

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Benda Uji

4.1.1 Penentuan Komposisi Bahan

Batu bata dibuat dengan menggantikan tanah liat dengan *bottom ash*. Berat *bottom ash* ditambahkan dengan prosentase tertentu dari berat tanah liat yang dipakai dalam pembuatan batu bata. Berat 1 batu bata diasumsikan sebesar 1,5 kg. Sedangkan dalam penelitian ini dibutuhkan 36 buah batu bata. *Bottom ash* yang dipakai yaitu *bottom ash* yang lolos saringan no. 200. Komposisi bahan pembuatan batu bata ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Kebutuhan Tanah Liat dan *Bottom ash*

| Sampel | Perbandingan | | Perbandingan Berat | | Jumlah Benda Uji |
|--------|----------------|-----------------------|--------------------|------------------------|------------------|
| | Tanah liat (%) | <i>Bottom ash</i> (%) | Tanah liat (kg) | <i>Bottom ash</i> (kg) | |
| A | 40 | 60 | 21.6 | 32.4 | 36 |
| B | 45 | 55 | 24.3 | 29.7 | 36 |
| C | 50 | 50 | 27 | 27 | 36 |
| D | 55 | 45 | 29.7 | 24.3 | 36 |
| E | 60 | 40 | 32.4 | 21.6 | 36 |
| F | 65 | 35 | 35.1 | 18.9 | 36 |
| G | 70 | 30 | 37.8 | 16.2 | 36 |
| H | 80 | 20 | 43.2 | 10.8 | 36 |
| I | 90 | 10 | 48.6 | 5.4 | 36 |
| J | 100 | 0 | 54 | 0 | 36 |
| Total | | | 353.7 | 186.3 | 360 |

Dari perhitungan tabel di atas, diperoleh total kebutuhan berat tanah liat sebesar 353,7 kg dan berat *bottom ash* sebesar 186,3 kg. Kemudian menimbang tanah liat dan *bottom ash* sesuai dengan kebutuhan per variasinya dan dimasukkan ke dalam karung satu per satu.



Gambar 4.1 Pengelompokan Tanah Liat dan *Bottom ash*

4.1.2 Pembuatan Benda Uji

Proses pembuatan benda uji diawali dengan pencampuran bahan-bahan pembuat batu bata. Proses ini dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan tenaga manusia karena di daerah Pakis tempat pembuatan benda uji ini masih manual. Pembuatan benda uji dilakukan dengan cara bertahap dan dilakukan per variasi.



Gambar 4.2 Proses Pencampuran Bahan

Setelah bahan tercampur rata semuanya, campuran bahan siap untuk dicetak dengan cetakan dan kemudian dijemur selama kurang lebih 3 hari sampai batu bata dalam keadaan kering, kemudian dibakar.



Gambar 4.3 Proses Pencetakan Batu Bata



Gambar 4.4 Proses Pelepasan Batu Bata Dari Cetakan



Gambar 4.5 Proses Penjemuran Batu Bata



Gambar 4.6 Proses Pembakaran Batu Bata

4.2 Pengujian Batu Bata

4.2.1 Pengujian Kubus Batu Bata

Alat yang digunakan untuk pengujian batu bata adalah alat uji tekan *enerpact*. Selain menghitung kuat tekan batu bata juga menghitung nilai deformasi aksial dan lateral dengan menggunakan *dial gauge* untuk mendapatkan nilai poisson rasio dari batu bata.

Tabel 4.2 Nilai Kuat Tekan Kubus Batu Bata *Bottom ash 0%*

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 190.4076 | 9.5984 |
| 2 | 97.3194 | 6.4304 |
| 3 | 203.1014 | 10.4894 |
| 4 | 90.9725 | 5.5193 |
| 5 | 224.2578 | 11.2923 |

Tabel 4.3 Nilai Kuat Tekan Kubus Batu Bata *Bottom ash 10%*

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 105.7820 | 5.9352 |
| 2 | 112.1289 | 6.2785 |
| 3 | 133.2853 | 7.0928 |
| 4 | 112.1289 | 5.9994 |
| 5 | 359.6588 | 16.4608 |

Tabel 4.4 Nilai Kuat Tekan Kubus Batu Bata *Bottom ash* 20%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 166.4818 | 9.6693 |
| 2 | 210.2928 | 11.0589 |
| 3 | 223.4361 | 14.1958 |
| 4 | 184.0062 | 9.9842 |
| 5 | 411.8234 | 23.0845 |

Tabel 4.5 Nilai Kuat Tekan Kubus Batu Bata *Bottom ash* 30%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 170.8629 | 10.1488 |
| 2 | 262.8660 | 13.7759 |
| 3 | 219.0550 | 11.0001 |
| 4 | 205.9117 | 9.9106 |
| 5 | 232.1983 | 11.6492 |

Tabel 4.6 Nilai Kuat Tekan Kubus Batu Bata *Bottom ash* 35%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 236.5794 | 12.4110 |
| 2 | 157.7196 | 10.0885 |
| 3 | 306.6770 | 16.5093 |
| 4 | 109.5275 | 6.0226 |
| 5 | 192.7684 | 9.7020 |

Tabel 4.7 Nilai Kuat Tekan Kubus Batu Bata *Bottom ash* 40%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 236.5794 | 12.9949 |
| 2 | 258.4849 | 16.3864 |
| 3 | 148.9574 | 9.5409 |
| 4 | 254.1038 | 11.4578 |
| 5 | 315.4392 | 14.1838 |

Tabel 4.8 Nilai Kuat Tekan Kubus Batu Bata *Bottom ash* 45%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 153.3385 | 8.1155 |
| 2 | 122.6708 | 5.8776 |
| 3 | 214.6739 | 12.4074 |

Tabel 4.9 Nilai Kuat Tekan Kubus Batu Bata *Bottom ash* 50%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 105.1464 | 5.6221 |
| 2 | 135.8141 | 6.8894 |
| 3 | 214.6739 | 10.7837 |
| 4 | 192.7684 | 8.7318 |
| 5 | 140.1952 | 6.3952 |

Tabel 4.10 Nilai Kuat Tekan Kubus Batu Bata *Bottom ash* 55%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 141.7479 | 6.4479 |
| 2 | 116.3602 | 6.9587 |
| 3 | 141.7479 | 7.4976 |
| 4 | 148.0948 | 8.1896 |
| 5 | 211.5640 | 9.7281 |

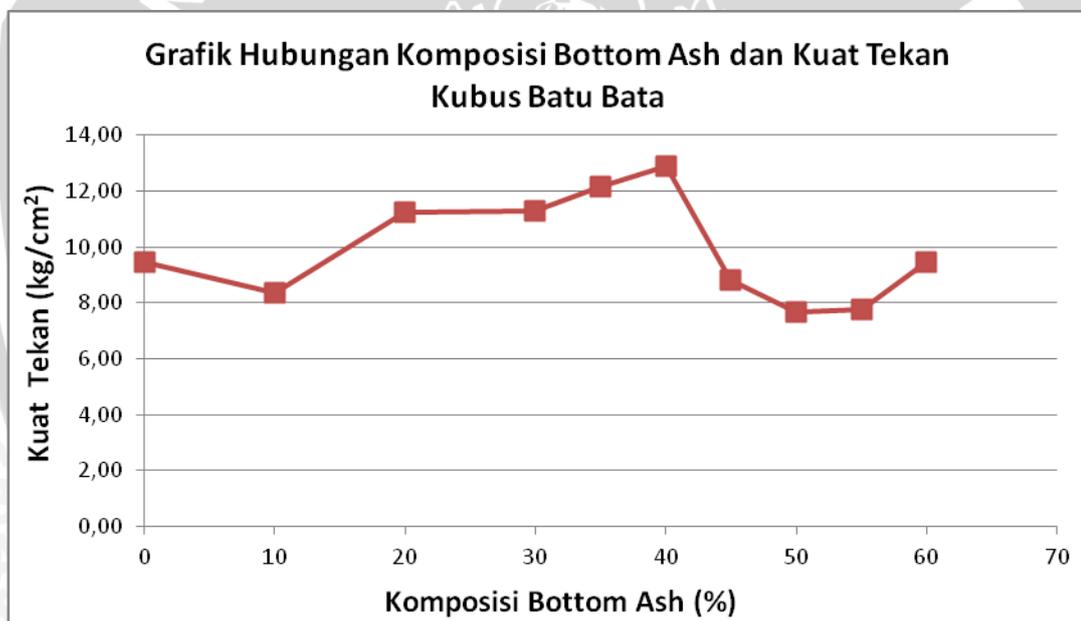
Tabel 4.11 Nilai Kuat Tekan Kubus Batu Bata *Bottom ash* 60%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 232.1983 | 12.1910 |
| 2 | 276.0093 | 14.7993 |
| 3 | 236.5794 | 11.8655 |
| 4 | 166.4818 | 8.4039 |

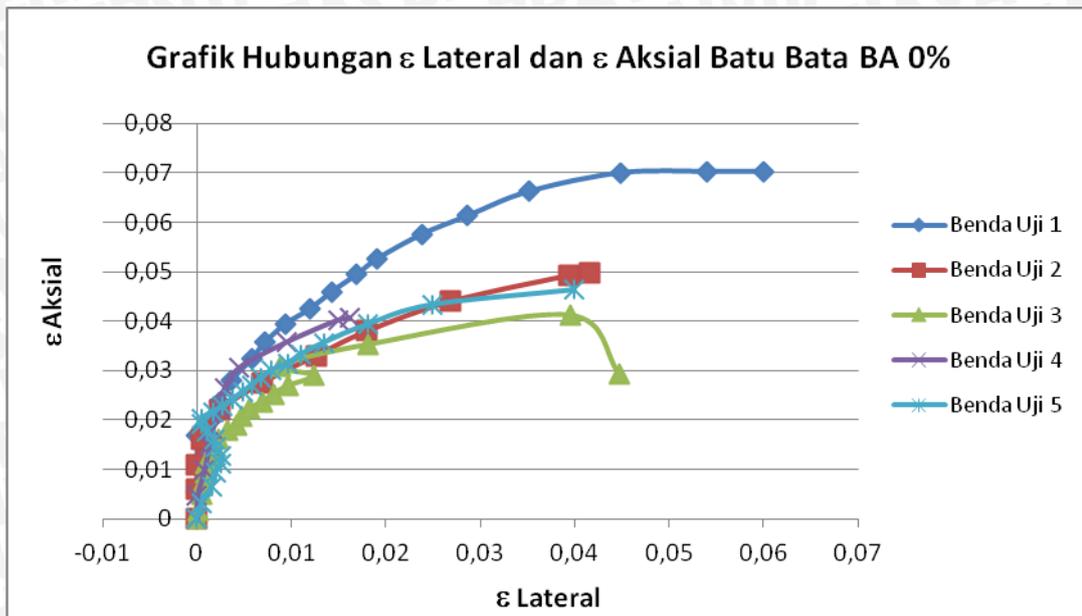
Dari nilai kuat tekan masing-masing komposisi variasi *bottom ash* yang dihasilkan dari pengujian diambil nilai-nilai dengan jarak yang berdekatan yang tidak lebih dari 5% untuk mendapatkan nilai rata-rata kuat tekan batu-bata dari masing-masing komposisi variasi *bottom ash*. Tabel di bawah ini adalah tabel nilai kuat tekan rata-rata kubus batu-bata yang didapatkan.

Tabel 4.12 Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Kubus Batu Bata

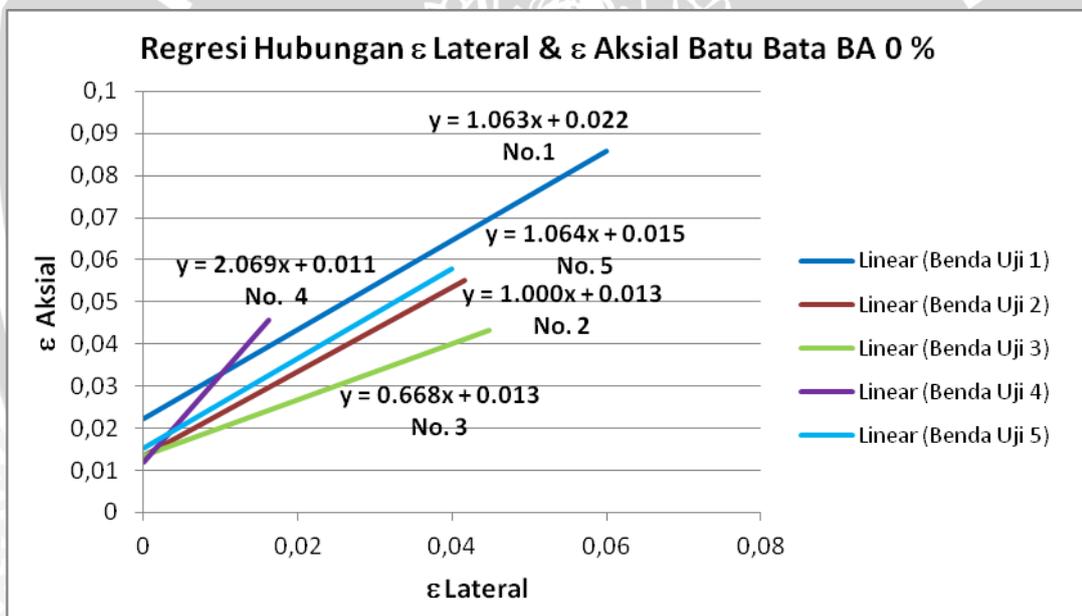
| Perbandingan | | Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²) |
|----------------|----------------|---|
| Tanah Liat (%) | Bottom ash (%) | |
| 100 | 0 | 9.45 |
| 90 | 10 | 8.35 |
| 80 | 20 | 11.23 |
| 70 | 30 | 11.30 |
| 65 | 35 | 12.18 |
| 60 | 40 | 12.91 |
| 55 | 45 | 8.80 |
| 50 | 50 | 7.68 |
| 45 | 55 | 7.76 |
| 40 | 60 | 9.45 |

**Gambar 4.7** Grafik Hubungan Komposisi *Bottom ash* dan Kuat Tekan Kubus Batu Bata

Pada pengujian ini sekaligus didapat nilai poisson ratio dari batu bata yaitu nilai deformasi aksial ada deformasi lateral yang terjadi.



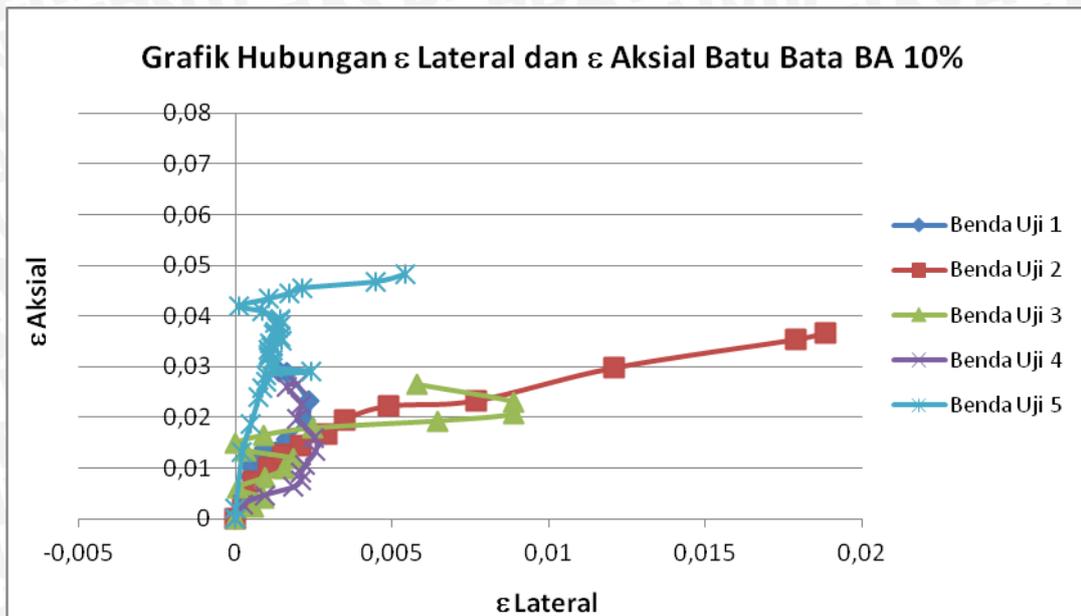
Gambar 4.8 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 0%



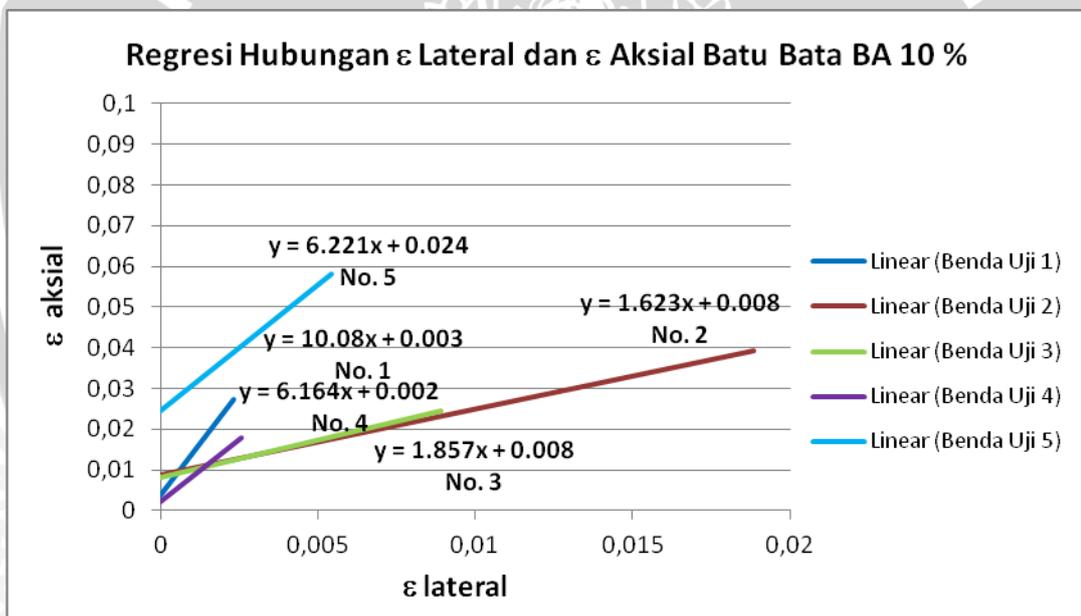
Gambar 4.9 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 0%

Tabel 4.13 Nilai Poisson Ratio Kubus Batu Bata *Bottom ash* 0%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 9.5984 | 0.32 |
| 2 | 6.4304 | 0.34 |
| 3 | 10.4894 | 0.33 |
| 4 | 5.5193 | 0.17 |
| 5 | 11.2923 | 0.23 |



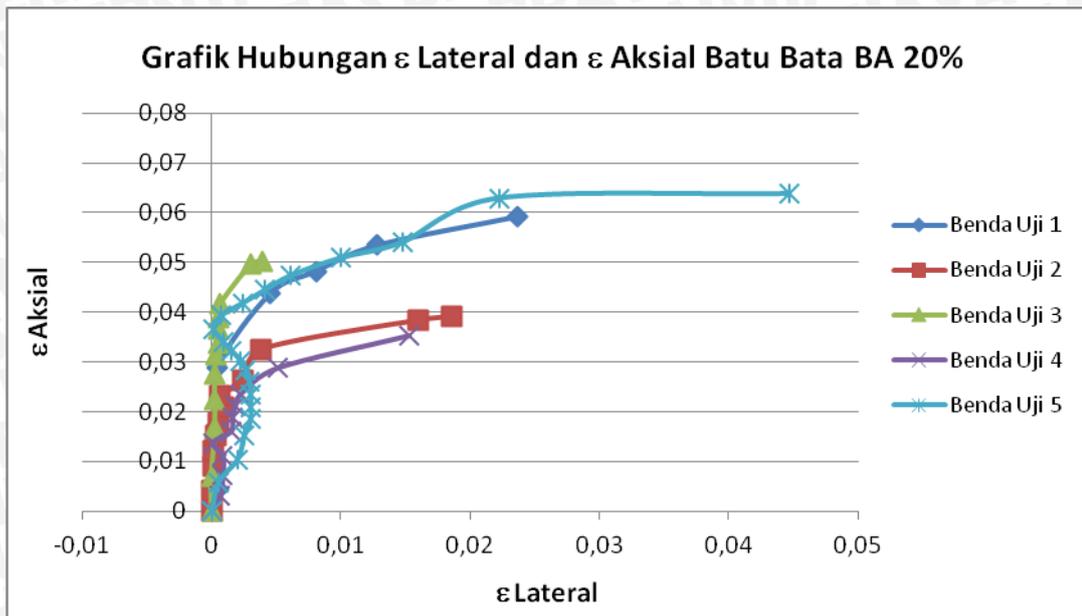
Gambar 4.10 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 10%



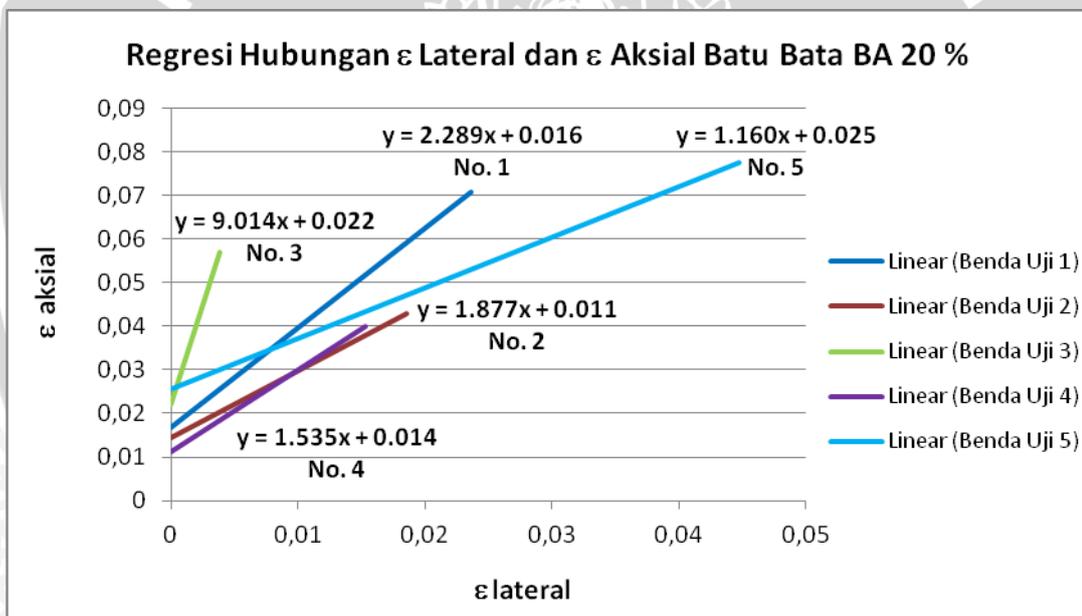
Gambar 4.11 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 10%

