

Studi Mengenai Batasan Maksimum Kadar Volume Pasir dalam Campuran Beton Cara SNI

GUGUM GUNAWAN, PRIYANTO SAELAN

Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional
Email: gugumgunawan215@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui batasan maksimum volume pasir yang harus ditingkatkan agar kuat tekan beton tercapai tanpa merubah rentang kelecakan pada cara SNI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar maksimum volume pasir untuk w/c 0,40, slump 30 mm – 60 mm adalah 0,143 m³ untuk modulus kehalusan pasir (FM) 1,5; 0,169 m³ untuk FM 2,0; 0,201 m³ untuk FM 2,50; 0,253 m³ untuk FM 3,0; 0,304 m³ untuk FM 3,50; untuk slump 60 mm – 180 mm adalah 0,281 m³ untuk FM 1,50; 0,282 m³ untuk FM 2,0; 0,313 m³ untuk FM 2,50; 0,316 m³ untuk FM 3,0; 0,376 m³ untuk FM 3,50. Untuk w/c 0,50, slump 30 mm-60 mm adalah 0,163 m³ untuk FM 1,5; 0,184 m³ untuk FM 2,0; 0,224 m³ untuk FM 2,50; 0,278 m³ untuk FM 3,0; 0,332 m³ untuk FM 3,50; untuk slump 60 mm – 180 mm adalah 0,289 m³ untuk FM 1,50; 0,321 m³ untuk FM 2,0; 0,321 m³ untuk FM 2,50; 0,322 m³ untuk FM 3,0; 0,386 m³ untuk FM 3,50.

Kata kunci: volume pasir, SNI, FM

ABSTRACT

This research is performed to know maximum sand volume may be increased in other that the strength of concrete is achieved without changing range of workability in concrete mix. The results of tests showed that maximum sand volume for w/c 0,40 and 30 mm – 60 mm slump are 0,143 m³ to finess modulus (FM) 1,5; 0,169 m³ to FM 2,0; 0,201 m³ to FM 2,50; 0,253 m³ to FM 3,0; 0,304 m³ to FM 3,50; and 60 mm – 180 mm slump are 0,281 m³ to FM 1,50; 0,282 m³ to FM 2,0; 0,313 m³ to FM 2,50; 0,316 m³ to FM 3,0; 0,376 m³ to FM 3,50. For w/c 0,50, 30 mm – 60 mm slump are 0,163 m³ to FM 1,5; 0,184 m³ to FM 2,0; 0,224 m³ to FM 2,50; 0,278 m³ FM 3,0; 0,332 m³ to FM 3,50; and 60 mm – 180 mm slump are 0,289 m³ to FM 1,50; 0,321 m³ to FM 2,0; 0,321 m³ to FM 2,50; 0,322 m³ to FM 3,0; 0,386 m³ to FM 3,50.

Keywords: volume of sand, SNI, FM

1. PENDAHULUAN

Pada perancangan campuran beton cara SNI, kuat tekan beton hanya ditentukan oleh faktor air semen, sedangkan kadar pasir dalam agregat gabungan hanya berpengaruh pada kelecakan campuran beton segar. Semakin banyak kadar pasir dalam agregat gabungan, kelecakan campuran beton segar akan semakin berkurang. Kadar pasir dalam agregat gabungan untuk mencapai suatu kelecakan yang direncanakan bergantung pada ukuran maksimum agregat dan modulus kehalusan pasir. Semakin kecil modulus kehalusan pasir, maka semakin kecil kadar pasir dalam agregat gabungan, demikian pula sebaliknya. Agar pemodelan perancangan campuran beton cara SNI dapat diketahui keberlakuannya yaitu volume pasir hanya mempengaruhi kelecakan dan tidak berpengaruh terhadap kekuatan maka diperlukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar kandungan maksimum volume pasir dalam agregat gabungan untuk suatu nilai faktor air-semen yang tidak berpengaruh terhadap kuat tekan beton.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perancangan Campuran Beton Cara SNI 03-2834-2002

Perancangan campuran beton dimaksudkan untuk menghasilkan suatu proporsi campuran bahan yang optimal dengan mendapatkan kekuatan yang direncanakan. Pada perancangan campuran beton yang menjadi kriteria dasar dalam perancangannya adalah kekuatan tekan dan hubungannya dengan faktor air-semen yang digunakan, serta jumlah air yang diperlukan untuk mencapai kelecakan campuran beton segar yang diinginkan. Menurut aturan SNI, kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang terdapat pada **Persamaan 1** yaitu:

$$f_{cr} = f'_c + 1,64 S_r \quad \dots(1)$$

dengan:

f_{cr} = kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan pada umur 28 hari [MPa],

f'_c = kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari [MPa],

S_r = deviasi standar rencana [MPa],

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

n = jumlah data/nilai hasil uji,

x_i = kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji,

\bar{x} = kuat tekan beton rata-rata menurut rumus = $\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$.

