

EFEK PENGARUH RASIO SEMEN DAN PASIR PADA KEKUATAN BETON PORUS SEBAGAI MATERIAL BATU BATA

Ridho Bayuaji¹

¹Prodi Diploma Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS
Jl Menur 127 Surabaya
Email : bayuaji@ce.its.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan busa udara stabil untuk menghasilkan beton ringan, beton porus. Beton porus adalah beton ringan yang tersusun dari pasta semen atau mortar dan busa udara stabil, tanpa ada unsur agregat kasar. Keistimewaan utama beton porus terletak pada berat volume yang dapat divariasikan sesuai jumlah busa udara stabil yang dimasukkan dalam campuran pasta semen atau mortar. Penelitian ini bertujuan secara umum adalah memanfaatkan pasir Kalimantan Selatan dan mengkombinasikannya dengan pasir Mojokerto Jawa Timur. Untuk mencapai tujuan penelitian ini, desain eksperimen dirancang dengan metode Taguchi, $L_9(3^4)$ dengan maksud memenuhi persyaratan beton ringan sebagai bahan bangunan batu bata khususnya. Untuk mengaplikasikan uji kekuatan beton porus berbahan pasir Kalimantan Selatan dan pasir Mojokerto, maka dilakukan uji tekan di Laboratorium Uji Material prodi DIII Teknik Sipil FTSP ITS. Benda uji beton ringan mempunyai dimensi silinder 150x300 mm untuk uji tekan pada umur 28 hari. Penelitian ini memberi kesimpulan bahwa rasio pasir dan semen 0,5 memenuhi kuat uji tekan beton porus sebagai material bahan bangunan bata merah kelas I.

Kata kunci: Beton Porus, Bahan Bangunan, Pasir, Batu Bata

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam yang sangat berlimpah baik sumber daya alam yang bisa diperbarui maupun yang tidak dapat diperbarui. Walaupun jumlahnya sangat berlimpah namun kekayaan tersebut perlu lebih bijak dalam pemanfaatannya.

Salah satu sumber daya alam Indonesia di Kalimantan Selatan berupa bahan galian. Daerah ini memiliki aneka ragam bahan galian, baik itu bahan galian energi, bahan galian logam, bahan galian non logam maupun bahan galian industri.

Pasir, kerikil, bongkah batu merupakan hasil pelapukan dari batuan yang kemudian dialirkan dan diendapkan, misalnya pada sungai, danau dan pantai. Lokasi endapan tersebar hampir dialirkan melalui semua sungai di Kalimantan Selatan. Penggunaan bahan tersebut sebagai bahan bangunan dan cadangannya belum diketahui (KALSEL, Pohan, 2005).

Pasir adalah contoh material galian butiran umumnya berukuran antara 0,15

sampai 4,75 milimeter (SNI-03-2834, 2000). Pasir memiliki warna sesuai dengan asal pembentukannya. Pasir juga penting untuk bahan bangunan dan bahan penyusun beton.

Hasil penelitian beton ringan porus sebelumnya mencantumkan bahwa kecacakan dan kekuatan beton porus dipengaruhi diameter pasir beton ringan porus. Bahan pengisi disyaratkan dibentuk agregat halus dengan diameter lebih kecil 2 mm (Jones and McCarthy, 2005).

Di masa kini dan mendatang, fokus penelitian bahan bangunan di seluruh dunia adalah mencari bahan bangunan yang ringan, tahan lama, mudah digunakan, ekonomi dan sekaligus lebih ramah lingkungan (Naik, 2005).

Penelitian ini bertujuan mengembangkan pasir Kalimantan Selatan (PKS) dalam beton ringan porus. Penggunaan beton dengan berat volume yang lebih ringan dari beton normal akan memberikan keuntungan yang signifikan antara lain: mereduksi beban gempa dan pondasi, mengurangi luas penampang

struktur, mengurangi jumlah penyangga bekisting sewaktu proses pengecoran, mengurangi dampak lingkungan di sekitar proyek.

Semakin baik material dipahami, semakin baik dapat dimanfaatkan. Pemanfaatan dengan mengembangkan PKS pada beton ringan akan menambah pengetahuan perihal pengaruh karakter PKS pada beton ringan porous.

