

PENGARUH BATU API DARI DAERAH MASOHI-MALUKU TENGAH TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Ginardy Husada, Youlanda Luanmase
Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha
Jalan Prof. Drg. Suria Sumantri MPH. 65, Bandung, 40164
E-mail: betaagin@yahoo.com

ABSTRAK

Studi ekperimental uji kuat tekan beton, dimana agregat kasar yang pada umumnya dipakai untuk campuran beton, akan diganti dengan batu api yang berasal dari daerah Masohi-Maluku Tengah, yang mana mempunyai potensi untuk menaikkan mutu beton. Benda uji yang dipakai dalam penelitian ini berbentuk silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm dengan mutu beton 25 MPa. Perencanaan campuran beton berdasarkan metode SK-SNI-T-15-1990-03. Persentase batu api yang digunakan adalah 10%, 30%, 50%, dan 100%. Benda uji yang dibuat berjumlah 45 buah, yaitu masing-masing 9 buah untuk beton normal dan beton yang agregatnya diganti dengan batu api. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil percobaan diperoleh bahwa batu api dapat menaikkan mutu beton sampai 11,991 % terhadap beton normal.

Kata kunci: Mutu beton, Batu api.

ABSTRACT

This article presents an experimental study on testing compressive strength of concrete, where coarse aggregate used in general for concrete mixture will be changed with flint coming from Masohi at the central district Moluccas. This flint has the influence to increase the compressive strength of concrete. The specimen used in this research is concrete cylinder specimen with diameter 150 mm, height 300 mm and the quality of concrete 25 MPa. The forecast of concrete mixture is based on method SK-SNI-T-15-1990-03. The flint percentage applied by 10%, 30%, 50% and 100%. The amounts of the specimens are 45 pieces, which is each 9 pieces of standard concrete and concrete which the aggregate is changed with flint. The testing compressive strength of concrete are performed at ages of 7, 14 and 28 days. The result of experiment is obtained that the flint can boost up the compressive strength of concrete until 11,991% to normal concrete.

Keywords: Strength of concrete, Flint coming.

1. PENDAHULUAN

Beton yang digunakan sebagai bahan struktur dalam konstruksi Teknik Sipil, dapat dimanfaatkan dalam banyak hal, terutama untuk memajukan konstruksi pembangunan di Indonesia yang sangat pesat ini. Hal ini tentu saja haruslah didukung oleh adanya material yang tersedia di alam dan dapat dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya. Pemanfaatan material yang tersedia di alam dapat memberikan suatu kemudahan dan memberikan keuntungan tersendiri bagi pembangunan khususnya daerah-daerah di Indonesia yang sebagian besar bahan materialnya mudah ditemukan.

Pada penelitian ini, agregat kasar dalam material campuran beton akan digantikan dengan batu api dari daerah Masohi-Maluku Tengah. Batu api yang tersedia di sekitar pantai ini dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar untuk dipergunakan sebagai salah satu material dalam pembuatan konstruksi bangunan. Batu api ini sering dipakai dalam pembangunan rumah-rumah beton, pembuatan jembatan juga sebagai lapisan perkerasan jalan. Gambar 1 memperlihatkan batu api yang banyak dijumpai di sekitar pesisir pantai.



Gambar 1. Batu api di sekitar pesisir pantai Masohi-Maluku Tengah

Batu api ini sering dipakai dalam pembangunan di daerah Masohi - Maluku Tengah. Selain banyak ditemukan, batu api juga ternyata mempunyai kandungan mineral yaitu mineral kuarsa yang membuat batu ini lebih kuat dibandingkan dengan agregat kasar lain. Untuk itu batu api sangat baik digunakan dalam campuran beton.

