

Studi mengenai Prediksi Kuat Tekan *Reactive Powder Concrete* (RPC) menggunakan Formulasi Dreux Gorisse

THOBIE DARMARINDRA DWIAMIRTA¹, PRIYANTO SAELAN²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung

2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung

Email: thobiedd@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu beton modifikasi yang telah banyak diteliti dan bersifat ultra-high strength ductile concrete adalah Reactive Powder Concrete (RPC). Perancangan campuran RPC masih menggunakan metode trial and error. Apabila perancangan campuran RPC dapat dilakukan dengan menggunakan metode perancangan campuran untuk beton biasa seperti metode Dreux Gorisse, maka RPC akan lebih mudah dirancang. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode perancangan campuran beton biasa, yaitu metode Dreux Gorisse, untuk dapat diaplikasikan pada perancangan campuran RPC. Penelitian dilakukan dengan cara menganalisis data sekunder hasil uji kuat tekan RPC umur 28 hari yang diambil dari beberapa jurnal rujukan. Analisis data sekunder dilakukan dengan menggunakan formulasi Dreux Gorisse yang telah dimodifikasi untuk campuran RPC. Hasil analisis menunjukkan kedekatan antara nilai kuat tekan prediksi dengan nilai kuat tekan hasil uji, sehingga dapat disimpulkan bahwa RPC dapat dirancang menggunakan formulasi Dreux Gorisse.

Kata kunci: kuat tekan, RPC, Dreux Gorisse

ABSTRACT

One of the modified concrete that has been widely researched and is ultra-high strength ductile concrete is Reactive Powder Concrete (RPC). RPC mix design still using the trial and error method. If the RPC mix design can be done using a mix design method for ordinary concrete such as the Dreux Gorisse method, then the RPC will be easier to design. This study aims to develop an ordinary concrete mixtures designing method, such as the Dreux Gorisse method, to be applied to the RPC mixtures. The study was conducted by analyzing secondary data from the 28-day RPC compressive strength test taken from several reference journals. Secondary data analysis was performed using a modified Dreux Gorisse formulation for the RPC mixtures. The results of the analysis show the proximity between predictive compressive strength value and actual compressive strength value, so it can be concluded that the RPC can be designed by using the Dreux Gorisse formulation.

Keywords: compressive strength, RPC, Dreux Gorisse

1. PENDAHULUAN

Penelitian-penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan perancangan beton agar menghasilkan beton dengan kekuatan tekan serta durabilitas yang tinggi. Salah satu beton modifikasi yang bersifat *ultra-high strength ductile concrete* adalah *Reactive Powder Concrete* (RPC). Namun, perancangan RPC masih menggunakan metode *trial and error*. Apabila perancangan campuran RPC dapat dilakukan dengan menggunakan metode perancangan campuran untuk beton biasa yang terstandar, maka perancangan campuran RPC akan lebih mudah dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan metode perancangan campuran beton biasa, yaitu metode Dreux Gorisse, untuk dapat diaplikasikan pada perancangan campuran RPC.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 *Reactive Powder* sebagai Bahan dalam Campuran Beton

Reactive powder dapat berupa *silica fume*, *fly ash*, *quartz powder*, dan material lainnya yang mengandung silika reaktif. *Reactive Powder Concrete* (RPC) tidak menggunakan agregat kasar, sehingga RPC memiliki bahan pembentuk semen, air, agregat halus, *reactive powder*, dan bahan tambahan *superplasticizer*. *Reactive powder* nantinya akan berperan sebagai *filler* pada penyusunan beton. Selain itu, kandungan silika reaktif pada *reactive powder* akan bereaksi dengan bahan sisa reaksi hidrasi yaitu $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Reaksi pozzolanik ini nantinya akan membentuk ikatan kalsium-silikat-hidrat (C-S-H) yang akan meningkatkan kekuatan beton.

