

Kajian mengenai Aplikasi Packing Density Agregat dalam Campuran Beton Cara SNI 03-2834-2000

MOHAMMAD NAUVAL FADLIANSYAH¹, PRIYANTO SAELAN²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
 2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
- Email: mohammadnauval55@gmail.com

ABSTRAK

Saat ini perkembangan perancangan campuran beton mengarah pada penggunaan Packing Density (PD) yaitu susunan kepadatan agregat untuk mereduksi rongga antar material granular agar semen yang diperlukan menjadi minimum. Gradasi agregat yang menghasilkan kepadatan maksimum telah diteliti oleh Fuller (1907) dan Andreasen & Andersen (1991) yang menghasilkan modulus kehalusan (FM) optimum. Mengacu pada hubungan PD dan FM maka perancangan campuran beton berdasarkan cara PD dilakukan dengan pendekatan FM. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji aplikasi PD pada perancangan campuran beton cara SNI-03-2834-2000. Penelitian dilakukan dengan cara pengujian langsung dan uji validasi menggunakan data sekunder yang diambil dari beberapa jurnal rujukan. Analisis data menggunakan grafik SNI pada kurva hubungan kuat tekan dan faktor air-semen yang dimodifikasi menjadi grafik kuat tekan, faktor air-semen dan PD. Hasil analisis menunjukkan kedekatan antara nilai kuat tekan prediksi dengan nilai kuat tekan hasil uji, sehingga disimpulkan bahwa perancangan campuran beton dengan PD agregat dapat diaplikasikan pada cara SNI-03-2834-2000.

Kata kunci: Kuat tekan; Packing Density; Modulus kehalusan; SNI-03-2834-2000

ABSTRACT

Nowadays, the development of concrete mix design leads to the use of Packing Density (PD), which is the arrangement of aggregate density to reduce voids between granular materials, so the cement required is kept to a minimal. The aggregate gradation that produces maximum density has been researched by Fuller (1907) and Andreasen & Andersen (1991) which produce optimum fineness modulus (FM). Referring to the relationship between PD and FM, the design of the concrete mixture based on the PD method is carried out using the FM approach. The purpose of this research is to examine the application of PD in the design of SNI-03-2834-2000 concrete mixture. The research was conducted by direct testing and validation test using the secondary data results from several journals. The data analysis was carried out using SNI graphs on the relationship curve of compressive strength and water-cement factor which was modified into a graph of compressive strength, water-cement factor and PD. The results show the closeness between the predicted compressive strength values and the compressive strength values of the test results, so the design of concrete mixtures with aggregate PD can be applied according to SNI 03-2834-2000 method.

Keywords: compressive strength; Packing Density; Fineness Modulus; SNI-03-2834-2000.

1. PENDAHULUAN

Perancangan campuran beton selama ini dirancang menggunakan parameter gradasi agregat dalam bentuk modulus kehalusan atau *Fineness Modulus* (FM). Saat ini perkembangan perancangan campuran beton mengarah pada penggunaan *Packing Density* (PD) yaitu susunan kepadatan agregat untuk mereduksi rongga antar material granular agar semen yang diperlukan menjadi minimum. Gradasi agregat yang menghasilkan kepadatan maksimum telah banyak diteliti diantaranya oleh Fuller (1907) dan Andreasen & Andersen (1991). Mengacu pada hubungan antara PD dan FM maka perancangan campuran beton berdasarkan cara *PD* dapat dilakukan dengan pendekatan FM. Dengan demikian maka perancangan campuran beton yang telah tersedia dapat digunakan untuk merancang campuran beton berdasarkan cara *PD*. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji aplikasi *PD* pada perancangan campuran beton cara SNI-03-2834-2000.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Faktor Granular Dan *Packing Density* Agregat

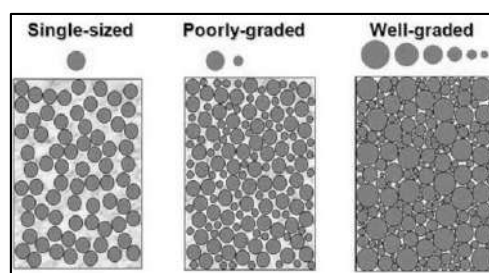
Kuat tekan pada perancangan campuran beton yang dikembangkan oleh Dreux Gorrisse pada tahun 1979 dinyatakan dalam **Persamaan 1** sebagai berikut :

$$f_c = G_c \times f_{pc} \times \left(\frac{c}{w} - 0,5 \right) \quad \dots(1)$$

dengan :

- f_c = Kuat tekan silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur 28 hari (MPa);
 f_{pc} = Kekuatan tekan mortar semen untuk 28 hari (Mpa);
 G_c = Faktor granular (0,35-0,65);
 c/w = Rasio berat semen terhadap berat air;

Faktor granular (G) atau faktor kekompakan butiran didefinisikan yaitu nilai yang menyatakan kepadatan volume butiran agregat yang mengisi suatu tempat atau wadah. Nilai faktor granular dalam keadaan kering (G_d) untuk berbagai gradasi agregat dapat dilihat secara visual melalui **Gambar 1**.