Kekerasan mineral dinyatakan dalam skala kekerasan yang dikemukakan oleh seorang ahli mineral Jerman, Friedrich Mohs. Dengan menentukan 10 mineral menurut urutan kekerasannya, disusun suatu standar yang dipakai sebagai pembanding terhadap mineral-mineral lain. Menurut skala kekerasannya mineral kuarsa berada pada skala kekerasan 7.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui mutu dan kekuatan dari batu api sebagai pengganti agregat kasar yang sengaja didatangkan dari daerah Masohi-Maluku Tengah dan membandingkan kuat tekan yang dihasilkan oleh kedua jenis agregat yang berbeda ini dalam campuran beton.

2. BAHAN-BAHAN DALAM PERENCANAAN CAMPURAN BETON

2.1 Semen

Semen yang digunakan dalam campuran beton adalah semen Portland. Semen Portland diproduksi pertama kali pada tahun 1824 oleh Joseph Aspdin, seorang tukang batu berkebangsaan Inggris. Semen Portland dibentuk dari semen yang dihasilkan menyerupai

batuan di pulau Portland. Semen Portland didalam ilmu bahan-bahan termasuk dalam golongan bahan perekat hidrolis, yaitu suatu bahan yang akan mengeras bila dicampur dengan air.

Sesuai dengan tujuan penggunaannya, semen Portland dibagi dalam 5 jenis (SK.SNI T-15-1990-03) yaitu:

- a. Tipe I, semen Portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya
- b. Tipe II, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang
- c. Tipe III, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi
- d. Tipe IV, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah
- e. Tipe V, semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

2.2 Agregat

Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Walaupun fungsinya hanya sebagai pengisi, karena komposisinya yang cukup besar, agregat inipun menjadi penting, karena itu perlu dipelajari karakteristik agregat yang akan menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan.

Secara umum, agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu, agregat kasar dan agregat halus. Batasan antara agregat halus dan agregat kasar berbeda antara disiplin ilmu yang satu dengan yang lainnya. Meski demikian, dapat diberikan batasan ukuran antara agregat halus dan agregat kasar yaitu 4,8 mm atau 4,75 mm. Agregat kasar adalah batuan yang butirnya lebih besar dari 4,80 mm (4,75 mm) dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4,8 mm (4,75 mm).

2.2.1 Modulus Halus Butir

Modulus halus butir (*finnes modulus*) atau biasa disingkat dengan MHB ialah suatu indek yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat. MHB didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir agregat yang tertinggal di atas satu set ayakan (38, 19, 9,6, 4,8, 2,4, 1,2, 0,6, 0,3, 0,15 mm), kemudian nilai tersebut dibagi seratus.

Makin besar nilai MHB suatu agregat berarti semakin besar butiran agregatnya. Umumnya agregat halus mempunyai MHB sekitar 1,5–3,8 dan agregat kasar mempunyai nilai MHB 5,0–8,0. Nilai ini juga dapat dipakai sebagai dasar untuk mencari perbandingan dari campuran agregat. Untuk agregat campuran nilai MHB yang biasa dipakai sekitar 5,0–6,0. Hubungan ketiga nilai MHB tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$W = (K-C)/(C-P) \times 100\% \quad (1)$$

dimana: W = Berat agregat halus terhadap berat agregat kasar

K = Modulus halus butir agregat kasar

P = Modulus halus butir agregat halus

C = Modulus halus butir agregat campuran.

2.2.2 Serapan Air

Serapan air dihitung dari banyaknya air yang mampu diserap oleh agregat pada kondisi jenuh permukaan kering (JPK) atau *saturated surface dry* (SSD), kondisi ini merupakan:

1. Keadaan kebasahan agregat yang hampir sama dengan agregat dalam beton, sehingga agregat tidak menambah maupun mengurangi air dari pastanya
2. Kadar air di lapangan lebih banyak mendekati kondisi SSD daripada kondisi kering tungku.

