

## PEMERIKSAAN STRUKTURAL DAN PERKUATAN JEMBATAN DI BRUNEI DARUSSALAM

Stephen Dwiputra Djaya<sup>1</sup>, Anastasia Valentina<sup>2</sup>, Gunawan Budi Wijaya<sup>3</sup>, Handoko Sugiharto<sup>4</sup>

**ABSTRAK:** Jembatan merupakan salah satu sarana infrastruktur yang penting. Hal ini karena jembatan berfungsi untuk memberi akses jalan bagi transportasi dari satu daerah ke daerah lain. Beban yang ditanggung jembatan dari waktu ke waktu dapat bertambah. Namun akibat beban yang bertambah diperlukan adanya pemeriksaan struktural dan perkuatan pada jembatan. Penambahan beban terjadi pada 5 jembatan yang berada di Brunei Darussalam. Akibat adanya penambahan beban tersebut maka perlu dilakukan pemeriksaan struktural pada jembatan dan dilakukan perkuatan jika dibutuhkan. Pemeriksaan struktural akan dilakukan terhadap *ultimate limit state* dan *serviceability limit state*. Jika kapasitas jembatan tidak mencukupi maka akan dilakukan perkuatan, dimana metode perkuatan akan disesuaikan dengan bagian kegagalan struktur yang dialami oleh jembatan. Semua perhitungan akan dilakukan berdasarkan peraturan dari *British Standard 5400* dan pembebanan mengacu pada BD37-01. Setelah dilakukan *strengthening* pada jembatan, jembatan dapat menanggung *normal traffic* dan *special case loading*

**KATA KUNCI:** pemeriksaan struktural jembatan, perkuatan jembatan, *ultimate limit state*, *serviceability limit state*, *British Standard 5400*.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1. Umum

Pada pemeriksaan jembatan dilakukan perhitungan terhadap kapasitas *existing* jembatan dan dibandingkan dengan kapasitas yang dibutuhkan oleh jembatan akibat beban. Kapasitas yang perlu diperiksa yaitu *ultimate limit state* dan *serviceability limit state*. *Ultimate limit state* terdiri dari pemeriksaan *moment capacity* dan *shear capacity*, *serviceability limit state* memeriksa *stress limit* dan defleksi. Jika kapasitas tersebut tidak tercukupi maka akan dilakukan *strengthening*. *Strengthening* yang dilakukan dapat berupa *active strengthening* dan *passive strengthening*.

### 2.2. *Ultimate Limit State*

#### 2.2.1. *Moment Capacity*

Sebelum dilakukan perhitungan terhadap *moment capacity*, dilakukan perhitungan terhadap *strain compacity*, *stress*, dan *force equilibrium* terlebih dahulu. *Moment capacity* jembatan harus dapat menanggung momen akibat beban luar.

#### 2.2.2. *Shear Capacity*

Pada perhitungan *shear capacity*, dilakukan perhitungan kapasitas dari sengkang ( $V_s$ ) pada balok dan pengaruh dari *prestressed strands* pada balok ( $V_c$ ). *Shear capacity* harus dapat menanggung beban geser dari beban luar.

### 2.3. *Serviceability Limit State*:

#### 2.3.1. *Stress Limit*

*Stress Limit* pada bagian serat terluar dan pada bagian sambungan balok harus mencukupi persyaratan dari *British Code* (*British Standard 5400*, 2000) baik untuk bagian tekan maupun bagian tarik balok yang dapat dihitung sesuai persamaan (1) dan (2).

---

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21415095@john.petra.ac.id.

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21415080@john.petra.ac.id.

<sup>3</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, gunawanbw@petra.ac.id.