Gambar 1. Ilustrasi berbagai gradasi agregat

Jika agregat gabungan dicampur dengan pasta semen membentuk campuran beton segar, maka besarnya faktor granular agregat gabungan di dalam campuran beton (G_c) tersebut bergantung pada gradasi agregat dan ukuran maksimum butiran. Besarnya faktor granular G_c ini diuraikan oleh Dreux seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai Faktor Granular G_c

Kualitas Agregat	Diameter Agregat Kasar (mm)		
	$D \leq 16$ mm	$25 \leq D \leq 40$ mm	$D \geq 63$ mm
Baik Sekali	0,55	0,6	0,65
Normal	0,45	0,5	0,55
Dapat Dipakai	0,35	0,4	0,45

Besarnya kepadatan agregat dalam keadaan kering (G_d) bergantung pada besar kecilnya volume rongga yang terjadi di antara butiran agregat dapat disimpulkan bahwa faktor granular dalam keadaan kering (G_d) merupakan rasio dari volume padat atau volume mutlak agregat terhadap volume wadah yang diisinya dapat dirumuskan :

$$G_d = \frac{\text{Volume mutlak agregat}}{\text{Volume gembur agregat}} \quad \dots(2)$$

Perkembangan perancangan campuran beton pada masa kini telah mengarah kepada penggunaan *packing density* (PD) maksimum agar jumlah semen yang diperlukan menjadi minimum. *Packing density* maksimum mereduksi rongga-rongga antar material granular sehingga didapat kerapatan volume yang maksimum. Besarnya PD agregat dalam keadaan kering (PD_d) dirumuskan oleh para peneliti :

$$PD_d = \frac{\text{Volume mutlak agregat}}{\text{Volume gembur agregat}} \quad \dots(3)$$

Berdasarkan **Persamaan 2** dan **Persamaan 3** maka dapat disimpulkan bahwa faktor granular (G) tidak lain merupakan *packing density* (PD) agregat. Jika dinyatakan dalam rasio berat *packing density* kering maka dapat dirumuskan :

$$PD_d = \frac{\text{Berat isi agregat}}{\text{Berat jenis agregat}} \quad \dots(4)$$

2.2 Gradasi Agregat Gabungan Yang Menghasilkan Kepadatan Maksimum

Gradasi agregat yang baik, menghasilkan rongga yang minimum dan akan menghasilkan kepadatan maksimum sehingga *Packing Density* (PD) maksimum. Fuller (1907) telah merumuskan gradasi agregat yang menghasilkan kepadatan yang maksimum. Rumus Fuller dinyatakan pada **Persamaan 5**.

$$P(d) = 100 \times \left(\frac{d}{D}\right)^{0,5} \quad \dots(5)$$

dengan:

- $P(d)$ = Persen lolos ayakan dengan ukuran d [mm]
 d = Ukuran agregat yang diperiksa [mm]
 D = Ukuran maksimum agregat dalam campuran [mm]

Gradasi agregat yang menghasilkan kepadatan maksimum berdasarkan rumus Fuller diperlihatkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Gradasi agregat dengan kepadatan maksimum untuk ukuran maksimum 10 mm

Ukuran ayakan [mm]	Persen lolos saringan [%]	Persen tertahan saringan [%]	Persen tertahan saringan kumulatif [%]
9,6	100	0	0
4,75	70	30	30
2,36	50	50	80
1,18	35	65	145
0,6	25	75	220
0,3	18	82	302
0,15	13	88	390
Modulus Kehalusan Optimum (FM_{opt})			3,90

Dengan cara yang sama modulus kehalusan optimum untuk ukuran maksimum 20 mm dan 40 mm sebesar 4,80 dan 5,73.

