Studi analisis kapasitas nominal pelat komposit beton-Dek baja METODe ULITMIT, TEGANGAN kerja dan sdi-ansi 2017

Hariadi Yulianto1

1 Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia,Yogyakarta, Indonesia

Email: hariadi.yulianto@uii.ac.id

**ABSTRACT**

The most efficient method of slab construction today is concrete-steel deck composite slab, because there is no need to remove the deck after concrete casting process. Nevertheless, reinforced concrete standard code (SNI 2847:2019) not emphasized a specific method to calculated the nominal capacity of concrete-steel deck slab. The code is basically embraced the plastic method analysis which is calculated the nominal capacity of the structure on ultimate condition. However, on several laboratories test reveal a slip behavior between concrete and steel deck occurred before the slab reach its ultimate condition. Therefore, alternative methods are needed to analyze the nominal capacity of concrete-steel deck slab. This study compares 3 different nominal capacity analysis methods to a laboratory test result. Those methods are ultimate, working stress, and SDI-ANSI (2017). The result on average error value of those 3 methods are compare to laboratory test are resulted as 35,57%, 9,48%, and -10,31% for ultimate, working stress, SDI-ANSI (2017) consecutively. So, the working stress method is the most accurate methods, but SDI-ANSI (2017) is the conservative one, while the ultimate method is not recommended to analyze the nominal capacity of concrete-steel deck slab.

**Key words:** Concrete-steel deck composite slab, nominal capacity, Ultimate, Working Stress, SDI-ANSI 2017.

# PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Pelat lantai komposit beton-dek baja merupakan metode konstruksi pelat lantai yang paling efesien bahkan lebih efisien daripada sistem pelat pra-cetak metode *half slab* (Fastaria & Putri, 2014). Hal ini dikarenakan tidak perlunya melepas dek baja gelombang pasca proses pengecoran beton yang berfungsi sebagai pengganti tulangan positif sekaligus sebagai cetakan lantai (Rai Widhiawati, Yana, & Asmara, 2010). Namun demikian, dalam standar struktur beton bertulang (SNI 2847:2019) belum terdapat tatacara yang spesifik mengenai perhitungan kapasitas nominal lentur dari pelat komposit beton-dek baja.

Pada dasarnya, SNI 2847:2019 menggunakan metode analisis plastis untuk menganalisis kapasitas nominal struktur berdasarkan kondisi *ultimate*-nya (dek baja telah leleh sepenuhnya), namun dalam beberapa penelitian mengenai pelat komposit beton-dek baja yang telah dilakukan oleh Muliater dkk (2018), Irnada dkk (2014), Amalia dkk (2014), serta Kadir & Sudarmadi (2008) mengungkapkan adanya fenomena slip antara beton dengan dek baja sebelum kondisi *ultimate* tercapai. Oleh karena itu diperlukan metode alternatif lainya untuk menganalisis kapasitas nominal dari pelat komposit beton-dek baja.

Alternatif selain metode *ultimate* untuk menganalisis kapasitas nominal pelat beton-dek baja adalah metode tegangan kerja dan SDI-ANSI (*Steeldeck Institue-American National Standard Institute*) 2017. Kedua Metode ini menganalisis kekuatan lentur pelat komposit beton-dek baja berdasarkan kondisi tegangan leleh (*fy*) dari material dek baja pada serat terluarnya (*first yield condition)*. Ketiga metode ini, (metode *ultimate*, tegangan kerja, dan SDI-ANSI) belum menjadi acuan standar struktur beton bertulang di Indonesia. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk melakukan validasi hasil analisis kapasitas nominal lentur pelat komposit beton-dek baja dari ketiga metode tersebut terhadap hasil pengujian laboratorium di Indonesia, sehingga dapat dijadikan dasar dalam pengembangan standar struktur beton bertulang Indonesia di masa yang akan datang.

# KAPASITAS nominal LENTUR PELAT komposit beton-dek baja

## Metode *Ultimate*

Asumsi yang digunakan pada metode *ultimate* pada kondisi momen positif adalah dek baja menahan gaya tarik dan beton akan menahan gaya tekan seperti yang ditunjukkan Gambar 1 (Siregar, 2010).