2.2 Penelitian sebelumnya tentang *Reactive Powder Concrete*

RPC dikembangkan pertama kali pada awal tahun 1990 oleh P. Richard dan M. Cheyrezy di Laboratorium Bouygues, Perancis. Kemudian beton ini pertama kali diperkenalkan kepada publik pada tahun 1994. Penentuan komposisi material merupakan hal penting yang harus diperhatikan pada pembuatan RPC. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk menemukan komposisi campuran RPC yang menghasilkan nilai kuat tekan yang optimal, hal ini ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Komposisi RPC Penelitian sebelumnya

Constituent	Richard and Cheyrezy (1995)				Matte and Moranville (1999)	Habel et.al (2006)	Louis (2010)	Tam et.al (2012)
	Non fibered		Fibered (L=12 mm)		Fibered	Fibered (L=10 mm)	Fibered (L=13 mm)	Non fibered
Portland Cement	1	1	1	1	1	1	1	1
Silica fume	0,25	0,23	0,25	0,23	0,325	0,26	0,26	0,325
Quartz sand	1,1	1,1	1,1	1,1	1,43	0,7	0,7	1,43
Crushed quartz	-	0,39	-	0,39	0,3	-	-	0,3
Superplasticizer (Polyacrylate)	0,016	0,019	0,016	0,019	0,018	0,018	0,018	0,025
Steel fibers	-	-	0,175	0,175	0,275	0,45	0,45	-
Water	0,15	0,17	0,17	0,19	0,2	0,18	0,18	0,265
Post-setting heat treatment temperature [°C]	20	90	20	90	20	20	20	27
Kuat tekan silinder [MPa]	170 – 230				216	168	128	145

(Sumber: Alkhaly, Y. R., 2013)

Rasio air-semen yang rendah serta ukuran butiran material yang sangat halus membuat RPC memiliki kepadatan yang tinggi. Menurut Wille et al. (2011), kepadatan yang tinggi,

berpengaruh terhadap meningkatnya nilai kuat tekan beton (Gunawan, 2015). Selain memiliki kepadatan yang tinggi, RPC juga bersifat *impermeable* menurut penelitian Kushartomo, Fransiska, dan Wijaya (2014). Sifat inilah yang mempengaruhi durabilitas beton.

Namun, RPC memiliki kekurangan dalam hal workabilitas. Hal ini dikarenakan campuran RPC yang kental akan mempengaruhi nilai *slump* menjadi rendah, sehingga workabilitas pada beton akan turun. Turunnya workabilitas beton dapat diatasi dengan bahan tambah *superplasticizer*.

2.3 Kajian mengenai Prediksi Kuat Tekan *Reactive Powder Concrete*

Beberapa peneliti seperti Gilkey (1961), Walker dan Bloem (1959), serta Popovics dan Ujhelyi (2008) mengungkapkan bahwa faktor paling dominan yang menyusun kuat tekan beton adalah rasio air-semen pada campuran. Selain itu, faktor dominan lainnya adalah:

1. Lekatan (adhesi) mortar dengan permukaan agregat;
2. Kepadatan campuran dan kepadatan agregat yang bergantung pada gradasi agregat;
3. Karakteristik, jumlah, dan kekuatan partikel agregat.

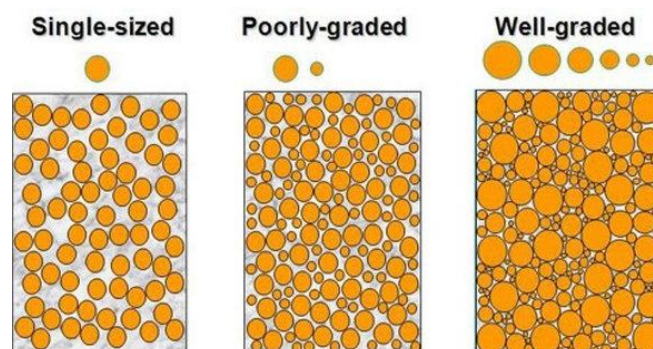
Pada 1918, Abrams berteori bahwa kekuatan beton hanya ditentukan oleh satu faktor dominan saja, yaitu faktor air-semen. Bolomey (1935) kemudian merumuskan persamaan nilai kuat tekan dengan parameter tambahan yaitu kekuatan mortar semen serta faktor granular. Persamaan ini kemudian diturunkan oleh Dreux Gorisse pada 1979 seperti yang diperlihatkan pada **Persamaan 1**.

$$f'_c = G \times f_{PC} \times \left(\frac{C}{W} - 0,50 \right) \quad \dots(1)$$

Dengan:

f'_c	= Kuat tekan beton 28 hari (silinder 15x30 cm) [MPa]
G	= Faktor granular (0,35 – 0,65), yaitu nilai yang menyatakan kekompakan (<i>compactness</i>) agregat
f_{PC}	= Kekuatan mortar semen [MPa]
C	= Berat semen [kg]
W	= Berat air [kg]

Faktor granular (G) tidak lain merupakan *packing density* (PD) agregat, yaitu kerapatan butiran agregat yang mengisi suatu volume. Kerapatan agregat ditentukan oleh gradasi agregat itu sendiri. Faktor granular berbagai gradasi agregat dapat dijelaskan secara visual melalui **Gambar 1**.