Kemudian pada tahun 1991, Andreassen dan Andersen memodifikasi hasil penelitian sebelumnya menjadi *Modified Andreassen Packing Model* (MAPM) yang merupakan suatu studi semi-empiris dinyatakan pada **Persamaan 6**.

$$P(d) = \left(\frac{d^q - d_{min}^q}{d_{maks}^q - d_{min}^q} \right) \times 100 \quad \dots(6)$$

dengan :

$P(d)$ = persen lolos ayakan dengan ukuran d (mm)

d = Ukuran agregat yang diperiksa (mm)

q = 0,37

Gradasi agregat yang menghasilkan kepadatan maksimum berdasarkan rumus MAPM diperlihatkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Gradasi agregat dengan kepadatan maksimum untuk ukuran maksimum 10 mm

Ukuran ayakan [mm]	Persen lolos saringan [%]	Persen tertahan saringan [%]	Persen tertahan saringan kumulatif [%]
9,6	100	0	0
4,75	71	29	29
2,36	48	52	81
1,18	31	69	149
0,6	18	82	231
0,3	8	92	323
0,15	0	100	423
Modulus Kehalusan Optimum (FM_{opt})			4,23

Dengan cara yang sama modulus kehalusan optimum untuk ukuran maksimum 20 mm dan 40 mm sebesar 4,97 dan 5,76.

2.3 Formulasi Packing Density Maksimum Agregat Gabungan Dalam Campuran Beton Dengan Pendekatan Modulus Kehalusan

PD dalam campuran beton merupakan PD dari agregat gabungan. PD agregat gabungan dapat dihitung jika FM agregat gabungan telah diketahui. Berbagai FM pasir dan FM agregat kasar dapat menghasilkan berbagai FM gabungan dengan menggunakan rumus :

$$FM_{gab} = (\% \text{ Agregat Kasar} \times FM_{\text{Agregat Kasar}}) + (\% \text{ Pasir} \times FM_{\text{Pasir}}) \quad \dots(7)$$

Jika FM agregat gabungan diketahui maka *packing density* PD_c yang terjadi dapat dihitung menggunakan rumus :

- Untuk $FM > FM_{optimum}$:

$$PD_c = \frac{FM_{optimum}}{FM} \times K \times PD_{C \text{ Maksimum}} \quad \dots(8)$$

- Untuk $FM < FM_{optimum}$:

$$PD_c = \frac{FM}{FM_{optimum}} \times K \times PD_{C \text{ Maksimum}} \quad \dots(9)$$

dengan :

a. $K = 1$ jika $0,65 \text{ m}^3 \leq V_a \leq 0,70 \text{ m}^3$

b. $K = \frac{V_a}{0,65}$ jika $V_a \leq 0,65 \text{ m}^3$

c. $K = \frac{0,65}{V_a}$ jika $V_a > 0,70 \text{ m}^3$ dan $FM \geq FM_{opt}$

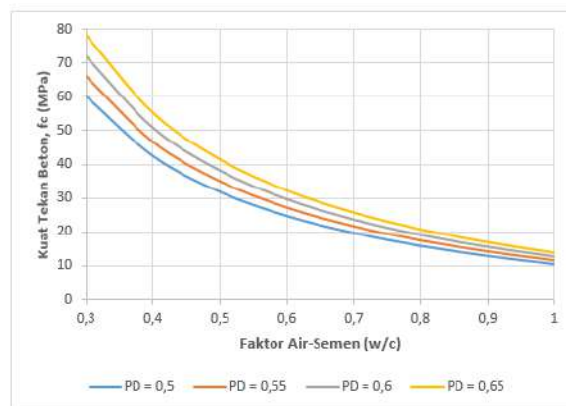
$K = \frac{0,7}{V_a}$ jika $0,7 \text{ m}^3 < V_a \leq 0,73 \text{ m}^3$ dan $FM < FM_{opt}$

Besarnya PD_c maksimum berdasarkan ukuran agregat dapat diketahui dari **Tabel 1** yaitu :

- Ukuran $D \leq 16$ mm , PD_c maksimum = 0,55
- Ukuran $16 \leq D \leq 25$ mm , PD_c maksimum = 0,55
- Ukuran $25 \leq D \leq 40$ mm , PD_c maksimum = 0,60

2.4 Aplikasi Perancangan Campuran Beton Cara SNI 03-2834-2000 Menggunakan Pendekatan Packing Density Agregat Gabungan

Agar perancangan campuran beton cara SNI-03-2834-2000 dapat digunakan berdasarkan cara *Packing Density* (PD) maka dilakukan modifikasi grafik f_c vs w/c SNI-03-2834-2000 menjadi grafik f_c Vs w/c untuk beberapa nilai PD yang dapat dilihat pada **Gambar 2**. Jika tidak dilakukan modifikasi grafik dapat ditentukan menggunakan Persamaan Dreux.

