

KAJIAN NILAI *SLUMP*, KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON DENGAN BAHAN TAMBAHAN *FILLER* ABU BATU PARAS

Harnung Tri Hardagung¹⁾, Kusno Adi Sambowo²⁾, Purnawan Gunawan³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2), 3)} Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524.

Email: harnung_cp@yahoo.com

Abstract

Nowadays, concrete is still being the primary choice in the construction of structure, because basically it has superiorities which are easy to obtain the constituent materials, having a high compressive strength, convenient curing and formation. Various researches had been done in order to advance the concrete technology, which one of them was the use of industrial waste as a compound aimed at improving the quality of concrete. This study tested the use of waste Paras stone dust from the industry of natural stone craft in Sambirejo village, Sleman as filler. The addition of filler was expected to increase the compressive strength and modulus of elasticity of concrete in the planned slump, and to optimize the use of the waste to reduce environmental pollution.

This study employed an experimental method with 15 pieces of specimen. Each variation consisted of 3 samples with the variations of filler addition were 0%; 5%; 10%; 15% and 20% of cement weight. The specimens were concrete cylinders with diameter of 15 cm and height of 30 cm.

Slump values obtained from this study on the variation of filler addition 0% until 5% by cement weight was still included in the plan slump that was, slump for concreting work of plate, beams, columns and walls with a value of 7,50 cm to 15 cm. The optimum value of the concrete compressive strength generated from the addition of Paras stone dust filler was 40,27 MPa, increased compared to the strength of concrete without filler which was 38,46 MPa. The optimum value of the modulus of elasticity of concrete generated from the addition of Paras stone dust filler was 26922,67 MPa, increased compared modulus of elasticity of concrete without filler which was 24867,33 MPa. The amount of the optimum variation of filler addition of Paras stone dust that could give the highest value of concrete compressive strength was on the variation of 2,66% by cement weight. While the optimum variation of filler addition of Paras stone dust that could give the highest value of modulus of elasticity of concrete was on the variation of 1,74% by cement weight.

Key words: concrete, filler, slump, compressive strength and modulus of elasticity.

Abstrak

Sampai saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur, karena pada dasarnya memiliki keunggulan diantaranya mudah mendapatkan bahan penyusunnya, memiliki kuat tekan yang tinggi, perawatan dan pembentukan yang mudah. Berbagai upaya penelitian telah dilakukan guna memperoleh kemajuan dalam teknologi beton, salah satunya dengan pemanfaatan limbah industri sebagai bahan campuran yang bertujuan meningkatkan kualitas beton. Dalam penelitian ini dicoba menggunakan limbah abu batu Paras dari industri kerajinan batu alam di desa Sambirejo, Sleman sebagai *filler*. Penambahan *filler* diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan dan modulus elastisitas beton dalam *slump* yang direncanakan, serta dapat mengoptimalkan penggunaan limbah tersebut untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang terjadi.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan total benda uji 15 buah. Tiap variasi terdiri dari 3 sampel dengan variasi penambahan *filler* sebesar 0%; 5%; 10%; 15% dan 20% dari berat semen. Benda uji berupa silinder beton dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Dari penelitian diperoleh nilai *slump* pada variasi penambahan *filler* 0% sampai dengan 5% dari berat semen masih masuk dalam *slump* rencana yaitu, *slump* yang direncanakan untuk pekerjaan pembetonan plat, balok, kolom dan dinding dengan nilai 7,50 cm sampai dengan 15 cm. Nilai kuat tekan beton optimum yang yang dihasilkan dari penambahan *filler* abu batu Paras adalah sebesar 40,27 MPa atau naik dibandingkan kuat tekan beton tanpa *filler* yang besarnya hanya 38,46 MPa. Nilai modulus elastisitas beton optimum yang yang dihasilkan dari penambahan *filler* abu batu Paras adalah sebesar 26922,67 MPa atau naik dibandingkan modulus elastisitas beton tanpa *filler* yang besarnya hanya 24867,33 MPa. Besarnya variasi optimum penambahan *filler* abu batu Paras yang dapat memberikan nilai kuat tekan beton tertinggi adalah pada variasi 2,66% dari berat semen. Sedangkan variasi optimum penambahan *filler* abu batu Paras yang dapat memberikan nilai modulus elastisitas beton tertinggi adalah pada variasi 1,74% dari berat semen.

