

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Bahan-Bahan Penyusun

4.1.1 Air

Air yang digunakan dalam pembuatan benda uji ini adalah air suling biasa yang diproduksi dari PT. PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum). Air ini dianggap memiliki kualitas yang baik sehingga tidak perlu lagi dilakukan penelitian lanjutan terhadap air.

4.1.2 Semen

Dalam penelitian ini digunakan semen portland tipe I yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik. Semen ini memiliki mutu baik dan mudah sekali ditemukan di pasaran. Selain itu semen ini juga telah sesuai dengan peraturan dalam SNI 03-2847-2002 sehingga tidak perlu dilakukan penelitian lanjutan.

4.1.3 Agregat halus

Agregat halus yang digunakan adalah agregat halus yang berasal dari Lumajang, Jawa Timur atau yang biasa dikenal dengan pasir hitam. Beberapa uji material dilakukan terhadap pasir ini, antara lain :

a. Pemeriksaan berat jenis dan absorpsi

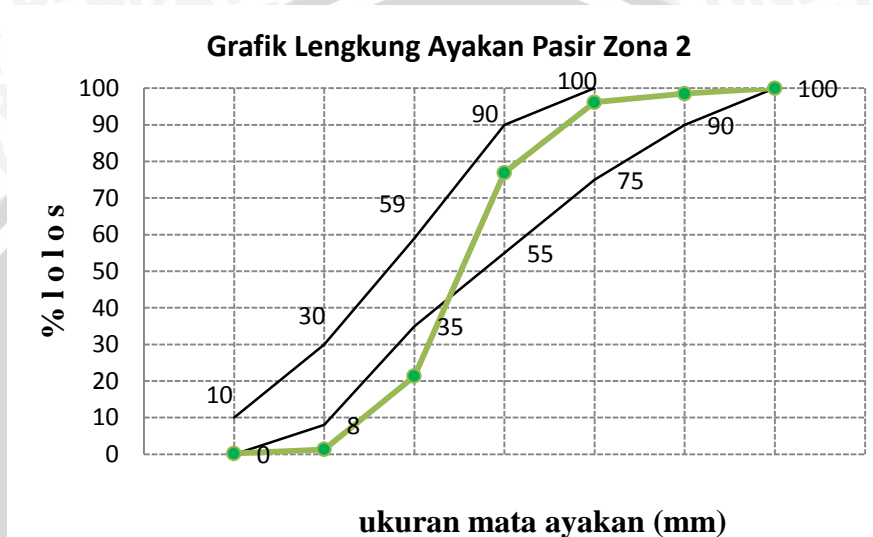
Dari pemeriksaan yang telah dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi di Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang, didapatkan data sebagai seperti pada tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Hasil
Berat Jenis Curah (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	1.9303525
Berat Benda Jenuh Kering Permukaan (<i>Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry</i>)	2.1496131
Berat Jenis Semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	2.472467
Penyerapan (%) (<i>Absorption</i>)	11.358575
Kadar Air (%) (<i>Water Content</i>)	3.28

b. Pemeriksaan gradasi

Gradasi pasir Lumajang digolongkan melalui pembagian daerah pasir berdasarkan ukuran lolos saringan berdasarkan standar yang ada di SNI 03-3834-2002, dan penentuan modulus kehalusan berdasarkan ASTM C 33-90. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa pasir yang digunakan termasuk ke dalam zona 2 dan memiliki modulus kehalusan sebesar 4,0554. Grafik analisa saringan agregat halus disajikan pada gambar 4.1 :



Gambar 4.1 Analisa Saringan Agregat Halus

4.1.4 Pemeriksaan berat jenis, kadar air, dan absorpsi piropilit

Piropilit yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Sumbermanjing, Malang Selatan, dan ukuran butir piropilit yang digunakan adalah sebagai *filler* (lolos saringan nomor 200). Dari hasil penelitian didapatkan data yang disajikan pada tabel 4.2 :

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Piropilit

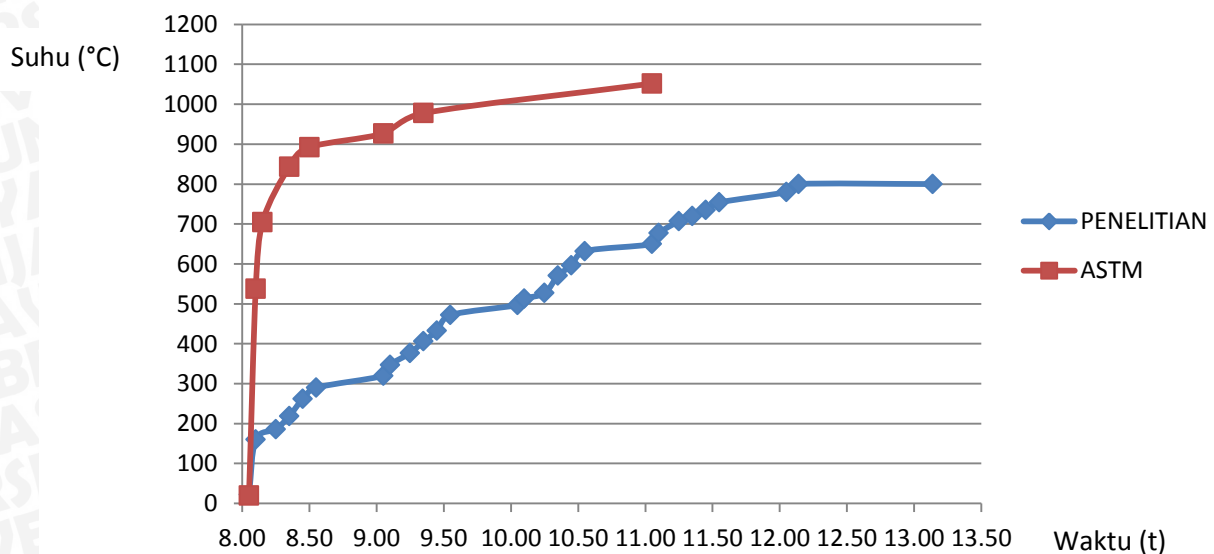
Jenis Pemeriksaan	Hasil
Berat Jenis Curah (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	1.756711
Berat Benda Jenuh Kering Permukaan (<i>Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry</i>)	2.097315
Berat Jenis Semu (<i>Apparent Specific Gravity</i>)	2.664122
Penyerapan (%) (<i>Absorption</i>)	19.38873
Kadar Air (%) (<i>Water Content</i>)	3.050301

4.2 Pengujian Pembakaran

4.2.1 Pembakaran benda uji

Setelah benda uji selesai dibuat dan dikeluarkan dari cetakan, benda uji didiamkan di tempat terbuka selama ± 3 hari, kemudian diangkut ke Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya untuk disimpan di dalam ruangan tertutup selama ± 28 hari dengan pertimbangan ketika umur 28 hari, proses pengikatan semen dengan agregat telah selesai dan didapatkan kekuatan benda uji yang maksimum. Setelah benda uji berumur 28 hari, pembakaran benda uji dilakukan di dalam tungku api dengan suhu mencapai 800°C .