Gambar 1. Ilustrasi berbagai gradasi agregat (Sumber: quora.com)

Jika suatu volume diisi penuh oleh agregat dan rongga yang dihasilkan adalah 0,35 bagian dari volume tersebut, maka nilai faktor granular adalah sebesar 0,65. Dengan demikian maka faktor granular dapat dirumuskan secara eksak yang disajikan pada **Persamaan 2** dan **Persamaan 3**.

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

$$G = \frac{\text{Berat isi agregat}}{\text{Berat jenis agregat}} \quad \dots(3)$$

Dari beberapa penelitian PD, nilai PD berada pada rentang yang sama dengan nilai faktor G yang dikemukakan oleh Dreux Gorisse pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai Faktor Granular (G) oleh Dreux Gorisse

Aggregates quality	Aggregates dimension (D)		
	Fine: $D \leq 16 \text{ mm}$	Medium: $25 \leq D \leq 40 \text{ mm}$	Coarse: $D \geq 63 \text{ mm}$
Very good	0,55	0,60	0,65
Good, Common	0,45	0,50	0,55
Fairly good	0,35	0,40	0,45

(Sumber: Yousfi, S. et al., 2014)

Faktor G yang terjadi dapat dianalisis berdasarkan berbagai nilai FM teoritis dan dominasi ukuran maksimum butiran pasir. Hasil analisis tersebut disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Nilai G untuk Berbagai Dominasi Ukuran Maksimum Butiran dan Berbagai Nilai FM

D_{maks}	FM				
	3,50	3,00	2,50	2,00	1,50
4,75	0,60	0,51	0,43	0,34	-
2,38	0,48	0,56	0,53	0,43	0,32
1,18	-	0,43*	0,52	0,56	0,42
0,60	-	-	-	0,47*	0,58

Keterangan:

* : Pasir dengan gradasi seragam

Model mekanisme fisika yang terjadi pada RPC sampai dengan umur 28 hari, diasumsikan sebagai berikut:

1. Adanya pembagian air campuran untuk RP.
2. RP berperan sebagai *filler*.
3. Faktor granular dibentuk oleh *filler*, dalam hal ini pasir dan RP.

Berdasarkan pemodelan fisika tersebut, maka persamaan Dreux Gorisse untuk RPC menjadi **Persamaan 4**.

$$f'_c = G \times f_{PC} \times \left(\frac{c}{w'} - 0,50 \right) \quad \dots(4)$$

Dengan: W' = Berat air sisa setelah terjadi penyerapan oleh RP [kg]

Faktor G material *filler* saja (belum bercampur pasta semen) atau dapat disebut G rata-rata dirumuskan pada **Persamaan 5**.

$$G_{rata-rata} = (\%RP \times G_{RP}) + (\%S \times G_S) \quad \dots(5)$$

Dengan:

$$\%RP = \frac{RP}{RP+S} \times 100 \quad \dots(6)$$

$$\%S = \frac{S}{RP+S} \times 100 \quad \dots(7)$$

Apabila material *filler* telah bercampur dengan pasta semen, maka faktor G akan berubah. Faktor G pada campuran menjadi berubah karena adanya pasta semen yang menyelimuti butiran *filler*, sehingga menyebabkan volume gembur pada campuran bertambah. Semakin tinggi volume gembur, maka akan semakin rendah nilai faktor G. Sehingga rumus untuk menghitung faktor G diperlihatkan pada **Persamaan 8**.

$$G = \frac{K}{V_m} \times G_{rata-rata} \quad \dots(8)$$

Dengan: V_m = Volume mutlak seluruh material berbutir [m^3]
K = Konstanta empirik yang diperoleh dari data penelitian

Besarnya W' dihitung seperti pada **Persamaan 9**.

$$W' = W - W_{RP} \quad \dots(9)$$

Besarnya W_{RP} dihitung dengan menggunakan rumus berdasarkan hasil penelitian Mendes dan Saelan (2021). Rumus pada penelitian tersebut dibedakan berdasarkan tingkat kehalusan material dibandingkan dengan tingkat kehalusan semen. **Persamaan 10** merupakan rumus W_{RP} untuk RP lebih halus daripada semen, sedangkan **Persamaan 11** merupakan rumus W_{RP} untuk RP lebih kasar daripada semen.