2.2.3 Kadar Air

Kadar air adalah banyaknya air yang terkandung dalam suatu agregat. Kadar air agregat dapat dibedakan menjadi empat jenis:

1. Kadar air kering tungku yaitu keadaan yang benar-benar tidak berair
2. Kadar air kering udara yaitu kondisi agregat yang permukaannya kering tetapi sedikit mengandung air dalam porinya dan masih dapat menyerap air
3. Jenuh Kering Permukaan (JPK), yaitu keadaan dimana tidak ada air di permukaan agregat, tetapi agregat tersebut masih mampu menyerap air. Pada kondisi ini, air dalam agregat tidak akan menambah atau mengurangi air pada campuran beton
4. Kondisi basah, yaitu kondisi dimana butir-butir agregat banyak mengandung air, sehingga akan menyebabkan penambahan kadar air campuran beton.

Dari keempat kondisi tersebut hanya ada dua kondisi yang sering dipakai yaitu kering tungku dan kondisi SSD.

2.2.4 Gradasi Agregat Halus dan Gradasi Agregat Campuran

Dalam pengerjaan beton yang banyak dipakai adalah agregat normal dengan gradasi yang harus memenuhi syarat. Gradasi yang baik kadang sangat sulit didapatkan langsung dari suatu tempat (*quarry*). Dalam praktek, biasanya dilakukan pencampuran agar didapatkan gradasi yang baik antara agregat kasar dengan agregat halus.

2.3 Air

Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya, yang tercemar misalnya garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan.

2.4 Beton

Secara umum beton sangat tergantung pada komposisi campuran (perbandingan agregat kasar, agregat halus, semen, dan air), mutu bahan-bahan penyusunnya terutama agregat kasar serta agregat halus-nya yaitu kerikil dan pasir. Kuat tekan beton merupakan salah satu kinerja utama beton. Kuat tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kekuatan tekan beton akan bertambah dengan naiknya umur beton. Kekuatan beton akan naik secara cepat sampai umur 28 hari, tetapi setelah itu kenaikannya relatif kecil.

2.5 Syarat Perancangan Beton

2.5.1 Kuat Tekan Rencana

Beton yang dirancang harus memenuhi persyaratan kuat tekan rata-rata, yang memenuhi syarat berdasarkan data deviasi standar hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari untuk kondisi dan jenis konstruksi yang sama. Persyaratan kuat tekan didasarkan pada hasil uji kuat tekan silinder.

2.5.2 Berat Jenis Agregat Normal menurut SII.0052 - 80

Agregat normal (campuran agregat kasar dan agregat halus) dihasilkan dari pemecahan batuan dengan quarry atau langsung dari sumber alam. Berat jenis rata-ratanya adalah 2,5-2,7.

2.5.3 Agregat Normal menurut SII.0052-80

Agregat halus

1. Modulus halus butir 1,5 sampai 3,8
2. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 5%
3. Kadar zat organik yang terkandung ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 3%, jika dibanding dengan warna standar/pembanding tidak lebih tua dari warna standar
4. Kekekalan (jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10%, dan jika dipakai magnesium sulfat, maksimum 15%).

Agregat Kasar

1. Modulus halus butir 5,0 sampai 8,0
2. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 1%
3. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%
4. Kekekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, dan jika dipakai magnesium sulfat bagian yang hancur maksimum 18%
5. Tidak bersifat reaktif terhadap alkali jika kadar alkali dalam semen sebagai Na_2O lebih besar dari 0,6%
6. Tidak mengandung butiran yang panjang dan pipih lebih dari 20%
7. Kekerasan agregat harus memenuhi syarat Tabel 1.

Tabel 1. Syarat mutu kekuatan agregat

Kelas dan Mutu Beton	Kekerasan dengan bejana Rudeloff, bagian yang hancur menembus ayakan 2 mm, persen (%) maksimum		Kekerasan dengan bejana Los Angelos, Bagian hancur menembus ayakan 1,7 mm, % maks.
	Fraksi Butir 9,5 – 19 mm	Fraksi Butir 19-30 mm	
(1)	(2)	(3)	(4)
Beton Kelas I dan mutu B_0 dan B_1	22-30	24-32	40-50
Beton Kelas II dan mutu K. 125, K175 dan K.225	14-22	16-24	27-40
Beton Kelas III dan mutu > K. 225 atau beton pratekan.	Kurang dari 14	Kurang dari 16	Kurang dari 27