<sup>4</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, hands@petra.ac.id.

$$\text{Tekan} = - 0,4 \times f_{cu} \text{ plat} \quad (1)$$

$$\text{Tarik} = 0,45 \times f_{cu} \text{ balok}^{0.5} \quad (2)$$

Pada pengecekan *stress* terdapat 3 kondisi :

a: *Stress* sebelum *strengthening*

b: *Stress* saat *stressing* (saat pemasangan *external post-tensioning*)

c: *Stress* untuk kondisi *long term* setelah *strengthening*

### 2.3.2. Defleksi

Akibat adanya beban yang bertambah defleksi pada jembatan akan bertambah dan dapat melebihi defleksi ijin yang ditetapkan oleh *british standard*. Persyaratan defleksi untuk perletakan *simply supported* dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

$$\Delta_{izin} = \text{Panjang jembatan} / 250 \quad (3)$$

### 2.4. Pembebanan

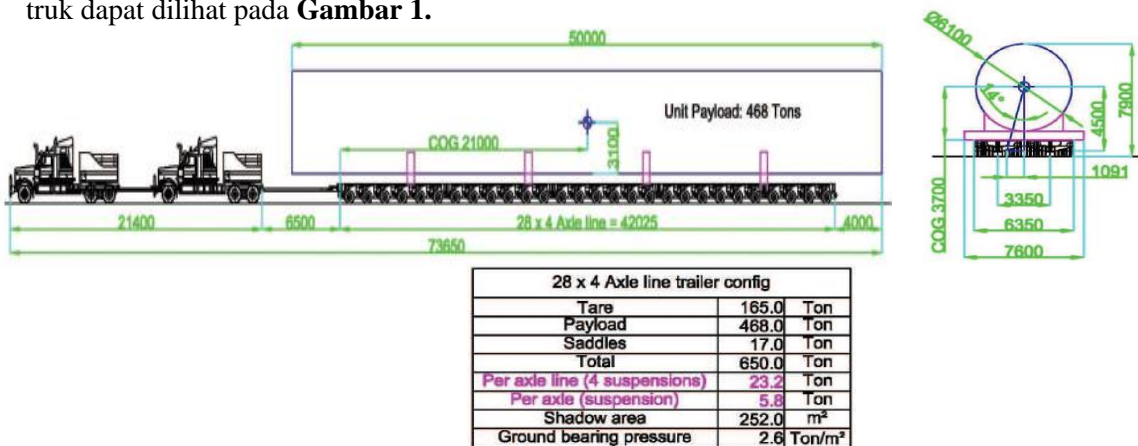
Pada perhitungan dilakukan perhitungan terhadap 3 kondisi beban :

- Kondisi 1: *Permanent load* (*dead load* + *superimposed dead load*)

- Kondisi 2: *Permanent load* dan HA dan HB *loading*

- Kondisi 3: *Permanent load* dan beban truk besar (*special case loading*)

HA *Loading* merupakan beban kendaraan kecil (mobil), sedangkan HB merupakan beban kendaraan besar berupa truk. Beban *special case loading* merupakan beban truk besar, dimana truk tersebut memiliki 28 sumbu roda dimana masing-masing sumbu terdiri dari 4 roda. Satu roda menanggung beban sebesar 5,8 ton, sehingga total beban dari truk tersebut sebesar 650 ton. Dimensi truk dapat dilihat pada **Gambar 1**.