Proses peningkatan suhu dalam pembakaran dilakukan secara bertahap dan dibaca setiap 10 menit. Hal ini dilakukan untuk menghindari ledakan di dalam tungku dan agar benda uji tidak spontan menerima perubahan suhu yang signifikan. Diagram peningkatan suhu pembakaran disajikan pada gambar 4.2 :



Gambar 4.2 Pembakaran Benda Uji

4.2.2 Pendinginan benda uji

Setelah mengalami proses pembakaran sampai dengan suhu 800°C , benda uji kemudian didiamkan selama 24 jam sampai mencapai suhu ruang. Penurunan suhu di dalam tungku juga dilakukan secara bertahap untuk menghindari adanya ledakan akibat perubahan suhu yang signifikan. Tungku pembakaran baru dapat dibuka ketika suhu di dalam tungku telah mencapai 300°C . Setelah itu benda uji dikeluarkan dan dibawa

kembali ke Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi di Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.

4.3 Hasil Penelitian

4.3.1 Perbandingan komposisi bahan

Berdasarkan data yang dimiliki yakni penyerapan dari bahan-bahan yang digunakan, kemudian dilakukan pengujian pendahuluan untuk mencari nilai FAS (faktor air semen). Diperoleh nilai FAS sebesar 0,415 dengan perbandingan campuran tiap variasi per m³ seperti pada tabel 4.3 :

Tabel 4.3 Perbandingan Nilai Komposisi Bahan Tiap Variasi

Penggunaan jumlah FAS sebesar 0,415

No	Bahan	Jumlah per m ³						Satuan
		Normal	5%	10%	15%	20%	25%	
1.	Semen	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00	kg
2.	Pasir Lumajang	562.50	562.50	562.50	562.50	562.50	562.50	kg
3.	Piropilit	0.00	11.25	22.50	33.75	45.00	56.25	kg
4.	Foaming Agent	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	liter
5.	Air	159.88	162.06	164.24	166.42	168.60	170.78	kg
	Air Fas Normal	160	160	160	160	160	160	kg
	Air Pengaktifan Piropilit	0.00	2.18	4.36	6.54	8.72	10.91	kg

Proses Pembuatan bata ringan :

1. Menyiapkan cetakan benda uji ukuran 60 x 20 x 10 cm³.
2. Menyiapkan rancangan faktor air semen, digunakan faktor air semen adalah 0,415.
3. Menyiapkan jumlah air yang akan digunakan yakni 160 liter untuk 1 m³. Dengan menambahkan jumlah air untuk pengaktifan piropilit sebesar 19,38% dari jumlah piropilit yang digunakan.

Maka:

$$\text{Jumlah air total} = \text{jumlah air awal} + \text{air untuk pengaktifan piropilit}$$

4. Memasukkan semen dan piropilit ke dalam mesin adukan.
5. Memasukkan pasir ke dalam mesin adukan.
6. Memasukkan *foaming agent* ke dalam mesin adukan.

7. Mencetak di dalam cetakan dan menunggu sekitar 8 jam selama proses pengeringan benda uji berlangsung.

4.3.2 Pemeriksaan benda uji

a. Pemeriksaan berat isi

Pemeriksaan berat isi ini dilakukan dengan menimbang benda uji di laboratorium, kemudian data berat yang didapatkan dibagi dengan volume benda uji. Volume benda uji adalah $60 \times 20 \times 10 = 12000 \text{ cm}^3$. Berikut adalah rumus perhitungan berat isi :

$$\text{berat isi} = \frac{\text{Massa (gr)}}{\text{Volume (cm}^3\text{)}}$$

Hasil pemeriksaan berat dan perhitungan berat isi benda uji disajikan pada tabel 4.4 dan tabel 4.5 :

Tabel 4.4 Berat Benda Uji Tiap Variasi

No	Variasi	Berat (Kg)					
		Normal	5%	10%	15%	20%	25%
1	Benda uji 1	8.10	8.18	9.50	10.00	9.06	10.42
2	Benda uji 2	8.36	8.20	9.48	8.98	9.20	10.58
3	Benda uji 3	7.98	8.26	9.58	9.32	9.44	10.48
4	Benda uji 4	7.96	8.28	9.38	8.94	9.34	10.44
5	Benda uji 5	7.96	8.36	9.24	9.28	9.34	10.44

Tabel 4.5 Berat Isi Benda Uji Tiap Variasi

No	Variasi	Berat isi (gr/cm ³)					
		Normal	5%	10%	15%	20%	25%
1	Benda uji 1	0.68	0.68	0.79	0.83	0.76	0.87
2	Benda uji 2	0.70	0.68	0.79	0.75	0.77	0.88
3	Benda uji 3	0.67	0.69	0.80	0.78	0.79	0.87
4	Benda uji 4	0.66	0.69	0.78	0.75	0.78	0.87
5	Benda uji 5	0.66	0.70	0.77	0.77	0.78	0.87

b. Pemeriksaan fisik benda uji

Semua bahan yang telah mengalami proses pembakaran akan mengalami perubahan-perubahan baik secara kimiawi ataupun secara fisik. Dalam penelitian ini perubahan secara kimiawi tidak dibahas, hanya perubahan secara fisik saja yang dibahas. Perubahan fisik yang terjadi pada benda uji dapat dilihat dari warna dan kerusakan pada permukaan yang tampak. Setelah proses pembakaran benda uji dilakukan, dapat disimpulkan ada beberapa perubahan secara fisik yang disajikan pada tabel 4.6 :