Kata kunci: beton, filler, slump, kuat tekan dan modulus elastisitas.

PENDAHULUAN

Sampai saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur karena mudah dalam mendapatkan material penyusunnya. Beton sendiri terbuat dari campuran homogen dengan perbandingan tertentu yang terdiri dari semen, agregat halus, agregat kasar, air, serta terkadang ditambahkan pula dengan bahan tambahan lainnya jika dianggap perlu (Syamsiyah, 2008).

Beton pada umumnya memiliki keunggulan diantaranya kuat tekan yang tinggi, perawatan dan pembentukan yang mudah. Berbagai upaya telah dilakukan peneliti guna memperoleh kemajuan dalam teknologi beton, salah satunya adalah dengan penambahan *filler* yang berasal dari bahan mineral yang dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja kuat tekan beton.

Filler adalah kumpulan mineral yang sebagian besar lolos saringan No.200 (75 μ m). Fungsi dari *filler* adalah sebagai bahan pengisi rongga-rongga antar agregat yang diharapkan dapat meningkatkan kerapatan dan memperkecil permeabilitas dari campuran beton (Mutohar, 2002).

Upaya yang telah dilakukan adalah pemanfaatan terhadap limbah buangan pertanian dan industri yang tidak digunakan semaksimal mungkin sebagai bahan *filler*. Hal ini dapat memberikan alternatif dalam pemanfaatan limbah serta diharapkan dapat mengurangi pencemaran lingkungan sekitar. Salah satu industri yang menghasilkan limbah *filler* adalah industri kerajinan batu alam yang berada di desa Sambirejo, Sleman, Yogyakarta.

Berdasarkan uraian diatas maka dalam penelitian ini akan dikaji mengenai nilai *slump*, kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan bahan tambahan *filler* abu batu Paras. Adapun abu batu Paras merupakan limbah hasil sampingan dari proses pemotongan batu Paras dengan gergaji mesin.

LANDASAN TEORI

Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% - 75%.

Beton yang kekuarangan butiran halus dalam agregat menjadi tidak kohesif dan mudah *bleeding*. Untuk mengatasi kondisi ini biasanya diberikan bahan tambahan berbentuk butiran padat yang halus yang berfungsi sebagai *filler*. Penambahan ini biasanya dilakukan pada beton kurus, dimana betonnya kekurangan agregat halus dan beton dengan kadar semen yang biasa tetapi perlu dipompa pada jarak yang jauh.

Hal penting yang perlu diketahui pada sifat-sifat beton segar adalah *workabilitas*. *Workabilitas* adalah tingkat kemudahan pengerjaan beton dalam mencampur, mengaduk, menuang dalam cetakan dan pemadatan tanpa mengurangi homogenitas beton dan beton tidak mengalami *bleeding* (pemisahan) yang berlebihan untuk mencapai kekuatan beton yang diinginkan.

Nilai *Slump*

Tujuan dari pengujian *slump* adalah untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan beton yang dinyatakan dalam nilai tertentu. *Slump* didefinisikan sebagai besarnya penurunan ketinggian pada pusat permukaan atas beton yang diukur segera setelah cetakan uji *slump* diangkat (SNI 03-1972-2008).

Pengujian *slump* dilakukan dengan menggunakan alat berbentuk kerucut terpancung yang memiliki diameter lubang atas 10 cm, diameter lubang bawah 20 cm, tinggi 30 cm serta dilengkapi dengan kuping untuk mengangkat beton segar dan tongkat pemadat berdiameter 1,6 cm sepanjang 60 cm.