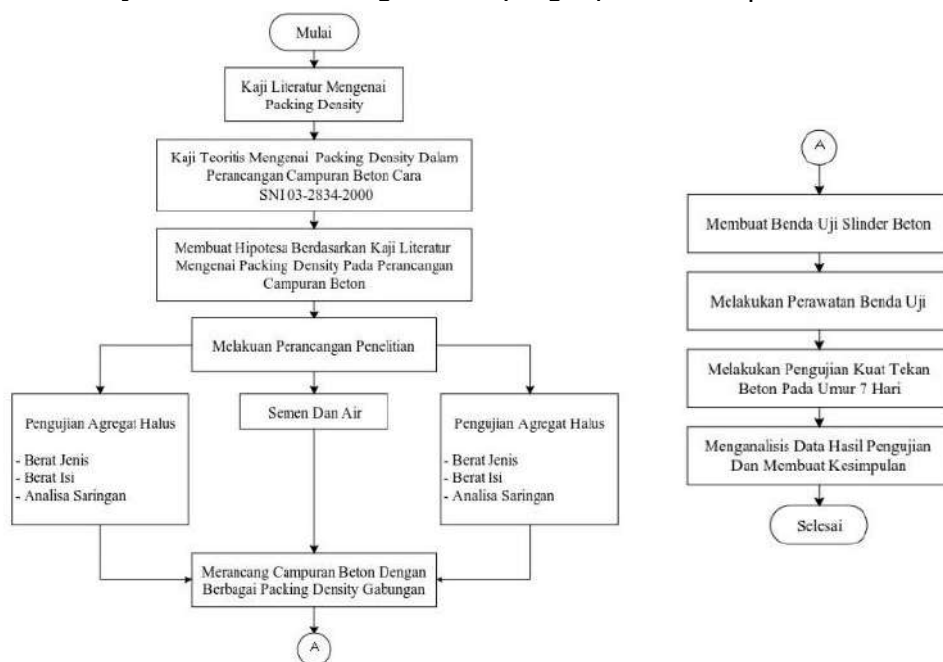


Gambar 2. Grafik Modifikasi f_c vs w/c SNI-03-2834-2000 untuk nilai PD 0,50-0,65

3. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dijelaskan melalui diagram alir yang diperlihatkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

3.2 Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik yang dibutuhkan dalam perancangan campuran beton (*mix design*). Hasil pemeriksaan sifat fisik agregat halus dan agregat kasar disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil pemeriksaan sifat fisik agregat

Material	Berat Jenis (SSD)	Berat Isi	Modulus Kehalusan (FM)
	t/m ³	t/m ³	
Pasir	2,532	1,551	2,897
Batu pecah ukuran maks. 20 mm	2,462	1,396	7,000
Semen	3,150	-	-

3.3 Perancangan Campuran Beton Untuk Pembuatan Benda Uji

Komposisi campuran hasil perhitungan dalam penelitian untuk berbagai *packing density* disajikan pada **Tabel 5**, **Tabel 6**, dan **Tabel 7**.

Tabel 5. Komposisi 1 m³ campuran beton untuk berbagai PD dengan f'_c = 30 MPa dan agregat ukuran maksimum 20 mm model MAPM

Bahan		f _c = 30 MPa					
		Agregat Ukuran Maksimum 20 mm					
		Slump 30-60			Slump 60-180		
	PD=	0,5	0,55	0,6	0,5	0,55	0,6
Semen	Kg	399,894	372,176	349,289	431,465	401,559	377,139
Pasir	Kg	1003,655	829,890	650,793	965,778	799,840	627,790
Batu Pecah	Kg	656,827	847,469	1039,209	632,040	816,782	1002,477
Air	Kg	190	190	190	205	205	205
FM Gab		4,52	4,97	5,42	4,52	4,97	5,42
Syarat FM gab		4,60 - 5,75					
Superplastisizer (SP)	Kg	1,200	-	-	1,294	-	-

Tabel 6. Komposisi 1 m³ campuran beton untuk berbagai PD dengan f'_c = 30 MPa dan agregat ukuran maksimum 20 mm model Fuller

Bahan		f _c = 30 MPa					
		Agregat Ukuran Maksimum 20 mm					
		Slump 30-60			Slump 60-180		
	PD=	0,5	0,55	0,6	0,5	0,55	0,6
Semen	Kg	399,894	372,176	349,289	431,465	401,559	377,139
Pasir	Kg	1069,571	900,433	725,828	666,346	867,829	700,173
Batu Pecah	Kg	592,721	778,875	966,258	923,199	750,672	932,105
Air	Kg	190	190	190	205	205	205
FM Gab		4,36	4,8	5,24	5,28	4,8	5,24
Syarat FM gab		4,60 - 5,75					
Superplastisizer (SP)	Kg	1,20	-	-	-	-	-