Pada perancangan campuran beton cara SNI, kadar persentase pasir yang terdapat dalam total agregat gabungan dipengaruhi oleh ukuran butir agregat maksimum, faktor air-semen, dan nilai *slump* yang direncanakan. Proporsi kandungan kadar pasir yang terdapat dalam agregat gabungan dapat dihitung dengan menggunakan rumus **Persamaan 2**, dimana rumus persamaan yang digunakan yaitu:

$$V_c + V_{CA} + V_{FA} + V_w + V_A = 1 \text{ m}^3 \text{ beton} \quad \dots(2)$$

dengan:

V_c = volume absolut semen dalam 1 m³ beton,

V_{CA} = volume absolut agregat kasar dalam 1 m³ beton,

V_{FA} = volume absolut agregat halus dalam 1 m³ beton,

V_w = volume absolut air dalam 1 m³ beton,

V_A = volume udara dalam 1 m³ beton.

2.2 Pengaruh Volume Pasir Pada Campuran Beton Cara SNI

Volume pasir dalam campuran beton cara SNI hanya berpengaruh terhadap pencapaian nilai *slump*. Untuk mencapai suatu nilai *slump* yang direncanakan pada suatu nilai faktor air-semen yang dibutuhkan, semakin besar modulus kehalusan pasir, yaitu semakin kasar pasir, semakin besar volume pasir yang dibutuhkan untuk mencapai nilai *slump* tersebut. Jika nilai modulus kehalusan pasir tidak berubah sedangkan volume pasir diperbesar dari yang semestinya, maka campuran beton segar yang dihasilkan akan semakin kental dan nilai *slump* yang terjadi semakin rendah. Jika pasir semakin ditambah maka campuran beton segar akan semakin kental dan akhirnya tidak bisa dikerjakan. Dengan demikian maka kadar maksimum volume pasir dalam campuran beton harus dibatasi agar campuran beton segar tetap dapat dikerjakan. Jika volume pasir dikaitkan dengan kuat tekan beton maka keterkaitan ini dapat dijelaskan melalui rumus Dreux Gorisse pada **Persamaan 3** yaitu:

$$f_c = G * f_{pc} * \left(\frac{c}{w} - 0,5\right) \quad \dots(3)$$

dengan:

f_c = kuat tekan silinder beton pada umur 28 hari [MPa],

f_{pc} = kekuatan tekan mortar semen umur 28 hari [MPa],

G = faktor granular [0,35–0,65],

$\frac{c}{w}$ = rasio berat semen terhadap berat air.

Oleh Thesia, Z. (2013) faktor granular dirumuskan seperti pada **Persamaan 4** yaitu:

$$G = k * V_{FA} \quad \dots(4)$$

dengan:

k = konstanta yang nilainya diberikan pada **Tabel 1**,

V_{FA} = volume pasir dalam 1 m³ beton.

Tabel 1. Nilai k untuk $0,4 \leq G \leq 0,6$

| No. | $V_{pasir}/V_{total\ agregat}$ | k |
|-----|--------------------------------|-----|
| 1 | $\leq 0,26$ | 3 |
| 2 | $0,26 - 0,29$ | 2 |
| 3 | $0,29 - 0,39$ | 1,8 |
| 4 | $0,39 - 0,43$ | 1,5 |
| 5 | $0,43 - 0,49$ | 1,8 |
| 6 | $\geq 0,50$ | 1,5 |

(Sumber: Thesia, Z., 2013)