Sumber : SII-0052-80

2.6 Perencanaan Proporsi Campuran

2.6.1 Kuat Tekan Rata-rata yang Direncanakan

Nilai standar deviasi didapat dari hasil pengujian yang lalu untuk kondisi pekerjaan dan lingkungan yang sama dengan benda uji yang lebih besar dari 30 benda uji yang berpasangan. Standar deviasi dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

dimana s adalah standar deviasi, x_i adalah kuat tekan beton yang didapat dari hasil pengujian untuk masing-masing benda uji, \bar{x} adalah kuat tekan rata-rata dan n adalah jumlah data. Perhitungan nilai standar deviasi awal ditentukan dari data yang diambil dari Tabel 2.2 .

Tabel 2. Faktor pengali untuk deviasi standar untuk perencanaan awal

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	S (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat Baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa Kendali	8,4

2.6.2 Nilai Tambah (*Margin*)

Nilai tambah atau margin dihitung menurut rumus $m = k \times s$, dimana m adalah nilai tambah, k adalah tetapan statistik yang nilainya tergantung pada hasil uji yang lebih rendah dari mutu beton (f'_c). k diambil 1,64 dan s adalah standar deviasi. Sehingga $m = 1,64 s$.

Dalam hal ini, kuat tekan rencana yang ditargetkan:

$$f'_{cr} = f'_c + 1,64 s \quad (3)$$

2.6.3 Pemilihan Faktor Air Semen

Secara umum diketahui bahwa semakin tinggi nilai FAS, semakin rendah mutu kekuatan beton. Namun demikian, nilai FAS yang semakin rendah tidak selalu berarti bahwa kekuatan beton semakin tinggi. Nilai FAS yang rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan, yaitu kesulitan dalam pelaksanaan pemadatan yang pada akhirnya akan

menyebabkan mutu beton menurun. Umumnya nilai FAS minimum yang diberikan sekitar 0,4 dan maksimum 0,65.

2.6.4 Slump

Slump ditetapkan sesuai dengan kondisi pelaksanaan pekerjaan agar diperoleh beton yang mudah dituangkan dan dipadatkan. Nilai slump dapat diambil dari Tabel 3.

Tabel 3. Slump yang diisyaratkan untuk berbagai konstruksi

Jenis Konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum*	Minimum
Dinding Penahan dan Pondasi	76.2	25.4
Pondasi sederhana, sumuran, dan dinding sub struktur	76.2	25.4
Balok dan dinding beton	101.6	25.4
Kolom struktural	101.6	25.4
Perkerasan dan slab	76.2	25.4
Baton masal	50.8	25.4

2.6.5 Kadar Air Bebas

Kadar air bebas ditentukan oleh agregat yang dipecah atau agregat yang tak pecah (alami) menggunakan Tabel 4 dan agregat campuran dihitung menurut rumus:

$$\text{Kadar air bebas} = 2/3 W_h + 1/3 W_k \quad (4)$$

dimana W_h adalah perkiraan jumlah air untuk agregat halus dan W_k adalah perkiraan jumlah air untuk agregat kasar.

Tabel 4. Perkiraan kadar air bebas (kg/m^3) yang dibutuhkan untuk beberapa tingkat kemudahan pekerjaan adukan

Ukuran Besar Butir Agregat Maksimum (mm)	Jenis Agregat	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-100
10	Batu tak pecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak pecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
30	Batu tak pecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