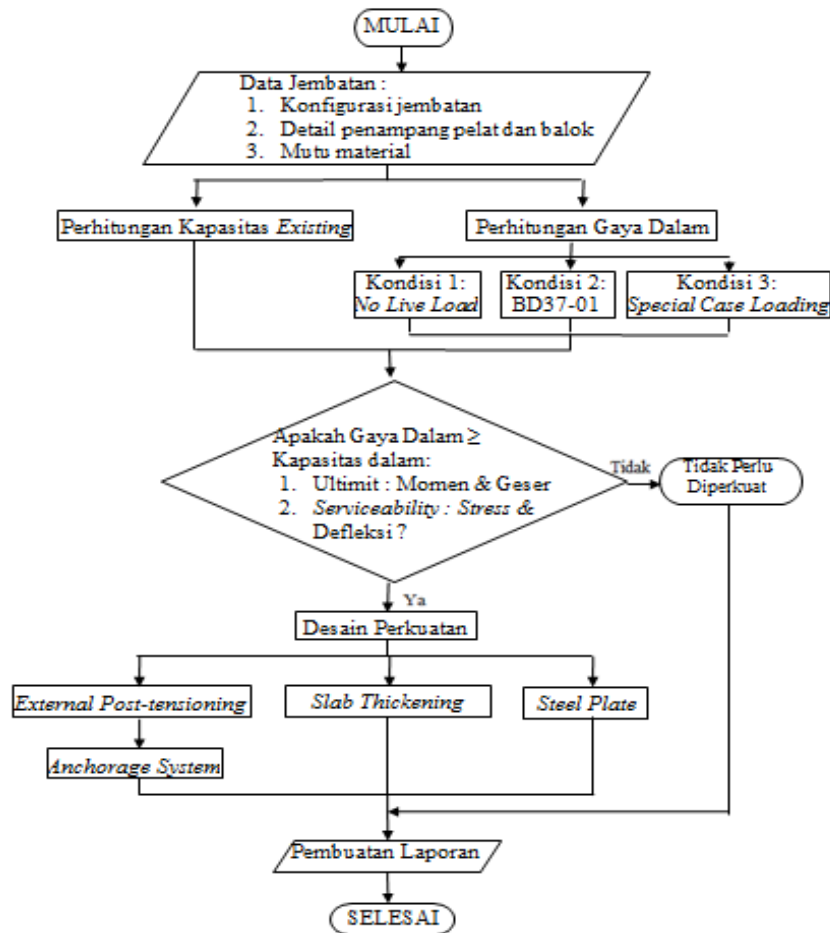
**Gambar 1. Dimensi Truk *Special Case Loading***

### 2.5. Strengthening

Dalam *strengthening* jembatan dapat dilakukan *active strengthening* dan *passive strengthening*. *Active strengthening* berupa penambahan *external post-tensioning* pada jembatan. *Passive strengthening* dapat berupa *slab thickening* dan penambahan *steel plate*.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian diawali dengan mempelajari peraturan pembebanan serta perhitungan *limit state* sesuai *british standard*. Selanjutnya dilakukan perhitungan pembebanan sesuai BD37-01 dan perhitungan terhadap *limit state* sesuai BS 5400-1990. Kemudian dilakukan penentuan serta perhitungan perkuatan dan sistem perkuatan sesuai dengan kegagalan struktur yang dialami oleh masing-masing jembatan. Proses penelitian seperti pada **Gambar 2**.