Beton ringan dengan konsep busa udara stabil adalah mortar yang dicampur dengan busa udara stabil yang membentuk matriks pori yang cukup banyak dalam volume beton ringan porous sehingga beton ini menjadi ringan. Istilah lain beton ringan porous adalah *Cellular Lightweight Concrete* (CLC) oleh *American Society for Testing and Material* (ASTM), dalam penelitian ini diberi istilah Beton Porus (BP). Saat ini BP telah banyak diproduksi dan diteliti oleh banyak negara seperti Jerman (A. Just and Middendorf, 2009), Inggris (Jones and McCarthy, 2005), Afrika Selatan (Kearsley and Mostert, 2005), India (Chindaprasirt and Rukzon, 2009) dan Malaysia (Hamidah MS et al., 2005) sebagai material non struktural seperti dinding, pelat, dinding penahan panas, perbaikan lantai jembatan dan lain sebagainya. Kerapatan BP berkisar antara 300 hingga 1800 kg/m³ dan kuat tekan antara 0,3 hingga 25 Mpa. Untuk membuat BP dibutuhkan bahan kimia pembentuk gelembung (*foam agent*) yang dicampur dengan air, selanjutnya campuran air dan *foam agent* dimasukkan ke dalam mesin *foam tank* dengan tekanan 5 bar akan membentuk busa udara. Busa udara ini yang dicampurkan ke dalam pasta semen atau mortar. BP sebagai beton yang mempunyai porositi yang tinggi, porositi yang tinggi menyebabkan densitas dan kekuatan lebih rendah dibandingkan beton normal.

Penelitian ini sebagai lanjutan penelitian sebelumnya untuk mengetahui pengaruh PKS sebagai bahan pengisi diaplikasikan pada BP agar bisa menjadi bahan bangunan lokal yang bisa dimanfaatkan warga setempat di Kalimantan Selatan atau wilayah Indonesia lainnya yang mempunyai hasil galian pasir dengan kualitas yang memenuhi syarat bahan bangunan.

DASAR TEORI

Ciri utama beton ringan porous adalah mempunyai komposisi spesifik dengan tidak mengandung agregat kasar, melainkan tersusun hanya dengan agregat halus atau tanpa agregat halus, semen, air dan busa udara stabil. Busa udara yang stabil (Ramamurthy et al., 2009) dibentuk dari sejenis surfaktan berbuisa yang berfungsi menyusun struktur pori yang homogen di dalam campuran dasar mortar. Jumlah volume udara yang terbentuk minimal 20% dari volume total beton. Material pengikat BP mempunyai karakter semen, seperti contoh: semen portland, semen-silika, semen pozzolan dan kapur pozzolan (ASTM-C796-97, 1997). ACI-committee 523 (ACI-committee523., 1975) menetapkan bahwa aggregate alternatif dapat ditambahkan seperti contoh agregat ringan buatan yaitu expanded clay, shale, slate, sintered fly ash, perlite, dan vermiculite. Begitu juga dengan agregat ringan buatan yaitu as pumice, scoria, atau tuff.

Oleh karena ada pengaruh jumlah volume udara di dalam BP maka penentuan spesifikasi BP tidak sama dengan beton normal, spesifikasi berat volume menjadi tinjauan tambahan selain kuat tekan. Pada BP, pengurangan kuat tekan berbanding terbalik eksponensial (Kearsley and Wainwright, 2001) dengan penambahan jumlah volume udara pada komposisi campuran.

Beberapa keuntungan pemanfaatan BP, yaitu: (i) Memberikan kontribusi dalam bidang teknologi beton, dimana BP mempunyai variasi berat volume antara 300 to 1800 kg/m³ yang bermanfaat dalam desain beban sendiri terhadap perhitungan suatu elemen struktur, contohnya sebagai dinding partisi, insulasi dan leveling; (ii) Berkontribusi dalam proses pelaksanaan, BP segar mempunyai kelecakan yang baik sehingga mudah mengalir, pemadatan dan membangun level dengan sendirinya; (iii) Mampu mengisi antar tulangan tanpa menggunakan peralatan pemadat beton segar sehingga mengurangi kebisingan selama pelaksanaan; (iv) Bahan material yang terbuat dari BP akan mengurangi beban transportasi dan jumlah operator selama

proses mobilisasi; (v) Menyerap panas yang baik dan material tahan api karena jumlah rongga di beton; (vi) Peredam benturan dan beban kejut yang baik.