2.6.6 Proporsi Agregat Halus

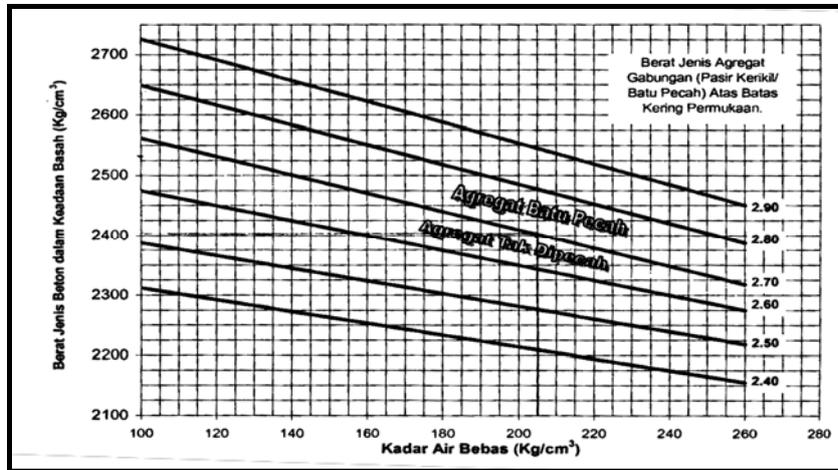
Proporsi agregat halus ditentukan berdasarkan nilai ukuran butir maksimum yang dipakai, faktor air semen, dan nilai slump yang digunakan serta zona gradasi agregat halus.

2.6.7 Berat Jenis Relatif Agregat

Berat jenis relatif agregat diambil berdasarkan data hasil pengujian laboratorium. Jika data tersebut tidak ada, untuk agregat kasar diambil nilai $2,6 \text{ gr/cm}^3$ dan untuk agregat halus diambil nilai $2,7 \text{ gr/cm}^3$. Berat jenis agregat gabungan dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Berat Jenis (BJ) Agregat Gabungan} = [\% \text{ Agregat Halus} \times \text{BJ Agregat Halus}] + [\% \text{ Agregat Kasar} \times \text{BJ Agregat Kasar}] \quad (5)$$

Nilai agregat gabungan kemudian diplotkan kedalam Gambar 2.1, untuk mendapatkan berat jenis beton dalam keadaan basah.



Gambar 2.1 Perkiraan berat jenis beton basah yang dimampatkan secara penuh

2.6.8 Koreksi Proporsi Campuran

Apabila agregat tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD), proporsi campuran harus dikoreksi terhadap kandungan dalam agregat. Koreksi proporsi campuran dilakukan terhadap kadar air dalam agregat minimum satu kali dalam sehari dan dihitung menurut rumus sebagai berikut:

$$\text{Air} = B - (C_k - C_a) \times C / 100 - (D_k - D_a) \times D / 100 \quad (6)$$

$$\text{Agregat halus} = C + (C_k - C_a) \times C / 100 \quad (7)$$

$$\text{Agregat kasar} = D + (D_k - D_a) \times C / 100 \quad (8)$$

dimana: B = Jumlah air (kg/m^3)
 C = Jumlah agregat halus (kg/m^3)
 D = Jumlah kerikil (kg/m^3)

C_a = Penyerapan air agregat halus (%)

D_a = Penyerapan air agregat kasar (%)

C_k = Kandungan air agregat halus (%)

D_k = Kandungan air agregat kasar (%).

3. PELAKSANAAN CAMPURAN

3.1 Pemeriksaan Material

Sebelum melaksanakan pencampuran beton ada baiknya dilakukan pemeriksaan material. Pemeriksaan ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Beton, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, Bandung. Pemeriksaan yang dilakukan antara lain:

1. Penentuan kadar lumpur agregat halus
2. Kadar air agregat kasar, halus dan batu api
3. Berat jenis dan penyerapan agregat halus, kasar dan batu api
4. Kekerasan agregat kasar dan batu api
5. Analisa ayak agregat kasar, halus dan batu api
6. Menentukan slump beton
7. Pemeriksaan kuat tekan beton.

3.2 Perencanaan Proporsi Gabungan Agregat

Tujuan dari perhitungan perencanaan proporsi agregat gabungan ini adalah untuk mendapatkan suatu variasi campuran agregat kasar dan halus. Agar menghasilkan campuran beton dengan kemampuan yang baik. Hasil dan perhitungan analisa ayak agregat kasar, batu api, dan agregat halus akan dipakai dalam perhitungan perencanaan proporsi agregat gabungan ini dengan persen batu api 10%, 30%, 50%, dan 100%.

