

**PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH PABRIK BATU ALAM  
JUNREJO KOTA BATU SEBAGAI AGREGAT KASAR PADA  
VARIASI UKURAN DAN PERSENTASE LIMBAH TERHADAP  
MODULUS ELASTISITAS BETON**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Bagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



**Disusun Oleh :**

**GANDHI INDRA PERMANA  
0110610039-61**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
MALANG  
2007**

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah SKRIPSI ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur – unsur PLAGIASI, saya bersedia SKRIPSI ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang – undangan yang berlaku. (UU No.20 Tahun 2003 Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, Juli 2007

Mahasiswa,

Nama : GANDHI INDRA P.

Nim : 0110610039 – 61

Jurusan : SIPIL

0110610066 – 61

0110610066 – 61

0110610066 – 61

0110610066 – 61

0110610066 – 61

0110610066 – 61

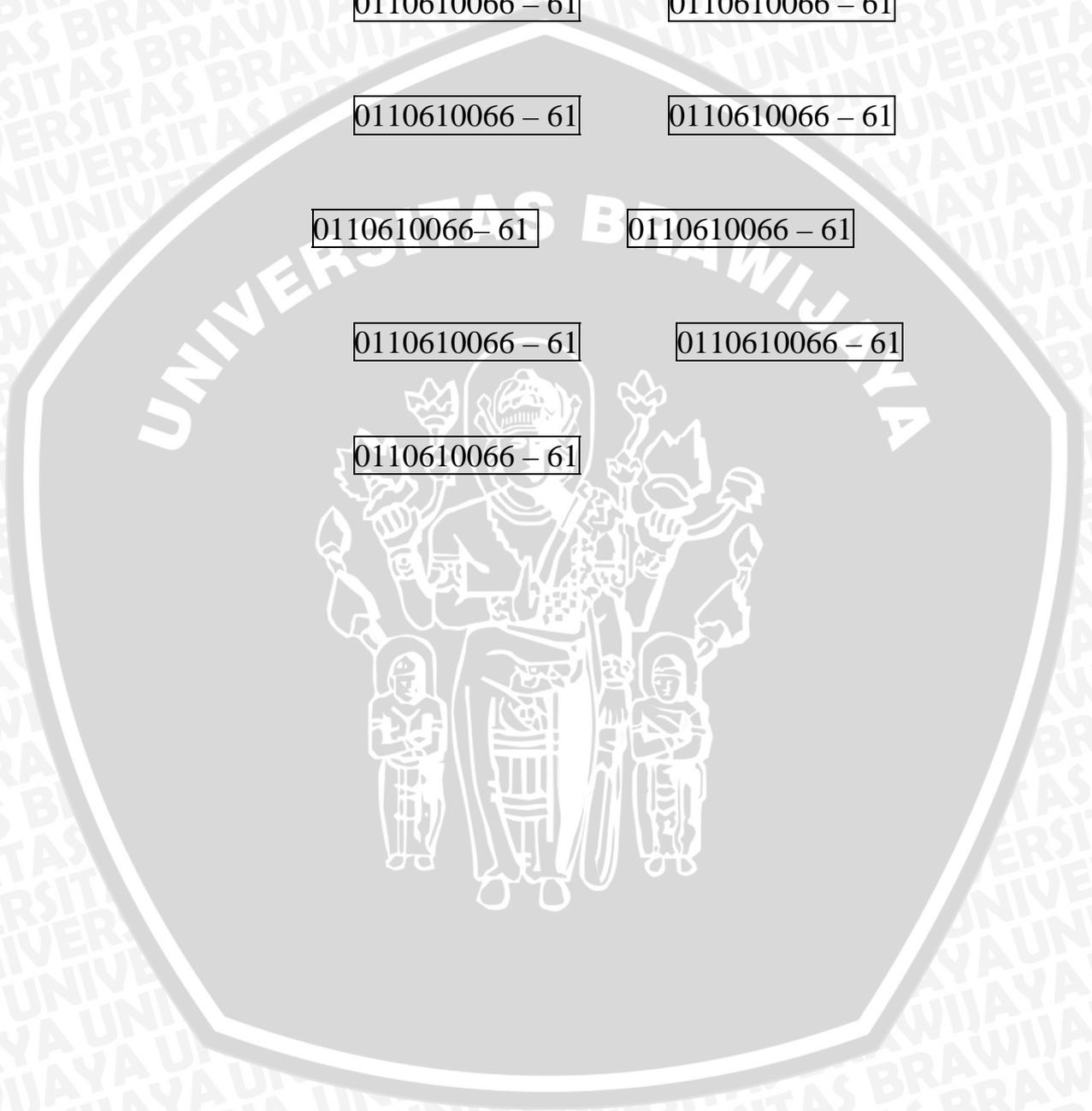
0110610066 – 61

0110610066 – 61

0110610066 – 61

0110610066 – 61

0110610066 – 61



## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas semua berkat dan karuniaNya, sehingga saya dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan baik.