METODOLOGI

Untuk mencapai tujuan penelitian ini, maka dilakukan eksperimen di Laboratorium Uji Material Prodi Diploma III Teknik Sipil FTSP ITS. Adapun material yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kriteria sebagai berikut:

Semen Indonesia tipe I digunakan sebagai material pengikat campuran. Sifat fisik dan kimia semen diuraikan pada Tabel 1.

Densiti dan luas partikel semen diketahui masing-masing 3,15 dan 359 m²/kg.

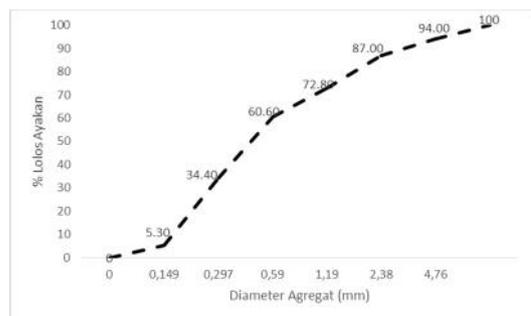
Material lokal (ML) yang digunakan dalam eksperimen ini adalah pasir alami *quartzite* yang diperoleh dari depo Mojokerto. Modulus halus butir sebesar 3,119, diameter butiran dari 0,149 mm hingga 4,76 mm, tergolong dalam zona 3 (lihat Gambar 1), kelembaban 1,46%, berat jenis 2,73 gr/cm³, resapan sebesar 0,77%, *buckling* 15,38 %, kandungan organik rendah, kandungan lumpur 3%. Adapun data agregat halus PKS; modulus halus butir sebesar 2,29, diameter butiran dari 0,149 mm hingga 4,76 mm, tergolong dalam zona 4, kelembaban 0,1%, berat jenis 2,74 gr/cm³, resapan sebesar 0,2 %, *buckling* 19,3 %, kandungan organik tinggi, kandungan lumpur 9%.

Gambar 1 s/d Gambar 3 adalah gambar gradasi agregat ML, PKS dan kombinasi 50% ML dan 50% PKS.

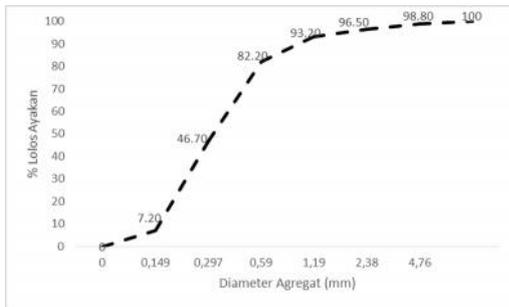
Penelitian ini didesain untuk menyertakan semua parameter yang dinilai memberi pengaruh signifikan terhadap kekuatan Beton Porus khususnya akibat pengaruh substitusi agregat halus yang digunakan dengan pasir Kalimantan Selatan maka kode eksperimen diberi kode BP-PKS. Selain itu, desain eksperimen yang digunakan dapat meminimalkan percobaan dan yang paling penting mudah dalam menganalisa data. Metode yang dipilih dalam mendesain eksperimen ini adalah metode Taguchi.

Tabel 1. Properti semen

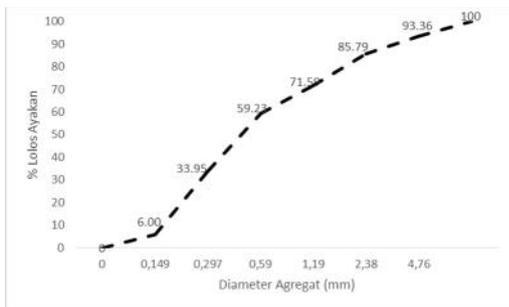
Parameter	SNI 15-2049-2004	Hasil Tes
Komposisi Kimia		
Al ₂ O ₃		6.03
SiO ₂		20.65
Fe ₂ O ₃		3.44
CaO		65.96
MgO	Max 6.00	2.05
SO ₃	Max 3.50	2.22
Loss on Ignition	Max 5.00	3.96
Free Lime		1.09
Insoluble residue		2.37
Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O)		0.38
Properti X-Ray Diffraction		
Tricalcium Silicate (C3S)		56.68
Dicalcium Silicate (C2S)		11.00
Tricalcium Aluminate (C3A)		7.72
Tetracalcium Aluminate Ferrite (C4AF)		8.91
Properti Fisik		
Kehalusan		
-Blaine specific surface (m ² /kg)	Min 280	359
Waktu setting, Vicat Test:		
- <i>Initial set</i> (minutes)	Min 45	125
- <i>final set</i> (menit)	Max 375	240
Autoclave test:		
-Expansion (%)	Max 0.8	0.10
Kuat Tekan:		
- 3 hari (kg/cm ²)	Min 125	255
- 7 hari (kg/cm ²)	Min 200	316
- 28 hari (kg/cm ²)	Min 280	411
<i>False set</i> (%)	Min 50	77,36