Tabel 4.14 Nilai Poisson Ratio Kubus Batu Bata *Bottom ash* 10%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 5.9352 | 0.07 |
| 2 | 6.2785 | 0.25 |
| 3 | 7.0928 | 0.15 |
| 4 | 5.9994 | 0.12 |
| 5 | 16.4608 | 0.04 |



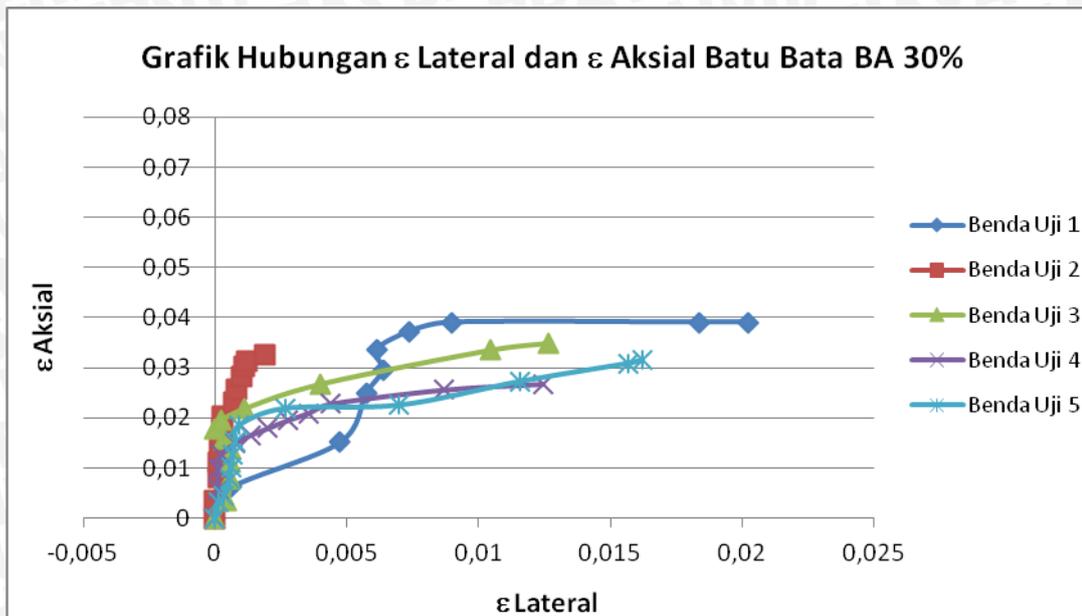
Gambar 4.12 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 20%



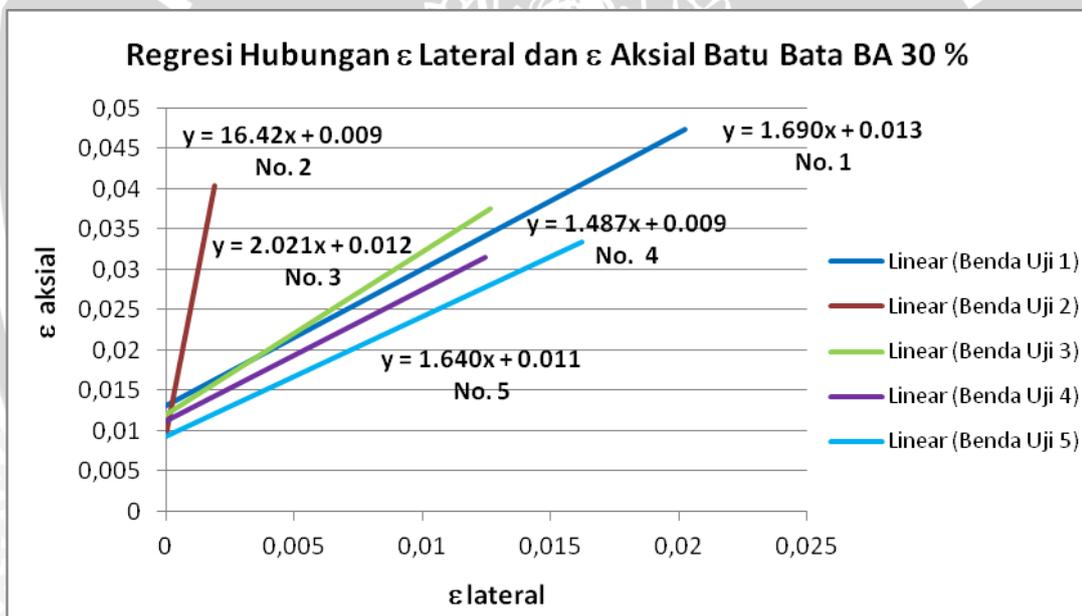
Gambar 4.13 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 20%

Tabel 4.15 Nilai Poisson Ratio Kubus Batu Bata *Bottom ash* 20%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 9.6693 | 0.13 |
| 2 | 11.0589 | 0.11 |
| 3 | 14.1958 | 0.02 |
| 4 | 9.9842 | 0.09 |
| 5 | 23.0845 | 0.14 |



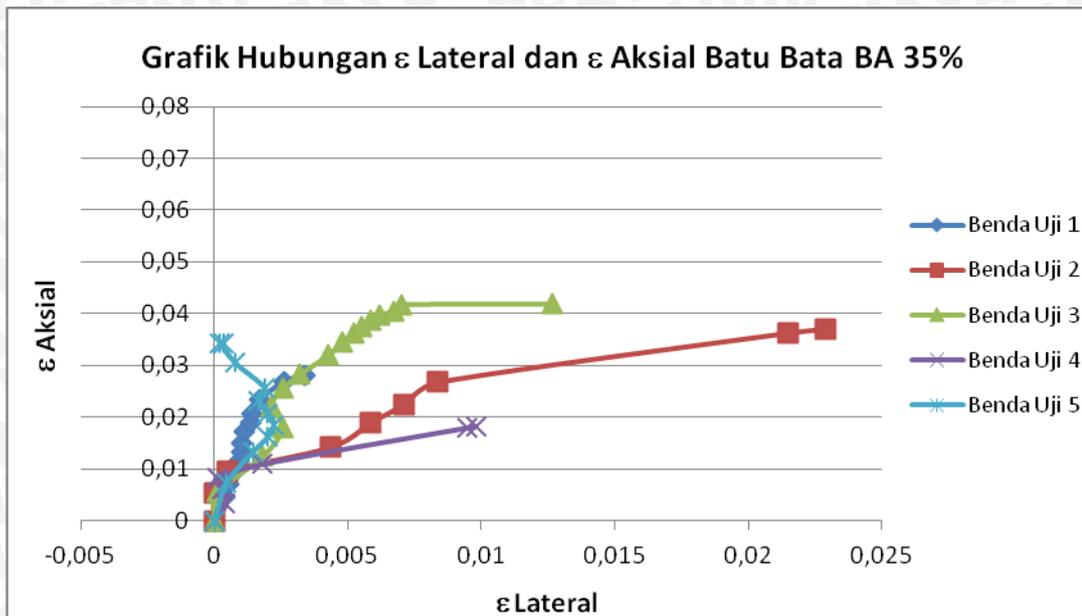
Gambar 4.14 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 30%



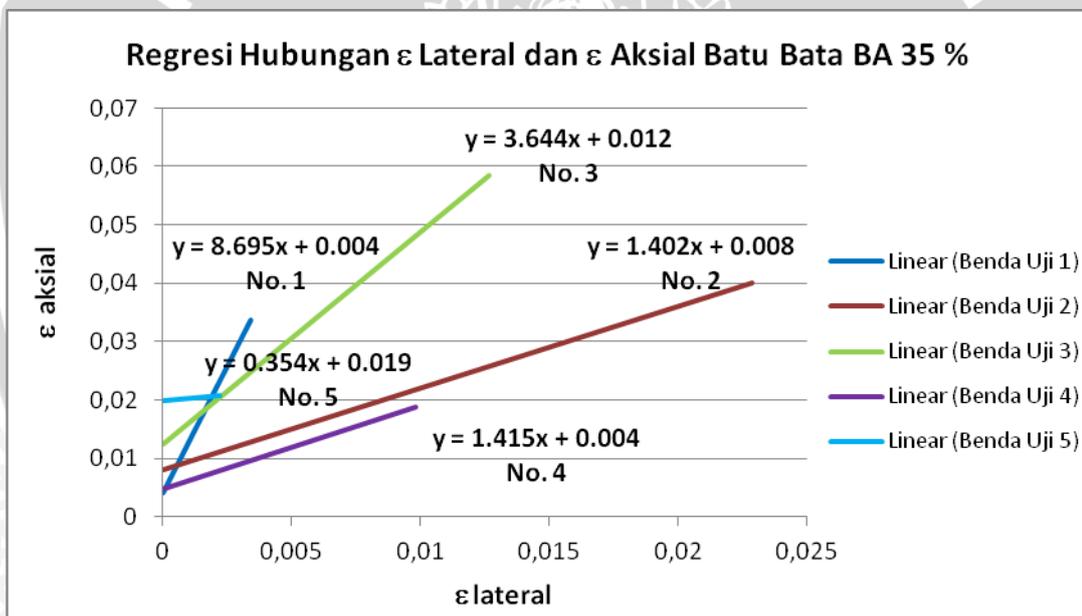
Gambar 4.15 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 30%

Tabel 4.16 Nilai Poisson Ratio Kubus Batu Bata *Bottom ash* 30%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 10.1488 | 0.25 |
| 2 | 13.7759 | 0.02 |
| 3 | 11.0001 | 0.09 |
| 4 | 9.9106 | 0.14 |
| 5 | 11.6492 | 0.21 |



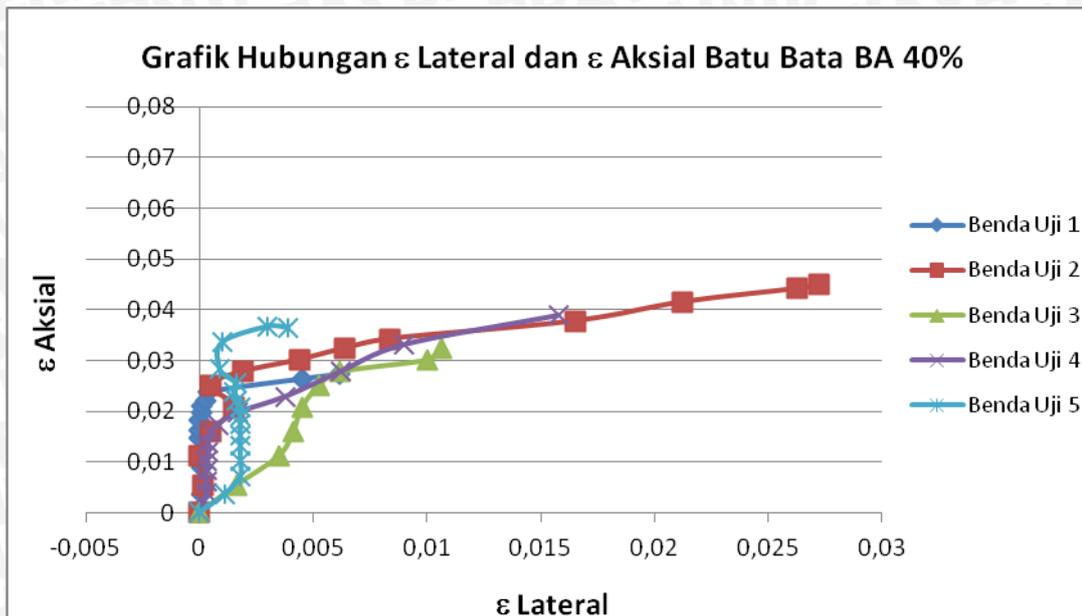
Gambar 4.16 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 35%



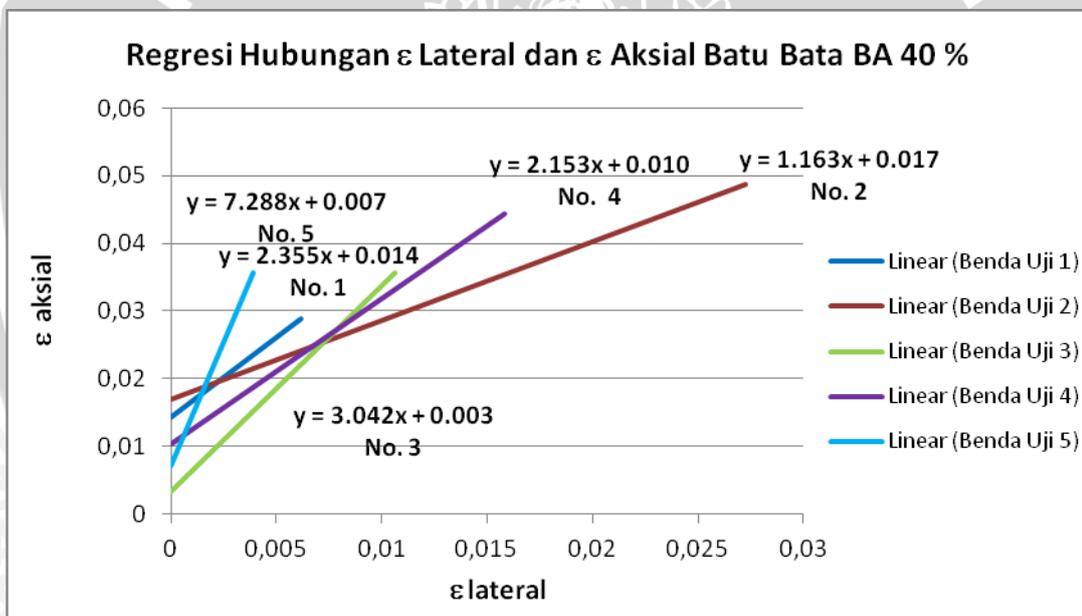
Gambar 4.17 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 35%

Tabel 4.17 Nilai Poisson Ratio Kubus Batu Bata *Bottom ash* 35%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm^2) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 12.4110 | 0.07 |
| 2 | 10.0885 | 0.30 |
| 3 | 16.5093 | 0.15 |
| 4 | 6.0226 | 0.22 |
| 5 | 9.7020 | 0.06 |



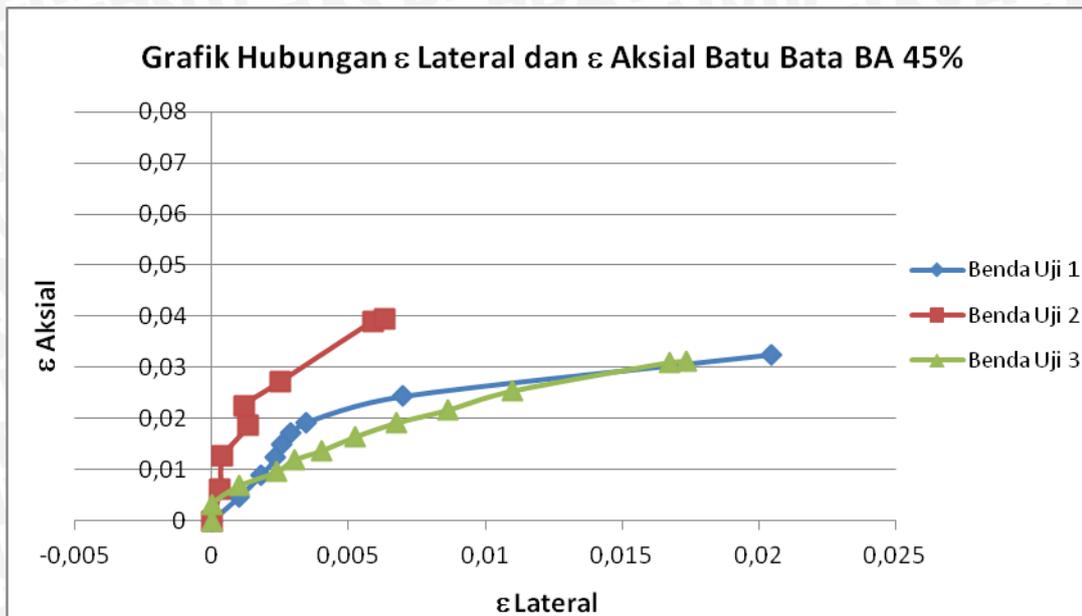
Gambar 4.18 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 40%



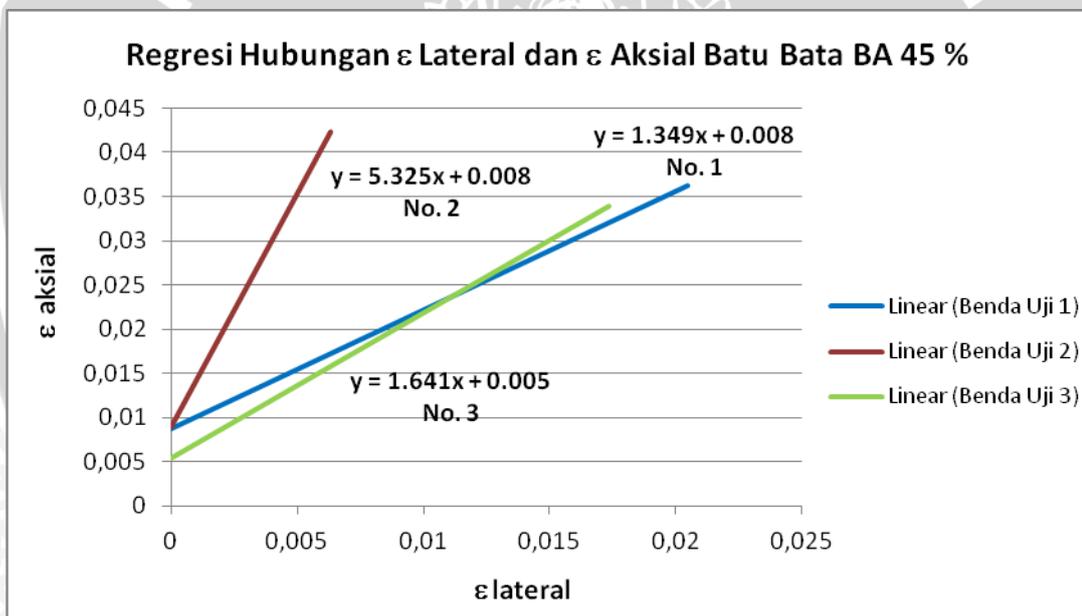
Gambar 4.19 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 40%

Tabel 4.18 Nilai Poisson Ratio Kubus Batu Bata *Bottom ash* 40%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 12.9949 | 0.04 |
| 2 | 16.3864 | 0.22 |
| 3 | 9.5409 | 0.24 |
| 4 | 11.4578 | 0.11 |
| 5 | 14.1838 | 0.08 |



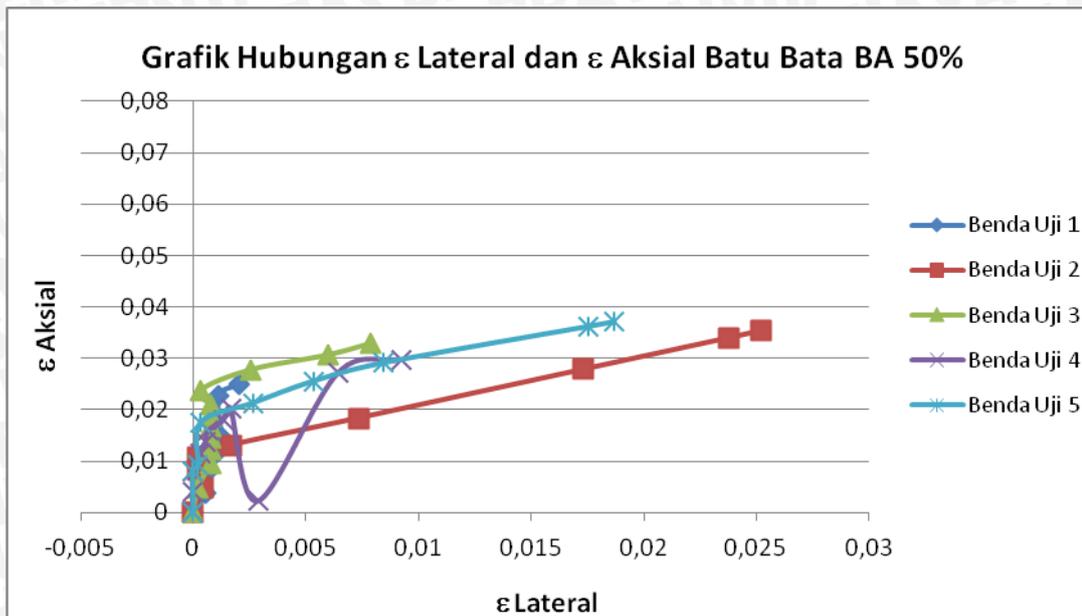
Gambar 4.20 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 45%



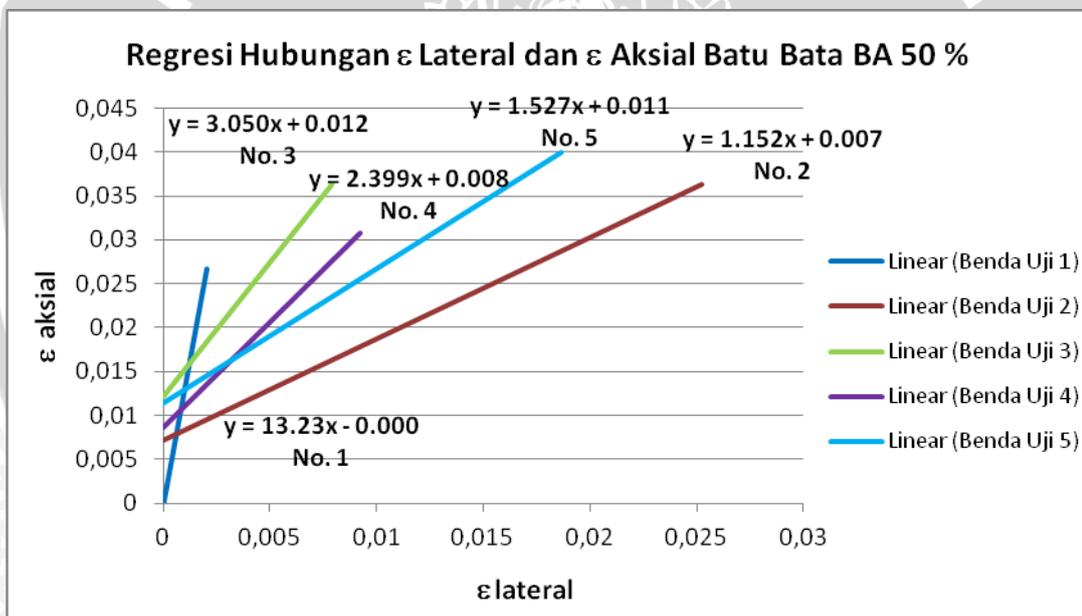
Gambar 4.21 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 45%