Skripsi ini disusun berdasarkan pengamatan dan penelitian yang dilakukan di laboratorium selama kurang lebih 2 bulan. Penelitian-penelitian terdahulu dan literatur yang ada sangat membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Pada kesempatan ini, penyusun menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Orang tua yang telah memberikan dukungan baik doa, moral, maupun materiil
2. Ibu Ir. Edhi Wahjuni, MT selaku dosen pembimbing skripsi
3. Ibu Dr.Ir. Sri Murni Dewi, MS selaku dosen pembimbing skripsi
4. Ibu Ir. Siti Nurlina, MT selaku dosen penguji
5. Teman-teman di Sipil Brawijaya terutama angkatan 2001
6. Rekan-rekan dan pihak lain yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah membantu selama proses penelitian hingga terselesaikannya laporan skripsi ini

Penyusun menyadari bahwa laporan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu segala saran dan kritik sangat saya harapkan, agar tercapai hasil yang lebih baik. Harapan saya semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Juli 2007

Penyusun

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR LAMPIRAN .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Beton Normal .....	4
2.2 Semen .....	4
2.3 Agregat .....	5
2.3.1 Agregat Halus .....	7
2.3.2 Agregat Kasar .....	7
2.3.2.1 Batuan Basalt .....	8
2.4 Air .....	9
2.5 Faktor Air Semen .....	9
2.6 Modulus Elastisitas Beton .....	10
2.8 Hipotesis Penelitian .....	13

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	14
3.2	Alat dan Bahan .....	14
3.3	Analisis Bahan yang digunakan .....	14
3.3.1	Limbah Batu Alam .....	14
3.3.2	Pasir .....	15
3.3.3	Air .....	15
3.4	Langkah-Langkah Penelitian .....	15
3.5	Rancangan Penelitian .....	15
3.6	Langkah Langkah Percobaan .....	17
3.7	Variabel Penelitian .....	18
3.8	Analisa Data .....	18
3.8.1	Analisis Kurva Tegangan Regangan .....	18
3.8.2	Analisis Modulus Elastisitas .....	19
3.8.3.1	Analisis Varian .....	19
3.8.3.2	Analisis Regresi .....	20

**BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1	Analisis bahan yang digunakan .....	21
4.1.1	Semen .....	21
4.1.2	Air .....	21
4.1.3	Agregat Halus .....	21
4.1.4	Agregat Kasar .....	23
4.2	Pengujian Beton Segar .....	28
4.3	Pengujian Beton Keras .....	29
4.3.1	Perhitungan Modulus Elastisitas .....	30
4.4	Pengujian Hipotesis .....	34
4.4.1	Pengaruh penggunaan limbah batu alam junrejo dengan	



ukuran dan komposisi campuran yang bervariasi akan berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas beton .....	34
4.4.2 Analisis Dua Arah .....	48
4.4.3 Analisis Regresi .....	52
4.4 Pembahasan .....	54
4.5.1 Pengaruh variasi ukuran maksimum agregat terhadap modulus elastisitas beton .....	54
4.5.2 Pengaruh variasi persentase limbah terhadap modulus elastisitas beton .....	55
4.5.3 Hubungan antara variasi persentase limbah dan ukuran maksimum agregat kasar terhadap modulus elastisitas .....	56
4.5.3 Hasil analisis regresi untuk hubungan antara persentase limbah terhadap modulus elastisitas beton .....	56
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	58
5.2 Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	60
<b>LAMPIRAN</b> .....	L

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Halus .....	LI
Lampiran 2 Hasil Pemeriksaan Gradasi Batu Pecah Biasa .....	LII
Lampiran 3 Hasil Pemeriksaan Gradasi Limbah Batuan .....	LIII
Lampiran 4 Perencanaan Mix Disain .....	LIV
Lampiran 5 Pembuatan Benda Uji .....	LV
Lampiran 6 Data Hasil Uji Tekan dan Modulus Elastisitas .....	LVI
Lampiran 7 Dokumentasi .....	LVII