Tabel 4.6 Perubahan Warna dan Kerusakan Benda Uji Pasca Bakar

Variasi	Perubahan Warna	Kerusakan yang terjadi
Benda uji dengan penambahan 5% Piropilit	Warna tetap berwarna abu-abu keputihan tidak mengalami perubahan yang signifikan	<ul style="list-style-type: none"> – Terjadi retak rambut pada sisi-sisi benda uji – Kondisi benda uji rapuh tetapi masih layak untuk diuji – Adanya pengeroposan di beberapa bagian benda uji
Benda uji dengan penambahan 10% Piropilit	Warna tetap berwarna abu-abu keputihan tidak mengalami perubahan yang signifikan	<ul style="list-style-type: none"> – Retak rambut yang terjadi mulai berkurang dari benda uji sebelumnya – Benda uji masih utuh setelah proses pengangkutan
Benda uji dengan penambahan 15% Piropilit	Warna tetap berwarna abu-abu keputihan tidak mengalami perubahan yang signifikan	<ul style="list-style-type: none"> – Benda uji mengalami retak rambut cukup parah – Benda uji cukup rapuh dalam pengangkutan, terbukti dengan pengeroposan di bagian pinggir
Benda uji dengan penambahan 20% Piropilit	Warna tetap berwarna putih tidak mengalami perubahan yang signifikan	<ul style="list-style-type: none"> – Retak rambut yang terjadi mulai berkurang dari benda uji sebelumnya – Benda uji masih kuat setelah proses pengangkutan
Benda uji dengan penambahan 25% Piropilit	Warna tetap berwarna putih tidak mengalami perubahan yang signifikan	<ul style="list-style-type: none"> – Tidak ada kerusakan yang berarti – Benda uji masih padat seperti sebelum dibakar

4.3.3 Hasil pengujian porositas

Pada pengujian porositas, sebelumnya benda uji dipotong terlebih dahulu menjadi ukuran 15 x 20 x 10 cm dikarenakan wadah untuk menimbang berat benda uji di dalam air tidak cukup memuat satu benda uji utuh. Benda uji yang digunakan adalah benda uji yang telah mengalami fase pembakaran dan pendinginan. Perhitungan nilai porositas dapat diukur dengan perbandingan antara berat air dan udara yang berada dalam sampel yang sudah jenuh air dengan berat sampel yang sudah kering.

$$\text{Porositas} = \frac{M_s - D}{V} \times 100\%$$

Dengan : $V = \text{Exterior Volume}$

$M_s = \text{Massa Basah (Saturated Mass)}$

$D = \text{Massa Kering (Dry Mass)}$

$V = M_s - S$

$S = \text{Massa Tercelup (Suspended Mass)}$

Hasil perhitungan nilai porositas benda uji tiap variasi disajikan pada tabel 4.7, dan untuk nilai porositas rata-rata tampak pada tabel 4.8 :

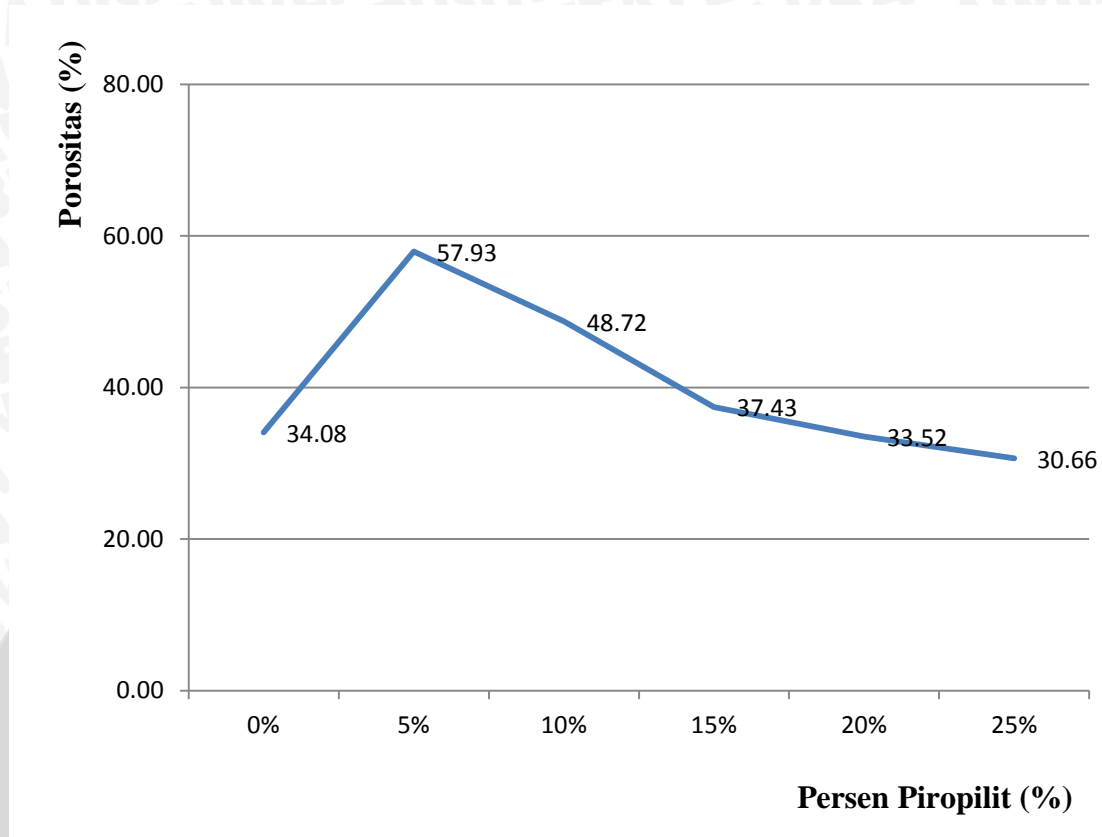
Tabel 4.7 Nilai Porositas Benda Uji Tiap Variasi

Sampel	Porositas (%)					
	Variasi Kadar Piropilit					
	0%	5%	10%	15%	20%	25%
1	31,62%	58,50%	48,02%	42,60%	52,71%	23,38%
2	41,02%	40,25%	63,16%	40,75%	24,90%	27,08%
3	31,62%	61,72%	49,96%	26,40%	44,72%	33,32%
4	25,47%	63,20%	40,43%	39,43%	23,77%	27,67%
5	40,69%	65,99%	42,03%	37,97%	21,50%	41,86%