Tabel 4.19 Nilai Poisson Ratio Kubus Batu Bata *Bottom ash* 45%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 3 | 8.1155 | 0.24 |
| 4 | 5.8776 | 0.08 |
| 5 | 12.4074 | 0.32 |



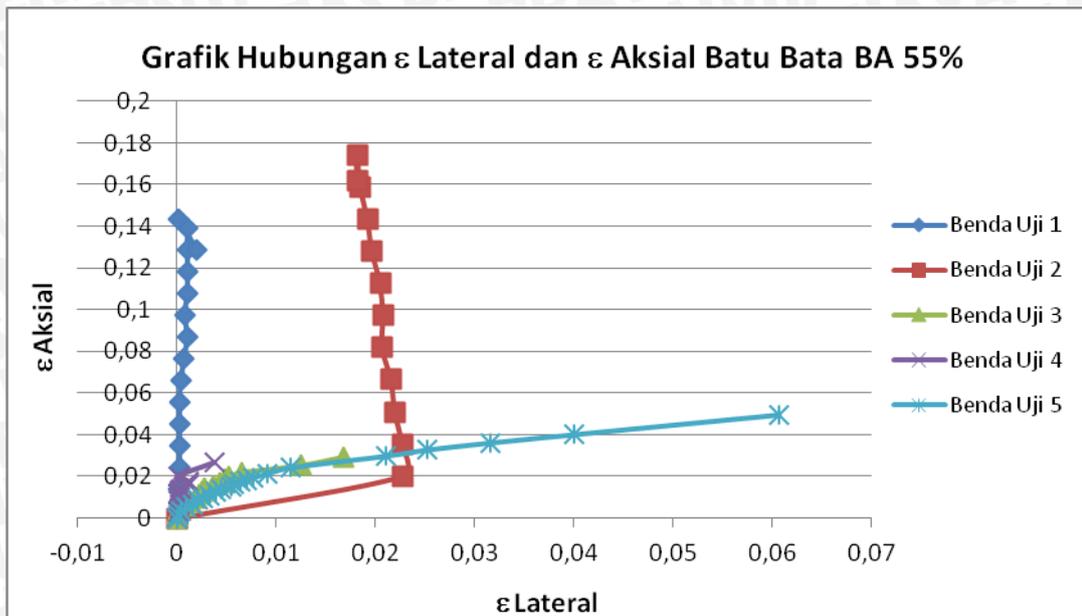
Gambar 4.22 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 50%



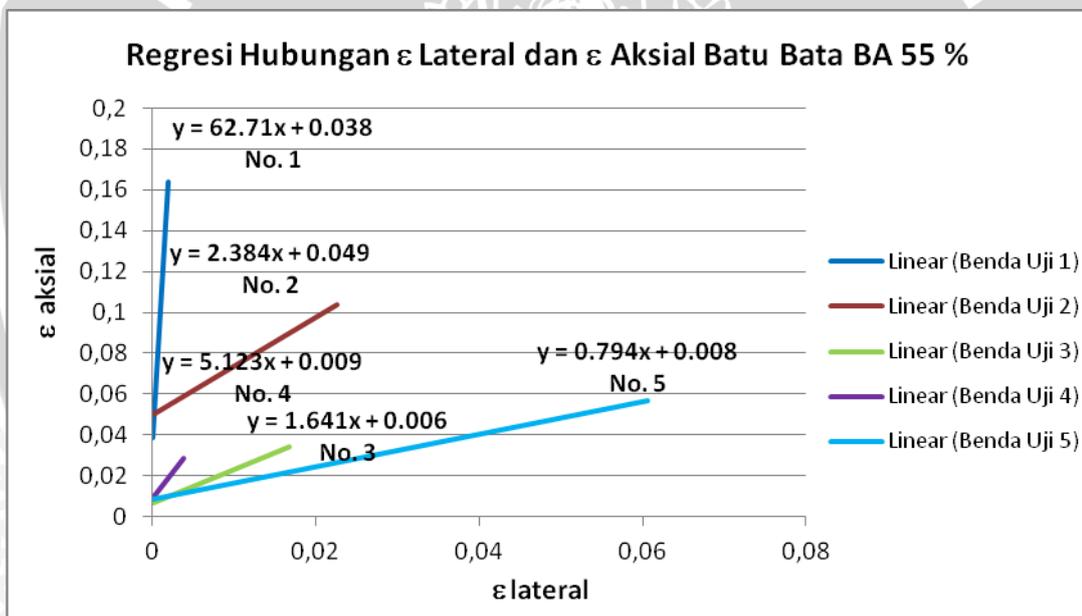
Gambar 4.23 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 50%

Tabel 4.20 Nilai Poisson Ratio Kubus Batu Bata *Bottom ash* 50%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 5.6221 | 0.07 |
| 2 | 6.8894 | 0.31 |
| 3 | 10.7837 | 0.08 |
| 4 | 8.7318 | 0.10 |
| 5 | 6.3952 | 0.20 |



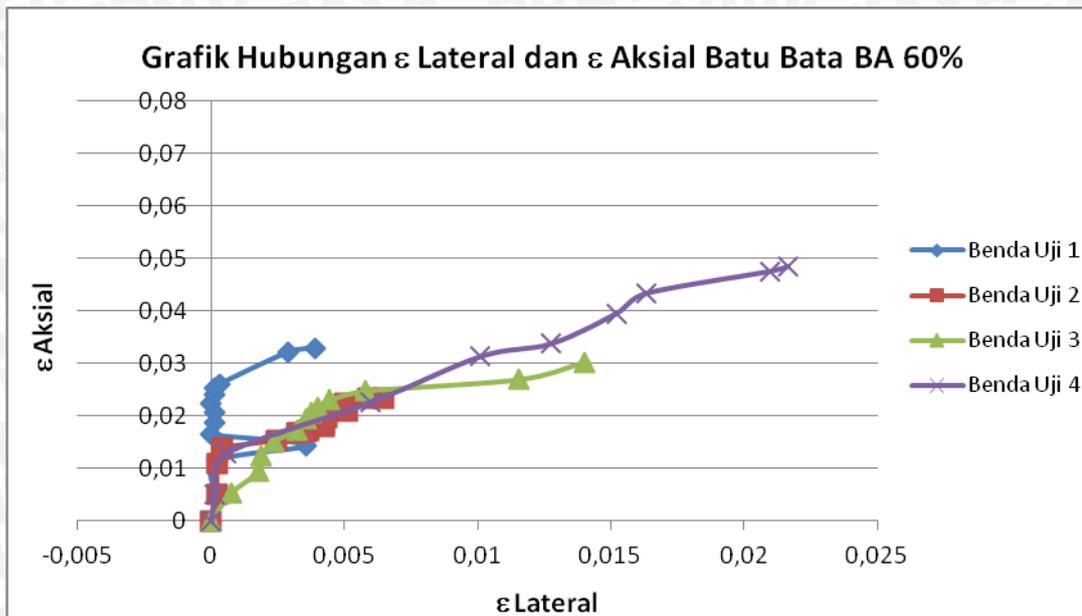
Gambar 4.24 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 55%



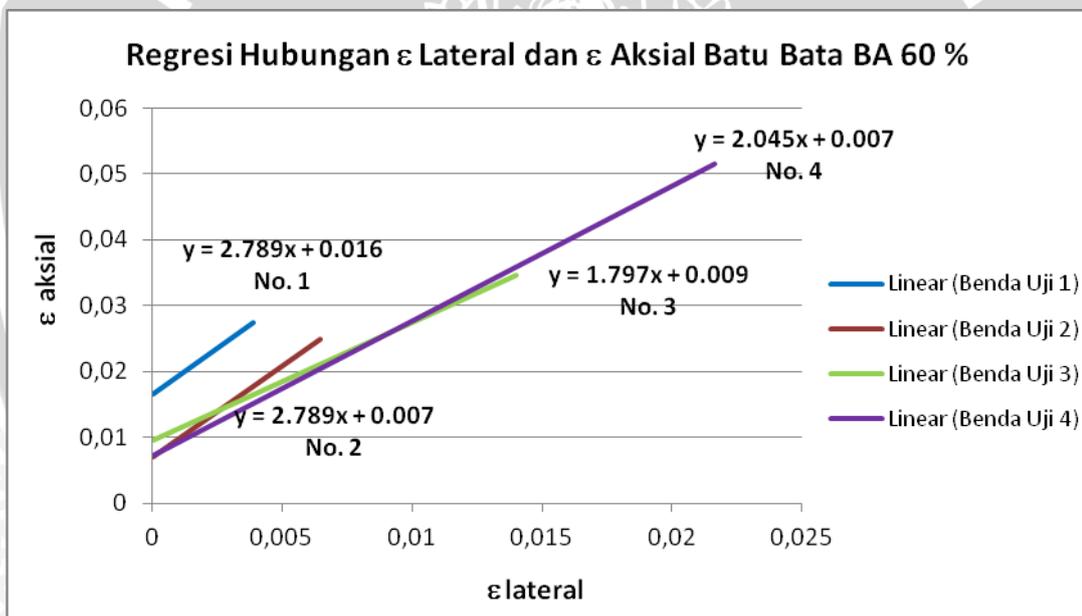
Gambar 4.25 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 55%

Tabel 4.21 Nilai Poisson Ratio Kubus Batu Bata *Bottom ash* 55%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 6.4479 | 0.01 |
| 2 | 6.9587 | 0.19 |
| 3 | 7.4976 | 0.23 |
| 4 | 8.1896 | 0.04 |
| 5 | 9.7281 | 0.45 |



Gambar 4.26 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 60%



Gambar 4.27 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 60%

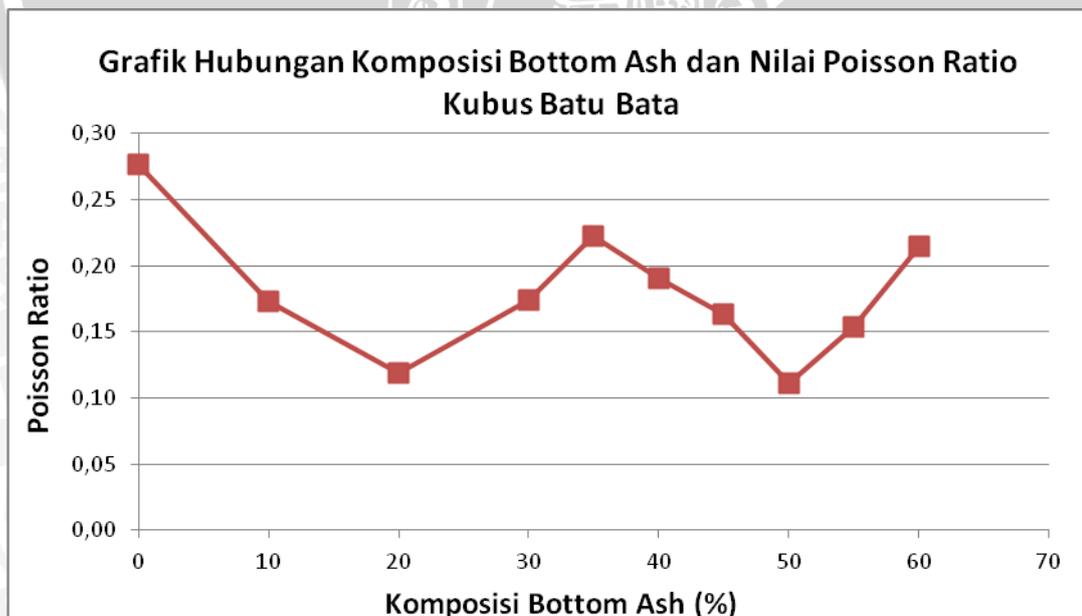
Tabel 4.22 Nilai Poisson Ratio Kubus Batu Bata *Bottom ash* 60%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 12.1910 | 0.04 |
| 2 | 14.7993 | 0.17 |
| 3 | 11.8655 | 0.21 |
| 4 | 8.4039 | 0.26 |

Dari nilai poisson ratio kubus batu bata masing-masing komposisi variasi *bottom ash* yang dihasilkan dari pengujian diambil nilai-nilai dengan jarak yang berdekatan yang tidak lebih dari 5% untuk mendapatkan nilai rata-rata poisson ratio batu-bata dari masing-masing komposisi variasi *bottom ash*. Tabel di bawah ini adalah tabel nilai poisson ratio rata-rata kubus batu-bata yang didapatkan.

Tabel 4.23 Nilai Poisson Ratio Rata-Rata Kubus Batu Bata

| Perbandingan | | Poisson Ratio |
|----------------|-----------------------|---------------|
| Tanah Liat (%) | <i>Bottom ash</i> (%) | |
| 100 | 0 | 0.28 |
| 90 | 10 | 0.17 |
| 80 | 20 | 0.12 |
| 70 | 30 | 0.17 |
| 65 | 35 | 0.22 |
| 60 | 40 | 0.19 |
| 55 | 45 | 0.16 |
| 50 | 50 | 0.11 |
| 45 | 55 | 0.15 |
| 40 | 60 | 0.21 |



Gambar 4.28 Grafik Hubungan Komposisi *Bottom ash* dan Nilai Poisson Ratio Kubus Batu Bata

4.2.2 Pengujian Setengah Batu Bata

Pada uji tekan bata ini ditentukan bahwa luasan bidang kontak bata minimal 90.3 cm² (ASTM C67-07). Sehingga pada pengujian ini menggunakan ± setengah ukuran bata. Alat yang digunakan untuk pengujian batu bata adalah alat uji tekan *enerpact*. Selain menghitung kuat tekan batu bata juga menghitung nilai deformasi aksial dan lateral dengan menggunakan *dial gauge* untuk mendapatkan nilai poisson rasio dari batu bata.

Tabel 4.24 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 0%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 1933 | 16.5587 |
| 2 | 1406 | 11.9788 |
| 3 | 1230 | 10.3969 |
| 4 | 1698 | 15.2474 |
| 5 | 1523 | 13.0726 |

Tabel 4.25 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 10%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 2226 | 18.5518 |
| 2 | 1581 | 13.8174 |
| 3 | 1757 | 14.6608 |
| 4 | 1816 | 15.9910 |
| 5 | 1698 | 14.6916 |

Tabel 4.26 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 20%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 1347 | 11.0595 |
| 2 | 1464 | 12.0109 |
| 3 | 1757 | 15.7686 |
| 4 | 1406 | 12.2898 |
| 5 | 1698 | 14.6866 |

Tabel 4.27 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 30%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 1874 | 15.1999 |
| 2 | 1933 | 15.6712 |
| 3 | 1874 | 15.1950 |
| 4 | 1991 | 15.8567 |
| 5 | 2226 | 18.6834 |

Tabel 4.28 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 35%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 2050 | 16.6219 |
| 2 | 1698 | 13.5418 |
| 3 | 1171 | 9.7225 |
| 4 | 1523 | 12.7053 |
| 5 | 1230 | 10.1016 |

Tabel 4.29 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 40%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 1698 | 13.9046 |
| 2 | 1347 | 11.5668 |
| 3 | 1347 | 11.5668 |
| 4 | 1523 | 12.1529 |
| 5 | 1230 | 10.6706 |

Tabel 4.30 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 45%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 1640 | 13.0727 |
| 2 | 1581 | 12.9538 |
| 3 | 1640 | 12.8453 |
| 4 | 1581 | 12.7225 |
| 5 | 1698 | 13.6563 |

Tabel 4.31 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 50%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 1113 | 8.9874 |
| 2 | 1230 | 9.9212 |
| 3 | 1230 | 9.7464 |
| 4 | 1581 | 11.9741 |
| 5 | 1406 | 10.3748 |

Tabel 4.32 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 55%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 1523 | 11.9359 |
| 2 | 1406 | 11.2270 |
| 3 | 1347 | 10.7640 |
| 4 | 1347 | 10.8558 |
| 5 | 1406 | 11.3218 |

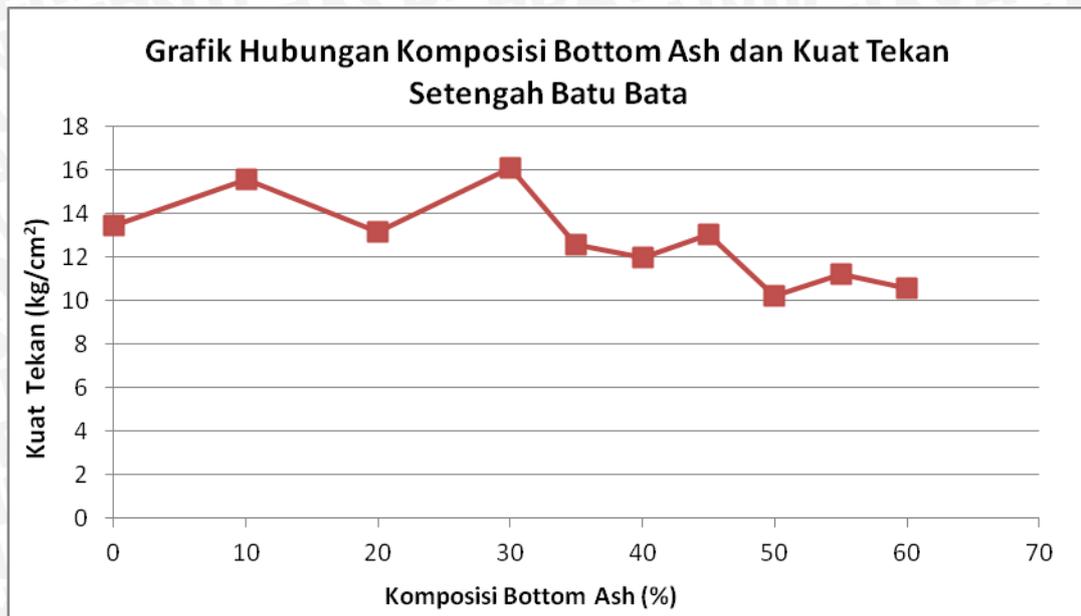
Tabel 4.33 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 60%

| Benda Uji No. | P Maksimum (kg) | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------|---|
| 1 | 1288 | 10.1171 |
| 2 | 1230 | 9.4132 |
| 3 | 1523 | 11.7319 |
| 4 | 1406 | 11.0265 |

Dari nilai kuat tekan setengah batu bata masing-masing komposisi variasi *bottom ash* yang dihasilkan dari pengujian diambil nilai-nilai dengan jarak yang berdekatan yang tidak lebih dari 5% untuk mendapatkan nilai rata-rata kuat tekan setengah batu-bata dari masing-masing komposisi variasi *bottom ash*. Tabel di bawah ini adalah tabel nilai kuat tekan rata-rata setengah batu-bata yang didapatkan.

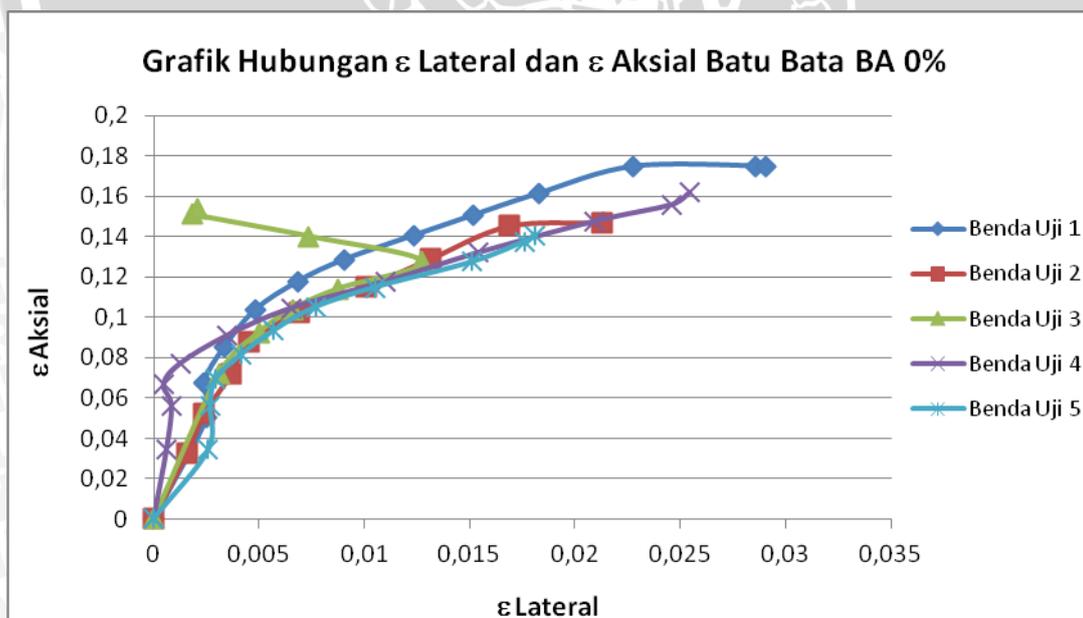
Tabel 4.34 Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Setengah Batu Bata

| Perbandingan | | Kuat Tekan Rata-rata (kg/cm ²) |
|----------------|-----------------------|---|
| Tanah Liat (%) | <i>Bottom ash</i> (%) | |
| 100 | 0 | 13.4509 |
| 90 | 10 | 15.5425 |
| 80 | 20 | 13.1631 |
| 70 | 30 | 16.1212 |
| 65 | 35 | 12.5386 |
| 60 | 40 | 11.9723 |
| 55 | 45 | 13.0501 |
| 50 | 50 | 10.2008 |
| 45 | 55 | 11.2209 |
| 40 | 60 | 10.5721 |

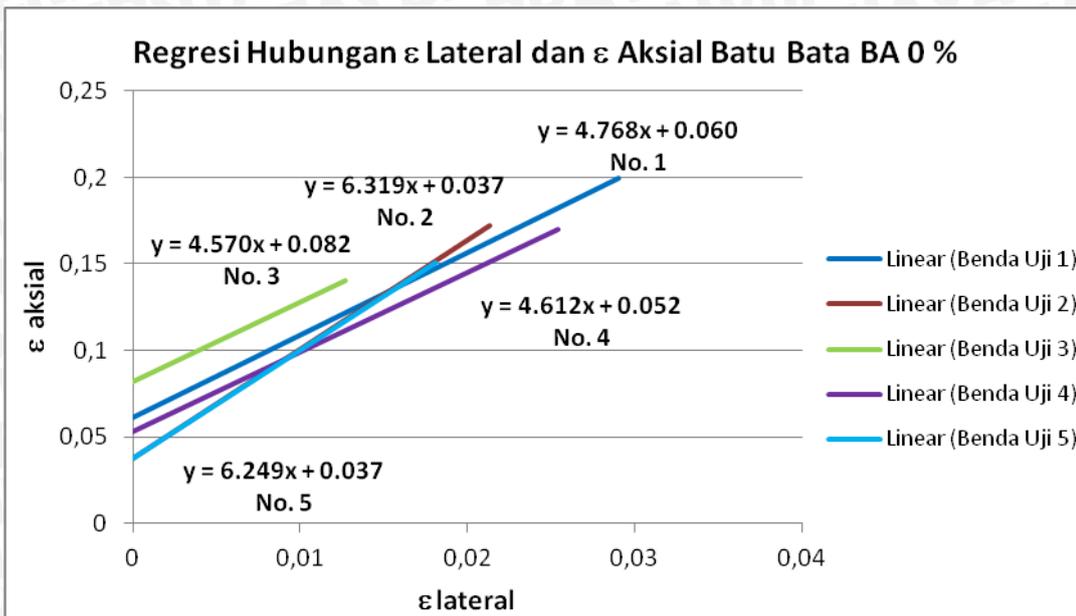


Gambar 4.29 Grafik Hubungan Komposisi *Bottom ash* dan Kuat Tekan Setengah Batu Bata

Seperti pada pengujian kubus bata pada pengujian bata ASTM ini juga didapat nilai regangan aksial maupun lateral yang digunakan untuk menghitung nilai poisson rasio batu bata.