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kurva tegangan regangan pada berbagai macam mutu beton .....	11
Gambar 2.2	Modulus Elastisitas Beton .....	12
Gambar 3.1	Langkah-Langkah Penelitian .....	15
Gambar 4.1.3	Analisa Gradasi Agregat Halus .....	22
Gambar 4.1.4 a <sub>1</sub>	Analisa Gradasi Agregat Kasar .....	24
Gambar 4.1.4 a <sub>2</sub>	Analisa Gradasi Agregat Kasar .....	27
Gambar 4.1.4 b	Hubungan tegangan regangan pada salah satu contoh benda uji	30
Gambar 4.3.2 a	Grafik nilai modulus elastisitas beton rata-rata .....	33
Gambar 4.3.2 b	Grafik hubungan persentase limbah terhadap modulus elastisitas beton rata-rata .....	33
Gambar 4.4.1 a	Grafik hubungan nilai modulus elastisitas beton rata-rata pada komposisi 100% BPB + 0% LB .....	45
Gambar 4.4.1 b	Grafik hubungan nilai modulus elastisitas beton rata-rata pada komposisi 75% BPB + 25% LB .....	45
Gambar 4.4.1 c	Grafik hubungan nilai modulus elastisitas beton rata-rata pada komposisi 50% BPB + 50% LB .....	45
Gambar 4.4.1 d	Grafik hubungan nilai modulus elastisitas beton rata-rata pada komposisi 25% BPB + 75% LB .....	46
Gambar 4.4.1 e	Grafik hubungan nilai modulus elastisitas beton rata-rata pada komposisi 0% BPB + 100% LB .....	46
Gambar 4.4.1 f	Grafik hubungan nilai modulus elastisitas beton rata-rata pada ukuran maksimum agregat kasar 1.91 cm .....	46
Gambar 4.4.1 g	Grafik hubungan nilai modulus elastisitas beton rata-rata pada ukuran maksimum agregat kasar 2.54 cm .....	47
Gambar 4.4.1 h	Grafik hubungan nilai modulus elastisitas beton rata-rata pada ukuran maksimum agregat kasar 3.81 cm .....	47
Gambar 4.4.3a	Grafik korelasi nilai modulus elastisitas beton dengan	

	persent limbah pada ukuran maksimum agregat 1.91 cm .....	52
Gambar 4.4.3b	Grafik korelasi nilai modulus elastisitas beton dengan persentase limbah pada ukuran maksimum agregat 2.54 cm .....	52
Gambar 4.4.3a	Grafik korelasi nilai modulus elastisitas beton dengan persentase limbah pada ukuran maksimum agregat 3.81 cm .....	53

### DAFTAR TABEL

Tabel 2.2	Komposisi Semen Portland Tipe I .....	5
Tabel 3.1	Rancangan Pembuatan Benda Uji .....	17
Tabel 4.1.3 a	Hasil analisa gradasi agregat halus .....	21
Tabel 4.1.3 b	Hasil analisa berat jenis dan absorpsi pasir .....	22
Tabel 4.1.3 c	Hasil analisa kadar air pasir .....	23
Tabel 4.1.4 a <sub>1</sub>	Hasil analisa gradasi agregat kasar .....	24
Tabel 4.1.4 b <sub>1</sub>	Hasil analisa berat jenis dan absorpsi batu pecah biasa .....	25
Tabel 4.1.4 c <sub>1</sub>	Hasil Analisa Kadar Air batu pecah biasa .....	25
Tabel 4.1.4 a <sub>2</sub>	Hasil analisa gradasi agregat kasar .....	26
Tabel 4.1.4 b <sub>2</sub>	Hasil analisa berat jenis dan absorpsi limbah batuan .....	27
Tabel 4.1.4 c <sub>2</sub>	Hasil Analisa Kadar Aagregat Kasar.....	28
Tabel 4.2.1	Hasil pengujian rata-rata slump .....	28
Tabel 4.3.1	Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan Beton (kg/cm <sup>2</sup> ) .....	29
Tabel 4.3.2	Modulus Elastisitas Beton hasil perhitungan (Kg/cm <sup>2</sup> ) .....	32
Tabel 4.3.3	Rekapitulasi Modulus Elastisitas Beton Rata-Rata (kg/cm <sup>2</sup> ) .....	33
Tabel 4.4.1a	Analisis satu arah pada variasi campuran agregat kasar 100 % BPB + 0 % LB .....	34
Tabel 4.4.1b	Analisis satu arah pada variasi campuran agregat kasar 75 % BPB + 25 % LB .....	35
Tabel 4.4.1c	Analisis satu arah pada variasi campuran agregat kasar 50 % BPB + 50 % LB .....	37