Berdasarkan **Persamaan 3** ini maka apabila volume pasir bertambah banyak, kuat tekan beton akan semakin bertambah karena nilai faktor granular meningkat. Hal ini bertentangan dengan cara SNI, karena peningkatan volume pasir tidak mempengaruhi kuat tekan beton, peningkatan volume pasir hanya mempengaruhi kelecakan campuran beton segar. Prediksi kuat tekan beton yang dirancang menggunakan cara SNI, dan diprediksi dengan cara Dreux, diperlihatkan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 2. Komposisi Bahan dalam 1 m³ Beton yang Dirancang dengan Cara SNI dengan Ukuran Agregat Maksimum 20 mm, Nilai *Slump* 30 mm–60 mm, Berat Jenis Pasir 2,546 t/m³, Berat Jenis Batu Pecah 2,605 t/m³, dan Nilai Faktor Air-Semen 0,40

| Campuran | Modulus Kehalusan Pasir | Air [kg] | Semen [kg] | Pasir [%] | Volume Pasir [m ³] | Volume Batu Pecah [m ³] | Prediksi Kuat Tekan Rencana [MPa] | |
|----------|-------------------------|----------|------------|-----------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------|
| | | | | | | | SNI | Dreux |
| 1 | 1,5 | 190 | 475 | 22 | 0,143 | 0,496 | 48 | 36,496 |
| 2 | 2 | 190 | 475 | 26 | 0,169 | 0,470 | 48 | 28,728 |
| 3 | 2,5 | 190 | 475 | 31 | 0,201 | 0,438 | 48 | 30,792 |
| 4 | 3 | 190 | 475 | 39 | 0,253 | 0,386 | 48 | 32,223 |
| 5 | 3,5 | 190 | 475 | 47 | 0,304 | 0,335 | 48 | 46,483 |

Tabel 3. Komposisi Bahan dalam 1 m³ Beton yang Dirancang dengan Cara SNI dengan Ukuran Agregat Maksimum 20 mm, Nilai *Slump* 30 mm–60 mm, Berat Jenis Pasir 2,546 t/m³, Berat Jenis Batu Pecah 2,605 t/m³, dan Nilai Faktor Air-Semen 0,50

| Campuran | Modulus Kehalusan Pasir | Air [kg] | Semen [kg] | Pasir [%] | Volume Pasir [m ³] | Volume Batu Pecah [m ³] | Prediksi Kuat Tekan Rencana [MPa] | |
|----------|-------------------------|----------|------------|-----------|--------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------|
| | | | | | | | SNI | Dreux |
| 1 | 1,5 | 190 | 380 | 24 | 0,163 | 0,506 | 37 | 31,248 |
| 2 | 2 | 190 | 380 | 27 | 0,184 | 0,485 | 37 | 23,420 |
| 3 | 2,5 | 190 | 380 | 33 | 0,224 | 0,445 | 37 | 25,727 |
| 4 | 3 | 190 | 380 | 41 | 0,278 | 0,391 | 37 | 26,588 |
| 5 | 3,5 | 190 | 380 | 49 | 0,332 | 0,337 | 37 | 36,357 |