Nilai *slump* dipengaruhi oleh faktor air semen. Semakin tinggi fas maka nilai *slump* akan semakin tinggi yakni menggunakan banyak air dan sedikit semen, sehingga pasta semen lebih encer dan mengakibatkan nilai *slump* lebih tinggi. Semakin besar nilai *slump* test berarti adukan beton semakin mudah dikerjakan.

Kuat Tekan

Tujuan dari pengujian kuat tekan adalah untuk mengetahui kekuatan beton terhadap gaya tekan. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur, semakin tinggi kuat tekan maka semakin tinggi kekuatan struktur dan mutu beton yang dihasilkan (SNI 03-1974-1990). Kuat tekan beton sendiri didefinisikan sebagai besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur ketika dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan.

Nilai kuat tekan beton didapat melalui pengujian standar menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan bertingkat dengan kecepatan peningkatan beban tertentu terhadap benda uji beton berbentuk silinder maupun kubus sampai hancur. Nilai kuat tekan beton dapat dicari menggunakan Persamaan [1].

$$f'c = \frac{P_{maks}}{A} \dots\dots\dots [1]$$

Dengan:

$f'c$: kuat tekan beton salah satu benda uji (MPa)

P_{maks} : beban tekan maksimum (N)

A : luas permukaan benda uji (mm²)

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastis linier pada sekitar 40% beban puncak. Modulus elastis yang besar menunjukkan kemampuan menahan tegangan yang cukup besar dalam kondisi regangan yang masih kecil, artinya bahwa beton tersebut mampu menahan tegangan yang cukup besar akibat beban yang terjadi pada suatu regangan kecil (Sidik, 2010).

Modulus elastisitas merupakan suatu ukuran nilai yang menunjukkan kekakuan dan ketahanan beton untuk menahan deformasi dengan cara mengamati perubahan panjang silinder beton akibat pembebanan. Modulus elastisitas beton ditentukan dari hubungan tegangan-regangan beton.

Menurut ASTM C 469-94 modulus elastisitas *chord* (E_c) dapat digunakan untuk mencari modulus elastisitas pada beton. Modulus elastisitas *chord* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan [2].

$$\text{Modulus Elastisitas } (E_c) = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \dots\dots\dots [2]$$

Dengan:

S_1 : Tegangan 40% f_c (MPa).

S_2 : Tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar $5,00 \cdot 10^{-5}$ (MPa).

ϵ_1 : Regangan longitudinal akibat tegangan S_1 , ($\epsilon_1 = 5,00 \cdot 10^{-5}$).

ϵ_2 : Regangan longitudinal akibat tegangan S_2 .

Regangan sendiri dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan [3].

$$\text{Regangan } (\epsilon) = 25,4 \cdot 10^{-3} \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots [3]$$

Dengan:

ΔL : Penurunan arah longitudinal (mm).

L : Tinggi beton relatif/jarak antara dua *strain gauge* (mm).

$25,4 \cdot 10^{-3}$: Konversi satuan dial dari inch ke mm.

METODE PENELITIAN

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah adanya perkuatan beton dengan penambahan *filler* batu Paras pada campuran adukan beton sedangkan variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai kuat tekan dan besarnya modulus elastisitas beton.

Benda uji dibuat dengan material pembentuk beton terdiri dari semen, pasir, kerikil, pasir dan *filler* abu batu Paras sebagai bahan tambahan dengan variasi penambahan 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dari berat semen. Jumlah sampel masing-masing variasi sebanyak 3 buah.

Tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian adalah 1) Persiapan, 2) Pengujian bahan, 3) Pembuatan *mix design*, 4) Pembuatan benda uji, 5) Perawatan benda uji, 6) Pengujian benda uji, 7) Analisis data, dan 8) Pengambilan kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan meliputi kandungan zat organik, kandungan lumpur, *specific gravity* dan gradasi. Adapun hasil pengujian agregat halus disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian agregat halus

Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
Kandungan zat organik	Kuning muda	Kuning muda	Memenuhi syarat
Kandungan lumpur	3,00%	Maksimum 5,00%	Memenuhi syarat
<i>Bulk specific gravity</i>	2,48	-	-
<i>Bulk specific SSD</i>	2,53	2,50 – 2,70	Memenuhi syarat
<i>Apparent specific gravity</i>	2,59	-	-
<i>Absorbtion</i>	1,63%	-	-
Modulus halus butiran	2,80	2,30 – 3,10	Memenuhi syarat

Pengujian Agregat Kasar

Pengujian yang dilakukan meliputi *specific gravity*, abrasi dan gradasi. Adapun hasil pengujian agregat kasar disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian agregat kasar

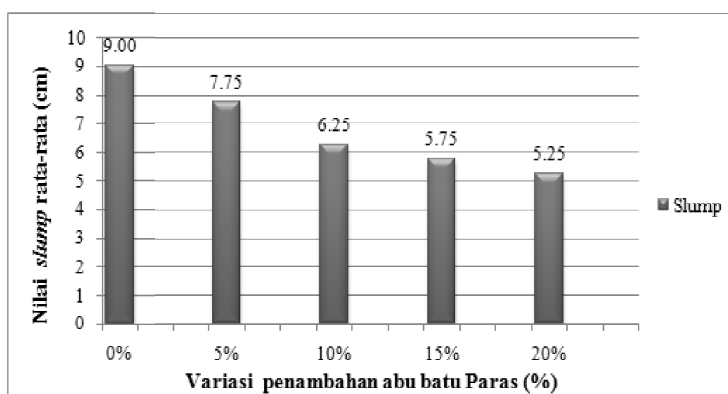
Jenis pengujian	Hasil pengujian	Standar	Kesimpulan
<i>Bulk specific gravity</i>	2,40	-	-
<i>Bulk specific SSD</i>	2,51	-	-
<i>Apparent specific gravity</i>	2,69	-	-
<i>Absorbtion</i>	4,60%	-	-
Abrasi	41,05%	Maks. 50%	Memenuhi syarat
Modulus halus butiran	7,29	5,00 - 8,00	Memenuhi syarat

Uji *Slump*

Dari masing-masing adukan beton tersebut didapatkan nilai *slump* yang berbeda-beda. Adapun hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 1.

Tabel 3. Hasil pengujian nilai *slump*

Variasi penambahan abu batu Paras (%)	0%	5%	10%	15%	20%
Nilai <i>slump</i> rata-rata (cm)	9,00	7,75	6,25	5,75	5,25



Gambar 1. Diagram hubungan nilai *slump* rata-rata dengan variasi penambahan abu batu Paras.

Jika dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 1, nilai *slump* mengalami penurunan seiring penambahan *filler* abu batu Paras. Hal ini dikarenakan *filler* abu batu Paras juga menyerap air yang ada dalam campuran beton.

Nilai *slump* pada variasi penambahan *filler* 0% sampai dengan 5% dari berat semen masih masuk dalam *slump* rencana yaitu *slump* yang direncanakan untuk pekerjaan pembetonan plat, balok, kolom dan dinding dengan nilai *slump* 7,50 cm sampai dengan 15,00 cm. Sedangkan *slump* pada variasi penambahan *filler* 10% sampai dengan 20% tidak masuk dalam jenis beton untuk pekerjaan diatas namun dapat digunakan untuk jenis pekerjaan pembetonan yang lain, seperti pondasi telapak, perkerasan jalan dan pembetonan masal.

Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Dalam pengujian ini digunakan mesin uji desak (*Compressing Testing Machine*) merk *Controls*. Hasil pengujian kuat tekan beton selengkapnya disajikan dalam Tabel 4; Tabel 5 dan Gambar 2.