Tabel 4.4.1d	Analisis satu arah pada variasi campuran agregat kasar 25% BPB + 75 % LB .....	38
Tabel 4.4.1e	Analisis satu arah pada variasi campuran agregat kasar 0 % BPB + 100 % LB .....	39
Tabel 4.4.1f	Analisis satu arah pada variasi ukuran maksimum agregat kasar 1.91 cm .....	41
Tabel 4.4.1g	Analisis satu arah pada variasi ukuran maksimum agregat kasar 2.54 cm .....	42
Tabel 4.4.1h	Analisis satu arah pada variasi ukuran maksimum agregat kasar 3.81 cm .....	43
Tabel 4.4.2	Analisis dua arah .....	48
Tabel 4.5.1	Resume $F_{hitung}$ dan $F_{tabel}$ untuk variasi ukuran maksimum agregat terhadap modulus elastisitas beton .....	54
Tabel 4.5.2	Resume $F_{hitung}$ dan $F_{tabel}$ untuk variasi komposisi agregat terhadap modulus elastisitas beton .....	55



## RINGKASAN

Gandhi Indra Permana, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, Juli 2007, *Pengaruh Penggunaan Limbah Pabrik Batu Alam Junrejo Kota Batu Sebagai Agregat Kasar Pada Variasi Ukuran dan Persentase Limbah Terhadap Modulus Elastisitas Beton*, Dosen Pembimbing : Ir Edhi Wahjuni S, MT. dan Dr. Ir. Sri Murni Dewi, MS.

---

Semakin majunya perkembangan teknologi dalam era global dewasa ini menyebabkan semakin meningkatnya laju pembangunan fisik di Indonesia, khususnya di bidang konstruksi. Seiring dengan pembangunan tersebut maka dibutuhkan pemenuhan bahan baku yang sesuai dengan yang diperlukan. Hal ini menimbulkan kekhawatiran, karena semakin menipisnya persediaan bahan baku yang ada sehingga sulit untuk memperolehnya maka berakibat mahalnnya harga bahan baku tersebut. Penggunaan bahan baku dari limbah merupakan salah satu alternatif yang cukup potensial untuk diteliti.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dilihat dari nilai modulus elastisitas campuran beton yang menggunakan limbah pabrik batu alam Junrejo, kota Batu sebagai pengganti agregat kasar berupa batu pecah biasa. Untuk maksud ini, penelitian yang akan dilakukan adalah pengujian pada masing-masing benda uji berupa silinder beton dengan diameter 15 cm tinggi 30 cm untuk mendapatkan data berupa nilai modulus elastisitas beton pada setiap persentase limbah mulai dari 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.

Secara eksperimental, data yang diperoleh kurang bisa menggambarkan pengaruh dari penggunaan limbah batuan tersebut dalam campuran beton, namun secara analisis dapat diketahui dimana penggunaan limbah batuan tersebut berpengaruh nyata terhadap nilai modulus elastisitas beton. Maksudnya adalah komposisi agregat kasar pada penggunaan dari 0 % limbah sampai 100 % limbah menunjukkan kondisi optimum yaitu pada komposisi 50 % BPB + 50 % LB pada ukuran agregat 2.54 cm. Apabila penggunaan agregat limbah ditambah lebih 25 % maka terjadi penurunan nilai modulus elastisitas beton yang cukup signifikan. Kecuali pada ukuran butiran maksimum 1.91 cm pengaruh variasi persentase limbah terlihat nyata. Hal ini disebabkan karena pada ukuran 1.91 baik agregat batu pecah biasa (BPB) maupun limbah batuan (LB) memiliki bentuk yang hampir sama yaitu mendekati kubus. Agregat limbah (LB) mempunyai permukaan yang lebih licin daripada batu pecah biasa. Sedangkan pada ukuran maksimum agregat kasar 3.81 cm terjadi penurunan nilai kuat tekan beton pada penggunaan limbah batuan diatas 50% sampai 100%. Hal ini dikarenakan semakin besarnya ukuran agregat maksimum yang digunakan, maka akan semakin besar pula permukaan licin yang terdapat pada agregat kasar tersebut.