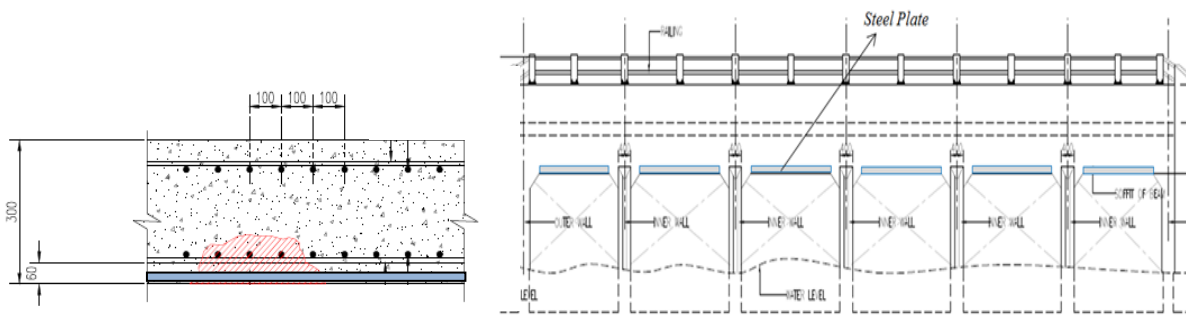


Gambar 2. Flowchart Penelitian

#### 4. PEMERIKSAAN DAN PERKUATAN

##### 1. Jembatan 1

Pada jembatan 1 merupakan jembatan *box culvert* dengan bentang 22,7 meter, dimana struktur yang menahan beban berupa pelat dengan 2 layer tulangan D16-100. Kegagalan jembatan 1 terjadi pada *ultimate limit state* yaitu pada bagian *moment capacity* yang tidak memenuhi. *Moment capacity* jembatan 1 = 106,59 kNm sedangkan *moment ultimate* = 196,68 kNm. *Strengthening* yang digunakan berupa penambahan *steel plate* dengan lebar 200 mm dan tebal 10 mm dengan pemasangan jarak as ke as 500 mm pada bagian bawah pelat jembatan 1. Gambar jembatan 1 sebelum dan sesudah *strengthening* (Gambar 3).



Gambar 3. Strengthening pada Jembatan 1

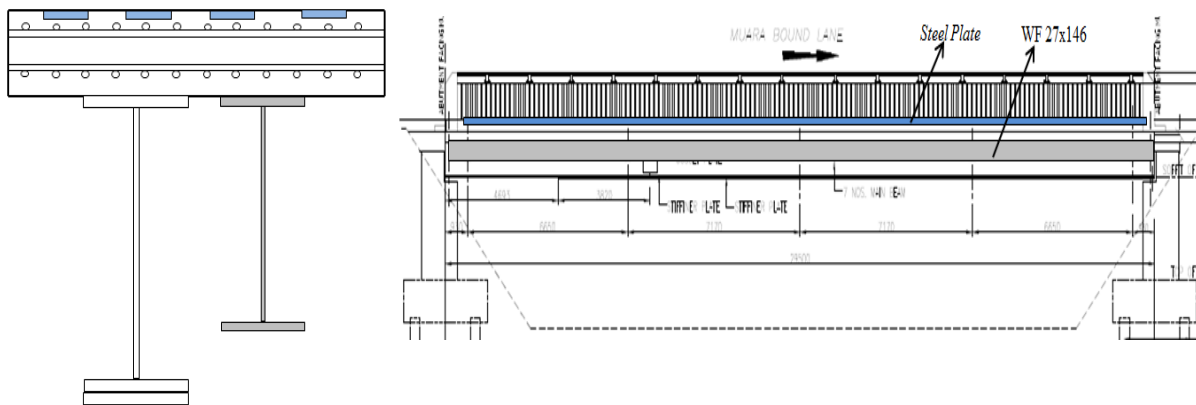
Pada Tabel 1 dapat dilihat kapasitas dan defleksi jembatan 1 sebelum dan sesudah *strengthening*.

**Tabel 1. Kapasitas Jembatan Sebelum dan Sesudah *Strengthening***

	Moment (kNm)			Defleksi (mm)		
	Ultimate	Existing	Strengthening	$\Delta_{izin}$	Existing	Strengthening
Kondisi 1	27,77	106,59	291,95	15,60	0,49	0,44
Kondisi 2	196,68				12,44	11,16
Kondisi 3	132,89				3,63	3,25

**2. Jembatan 2**

Jembatan 2 merupakan jembatan komposit dengan bentang 30 meter. Kegagalan pada jembatan 2 terjadi pada *stress limit* dan defleksi. Pada *stress limit* bagian pelat beton mengalami *overstressed*. *Stress* yang terjadi yaitu sebesar 21,64 N/mm<sup>2</sup> dimana *stress limit* yang diijinkan sebesar 16 N/mm<sup>2</sup>. *Strengthening* yang dilakukan berupa penambahan profil baja W 27x146 yang dipasang sedekat mungkin dengan balok jembatan yang ada, serta pemasangan *steel plate* dengan lebar 200 mm dan tebal 20 mm dengan jarak as ke as *steel plate* 200 mm diletakkan pada permukaan balok. Berikut gambar jembatan 2 sebelum dan setelah *strengthening* (**Gambar 4**)



**Gambar 4. *Strengthening* pada Jembatan 2**

Pada **Tabel 2** dan **Tabel 3** dapat dilihat kapasitas jembatan 2 sebelum dan sesudah *strengthening*.