Gambar 1. Asumsi penampang dan gaya-gaya dalam pelat beton-dek baja (Siregar, 2010)

Gaya tarik yang bekerja pada penampang *dek baja* diasumiskan memiliki resultan pada titik beratnya (½*tc*) dan dek baja berada dalam kondisi leleh sepenuhnya (*plastic condition*) sehingga kapasitas nominalnya adalah

$M\_{n}=A\_{s}×f\_{y}\left(d\_{1}-\frac{A\_{s}×f\_{y}}{2×0,85×f\_{c}^{'}×b}\right)×10^{-6}$ (1)

dengan:

*Mn =* kapasitas lentur(kNm),

*As =* Luas penampang dek baja(mm2),

*fy* = tegangan leleh dek baja(MPa),

*d1 =* jarak antara titik berat baja dek sampai ke serat terluar tekan,

*d1 = t - ½ tc = teff* ,

t = adalah tebal pelat (mm),

*fc’ =* mutu beton (MPa),

*b =* lebar satuan pelat (1000 mm).

## Metode Tegangan Kerja

Prinsip dari metode tegangan kerja adalah menganalisis kapasitas lentur pelat komposit beton-dek baja pada kondisi tegangan leleh (*fy*) dek baja pada serat terluarnya (*first yield condition)*. Pada metode ini, penampang pelat berperilaku komposit antara beton-dek baja (penampang transformasi) namun dengan kondisi beton tarik telah retak (*cracked section properties*). Asumsi penampangnya adalah sebagai berikut.



Gambar 2. Asumsi penampang komposit beton-dek baja

kapasitas nominalnya adalah:

$M\_{n}=\frac{f\_{y}×I\_{t}}{n×(h-y\_{cc})}×10^{-6}$ (2)

Dengan :

*Mn =* kapasitas lentur (kNm),

*fy* = tegangan leleh dek baja(MPa),

*h =* ketebalan pelat beton total (mm),

*ycc =* garis netral penampang retak (mm),

*It =* innersia penampang retak (mm4),

n = rasio modulus elastisitas dek baja terhadap beton (*Es/Ec*).

### Inersia Penampang Komposit Retak

Perhitungan inersia penampang retak berawal dari perhitungan tinggi garis netralnya (*ycc*). Penampang beton tarik dianggap tidak bekerja sehingga letak garis netral (*ycc*) ditentukan dengan menyamakan statis momen luasan beton tekan dan luas dek baja tarik transformasi (n×*As*). Dengan penampang sama seperti Gambar 2, maka nilai *ycc* adalah berikut ini:

$b×y\_{cc}×\frac{1}{2}y\_{cc}=n×A\_{s}×(d-y\_{cc})$ (3)

nilai *ycc* diperoleh dengan mencari akar-akar persamaan dari persamaan (3). Setelah diperoleh nilai *ycc,* maka inersia penampang komposit retak adalah:

*I*t = $\frac{1}{3}×b×y\_{cc}^{3}$+ *n ×* ($I\_{sd}+ A\_{s}×y\_{cs}^{2}$)(4)

Dengan :

*I*sd= inersia penampang dek baja(mm4).

## Metode SDI-ANSI

Metode SDI-ANSI menghitung kekuatan lentur pelat beton-dek baja per 12 in lebar pelat dengan asumsi penampang sama seperti Gambar 2. Kapasitas nominalnya juga dihitung pada kondisi *first yield* dengan direduksi faktor “k” yang merupakan pengaruh dari tipe sirip dek baja (*deck embossment),* sehingga kapasitas nominalnya adalah (SDI-ANSI, 2017):

$M\_{n}=k×f\_{y}×\frac{I\_{cr}}{\left(h-y\_{cc}\right)}$ (5)

Dengan :

$I\_{cr}=\frac{b}{3n}×y\_{cc}^{3}+A\_{s}×y\_{cs}^{2}+I\_{sf}$, (6)

*Isf* = inersia penampang dek baja (inch4),

$y\_{cc}=d×\left(\sqrt{2×ρ×n+\left(ρ×n\right)^{2}}-ρn\right)$, (7)

$ρ= \frac{A\_{s}}{b×d}$, (8)

K = K3/K1 ≤ 1,0,(9)

K3 = 0,87+0,0688×N-0,00222×N2 ≤ 1,4, (10)

N adalah jumlah gelombang dek baja dalam arah lebar pelat ,

K1 adalah faktor tipe sirip dek baja, produk SMARTDECK memiliki tipe sirip mendekati tipe 1 dari SDI-ANSI sehingga nilai K1 (SDI-ANSI, 2017):

K1 = $0,07×\frac{D\_{w}^{0,5}}{p\_{h}}$, (11)

Dw = lebar puncak gelombang dek baja (in),

Ph = ketinggian sirip dek baja (in).