Setelah diketahui pengaruh dari penggunaan limbah batuan tersebut dalam campuran beton, maka diharapkan bisa dijadikan acuan dari hasil penelitian skripsi ini untuk menggunakan limbah batuan pabrik batu alam Junrejo, kota Batu. Tentunya sesuai dengan komposisi yang disarankan dalam penelitian ini.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang Masalah

Pertumbuhan tingkat populasi penduduk di Indonesia mendorong meningkatnya laju pembangunan fisik khususnya di bidang konstruksi sebagai akibat dari usaha manusia dalam memenuhi kebutuhan yang semakin kompleks. Kekhawatiran pun muncul karena persediaan bahan baku material yang semakin menipis akan berakibat semakin mahal biaya total konstruksi yang ironis dengan kondisi negara saat ini. Oleh karena itu peneliti beranggapan bahwa penggunaan bahan baku dari limbah merupakan salah satu alternatif yang cukup potensial untuk diteliti. Pabrik batu alam di Desa Junrejo, Kota Batu merupakan pabrik yang menggunakan bahan baku batu alam sebagai produk unggulannya. Batu alam dengan ukuran besar diiris dan dibentuk menjadi model dan ukuran tertentu, kemudian sisa-sisa butiran batuan yang tidak dipakai ( limbah padat ) dibuang.

Karena itu dianggap perlu untuk melakukan riset dan pengembangan teknologi bahan untuk mendapatkan alternatif bahan baku yang diharapkan bisa memenuhi persyaratan keamanan, kemudahan dalam pengerjaan, dan yang tak kalah penting yaitu kemudahan penyediaan bahan baku atau dengan kata lain lebih ekonomis daripada penggunaan bahan baku yang umum digunakan. Dalam hal ini alternatif bahan baku yang dicoba adalah limbah batuan dari pabrik kerajinan batu alam di Desa Junrejo sebagai pengganti butiran kasar.

Peneliti memilih limbah batuan alam ini sebagai agregat kasar pada benda uji karena secara fisik mempunyai karakteristik fisik yang cukup baik. Sebagai batuan beku yang kompak, kekerasan batuan alam umumnya lebih baik dibandingkan dengan kerikil alam atau batu pecah biasa. Disamping itu pihak pabrik juga merasa kesulitan dalam hal pembuangan limbah yang cukup banyak karena belum ada yang memanfaatkannya. Kekurangan / kelemahan yang kami perhatikan yaitu banyaknya bentuk batuan yang pipih dan permukaan yang halus dibandingkan dengan batu pecah. Bentuk pipih menyebabkan luas permukaan yang lebih besar, sehingga materi pengikat ( semen ) yang dibutuhkan semakin banyak. Sedangkan permukaan yang halus akan mengurangi kekuatan lekatan oleh pasta semen.

Disamping kuat tekan dan kuat tarik, sifat lain dari beton yang perlu dipertimbangkan sehubungan dengan fungsinya sebagai bahan konstruksi adalah sifat elastisitas terhadap pembebanan. Parameter yang digunakan untuk mengetahui sifat elastisitas beton adalah dengan mengukur modulus elastisitas beton (Modulus Young). Modulus elastisitas dipengaruhi oleh kekuatan, umur beton, sifat dari agregat dan semen, kecepatan pembebanan, jenis agregat, dan ukuran benda uji.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian diatas, maka masalah dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti yaitu sebagai berikut : Apakah variasi persentase pemakaian limbah batu alam Junrejo berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas beton.

## **I.3 Batasan Masalah**

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan pembatasan-pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
2. Semen yang digunakan adalah Semen Gresik Tipe I. Untuk semen tidak dilakukan penelitian khusus
3. Agregat kasar yang digunakan adalah limbah batuan dari pabrik pengrajin batu alam di Desa Junrejo, Kota Batu.
4. Menggunakan variasi ukuran butiran 1.9 cm, 2.54 cm, dan 3.81 cm untuk setiap persentase limbah sebesar 100%, 75%, 50%, 25%, dan 0%.
5. Jenis limbah batuan yang digunakan adalah batuan basalt.
6. Air bersih yang digunakan berasal dari PDAM Kodya Malang.
7. Tidak membahas dan mempelajari reaksi kimia.
8. Uji tekan dilakukan saat benda uji berumur 28 hari.
9. Kurva tegangan regangan yang diperhitungkan dalam analisis adalah dari tegangan nol sampai tegangan maksimum.
10. Modulus elastisitas didefinisikan sebagaimana direkomendasikan oleh ASTM C 469 yaitu Modulus Chord.