$$W_{RP} = \frac{\text{Berat jenis } C}{\text{Berat jenis } RP} \times \frac{RP}{RP+C} \times W \quad \dots(10)$$

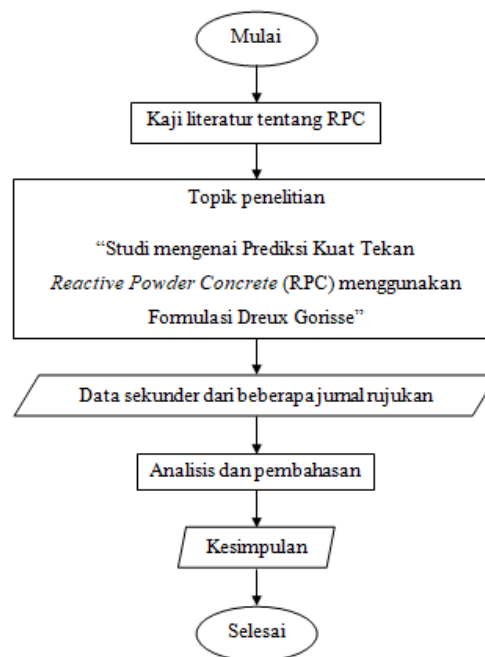
$$W_{RP} = \frac{\text{Berat jenis } RP}{\text{Berat jenis } C} \times \frac{RP}{RP+C} \times W \quad \dots(11)$$

Perancangan campuran RPC menggunakan formulasi Dreux Gorisse ini diduga dapat digunakan sebagai salah satu acuan selain metode lainnya yang telah dilakukan oleh para peneliti lainnya.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dijelaskan melalui diagram alir yang diperlihatkan pada **Gambar 2**.

**Gambar 2. Diagram alir penelitian**

3.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan merupakan data hasil penelitian uji kuat tekan RPC umur 28 hari. Data sekunder tersebut diambil dari beberapa jurnal rujukan sebagai berikut:

1. Penelitian Nuha H. Al-Jubory (2013) yang berjudul *Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete (RPC) with Mineral Admixture*. Penelitian ini dimuat pada *Al-Rafidain Engineering Journal* yang diterbitkan oleh *University of Mosul*, Irak. Campuran RPC pada jurnal ini menggunakan OPC dengan kekuatan semen umur 7 hari sebesar 27,88 MPa serta pasir sungai dengan ukuran butiran 0,15 – 0,60 mm. *Silica fume*, air dan *superplasticizer* juga turut digunakan dalam campuran RPC pada jurnal ini. Benda uji yang digunakan yaitu kubus dengan ukuran 50x50x50 mm dengan kuat tekan umur 28 hari. Data sifat fisik material dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Data Sifat Fisik Material Penelitian Al-Jubory (2013)

Sifat fisik	Material		
	Semen	Pasir	SF
Berat jenis [kg/m ³]	3140	2650	2200
Berat isi [kg/m ³]	-	-	300
Modulus kehalusan (FM)	-	1,3	-
Kehalusan [m ² /kg]	335,9	-	22500

(Sumber: Al-Jubory, N. H., 2013)

2. Penelitian Mohammed Mansour Kadhum (2015) yang berjudul *Studying of Some Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete Using Local Materials*. Penelitian Kadhum dimuat pada *Journal of Engineering* yang diterbitkan oleh *University of Babylon*, Irak. Campuran RPC pada jurnal ini menggunakan semen OPC dengan kekuatan semen umur 7 hari sebesar 32 MPa, pasir alami dengan ukuran butiran maksimum 0,60 mm, *silica fume*, air dan *superplasticizer*. Benda uji yang digunakan yaitu kubus berdimensi 50x50x50 mm dengan kuat tekan umur 3, 28, dan 56 hari. Data sifat fisik material ditampilkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Data Sifat Fisik Material Penelitian Kadhum (2015)

Sifat fisik	Material		
	Semen	Pasir	SF
Berat jenis [kg/m ³]	3150	2700	2200
Berat isi [kg/m ³]	-	-	300
Modulus kehalusan (FM)	-	1,440	-
Kehalusan [m ² /kg]	346	-	21000