Gambar 1. Gradasi ML



Gambar 2. Gradasi PKS



Gambar 3. Gradasi gabungan 50% ML+50%PKS

Kenapa menggunakan metode desain eksperimen Taguchi. Seandainya 4 parameter dengan masing-masing parameter dibuat 3 level benar dilaksanakan maka jumlah kombinasi eksperimen yang akan dilaksanakan sebanyak: $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$. Jumlah yang tidak sedikit, metode Taguchi akan menghemat waktu dan bahan penyusun, selain itu metode Taguchi akan mempermudah analisa dan bisa menentukan komposisi optimum sesuai dengan target yang telah ditentukan.

Pada tahapan awal yakni studi pustaka mempunyai peranan dalam penentuan parameter yang berpengaruh dan batasan level untuk tiap-tiap parameter yang akan berpengaruh kuat terhadap kekuatan dan keawetan binder beton geopolimer, ditetapkan parameter dan tingkatan level.

Metode Taguchi yang digunakan menggunakan orthogonal array (Tabel 2), L_9 (3^4) dengan menjalankan sekaligus 4 parameter (pasir/semen, PKS/ML, air/zat padatan, densiti) yang dianggap memberi pengaruh kuat terhadap kekuatan.

Tabel 2. *Orthogonal array* (Roy, 1990.) yang diaplikasikan untuk penelitian ini

Jumlah Eksperimen	Variabel			
	A	B	C	D
BP-PKS-1	1	1	1	1
BP-PKS-2	1	2	2	2
BP-PKS-3	1	3	3	3
BP-PKS-4	2	1	2	3
BP-PKS-5	2	2	3	1
BP-PKS-6	2	3	1	2
BP-PKS-7	3	1	3	2
BP-PKS-8	3	2	1	3
BP-PKS-9	3	3	2	1

Ditetapkan variabel dan tingkatan level sebagai berikut:

- A: Variabel Pasir/Semen = 0,25, 0,5 dan 0,75 untuk level 1, 2, 3
- B: Variabel PKS/ML = 0 ; 0,5; 1 untuk level 1, 2, 3
- C: Variabel Air/zat Padatan = 0,3; 0,35 ; 0,5 untuk level 1, 2, 3
- D: Densiti = 1000; 1250 ; 1500 untuk level 1, 2, 3

Tingkatan level ini disusun sesuai *orthogonal array* yang telah direncanakan maka dipresentasikan desain komposisi seperti pada Tabel 3. Tabel 4 adalah komposisi bahan penyusun BP-PKS sebagai berikut:

Tabel 3 Variabel dan level BP-PKS

Kode Benda Uji	Pasir/ Semen	PKS /ML	Air/zat padat	Densitas
BP-PKS-1	0,25	0	0,3	1000
BP-PKS-2	0,25	0,5	0,35	1250
BP-PKS-3	0,25	1	0,4	1500
BP-PKS-4	0,5	0	0,35	1500
BP-PKS-5	0,5	0,5	0,4	1000
BP-PKS-6	0,5	1	0,3	1250
BP-PKS-7	0,75	0	0,4	1250
BP-PKS-8	0,75	0,5	0,3	1500
BP-PKS-9	0,75	1	0,35	1000

Tabel 4. Keperluan bahan penyusun BP-PKS

Kode Benda Uji	Semen (Kg)	Air (Kg)	PKS (Kg)	ML (Kg)	Foam (Liter)
BP-PKS-1	23,7	8,9	0,00	5,94	19,94
BP-PKS-2	28,6	12,5	3,58	3,58	14,34
BP-PKS-3	33,1	16,5	8,28	0,00	8,46
BP-PKS-4	19,0	10,0	0,00	9,54	18,98
BP-PKS-5	22,9	13,7	5,75	5,75	13,22
BP-PKS-6	29,7	13,3	14,85	0,00	10,26
BP-PKS-7	15,7	11,0	0,00	11,82	18,15
BP-PKS-8	21,2	11,1	7,96	7,96	14,78
BP-PKS-9	24,5	15,0	18,39	0,00	8,93

Pelaksanaan pembuatan BP-PKS mempunyai tiga tahap proses. Untuk persiapan mortar (lihat Gambar 4), agregat pertama kali dicampur dengan setengah air diikuti dengan penambahan semen. Sisa air itu kemudian dituangkan dalam campuran.