**Tabel 2. *Ultimate Limit State* Jembatan 2 Sebelum dan Sesudah *Strengthening***

	Moment (kNm)			Shear (kN)		
	Ultimate	Existing	Strengthening	Ultimate	Existing	Strengthening
Kondisi 1	3080,67	10444,14	16038	436,71	2905,41	4809
Kondisi 2	8489,47			1309,44		
Kondisi 3	9095,55			1289,35		

**Tabel 3. Serviceability Limit State Jembatan 2 Sebelum dan Sesudah Strengthening**

STRESS	Kondisi 1 (N/mm <sup>2</sup> )			Kondisi 2 (N/mm <sup>2</sup> )			Kondisi 3 (N/mm <sup>2</sup> )		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Serat atas pelat	-6,57	-	-37,41	-20,12	-	-114,22	-21,64	-	-106,48
Serat atas balok	-31,58	-	-20,87	-96,69	-	-63,72	-103,99	-	-59,40
Serat bawah balok	58,99	-	58,07	180,61	-	177,31	194,24	-	165,29
DEFLEKSI	Kondisi 1 (mm)			Kondisi 2 (mm)			Kondisi 3 (mm)		
Existing	29,12			157,15			127,72		
Strengthening	15,96			115,89			92,93		

Tegangan ijin baja :

bagian tekan = - 355 N/mm<sup>2</sup>, pada bagian tarik = 355 N/mm<sup>2</sup>

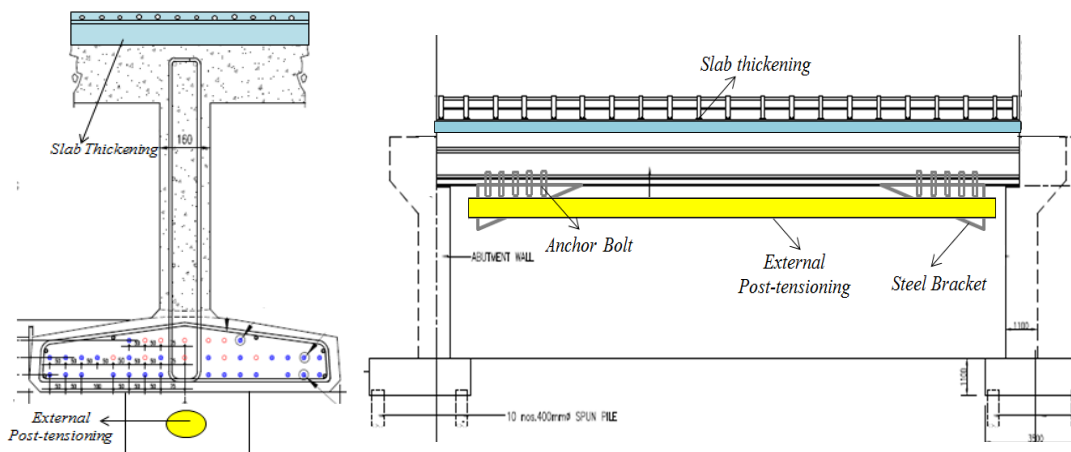
Tegangan ijin beton :