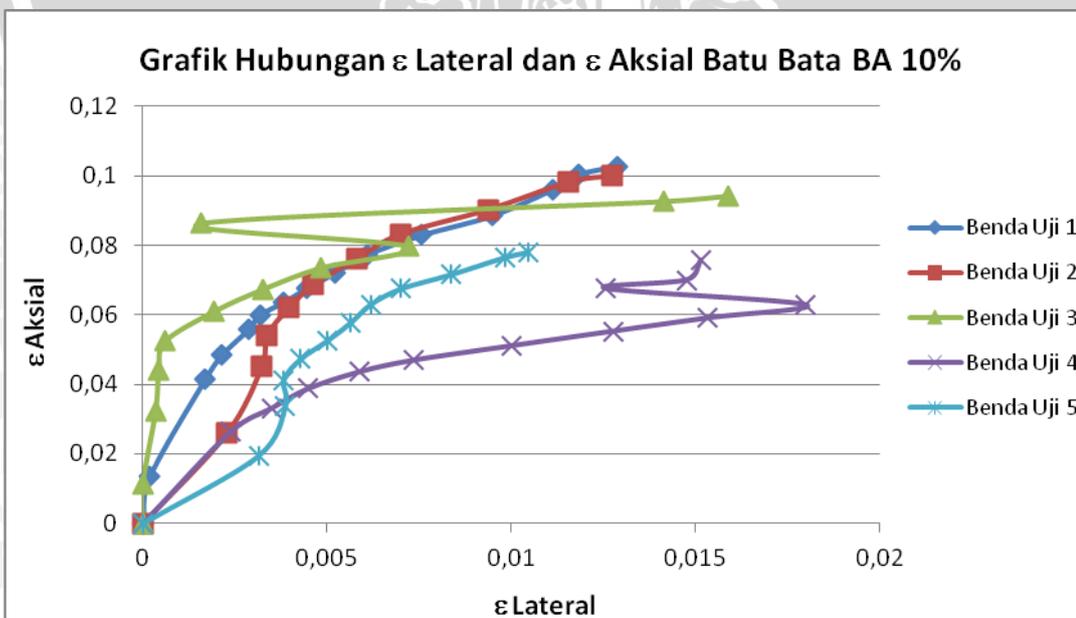
Gambar 4.30 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 0%



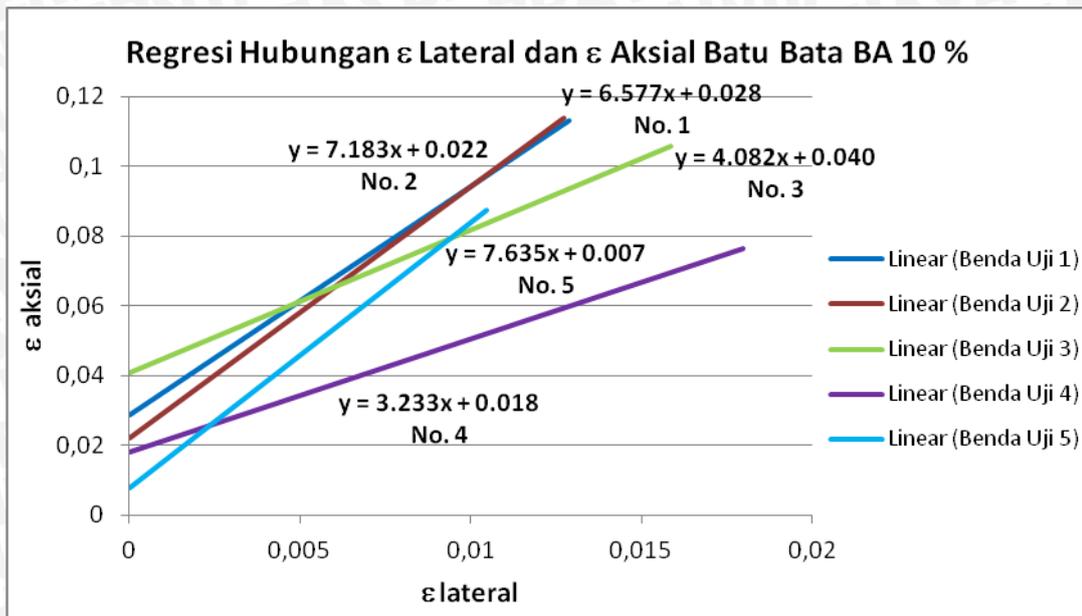
Gambar 4.31 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 0%

Tabel 4.35 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 0%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 16.5587 | 0.08 |
| 2 | 11.9788 | 0.07 |
| 3 | 10.3969 | 0.05 |
| 4 | 15.2474 | 0.07 |
| 5 | 13.0726 | 0.08 |



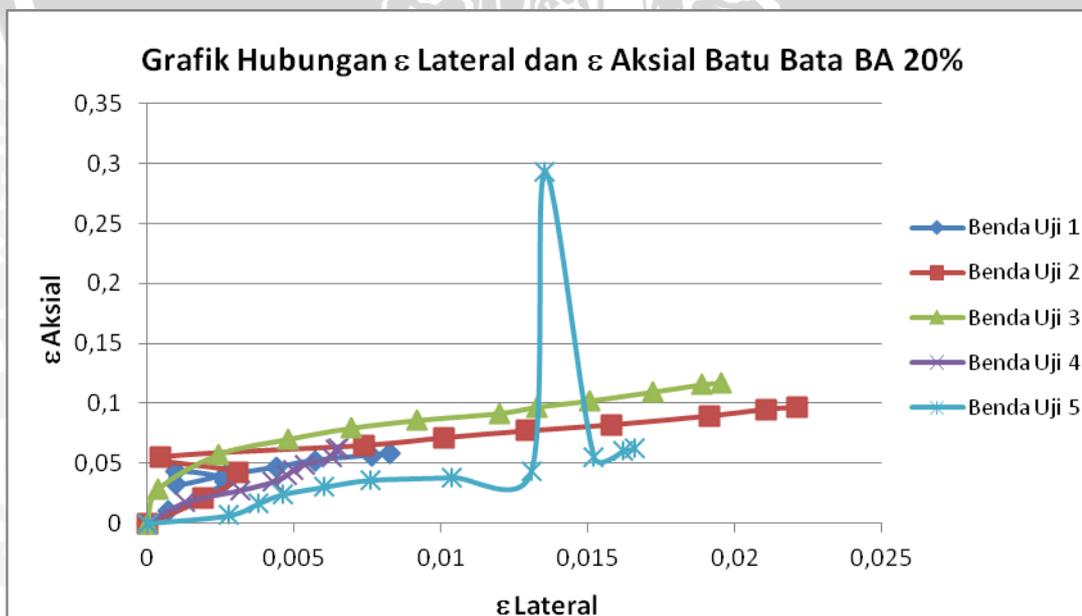
Gambar 4.32 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 10%



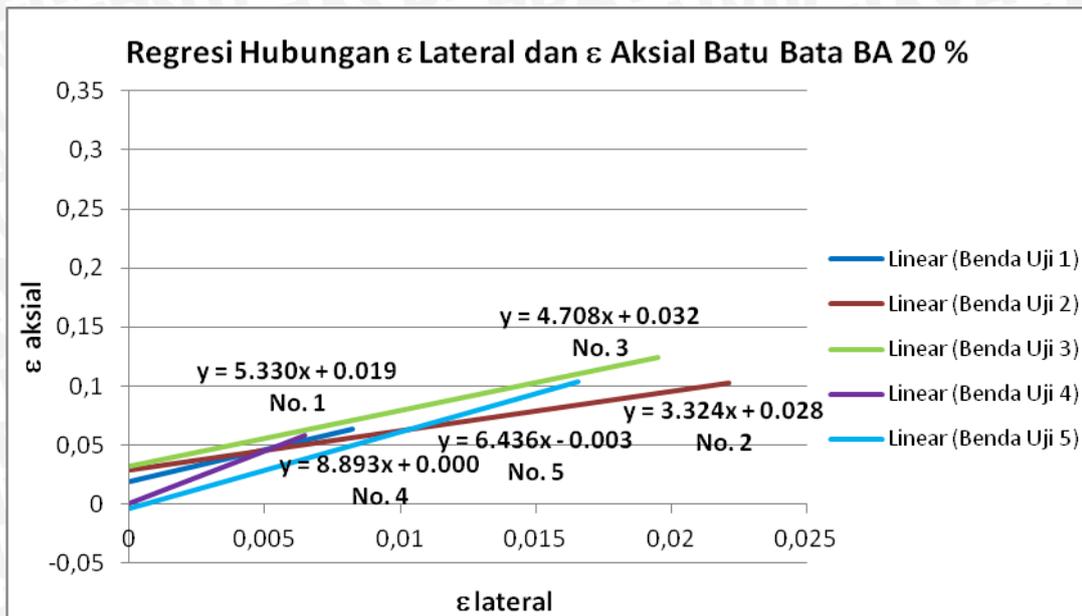
Gambar 4.33 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 10%

Tabel 4.36 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 10%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm^2) | Poisson Ratio |
|---------------|--|---------------|
| 1 | 18.5518 | 0.07 |
| 2 | 13.8174 | 0.08 |
| 3 | 14.6608 | 0.05 |
| 4 | 15.9910 | 0.17 |
| 5 | 14.6916 | 0.10 |



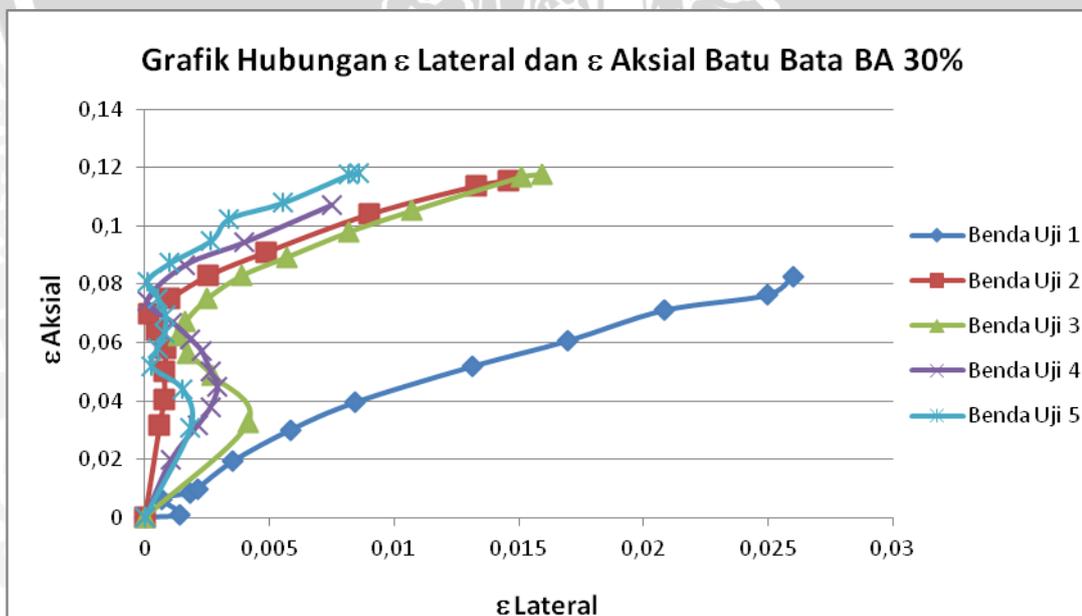
Gambar 4.34 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 20%



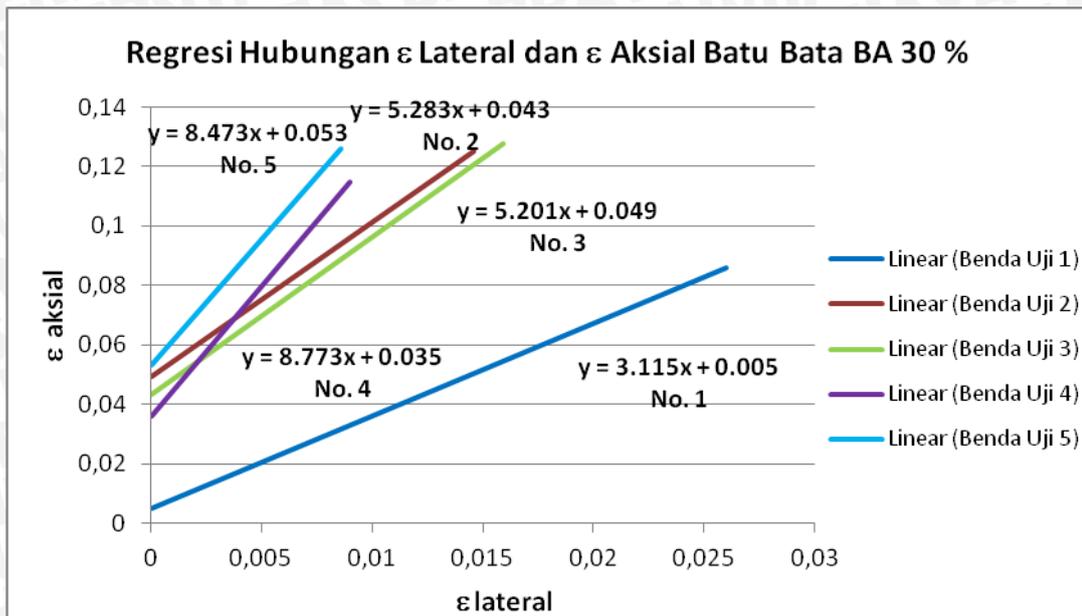
Gambar 4.35 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 20%

Tabel 4.37 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 20%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 11.0595 | 0.07 |
| 2 | 12.0109 | 0.13 |
| 3 | 15.7686 | 0.11 |
| 4 | 12.2898 | 0.10 |
| 5 | 14.6866 | 0.15 |



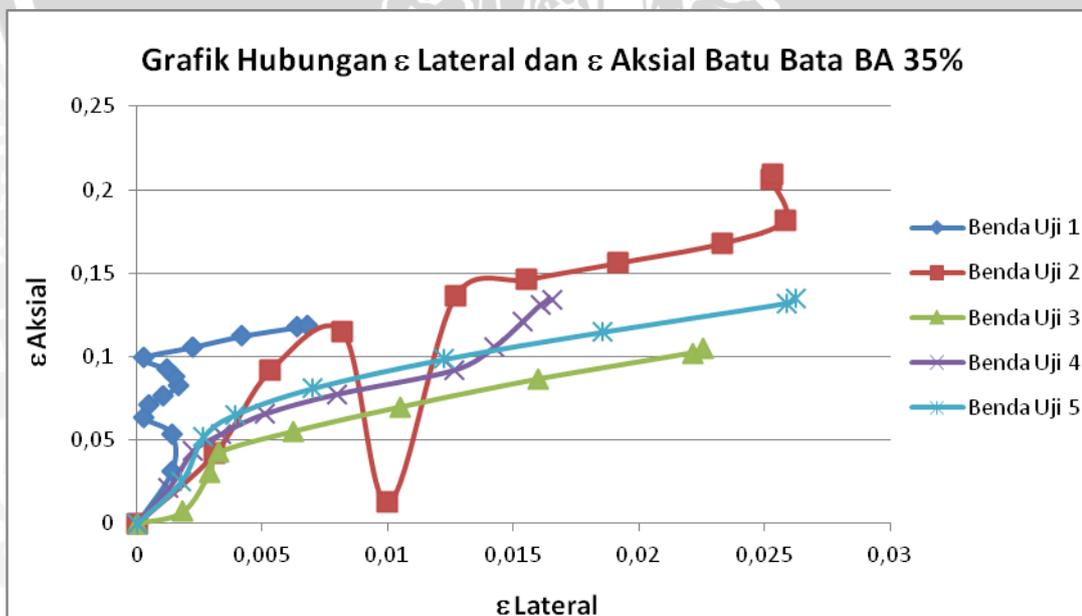
Gambar 4.36 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 30%



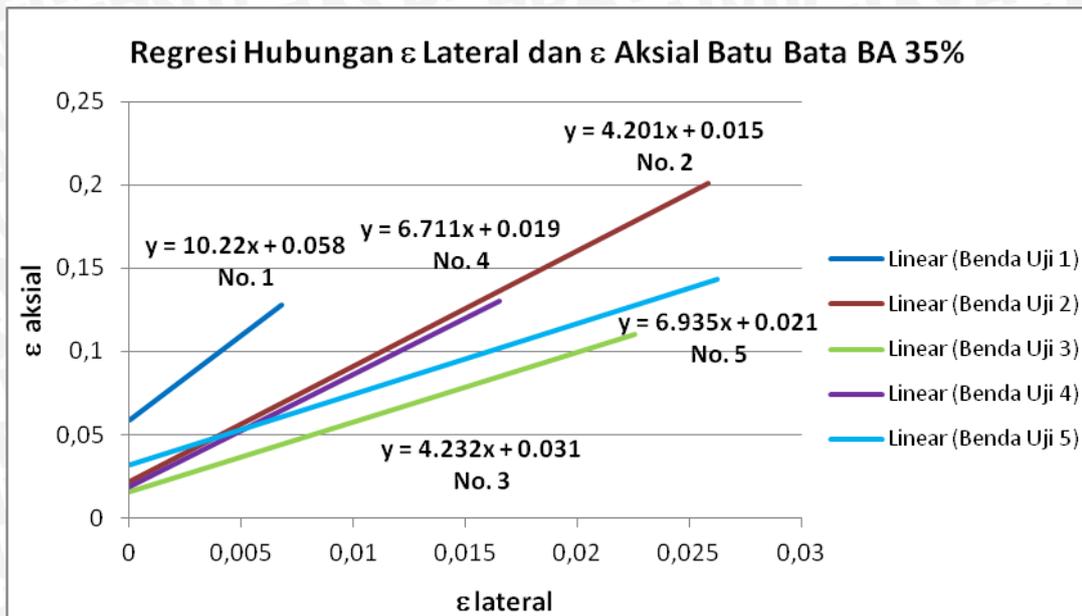
Gambar 4.37 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 30%

Tabel 4.38 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 30%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm^2) | Poisson Ratio |
|---------------|--|---------------|
| 1 | 15.1999 | 0.22 |
| 2 | 15.6712 | 0.04 |
| 3 | 15.1950 | 0.06 |
| 4 | 15.8567 | 0.04 |
| 5 | 18.6834 | 0.03 |



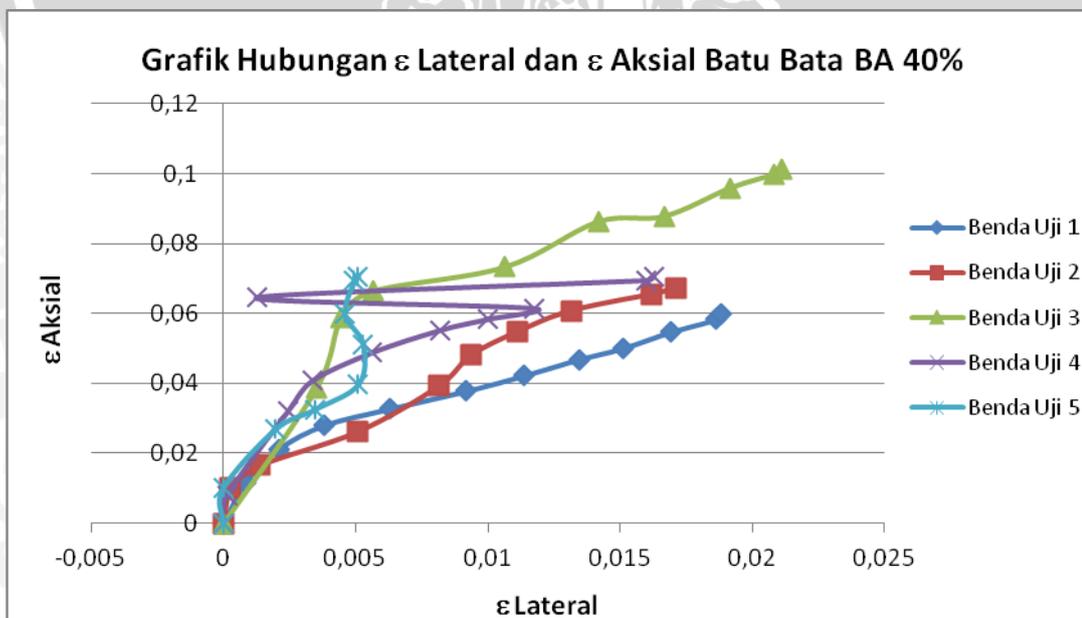
Gambar 4.38 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 35%



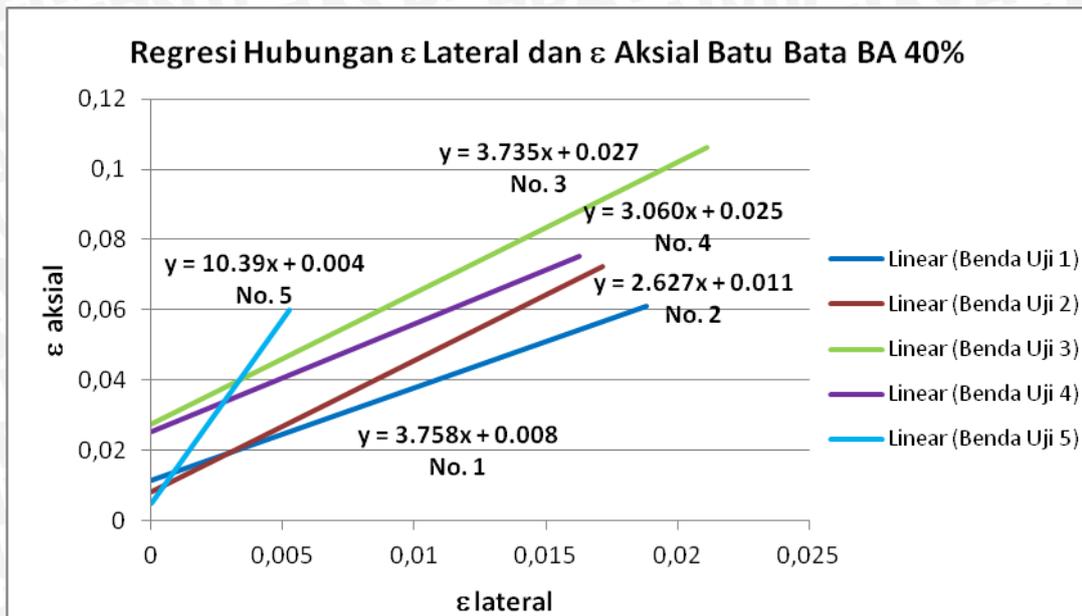
Gambar 4.39 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 35%