Tabel 7. Komposisi 1 m³ campuran beton untuk f'_c = 30 MPa dan agregat ukuran maksimum 20 mm model MAPM

Bahan		f _c = 30 MPa	
		Agregat Ukuran Maksimum 20 mm	
		Slump 30-60	
Semen	Kg	399,894	349,289
Pasir	Kg	1389,610	829,249
Batu Pecah	Kg	303,12	932,019
Air	Kg	190	190
FM Gab		3,63	5,07
Syarat FM gab		4,60 - 5,75	
Superplastisizer (SP)	Kg	-	-

3.4 Analisis Data Hasil Pengujian

Analisis data hasil uji dilakukan untuk mendapat kesimpulan yang dituju yaitu pengaplikasian *packing density* (PD) agregat gabungan dalam campuran beton pada cara SNI-03-2834-2000. Analisis data yang dilakukan sebagai berikut :

1. Menghitung kuat tekan rata-rata hasil uji 7 hari.
2. Membandingkan kuat tekan rata-rata dengan kuat tekan target.
3. Jika kuat tekan rata-rata berdekatan dengan kuat tekan target maka *packing density* (PD) agregat gabungan dalam campuran beton cara SNI-03-2834-2000 dapat diaplikasikan langsung. Namun jika kuat tekan rata-rata hasil lebih kecil dari kuat tekan target maka formulasi yang diajukan harus dicari faktor koreksinya.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil - Hasil Penelitian

Hasil – hasil penelitian diperlihatkan pada **Tabel 8**, **Tabel 9** dan **Tabel 10**.

Tabel 8. Hasil penelitian uji kuat tekan beton untuk berbagai PD dengan $f'_c = 30$ MPa dan agregat ukuran maksimum 20 mm model MAPM

Bahan		$f'_c = 30$ MPa					
		Agregat Ukuran Maksimum 20 mm					
		Slump 30-60			Slump 60-180		
	PD=	0,5	0,55	0,6	0,5	0,55	0,6
Semen	Kg	399,894	372,176	349,289	431,465	401,559	377,139
Pasir	Kg	1003,655	829,890	650,793	965,778	799,840	627,790
Batu Pecah	Kg	656,827	847,469	1039,209	632,040	816,782	1002,477
Air	Kg	190	190	190	205	205	205
FM Gab		4,52	4,97	5,42	4,52	4,97	5,42
Syarat FM gab		4,60 - 5,75					
Superplastisizer (SP)	Kg	1,20	-	-	1,29	-	-
PD Hitung		0,50	0,55	0,60	0,50	0,55	0,60
Nilai Slump Aktual	mm	24	30	30	114	97	73
Air Aktual	Kg	170	190	190	205	205	205
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Grafis	MPa	39,00	34,00	34,00	34,00	34,00	34,00
Kuat Tekan Prediksi 7 hari	MPa	25,35	22,10	22,10	22,10	22,10	22,10
Hasil Uji Kuat Tekan Rata - Rata 7 Hari	MPa	13,55	11,62	13,88	11,82	13,02	12,28

Tabel 9. Hasil penelitian uji kuat tekan beton untuk berbagai PD dengan $f'_c = 30$ MPa dan agregat ukuran maksimum 20 mm model Fuller

Bahan		$f'_c = 30$ MPa					
		Agregat Ukuran Maksimum 20 mm					
		Slump 30-60			Slump 60-180		
	PD=	0,5	0,55	0,6	0,5	0,55	0,6
Semen	Kg	399,89412	372,1765	349,28899	431,4647	401,5588	377,13928
Pasir	Kg	1069,5711	900,4335	725,82786	666,346	867,8287	700,17268
Batu Pecah	Kg	592,72064	778,875	966,25834	923,1992	750,6718	932,10488
Air	Kg	190	190	190	205	205	205
FM Gab		4,36	4,8	5,24	5,28	4,8	5,24
Syarat FM gab		4,60 - 5,75					
Superplastisizer (SP)	Kg	1,200	-	-	-	-	-
PD Hitung		0,50	0,55	0,60	0,50	0,55	0,60
Nilai Slump Aktual	mm	43	30	35	61	60	62
Air Aktual	Kg	190	190	190	205	205	205
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Grafis	MPa	34,00	34,00	34,00	34,00	34,00	34,00
Kuat Tekan Prediksi 7 hari	MPa	22,10	22,10	22,10	22,10	22,10	22,10
Hasil Uji Kuat Tekan Rata - Rata 7 Hari	MPa	16,01	14,29	12,3	12,13	16,44	14,47