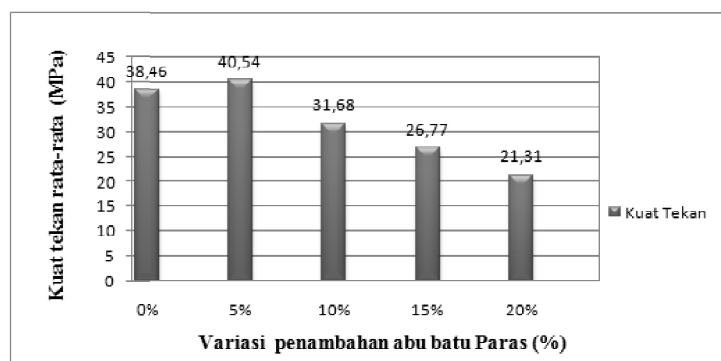
Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan

Variasi penambahan abu batu Paras (%)	Kode	Berat benda uji (kg)	Gaya tekan/ P_{maks} (kN)	Kuat tekan/ f_c (MPa)	Kuat tekan rata-rata (MPa)
0%	B0 - 1	12,03	650	36,77	38,46
	B0 - 2	12,00	690	39,03	
	B0 - 3	12,30	700	39,60	
5%	B5 - 1	12,27	740	41,86	40,54
	B5 - 2	12,14	680	38,46	
	B5 - 3	12,05	730	41,29	

10%	B10 - 1	12,25	600	33,94	31,68
	B10 - 2	12,22	550	31,11	
	B10 - 3	12,23	530	29,98	
15%	B15 - 1	12,20	460	26,02	26,77
	B15 - 2	12,35	450	25,45	
	B15 - 3	12,18	510	28,85	
20%	B20 - 1	12,50	350	19,80	21,31
	B20 - 2	11,90	410	23,19	
	B20 - 3	12,38	370	20,93	

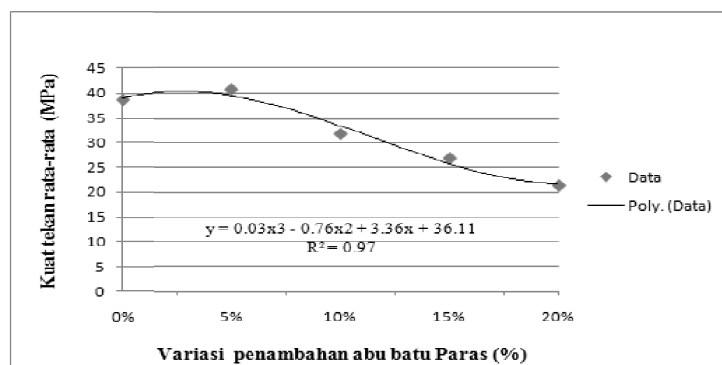
Tabel 5. Pengaruh penggunaan *filler* abu batu Paras terhadap kuat tekan

Kuat tekan beton 0% (MPa)	Variasi penambahan abu batu Paras (%)	Kuat tekan (MPa)	Selisih kuat tekan (MPa)	Persentase perubahan (%)
38,46	5%	40,54	2,08	5,41
	10%	31,68	- 6,78	- 17,63
	15%	26,77	- 11,69	- 30,40
	20%	21,31	- 17,15	- 44,59



Gambar 2. Diagram hubungan kuat tekan rata-rata dengan variasi penambahan abu batu Paras.

Pada Tabel 4, Tabel 5 dan Gambar 2 dapat dilihat bahwa kuat tekan mengalami kenaikan sampai dengan variasi penambahan *filler* abu batu Paras sebesar 5% dari berat semen dan mengalami penurunan kembali setelah variasi tersebut. Untuk mengetahui variasi penambahan *filler* abu batu Paras yang memberikan nilai kuat tekan optimum maka dapat digunakan analisis regresi *non linier polynomial* orde 3. Adapun kurva regresi *non linier polynomial* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva regresi *polynomial* hubungan kuat tekan rata-rata dengan variasi penambahan abu batu Paras.