Gambar 4 Tahap Pertama: Persiapan Mortar (Bayuaji and Biyanto, 2013)

Dalam persiapan pembuatan busa udara stabil, *foam agent* yang ditakar (gambar 4) dicampur air dengan perbandingan volume 1:30, campuran ini dimasukkan ke dalam *foam tank* (Gambar 5) dengan tekanan udara 5 bar untuk menghasilkan foam dengan densitas 110 kg/m^3 .



Gambar 5. Takaran *foam agent*



Gambar 6. *Foam Tank*

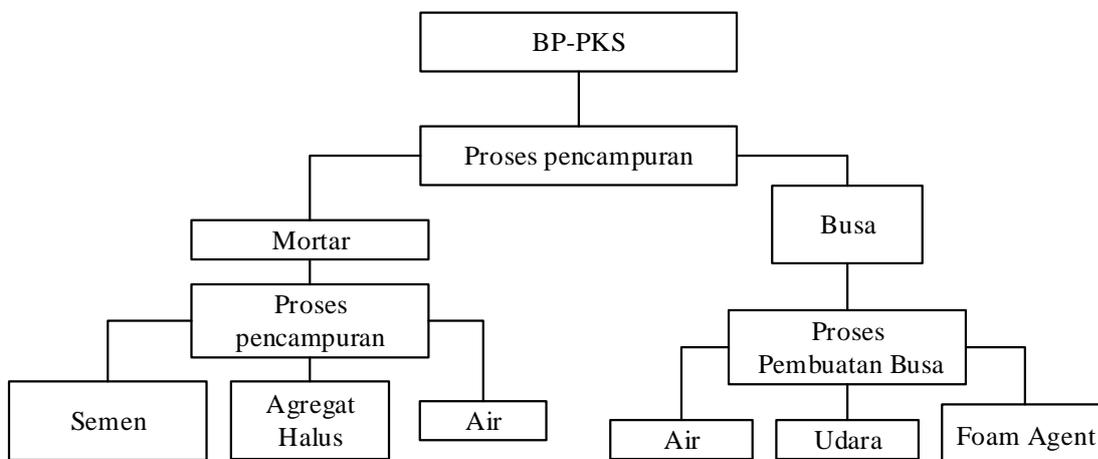
Volume foam yang sudah terukur sesuai dengan perencanaan segera ditambahkan ke campuran mortar dan dicampur sampai tidak ada tanda-tanda fisik dari foam di permukaan dan foam tercampur merata di dalam campuran. Detil proses pembuatan BP-PKS dapat disimak di gambar 7 dan gambar 8. Sifat kelecakan BP-PKS pada waktu proses pencampuran semua bahan penyusun diukur dengan menggunakan *spread test* (ASTM-C230, 2003).



Gambar 7. *Spread Test*



Gambar 8 Detail proses pembuatan benda uji BP-PKS



Gambar 9. Skema Pembuatan BP-PKS

BP-PKS diisi ke dalam cetakan pada silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Benda uji silinder dibuka dari cetakannya pada keesokan harinya dan benda uji dilakukan perawatan dengan air, dengan memasukkan benda uji di bak air sampai usia uji kuat tekan yang direncanakan, usia 28 hari.

Perulangan proses pembuatan benda uji yang sesuai dengan komposisi desain eksperimen metode Taguchi pada tabel 4. Hal-hal yang perlu diperhatikan selama proses perawatan, BP mempunyai kekuatan yang lebih baik dengan perawatan di dalam air dibandingkan perawatan di suhu ruang (Hamidah MS, et al., 2005).