(Sumber: Kadhum, M. M., 2015)

3. Penelitian Parameshwar Hiremath & Subhash C. Yaragal (2017) dari *National Institute of Technology Karnataka*, India. Penelitian ini dimuat pada *Materials Today: Proceedings 4* terbitan Elsevier dengan judul *Investigation on Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete under Different Curing Regimes*. Campuran RPC pada jurnal ini menggunakan volume semen OPC *grade 53* sebanyak 900 kg/m³, pasir silika dengan ukuran butiran 0,15 – 0,60 mm, *silica fume*, *quartz powder*, air dan *superplasticizer*. Benda uji yang digunakan yaitu kubus dengan ukuran 100x100x100 mm dengan kuat tekan umur 7 dan 28 hari. Data sifat fisik material disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Data Sifat Fisik Material Penelitian Hiremath & Yaragal (2017)

Sifat fisik	Material			
	Semen	Pasir	SF	QP
Berat jenis [kg/m ³]	3150	2600	2260	2600
Berat isi [kg/m ³]	3210	1630	300	700
Modulus kehalusan (FM)	-	-	-	-
Kehalusan [m ² /kg]	330	-	20000	-

(Sumber: Hiremath, P., & Yaragal, S. C., 2017)

4. Penelitian Akshay Nadiger & Mini K. Madhavan (2019) yang berjudul *Influence of Mineral Admixtures and Fibers on Workability and Mechanical Properties of Reactive Powder Concrete*. Penelitian dimuat pada *Journal of Materials in Civil Engineering* yang diterbitkan oleh ASCE (*American Society of Civil Engineers*). Campuran RPC pada jurnal ini menggunakan semen OPC *grade 53* serta pasir sungai dengan ukuran butiran 0,15 – 0,60 mm. Selain itu, digunakan juga air, *superplasticizer*, dan *reactive powder* berupa *silica fume* dan *quartz powder*. Benda uji yang digunakan yaitu kubus dengan ukuran 70x70x70 mm dengan kuat tekan umur 28 hari. Data sifat fisik material diperlihatkan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Data Sifat Fisik Material Penelitian Nadiger & Madhavan (2019)

Sifat fisik	Material			
	Semen	Pasir	SF	QP
Berat jenis [kg/m ³]	2980	2650	2630	2650
Berat isi [kg/m ³]	-	1638	750	1826
Modulus kehalusan (FM)	-	1,448	-	-
Kehalusan [m ² /kg]	-	-	-	-

(Sumber: Nadiger, A., & Madhavan, M. K., 2019)

3.3 Analisis Data Sekunder

Analisis dilakukan untuk membuktikan pendugaan yang telah diajukan. Tahapan analisis data sekunder yang dilakukan terdiri dari:

1. Menganalisis dan memodelkan mekanisme fisika RPC untuk mengajukan formulasi Dreux Gorisse modifikasi untuk RPC.

2. Menghitung faktor granular pasir (G_s) berdasarkan data sifat fisik material atau menggunakan hubungan modulus kehalusan (FM) pasir dan dominasi ukuran maksimum butiran dengan faktor granular.
3. Menghitung faktor granular RP (G_{RP}) berdasarkan data sifat fisik material.
4. Menghitung faktor granular gabungan *filler* yaitu pasir dan RP (G rata-rata), berdasarkan persentase masing-masing material.
5. Menghitung berat air yang digunakan oleh RP (W_{RP}) berdasarkan tingkat kehalusan RP terhadap kehalusan semen.
6. Menghitung berat air aktual atau berat air sisa setelah terjadi penyerapan oleh RP (W').
7. Merumuskan nilai K pada secara empirik berdasarkan data penelitian.
8. Menghitung faktor granular yang terjadi pada campuran (G). Perhitungan menggunakan nilai K yang telah diajukan.
9. Menghitung kuat tekan prediksi umur 28 hari menggunakan modifikasi formulasi Dreux Gorisse untuk RPC.
10. Membandingkan kuat tekan prediksi umur 28 hari dengan kuat tekan hasil uji umur 28 hari yang diperoleh dari jurnal rujukan.
 - Jika kuat tekan prediksi $\geq 90\%$, maka dugaan yang diajukan dapat diterima tanpa faktor koreksi.
 - Jika kuat tekan prediksi $< 90\%$, maka dugaan yang diajukan dapat diterima dengan sebuah faktor koreksi.
11. Membuat kesimpulan.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Hasil analisis data sekunder dari 4 jurnal rujukan disajikan pada **Tabel 8** sampai dengan **Tabel 11**.