#### **I.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh pemakaian limbah batu alam Junrejo sebagai agregat kasar pada variasi persentase limbah dan ukuran maksimum agregat kasar terhadap nilai modulus elastisitas beton

#### **I.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan pengetahuan tambahan kepada peneliti tentang pengembangan teknologi bahan, yaitu untuk mengetahui nilai modulus elastisitas beton untuk tiap persentase penggunaan limbah batuan alam sebagai agregat kasar pada variasi ukuran maksimum agregat. Pada akhirnya peneliti dapat mengetahui apakah limbah batu alam Junrejo dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat kasar berupa batu pecah biasa pada syarat atau batas-batas tertentu.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Beton Normal

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan bantuan atau tanpa bahan tambahan membentuk masa padat (SK SNI T – 15 – 1991 – 03). Reaksi kimiawi antara semen dengan air akan menghasilkan suatu pasta yang akan mengeras yang berfungsi sebagai media pengikat antara partikel-partikel agregat. Agregat sendiri dianggap sebagai bahan yang tidak bereaksi (inert).

Yang dimaksud beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi antara 2200 – 2500 kg/m<sup>3</sup> dan menggunakan agregat normal berupa kerikil atau batu pecah tanpa menggunakan bahan tambahan (addictive).

Sifat alami kekuatan beton merupakan hal yang kompleks, dan belum diketahui sepenuhnya. Tetapi pada umumnya, kekuatan beton ditentukan oleh proporsi perbandingan campuran bahan penyusunnya, factor air semen, cara pengerjaan, sifat dan karakteristik bahan-bahan penyusunnya terutama agregat. Keruntuhan dapat timbul pada agregat maupun pada adukannya ketika proses kehancuran berlangsung. Bila agregat lemah, kehancuran akan terjadi pada agregatnya. Agregat yang bersih akan memberikan daya lekatan antara agregat dan semen yang lebih baik.

#### 2.2 Semen

Bahan semen pada pekerjaan beton berfungsi sebagai bahan pengikat antara agregat kasar dan agregat halus, sehingga menghasilkan bentuk yang direncanakan. Karena fungsinya sebagai bahan pengikat, maka semen harus memiliki persyaratan-persyaratan sebagai bahan pengikat. (Amrei Sjafei, 2005)

Semen Portland adalah bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Menurut ASTM C-150,1985 semen Portland didefinisikan sebagai semen hidrolis yang dihasilkan dengan menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolis, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama dengan bahan utamanya.

Semen Portland yang digunakan di Indonesia harus memenuhi syarat SII.0013-81 atau Standar Uji Bahan Bangunan Indonesia 1986, dan harus memenuhi persyaratan

yang ditetapkan dalam standar tersebut (PB.1989:3.2-8).

Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi penting. (Mulyono Tri, 2003)

Peraturan beton 1989 (SKBI.1.4.53.1989) dalam ulasannya di halaman 1 membagi semen portland menjadi lima jenis (SK.SNI T-15-1990-03:2) yaitu :

- Tipe I : Untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus seperti yang disyaratkan jenis-jenis lain.
- Tipe II : Untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Tipe III : Untuk penggunaan yang memerlukan kekuatan tinggi pada fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
- Tipe IV : Untuk penggunaan yang memerlukan panas hidrasi yang rendah.
- Tipe V : Untuk penggunaan yang memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

Tabel 2.1 Komposisi Semen Portland Tipe I.

Komposisi	Prosentase (%)
Bagian yang tidak larut	0.22
SiO <sub>2</sub>	20.44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.64
CaO	65.46
MgO	0.87
So <sub>3</sub>	1.89
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.21
Kapur bebas	1.21
Hilang pada pemijaran	0.7

Sumber : Departemen Perindustrian. Badan penelitian dan Pengembangan Industri

Pada reaksi antar semen dan air akan terjadi dua proses, yaitu proses pengikatan awal dan proses pengikatan akhir. Proses pengikatan awal adalah keadaan dimana semen yang bereaksi dengan air (pasta semen) mulai mengeras, sedangkan proses pengikatan akhir adalah keadaan dimana reaksi dari pasta semen berakhir dan mengeras.