Bagian tekan = -15 N/mm<sup>2</sup>

Defleksi ijin = 118 mm

### 3. Jembatan 3

Jembatan 3 merupakan jembatan *Prestressed precast concrete* dengan 38 *strands*, panjang jembatan 20,1 meter. Kegagalan yang terjadi yaitu *stress* pada bagian tekan pelat beton (-16,95 N/mm<sup>2</sup>) melebihi *stress* yang diijinkan (16 N/mm<sup>2</sup>) dan defleksi (80,59 mm) yang melebihi defleksi ijin (80,40 mm). *Strengthening* berupa *external post-tensioning* dengan 3 *strands* diameter 0,6" (15 mm) dan *slab thickening* setebal 125 mm dengan  $f_{cu} = 40$  Mpa dan 1 *layer* tulangan D16-80. Berikut gambar jembatan 3 sebelum dan setelah *strengthening* (**Gambar 6**). Setelah dilakukan *strengthening*, *stress* yang terjadi masih melebihi sedikit batas yang ditentukan, tetapi terdapat persyaratan pada *British Standard* yang menunjukkan mutu beton yang diambil dengan cara *core-sampling* memiliki mutu beton yang lebih kecil dari mutu beton aslinya, sehingga batas untuk daerah tekan dan tarik dapat meningkat.



**Gambar 6. Strengthening pada Jembatan 3**

Pada **Tabel 4** dan **Tabel 5** dapat dilihat kapasitas jembatan 3 sebelum dan sesudah *strengthening*.

**Tabel 4. Ultimate Limit State Jembatan 3 Sebelum dan Sesudah Strengthening**

	Moment (kNm)			Shear (kN)		
	Ultimate	Existing	Strengthening	Ultimate	Existing	Strengthening
Kondisi 1	1040,80	3908	5636,05	216,39	996,51	1268,13
Kondisi 2	3018,85			728,48		
Kondisi 3	3832,47			797,35		

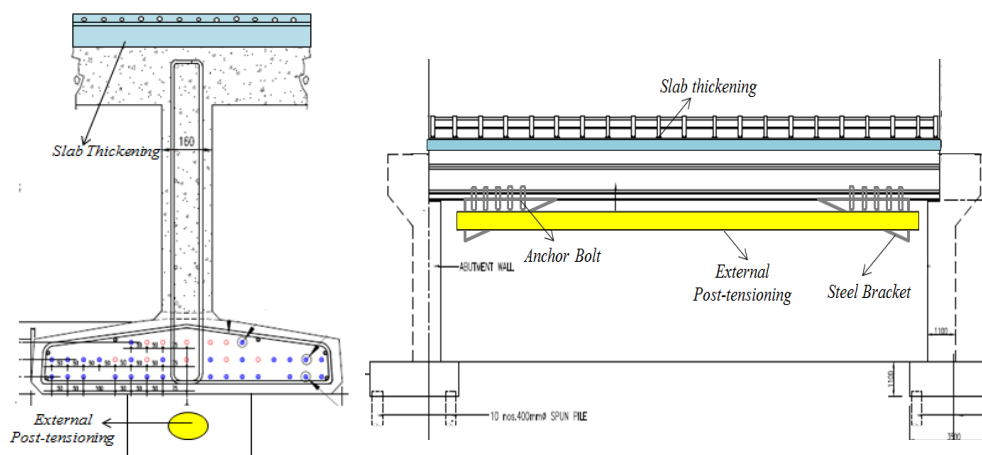
**Tabel 5. Serviceability Limit State Jembatan 3 Sebelum dan Sesudah Strengthening**

STRESS	Kondisi 1 (N/mm <sup>2</sup> )			Kondisi 2 (N/mm <sup>2</sup> )			Kondisi 3 (N/mm <sup>2</sup> )		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Serat atas pelat	-	0,63	0,60	-	-6,47	-5,75	-	-9,39	-9,42
Serat atas balok	-1,79	-1,19	-1,21	-12,54	-6,59	-6,03	-16,95	-8,81	-8,83
Serat bawah balok	-13,83	-16,02	-15,93	-3,63	-7,54	-8,35	0,56	-4,04	-3,95
<b>DEFLEKSI</b>	Kondisi 1 (mm)			Kondisi 2 (mm)			Kondisi 3 (mm)		
Existing	14,81			80,59			52,74		
Strengthening	2,34			46,90			28,43		

Tegangan ijin beton pada tekan = - 16 N/mm<sup>2</sup>, pada tarik = 2,85 N/mm<sup>2</sup>. Defleksi ijin = 80,40 mm.