3.3 Perencanaan Proporsi Pencampuran Beton

Untuk mendapatkan proporsi campuran beton maka, harus dilakukan perhitungan terhadap jumlah semen, agregat, dan air dalam 1 sampel silinder. Dan hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5 merupakan kebutuhan sampel campuran beton.

Tabel 5. Kebutuhan sampel proporsi campuran beton

Banyaknya benda uji untuk (7, 14, 28) hari	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
Proporsi (Kg/m^3)	366	246,04	822,86	980,1
1 Sampel Silinder (Kg)	1,9403	1,304	4,362	5,196

Setiap 1 sampel silinder pada Tabel 3.1 proporsi untuk semen, air, agregat halus, agregat kasar dikalikan dengan volume silinder. Untuk 1 sampel silinder kadar semen, air dan agregat halus tidak berubah atau tetap. Yang mengalami perubahan adalah agregat kasar terhadap batu api. Hal ini dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini.

Jumlah 1 sampel silinder untuk agregat kasar = 5,196 kg

Maka, untuk masing-masing persen batu api adalah:

1. Batu api 10% = $5,196 * 10\%$ = 0,5196 kg
Agregat kasar = $5,196 - 0,5196$ = 4,6764 kg
2. Batu api 30% = $5,196 * 30\%$ = 1,5588 kg
Agregat kasar = $5,196 - 1,5588$ = 3,6372 kg
3. Batu api 50% = $5,196 * 50\%$ = 2,598 kg
Agregat kasar = $5,196 - 2,598$ = 2,598 kg
4. Batu api 100% = $5,196 * 100\%$ = 5,196 kg

4. PEMBAHASAN DAN ANALISIS HASIL PENELITIAN

4.1 Data Hasil Kuat Tekan Beton

Hasil uji kuat tekan beton di Laboratorium Teknologi Beton, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha diperoleh data hasil uji kuat tekan beton untuk setiap campuran. Dalam hal ini campuran beton dengan agregat kasar, juga beton dengan batu api sebagai pengganti agregat kasar dengan persentase 10%, 30%, 50%, dan 100% dalam berbagai umur beton, yaitu umur 7, 14, dan 28 hari. Data-data tersebut tercantum dalam Tabel 6 sampai Tabel 10.

Tabel 6. Data hasil uji kuat tekan beton dengan agregat kasar

No	Umur Beton	Beban Runtuh	Beban Runtuh	Diameter Silinder d	Luas Penampang Silinder A	Kuat Tekan Beton
	(Hari)	(kN)	(N)	(mm)	(mm ²)	(MPa)
1	7	340	340000	150	17678,57	19,232
2		350	350000	150	17678,57	19,798
3		360	360000	150	17678,57	20,364
4	14	432,5	432500	150	17678,57	24,465
5		445	445000	150	17678,57	25,172
6		462,5	462500	150	17678,57	26,162
7	28	490	490000	150	17678,57	27,717
8		510	510000	150	17678,57	28,848
9		525	525000	150	17678,57	29,697

Tabel 7. Data hasil uji kuat tekan beton dengan batu api 10%

No	Umur Beton	Beban Runtuh	Beban Runtuh	Diameter Silinder d	Luas Penampang Silinder A	Kuat Tekan Beton
	(Hari)	(kN)	(N)	(mm)	(mm ²)	(MPa)
1	7	342,5	342500	150	17678,57	19,374
2		355	355000	150	17678,57	20,081
3		362,5	362500	150	17678,57	20,505
4	14	435	435000	150	17678,57	24,606
5		460	460000	150	17678,57	26,020
6		462,5	462500	150	17678,57	26,162
7	28	495	495000	150	17678,57	28,000
8		512,5	512500	150	17678,57	28,990
9		525	525000	150	17678,57	29,697