### 2.3 Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar dan beton, dipakai bersama dengan bahan perekat, sehingga

membentuk suatu massa padat. Walaupun fungsinya hanya sebagai bahan pengisi, hal ini tidak berarti bahwa peranannya dalam menentukan kekuatan beton lebih kecil daripada semen. (Amrei Sjafei, 2005)

Agregat menempati sekitar 70-75 persen dari volume total beton, sehingga dengan menggunakan komposisi agregat semaksimal mungkin akan diperoleh harga beton yang murah. Sifat dan karakteristik agregat sangat menentukan kualitas akhir beton yang dikerjakan. Agregat dengan ukuran butiran lebih halus memerlukan penggunaan semen lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan butiran yang lebih kasar sehingga berdampak pada harga akhir beton. (Amrei Sjafei, 2005)

Agregat dengan sifat kekerasan, kepadatan, dan keawetan tinggi akan menghasilkan beton berkualitas tinggi, demikian pula sebaliknya. Agregat dengan kekerasan, kepadatan, dan keawetan tinggi mempunyai sifat kekekalan yang baik. (Amrei Sjafei, 2005). Kekerasan atau kekuatan agregat tergantung dari bahannya dan tidak dipengaruhi oleh lekatan antar butiran satu dengan lainnya. Agregat yang lebih kuat biasanya memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi. Kekerasan justru lebih menguntungkan karena dapat mengurangi konsentrasi tegangan yang terjadi. (Mulyono Tri, 2005).

Kualitas agregat sangat ditentukan oleh kualitas batuan asal serta kandungan mineralnya. Batuan asal yang memiliki sifat kekekalan tinggi tidak selamanya menghasilkan agregat bermutu tinggi, apabila batuan tersebut telah mengalami pencemaran maupun kerusakan akibat cuaca, tekanan, dan temperatur. Tekanan dan temperatur mengakibatkan perubahan komposisi kimia pada batuan asal. Demikian pula batuan yang mengalami pencemaran, baik oleh bahan organik ataupun anorganik dapat mempengaruhi kualitas agregat sehingga memerlukan tindakan pencucian terlebih dahulu sebelum digunakan. (Amrei Sjafei, 2005)

Agregat yang baik harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat membentuk suatu materi yang padat untuk mengurangi pori-pori dan rongga udara. Bila butiran-butiran agregat mempunyai ukuran yang seragam, volume pori antar butiran akan menjadi besar. Sebaliknya jika butiran-butirannya bervariasi, maka pori antar butiran menjadi lebih kecil karena sebagian pori-pori akan terisi oleh butiran yang lebih kecil. ( Samekto, Wuryati dan Rahmadiyanto, Candra, 2001, 22). Banyaknya pori tidak dikehendaki karena kenyataannya pori-pori tidak memberikan sumbangan kekuatan terhadap beton. (Winter, George and Nilson Arthur, 1993, 6)

Berdasarkan uraian diatas terlihat betapa pentingnya peran agregat dalam pekerjaan beton, di samping peran bahan baku pembuat beton lainnya. Untuk itu diperlukan perhatian sungguh-sungguh dalam menentukan pilihan jenis agregat yang akan digunakan, agar sesuai dengan sifat pekerjaan dan lingkungan dimana bangunan didirikan.tindakan ini dilakukan agar beton yang dibuat memiliki kualitas tinggi dan dengan harga relatif murah. (Amrei Sjafei, 2005)

### **2.3.1 Agregat Halus**

Agregat halus untuk beton dapat berupa pasir alami sebagai hasil disintegasi alami dari batuan-batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu. Agregat halus harus terdiri dari butiran yang tajam dan keras. Hutiran agregat halus harus bersifat kekal, artinya tidak hancur atau pecah oleh pengaruh cuaca seperti panas matahari dan hujan. Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 %, apabila lebih harus di cuci terlebih dahulu. Selain itu agregat halus tidak boleh mengandung organik-organik yang dapat merusak beton. Agregat halus apabila diayak harus lolos ayakan dengan diameter 4 mm. (Indra Cahya, 1984)

Pasir merupakan komponen spesi yang paling berpengaruh dalam beratnya. Pada spesi biasanya terdapat sekitar 60 – 80 % volume agregat. Pasir harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa spesi dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat. Pasir yang digunakan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- Pasir yang digunakan dapat berupa pasir alami atau buatan asal memenuhi syarat pasal 3.3 PBI 1971.
- Pasir harus mempunyai permukaan yang tajam.
- Tidak boleh mengandung lumpur dan bahan organik.
- Tidak boleh menggunakan pasir laut karena mengandung kadar garam yang cukup tinggi yang bersifat korosif.