#### 4. Jembatan 4

Jembatan 4 merupakan jembatan *Prestressed precast concrete* dengan 38 strands, panjang 20,8 meter. Kegagalan yang terjadi yaitu *stress* pada bagian tekan pelat beton (-18,41 N/mm<sup>2</sup>) melebihi *stress* yang diijinkan (16 N/mm<sup>2</sup>) dan defleksi (90,30 mm) yang melebihi defleksi ijin (83,20 mm). *Moment Capacity* (3913,25 kNm) terlampaui oleh beban luar (4104,05 kNm). *Strengthening* berupa *external post-tensioning* dengan 3 strands diameter 0,6” (15 mm) dan *slab thickening* setebal 125 mm dengan  $f_{cu} = 40$  Mpa dan 1 layer tulangan D16-80. Berikut gambar jembatan 4 sebelum dan setelah *strengthening* (**Gambar 7**).



**Gambar 7. Strengthening pada Jembatan 4**

Pada **Tabel 6** dan **Tabel 7** dapat dilihat kapasitas jembatan 4 sebelum dan sesudah *strengthening*.

**Tabel 6. Ultimate Limit State Jembatan 4 Sebelum dan Sesudah Strengthening**

	Moment (kNm)			Shear (kN)		
	Ultimate	Existing	Strengthening	Ultimate	Existing	Strengthening
Kondisi 1	1327,95	3913,25	5636,05	-	996,51	1268,30
Kondisi 2	3419,31			741,43		
Kondisi 3	4318,21			852,12		

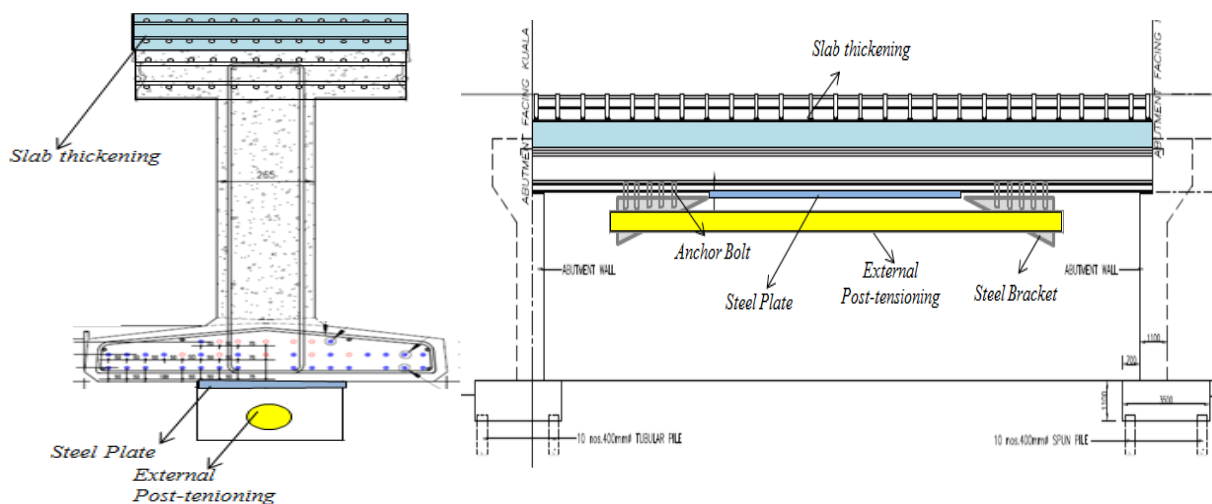
**Tabel 7. Serviceability Limit State Jembatan 4 Sebelum dan Sesudah Strengthening**