Tabel 8. Data Hasil Analisis Penelitian Al-Jubory (2013)

Uraian	Campuran RPC
	[kg/m ³] Mix 1
Air [kg]	347
Semen [kg]	955
Pasir [kg]	1051
SF [kg]	229
SP [kg]	19
W/C	0,36
Kekuatan mortar semen umur 28 hari (f_{pc}) [MPa]	42,892
Faktor granular (G)	0,349
Air yang digunakan SF (W_{SF}) [kg]	95,790
Air aktual (W') [kg]	251,210
W/C	0,263
Kuat tekan prediksi umur 28 hari (f'_c) [MPa]	49,417
Kuat tekan hasil uji umur 28 hari (f'_c) [MPa]	54,7
Perbandingan antara kuat tekan prediksi dengan kuat tekan hasil uji [%]	90,341

Tabel 9. Data Hasil Analisis Penelitian Kadhum (2015)

Uraian	Campuran RPC [kg/m ³]
	RPC
Air [kg]	160
Semen [kg]	910
Pasir [kg]	960
SF [kg]	185
SP [kg]	80
W/C	0,18
Kekuatan mortar semen umur 28 hari (f_{PC}) [MPa]	49,231
Faktor granular (G)	0,395
Air yang digunakan SF (W_{SF}) [kg]	38,705
Air aktual (W') [kg]	121,295
W/C	0,133
Kuat tekan prediksi umur 28 hari (f'_c) [MPa]	136,340
Kuat tekan hasil uji umur 28 hari (f'_c) [MPa]	139,5
Perbandingan antara kuat tekan prediksi dengan kuat tekan hasil uji [%]	97,735

Tabel 10. Data Hasil Analisis Penelitian Hiremath & Yaragal (2017)

Uraian	Campuran RPC [kg/m ³]	
	M1	M2
Air [kg]	218,7	243
Semen [kg]	900	900
Pasir [kg]	945	895,5
SF [kg]	135	135
QP [kg]	180	180
SP [kg]	18	18
W/C	0,24	0,27
Kekuatan mortar semen umur 28 hari (f_{PC}) [MPa]	52,5	52,5
Faktor granular (G)	0,403	0,410
Air yang digunakan SF (W_{SF}) [kg]	39,760	44,178
Air aktual (W') [kg]	178,940	198,822
W/C	0,199	0,221
Kuat tekan prediksi umur 28 hari (f'_c) [MPa]	95,877	86,657
Kuat tekan hasil uji umur 28 hari (f'_c) [MPa]	114,2	106,1
Perbandingan antara kuat tekan prediksi dengan kuat tekan hasil uji [%]	83,955	81,675

Tabel 11. Data hasil Analisis Penelitian Nadiger & Madhavan (2019)

Uraian	Campuran RPC [kg/m ³]									
	Q0 S0	Q0 S5	Q0 S7,5	Q0 S10	Q0 S15	Q5 S0	Q5 S5	Q5 S7,5	Q5 S10	Q5 S15
Air [kg]	190	180,5	175,75	171	161,5	190	180,5	175,75	171	161,5
Semen [kg]	1000	950	925	900	850	1000	950	925	900	850
Pasir [kg]	1000	1000	1000	1000	1000	950	950	950	950	950
SF [kg]	0	50	75	100	150	0	50	75	100	150
QP [kg]	0	0	0	0	0	50	50	50	50	50
SP [kg]	14	14,25	14,8	15,3	15,3	15	15,2	15,725	16,2	15,3
W/C	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Kekuatan mortar semen umur 28 hari (f_{pc}) [MPa]	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5
Faktor granular (G)	0,434	0,421	0,457	0,451	0,439	0,436	0,423	0,459	0,453	0,442
Air yang digunakan SF (W_{sf}) [kg]	0,000	10,226	14,935	19,376	27,449	0,000	10,226	14,935	19,376	27,449
Air aktual (W') [kg]	190,000	170,274	160,815	151,624	134,051	190,000	170,274	160,815	151,624	134,051
W/C	0,190	0,179	0,174	0,168	0,158	0,190	0,179	0,174	0,168	0,158
Kuat tekan prediksi umur 28 hari (f_c') [MPa]	108,404	112,281	125,949	128,613	134,686	109,026	112,911	126,648	129,318	135,409
Kuat tekan hasil uji umur 28 hari (f_c') [MPa]	102,45	110,8	118,353	125,727	116,383	109,507	117,35	127,597	133,557	126,673
Perbandingan antara kuat tekan prediksi dengan kuat tekan hasil uji [%]	94,507	98,681	93,969	97,756	86,411	99,561	96,217	99,256	96,827	93,549