Dari perhitungan regresi *non linier polynomial* orde 3 diperoleh variasi penambahan *filler* abu batu Paras yang memberikan kuat tekan beton optimum sebesar 40,27 MPa adalah pada variasi penambahan *filler* 2,66% dari berat semen.

Penambahan *filler* abu batu Paras pada variasi lebih dari 2,66% mengakibatkan penurunan kuat tekan karena penambahan *filler* yang berlebihan menyebabkan adukan beton kekurangan air sehingga material yang ada tidak

tercampur secara sempurna akibatnya akan timbul rongga-rongga yang lebih banyak saat beton mengeras. Rongga-rongga inilah yang mengakibatkan kepadatan beton berkurang dan membuat beton menjadi lebih getas.

Modulus Elastisitas

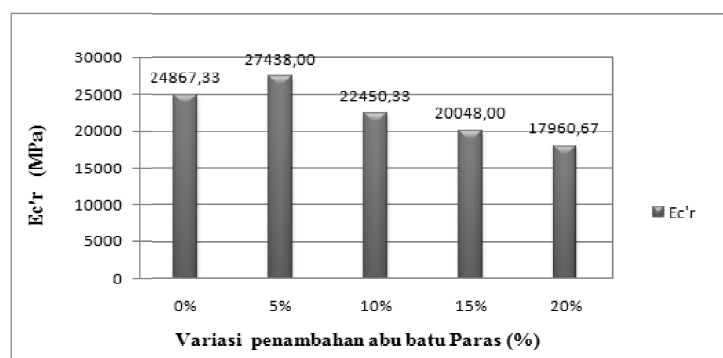
Pengujian modulus elastisitas dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari beton dengan mengamati besarnya perubahan panjang (regangan) silinder beton akibat pembebanan serta besarnya beban pada saat beton mulai retak. Perubahan panjang dibaca pada alat *compressometer* saat beban bertambah secara konstan setiap 20 kN. Hasil perhitungan modulus elastisitas selengkapnya disajikan dalam Tabel 6; Tabel 7 dan Gambar 4.

Tabel 6. Hasil penghitungan modulus elastisitas beton

Variasi penambahan abu batu Paras (%)	Kode	Modulus elastisitas E_c (MPa)	Modulus elastisitas rerata $E_c'r$ (MPa)
0%	B0 - 1	24917,00	24867,33
	B0 - 2	23120,00	
	B0 - 3	26565,00	
5%	B5 - 1	27499,00	27438,00
	B5 - 2	28171,00	
	B5 - 3	26644,00	
10%	B10 - 1	22799,00	22450,33
	B10 - 2	20853,00	
	B10 - 3	23699,00	
15%	B15 - 1	20063,00	20048,00
	B15 - 2	20728,00	
	B15 - 3	19353,00	
20%	B20 - 1	17099,00	17960,67
	B20 - 2	19455,00	
	B20 - 3	17328,00	

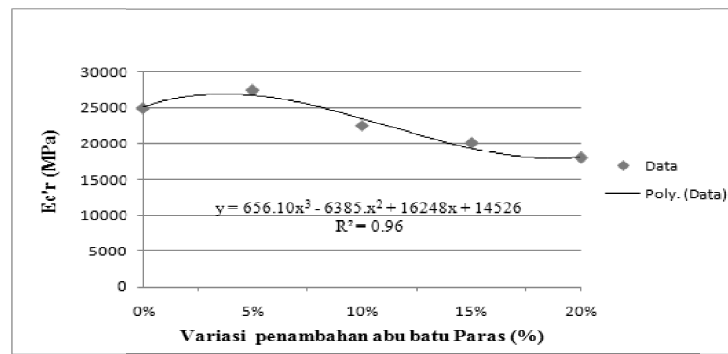
Tabel 7. Pengaruh penggunaan *filler* abu batu Paras terhadap modulus elastisitas beton

$E_c'r$ beton 0% (MPa)	Variasi penambahan abu batu Paras (%)	$E_c'r$ (MPa)	Selisih $E_c'r$ (MPa)	Persentase perubahan (%)
24867,33	5%	27438,00	2570,67	10,34
	10%	22450,33	- 2417,00	- 9,72
	15%	20048,00	- 4819,33	- 19,38
	20%	17960,67	- 6906,67	- 27,77



Gambar 4. Diagram hubungan modulus elastisitas beton rata-rata ($E_c'r$) dengan variasi penambahan abu batu Paras.