# DATA SKUNDER penelitian

Data skunder yang digunakan dalam studi ini berasal dari publikasi yang ditulis oleh Kadir dan Sudarmadi (2008). Benda uji lentur pelat komposit beton-dek bajasejumlah3 buah (benda uji A, B, dan C) dengan dimensi dek baja2,01m×1000mm×0,8mm (0,7 mm *base metal* dan 0,1 mm *galvanized*) mutu baja *fy* = 400 MPa dengan εy = 2000 με. Tebal pelat komposit beton-dek baja adalah 13 cm. Tulangan susut Ø 10 mm dipasang pada sisi atas dan bawah penampang. Properti penampang dek baja mengacu pada produk SMARTDECK yang ditunjukkan pada Tabel 1. Mutu beton pelat diuji dari *hammer test* dengan hasil berturut-turut untuk benda Uji A, B, dan C : 16 MPa, 12,3 MPa, dan 12,7 MPa.

Pelat diuji dengan pengujian lentur murni menggunakan pembebanan 2 titik dengan pengukuran lendutan dan regangan pada tengah bentang pelat. Pembebanan dilakukan dengan jarak 705 mm dari tepi tumpuan dan jarak antar beban titik 500 mm seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 4.

Hasil pengujian berupa hubungan beban-lendutan ditunjukkan pada Gambar 7 yang menunjukkan seluruh benda uji mengalami slip. Hal ini ditunjukkan dengan adanya penurunan beban uji secara tiba-tiba diikuti dengan lendutan balik ke atas. Kapasitas nominal pelat komposit beton-dek baja hasil pengujian diambil sebagai momen lentur akibat gaya uji pada kondisi slip.



Gambar 3. Penampang bendauji (Kadir & Sudarmadi, 2008)

½ P

½ P

1910

705

705

500

Gambar 4. Ilustrasi setup pengujian lentur pelat (Kadir & Sudarmadi, 2008).



Gambar 5. Dimensi SMARTDECK (Blue Scope Lysagth Indonesia, 2008)

Tabel 1. Properti penampang SMARTDECK (Blue Scope Lysagth Indonesia, 2008)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Unit | Simbol | *Base Metal Thickness (BMT)* (mm) |
| 0,7 | 1,0 | 1,2 |
| *Area* | mm2/m | A | 889, 69 | 1143,75 | 1523,96 |
| *Inertia moment* | mm4/m | Ix | 409687,50 | 526562,50 | 701979,17 |
| *Section Modulus* | mm3/m | Zx | 15156,25 | 19479,17 | 25958,33 |
| *Mass* | Kg/m2 | W | 7,35 | 9,34 | 12,33 |

Tabel 2. Hasil uji lentur pelat komposit beton-dek baja(Kadir & Sudarmadi, 2008)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Jenis uji | Beban uji (kN) | Reg. maks pada *metal deck* (με) | Reg. maks beton (με) | Lendutan maks (mm) | Ekivalensi beban merata (kg/m2) |
| Pengecoran beton |  |  |  |  |  |
| Benda Uji A |  | 367 |  | -6,69 |  |
| Benda Uji B |  | 342 |  | -7,06 |  |
| Benda Uji C |  | 367 |  | -11,08 |  |
| Rata-rata |  | 358,6 |  | -8,28 |  |
| Benda Uji A |  |  |  |  |  |
| -*Slip* | 74,26 | 1821 | -1026 | -7,4 | 5660 |
| -Maksimum | 93,47 | 2023 | -2079 | -20,19 | 7124 |
| Benda uji B |  |  |  |  |  |
| -*Slip* | 63,97 | 1574 | -1083 | -7,85 | 4875 |
| -Maksimum | 73,61 | 2088 | -2492 | -22,17 | 5610 |
| -benda uji C |  |  |  |  |  |
| -slip | 53,35 | 1227 | -837 | -6,17 | 4066 |
| -maskimum | 100,53 | 3382 | -3876 | -29,12 | 7662 |
| Rata-rata |  |  |  |  |  |
| -slip | 63,86 | 1540 | -982 | -7,14 | 4867 |
| -maksimum | 89,20 | 2497 | -2815 | -23,82 | 6799 |



(a)

Gambar 6. Beban-lendutan hasil uji lentur: (a) benda uji A (Kadir & Sudarmadi, 2008)

 

(b)

(c)

Gambar 7. Beban-lendutan hasil uji lentur: (b) benda uji B, (c) benda uji C
 (Kadir & Sudarmadi, 2008)

# ANALISIS DAN PEMBAHASAN

## Modulus Elastisitas Beton

Nilai modulus elastisitas beton pada benda uji pelat komposit beton-dek baja (*Ec)* ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (BSN, 2019):

$E\_{c}=4700\sqrt{f\_{c}'}$ (11)

Dengan

*fc’ =* kuat tekan beton (MPa).