Benda uji BP-PKS dilakukan uji tekan dengan standar SNI 03-6825-2002 pada umur 28 hari untuk kuat tekan. Benda uji BP-PKS dibuka dari cetakan dengan waktu minimal 24 jam dari awal waktu mencetak. Penyimpanan dan perawatan benda uji BP-PKS dilakukan dengan cara direndam dalam air.

Untuk mengetahui seberapa besar beban yang mampu ditahan oleh BP-PKS, maka dilakukan pengujian kuat tekan BP-PKS arah vertical hingga mencapai gaya tekan yang menyebabkan benda uji hancur. Formulasi yang digunakan untuk mencari kuat tekan adalah:

$$\text{Kuat tekan} = P_{\text{maks}}/A \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (1)$$

Keterangan:

P_{maks} : gaya tekan maksimum, (Kg)

A : luas penampang benda uji, (mm²)

HASIL DAN ANALISA

Rasio air dan zat padatan pada BP-PKS mempengaruhi tingkat keberhasilan busa udara tercampur dengan mortar. Hal ini yang mempengaruhi konsistensi densitas, untuk memastikan metode proses pembuatan benda uji sudah memenuhi standar (ASTM-E122., 1972), maka diambil satu contoh mix desain BP-PKS4 dengan 6 benda uji silinder 150x300 mm untuk perhitungan densitas kering BP-PKS. Tabel 5 menunjukkan analisa statistik uji

konsistensi BP-PKS4. Pada tabel tersebut diperlihatkan rata-rata, standar deviasi dan koefisien variasi. Satuan densitas adalah kg/m³ dan satuan kuat tekan kg/cm². Tabel 5 menampilkan bahwa densitas BP-PKS antara 1485 sd. 1538 kg/m³, dengan rata-rata 1515 kg/m³, standar deviasi 21 kg/m³ dan koefisien variasi 1%. Hasil uji kuat tekan BP-PKS juga menampilkan data 129 sd 152 kg/cm², dengan rata-rata 140 kg/cm², standar deviasi 9 kg/cm² dan koefisien variasi 6 %. Hasil uji konsistensi densitas dan kuat tekan menunjukkan hasil di bawah 10 % (Jones and McCarthy, 2005). Analisa ini mengkonfirmasi bahwa proses pembuatan BP-PKS untuk skala laboratorium dapat memenuhi persyaratan.

Tabel 5. Analisa Statistik Uji Konsistensi BP-PKS4 dengan benda uji silinder 150x300 mm

Mix no	Densitas BP-PKS (kg/m ³)	Kuat tekan BP-PKS usia 28 hari (Kg/cm ²)
BP-PKS-1-1	1538	152
BP-PKS-1-2	1524	146
BP-PKS-1-3	1495	137
BP-PKS-1-4	1515	135
BP-PKS-1-5	1485	129
BP-PKS-1-6	1535	143
Rata-rata	1515	140
Standar deviasi	21	9
Koefisien variasi (%)	1	6

Hasil kuat tekan rata-rata dari 6 benda uji silinder 150x300 mm sesuai masing-masing komposisi BP-PKS pada usia 28 hari memiliki nilai terendah 92 kg/cm² dengan kode mix BP-PKS-7, tertinggi 140 kg/cm² dengan kode mix BP-PKS-4. Hasil selengkapnya kuat tekan rata-rata BP-PKS dapat dilihat pada tabel 6.

Orthogonal array pada tabel 4 digunakan menyusun pengaruh 4 variabel yang meliputi pasir/semén, PKS/ML, air/zat padatan, dan densitas. Pengaruh level tiap-tiap parameter terhadap nilai kuat tekan BP-PKS ditampilkan pada gambar 10. Tingkat signifikan masing-masing variabel dalam

menyumbang derajat kontribusi pada kuat tekan BP-PKS dijelaskan pada Tabel 7, tabel ANOVA (*analysis of variance*) yang berfungsi memperlihatkan derajat kontribusi masing-masing variabel.