Tabel 11. Data Hasil Analisis Penelitian Nadiger & Madhavan (2019) lanjutan

Uraian	Campuran RPC [kg/m ³]									
	Q10 S0	Q10 S5	Q10 S7,5	Q10 S10	Q10 S15	Q15 S0	Q15 S5	Q15 S7,5	Q15 S10	Q15 S15
Air [kg]	190	180,5	175,75	171	161,5	190	180,5	175,75	171	161,5
Semen [kg]	1000	950	925	900	850	1000	950	925	900	850
Pasir [kg]	900	900	900	900	900	850	850	850	850	850
SF [kg]	0	50	75	100	150	0	50	75	100	150
QP [kg]	100	100	100	100	100	150	150	150	150	150
SP [kg]	15	15,2	16,65	16,2	16,15	16	16,15	16,65	17,1	17
W/C	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Kekuatan mortar semen umur 28 hari (f_{pc}) [MPa]	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5	52,5
Faktor granular (G)	0,438	0,426	0,462	0,456	0,444	0,353	0,385	0,380	0,375	0,365
Air yang digunakan SF (W_{sf}) [kg]	0,000	10,226	14,935	19,376	27,449	0,000	10,226	14,935	19,376	27,449
Air aktual (W') [kg]	190,000	170,274	160,815	151,624	134,051	190,000	170,274	160,815	151,624	134,051
W/C	0,190	0,179	0,174	0,168	0,158	0,190	0,179	0,174	0,168	0,158
Kuat tekan prediksi umur 28 hari (f_c') [MPa]	109,648	113,541	127,346	130,024	136,132	88,216	102,754	104,764	106,960	111,972
Kuat tekan hasil uji umur 28 hari (f_c') [MPa]	114,837	126,477	137,91	148,343	137,333	92,99	101,72	108,63	113,823	114,383
Perbandingan antara kuat tekan prediksi dengan kuat tekan hasil uji [%]	95,482	89,772	92,340	87,651	99,125	94,867	98,994	96,441	93,971	97,892

4.2 Pembahasan

Hasil analisis data sekunder pengujian kuat tekan RPC umur 28 hari memperlihatkan:

1. Analisis dilakukan berdasarkan langkah-langkah analisis data sekunder pada Bab 3.3.
2. Seluruh penelitian pada jurnal rujukan yang menggunakan pasir alami, dianggap menggunakan pasir alami dengan kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*).
3. Rumus empirik nilai K diajukan berdasarkan penelitian Nadiger & Madhavan (2019). Kemudian didapatkan bahwa nilai K bergantung pada volume mutlak pasir (V_S) dan volume mutlak *filler* (V_F). Nilai K dapat diambil berdasarkan ketentuan berikut:
 - Jika $V_S < 0,34 \text{ m}^3$; $V_F \leq 0,38 \text{ m}^3$ maka, $K = 0,40$
 $V_F > 0,38 \text{ m}^3$ maka, $K = 0,45$
 - Jika $V_S \geq 0,34 \text{ m}^3$; $V_F \leq 0,40 \text{ m}^3$ maka, $K = 0,50$
 $0,40 \text{ m}^3 < V_F \leq 0,44 \text{ m}^3$ maka, $K = 0,55$
 $0,44 \text{ m}^3 < V_F \leq 0,60 \text{ m}^3$ maka, $K = 0,60$
 $0,60 \text{ m}^3 < V_F \leq 0,68 \text{ m}^3$ maka, $K = 0,50$
 $V_F > 0,68 \text{ m}^3$ maka, $K = 0,40$
4. Dilakukan uji validasi nilai K menggunakan beberapa jurnal rujukan lainnya. Hasilnya ternyata memperlihatkan kecocokan, sehingga rumus empirik nilai K dapat digunakan.
5. Dari 24 data perbandingan nilai kuat tekan prediksi umur 28 hari dengan nilai kuat tekan hasil uji yang didapat dari 4 jurnal berbeda, didapatkan:
 - 19 data memperlihatkan kuat tekan prediksi $\geq 90\%$.
 - 5 data memperlihatkan kuat tekan prediksi $< 90\%$.
6. Dominasi kuat tekan prediksi berada di $\geq 90\%$. Hal ini menunjukkan nilai kuat tekan prediksi mendekati nilai kuat tekan hasil uji, sehingga formulasi Dreux Gorisse yang diajukan dapat digunakan tanpa faktor koreksi.
7. Model mekanisme fisika yang diasumsikan terjadi pada campuran RPC dinyatakan benar terjadi, berdasarkan ketercapaian kedekatan nilai kuat tekan prediksi dengan nilai kuat tekan hasil uji.
8. Berdasarkan kedekatan nilai kuat tekan prediksi dengan nilai kuat tekan hasil uji, maka perancangan campuran RPC menggunakan formulasi Dreux Gorisse dapat dilakukan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data sekunder uji kuat tekan RPC, dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode perancangan campuran beton biasa, dalam hal ini metode Dreux Gorisse, dapat diaplikasikan pada perancangan campuran RPC melalui formulasi Dreux Gorisse yang telah dimodifikasi pada **Persamaan 4**.
2. Jika *reactive powder* yang digunakan adalah *silica fume* dan/atau *fly ash*, maka terdapat pembagian air. Pembagian air dapat dihitung menggunakan rumus pada **Persamaan 10** atau **Persamaan 11**.
3. Besarnya faktor granular yang terjadi pada campuran (G) dapat dihitung menggunakan rumus empirik pada **Persamaan 8** dengan menggunakan nilai K yang diajukan.

