beberapa balok yang dihilangkan. Deformasi yang terjadi juga tidak terlalu signifikan walaupun jarak antar balok struktur plat yang menggunakan sandwich panel lebih jauh dari pada yang menggunakan plat baja. Tegangan yang dihasilkan sangat berbeda jauh, plat sandwich panel lebih besar dikarenakan kekakuan struktur pada sandwich panel yang memiliki 3 lapisan dengan gabungan dua material yaitu baja dengan resin sehingga membuat nilai modulus elastisitasnya menjadi lebih kecil. Berat total struktur berkurang setelah menggunakan sandwich panel dikarenakan ada beberapa balok anak yang dihilangkan sehingga struktur menjadi lebih sederhana dan praktis dalam pelaksanaan konstruksinya.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa ketebalan *faceplate* yang digunakan pada *top plate* dan *bottom plate* masing-masing adalah 4 mm sementara *core material* yang digunakan setebal 10 mm, profil balok arah horizontal yang digunakan adalah WF450.200.9.14 dengan bentang maksimal 2 meter dan jarak antar balok adalah 2,6 meter. Profil balok arah vertikal yang digunakan adalah WF250.250.9.14 dengan bentang 2,6 meter dan jarak antar balok adalah 2 meter. Profil kolom yang digunakan adalah WF440.300.11.18 dengan tinggi 5,4 meter, perbandingan nilai tegangan maksimum yang terjadi pada struktur jembatan penyeberangan dengan menggunakan plat lantai baja adalah sebesar 5,227 MPa dan yang menggunakan *sandwich panel* sebesar 32,271 MPa dengan Tegangan izin sebesar 240 MPa. Nilai deformasi yang terjadi pada struktur jembatan penyeberangan dengan menggunakan plat lantai baja adalah sebesar 23,048 mm dan yang menggunakan *sandwich panel* sebesar 26,517 mm dengan batas deformasi sebesar 50 mm, perbandingan nilai berat total yang terjadi pada struktur jembatan penyeberangan dengan menggunakan plat lantai baja adalah sebesar 22,005 Ton dan yang menggunakan *sandwich panel* sebesar 20,590 Ton (- 0,94% dari berat total *existing*).

DAFTAR PUSTAKA

- Bari, D. D., Bajaj, P.S. 2014. *Theoretical Flexural Behavior Of Sandwich Panel Using Composite Materials*. Internasional Journal of Research in Engineering and Technology. Volume: 03 Issue: 04.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2002. SNI 03-1729-2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*. Direktorat Jenderal Ciptakarya. Jakarta.
- Det NorskeVeritas. 2012. *Steel Sandwich panel Construction*. Classification notes, No.30.11.
- Gere, J. M., Timoshenko, S.P. 1972. *Mekanika Bahan Jilid 1*, Edisi ke Empat. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Momcilovic. N., Motok.M. 2009. *Estimation of Ship Lightweight Reduction by Means of application of Sandwich Plate System*. Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade. Serbia.
- Triwiyono, A. 2000. *Mekanika Bahan*, Bahan Kuliah: Mekanika Bahan (Analisis Struktur III). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Utomo, E. 2016. "Penggunaan *Sandwich panel* (Pelat Baja Dan Synthetic Resin) Pada Konstruksi Kapal", Tesis. Institut Teknologi Spuluh November. Surabaya.