*fc’* dari *hammer test* dimasukan ke dalam rumus 11 dan dihitung rasio modulus (n) terhadap modulus elastisitas baja, hasilnya sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai *Ec* dan rasio modulus

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Benda Uji | *fc*’(MPa) | *Ec* (MPa) | n (Es/Ec) |
| Pelat A | 16,0 | 18800,0 | 10,64 |
| Pelat B | 12,3 | 16483,5 | 12,13 |
| Pelat C | 12,7 | 16749,4 | 11,94 |

## Properti Penampang Retak Pelat Komposit Beton-Dek Baja

### Metode tegangan kerja

Dengan asumsi penampang komposit seperti Gambar 2 serta dimensi mengacu pada Gambar 3, Gambar 5, dan Tabel 1, titik berat serta tebal efektif (*d*) dari pelat komposit ditunjukkan pada Tabel 4. Kemudian, seluruh data pada Tabel 4 dan Tabel 3 dimasukkan ke dalam rumus (3) diperoleh persamaan kuadrat *ycc* untuk pelat A, B, dan C dengan akar persamaan *ycc* ditunjukkan pada Tabel 5. Selanjutnya dari nilai *ycc*, rasio modulus (n), luas tampang dek baja (*As*), serta inersia dek baja (*Isd*) dimasukkan ke dalam rumus (4) diperoleh inersia pelat komposit retak (*It*).

Tabel 4. Analisis penampang

|  |  |
| --- | --- |
| Parameter | Analisis |
| Titik berat dek baja | ½ × 51 = 25,5 mm |
| Tebal efektif (d) | d = 130-25,5=104,5 mm |
| Lebar pelat  | b = 1000 mm |
| Luas tampang dek  | *As* = 889, 69 mm2  |
| Inersia dek baja | *Isd =* 409687,5 mm4 |

Tabel 5. Hasil analisis inersia pelat

|  |  |
| --- | --- |
| Parameter | Benda Uji Pelat |
| A | B | C |
| *ycc* (mm) | 36,01  | 37,92 | 37,68 |
| *d* (mm) | 104,5 | 104,5 | 104,5 |
| *ycs* (mm) | 68.49 | 66.58 | 66.82 |
| b (mm) | 1000 | 1000 | 1000 |
| n | 10,64 | 12,13 | 11,94 |
| *As* (mm2) | 889, 69 | 889, 69 | 889, 69 |
| *Isd* (mm4) | 409687,5 | 409687,5 | 409687,5 |
| *It* (mm4) | 64,321×106 | 70,998×106 | 70,157×106 |

### Metode SDI-ANSI

Pada metode SDI-ANSI, perhitungan dilakukan per 12 in lebar pelat, maka perlu dilakukan penyesuaian sebagai berikut:

Tabel 6. Analisis penampang SDI-ANSI

|  |  |
| --- | --- |
| Parameter | Analisis |
| lebar pelat | B= 12 in |
| luas tampang dek baja | *As* $=\frac{869,69×12×25,4}{25,4×1000}=0,42$ in2 |
| inersia dek  | $I\_{sf}=\frac{409687,5×12×25,4}{1000×416231}=0,3$ in4 |
| tebal efektif  | *d*=104,5/25,4 = 4,134 in |
| rasio *ρ* | *ρ =*$\frac{0,42}{12×4,134}$*=* 0,0085 |

Dengan modulus elastisitas baja (*Es*) =29.500 ksi maka diperoleh nilai rasio modulus (n) sebagai berikut:

Tabel 7. Nilai *Ec* dan rasio modulus

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Benda Uji | *Ec* (MPa) | *Ec* (ksi) | n (Es/Ec) |
| Pelat A | 18800,0 | 2726,61 | 10,82 |
| Pelat B | 16483,5 | 2390,65 | 12,34 |
| Pelat C | 16749,4 | 2429,21 | 12,14 |

Dengan memasukan data Tabel 6 danTabel 7 ke dalam rumus (7), diperoleh garis netral penampang (*ycc\*). Kemudian nilai *ycc*, (*As*), (*Isf*), serta “n” yang dimasukkan ke dalam rumus (6) diperoleh inersia penampang komposit retak (*Icr*) sebagai berikut:

Tabel 8. Hasil analisis inersia pelat SDI-ANSI

| Parameter | Benda Uji Pelat |
| --- | --- |
| A | B | C |
| *ycc* (in) | 1,43  | 1,51 | 1,50 |
| *d* (in) | 4,134 | 4,134 | 4,134 |
| *ycs* (in) | 2,70 | 2,63 | 2,64 |
| b (in) | 12 | 12 | 12 |
| n | 10,82 | 12,34 | 12,14 |
| *As* (in2) | 0,42 | 0,42 | 0,42 |
| *Isf* (in4) | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| *Icr* (in4) | 4,45 | 4,31 | 4,33 |