Tabel 8. Data hasil uji kuat tekan beton dengan batu api 30%

No	Umur Beton	Beban Runtuh	Beban Runtuh	Diameter Silinder d	Luas Penampang Silinder A	Kuat Tekan Beton
	(Hari)	(kN)	(N)	(mm)	(mm ²)	(MPa)
1	7	350	350000	150	17678,57	19,798
2		360	360000	150	17678,57	20,364
3		375	375000	150	17678,57	21,212
4	14	435	435000	150	17678,57	24,606
5		460	460000	150	17678,57	26,020
6		475	475000	150	17678,57	26,869
7	28	515	515000	150	17678,57	29,131
8		525	525000	150	17678,57	29,697
9		525	525000	150	17678,57	29,697

Tabel 9. Data hasil uji kuat tekan beton dengan persentase batu api 50%

No	Umur Beton	Beban Runtuh	Beban Runtuh	Diameter Silinder d	Luas Penampang Silinder A	Kuat Tekan Beton
	(Hari)	(kN)	(N)	(mm)	(mm ²)	(MPa)
1	7	360	360000	150	17678,57	20,364
2		365	365000	150	17678,57	20,646
3		370	370000	150	17678,57	20,929
4	14	450	450000	150	17678,57	25,455
5		455	455000	150	17678,57	25,737
6		475	475000	150	17678,57	26,869
7	28	525	525000	150	17678,57	29,697
8		530	530000	150	17678,57	29,980
9		535	535000	150	17678,57	30,263

Tabel 10. Data hasil uji kuat tekan beton dengan persentase batu api 100%

No	Umur Beton	Beban Runtuh	Beban Runtuh	Diameter Silinder d	Luas Penampang Silinder A	Kuat Tekan Beton
	(Hari)	(kN)	(N)	(mm)	(mm ²)	(MPa)
1	7	372,5	372500	150	17678,57	21,070
2		380	380000	150	17678,57	21,494
3		385	385000	150	17678,57	21,778
4	14	465	465000	150	17678,57	26,303
5		475	475000	150	17678,57	26,869
6		480	480000	150	17678,57	27,152
7	28	550	550000	150	17678,57	31,111
8		552,5	552500	150	17678,57	31,253
9		565	565000	150	17678,57	31,960

4.2 Analisis Regresi Hasil Uji Kuat Tekan

Pembahas tentang pengolahan data kuat tekan yang sudah diperoleh lewat hasil pengujian di laboratorium. Dengan memiliki sekumpulan data terganggu yang diperoleh dari hasil penelitian ini maka, dipakai persamaan trendline excel untuk lebih mempermudah menganalisis data terganggu tersebut (S.C. Bloch;2002).

Analisis hasil uji kuat tekan beton untuk campuran beton dengan batu api dapat disimpulkan bahwa persamaan garis yang dipakai yaitu persamaan polinomial. Persamaan polinomial mempunyai nilai R-kuadrat yang lebih mendekati nilai 1 yaitu 0,993 ini berarti hasil penelitian yang diharapkan tercapai.

Dari data-data kuat tekan dan regresi kuat tekan beton yang diperoleh dari hasil uji dan analisis maka, dilakukan perhitungan tentang faktor konversi yang dilalui pada masa beton mengeras. Faktor konversi dalam kuat tekan perlu diperhatikan karena dapat memperlihatkan perkembangan dan kondisi dari beton itu sendiri.

Dibawah ini adalah hasil mutu beton (f'_c) yang telah diperoleh dari hasil perhitungan faktor konversi dan standar deviasi. Tabel 11 dibuat untuk dapat melihat bahwa mutu kuat tekan beton yang dicari dari agregat kasar dan masing-masing persen batu api mengalami peningkatan mutu dari perencanaan awal yaitu 25 MPa.

Berdasarkan Tabel 11 dapat dihitung berapa persen-kaah kenaikan batu api yang diperoleh terhadap agregat kasar. Perhitungan persen kenaikan untuk masing-masing persentase batu api terhadap agregat kasar:

$$\text{Untuk batu api 10\%} = \frac{27,924 - 27,555}{27,555} \times 100 \% = 1,339 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk batu api 30\%} &= \frac{28,135 - 27,555}{27,555} \times 100 \% = 2,105 \% \\ \text{Untuk batu api 50\%} &= \frac{29,194 - 27,555}{27,555} \times 100 \% = 5,948 \% \\ \text{Untuk batu api 100\%} &= \frac{30,859 - 27,555}{27,555} \times 100 \% = 11,991 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas batu api dapat meningkatkan mutu beton hingga 11,991 %.