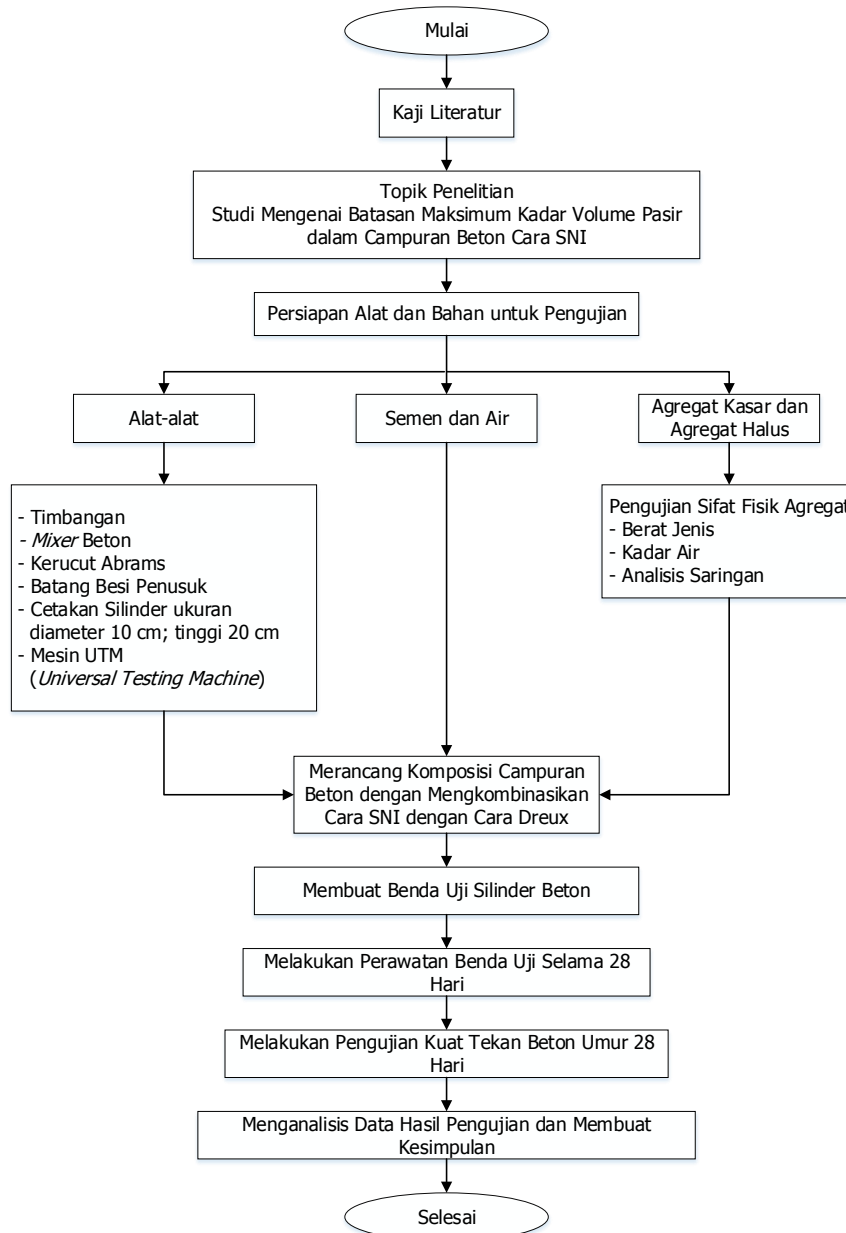
Agar model perancangan campuran beton cara SNI sejalan dengan perancangan campuran beton cara Dreux Gorisse maka nilai rasio volume pasir terhadap volume agregat gabungan harus dikoreksi agar menghasilkan kuat tekan yang sama. Jika koreksi volume pasir menyebabkan volume pasir menjadi meningkat agar kuat tekan yang direncanakan tercapai, maka hal ini akan menyebabkan kelecakan campuran beton berkurang dan akan keluar dari batasan nilai *slump* yang diatur dalam perancangan campuran beton cara SNI. Oleh karena itu volume pasir yang ditingkatkan harus dibatasi agar kelecakan tidak berubah, yaitu tetap dalam rentang nilai *slump* yang ditetapkan.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dengan metode yang diperlihatkan pada **Gambar 1**.

*Studi Mengenai Batasan Maksimum Kadar Volume Pasir
dalam Campuran Beton Cara SNI*



Gambar 1. Bagan alir metode penelitian

3.2 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan yaitu data primer. Data primer yang digunakan adalah data material yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian secara fisik, dimana data material yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 4**, data komposisi campuran beton menggunakan agregat kering udara dengan ukuran butiran maksimum 20 mm, dengan faktor air semen 0,40 dan 0,50 dengan nilai *slump* 30 mm–60 mm dan 60 mm–80 mm, dan data pengujian kuat tekan beton silinder umur 28 hari dengan benda uji silinder beton berukuran diameter 10 cm dengan tinggi 20 cm.

*Studi Mengenai Batasan Maksimum Kadar Volume Pasir
dalam Campuran Beton Cara SNI*

Tabel 6. Komposisi Bahan dalam 1 m³ Beton yang Dirancang dengan Cara SNI dengan Ukuran Agregat Maksimum 20 mm, Nilai *Slump* 60 mm–180 mm, Berat Jenis Pasir 2,546 t/m³, Berat Jenis Batu Pecah 2,605 t/m³, dan Nilai Faktor Air-Semen 0,40