Tabel 4.8 Nilai Porositas Rata-Rata Benda Uji Tiap Variasi

Variasi Kadar Piropilit	Porositas
0%	34,08%
5%	57,93%
10%	48,72%
15%	37,43%
20%	33,52%
25%	30,66%

Grafik trend porositas rata-rata bata beton ringan pasca bakar tampak dalam gambar 4.3 :



Gambar 4.3 Hasil Uji Porositas Rata-Rata Benda Uji Setiap Variasi

4.3.4 Hasil pengujian modulus elastisitas

Setelah data yang dimiliki yakni data kuat tekan, dan data penurunan dari benda uji yang dicatat melalui dial yang dipasang pada pelat, maka didapatkan nilai regangan melalui rumusan: $\varepsilon = \Delta L/L$. Dimana nilai ΔL merupakan data penurunan benda uji akibat dibebani saat pengujian *Compression Test*, kemudian data tersebut dibagi dengan panjang mula-mula (L) sehingga diperoleh nilai regangan.

Sedangkan untuk perhitungan modulus elastisitas sendiri dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$\text{Modulus Elastisitas (E)} = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} = \frac{s_2 - s_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Untuk perhitungan modulus elastisitas ini dilakukan perhitungan terhadap 2 fase dari diagram tegangan-regangan, yakni fase elastis (*elastic regime*) dan fase peningkatan kekuatan (*plateau regime*), yang di mana pada akhirnya nanti diambil nilai yang terbesar untuk modulus elastisitas yang diambil. Untuk perhitungan fase peningkatan kekuatan

menggunakan cara modulus tangen. Hasil perhitungan modulus elastisitas tampak dalam tabel 4.9 dan tabel 4.10 :

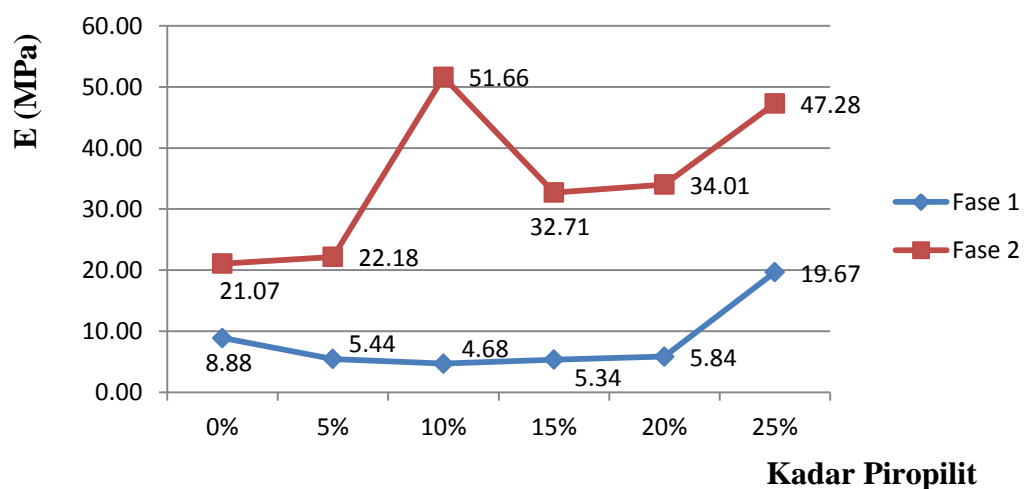
Tabel 4.9 Fase 1 (Daerah Elastis)

Sampel	S1	ϵ_1	Modulus Elastisitas
	(MPa)		(MPa)
0%	0.033333	0.00376	8.88
5%	0.033333	0.00613	5.44
10%	0.033333	0.00713	4.68
15%	0.033333	0.00625	5.34
20%	0.033333	0.00571	5.84
25%	0.033333	0.00170	19.67

Tabel 4.10 Fase 2 (Daerah Plastik)

Sampel	S1	S2	ϵ_1	ϵ_2	Modulus Elastisitas
	(MPa)	(MPa)			(MPa)
0%	0.033333	0.165000	0.00375	0.01	21.07
5%	0.066667	0.120000	0.00960	0.012	22.18
10%	0.066667	0.350000	0.00952	0.015	51.66
15%	0.066667	0.225000	0.01016	0.015	32.71
20%	0.066667	0.225000	0.01035	0.015	34.01
25%	0.066667	0.300000	0.00507	0.01	47.28

Grafik trend modulus elastisitas dari kedua fase di atas tampak dalam gambar 4.4 :



Gambar 4.4 Diagram Modulus Elastisitas Tiap Variasi Benda Uji

4.4 Pembahasan

4.4.1 Analisis ANOVA

a. Analisis ANOVA Porositas Bata Beton Ringan Pasca Bakar

Berdasarkan uraian sebelumnya, dinyatakan dalam hipotesis bahwa diduga penambahan batuan piropilit ini akan memberikan pengaruh pada porositas bata beton ringan pasca bakar. Berikut merupakan hipotesis yang ada dalam penelitian ini.

H_0 : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penambahan kadar piropilit terhadap porositas pada bata beton ringan pasca bakar

H_1 : Ada pengaruh yang signifikan dari penambahan kadar piropilit terhadap porositas pada bata beton ringan pasca bakar

Kriteria pengujian:

Jika $F_{hitung} \geq F_{tabel}$, maka menolak H_0 dan menerima H_1

Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka menolak H_1 dan menerima H_0

Data:

Tingkat signifikansi (α): 0.05

Jumlah Variasi (k) : 6 variasi

Jumlah Sampel (n) : 5 sampel

Menggunakan Tabel Fisher, dengan nilai derajat bebas (db) :

$$db_1 = k - 1 = 5$$

$$db_2 = k \times (n - 1) = 24$$

$$F_{tabel} = F_{(db_1, db_2)} = F_{(5, 24)} = 2,62$$

Tabel 4.11 Hasil Uji Porositas

Variasi	Sampel				
	1	2	3	4	5
Normal	0.316	0.410	0.316	0.255	0.407
5% piropilit	0.585	0.403	0.617	0.632	0.660
10% piropilit	0.480	0.632	0.500	0.404	0.420
15% piropilit	0.426	0.407	0.264	0.394	0.380
20% piropilit	0.527	0.249	0.447	0.238	0.215
25% piropilit	0.234	0.271	0.333	0.277	0.419