STRESS	Kondisi 1 (N/mm <sup>2</sup> )			Kondisi 2 (N/mm <sup>2</sup> )			Kondisi 3 (N/mm <sup>2</sup> )		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Serat atas pelat	-	0,43	0,40	-	-7,07	-7,11	-	-10,30	-10,33
Serat atas balok	-2,17	-1,36	-1,38	-13,53	-7,06	-7,08	-18,41	-9,52	-9,54
Serat bawah balok	-13,47	-15,97	-15,88	-2,69	-7,00	-6,91	1,94	-3,14	-3,05
DEFLEKSI	Kondisi 1 (mm)			Kondisi 2 (mm)			Kondisi 3 (mm)		
Existing	15,38			90,30			60,49		
Strengthening	5,28			54,97			35,20		

Tegangan ijin beton pada tekan = - 16 N/mm<sup>2</sup>, pada tarik = 2,85 N/mm<sup>2</sup>. Defleksi ijin = 83,20 mm.

### 5. Jembatan 5

Kegagalan yang terjadi yaitu *stress* pada bagian tekan pelat beton (-19,46 N/mm<sup>2</sup>) melebihi *stress* yang diijinkan (16 N/mm<sup>2</sup>) dan defleksi (104,14 mm) yang melebihi defleksi ijin (100,40 mm). *Momen Capacity* (5659,42 kNm) terlampaui oleh beban luar (6300,65 kNm). *Strengthening* berupa *external post-tensioning* dengan 3 *strands* diameter 0,6" (15 mm), *slab thickening* setebal 125 mm dengan  $f_{cu} = 40$  Mpa dan 2 *layer* tulangan D16-75, *steel plate* dengan lebar 400 mm dan tebal 10 mm dipasang sepanjang bagian bawah balok. Berikut gambar jembatan 5 sebelum dan setelah *strengthening* (**Gambar 8**)



**Gambar 8. Strengthening pada Jembatan 5**

Pada **Tabel 8** dan **Tabel 9** dapat dilihat kapasitas jembatan 5 sebelum dan sesudah *strengthening*.

**Tabel 8. Ultimate Limit State Jembatan 5 Sebelum dan Sesudah Strengthening**

	Moment (kNm)			Shear (kN)		
	Ultimate	Existing	Strengthening	Ultimate	Existing	Strengthening
Kondisi 1	2258,08	5659,42	8716,71	373,95	1326,47	1446,19
Kondisi 2	5041,22			918,05		
Kondisi 3	6612,50			1099,43		

**Tabel 9. Serviceability Limit State Jembatan 5 Sebelum dan Sesudah Strengthening**

STRESS	Kondisi 1 (N/mm <sup>2</sup> )			Kondisi 2 (N/mm <sup>2</sup> )			Kondisi 3 (N/mm <sup>2</sup> )		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Serat atas pelat	-	1,29	1,24	-	-7,99	-8,04	-	-12,71	-12,76
Serat atas balok	-13,00	0,12	0,09	-13,52	-7,63	-7,67	-19,46	-11,57	-11,61
Serat bawah balok	-9,54	-11,60	-11,53	0,56	-4,00	-3,93	6,25	-0,13	-0,07
DEFLEKSI	Kondisi 1 (mm)			Kondisi 2 (mm)			Kondisi 3 (mm)		
Existing	22,54			101,41			104,14		
Strengthening	9,98			62,88			46,47		

Tegangan ijin beton pada tekan = - 16 N/mm<sup>2</sup>, pada tarik = 2,85 N/mm<sup>2</sup>. Defleksi ijin = 100,40 mm.

## 5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan perhitungan pada kelima jembatan ditemukan bahwa kelima jembatan memerlukan *strengthening*. Setelah *strengthening* dilakukan kelima jembatan dapat menanggung beban *live load* dan beban dari *special case loading*. Ada beberapa saran dari penelitian ini, yang pertama dapat dilakukan verifikasi beban dengan memberikan *load test* pada kelima jembatan. Kedua, adanya pemeriksaan struktural bagian bawah jembatan (pondasi maupun *bearing*). .

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada VSL Brunei atas data dan konfigurasi kelima jembatan.

## 7. DAFTAR REFERENSI

British Standards Institution. (2000). *Code of Practice for Design of Concrete Bridges*. British Standards Institution, London, BS 5400: Part 4.