Berdasarkan Tabel 6, Tabel 7 dan Gambar 4 dapat dilihat bahwa modulus elastisitas beton mengalami kenaikan sampai dengan variasi penambahan *filler* abu batu Paras sebesar 5% dari berat semen dan mengalami penurunan kembali setelah variasi tersebut. Untuk mengetahui variasi penambahan *filler* abu batu Paras yang memberikan nilai modulus elastisitas optimum maka dapat digunakan analisis regresi *non linier polynomial* orde 3. Adapun regresi *non linier polynomial* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva regresi polinomial hubungan modulus elastisitas rata-rata ($E_c'r$) dengan variasi penambahan abu batu Paras.

Dari perhitungan regresi *non linier* diperoleh variasi penambahan *filler* abu batu Paras yang memberikan modulus elastisitas beton optimum sebesar 26922,67 MPa adalah pada variasi penambahan *filler* 1,74% dari berat semen.

Jika dilihat dari hasil penelitian ini, nilai modulus elastisitas beton mengalami kenaikan seiring kenaikan kuat tekan beton hal ini dikarenakan modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh besarnya kuat tekan beton yang dihasilkan. Selain itu nilai modulus elastisitas juga dipengaruhi oleh umur beton, jenis pembebanan dan karakteristik perbandingan semen dan agregat.

SIMPULAN

Dari penelitian diperoleh nilai *slump* pada variasi penambahan *filler* 5% dari berat semen masih masuk dalam *slump* yang direncanakan yaitu, *slump* yang rencanakan untuk pekerjaan pementan plat, balok, kolom dan dinding dengan nilai 7,50 cm sampai dengan 15,00 cm. Nilai kuat tekan beton optimum yang yang dihasilkan dari penambahan *filler* abu batu Paras adalah sebesar 40,27 MPa atau naik dibandingkan kuat tekan beton tanpa *filler* yang besarnya hanya 38,46 MPa. Nilai modulus elastisitas beton optimum yang yang dihasilkan dari penambahan *filler* abu batu Paras adalah sebesar 26922,67 MPa atau naik dibandingkan modulus elastisitas beton tanpa *filler* yang besarnya hanya 24867,33 MPa. Besarnya variasi optimum penambahan *filler* abu batu Paras yang dapat memberikan nilai kuat tekan beton tertinggi adalah pada variasi 2,66% dari berat semen. Sedangkan variasi optimum penambahan *filler* abu batu Paras yang dapat memberikan nilai modulus elastisitas beton tertinggi adalah pada variasi 1,74% dari berat semen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada bapak Kusno Adi Sambowo dan bapak Purnawan Gunawan yang senantiasa memberikan bimbingan selama penelitian.

REFERENSI

- Anonim., 2008, “*Cara Uji Slump Beton (SNI 03-1972)*”, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- Anonim., 1990, “*Metode Pengujian Kuat Tekan (SNI 03-1974)*”, Badan Standarisasi Nasional, Bandung.
- Anonim., 1994, “*Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression (C469)*”, American Society For Testing And Materials International, Pennsylvania.
- Mutohar, Y., 2002, “*Evaluasi Pengaruh Bahan Filler Fly Ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)*”, Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sidik, M., 2010, “*Kajian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Pasca Kebakaran*”, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Syamsyyah, S.N., 2008, “*Analisis Beton K-175 Dengan Campuran Serbuk Kapur Untuk Mengurangi Semen*”, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Komputer Indonesia, Bandung.