Tabel 4.39 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 35%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm^2) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 16.6219 | 0.02 |
| 2 | 13.5418 | 0.10 |
| 3 | 9.7225 | 0.14 |
| 4 | 12.7053 | 0.09 |
| 5 | 10.1016 | 0.11 |



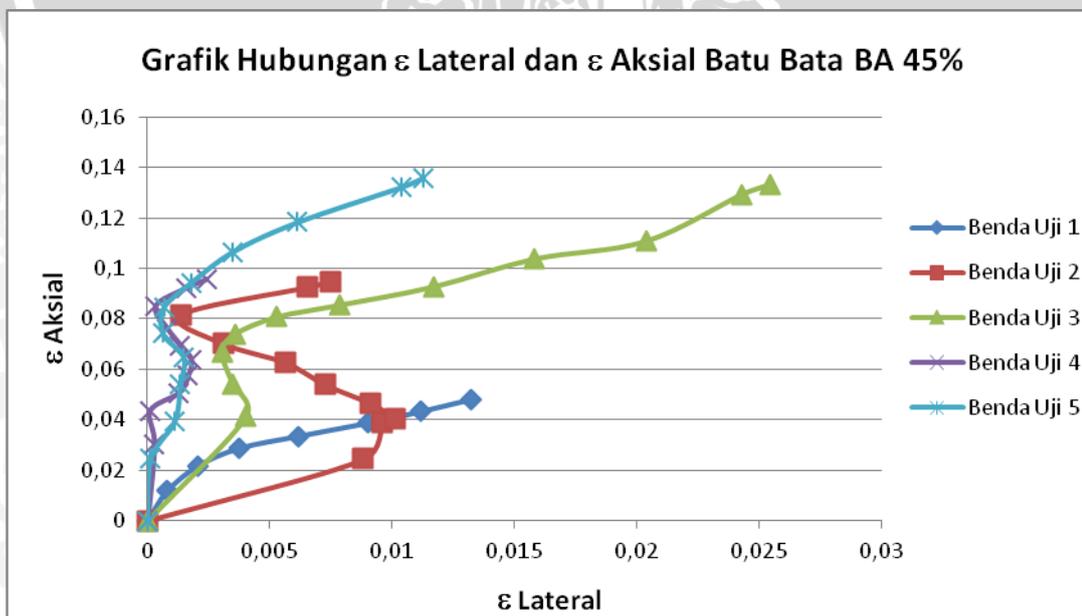
Gambar 4.40 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 40%



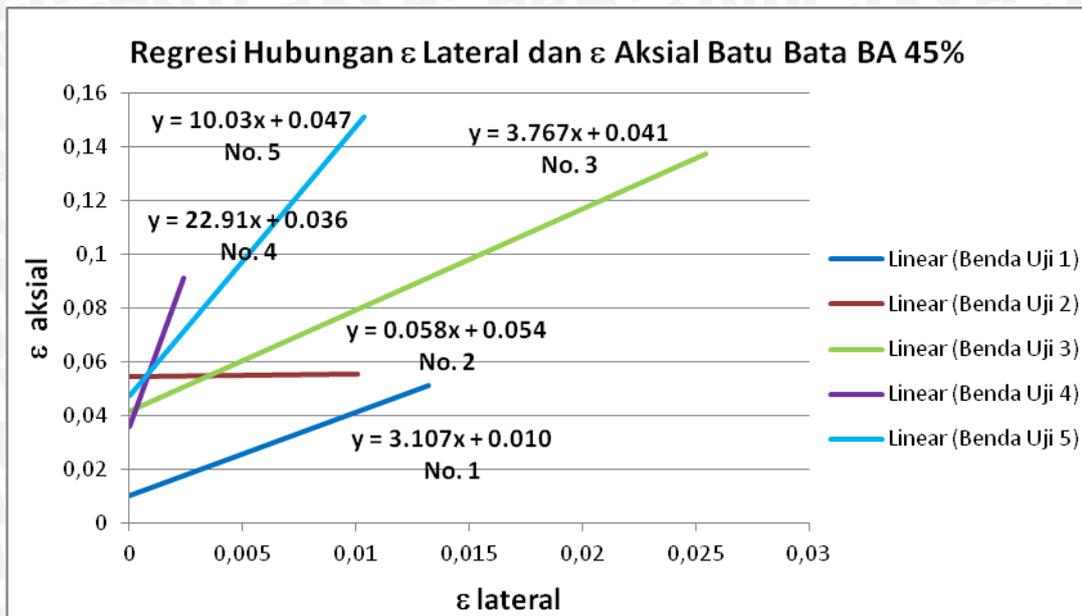
Gambar 4.41 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 40%

Tabel 4.40 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 40%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm^2) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 13.9046 | 0.22 |
| 2 | 11.5668 | 0.17 |
| 3 | 11.5668 | 0.14 |
| 4 | 12.1529 | 0.12 |
| 5 | 10.6706 | 0.07 |



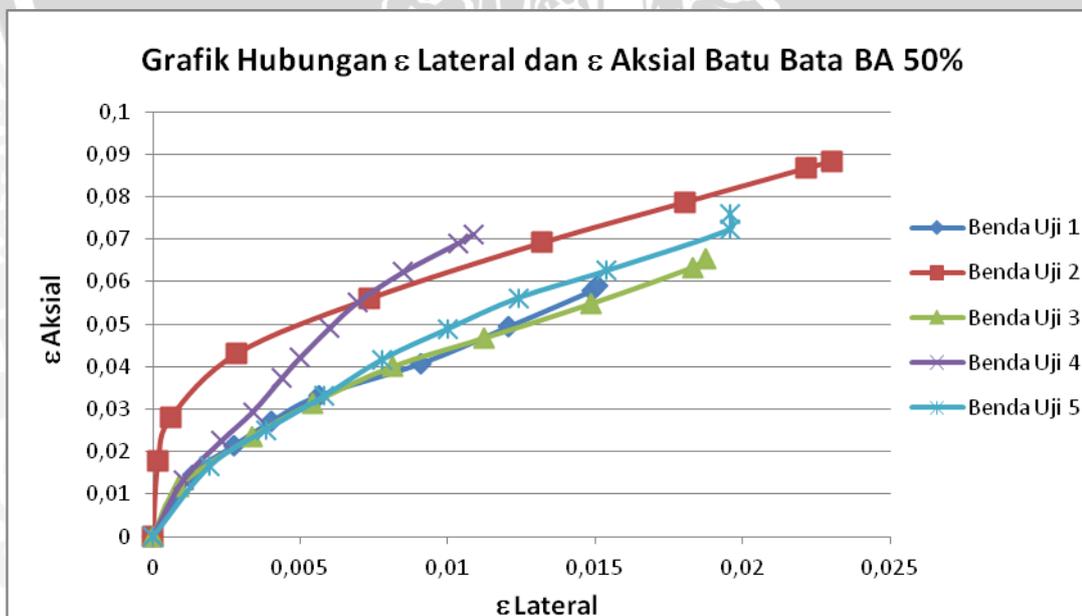
Gambar 4.42 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 45%



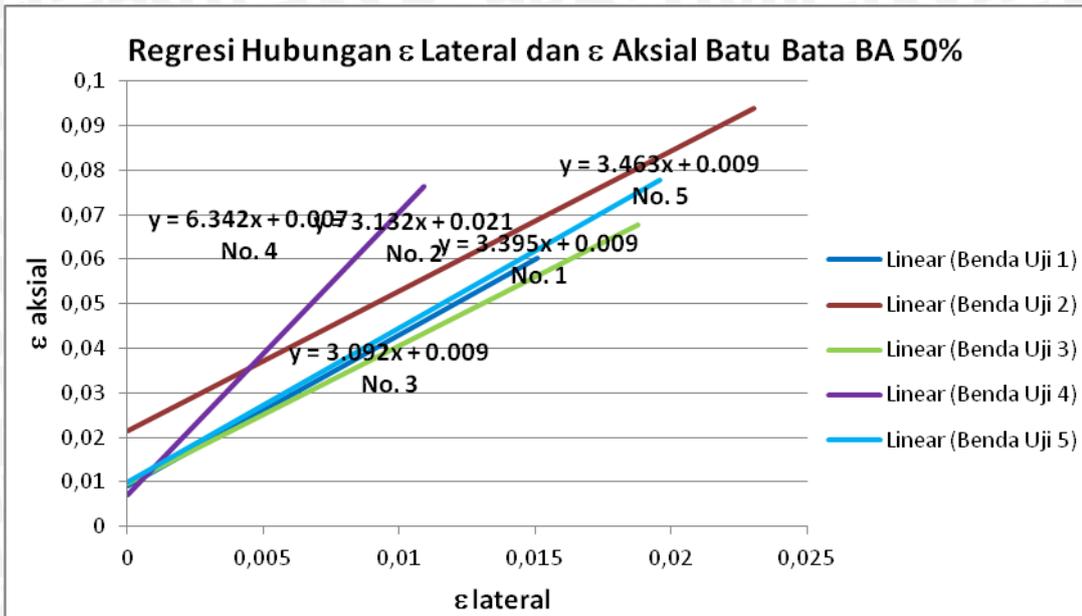
Gambar 4.43 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 45%

Tabel 4.41 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 45%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 13.0727 | 0.17 |
| 2 | 12.9538 | 0.12 |
| 3 | 12.8453 | 0.11 |
| 4 | 12.7225 | 0.01 |
| 5 | 13.6563 | 0.03 |



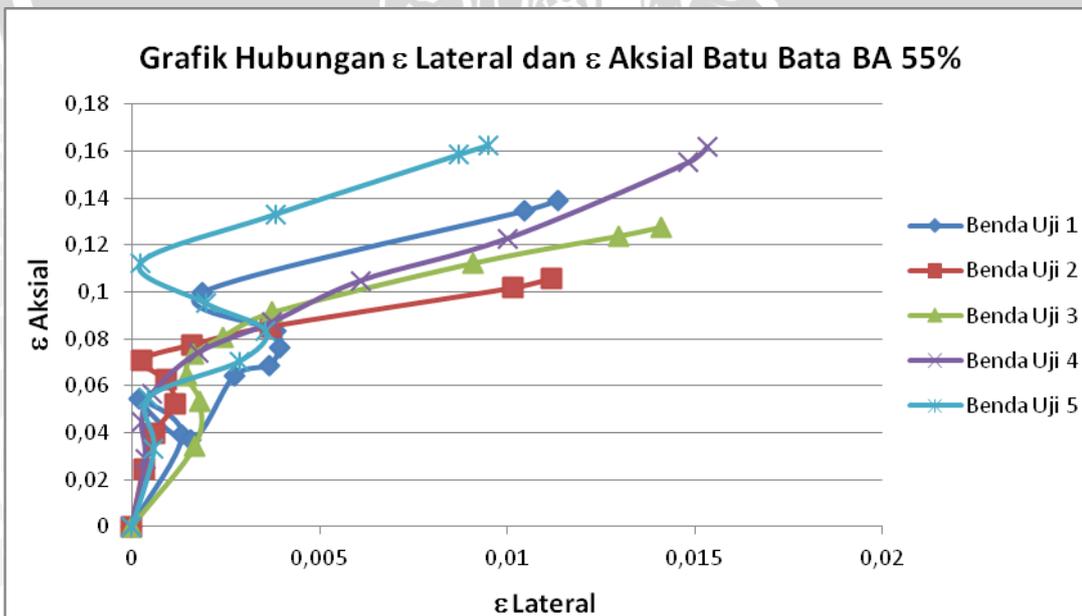
Gambar 4.44 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 50%



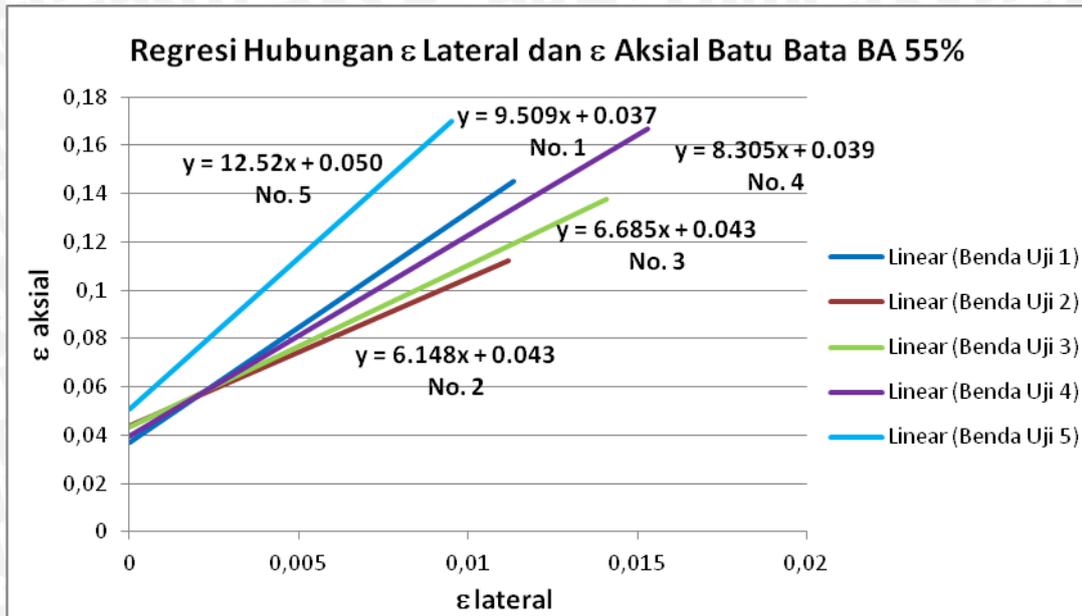
Gambar 4.45 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 50%

Tabel 4.42 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 50%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm ²) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 8.9874 | 0.18 |
| 2 | 9.9212 | 0.14 |
| 3 | 9.7464 | 0.20 |
| 4 | 11.9741 | 0.11 |
| 5 | 10.3748 | 0.19 |



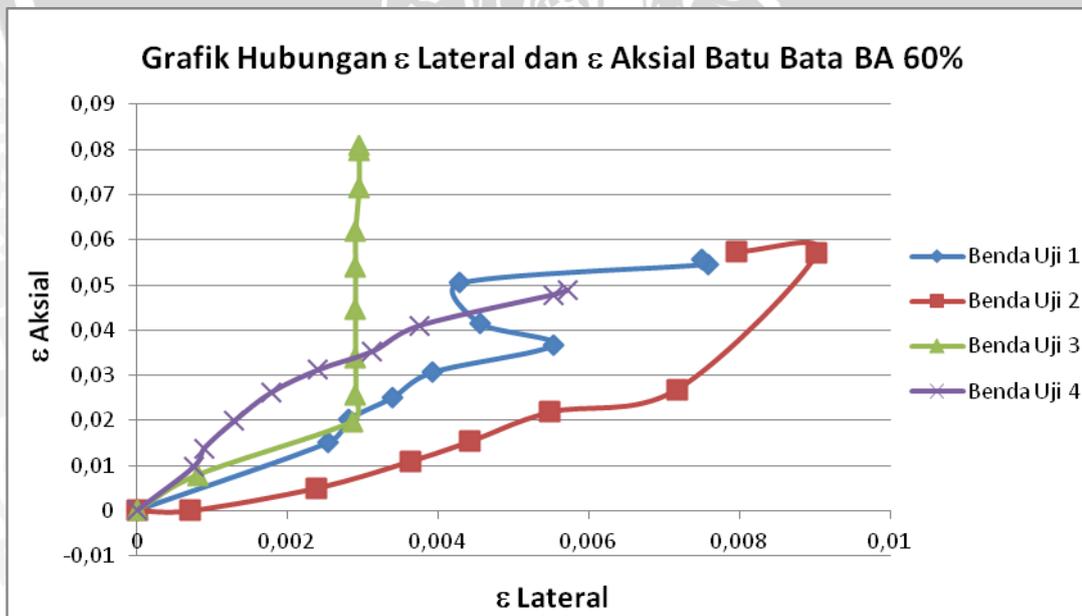
Gambar 4.46 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 55%



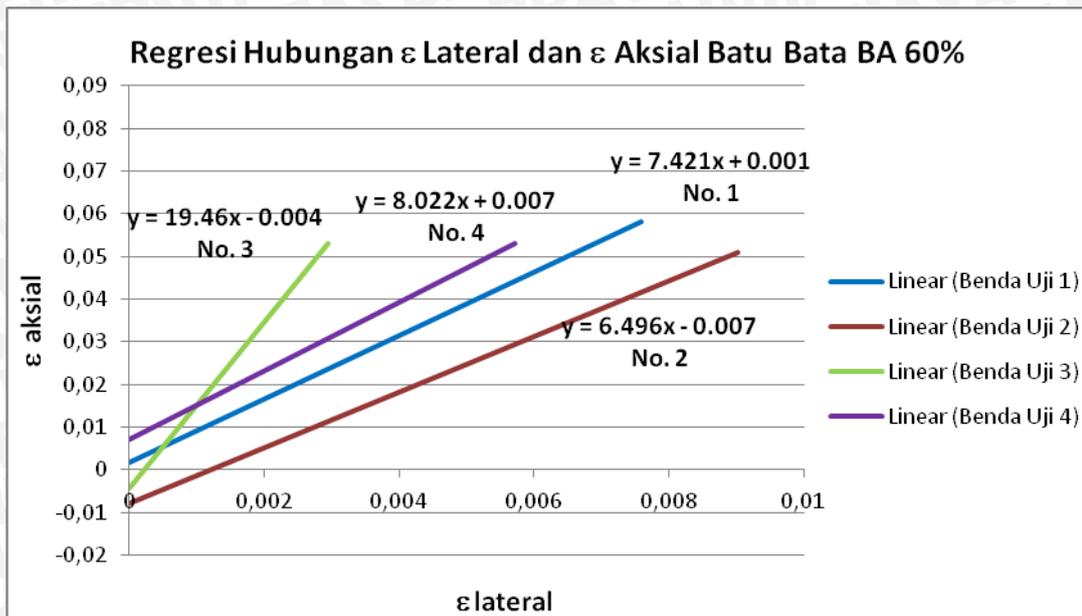
Gambar 4.47 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 55%

Tabel 4.43 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 55%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm^2) | Poisson Ratio |
|---------------|---|---------------|
| 1 | 11.9359 | 0.04 |
| 2 | 11.2270 | 0.03 |
| 3 | 10.7640 | 0.05 |
| 4 | 10.8558 | 0.04 |
| 5 | 11.3218 | 0.03 |



Gambar 4.48 Grafik Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 60%



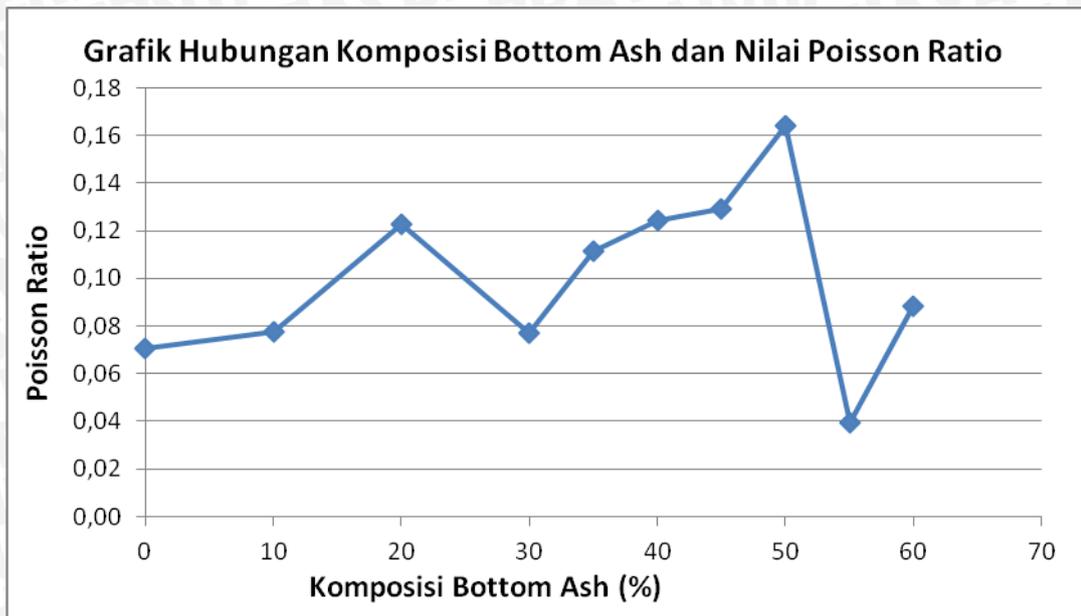
Gambar 4.49 Regresi Hubungan ϵ Lateral dan ϵ Aksial Batu Bata *Bottom ash* 60%

Tabel 4.44 Nilai Kuat Tekan Setengah Batu Bata *Bottom ash* 60%

| Benda Uji No. | Kuat Tekan Maksimum (kg/cm^2) | Poisson Ratio |
|---------------|--|---------------|
| 1 | 10.1171 | 0.12 |
| 2 | 9.4132 | 0.11 |
| 3 | 11.7319 | 0.05 |
| 4 | 11.0265 | 0.08 |

Tabel 4.45 Nilai Poisson Ratio Rata-Rata Setengah Batu Bata

| Perbandingan | | Poisson Ratio |
|----------------|-----------------------|---------------|
| Tanah Liat (%) | <i>Bottom ash</i> (%) | |
| 100 | 0 | 0.07 |
| 90 | 10 | 0.08 |
| 80 | 20 | 0.12 |
| 70 | 30 | 0.08 |
| 65 | 35 | 0.11 |
| 60 | 40 | 0.12 |
| 55 | 45 | 0.13 |
| 50 | 50 | 0.16 |
| 45 | 55 | 0.04 |
| 40 | 60 | 0.09 |



Gambar 4.50 Grafik Hubungan Komposisi *Bottom ash* dan Nilai Poisson Ratio

4.3 Analisis Data

4.3.1 Pengujian Kubus Batu Bata

4.3.1.1 Kuat Tekan Batu Bata

4.3.1.1.1 Analisis Varian Satu Arah (ANOVA)

Dari data percobaan 10 jenis komposisi *bottom ash* serta 5 perlakuan tiap-tiap komposisinya, diperoleh nilai kuat tekan batu bata. Dan untuk memastikan kembali tentang adanya pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap kuat tekan batu bata, maka diperlakukan analisis statistik data. Metode yang digunakan dalam menguji hipotesis yang telah dibuat adalah analisis varian satu arah (one way anova).