Tabel 6. Kuat tekan rata-rata BP-PKS dalam satuan kg/cm²

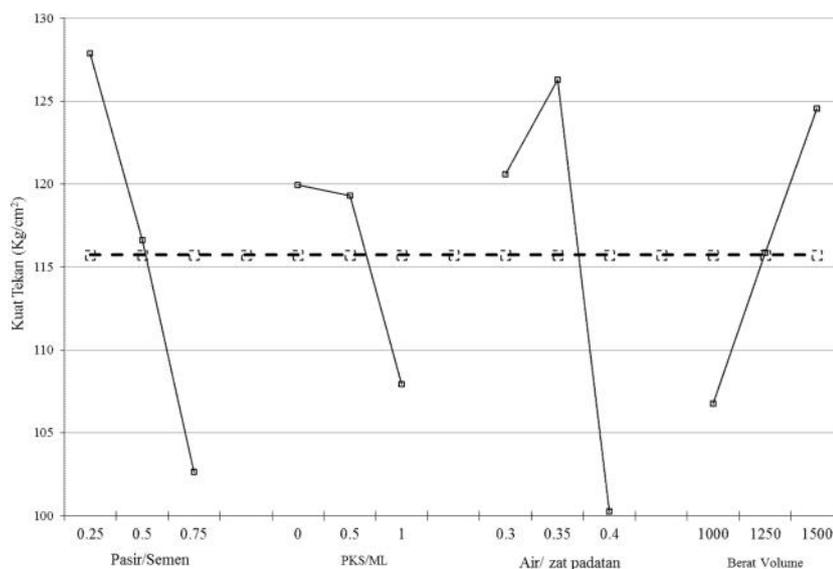
Mix	Rata-rata kuat tekan BP-PKS umur 28 hari (kg/cm ²)
BP-PKS-1	128
BP-PKS-2	142
BP-PKS-3	113
BP-PKS-4	140
BP-PKS-5	96
BP-PKS-6	114
BP-PKS-7	92
BP-PKS-8	120
BP-PKS-9	96

Variabel densitas memberi pengaruh dengan bertambahnya level densitas kuat tekan BP-PKS juga semakin tinggi kuat tekannya, hal tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya (Kearsley and Wainwright, 2002). Namun sebaliknya, bertambahnya level pada variabel pasir/semen dan PKS/ML memberi pengaruh turunnya kuat tekan BP-PKS. Variabel air/zat padatan memberi pengaruh kuat tekan BP-PKS optimum pada level 0,35.

Pengaruh variabel pasir/semen menjelaskan bahwa pada level 0,25 s.d 0,5, kuat tekan BP-PKS mengalami penurunan, namun nilai kuat tekan BP-PKS masih di atas rata-rata. Level 0,75 menunjukkan kuat tekan BP-PKS di bawah rata-rata, menunjukkan level rasio pasir/semen kurang efektif untuk mempengaruhi kuat tekan BP-PKS. Hal ini disebabkan dengan semakin tinggi pasir/semen akan mengurangi bahan pengikat BP-PKS.

Level variabel PKS/ML yang bertambah menyebabkan turunnya kuat tekan BP-PKS, ini diakibatkan PKS mempunyai kandungan organik yang tinggi dan kandungan lumpur yang lebih dari 5%. Namun pada level 0,5 ditunjukkan kuat tekan BP-PKS di atas rata-rata. Pada umur 28 hari, kuat tekan rata-rata BP-PKS mempunyai kekuatan 115 kg/m², lebih tinggi 1,15 % standar dari kuat tekan batu bata (NI-10, 1978). Walau pengaruh PKS/ML mempunyai kontribusi 9,7 % terhadap kuat tekan BP-PKS namun nilai F test pada tabel 5 menunjukkan lebih besar dari F tabel (3,23) yang mendefinisikan bahwa PKS/ML memberikan pengaruh efektif terhadap kuat tekan BP-PKS.

Kontribusi air/zat padatan menunjukkan kontribusi yang paling tinggi diantara variabel yang lain terhadap kuat tekan BP-PKS yaitu 39,7 % dengan nilai F test lebih besar dari nilai F tabel.



Gambar 10. Pengaruh 4 variabel utama pada kuat tekan BP-PKS umur 28 hari

Tabel 7. Hasil Analisa Varian dari kuat tekan BP-PKS

Variabel	Parameter statistik	Kuat tekan umur 28 hari
Pasir/Semen	DF ^a	2
	SSS ^b	5754
	ASS ^c	5754
	MS ^d	2877
	F test	18.24
	Kontribusi	33.8%
PKS/ML	DF	2
	SSS	1645
	ASS	1645
	MS	822
	F test	5.21
	Kontribusi	9.7%
Air/zat padat	DF	2
	SSS	6752
	ASS	6752
	MS	3376
	F test	21.40
	Kontribusi	39.7%
Densiti	DF	2
	SSS	2851
	ASS	2851
	MS	1426
	F test	9.04
	Kontribusi	16.8%
	F test	11,62
	Kontribusi	17,7%