Tabel $(\bar{A}_j - \bar{A})^2$

Variasi	A_i	\bar{A}_j	\bar{A}	$\bar{A}_j - \bar{A}$	$(\bar{A}_j - \bar{A})^2$
Normal	1.7042361	0.340847	0.403918	-0.063071	0.003978
5% piropilit	2.8966879	0.579338		0.175419	0.030772
10% piropilit	2.4360639	0.487213		0.083294	0.006938
15% piropilit	1.8714252	0.374285		-0.029633	0.000878
20% piropilit	1.6760301	0.335206		-0.068712	0.004721
25% piropilit	1.5331056	0.306621		-0.097297	0.009467

Tabel $(A_{ij}-A_j)^2$

Variasi	$(A_{ij}-A_j)^2$					Jumlah
Normal	0.000608378	0.004806138	0.000606060	0.007417208	0.004366632	0.0178
5% piropilit	0.000032627	0.031258583	0.001433461	0.002777161	0.006484940	0.04199
10% piropilit	0.000048923	0.020855911	0.000152475	0.006871365	0.004472352	0.0324
15% piropilit	0.002671648	0.001102538	0.012172773	0.000399871	0.000029605	0.01638
20% piropilit	0.036832287	0.007429161	0.012541694	0.009503233	0.014455251	0.08076
25% piropilit	0.005308890	0.001280032	0.000706498	0.000897125	0.012546616	0.02074
						0.21007

Keterangan:

 $\sum A_i$ = Jumlah data tiap baris \bar{A}_j = Jumlah Rata-rata baris \bar{A} = Jumlah rata-rata total $\sum(A_i - \bar{A}_j)^2$ = Jumlah Kuadrat

Perhitungan:

Jumlah kuadrat between-group (S_b):

$$\begin{aligned}
 S_b &= \sum n(\bar{A}_j - \bar{A})^2 \\
 &= 5(0,003978 + 0,030772 + 0,006938 + 0,000878 + 0,004721 + 0,009467) \\
 &= 0,283771
 \end{aligned}$$

Varian between-group (MS_b):

$$MS_b = \frac{S_b}{db_1} = \frac{0,283771}{5} = 0,056754$$

Jumlah kuadrat within-group (S_w) :

$$\begin{aligned} S_w &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (\bar{A}_i - \bar{A}_j)^2 \\ &= 0,0178 + 0,04199 + 0,0324 + 0,01638 + 0,08076 + 0,02074 \\ &= 0,21007 \end{aligned}$$

Varian within-group (MS_w) :

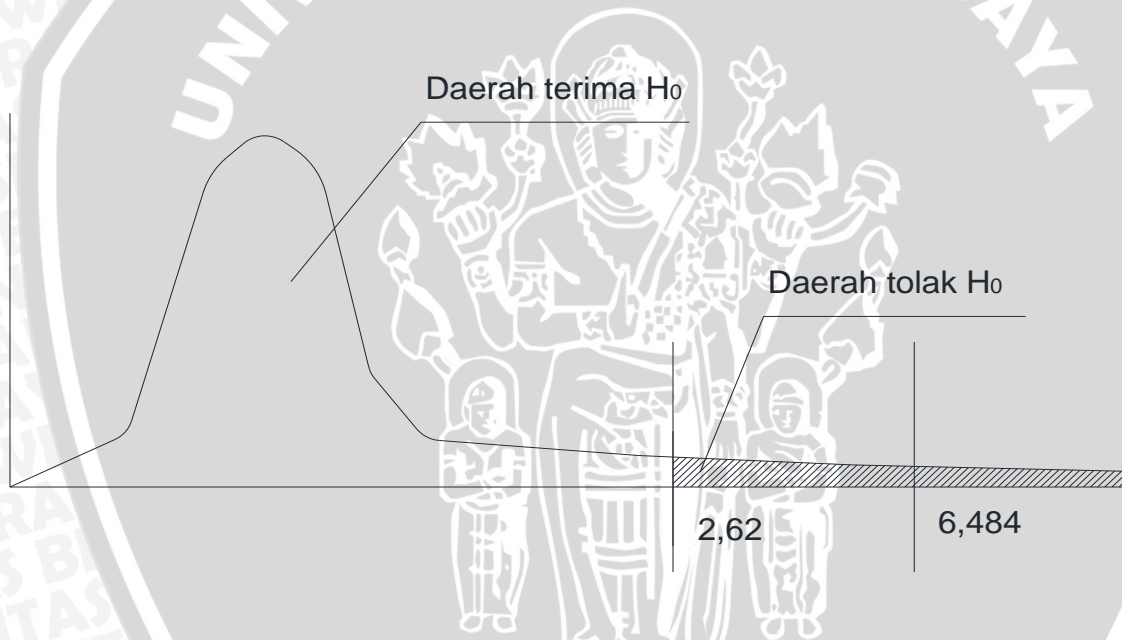
$$MS_w = \frac{S_w}{db_2} = \frac{0,21007}{24} = 0,008753$$

Nilai F_{hitung} :

$$F_{hitung} = \frac{M_{sb}}{M_{sw}} = \frac{0,056754}{0,008753} = 6,484040 \approx 6,484$$

$F_{hitung} > F_{tabel}$

$6,484 > 2,62 \rightarrow$ maka H_1 diterima dan H_0 ditolak



b. Analisis ANOVA Modulus Elastisitas Bata Beton Ringan Pasca Bakar

Berdasarkan uraian sebelumnya, dinyatakan dalam hipotesis bahwa diduga penambahan batuan piropilit ini akan memberikan pengaruh pada modulus elastisitas bata beton ringan pasca bakar. Berikut merupakan hipotesis yang ada dalam penelitian ini.