Berikut analisis pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap kuat tekan setengah batu bata dengan analisis varian satu arah.

a. Menguji Hipotesis

- A1 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 0%
- A2 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 10%
- A3 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 20%
- A4 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 30%
- A5 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 35%
- A6 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 40%
- A7 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 45%
- A8 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 50%

A9 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 55%

A10 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 60%

Ha = Ada pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap kuat tekan batu bata

Ho = Tidak ada pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap kuat tekan batu bata

b. Hipotesis dalam bentuk statistik

Ha : A1 ≠ A2 ≠ A3 ≠ A4 ≠ A5 ≠ A6 ≠ A7 ≠ A8 ≠ A9 ≠ A10

Ho : A1 = A2 = A3 = A4 = A5 = A6 = A7 = A8 = A9 = A10

c. Daftar statistik induk

Tabel 4.46 Tabel Statistik Induk

| benda uji | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 | | |
|--------------------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|-------|
| 1 | 9.60 | 5.94 | 9.67 | 10.15 | 12.41 | 12.99 | 8.12 | 5.62 | 6.45 | 12.19 | | |
| 2 | 6.43 | 6.28 | 11.06 | 13.78 | 10.09 | 16.39 | 5.88 | 6.89 | 6.96 | 14.80 | | |
| 3 | 10.49 | 7.09 | 14.20 | 11.00 | 16.51 | 9.54 | 12.41 | 10.78 | 7.50 | 11.87 | | |
| 4 | 5.52 | 6.00 | 9.98 | 9.91 | 6.02 | 11.46 | - | 8.73 | 8.19 | 8.40 | | |
| statistik | 5 | 11.29 | 16.46 | 23.08 | 11.65 | 9.70 | 14.18 | - | 6.40 | 9.73 | - | total |
| n | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 4 | 47 | |
| SX | 43.33 | 41.77 | 67.99 | 56.48 | 54.73 | 64.56 | 26.40 | 38.42 | 38.82 | 47.26 | 479.78 | |
| SX ² | 401.49 | 431.90 | 1049.89 | 647.70 | 658.77 | 860.87 | 254.35 | 312.50 | 307.92 | 579.05 | 5504.45 | |
| SX ² /n | 375.50 | 348.89 | 924.60 | 638.10 | 599.15 | 833.70 | 232.33 | 295.25 | 301.43 | 558.37 | 5107.31 | |

d. Menghitung Jumlah Kuadrat Antar Group (JK_A)

$$\begin{aligned}
 JK_A &= \sum \frac{(\sum X_{An})^2}{n_{An}} - \frac{(\sum X_{Total})^2}{N} \\
 &= \left(\frac{43,33^2}{5} + \frac{41,77^2}{5} + \frac{67,99^2}{5} + \dots + \frac{47,26^2}{4} \right) - \frac{479,78^2}{47} \\
 &= 209,77
 \end{aligned}$$

e. Menghitung Derajat Bebas Antar Group (db_A)

$$db_A = A - 1 = 10 - 1 = 9$$

A = jumlah group (variasi komposisi *bottom ash*)

- f. Menghitung Kuadrat Rerata Antar Group (KR_A)

$$KR_A = \frac{JK_A}{db_A} = \frac{209,77}{9} = 23,4083$$

- g. Menghitung Jumlah Kuadrat Dalam Antar Group (JK_D)

$$\begin{aligned} JK_D &= \sum X_{Total}^2 - \frac{(\sum X_{An})^2}{n} \\ &= 5504,45 - \left(\frac{43,33^2}{5} + \frac{41,77^2}{5} + \frac{67,99^2}{5} + \dots + \frac{47,26^2}{4} \right) \\ &= 397,14 \end{aligned}$$

- h. Menghitung Derajat Bebas Dalam Group (db_D)

$$db_D = N - A = 47 - 10 = 37$$

N = jumlah keseluruhan sampel

- i. Menghitung Kuadrat Rerata Dalam Group (KR_D)

$$KR_D = \frac{JK_D}{db_D} = \frac{397,14}{37} = 10,7334$$

- j. F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KR_A}{KR_D} = \frac{23,3084}{10,7334} = 2,17$$

- k. Menentukan level of significant $\alpha = 0,05$

1. Menentukan F_{tabel}

$$\begin{aligned} F_{tabel} &= F_{(1-\alpha)(dbA,dbD)} \\ &= F_{(1-0,05)(9,37)} \\ &= F_{(0,95)(9,37)} \\ &= 2,13 \end{aligned}$$

m. Tabel ringkasan anova satu arah

Tabel 4.47 Ragam Untuk Klasifikasi Satu Arah Untuk Kuat Tekan

| Sumber Varian (SV) | Jumlah Kuadrat (JK) | Derajat Bebas (db) | Kuadrat Rerata (KR) | F_{Hitung} | Taraf Signifikasi (ρ) |
|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------|------------------------------|
| Antar Group (A) | 209,77 | 9 | 23,4083 | 2,17 | <0,05 $F_{tabel} = 2,13$ |
| Dalam Group (D) | 397,14 | 37 | 10,7334 | - | - |
| Total | 606,91 | 46 | - | - | - |

n. Kriteria pengujian

Dari hasil analisis data secara statistik didapat harga F_{tabel} yang akan dibandingkan dengan harga F_{hitung} . Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka tolak H_0 berarti berpengaruh. Setelah dicocokkan dengan tabel F dan kemudian dibandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} . Ternyata $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak sehingga terdapat pengaruh *bottom ash* sebagai pengganti tanah liat pada campuran batu bata terhadap kuat tekan.

4.3.1.1.2 Analisis Regresi

Regresi yang digunakan adalah regresi non linear polinomial pangkat dua, yakni pengaruh pemanfaatan *bottom ash* terhadap kuat tekan batu bata. Rincian perhitungan analisis regresi dalam penelitian ini terdapat pada **Tabel 4.46** sebagai berikut:

Tabel 4.48 Analisis Regresi Kuat Tekan

| no | bottom ash x | kuat tekan y | x ² | x ³ | x ⁴ | x.y | x ² .y |
|--------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------|-------------------|
| 1 | 0 | 9.4526 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 10 | 8.3533 | 100 | 1000 | 10000 | 83.53335 | 835.3335 |
| 3 | 20 | 11.2270 | 400 | 8000 | 160000 | 224.5409 | 4490.819 |
| 4 | 30 | 11.2969 | 900 | 27000 | 810000 | 338.9071 | 10167.21 |
| 5 | 35 | 12.1777 | 1225 | 42875 | 1500625 | 426.2191 | 14917.67 |
| 6 | 40 | 12.9128 | 1600 | 64000 | 2560000 | 516.5108 | 20660.43 |
| 7 | 45 | 8.8002 | 2025 | 91125 | 4100625 | 396.0081 | 17820.36 |
| 8 | 50 | 7.6845 | 2500 | 125000 | 6250000 | 384.2227 | 19211.13 |
| 9 | 55 | 7.7644 | 3025 | 166375 | 9150625 | 427.0405 | 23487.23 |
| 10 | 60 | 9.4519 | 3600 | 216000 | 12960000 | 567.1157 | 34026.94 |
| jumlah | 345 | 99.1213 | 15375 | 741375 | 37501875 | 3364.098 | 145617.1 |

Persamaan simultan:

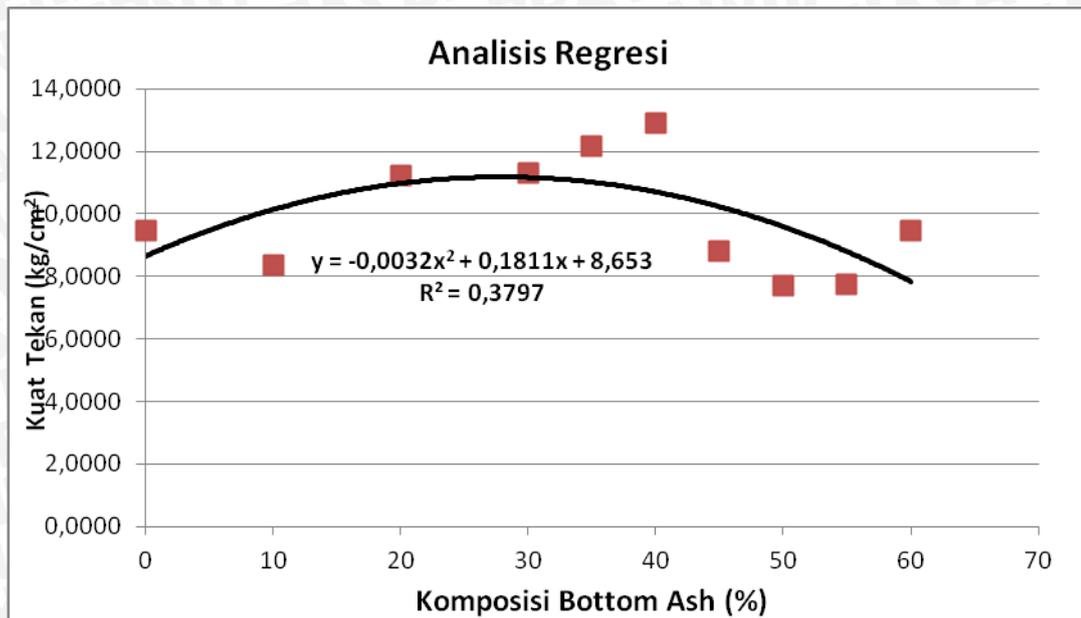
$$\begin{bmatrix} 10 & 345 & 15375 \\ 345 & 15375 & 741375 \\ 15375 & 741375 & 37501875 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 99,1213 \\ 3364,098 \\ 125617,1 \end{pmatrix}$$

Solusi dari persamaan di atas adalah

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 8,653 \\ 0,181 \\ -0,003 \end{pmatrix}$$

Sehingga persamaan regresinya menjadi

$$y = -0,003x^2 + 0,181x + 8,653$$



Gambar 4.51 Grafik Regresi Polinomial Kuat Tekan

Dari regresi polinomial kuat tekan kubus batu bata, untuk mendapatkan persentase komposisi campuran bottom ash optimum dihitung dengan turunan dari persamaan regresi polinomial kuat tekan.

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= 0 \\ \frac{d(-0,003x^2 + 0,181x + 8,653)}{dx} &= 0 \\ -0,006x + 0,181 &= 0 \\ 0,006x &= 0,181 \\ x &= 30,167 \end{aligned}$$

dari hasil penurunan di atas didapatkan presentase optimum untuk kuat tekan kubus batu bata adalah sebesar 30,167% dengan nilai kuat tekan optimum 11,3831 kg/cm².

4.3.1.2 Poisson Ratio Batu Bata

4.3.1.2.1 Analisis Varian Satu Arah (ANOVA)

Dari data percobaan 10 jenis komposisi *bottom ash* serta 5 perlakuan tiap-tiap komposisinya, diperoleh nilai poisson ratio batu bata. Dan untuk memastikan kembali tentang adanya pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap poisson ratio batu bata, maka diperlakukan analisis statistik data. Metode yang digunakan dalam menguji hipotesis yang telah dibuat adalah analisis varian satu arah (one way anova).

Berikut analisis pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap poisson ratio batu bata dengan analisis varian satu arah.

a. Menguji Hipotesis

A1 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 0%

A2 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 10%

A3 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 20%

A4 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 30%

A5 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 35%

A6 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 40%

A7 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 45%

A8 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 50%

A9 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 55%

A10 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 60%

Ha = Ada pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap nilai poisson ratio batu bata

Ho = Tidak ada pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap nilai poisson ratio batu bata

b. Hipotesis dalam bentuk statistik

Ha : A1 ≠ A2 ≠ A3 ≠ A4 ≠ A5 ≠ A6 ≠ A7 ≠ A8 ≠ A9 ≠ A10

Ho : A1 = A2 = A3 = A4 = A5 = A6 = A7 = A8 = A9 = A10

c. Daftar statistik induk

Tabel 4.49 Tabel Statistik Induk

| benda uji | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1 | 0.32 | 0.07 | 0.13 | 0.25 | 0.07 | 0.04 | 0.24 | 0.07 | 0.01 | 0.04 | | |
| 2 | 0.34 | 0.25 | 0.11 | 0.02 | 0.30 | 0.22 | 0.08 | 0.31 | 0.19 | 0.17 | | |
| 3 | 0.33 | 0.15 | 0.02 | 0.09 | 0.15 | 0.24 | 0.32 | 0.08 | 0.23 | 0.21 | | |
| 4 | 0.17 | 0.12 | 0.09 | 0.14 | 0.22 | 0.11 | - | 0.10 | 0.04 | 0.26 | | |
| statistik | 5 | 0.23 | 0.04 | 0.14 | 0.03 | 0.06 | 0.08 | - | 0.20 | 0.45 | - | total |
| n | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 4 | 47 |
| SX | 1.38 | 0.62 | 0.49 | 0.54 | 0.80 | 0.69 | 0.65 | 0.76 | 0.92 | 0.68 | 0.68 | 7.53 |
| SX ² | 0.41 | 0.10 | 0.06 | 0.09 | 0.17 | 0.13 | 0.17 | 0.16 | 0.29 | 0.14 | 0.14 | 1.72 |
| SX ² /n | 0.38 | 0.08 | 0.05 | 0.06 | 0.13 | 0.10 | 0.14 | 0.11 | 0.17 | 0.12 | 0.12 | 1.33 |

d. Menghitung Jumlah Kuadrat Antar Group (JK_A)

$$JK_A = \sum \frac{(\sum X_{An})^2}{n_{An}} - \frac{(\sum X_{Total})^2}{N}$$

$$= \left(\frac{1,38^2}{5} + \frac{0,62^2}{5} + \frac{0,49^2}{5} + \dots + \frac{0,68^2}{4} \right) - \frac{7,53^2}{47}$$

$$= 0,12$$

e. Menghitung Derajat Bebas Antar Group (db_A)

$$db_A = A - 1 = 10 - 1 = 9$$

A = jumlah group (variasi komposisi *bottom ash*)

f. Menghitung Kuadrat Rerata Antar Group (KR_A)

$$KR_A = \frac{JK_A}{db_A} = \frac{0,12}{9} = 0,01358$$

g. Menghitung Jumlah Kuadrat Dalam Antar Group (JK_D)

$$JK_D = \sum X_{Total}^2 - \sum \frac{(\sum X_{An})^2}{n}$$

$$= 1,72 - \left(\frac{1,38^2}{5} + \frac{0,62^2}{5} + \frac{0,49^2}{5} + \dots + \frac{0,68^2}{4} \right)$$

$$= 0,39$$

h. Menghitung Derajat Bebas Dalam Group (db_D)

$$db_D = N - A = 47 - 10 = 37$$

N = jumlah keseluruhan sampel

i. Menghitung Kuadrat Rerata Dalam Group (KR_D)

$$KR_D = \frac{JK_D}{db_D} = \frac{0,39}{37} = 0,01059$$

j. F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KR_A}{KR_D} = \frac{0,01358}{0,01059} = 1,28$$

k. Menentukan level of significant $\alpha = 0,05$

l. Menentukan F_{tabel}

$$\begin{aligned} F_{\text{tabel}} &= F_{(1-\alpha)(dbA,dbD)} \\ &= F_{(1-0,05)(9,37)} \\ &= F_{(0,95)(9,37)} \\ &= 2,14 \end{aligned}$$

m. Tabel ringkasan anova satu arah

Tabel 4.50 Ragam Untuk Klasifikasi Satu Arah Untuk Poisson Ratio

| Sumber Varian (SV) | Jumlah Kuadrat (JK) | Derajat Bebas (db) | Kuadrat Rerata (KR) | F_{Hitung} | Taraf Signifikasi (ρ) |
|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| Antar Group (A) | 0,12 | 9 | 0,01358 | 1,28 | <0,05 $F_{\text{tabel}} = 2,14$ |
| Dalam Group (D) | 0,39 | 37 | 0,01059 | - | - |
| Total | 0,51 | 46 | - | - | - |

n. Kriteria pengujian

Dari hasil analisis data secara statistik didapat harga F_{tabel} yang akan dibandingkan dengan harga F_{hitung} . Jika $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, maka tolak H_0 berarti berpengaruh. Setelah dicocokkan dengan tabel F dan kemudian dibandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} . Ternyata $F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$, maka H_0 diterima sehingga tidak terdapat pengaruh *bottom ash* sebagai pengganti tanah liat pada campuran batu bata terhadap nilai poisson ratio kubus batu bata.

4.3.1.2.2 Analisis Regresi

Regresi yang digunakan adalah regresi non linear polinomial pangkat tiga, yakni pengaruh pemanfaatan *bottom ash* terhadap nilai poisson ratio kubus batu bata. Rincian perhitungan analisis regresi dalam penelitian ini terdapat pada **Tabel 4.49** sebagai berikut:

Tabel 4.51 Analisis Regresi

| no | bottom ash x | poisson ratio y | x ² | x ³ | x ⁴ | x ⁵ | x ⁶ | x.y | x ² .y | x ³ .y |
|--------|--------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|-------------------|-------------------|
| 1 | 0 | 0,28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 10 | 0,17 | 100 | 1000 | 10000 | 100000 | 1000000 | 1.731206 | 17.31206 | 173.1206 |
| 3 | 20 | 0,12 | 400 | 8000 | 160000 | 3200000 | 64000000 | 2.369013 | 47.38027 | 947.6054 |
| 4 | 30 | 0,17 | 900 | 27000 | 810000 | 24300000 | 7.29E+08 | 5.233729 | 157.0119 | 4710.356 |
| 5 | 35 | 0,22 | 1225 | 42875 | 1500625 | 52521875 | 1.84E+09 | 7.778144 | 272.2351 | 9528.227 |
| 6 | 40 | 0,19 | 1600 | 64000 | 2560000 | 1.02E+08 | 4.1E+09 | 7.627936 | 305.1174 | 12204.7 |
| 7 | 45 | 0,16 | 2025 | 91125 | 4100625 | 1.85E+08 | 8.3E+09 | 7.359856 | 331.1935 | 14903.71 |
| 8 | 50 | 0,11 | 2500 | 125000 | 6250000 | 3.13E+08 | 1.56E+10 | 5.557597 | 277.8798 | 13893.99 |
| 9 | 55 | 0,15 | 3025 | 166375 | 9150625 | 5.03E+08 | 2.77E+10 | 8.464973 | 465.5735 | 25606.54 |
| 10 | 60 | 0,21 | 3600 | 216000 | 12960000 | 7.78E+08 | 4.67E+10 | 12.86145 | 771.6871 | 46301.23 |
| jumlah | 345 | 1,80 | 15375 | 741375 | 37501875 | 1,96E+09 | 1,05E+11 | 58.98391 | 2645.391 | 128269.5 |

Persamaan simultan :

$$\begin{bmatrix} \sum x^6 & \sum x^5 & \sum x^4 & \sum x^3 \\ \sum x^5 & \sum x^4 & \sum x^3 & \sum x^2 \\ \sum x^4 & \sum x^3 & \sum x^2 & \sum x \\ \sum x^3 & \sum x^2 & \sum x & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_3 \\ c_2 \\ c_1 \\ c_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum x^3 y \\ \sum x^2 y \\ \sum xy \\ \sum y \end{bmatrix}$$

Dengan memasukkan nilai yang dibutuhkan maka :

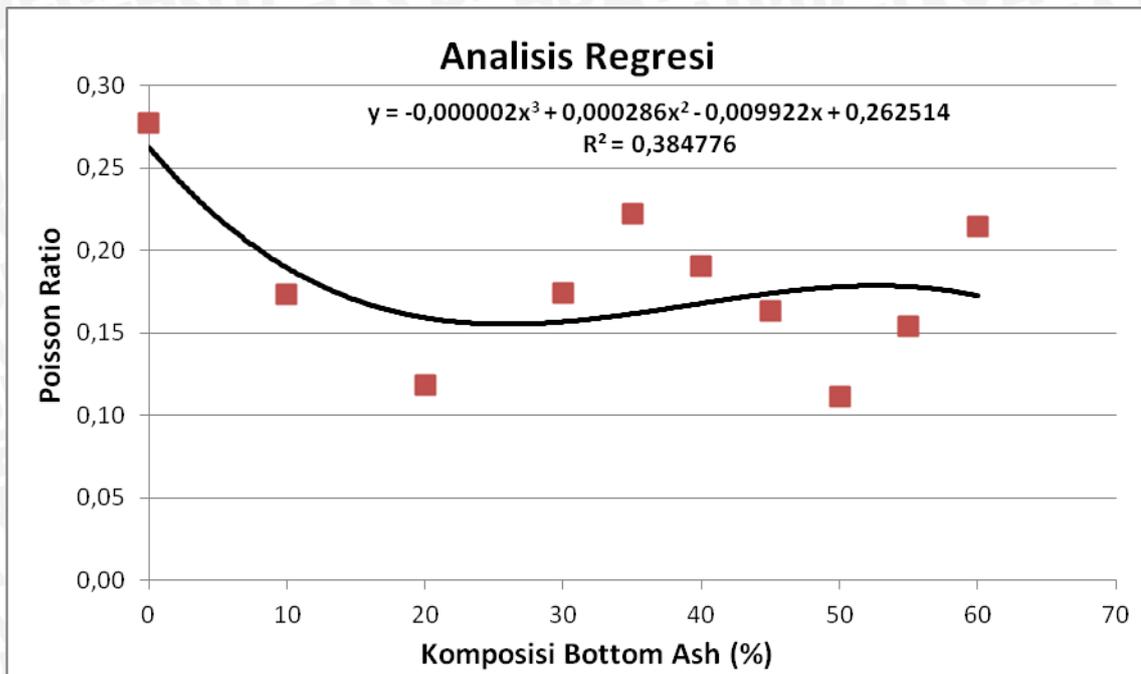
$$\begin{bmatrix} 1,05E+11 & 1,96E+09 & 3751875 & 741375 \\ 1960434375 & 37501875 & 741375 & 15375 \\ 37501875 & 741375 & 15375 & 345 \\ 741375 & 15375 & 345 & 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_3 \\ c_2 \\ c_1 \\ c_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 128269,5 \\ 2645,391 \\ 58,98391 \\ 1,798926 \end{bmatrix}$$

Solusi dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{bmatrix} c_3 \\ c_2 \\ c_1 \\ c_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,000002 \\ 0,000286 \\ -0,009922 \\ 0,262514 \end{bmatrix}$$

Sehingga persamaan regresinya menjadi

$$y = -0,000002x^3 + 0,000286x^2 - 0,009922x + 0,262514$$



Gambar 4.52 Grafik Regresi Polinomial Poisson Ratio

4.3.2 Pengujian Setengah Batu Bata

4.3.2.1 Kuat Tekan Batu Bata

4.3.2.1.1 Analisis Varian Satu Arah (ANOVA)

Dari data percobaan 10 jenis komposisi *bottom ash* serta 5 perlakuan tiap-tiap komposisinya, diperoleh nilai kuat tekan batu bata. Dan untuk memastikan kembali tentang adanya pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap kuat tekan batu bata, maka diperlakukan analisis statistik data. Metode yang digunakan dalam menguji hipotesis yang telah dibuat adalah analisis varian satu arah (one way anova).