| Campuran | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | |
|---|----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Modulus Kehalusan Pasir | | | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | | | | | |
| Air | Semula | [kg] | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 | | |
| | Tambahan | | 31,697 | 31,557 | 31,675 | 31,556 | 31,632 | 31,520 | 31,567 | 31,516 | 31,495 | 31,446 |
| Semen | | | 512,5 | 512,5 | 512,5 | 512,5 | 512,5 | 512,5 | 512,5 | 512,5 | 512,5 | |
| Pasir | | | 26 | 45,36 | 29 | 45,5 | 35 | 50,5 | 44 | 50,61 | 54 | 61 |
| Volume Pasir | | | 0,162 | 0,281 | 0,180 | 0,282 | 0,217 | 0,313 | 0,273 | 0,316 | 0,334 | 0,376 |
| Volume Batu Pecah | | | 0,450 | 0,331 | 0,432 | 0,330 | 0,395 | 0,299 | 0,339 | 0,296 | 0,278 | 0,236 |
| Prediksi Kuat Tekan Rencana | SNI | [MPa] | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | |
| | Dreux | [MPa] | 27,514 | 43,011 | 30,668 | 43,146 | 33,266 | 39,860 | 41,734 | 40,247 | 42,624 | 47,990 |
| Kuat Tekan Rata-rata Umur 28 hari dari Umur Pengujian | | | 28,082 | 29,763 | 29,772 | 36,117 | 29,772 | 33,314 | 31,026 | 38,146 | 39,164 | 44,504 |
| <i>Slump</i> Aktual | | | 75 | 65 | 70 | 62 | 65 | 60 | 64 | 60 | 65 | 60 |
| Umur Pengujian | | | 15 | 15 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |

Tabel 7. Komposisi Bahan dalam 1 m³ Beton yang Dirancang dengan Cara SNI dengan Ukuran Agregat Maksimum 20 mm, Nilai *Slump* 30 mm–60 mm, Berat Jenis Pasir 2,546 t/m³, Berat Jenis Batu Pecah 2,605 t/m³, dan Nilai Faktor Air-Semen 0,50

| Campuran | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | | | |
|---|----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Modulus Kehalusan Pasir | | | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | | | | | |
| Air | Semula | [kg] | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | | |
| | Tambahan | | 34,665 | 34,630 | 34,642 | 34,518 | 34,594 | 34,480 | 34,531 | 34,404 | 34,468 | 34,403 |
| Semen | | | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | 380 | |
| Pasir | | | 24 | 28,5 | 27 | 42,66 | 33 | 47,46 | 41 | 57,06 | 49 | 57,17 |
| Volume Pasir | | | 0,163 | 0,194 | 0,184 | 0,289 | 0,224 | 0,321 | 0,278 | 0,385 | 0,332 | 0,386 |
| Volume Batu Pecah | | | 0,506 | 0,475 | 0,485 | 0,380 | 0,445 | 0,348 | 0,391 | 0,284 | 0,337 | 0,283 |
| Prediksi Kuat Tekan Rencana | SNI | [MPa] | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | |
| | Dreux | [MPa] | 31,248 | 24,713 | 23,420 | 33,184 | 25,727 | 36,878 | 26,588 | 36,866 | 31,710 | 36,997 |
| Kuat Tekan Rata-rata Umur 28 hari dari Umur Pengujian | | | 19,854 | 22,988 | 19,853 | 21,421 | 20,115 | 28,348 | 28,888 | 30,238 | 31,588 | 32,398 |
| <i>Slump</i> Aktual | | | 35 | 20 | 40 | 20 | 35 | 20 | 45 | 20 | 35 | 25 |
| Umur Pengujian | | | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

Tabel 8. Komposisi Bahan dalam 1 m³ Beton yang Dirancang dengan Cara SNI dengan Ukuran Agregat Maksimum 20 mm, Nilai *Slump* 60 mm–180 mm, Berat Jenis Pasir 2,546 t/m³, Berat Jenis Batu Pecah 2,605 t/m³, dan Nilai Faktor Air-Semen 0,50

| Campuran | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Modulus Kehalusan Pasir | | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 |
| Air | Semula | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 |
| | Tambahan | 33,399 | 33,267 | 33,368 | 33,230 | 33,322 |
| Semen | [kg] | 410 | 410 | 410 | 410 | 410 |
| Pasir | [%] | 27 | 44,24 | 31 | 49,21 | 37 |
| Volume Pasir | [m ³] | 0,177 | 0,289 | 0,203 | 0,321 | 0,242 |
| Volume Batu Pecah | [m ³] | 0,468 | 0,356 | 0,442 | 0,324 | 0,403 |
| Prediksi Kuat Tekan Rencana | SNI [MPa] | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| | Dreux [MPa] | 22,580 | 33,167 | 23,311 | 36,851 | 27,785 |
| Kuat Tekan Rata-rata Umur 28 hari dari Umur Pengujian | Dreux [MPa] | 24,191 | 31,785 | 24,291 | 32,585 | 26,068 |
| <i>Slump</i> Aktual | [mm] | 70 | 60 | 80 | 65 | 75 |
| Umur Pengujian | [hari] | 9 | 9 | 8 | 8 | 8 |