## Analisis Momen lentur Pelat Komposit Beton-Dek Baja Hasil Uji Lab

Berat dek 7,35 kg/m2 (Blue Scope Lysagth Indonesia, 2008), luas penampang pelat komposit beton-dek baja diperoleh dari luas penampang pelat utuh dikurangi luas trapesium yang yang hilang (akibat dek baja gelombang) adalah *A*= 105520 mm2 (Gambar 3), sehingga berat pelat komposit beton-dek baja adalah:

Dek baja $=7,35×\frac{1910×1000×9,81}{10^{9}}=0,137 kN$,

Pelat beton = $24×\frac{105520 × 1910}{10^{9}}$ = 4,837 kN,

Beban merata *equivalent*

 $q\_{DL}=$ $\frac{\left(4,837+0,137\right)}{1,910}=2,60$ kN/m,

Momen akibat berat sendiri

$M\_{DL}=\frac{1}{8}×2,60×1,91^{2}=1,187$ kNm.

Berdasarkan setup pengujian pada Gambar 4 maka momen lentur akibat beban uji adalah:

$M\_{LL}= \frac{\frac{1}{2}P×705}{1000}$ (kNm) (12)

Dengan memasukkan nilai beban slip ke dalam rumus (12) dan ditambah dengan momen lentur akibat berat sendiri, hasilnya sebagai berikut:

Tabel 10. Momen lentur hasil pengujian

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No | Benda Uji | Beban *Slip* (kN) | *MDL+MLL*(kNm) |
| 1 | A | 74,26 | 27,36 |
| 2 | B | 63,97 | 23,74 |
| 3 | C | 53,35 | 19,99 |
| 4 | Rata-Rata | 63,86 | 23,70 |

## Analisis Kapasitas Nominal Lentur Pelat Komposit Beton-Dek baja

## Metode *ultimate*

Kapasitas nominal lentur pelat dengan metode *ultimate* menggunakan rumus (1), dengan mutu beton mengacu pada Tabel 3, lebar pelat (b) = 1000 mm, tinggi efektif (*d1*) = 104,5 mm luas tampang dek baja(As) *=* 889,69 mm2 dan Mutu baja (*fy*) = 400 MPa, adalah sebagai berikut:

Tabel 11. Momen lentur *ultimate*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| No | Benda Uji | Mn (kNm) |
| 1 | A | 32,53 |
| 2 | B | 31,13 |
| 3 | C | 31,32 |
| 4 | Rata-Rata | 31,74 |

## Metode tegangan kerja

Analisis kapasitas nominal lentur metode tegangan kerja dengan memasukkan nilai inersia komposit (*It*), rasio modulus (n), tebal pelat (*h*) serta mutu dek baja *fy* =400 MPa ke dalam rumus (2), hasilnya adalah sebagai berikut:

Tabel 12. Momen lentur tegangan kerja

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| No | Benda Uji | Mn(kNm) |
| 1 | A | 25,73 |
| 2 | B | 25,42 |
| 3 | C | 25,46 |
|  | Rata-Rata | 25,54 |

## Metode SDI-ANSI

Berdasarkan brosur produk SMARTDECK, sirip pada dek baja termasuk katergori sirip tipe 1 pada SDI-ANSI dengan lebar puncak gelombak dek *Dw*=122,5 mm dan tinggi sirip dek *Ph* = 3,0 mm, jumlah glombang searah lebar pelat berdasarkan Gambar 5 (N)= 3 Faktor K3 dengan memasukan nilai N= 3 ke dalam rumus (10) diperoleh K3 = 1,06. Selanjutnya dengan memasukan nilai *Dw* dan*Ph* ke dalam rumus (11) diperoleh nilai K1= 1,302. Kemudian nilai K3 dan K1 dimasukan ke rumus (9) diperoleh faktor K = 0,812. Dengan memasukkan nilai inersia komposit retak (*Icr*), nilai “n”, tebal pelat (*h*), mutu baja (*fy*) dan faktor K hasil perhitungan sebelumnya ke dalam rumus (5) diperoleh kapasitas nominal lentur pelat komposit beton-dek baja per 12 in lebar pelat sebagai berikut:

Tabel 13. Momen lentur SDI-ANSI

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| No | Benda Uji | Mn (kipin) |
| 1 | A | 70,047 |
| 2 | B | 69,200 |
| 3 | C | 69,305 |
|  | Rata-Rata | 70,047 |

jika dikonversi ke dalam satuan SI 1 meter lebar pelat maka hasilnya sebagai berikut:

Tabel 14. Momen lentur SDI-ANSI

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| No | Benda Uji | Mn(kNm) |
| 1 | A | 25,97 |
| 2 | B | 25,66 |
| 3 | C | 25,69 |
|  | Rata-Rata | 25,07 |

## Validasi metode analisis kapasitas lentur

Metode analisis kapasitas lentur pelat komposit beont-dek baja divalidasi dengan membandingkannya terhadap hasil uji lentur laboratorium. Hasilnya berupa persentase nilai error hasil analisis terhadap hasil uji laboratorium yang ditunjukkan pada Tabel 15. Nilai positif (+) menunjukkan nilai kapasitas lentur hasil analisis lebih besar dari hasil uji laboratorium, sebaliknya nilai negatif (-) menunjukkan nilai hasil analisis lebih kecil dari hasil uji lentur.

Secara umum terlihat bahwa metode tegangan kerja paling akurat dengan nilai rerata error paling kecil, namun metode SDI-ANSI paling konservatif dengan nilai error yang negatif (hasil teoritis lebih rendah dari hasil uji lab).

Jika dilihat nilai regangan dek baja pada Tabel 2 saat beban slip, regangan total (berat beton + beban uji) pelat A, B, dan C berturut turut adalah: εs= 2188με, εs= 1916 με, dan εs=1594 με. Hal ini berarti dek baja pada pelat A telah leleh karena (εs) > εy (εy= 2000 με). Pelat B hampir mencapai leleh, sedangkan pelat C belum leleh. Namun jika melihat nilai error metode tegangan kerja lebih rendah dari metode *ultimate*, maka dapat disimpulkan kondisi yang terjadi pada benda uji adalah kondisi *first yield* (dek baja leleh pada serat terluarnya saja), bukan kondisi plastis (seluruh penampang dek baja leleh).

Tabel 15 menunjukan pola nilai error antara metode SDI-ANSI dan tegangan kerja berkebalikan. Jika metode tegangan kerja akurat pada mutu beton tertinggi kemudian berturut-tutut semakin tidak akurat untuk mutu beton rendah (-5,97%~27,33%), metode SDI-ANSI sebaliknya (-22,97%~4,31%). Hal ini sejalan dengan kondisi dek baja pelat A yang telah mencapai kondisi *first yield* dan pelat B yang hampir mencapai *first yield*. Inilah mengapa metode tegangan kerja cukup akurat pada pelat A dan B karena kondisinya mendekati asumsi perhitungan *(first yield)*, sedangkan pada pelat C yang jauh dari kondisi *first yield* metode tegangan kerja menjadi tidak akurat.

Adapun metode SDI-ANSI, faktor “K” pada perhitungannya mereduksi kekuatan lentur *first yield* dari pelat hingga 20% (nilai K= 0,8), sehingga metode ini akurat pada benda uji C yang terjadi slip jauh sebelum kondisi *first yied*, sedangkan benda uji A telah mencapai *first yield* dan B hampir mencapai *first yield*. metode ini menjadi tidak akurat. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa faktor “K” pada SDI-ANSI mengakomodir fenomena slip antara beton dan dek baja sebelum tercapinya kondisi *first* yield . Faktor “K” inilah yang membuat hasil perhitungan metode SDI-ANSI paling konservatif dengan rata-rata error -10,3%.

Tabel 15. Nilai error hasil analisis terhadap hasil uji laboratorium

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Benda Uji** |  | **Mutu beton (MPa)** | **Momen lentur uji (kNm)** | **Momen nominal** |
| **Regangan dek baja (με)** | ***ultimate* (kNm)** | **Error (%)** | **Tegangan kerja (kNm)** | **Error (%)** | **SDI-ANSI (kNm)** | **Error (%)** |
| A | 2188 | 16,0 | 27,36 | 32,53 | 18,89 | 25,73 | -5,97 | 21,08 | -22,97 |
| B | 1916 | 12,3 | 23,74 | 31,13 | 31,15 | 25,42 | 7,08 | 20,82 | -12,28 |
| C | 1594 | 12,7 | 19,99 | 31,32 | 56,67 | 25,46 | 27,33 | 20,85 | 4,31 |
| **Rata-Rata** |  | **13,7** | **23,70** | **31,64** | **35,57** | **25,54** | **9,48** | **21,08** | **-10,31** |

Hasil analisis ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Muliater, Tarigan, & Roestyanyo (2018). Kondisi *ultimate* (plastis) juga tidak tercapai pada pengujian laboratorium mereka akibat terjadinya slip antara beton dan dek bajanya. Namun dalam analisis kapasitas lentur pelat menggunakan metode SDI-ANSI (2011), menghasilkan nilai kapasitas lentur yang lebih kecil dari hasil uji laboratorium (Muliater, Tarigan, & Roesyanto, 2018). Hal menunjukkan metode SDI-ASNI (2011) juga mengakomodir kondisi slip yang terjadi sebelum kondisi *ultimate* walaupun SDI-ANSI (2011) belum menggunakan faktor “K” seperti SDI-ANSI (2017) yang digunakan dalam studi ini.