Tabel 10. Hasil penelitian uji kuat tekan beton dengan $f'_c = 30$ MPa dan agregat ukuran maksimum 20 mm model MAPM

Bahan		$f'_c = 30$ MPa	
		Agregat Ukuran Maksimum 20 mm	
		Slump 30-60	
Semen	Kg	399,894	349,289
Pasir	Kg	1389,610	829,249
Batu Pecah	Kg	303,12	932,019
Air	Kg	190	190
FM Gab		3,63	5,07
Syarat FM gab		4,60 - 5,75	
Superplastisizer (SP)	Kg	-	-
PD Hitung		0,40	0,54
Nilai Slump Aktual	mm	50	34
Air Aktual	Kg	190	190
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Grafis	MPa	27,00	30,00
Kuat Tekan Prediksi 7 Hari	MPa	17,55	19,50
Hasil Uji Kuat Tekan Rata - Rata 7 Hari	MPa	17,65	17,71

4.2 Pembahasan

1. Hasil uji kuat tekan beton umur 7 hari pada **Tabel 8** dan **Tabel 9** tidak memenuhi kuat tekan beton prediksi pada umur 7 hari, namun demikian hasil uji kuat tekan beton pada **Tabel 10** berdekatan dengan kuat tekan beton prediksi.
2. Kuat tekan pada umur 7 hari pada Tabel dan Tabel tidak memenuhi kuat tekan beton prediksi. Jika diamati maka bersumber dari kemiringan permukaan benda uji pada saat pengujian.
3. Karena masih ada data hasil uji kuat tekan yang berdekatan dengan kuat tekan prediksi maka dapat disimpulkan bahwa rumus *packing density* (PD) menggunakan pendekatan nilai modulus kehalusan (FM) dapat digunakan namun demikian perlu uji validasi dengan data sekunder. Data sekunder adalah diambil dari penelitian :

- a. Data hasil penelitian Owus M. Ibearugbulem, J. C. Ezeh & Johnson Ibezim (2021) yang dimuat pada *International Journal of Scientific & Technology Research Volume 10, Issue 05, May 2021* dengan judul *Effect of Packing Density on Compressive Strength of High Strength Concrete*

Tabel 11. Data material penelitian Owus M. Ibearugbulem, J. C. Ezeh & Johnson Ibezim (2021)

Material	Berat Jenis (SSD)	Berat Isi	Modulus Kehalusan (FM)
	t/m ³	Kg/m ³	
Pasir	2,593	1727,29	2,31
Batu Pecah	2,532	1500,52	5,54
Semen (C 42,5)	3,150	-	-

Tabel 12. Data hasil penelitian Owus M. Ibearugbulem, J. C. Ezeh & Johnson Ibezim (2021)

Kombinasi Batu : Pasir	%	65 : 35	60 : 40	55 : 45	50 : 50	45 : 55
Semen	Kg	400	400	400	400	400
Pasir	Kg	647,2	739,6	832,0	924,4	1016,8
Batu Pecah	Kg	1898,9	1083,2	992,8	902,8	812,4
Air	Kg	152	152	152	152	152
Superplastisizer (SP)	Kg	9,12	9,12	9,12	9,12	9,12
FM Gabungan		4,41	4,25	4,09	3,93	3,76
Volume Agregat Total	m ³	0,721	0,721	0,721	0,721	0,721
Packing Density Hitung		0,48	0,49	0,52	0,50	0,48
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Rumus	MPa	52,39	53,48	56,76	54,57	51,30
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Grafis	MPa	53,20	54,31	57,63	55,42	52,10
Hasil Uji Tekan Kubus (15x15x15)	28 MPa	53,69	52,43	47,4	56,13	58,23
	56 MPa	54,87	52,71	57,87	56,85	59,55
	91 MPa	55,69	53,94	58,18	57,55	57,18

- b. Data hasil penelitian dari Fitri Yanto H & Abinhot (2019) yang berjudul *Studi Mengenai Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat Kasar Pada Campuran Beton Memadat Mandiri (SCC). ITENAS. 2019.*

Tabel 13. Data material penelitian Fitri Yanto H & Abinhot (2019)

Material	Berat Jenis (SSD)	Berat Isi	Modulus Kehalusan (FM)
	t/m ³	t/m ³	
Pasir	2,538	1,461	2,934
Batu Pecah Ukuran 10 mm	2,621	1,451	5,416
Batu Pecah Ukuran 20 mm	2,621	1,451	6,864
Semen (C 42,5)	3,150	-	-