Berikut analisis pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap kuat tekan batu bata dengan analisis varian satu arah.

a. Menguji Hipotesis

- A1 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 0%
- A2 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 10%
- A3 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 20%
- A4 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 30%
- A5 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 35%
- A6 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 40%
- A7 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 45%

A8 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 50%

A9 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 55%

A10 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 60%

Ha = Ada pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap kuat tekan batu bata

Ho = Tidak ada pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap kuat tekan batu bata

b. Hipotesis dalam bentuk statistik

Ha : A1 ≠ A2 ≠ A3 ≠ A4 ≠ A5 ≠ A6 ≠ A7 ≠ A8 ≠ A9 ≠ A10

Ho : A1 = A2 = A3 = A4 = A5 = A6 = A7 = A8 = A9 = A10

c. Daftar statistik induk

Tabel 4.52 Tabel Statistik Induk

| benda uji | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 | | |
|--------------------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|---------|
| 1 | 16.56 | 18.55 | 11.06 | 15.20 | 16.62 | 13.90 | 13.07 | 8.99 | 11.94 | 10.12 | | |
| 2 | 11.98 | 13.82 | 12.01 | 15.67 | 13.54 | 11.57 | 12.95 | 9.92 | 11.23 | 9.41 | | |
| 3 | 10.40 | 14.66 | 15.77 | 15.20 | 9.72 | 11.57 | 12.85 | 9.75 | 10.76 | 11.73 | | |
| 4 | 15.25 | 15.99 | 12.29 | 15.86 | 12.71 | 12.15 | 12.72 | 11.97 | 10.86 | 11.03 | | |
| statistik | 5 | 13.07 | 14.69 | 14.69 | 18.68 | 10.10 | 10.67 | 13.66 | 10.37 | 11.32 | - | total |
| n | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 49 |
| SX | 67.25 | 77.71 | 65.82 | 80.61 | 62.69 | 59.86 | 65.25 | 51.00 | 56.10 | 42.29 | | 628.59 |
| SX ² | 929.16 | 1221.59 | 881.96 | 1308.01 | 817.66 | 722.47 | 852.05 | 525.21 | 630.41 | 450.18 | | 8338.70 |
| SX ² /n | 904.63 | 1207.85 | 866.33 | 1299.47 | 786.08 | 716.68 | 851.53 | 520.28 | 629.54 | 447.08 | | 8229.49 |

d. Menghitung Jumlah Kuadrat Antar Group (JK_A)

$$\begin{aligned}
 JK_A &= \sum \frac{(\sum X_{An})^2}{n_{An}} - \frac{(\sum X_{Total})^2}{N} \\
 &= \left(\frac{67,25^2}{5} + \frac{77,71^2}{5} + \frac{65,82^2}{5} + \dots + \frac{42,29^2}{4} \right) - \frac{628,59^2}{49} \\
 &= 165,68
 \end{aligned}$$

e. Menghitung Derajat Bebas Antar Group (db_A)

$$db_A = A - 1 = 10 - 1 = 9$$

A = jumlah group (variasi komposisi *bottom ash*)

- f. Menghitung Kuadrat Rerata Antar Group (KR_A)

$$KR_A = \frac{JK_A}{db_A} = \frac{165,68}{9} = 18,4087$$

- g. Menghitung Jumlah Kuadrat Dalam Antar Group (JK_D)

$$\begin{aligned} JK_D &= \sum X_{Total}^2 - \frac{(\sum X_{An})^2}{n} \\ &= 8338,70 - \left(\frac{67,25^2}{5} + \frac{77,71^2}{5} + \frac{65,82^2}{5} + \dots + \frac{42,29^2}{4} \right) \\ &= 109,2165 \end{aligned}$$

- h. Menghitung Derajat Bebas Dalam Group (db_D)

$$db_D = N - A = 49 - 10 = 39$$

N = jumlah keseluruhan sampel

- i. Menghitung Kuadrat Rerata Dalam Group (KR_D)

$$KR_D = \frac{JK_D}{db_D} = \frac{109,2165}{39} = 2,8004$$

- j. F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KR_A}{KR_D} = \frac{18,4087}{2,8004} = 6,57$$

- k. Menentukan level of significant $\alpha = 0,05$

- l. Menentukan F_{tabel}

$$\begin{aligned} F_{tabel} &= F_{(1-\alpha)(dbA,dbD)} \\ &= F_{(1-0,05)(9,39)} \\ &= F_{(0,95)(9,39)} \\ &= 2,13 \end{aligned}$$

m. Tabel ringkasan anova satu arah

Tabel 4.53 Ragam Untuk Klasifikasi Satu Arah Untuk Kuat Tekan

| Sumber Varian (SV) | Jumlah Kuadrat (JK) | Derajat Bebas (db) | Kuadrat Rerata (KR) | F_{Hitung} | Taraf Signifikansi (ρ) |
|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------|-------------------------------|
| Antar Group (A) | 802,5421 | 9 | 89,17134 | 6,57 | <0,05 $F_{tabel} = 2,13$ |
| Dalam Group (D) | 529,79 | 39 | 18,2263 | - | - |
| Total | 1332,34 | 48 | - | - | - |

n. Kriteria pengujian

Dari hasil analisis data secara statistik didapat harga F_{tabel} yang akan dibandingkan dengan harga F_{hitung} . Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka tolak H_0 berarti berpengaruh. Setelah dicocokkan dengan tabel F dan kemudian dibandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} . Ternyata $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak sehingga terdapat pengaruh *bottom ash* sebagai pengganti tanah liat pada campuran batu bata terhadap kuat tekan.

4.3.2.1.2 Analisis Regresi

Regresi yang digunakan adalah regresi non linear polinomial pangkat dua, yakni pengaruh pemanfaatan *bottom ash* terhadap kuat tekan batu bata. Rincian perhitungan analisis regresi dalam penelitian ini terdapat pada **Tabel 4.46** sebagai berikut:

Tabel 4.54 Analisis Regresi Kuat Tekan

| no | bottom ash x | kuat tekan y | x ² | x ³ | x ⁴ | x.y | x ² .y |
|--------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------|-------------------|
| 1 | 0 | 13.4509 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 10 | 15.5425 | 100 | 1000 | 10000 | 155.4253 | 1554.253 |
| 3 | 20 | 13.1631 | 400 | 8000 | 160000 | 263.2615 | 5265.231 |
| 4 | 30 | 16.1212 | 900 | 27000 | 810000 | 483.637 | 14509.11 |
| 5 | 35 | 12.5386 | 1225 | 42875 | 1500625 | 438.8514 | 15359.8 |
| 6 | 40 | 11.9723 | 1600 | 64000 | 2560000 | 478.8936 | 19155.74 |
| 7 | 45 | 13.0501 | 2025 | 91125 | 4100625 | 587.2547 | 26426.46 |
| 8 | 50 | 10.2008 | 2500 | 125000 | 6250000 | 510.039 | 25501.95 |
| 9 | 55 | 11.2209 | 3025 | 166375 | 9150625 | 617.1496 | 33943.23 |
| 10 | 60 | 10.5721 | 3600 | 216000 | 12960000 | 634.3286 | 38059.72 |
| jumlah | 345 | 127.8326 | 15375 | 741375 | 37501875 | 4168.841 | 179775.5 |

Persamaan simultan:

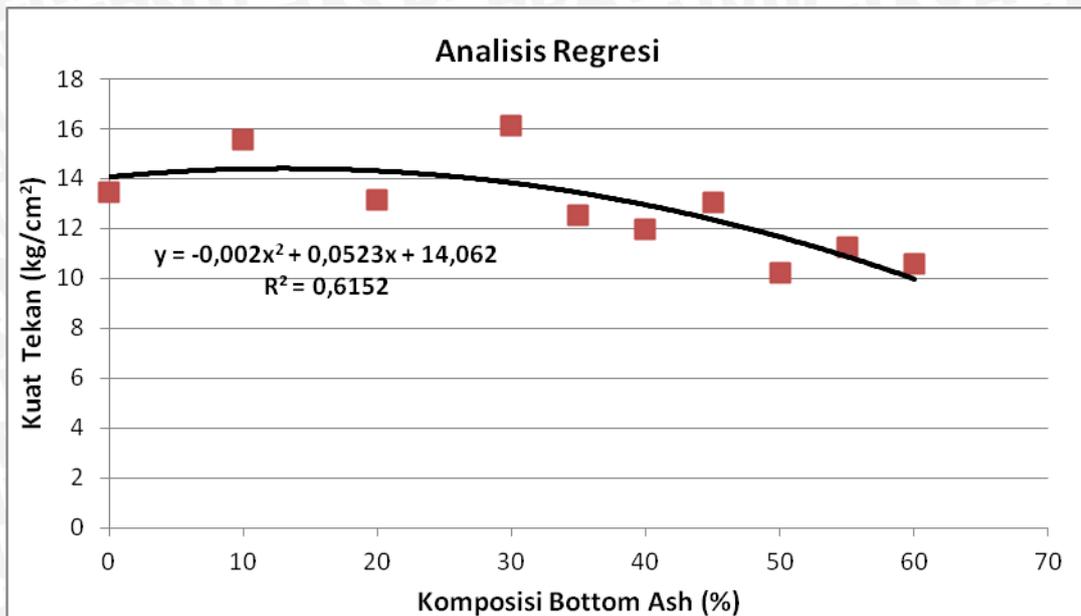
$$\begin{bmatrix} 10 & 345 & 15375 \\ 345 & 15375 & 741375 \\ 15375 & 741375 & 37501875 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 127,8326 \\ 4168,841 \\ 179775,5 \end{pmatrix}$$

Solusi dari persamaan di atas adalah

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 14,06 \\ 0,052 \\ -0,002 \end{pmatrix}$$

Sehingga persamaan regresinya menjadi

$$y = -0,002x^2 + 0,052x + 14,06$$



Gambar 4.53 Grafik Regresi Polinomial Kuat Tekan

Dari regresi polinomial kuat tekan kubus batu bata, untuk mendapatkan persentase komposisi campuran bottom ash optimum dihitung dengan turunan dari persamaan regresi polinomial kuat tekan.

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= 0 \\ \frac{d(-0,002x^2 + 0,052x + 814,06)}{dx} &= 0 \\ -0,004x + 0,052 &= 0 \\ 0,004x &= 0,052 \\ x &= 13 \end{aligned}$$

dari hasil penurunan di atas didapatkan presentase optimum untuk kuat tekan setengah batu bata adalah sebesar 13% dengan nilai kuat tekan optimum 14,389 kg/cm².

4.3.2.2 Poisson Ratio Batu Bata

4.3.2.2.1 Analisis Varian Satu Arah (ANOVA)

Dari data percobaan 10 jenis komposisi *bottom ash* serta 5 perlakuan tiap-tiap komposisinya, diperoleh nilai poisson ratio batu bata. Dan untuk memastikan kembali tentang adanya pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap poisson ratio batu bata, maka diperlakukan analisis statistik data. Metode yang digunakan dalam menguji hipotesis yang telah dibuat adalah analisis varian satu arah (one way anova).

Berikut analisis pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap poisson ratio batu bata dengan analisis varian satu arah.

a. Menguji Hipotesis

A1 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 0%

A2 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 10%

A3 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 20%

A4 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 30%

A5 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 35%

A6 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 40%

A7 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 45%

A8 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 50%

A9 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 55%

A10 = Variasi Komposisi *Bottom ash* 60%

Ha = Ada pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap nilai poisson ratio batu bata

Ho = Tidak ada pengaruh komposisi *bottom ash* terhadap nilai poisson ratio batu bata

b. Hipotesis dalam bentuk statistik

Ha : $A1 \neq A2 \neq A3 \neq A4 \neq A5 \neq A6 \neq A7 \neq A8 \neq A9 \neq A10$

Ho : $A1 = A2 = A3 = A4 = A5 = A6 = A7 = A8 = A9 = A10$

c. Daftar statistik induk

Tabel 4.55 Tabel Statistik Induk

| benda uji | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 | | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.22 | 0.02 | 0.22 | 0.17 | 0.18 | 0.04 | 0.12 | | |
| 2 | 0.07 | 0.08 | 0.13 | 0.04 | 0.10 | 0.17 | 0.12 | 0.14 | 0.03 | 0.11 | | |
| 3 | 0.05 | 0.05 | 0.11 | 0.06 | 0.14 | 0.14 | 0.11 | 0.20 | 0.05 | 0.05 | | |
| 4 | 0.07 | 0.17 | 0.10 | 0.04 | 0.09 | 0.12 | 0.01 | 0.11 | 0.04 | 0.08 | | |
| statistik | 5 | 0.08 | 0.10 | 0.15 | 0.03 | 0.11 | 0.07 | 0.03 | 0.19 | 0.03 | - | total |
| n | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 49 |
| SX | 0.35 | 0.48 | 0.57 | 0.39 | 0.47 | 0.72 | 0.43 | 0.82 | 0.20 | 0.35 | 0.35 | 4.78 |
| SX ² | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.12 | 0.05 | 0.14 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.61 |
| SX ² /n | 0.02 | 0.05 | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.10 | 0.04 | 0.13 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.52 |

d. Menghitung Jumlah Kuadrat Antar Group (JK_A)

$$JK_A = \sum \frac{(\sum X_{An})^2}{n_{An}} - \frac{(\sum X_{Total})^2}{N}$$

$$= \left(\frac{0,35^2}{5} + \frac{0,48^2}{5} + \frac{0,57^2}{5} + \dots + \frac{0,35^2}{4} \right) - \frac{4,78^2}{49}$$

$$= 0,06$$

e. Menghitung Derajat Bebas Antar Group (db_A)

$$db_A = A - 1 = 10 - 1 = 9$$

A = jumlah group (variasi komposisi *bottom ash*)

f. Menghitung Kuadrat Rerata Antar Group (KR_A)

$$KR_A = \frac{JK_A}{db_A} = \frac{0,06}{9} = 0,01$$

g. Menghitung Jumlah Kuadrat Dalam Antar Group (JK_D)

$$JK_D = \sum X_{Total}^2 - \sum \frac{(\sum X_{An})^2}{n}$$

$$= 0,61 - \left(\frac{0,35^2}{5} + \frac{0,48^2}{5} + \frac{0,57^2}{5} + \dots + \frac{0,35^2}{4} \right)$$

$$= 0,08$$

h. Menghitung Derajat Bebas Dalam Group (db_D)

$$db_D = N - A = 49 - 10 = 39$$

N = jumlah keseluruhan sampel

i. Menghitung Kuadrat Rerata Dalam Group (KR_D)

$$KR_D = \frac{JK_D}{db_D} = \frac{0,08}{39} = 0,002115$$

j. F_{hitung}

$$F_{hitung} = \frac{KR_A}{KR_D} = \frac{0,01}{0,002115} = 3,022$$

k. Menentukan level of significant $\alpha = 0,05$

l. Menentukan F_{tabel}

$$\begin{aligned} F_{tabel} &= F_{(1-\alpha)(dbA,dbD)} \\ &= F_{(1-0,05)(9,39)} \\ &= F_{(0,95)(9,39)} \\ &= 2,13 \end{aligned}$$

m. Tabel ringkasan anova satu arah

Tabel 4.56 Ragam Untuk Klasifikasi Satu Arah Untuk Poisson Ratio

| Sumber Varian (SV) | Jumlah Kuadrat (JK) | Derajat Bebas (db) | Kuadrat Rerata (KR) | F_{Hitung} | Taraf Signifikasi (ρ) |
|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------|------------------------------|
| Antar Group (A) | 0,06 | 9 | 0,01 | 3,022 | <0,05 $F_{tabel} = 2,13$ |
| Dalam Group (D) | 0,08 | 39 | 0,002115 | - | - |
| Total | 0,14 | 48 | - | - | - |

n. Kriteria pengujian

Dari hasil analisis data secara statistik didapat harga F_{tabel} yang akan dibandingkan dengan harga F_{hitung} . Jika $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka tolak H_0 berarti berpengaruh. Setelah dicocokkan dengan tabel F dan kemudian dibandingkan antara F_{hitung} dengan F_{tabel} . Ternyata $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak sehingga terdapat pengaruh *bottom ash* sebagai pengganti tanah liat pada campuran batu bata terhadap nilai poisson ratio.

4.3.2.2.2 Analisis Regresi

Regresi yang digunakan adalah regresi non linear polinomial pangkat dua, yakni pengaruh pemanfaatan *bottom ash* terhadap nilai poisson ratio batu bata. Rincian

perhitungan analisis regresi dalam penelitian ini terdapat pada **Tabel 4.49** sebagai berikut:

Tabel 4.57 Analisis Regresi

| no | bottom ash x | poisson ratio y | x ² | x ³ | x ⁴ | x ⁵ | x ⁶ | x.y | x ² .y | x ³ .y |
|--------|--------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|-------------------|-------------------|
| 1 | 0 | 0.07 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 10 | 0.1 | 100 | 1000 | 10000 | 100000 | 1000000 | 1 | 10 | 100 |
| 3 | 20 | 0.11 | 400 | 8000 | 160000 | 3200000 | 64000000 | 2.2 | 44 | 880 |
| 4 | 30 | 0.08 | 900 | 27000 | 810000 | 24300000 | 7.29E+08 | 2.4 | 72 | 2160 |
| 5 | 35 | 0.09 | 1225 | 42875 | 1500625 | 52521875 | 1.84E+09 | 3.15 | 110.25 | 3858.75 |
| 6 | 40 | 0.14 | 1600 | 64000 | 2560000 | 1.02E+08 | 4.1E+09 | 5.6 | 224 | 8960 |
| 7 | 45 | 0.09 | 2025 | 91125 | 4100625 | 1.85E+08 | 8.3E+09 | 4.05 | 182.25 | 8201.25 |
| 8 | 50 | 0.16 | 2500 | 125000 | 6250000 | 3.13E+08 | 1.56E+10 | 8 | 400 | 20000 |
| 9 | 55 | 0.04 | 3025 | 166375 | 9150625 | 5.03E+08 | 2.77E+10 | 2.2 | 121 | 6655 |
| 10 | 60 | 0.09 | 3600 | 216000 | 12960000 | 7.78E+08 | 4.67E+10 | 5.4 | 324 | 19440 |
| jumlah | 345 | 0.97 | 15375 | 741375 | 37501875 | 1.96E+09 | 1.05E+11 | 34 | 50 | 70255 |

Persamaan simultan :

$$\begin{bmatrix} \sum x^6 & \sum x^5 & \sum x^4 & \sum x^3 \\ \sum x^5 & \sum x^4 & \sum x^3 & \sum x^2 \\ \sum x^4 & \sum x^3 & \sum x^2 & \sum x \\ \sum x^3 & \sum x^2 & \sum x & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_3 \\ c_2 \\ c_1 \\ c_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum x^3 y \\ \sum x^2 y \\ \sum xy \\ \sum y \end{bmatrix}$$

Dengan memasukkan nilai yang dibutuhkan maka :

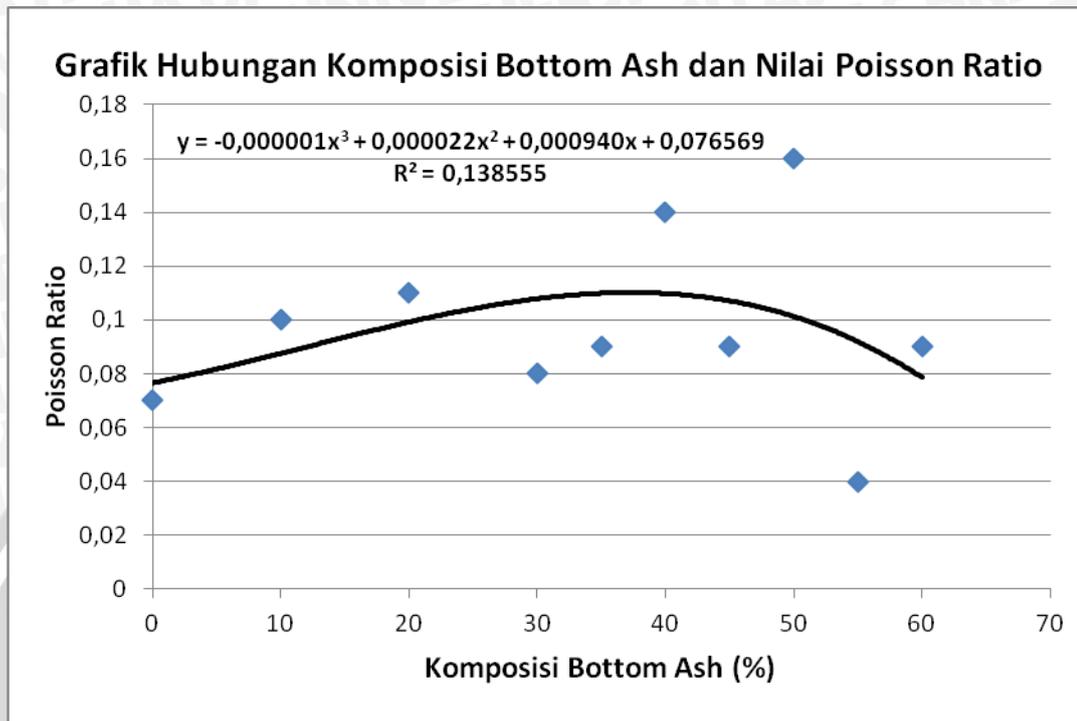
$$\begin{bmatrix} 1,04994E + 11 & 1,96E + 09 & 3751875 & 741375 \\ 1960434375 & 37501875 & 741375 & 15375 \\ 37501875 & 741375 & 15375 & 345 \\ 741375 & 15375 & 345 & 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_3 \\ c_2 \\ c_1 \\ c_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 70255 \\ 1487,5 \\ 34 \\ 0,97 \end{bmatrix}$$

Solusi dari persamaan diatas adalah :

$$\begin{bmatrix} c_3 \\ c_2 \\ c_1 \\ c_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,000001 \\ 0,000022 \\ 0,000940 \\ 0,076569 \end{bmatrix}$$

Sehingga persamaan regresinya menjadi

$$y = -0,000001x^3 + 0,000022x^2 + 0,000940x + 0,076569$$



Gambar 4.54 Grafik Regresi Polinomial Poisson Ratio

4.3.3 Analisis Distribusi T

4.3.3.1 Kuat Tekan Batu Bata

Pada penelitian ini dilakukan dua metode pengujian kuat tekan batu bata, yaitu benda uji dibentuk kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm (sesuai jurnal yang beredar) dan benda uji setengah bata (sesuai ASTM C-67). Kedua metode tersebut mendapatkan hasil rata-rata kuat tekan dengan nilai yang tidak terlalu jauh jaraknya. Untuk membuktikan apakah dari kedua hasil metode pengujian itu tidak terdapat perbedaan, maka dilakukan analisis statistic dengan menggunakan uji distribusi T dua sampel independen. Di bawah ini adalah tabel hasil kuat tekan rata-rata dari kedua metode pengujian.