H_0 : Tidak ada pengaruh yang signifikan dari penambahan kadar piropilit terhadap modulus elastisitas pada bata beton ringan pasca bakar

H_1 : Ada pengaruh yang signifikan dari penambahan kadar piropilit terhadap modulus elastisitas pada bata beton ringan pasca bakar

Kriteria pengujian:

Jika $F_{hitung} \geq F_{tabel}$, maka menolak H_0 dan menerima H_1

Jika $F_{hitung} < F_{tabel}$, maka menolak H_1 dan menerima H_0

Data:

Tingkat signifikansi (α): 0.05

Jumlah Variasi (k) : 6 variasi

Jumlah Sampel (n) : 5 sampel

Menggunakan Tabel Fisher, dengan nilai derajat bebas (db) :

$$db_1 = k - 1 = 5$$

$$db_2 = k \times (n - 1) = 24$$

$$F_{tabel} = F_{(db_1, db_2)} = F_{(5, 24)} = 2,62$$

Tabel 4.12 Hasil Uji Modulus Elastisitas

Variasi	Sampel				
	1	2	3	4	5
Normal	14.2462	30.0000	24.3596	23.3400	0.2893
5% piropilit	14.1222	18.6047	16.6700	11.0576	29.3055
10% piropilit	34.7327	28.9913	36.4556	22.6033	24.2473
15% piropilit	15.8762	22.2267	17.3195	19.8986	21.6398
20% piropilit	23.9660	20.5154	50.5567	19.4346	28.7705
25% piropilit	42.1641	70.1684	70.7802	55.4292	42.5283

Tabel ($\bar{A}_j - \bar{A}$)²

Variasi	A_i	\bar{A}_j	\bar{A}	$\bar{A}_j - \bar{A}$	$(\bar{A}_j - \bar{A})^2$
Normal	92.235100	18.447020	28.34331667	-9.896297	97.936688
5% piropilit	89.7600000	17.952000		-10.391317	107.979462
10% piropilit	147.030200	29.406040		1.062723	1.129381
15% piropilit	96.9608000	19.392160		-8.951157	80.123206
20% piropilit	143.243200	28.648640		0.305323	0.093222
25% piropilit	281.070200	56.214040		27.870723	776.777219

Tabel $(A_{ij}-A_j)^2$

Variasi	$(A_{ij}-A_j)^2$					Jumlah
Normal	17.646889	133.471347	34.958602	23.941253	329.702796	539.721
5% piropilit	14.667368	0.426017	1.643524	47.532751	128.901962	193.172
10% piropilit	28.373307	0.172009	49.696296	46.277272	26.612598	151.131
15% piropilit	12.361975	8.034617	4.295919	0.256481	5.051886	30.0009
20% piropilit	21.927117	66.149593	479.963093	84.898533	0.014850	652.953
25% piropilit	197.400814	194.724163	212.173017	0.615974	187.299479	792.213
						2359.19

Keterangan:

 $\sum A_i$ = Jumlah data tiap baris \bar{A}_j = Jumlah Rata-rata baris \bar{A} = Jumlah rata-rata total $\sum(A_i-\bar{A}_j)^2$ = Jumlah Kuadrat

Perhitungan:

Jumlah kuadrat between-group (S_b):

$$\begin{aligned} S_b &= \sum n(\bar{A}_j - \bar{A})^2 \\ &= 5(97,9366688 + 107,979462 + 1,129381 + 80,123206 + 0,093222 + 776,777219) \\ &= 5320,195889 \end{aligned}$$

Varian between-group (MS_b):

$$MS_b = \frac{S_b}{db_1} = \frac{5320,195889}{5} = 1064,039178$$

Jumlah kuadrat within-group (S_w):

$$\begin{aligned} S_w &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (\bar{A}_i - \bar{A}_j)^2 \\ &= 539,721 + 193,172 + 151,131 + 30,0009 + 652,953 + 792,213 \\ &= 2359,1915 \end{aligned}$$

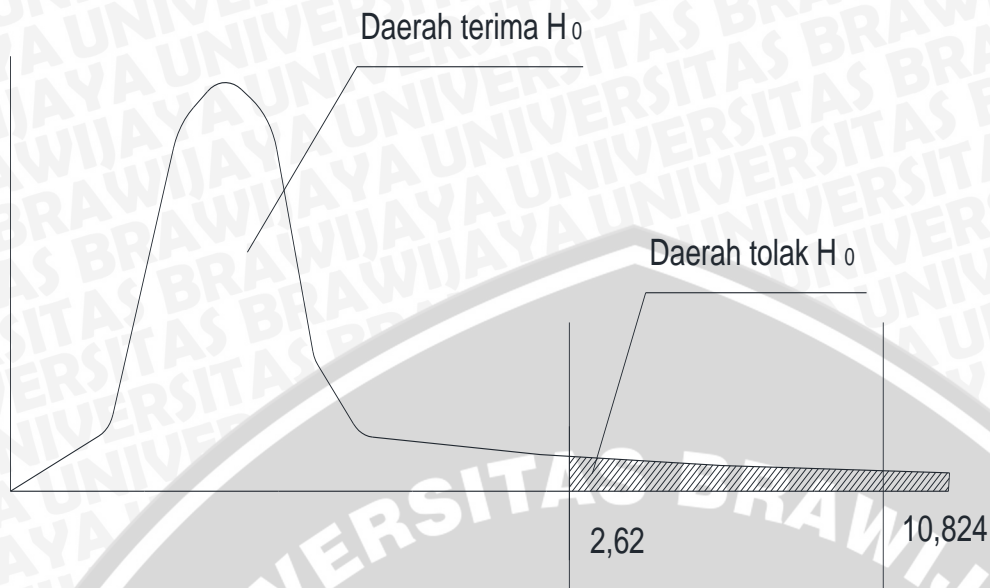
Varian within-group (MS_w):

$$MS_w = \frac{S_w}{db_2} = \frac{2359,1915}{24} = 98,2996$$

Nilai F_{hitung} :

$$F_{hitung} = \frac{MS_b}{MS_w} = \frac{1064,039178}{98,2996} = 10,8244 \approx 10,824$$

 $F_{hitung} > F_{tabel}$ 10,824 > 2,62 \rightarrow maka H_1 diterima dan H_0 ditolak



4.4.3 Uji Grubbs

Uji ini dilakukan karena ada beberapa data yang kurang sesuai pada pengujian porositas dan modulus elastisitas bata beton ringan pasca bakar.