Tabel 14. Data hasil penelitian Fitri Yanto H & Abinhot (2019) dengan kuat tekan target 27 MPa

Uraian	TM1		TM2		TM3		TM4	
	FM	%	FM	%	FM	%	FM	%
Agregat Kasar	5,778	46	6,41	46	6,502	46	6,864	46
Pasir	2,934	54	2,934	54	2,934	54	2,934	54
FM Gabungan	4,242		4,408		4,575		4,742	
Agregat Kasar 20 mm (Kg/m ³)	188,355		376,71		565,065		753,42	
Agregat Kasar 10 mm (Kg/m ³)	565,065		376,71		188,355		-	
Pasir (Kg/m ³)	918,5		918,5		918,5		918,5	
Semen (Kg/m ³)	350		350		350		350	
Air (Kg/m ³)	210		210		210		210	
Superplastisizer (% Berat Semen)	1,5		1,5		1,5		1,5	
Uji Tekan 7 Hari (MPa)	18,09		18,25		18,66		19,11	
Uji Tekan 28 Hari (MPa)	29,4		29,4		28,8		29,8	
Volume Agregat Total (m ³)	0,699		0,699		0,699		0,699	
PD Perhitungan	0,55		0,53		0,51		0,49	
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Rumus (MPa)	31,28		30,10		29,01		27,98	
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Grafis (MPa)	32,00		30,00		29,00		28,00	

Tabel 15. Data hasil penelitian Fitri Yanto H & Abinhot (2019) dengan kuat tekan target 47 MPa

Uraian	TM2		TM3		TM4		TM5	
	FM	%	FM	%	FM	%	FM	%
Agregat Kasar	5,778	38,5	6,41	38,5	6,502	38,5	6,864	38,5
Pasir	2,934	61,5	2,934	54	2,934	54	2,934	54
FM Gabungan	4,242		4,408		4,575		4,742	
Agregat Kasar 20 mm (Kg/m ³)	150,684		301,368		452,052		602,736	
Agregat Kasar 10 mm (Kg/m ³)	452,052		301,368		150,684		-	
Pasir (Kg/m ³)	926,02		926,02		926,02		926,02	
Semen (Kg/m ³)	525		525		525		525	
Air (Kg/m ³)	210		210		210		210	
Superplastisizer (% Berat Semen)	1,5		1,5		1,5		1,5	
Uji Tekan 7 Hari (MPa)	32,14		31,16		32,1		32,7	
Uji Tekan 28 Hari (MPa)	48,7		48,5		48,1		48,6	
Volume Agregat Total (m ³)	0,643		0,643		0,643		0,643	
PD Perhitungan	0,55		0,53		0,51		0,49	
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Rumus (MPa)	52,75		50,77		48,91		47,19	
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Grafis (MPa)	53,00		50,00		49,00		47,00	

- c. Data hasil penelitian Siti Noer & Saelan (2003) dengan judul *Kaji Banding Perencanaan Gradasi Bercelah Dengan Cara Modulus Kehalusan Dan Permukaann Sprsifik. ITENAS. 2003.*

Tabel 16. Data material penlitian Siti Noer & Saelan (2003)

Material	Berat Jenis (SSD)	Berat Isi	Modulus Kehalusan (FM)
	t/m ³	Kg/m ³	
Pasir	2,48	-	-
Batu Pecah Ukuran 20 mm	2,604	1500,52	5,54
Semen (C 42,5)	3,150	-	-

Tabel 17. Data hasil penelitian Siti Noer & Saelan (2003) dengan berbagai modulus kehalusan

Ukuran Saringan (mm)	Kadar Agregat Dalam Campuran Beton (%)			
	Campuran 1	Campuran 2	Campuran 3	Campuran 4
20 - 10	56,5	58	60	75
10 - 5	5,5	-	-	-
5 - 2,5	5	6,5	-	-
2,5 - 1,2	7	8	10	-
1,2 - 0,6	6	8	9	-
0,6 - 0,3	6,5	7	8	13
0,3 - 0,15	6,5	5,66	5,04	5,84
< 0,15	7	6,84	7,96	6,16
Modulus Kehalusan	5,19	5,14	5,08	5,57
Semen (Kg)	435	435	435	435
Air (Kg)	217,5	217,5	217,5	217,5
Pasir (Kg)	633,144	633,144	633,144	633,144
Batu Pecah (Kg)	1033,01	1033,01	1034,01	1034,01
Slump Aktual (mm)	80	90	90	80
Volume Agregat Total (m ³)	0,657	0,657	0,657	0,657
PD Perhitungan	0,53	0,53	0,54	0,49
Uji Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	35,85	35,42	38,60	36,27
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Rumus (MPa)	36,31	36,66	37,09	33,83
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Grafis (MPa)	36,00	36,00	37,00	33,00