Jika dihubungkan antara mutu beton dengan regangan pada dek baja, terlihat hanya mutu beton 16 MPa yang mampu mempertahankan lekatan antara beton dan dek baja hingga kondisi *first yield* sedangkan mutu beton 12,3 dan 12,7 MPa tidak. Ini berarti semakin tinggi mutu beton, semakin kuat lekatan antara beton-dek bajanya. Jika pelat komposit menggunakan mutu beton sesuai syarat minimum SNI 2847:2019 yaitu 20 MPa, diharapkan lekatan antara beton-dek baja bisa bertahan hingga kondisi *first yield* sehingga metode perhitungan tegangan kerja akan sangat akurat. Namun hal ini perlu penelitian lebih lanjut di laboratorium

## Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)

Evaluasi nilai faktor reduksi kuat lentur (ϕ) juga dilakukan pada studi analisis ini. Tujuan nya adalah untuk mendapatkan angka faktor keamanan yang *reliable* antara kapasitas nominal teoritis terhadap hasil uji laboratorium. Menurut Ravindra dan Galambos (1978) dalam Segui (2007) faktor reduksi kekuatan ditrumuskan sebagai berikut:

ϕ = $\frac{R\_{m}}{R\_{n}}e^{\left(-0,55×β×V\_{R}\right)}$ (13)

dengan:

*Rm* = nilai rata-rata *resistance* hasil pengujian,

*Rn* = nilai nominal *resistance* teoritis,

 = index r*eliability* atau *safety index,*

*VR* = koefisien variasi dari *resistance,*

*VR* = rasio standar deviasi terhadap nilai rata-rata) r*esistance* $\left(\frac{S}{\overbar{x}}\right)$.

Berdsarkan standar AISC dalam segui (2007) nilai *safety index* (dalam metode LRFD pada kombinasi beban (D+L) adalah = 3,0.

Berdasarkan Tabel 15 hasil analisis statistika menghasilkan rata-rata kekuatan lentur hasil uji (*Resistance*) *Rm* = 23,70 kNm dan standar deviasi Sd= 3,01 sehingga *VR* = $\frac{3,01}{23,70}=$0,127.

Sebagai contoh diambil perhitungan metode tegangan kerja. Nilai rata-rata resistensi teoritis adalah (*Rn*) = 25,85 kN sehingga faktor reduksi (ϕ) untuk metode tegangan kerja pada pengujian ini adalah:

ϕ = $\frac{23,70}{25,58}e^{-0,55×3×0,127}=0,75$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai ϕ untuk metode-metode lainya sebagai berikut:

Tabel 16. Faktor reduksi hasil analisis

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Faktor reduksi** | **Tegangan kerja** | **SDI-ANSI** | ***Ultimate*** |
| ϕ | 0,75 | 0,92 | 0,61 |

Nilai faktor reduksi (ϕ) metode tegangan kerja dan *ultimate* hasil studi ini lebih rendah daripada rekomendasi dari SDI-ANSI (2017) sebesar ϕ= 0,85. Hal ini karena kedua metode tersebut menghasilkan prediksi kuat lentur yang lebih tinggi dari hasil pengujian, sehinggga diperlukan faktor reduksi yang lebih rendah agar menjamin keamanan struktur. Adapun metode SDI-ANSI menghasilkan nilai kapasitas nominal yang lebih rendah dari pengujian sehingga dengan nilai ϕ= 0,92 sekalipun sudah aman.

Jika dibandingkan dengan SNI 2847:2019 yang menetapkan ϕ= 0,65 untuk struktur lentur dengan regangan baja tarik terluar (*εt*)*≤ εy* (*first yield*), maka metode tegangan kerja dapat memenuhi peryaratan SNI sedangkan metode *ultimate* tidak. Hal ini karena nilai ϕ tegangan kerja masih lebih tinggi dari 0,65, sehingga jika digunakan nilai ϕ= 0,65 akan semakin aman. Sebaliknya, metode *ultimate* menghasilkan nilai ϕ yang lebih rendah dari 0,65 sehingga jika digunakan nilai ϕ sesuai SNI 28847:2019 struktur masih tidak aman. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa metode *ultimate* tidak dapat digunakan untuk analisis kapasitas nominal pelat komposit beton-dek baja.