Data dianggap outlier jika G hitung $>$ G kritis.

$$G1 = \frac{|\bar{x} - x_i|}{s}$$

$$G2 = \frac{|x_n - x_1|}{s}$$

$$G3 = \left(\frac{(n-3)x s_{n-2}^2}{(n-1)x s^2} \right)$$

Keterangan:

G1 = berlaku jika terdapat hanya satu data ekstrim

G2 = diaplikasikan apabila terdapat dua data ekstrim yaitu 1 data ekstrim pada posisi terendah dan 1 data ekstrim pada posisi tertinggi

G3 = diterapkan ketika terdapat 2 buah data ekstrim yang letaknya berdekatan satu sama lain (berpasangan)

\bar{x} = rata-rata

x_i = data yang dicurigai sebagai outlier

x_n = data terendah

x_1 = data tertinggi

n = jumlah data

s_{n-2} = simpangan baku tanpa memperhitungkan data ekstrim

s = simpangan baku

– **Porositas**

Tingkat kepercayaan 95%

$n = 5 \rightarrow G1 \text{ kritis} = 1,672; G2 \text{ kritis} = 2,75; G3 \text{ kritis} = 0,9817$

Tabel 4.13 Data Hasil Perhitungan Porositas

Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)
N1	31,62	A1	58,50	B1	48,02
N2	41,02	A2	40,25	B2	63,16
N3	31,62	A3	61,72	B3	49,96
N4	25,47	A4	63,20	B4	40,43
N5	40,69	A5	65,99	B5	42,03

Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)
C1	42,60	D1	52,71	E1	23,38
C2	40,75	D2	24,90	E2	27,08
C3	26,40	D3	44,72	E3	33,32
C4	39,43	D4	23,77	E4	27,67
C5	37,97	D5	21,50	E5	41,86

Tabel 4.14 Perhitungan Uji Grubbs untuk Tiap Benda Uji

Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)
N4	25,47	A2	40,25	B4	40,43
N1	31,62	A1	58,50	B5	42,03
N3	31,62	A3	61,72	B1	48,02
N5	40,69	A5	63,20	B3	49,96
N2	41,02	A4	65,99	B2	63,16
s	6,67	s	10,25	s	9,00
s_{n-2}	3,55	s_{n-2}	2,17	s_{n-2}	4,13
G3	0,142	G3	0,022	G2	2,526
\bar{x}_{n-2}	29,57	\bar{x}_{n-2}	63,64	\bar{x}_{n-2}	46,67

Tabel 4.14 Lanjutan Perhitungan Uji Grubbs untuk Tiap Benda Uji

Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)	Data	Porositas (%)
C3	26,40	D5	21,50	E1	23,38
C5	37,97	D4	23,77	E2	27,08
C4	39,43	D2	24,90	E4	27,67
C2	40,75	D3	44,72	E3	33,32
C1	42,60	D1	52,71	E5	41,86
s	6,40	s	14,21	s	7,20
s_{n-2}	1,39	s_{n-2}	1,73	s_{n-2}	2,33
G2	2,531	G3	0,007	G3	0,052
\bar{x}_{n-2}	39,38	\bar{x}_{n-2}	23,39	\bar{x}_{n-2}	26,04

Berdasarkan hasil perhitungan, maka digunakan 3 sampel untuk masing-masing variasi dalam perhitungan statistik untuk analisis regresinya. Jadi 2 sampel tiap variasi yang perlu dibuang adalah: N2, N5, A1, A2, B2, B4, C1, C3, D1, D3, E3, E5.

– **Modulus Elastisitas**

Tingkat kepercayaan 95%

$n = 5 \rightarrow G1 \text{ tabel} = 1,672; G2 \text{ tabel} = 2,75; G3 \text{ tabel} = 0,9817$

Tabel 4.15 Data Hasil Perhitungan Modulus Elastisitas

Data	E (MPa)	Data	E (MPa)	Data	E (MPa)
N1	14,2462	A1	14,1222	B1	34,7327
N2	30,0000	A2	18,6047	B2	28,9913
N3	24,3596	A3	16,6700	B3	36,4556
N4	23,3400	A4	11,0576	B4	22,6033
N5	0,2893	A5	29,3055	B5	24,2473

Data	E (MPa)	Data	E (MPa)	Data	E (MPa)
C1	15,8762	D1	23,9660	E1	42,1641
C2	22,2267	D2	20,5154	E2	70,1684
C3	17,3195	D3	50,5567	E3	70,7802
C4	19,8986	D4	19,4346	E4	55,4292
C5	21,6398	D5	28,7705	E5	42,5283

Tabel 4.16 Perhitungan Uji Grubbs untuk Tiap Benda Uji

Data	E (MPa)	Data	E (MPa)	Data	E (MPa)
N5	0,2893	A4	11,0576	B4	22,6033
N1	14,2462	A1	14,1222	B5	24,2473
N4	23,3400	A3	16,6700	B2	28,9913
N3	24,3596	A2	18,6047	B1	34,7327
N2	30,0000	A5	29,3055	B3	36,4556
s	11,616	s	6,949	s	6,147
s_{n-2}	3,587	s_{n-2}	2,248	s_{n-2}	3,317
G3	0,048	G2	2,626	G3	0,146
\bar{x}_{n-2}	25,90	\bar{x}_{n-2}	16,466	\bar{x}_{n-2}	25,281

Data	E (MPa)	Data	E (MPa)	Data	E (MPa)
C1	15,8762	D4	19,4346	E1	42,1641
C3	17,3195	D2	20,5154	E5	42,5283
C4	19,8986	D1	23,9660	E4	55,4292
C5	21,6398	D5	28,7705	E2	70,1684
C2	22,2267	D3	50,5567	E3	70,7802
s	2,739	s	12,776	s	14,073
s_{n-2}	1,211	s_{n-2}	2,367	s_{n-2}	7,556
G3	0,098	G3	0,017	G3	0,144
\bar{x}_{n-2}	21,255	\bar{x}_{n-2}	21,305	\bar{x}_{n-2}	46,707