Tabel 18. Data hasil penelitian Siti Noer & Saelan (2003) dengan modulus kehalusan yang sama

Ukuran Saringan (mm)	Kadar Agregat Dalam Campuran Beton (%)			
	Campuran 1	Campuran 2	Campuran 3	Campuran 4
20 - 10	56,5	57	60	70
10 - 5	5,5	-	-	-
5 - 2,5	5	8	-	-
2,5 - 1,2	7	8,5	15	-
1,2 - 0,6	6	8	6	-
0,6 - 0,3	6,5	9,5	8	7
0,3 - 0,15	6,5	3	5	15
< 0,15	7	6	6	8
Modulus Kehalusan	5,19	5,19	5,19	5,19
Semen (Kg)	435	435	435	435
Air (Kg)	217,5	217,5	217,5	217,5
Pasir (Kg)	633,144	633,144	633,144	633,144
Batu Pecah (Kg)	1033,01	1033,01	1034,01	1034,01
Slump Aktual (mm)	82	80	85	80
Volume Agregat Total (m ³)	0,657	0,657	0,657	0,657
PD Perhitungan	0,53	0,53	0,53	0,53
Uji Kuat Tekan 28 Hari (MPa)	35,85	34,79	35,85	34,36
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Rumus (MPa)	36,31	36,31	36,31	36,31
Kuat Tekan Prediksi 28 Hari Dengan Grafis (MPa)	36,00	36,00	36,00	36,00

Hasil uji penelitian Owus M. Ibearugbulem, J. C. Ezech & Johnson Ibezim (2021), Fitri Yanto H & Abinhot (2019), Siti Noer & Saelan (2003) menggunakan rumus *packing density* dengan pendekatan modulus kehalusan berdekatan dengan kuat tekan prediksi, dengan demikian data hasil uji kuat tekan pada **Tabel 10** dapat divalidasi hasilnya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis uji kuat tekan beton, dapat disimpulkan bahwa :

1. *Packing Density* dapat digunakan dalam perancangan campuran beton cara SNI 03-2834-2000 dengan syarat modulus kehalusan agregat diketahui.
2. Jika perancangan campuran beton dilakukan dengan pendekatan *Packing Density Method* maka grafik f_c vs w/c SNI 03-2834-2000 tidak lagi digunakan, namun menggunakan grafik f_c vs w/c modifikasi sesuai dengan PD_c yang diinginkan pada **Gambar 2**.
3. Perhitungan komposisi agregat dihitung dengan rumus pada **Persamaan 8** dan **Persamaan 9**.

5.2 Saran

Ketelitian dalam pembuatan benda uji harus diperhatikan agar tidak terjadi kemiringan permukaannya sehingga akan didapat kuat tekan beton yang direncanakan.

DAFTAR RUJUKAN

- Alkhaly, Y. R., Saturrahmi, Y., & Hernita (2017). *Penerapan metode modified Andreasen packing model pada rancangan campuran beton normal*. Teras Jurnal, 7(2), 245–252. Aceh: Universitas Malikussaleh.
- Azka, Afina. (2016). *Studi Tentang Faktor Granular Tinggi pada Perancangan Campuran Beton Cara Dreux Gorrisse*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil - Institut Teknologi Nasional.
- Fennis, S.A.A.M.. (2015). *Design of Ecological Concrete by Particle Packing Optimization*. Thesis, Universiteit Gent, Faculty of Engineering and Architecture. 28-32
- Fitri, Yanto H. (2019). *Studi Mengenai Pengaruh Ukuran Maksimum Agregat Kasar Pada Campuran Beton Memadat Mandiri (SCC)*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil - Institut Teknologi Nasional.
- Masruri, N. (2000). SNI 03-2834-2000 tentang *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Narasimha Raj., Suresh G Patil., and B. Bhattacharjee. (2014). *Concrete Mix Design By Packing Density Method*. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering.
- Neville, A.M. (1981). *Properties of Concrete*. Singapore: Longman Singapore Publisher
- Owus M. Ibearugbulem, J. C. Ezech & Johnson Ibezim.(2021). *Effect of Packing Density on Compressive Strength of High Strength Concrete*. International Journal of Scientific & Technology Research Volume 10, Issue 05, May 2021
- Siti, Noer. (2003). *Kaji Banding Perencanaan Gradasi Bercelah Dengan Cara Modulus Kehalusan Dan Permukaann Spesifik*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil - Institut Teknologi Nasional.