a : derajat kebebasan

b: jumlah kuadrat

c : jumlah kuadrat (derajat kebebasan)

d : rata-rata kuadrat

KESIMPULAN

Studi ini memberi kesimpulan bahwa variabel pasir/semen dengan level 0,5 mempunyai nilai yang lebih besar dari kuat tekan rata-rata. Semen/pasir memberi kontribusi pada kuat tekan BP-PKS 33,8%. Variabel air/zat padatan memberikan kontribusi signifikan terhadap kuat tekan BP-PKS. Variabel air/zat padatan memberikan pengaruh optimum terhadap kuat tekan BP-PKS, pada level 0,35. Kuat tekan rata-rata BP-PKS mempunyai kekuatan 115 kg/cm², lebih tinggi 1.15 %

standar dari kuat tekan batu bata merah kelas I.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM-ITS yang telah memberikan bantuan untuk menyelesaikan penelitian hibah laboratorium ini. Selain itu, diucapkan terima kasih kepada Lab Uji Material Prodi DIII Teknik Sipil yang telah memberikan fasilitas dalam melaksanakan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Just and Middendorf B. 2009. *Microstructure of high-strength foam concrete*. Materials Characterization 60(7): 741-748.
- ACI-committee 523. 1975. *Guide for cellular concretes above 50 pcf, and for aggregate concretes above 50 pcf with compressive strengths less than 2500 psi*. ACI Journal 72: 50-66.
- ASTM-C230. 2003. *Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*.
- ASTM-C796-97. 1997. *Standard Test Method for Foaming Agents for use in producing cellular concrete using Preformed Foam*.
- ASTM-E122. 1972. *Standard recommended practice for choice of sample size to estimate the average quality of a lot or process*. In *Am Soc Test Mater*, Philadelphia.
- Bayuaji R and Biyanto TR. 2013. *Model Jaringan Saraf Tiruan Kuat Tekan Beton Porus dengan Material Pengisi Pasir*. Jurnal Teknik Sipil ITB Vol. 20, No.1.
- Chindaprasirt P and Rukzon S. 2009. *Pore structure changes of blended cement pastes containing fly ash, rice husk ash, and palm oil fuel ash caused by carbonation*. Journal of materials In Civil Engineering 21(11): 666-671.
- Hamidah MS, I Azmi, MR A Ruslan, K Kartini and Nuruddin MF. 2005. *Optimisation of Foamed Concrete Mix of Different Sand-Cement ratio and Curing Conditions*.

- Jones MR and McCarthy A. 2005. *Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural material*. Magazine of Concrete Research 57(1): 21-31.
- KALSEL B, pp. <http://bkpmd.kalselprov.go.id/potensi-daerah/pertambangan-dan-energi>.
- Kearsley EP and Mostert HF. 2005. *Opportunities for expanding the use of foamed concrete in the construction industry*. In *Proceedings of the International Conference on the Use of Foamed Concrete in Construction*, pp. 143-154.
- Kearsley EP and Wainwright PJ. 2001. *The effect of high fly ash content on the compressive strength of foamed concrete*. Cement and Concrete Research 31(1): 105-112.
- Kearsley EP and Wainwright PJ. 2002. *The effect of porosity on the strength of foamed concrete*. Cement and Concrete Research 32(2): 233-239.
- Naik TR. 2005. *Environmental-Friendly Durable Concrete Made with Recycled Materials for Sustainable*. R.N. CBU-2005-08, ed., Toronto, Canada, .
- NI-10. 1978. *Bata Merah Sebagai Bahan Bangunan*.
- Pohan MP. 2005. *Pemantauan dan Pendataan Bahan Galian Pada Bekas Tambang Dan Wilayah Peti Daerah Kabupaten Tanah Laut, Provinsi Kalimantan Selatan*. In *Kolokium Hasil Lapangan DIM*, ed.
- Ramamurthy K, Nambiar EKK and Ranjani GIS. 2009. *A Classification of Studies on Properties of Foam Concrete*. Cement & Concrete Composites S0958-9465(09)00063-8.
- Roy R. 1990. *A primer on the Taguchi method*.
- SNI-03-2834. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.