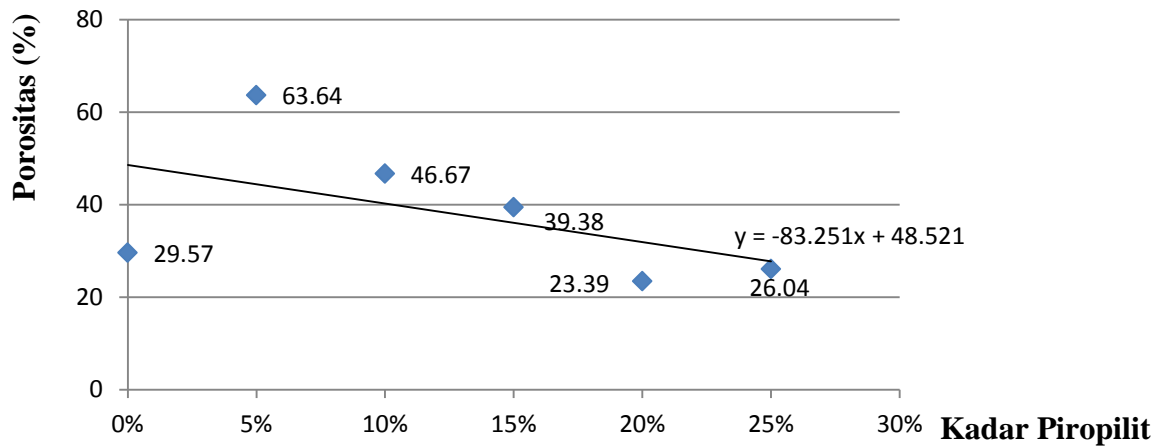
Berdasarkan hasil perhitungan, maka digunakan 3 sampel untuk masing-masing variasi dalam perhitungan statistik untuk analisis regresinya. Jadi 2 sampel tiap variasi yang perlu dibuang adalah: N1, N5, A4, A5, B1, B3, C1, C3, D3, D5, E2, E3.

4.4.3 Analisis persamaan regresi

a. Analisis persamaan regresi porosititas bata beton ringan pasca bakar

Dari hasil percobaan pengujian porosititas, didapatkan trend seperti pada gambar

4.5 berikut:

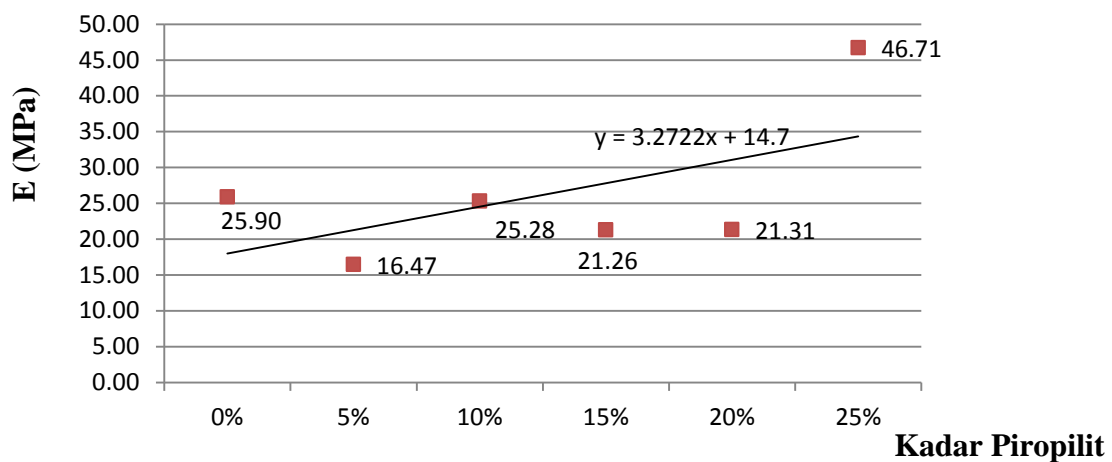


Gambar 4.5 Regresi Porosititas Rata-Rata

Dapat disimpulkan dari grafik trend regresi di atas bahwa seiring dengan penambahan persen piropilit, maka nilai porosititas bata beton ringan setelah mengalami proses pembakaran akan semakin menurun, dan ini menandakan bata beton ringan mempunyai tekstur lebih padat seiring dengan penambahan persen piropilit tersebut.

b. Analisis persamaan regresi modulus elastisitas bata beton ringan pasca bakar

Dari hasil percobaan pengujian modulus elastisitas, didapatkan trend seperti pada gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 Regresi Modulus Elastisitas Rata-Rata

Dapat disimpulkan dari grafik trend regresi di atas bahwa seiring dengan penambahan persen piropilit, maka nilai modulus bata beton ringan setelah mengalami proses pembakaran akan semakin tinggi pada kedua fase di atas.

4.4.3. Pembahasan hasil

Bata beton ringan sebenarnya merupakan pengembangan dari beton berongga dimana memiliki bentuk yang berbeda dan fungsi yang berbeda yakni sebagai pasangan bata untuk dinding (*masonry*) dan untuk standar pengujian dapat dianalogikan dengan pengujian batako seperti di SNI 03-0348-1989-7.

Hasil uji statistik menunjukkan adanya peningkatan nilai porositas rata-rata antara bata beton ringan pasca bakar yang ditambahkan dengan batuan piropilit pada variasi 5%-15%, di mana nilai porositas rata-rata paling tinggi pada variasi 5% yaitu mencapai 63,64%. Sedangkan pada variasi 20% dan 25% nilai porositas rata-rata lebih rendah jika dibandingkan dengan benda uji tanpa penambahan piropilit. Dapat dikatakan semakin tinggi penambahan piropilit pada bata beton ringan yang mengalami proses pembakaran, maka pori-pori pada bata akan semakin rapat dan menyebabkan bata beton ringan semakin padat dan nilai porositas semakin rendah. Secara umum untuk nilai porositas bata beton ringan pasca bakar sesuai jika dibandingkan dengan nilai kuat tekannya (lampiran 9), di mana ketika nilai porositas tinggi, maka kuat tekannya akan rendah.

Sedangkan untuk modulus elastisitas, hasil uji statistik menunjukkan bahwa semakin tinggi penambahan jumlah piropilit ke dalam benda uji maka, maka diagram tegangan regangannya akan semakin bergeser ke arah kiri dan atas yang menyimbolkan bahwa dengan penambahan piropilit maka akan mengurangi regangan (*strain*) dan meningkatkan tegangan (*stress*). Ini berarti akan semakin meningkatkan nilai modulus elastisitas karena rumus dari perhitungan modulus elastisitas sendiri adalah:

$$\text{Modulus Elastisitas (E)} = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} = \frac{s_2 - s_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Namun untuk variasi 25% mengalami lonjakan yang cukup signifikan, yakni mencapai 46,71 MPa. Hal ini mungkin disebabkan karena karakteristik piropilit yang tidak sesuai untuk mengalami proses pembakaran, oleh karena itu perlu dilakukan uji kimia terhadap piropilit agar dapat mengetahui komposisi bahan penyusun dai piropilit tersebut. Faktor lain yang mungkin menjadi penyebab adalah posisi atau letak benda saat proses pembakaran yang tidak terkena api secara merata.