Tabel 4.58 Nilai Kuat Tekan Rata-Rata Batu Bata

| Perbandingan | | Kuat Tekan Rata-rata Kubus Batu Bata (U1) (kg/cm ²) | Kuat Tekan Rata-rata Setengah Batu Bata (U2) (kg/cm ²) |
|----------------|----------------|---|--|
| Tanah Liat (%) | Bottom ash (%) | | |
| 100 | 0 | 9.4526 | 13.4509 |
| 90 | 10 | 8.3533 | 15.5425 |
| 80 | 20 | 11.2270 | 13.1631 |
| 70 | 30 | 11.2969 | 16.1212 |
| 65 | 35 | 12.1777 | 12.5386 |
| 60 | 40 | 12.9128 | 11.9723 |
| 55 | 45 | 8.8002 | 13.0501 |
| 50 | 50 | 7.6845 | 10.2008 |
| 45 | 55 | 7.7644 | 11.2209 |
| 40 | 60 | 9.4519 | 10.5721 |

Hipotesis:

H₀ : U₁ = U₂

H₁ : U₁ ≠ U₂

Rata-rata U₁ = 9,9121

Standart Deviasi U₁ = 1,8693

Rata-rata U₂ = 12,7833

Standart Deviasi U₂ = 1,9745

$$S^2_p = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$= \frac{(10 - 1)1,8693^2 + (10 - 1)1,9745^2}{10 + 10 - 2} = 3,2789$$

$$\sqrt{S^2_p} = \sqrt{3,2789} = 1,81077$$

$$t \text{ hitung} = \frac{U_1 - U_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$= \frac{9,9121 - 12,7833}{1,81077 \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}}} = -3,5455$$

$\alpha = 0.05$, t tabel = 2,262

$|t \text{ hitung}| > t \text{ tabel}$, tolak H_0 . Berarti hasil metode pertama tidak sama dengan hasil metode kedua. Lebih lanjut dapat dilihat bahwa hasil rata-rata kuat tekan kubus batu bata dengan metode kedua, yaitu benda uji adalah setengah batu bata mempunyai nilai lebih besar daripada hasil metode pertama, yaitu benda uji dibentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm.

4.3.3.2 Poisson Ratio Batu Bata

Sama seperti pengujian kuat tekan, pengujian untuk mendapatkan nilai poisson ratio juga dilakukan dengan dua metode, yaitu benda uji dibentuk kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm (sesuai jurnal yang beredar) dan benda uji setengah bata (sesuai ASTM C-67). Kedua metode tersebut mendapatkan hasil rata-rata angka poisson ratio dengan nilai yang tidak terlalu jauh jaraknya. Untuk membuktikan apakah dari kedua hasil metode pengujian itu tidak terdapat perbedaan, maka dilakukan analisis statistik dengan menggunakan uji distribusi T dua sampel independen. Di bawah ini adalah tabel hasil nilai poisson ratio rata-rata dari kedua metode pengujian.

Tabel 4.59 Nilai Poisson Ratio Rata-Rata Batu Bata

| Perbandingan | | Poisson Ratio Rata-rata Kubus Batu Bata (U1) | Poisson Ratio Rata-rata Setengah Batu Bata (U2) |
|----------------|----------------|---|--|
| Tanah Liat (%) | Bottom ash (%) | | |
| 100 | 0 | 0.28 | 0.07 |
| 90 | 10 | 0.17 | 0.08 |
| 80 | 20 | 0.12 | 0.12 |
| 70 | 30 | 0.17 | 0.08 |
| 65 | 35 | 0.22 | 0.11 |
| 60 | 40 | 0.19 | 0.12 |
| 55 | 45 | 0.16 | 0.13 |
| 50 | 50 | 0.11 | 0.16 |
| 45 | 55 | 0.15 | 0.04 |
| 40 | 60 | 0.21 | 0.09 |

Hipotesis:

$$H_0 : U_1 = U_2$$

$$H_1 : U_1 \neq U_2$$

$$\text{Rata-rata } U_1 = 0,17989$$

$$\text{Standart Deviasi } U_1 = 0,04949$$

$$\text{Rata-rata } U_2 = 0,09700$$

$$\text{Standart Deviasi } U_2 = 0,03401$$

$$\begin{aligned} S^2_p &= \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \\ &= \frac{(10 - 1)0,04949^2 + (10 - 1)0,03401^2}{10 + 10 - 2} = 0,0018 \end{aligned}$$

$$\sqrt{S^2_p} = \sqrt{0,0018} = 0,04246$$

$$\begin{aligned} t \text{ hitung} &= \frac{U_1 - U_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \\ &= \frac{0,17989 - 0,09700}{0,04246 \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}}} = 4,365 \end{aligned}$$

$$\alpha = 0.05$$

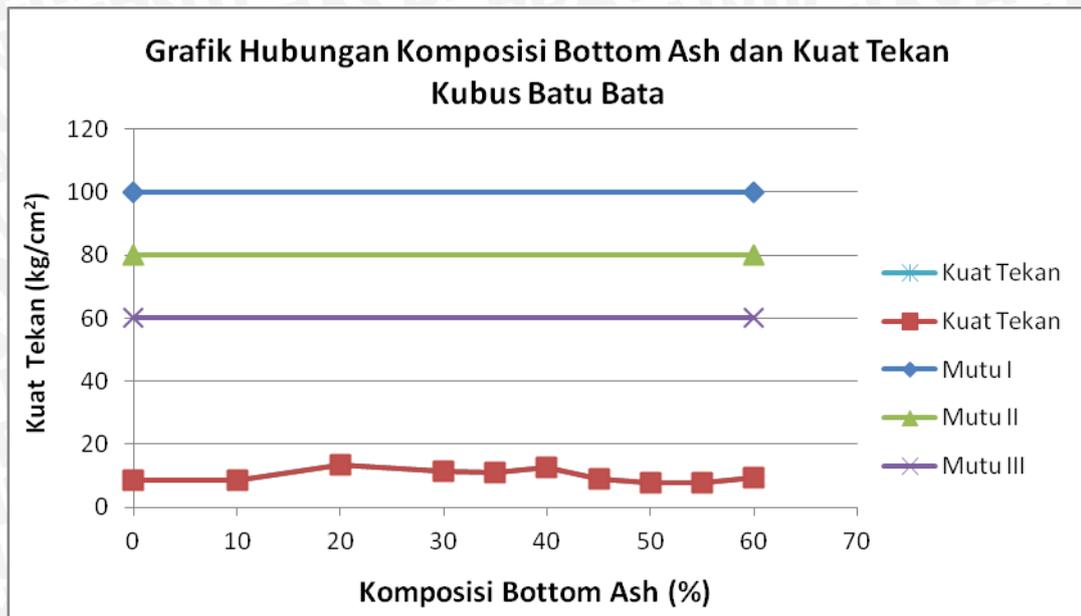
$$t \text{ tabel} = 2,262$$

$|t \text{ hitung}| > t \text{ tabel}$, tolak H_0 . Berarti hasil metode pertama tidak sama dengan hasil metode kedua.

4.4 Pembahasan

4.4.1 Kuat Tekan Batu Bata

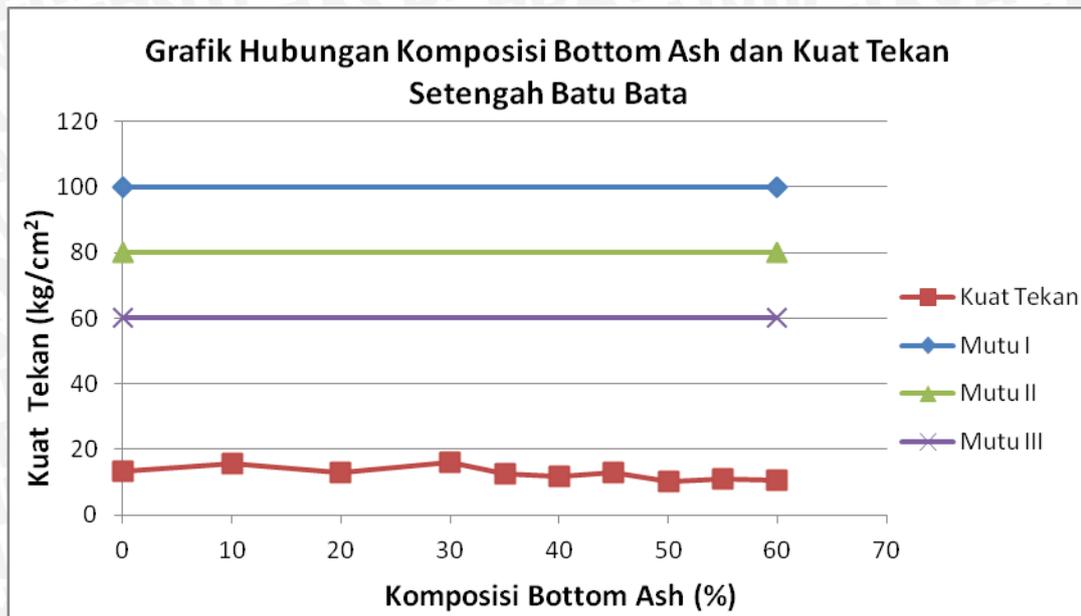
Kuat tekan batu bata dibagi menjadi 3 mutu, yaitu mutu I ($f'c > 100 \text{ kg/cm}^2$), mutu II ($100 \text{ kg/cm}^2 < f'c < 80 \text{ kg/cm}^2$), dan mutu III ($80 \text{ kg/cm}^2 < f'c < 60 \text{ kg/cm}^2$). Dalam persyaratan peraturan tahan gempa Indonesia, disyaratkan kekuatan tekan bata merah minimal adalah sebesar 30 kg/cm^2 , dan dalam Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia tahun 1982 kekuatan tekan bata merah untuk dinding pasangan adalah 25 kg/cm^2 .



Gambar 4.55 Grafik Hubungan Komposisi *Bottom ash* dan Kuat Tekan Kubus Batu Bata

Pada pengujian kuat tekan kubus batu bata, dapat dilihat dari **Grafik 4.53** bahwa semua variasi batu bata *bottom ash* tidak ada yang masuk ke dalam mutu I, mutu II, ataupun mutu III. Selain itu juga tidak memenuhi syarat kekuatan tekan batu bata di dalam peraturan tahanan gempa Indonesia dan Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia tahun 1982. Kuat tekan paling tinggi adalah kuat tekan kubus batu bata dengan komposisi *bottom ash* 40%, yaitu 12,91 kg/cm² dan kuat tekan paling kecil adalah kuat tekan kubus batu bata dengan komposisi *bottom ash* 50%, yaitu 7,68 kg/cm².

Sama seperti pengujian kuat tekan kubus batu bata, pada pengujian kuat tekan setengah batu bata dapat dilihat dari **Grafik 4.54** bahwa semua variasi batu bata *bottom ash* tidak ada yang masuk ke dalam mutu I, mutu II, ataupun mutu III. Selain itu juga tidak ada variasi yang memenuhi syarat kekuatan tekan batu bata di dalam peraturan tahanan gempa Indonesia dan Peraturan Umum Bahan Bangunan Indonesia tahun 1982. Kuat tekan paling tinggi adalah kuat tekan kubus batu bata dengan komposisi *bottom ash* 30%, yaitu 16,1212 kg/cm² dan kuat tekan paling kecil adalah kuat tekan kubus batu bata dengan komposisi *bottom ash* 50%, yaitu 10,2008 kg/cm².



Gambar 4.56 Grafik Hubungan Komposisi *Bottom ash* dan Kuat Tekan Setengah Batu Bata

Dari kedua metode yang digunakan, dapat diketahui bahwa batu bata bottom ash dari semua variasi komposisi bottom ash tidak ada yang memenuhi standart kuat tekan. Hal ini dikarenakan memang kuat tekan batu bata di Negara Indonesia masih jauh dari kuat tekan yang distandartkan. Selain itu menurut studi litelatur sebelumnya menyebutkan bahwa daerah tempat batu bata ini dibuat, yaitu Pakis, adalah daerah dengan kualitas batu bata yang tergolong rendah.

Untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh penambahan komposisi *bottom ash* terhadap kuat tekan batu bata dilakukan analisis dengan metode anova satu arah. Pada pengujian kubus batu bata, berdasarkan uji statistik varian satu arah, didapat $F_{tabel} = 2,13$ lebih kecil daripada $F_{hitung} = 2,17$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima sehingga terdapat pengaruh *bottom ash* sebagai pengganti tanah liat pada campuran batu bata terhadap kuat tekan. Untuk uji statistik regresi didapatkan kurva dengan persamaan $y = -0,003x^2 + 0,181x + 8,653$. Dari kurva tersebut dapat diketahui nilai optimum komposisi campuran bottom ash dengan menurunkan persamaan regresi polinomial kuat tekan kubus batu bata, yaitu pada komposisi campuran bottom ash 30,167% dengan kuat tekannya sebesar 11,3831 kg/cm². Penambahan bottom ash ini berpengaruh terhadap kuat tekan kubus batu bata dapat juga dilihat dari kuat tekan kubus batu bata pada komposisi variasi bottom ash 0% (9,45 kg/cm²) yang naik sampai ke kuat tekan optimum kubus batu bata pada komposisi variasi bottom ash 30,167% (11,3831

kg/cm²) dan kekuatan batu bata akan semakin menurun jika komposisi *bottom ash* melebihi 30,167%.

Sedangkan pada pengujian setengah batu bata, berdasarkan uji statistik varian satu arah, didapat $F_{\text{tabel}} = 2,13$ lebih kecil daripada $F_{\text{hitung}} = 6,56$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima sehingga terdapat pengaruh *bottom ash* sebagai pengganti tanah liat pada campuran batu bata terhadap kuat tekan. Untuk uji statistik regresi didapatkan kurva dengan persamaan $y = -0,002x^2 + 0,052x + 14,61$. Dari kurva tersebut dapat diketahui nilai maksimum komposisi campuran *bottom ash* dengan menurunkan persamaan regresi polinomial kuat tekan setengah batu bata, yaitu pada komposisi campuran *bottom ash* 13% dengan kuat tekannya sebesar 14,398 kg/cm². Penambahan *bottom ash* ini berpengaruh terhadap kuat tekan setengah batu bata dapat juga dilihat dari kuat tekan kubus batu bata pada komposisi variasi *bottom ash* 0% (13,4509 kg/cm²) yang naik sampai ke kuat tekan optimum kubus batu bata pada komposisi variasi *bottom ash* 13% (14,398 kg/cm²) dan kekuatan batu bata akan semakin menurun jika komposisi *bottom ash* melebihi 13%. Hal ini disebabkan karena komposisi tanah liat yang terkandung semakin sedikit pada campuran bahan pembuat batu bata.

4.4.2 Poisson Ratio Batu Bata

Selain mendapatkan nilai beban maksimum, pengujian pada batu bata juga menghasilkan nilai deformasi aksial dan deformasi lateral. Regresi terhadap hubungan antara ϵ_{aksial} dan $\epsilon_{\text{lateral}}$ menghasilkan persamaan linear tertentu. Persamaan tersebut yang akan digunakan untuk mendapatkan nilai poisson ratio batu bata yang diuji.

Pada pengujian kubus batu bata, nilai poisson ratio tertinggi dihasilkan oleh batu bata dengan komposisi *bottom ash* sebesar 0% (0,28) sedangkan nilai poisson ratio terendah dihasilkan dari batu bata dengan komposisi *bottom ash* 50% (0,11). Dan semua nilai poisson ratio yang dihasilkan dari pengujian kubus batu bata adalah di atas 0,1 yang artinya bahwa nilai poisson ratio yang dihasilkan sudah dapat mewakili keadaan batu bata yang sesungguhnya. Batasan nilai poisson ratio yang diharapkan $> 0,10$.

Sedangkan pada pengujian setengah batu bata, nilai poisson ratio tertinggi dihasilkan oleh batu bata dengan komposisi *bottom ash* 50% (0,16) dan nilai poisson ratio terendah dihasilkan oleh batu bata dengan komposisi *bottom ash* 45% (0,04).

Untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh penambahan komposisi *bottom ash* terhadap nilai poisson ratio batu bata dilakukan analisis dengan metode anova satu arah. Pada pengujian kubus batu bata, berdasarkan uji statistik varian satu arah, didapat

$F_{\text{tabel}} = 2,13$ lebih besar daripada $F_{\text{hitung}} = 1,28$, maka H_0 diterima dan H_a ditolak sehingga tidak terdapat pengaruh *bottom ash* sebagai pengganti tanah liat pada campuran batu bata terhadap nilai poisson ratio. Untuk uji statistik regresi didapatkan kurva polynomial pangkat 3 dengan persamaan $y = -0,000002x^3 + 0,000286x^2 + 0,009922x + 0,262514$. Sedangkan pada pengujian setengah batu bata, berdasarkan uji statistik varian satu arah, didapat $F_{\text{tabel}} = 2,13$ lebih kecil daripada $F_{\text{hitung}} = 3,022$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima sehingga terdapat pengaruh *bottom ash* sebagai pengganti tanah liat pada campuran batu bata terhadap nilai poisson ratio. Untuk uji statistik regresi didapatkan kurva polynomial pangkat 3 dengan persamaan $y = -0,000001x^3 + 0,000022x^2 + 0,0000940x + 0,076569$. Semakin bertambah komposisi *bottom ash* pada campuran batu bata akan semakin besar nilai poisson rasionya karena poisson ratio juga bergantung dengan nilai kuat tekan pada batu bata itu sendiri.

4.4.3 Uji Statistik Distribusi T

Penelitian ini menggunakan dua metode untuk pengujian kuat tekan dan uji poisson ratio batu bata, yaitu 1) benda uji dibentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm, 2) benda uji adalah setengah batu bata.

Dari hasil analisis didapatkan masing-masing nilai untuk kuat tekan kubus batu bata dan setengah batu bata serta poisson ratio kubus batu bata dan setengah batu bata. Untuk dapat lebih melihat apakah nilai-nilai yang dihasilkan terdapat persamaan atau berbeda, dilakukan uji statistik distribusi T.

Hasil analisis uji statistik distribusi T untuk kuat tekan dari kedua metode, diperoleh $|t_{\text{hitung}}| = 3,5455$ lebih besar dari $t_{\text{tabel}} = 2,62$, maka tolak H_0 berarti hasil dari metode pertama (kubus batu bata) tidak sama dengan hasil dari metode kedua (setengah batu bata). Lebih lanjut dapat dilihat bahwa hasil rata-rata kuat tekan kubus batu bata dengan metode kedua, yaitu benda uji adalah setengah batu bata mempunyai nilai lebih besar daripada hasil metode pertama, yaitu benda uji dibentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm.

Jika dilihat dengan kasat mata bahwa nilai kuat tekan rata-rata kubus batu bata dan kuat tekan rata-rata setengah batu bata tidak memiliki perbedaan yang cukup jauh karena rentang angka yang dihasilkan juga tidak terlalu lebar tapi jika dilakukan uji statistik distribusi T dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan antara nilai kuat tekan rata-rata kubus batu bata dan kuat tekan rata-rata setengah batu bata. Terjadinya perbedaan dalam kedua metode ini bisa dikarenakan kondisi benda uji itu sendiri.

Pencampuran bottom ash ke dalam bahan pembuat batu bata menyebabkan batu bata menjadi lebih rapuh dan rentan sekali retak. Oleh karena itu nilai kuat tekan rata-rata kubus batu bata yang dihasilkan lebih rendah dari nilai kuat tekan rata-rata setengah batu bata.

Metode pengujian dengan membentuk benda uji batu bata menjadi kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm juga belum distandarkan oleh pemerintah karena metode pengujian tersebut banyak yang menggunakannya saat pengujian. Sedangkan metode setengah batu bata sudah tercantum di dalam ASTM C-67. Lebih lanjut dapat dilihat bahwa hasil rata-rata kuat tekan kubus batu bata dengan metode kedua, yaitu benda uji adalah setengah batu bata mempunyai nilai lebih besar daripada hasil metode pertama, yaitu benda uji dibentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm.

Sama halnya dengan hasil analisis uji statistik distribusi T untuk nilai poisson ratio dari kedua metode, diperoleh $|t \text{ hitung}| = 4,365$ lebih besar dari $t \text{ tabel} = 2,62$, maka tolak H_0 berarti hasil dari metode pertama (kubus batu bata) tidak sama dengan hasil dari metode kedua (setengah batu bata).

4.4.4 Uji TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) Batu Bata

Bottom ash yang digunakan untuk bahan campuran batu bata ini adalah limbah dari hasil pembakaran bahan bakar pembangkit tenaga listrik. Banyak zat-zat yang berbahaya untuk lingkungan, karena itu bottom ash dimasukkan ke dalam kategori limbah B3. Untuk mengetahui apakah batu bata hasil pencampuran antara tanah liat dan bottom ash pada penelitian ini, dilakukan uji TCLP pada batu bata yang sudah jadi. Batu bata yang digunakan untuk uji TCLP adalah batu bata dengan variasi komposisi bottom ash paling besar pada penelitian ini, yaitu batu bata dengan variasi komposisi bottom ash 60%. Uji TCLP ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS Surabaya. Parameter yang dipakai untuk uji TCLP ini adalah Tembaga (Cu), Kadmium (Cd), Timbal (Pb), Total Kromium (Cr), dan Seng (Zn). Tabel di bawah ini adalah table hasil uji TCLP batu bata bottom ash dengan variasi komposisi bottom ash 60%:

Tabel 4.60 Hasil Uji TCLP Batu Bata Bottom Ash 60%

| No. | Parameter | Konsentrasi dalam ekstraksi (mg/L) | Hasil Analisa (mg/L) | Metode Analisa |
|-----|--------------------|------------------------------------|----------------------|----------------|
| 1 | Tembaga (Cu) | 10,00 | 0,250 | Agitasi/AAS |
| 2 | Kadmium (Cd) | 1,00 | 0,000 | Agitasi/AAS |
| 3 | Timbal (Pb) | 5,00 | 0,000 | Agitasi/AAS |
| 4 | Total Kromium (Cr) | 5,00 | 1,100 | Agitasi/AAS |
| 5 | Seng (Zn) | 50,00 | 0,620 | Agitasi/AAS |

Dari hasil analisis ekstraksi, batu bata dengan campuran *bottom ash* 60 % dinyatakan aman untuk lingkungan.