5.2 Saran

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis data sekunder, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan data primer melalui pengujian di laboratorium.

DAFTAR RUJUKAN

- Al-Jubory, N. H. (2013). Mechanical properties of Reactive Powder Concrete (RPC) with mineral admixture. *Al-Rafidain Engineering Journal*, 21(5), 92–101. Mosul: University of Mosul.
- Alkhaly, Y. R. (2013). Reactive Powder Concrete dengan sumber silika dari limbah bahan organik. *Teras Jurnal*, 3(2), 157–166. Aceh: Universitas Malikussaleh.
- Gilkey, H. J. (1961). Water-cement ratio versus strength-another look. *Journal Proceedings*, 57(4), 1287–1312.
- Gunawan, C. (2015). *Perilaku kekuatan tekan beton serbuk reaktif*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hiremath, P., & Yaragal, S. C. (2017). Investigation on mechanical properties of Reactive Powder Concrete under different curing regimes. *Materials Today: Proceedings*, 4, 9758–9762. Elsevier.
- Kadhun, M. M. (2015). Studying of some mechanical properties of Reactive Powder Concrete using local materials. *Journal of Engineering*, 21(7), 113–135. Al-Hillah: University of Babylon.
- Kushartomo, W., Fransiska, S., & Wijaya, R. (2014). Sifat permeabilitas pada Reactive Powder Concrete (RPC) dengan menggunakan limbah kaca (green concrete). *Jurnal Kajian Teknologi*, 10(2), 101–109. Jakarta: Universitas Tarumanagara.
- Mendes, A., & Saelan, P. (2021). Perlakuan abu terbang dalam campuran beton. *Prosiding: Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir 2021*, 2, 73–84. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Nadiger, A., & Madhavan, M. K. (2019). Influence of mineral admixtures and fibers on workability and mechanical properties of Reactive Powder Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(2): 04018394. ASCE (American Society of Civil Engineers).
- Popovics, S., & Ujhelyi, J. (2008). Contribution to the concrete strength versus water-cement ratio relationship. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(7), 459–463. ASCE (American Society of Civil Engineers).
- Richard, P., & Cheyrezy, M. (1995). Composition of Reactive Powder Concretes. *Cement and Concrete Research*, 25(7), 1501–1511. Elsevier.
- Walker, S., Bloem, D. L., & Gaynor, R. D. (1959). Relationships of concrete strength to maximum size of aggregate. *Materials and Construction*, 367–385. Washington, D.C: National Sand and Gravel Association and National Ready Mixed Concrete Association.
- Yousfi, S., Nouri, L., Saidani, M., & Hadjab, H. (2014). The use of the Dreux-Gorisse method in the preparation of concrete mixes: An automatic approach. *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)*, 15(1), 79–93.