Adapun metode SDI-ANSI dapat digunakan sebagai alternatif namun akan menghasilkan struktur yang lebih boros karena hasil analisisnya yang sangat konsevatif.

# KESIMPULAN

Berdasarkan data-data dan pembahasan maka kesimpulan analisis kapasitas nominal pelat komposit beton-dek baja dengan metode *ultimate*, tegangan kerja dan SDI-ANSI adalah sebagai berikut:

1. Metode tegangan kerja paling akurat dalam menganalisis kapasitas nominal lentur pelat komposit beton-dek baja sehingga metode ini direkomendasikan,
2. Faktor reduksi kekuatan yang dapat digunakan untuk metode tegangan kerja adalah ϕ= 0,65 sesuai SNI 2847:2019,
3. Metode *ultimate* tidak dapat digunakan untuk menganalisis kapasitas nominal pelat komposit beton-dek baja,
4. Metode SDI-ANSI dapat digunakan sebagai alternatif dengan faktor reduksi ϕ= 0,85.

# SARAN

Berdasarkan kesimpulan dari studi analisis ini, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Gunakan metode tegang kerja untuk menganalisis kapasitas lentur nominal pelat komposit beton-dek baja dengan nilai ϕ=0,65 sesuai SNI 2847:2019,
2. Perlu pengujian pelat komposit beton-dek baja tanpa penghubung geser dengan mutu beton minimal 20 MPa.

# daftar PUSTAKA

# Works Cited

Amalia, Z., Huzaim, & S, B. (2014). “*Analisis Perilaku Pelat Komposit Floor Deck Beton Ringan Busa dengan kuat tekan 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa”* Banda Aceh: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syah Kuala Darussalam.

Blue Scope Lysagth Indonesia. (2008). *SMARTDEK.* Diambil kembali dari Blue Scope Lysagth Indonesia: http://www.tatabluescopesteel.com/SiteData/pdf/Decking%20smartdek\_.pdf

BSN. (2019). “*Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2019”.* Jakarta: BSN.

Fastaria, R., & Putri, Y. E. (2014). “Analisa Perbandingan Metode *Halfslab* dan Pelat Komposit Bondek Pekerjaan Struktur Plat Lantai Proyek Pembangunan Apartement De Papilio Tamansari Surabaya”. *Jurnal Teknik ITS*, hal. 41-46.

Irnada, C. R., huzaim, & Bermansyah, S. (2014). “*Analisis Perilaku Pelat Lantai Komposit Floor Deck Beton Ringan Busa Mutu 35 MPa dengan Ketebalan 10 cm, 12 Cm, dan 14 cm”.* Banda Aceh: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syah Kuala Darussalam.

Kadir, A. M., & Sudarmadi. (2008). “Perilaku dan Kekuatan Pelat Lantai Komposit Beton-Metal Deck Terhadap Beban Lentur”. *Majalah Ilmiah BPPT M.P.I Vol.2 No.3*, hal. 232-240.

Muliater, M., Tarigan, J., & Roesyanto. (2018). “Analisis Lendutan dan Slip Pada Pelat Komposit Veton-Metal Deck Berdasarkan Perilaku Uji Statik”. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12*, (hal. 155-164). Batam.

Rai Widhiawati, I. A., Yana, A. A., & Asmara, A. A. (2010). “Analisa Biaya Pelaksanaan Antara Pelat Konvensional dan Sistem Pelat Menggunakan Metal Deck”. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 14*(1), hal. 20-27.

SDI-ANSI. (2011, April). “*C-2011- Standard For Composite Steel Floor Deck-Slabs”.* Diambil kembali dari Steel Deck Institute: http://www.sdi.org/wp-content/uploads/2013/04/SDI\_ANSI\_C\_2011.pdf

SDI-ANSI. (2017, November). “*C-2017-2017 Standard For Composite Steel Floor Deck-Slabs”.* Diambil kembali dari Steel Deck Institute: https://www.sdi.org/publications-2/standards/

Segui, W. T. (2007). “*Steel Design”.* Toronto: Nelson.

Siregar, R. M. (2010). “*Perbandingan Hasil Perancangan Pelat Beton Pracetak Dengan Pelat Beton Komposit Steel Deck Serta Tinjauan Balok Beton Pracetak Pada Gedung Rumah Sakit Akademik UGM.* Yogyakarta”: Program Swadaya Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik UGM.