Tabel 11. Hasil mutu beton (f'_c) yang dicari dari agregat kasar dan batu api dengan masing-masing persentasenya

Campuran Beton		Mutu Beton f'_c (MPa)
Agregat Kasar		27,555
Batu Api	10%	27,924
	30%	28,135
	50%	29,194
	100%	30,859

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dilaboratorium, dan evaluasi hasil pengujian dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Agregat halus mempunyai kadar lumpur < 5% yaitu 3,298% kondisi ini membuat agregat halus tidak perlu dicuci lagi pada saat pencampuran beton. Berbeda dengan agregat kasar dan batu api yang tidak diukur kadar lumpurnya karena untuk syarat agregat kasar kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0,074 mm) maksimum 1% tapi ternyata agregat kasar dan batu api pada saringan tersebut memiliki nilai 0% jadi kedua agregat tersebut tidak memiliki kadar lumpur dan tidak perlu dicuci lagi.
2. Dalam hasil penelitian terlihat bahwa ada perbedaan ketinggian slump pada masing-masing campuran beton. Semakin besar persen pengganti batu api semakin kecil slump yang dihasilkan. Hal ini diakibatkan karena permukaan batu api yang kasar sehingga menyebabkan gesekan antara batu api dan pasta semen tidak mudah lepas sehingga slump yang dihasilkan batu api tidak mudah longsor.
3. Jenis konstruksi yang dapat dipenuhi untuk hasil slump campuran beton pada batu api adalah balok dan dinding beton serta kolom struktural.

4. Agregat kasar memiliki persen hancur 7,31% pada tekanan maksimum 120 kN sedangkan batu api memiliki persen hancur 11,563% pada tekanan maksimum 264 kN. Walaupun persen hancur agregat kasar lebih kecil tetapi batu api memiliki kekuatan agregat 2 kali lebih besar dari agregat kasar karena agregat yang kuat biasanya mempunyai modulus elastisitas (sifat dalam pengujian beban *uniaxial*) yang lebih tinggi.
5. Batu api memang mempunyai pengaruh yang baik untuk beton dibandingkan dengan agregat kasar pada umur 28 hari. Kenaikan batu api mempengaruhi mutu beton itu sendiri seperti terlihat dibawah ini.

f'c (untuk campuran dengan agregat kasar)	= 27,555 MPa
f'c (untuk campuran dengan batu api 10%)	= 27,924 MPa
f'c (untuk campuran dengan batu api 30%)	= 28,135 MPa
f'c (untuk campuran dengan batu api 50%)	= 29,194 MPa
f'c (untuk campuran dengan batu api 100%)	= 30,859 MPa

6. Batu api dapat meningkatkan mutu beton. Dibawah ini adalah persentase kenaikan mutu beton yang dicapai hingga 11,991 % dalam campuran beton.

Batu api 10%	= 1,339 %
Batu api 30%	= 2,105 %
Batu api 50%	= 5,948 %
Batu api 100%	= 11,991 %

DAFTAR PUSTAKA

1. Departemen Pekerjaan Umum, (1989), *Tata cara rencana pembuatan campuran beton normal*, SK.SNI.T-15-1990-03, Cetakan Pertama, Bandung, DPU – Yayasan LPMB.
2. Sagel., R dan H. Kesuma, Gideon, (1994), *Pedoman Pekerjaan Beton*, Cetakan Ketiga, Penerbit: Erlangga, Jakarta.
3. S. C. Bloch, (2002), *Excel untuk Insinyur dan Ilmuwan*, Penerbit: Erlangga, Jakarta.
4. Tri Mulyono, (2004), *Teknologi Beton*, Penerbit: Andi, Yogyakarta.