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel komposisi campuran dan kuat tekan rata-rata umur 28 hari maka dapat diketahui bahwa:

1. Secara umum nilai *slump* yang terjadi tidak sesuai dengan nilai *slump* yang direncanakan. Hal ini disebabkan oleh kondisi batu yang sangat kering sehingga campuran beton menjadi lebih kental.
2. Berkurangnya kelecakan campuran beton sebagian air diserap oleh agregat. Secara teoritis hal ini dapat menyebabkan faktor air-semen berkurang sehingga menyebabkan kuat tekan seharusnya meningkat. Yang terjadi adalah sebaliknya yaitu kuat tekan menurun.
3. Hasil pengujian yang terdapat pada **Tabel 5 – Tabel 8** memperlihatkan kecenderungan yang sama yaitu peningkatan volume pasir menyebabkan berkurangnya kelecakan beton yang ditandai dengan berkurangnya nilai *slump*, namun diiringi dengan peningkatan kuat tekan. Peningkatan kuat tekan ini sesuai dengan perilaku kuat tekan beton yang dirumuskan oleh Dreux pada **Persamaan 3**. Peningkatan volume pasir yang hanya mempengaruhi kelecakan beton menurut cara SNI tidak terjadi. Peningkatan volume pasir tidak hanya mempengaruhi kelecakan tetapi juga mempengaruhi kuat tekan beton.
4. Peningkatan volume pasir untuk meningkatkan kuat tekan beton yang dirancang pada *slump* rendah 30 mm–60 mm akan menyebabkan nilai *slump* yang terjadi keluar dari rentang yang ditentukan oleh SNI. Fenomena ini memberikan batasan bahwa pada nilai *slump* rendah tidak dapat dilakukan. Fenomena yang berbeda ditunjukkan pada nilai *slump* rencana yang lebih tinggi. Peningkatan volume pasir tidak menyebabkan kelecakan keluar dari rentang kelecakan. Hal ini disebabkan karena kelecakan yang tinggi mempunyai nilai rentang yang lebar. Dengan demikian peningkatan volume pasir pada cara SNI hanya bisa dilakukan pada campuran beton dengan kelecakan tinggi.
5. Kadar maksimum volume pasir yang tidak merubah kelecakan campuran beton bergantung pada modulus kehalusan pasir yang digunakan, faktor air-semen, dan nilai *slump* yang direncanakan. Kadar maksimum volume pasir tertera pada **Tabel 9** dan **Tabel 10**.

Tabel 9. Nilai Maksimum Volume Pasir untuk Faktor Air-Semen 0,4

| Modulus Kehalusan Pasir | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | |
|-------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nilai <i>Slump</i> | 30–60 [mm] | 0,143 | 0,169 | 0,201 | 0,253 | 0,304 |
| | 60–180 [mm] | 0,281 | 0,282 | 0,313 | 0,316 | 0,376 |

Tabel 10. Nilai Maksimum Volume Pasir untuk Faktor Air-Semen 0,5

| Modulus Kehalusan Pasir | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | |
|-------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nilai <i>Slump</i> | 30–60 [mm] | 0,163 | 0,184 | 0,224 | 0,278 | 0,332 |
| | 60–180 [mm] | 0,289 | 0,321 | 0,321 | 0,322 | 0,386 |

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian, analisis, dan pembahasan hasil pengujian maka dapat disimpulkan:

1. Volume pasir tidak hanya berpengaruh terhadap kelecakan campuran beton, tetapi berpengaruh juga terhadap kuat tekan beton pada cara SNI. Dengan demikian agar konsep campuran beton cara SNI dapat diterapkan, volume pasir menjadi parameter yang mengikat.
2. Kadar maksimum volume pasir pada cara SNI yang tidak merubah nilai kelecakan adalah seperti disajikan pada **Tabel 8** dan **Tabel 9**.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2834-2002 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Zakaria, T. (2013). *Studi Mengenai Perancangan Campuran Beton Cara Dreux Gorrise. Tugas Akhir*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil-Institut Teknologi Nasional-Bandung.