### **2.3.2 Agregat Kasar**

Yang dimaksud agregat kasar adalah agregat yang mempunyai besar butiran lebih dari 5 mm (tertahan saringan dengan diameter 5 mm) ukuran maksimum agregat kasar bisa sampai 200 mm, misalnya untuk pekerjaan beton yang sifatnya massal seperti bendungan beton. Pada konstruksi beton, ukuran maksimum agregat kasar sebaiknya dibatasi sampai 40 mm. (Indra Cahya, 1984 ; 17)

Agregat kasar untuk beton dapat berupa koral sebagai hasil disintegrasi batuan atau berupa batu pecah yang dihasilkan mesin pemecah batu. Untuk menentukan apakah agregat tersebut dapat dipakai sebagai bahan beton terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan yang meliputi uji gradasi, kadar air, berat jenis, absorpsi air, dan lain-lain. Untuk menjamin kebersihan agregat terhadap kandungan lumpur, maka disarankan untuk melakukan pencucian agregat terlebih dahulu.

Untuk mendapatkan pengerjaan yang mudah dan menghasilkan beton yang ekonomis, diperlukan suatu gradasi yang serasi. Adukan beton yang konsisten dan menggunakan semen portland tertentu serta menggunakan agregat kasar yang bergradasi baik, akan menghasilkan beton yang lebih kuat daripada yang dibuat dengan agregat kasar yang beragam. Adukan beton dengan menggunakan agregat kasar yang bergradasi baik membutuhkan jumlah air yang lebih sedikit untuk mendapatkan beton yang mudah dikerjakan. Biasanya makin besar ukuran agregat kasar yang digunakan, semakin sedikit pasta semen yang diperlukan per meter kubik beton.

Dengan menggunakan agregat kasar yang lebih tajam, kasar dan pipih, dibutuhkan lebih banyak semen portland untuk mendapatkan beton yang lebih mudah dikerjakan, dibandingkan agregat kasar yang berbentuk kubus atau bulat. Pada umumnya beton yang dibuat dengan menggunakan agregat kasar/ batu pecah yang permukaannya kasar, berbentuk kubus akan menghasilkan beton dengan kuat tekan yang lebih kuat dibandingkan dengan beton yang dibuat dengan agregat kasar yang permukaannya licin. Ini disebabkan pula permukaan yang kasar akan memberikan ikatan yang lebih baik. (Indra Cahya, 1984 ; 18)

Kekuatan ikatan antara adukan dengan agregat kasar, dapat dipengaruhi oleh bentuk, ukuran dan kebersihan dari agregat. Agregat dengan permukaan licin mempunyai ikatan relatif lebih lemah bila dibandingkan dengan agregat yang mempunyai permukaan kasar.

### **2.3.2.1 Batuan Basalt**

Batuan aphanitik dari kelompok gabro disebut *basalt*. Basalt sebagian besar terbentuk sebagai lava pada saat sekarang. Bentuk yang paling banyak terdapat berupa lembaran di permukaan bumi dan mendominasi dari batuan beku yang berhubungan dengan *sabuk orogenik* ( orogenik belt ). Penyebaran dari lava basalt sangat luas sekali bahkan sampai 200.000 mil persegi dan dengan ketebalan maksimum 600 ft. Suatu

contoh sangat baik adalah lava dari gunung di Hawaii, dan contoh di Indonesia adalah lava gunung Galunggung.

Struktur yang banyak terdapat pada batuan basalt adalah holokristalin. Tekstur porfiritik disusun dari kristal subhedral dan euhedral sebagai fenokris sedangkan sebagai masa dasar terdiri dari mikrokristalin dan kacaan. Tekstur aliran terlihat dibawah mikroskop berupa penokris yang dikelilingi oleh mikrokristalin secara teratur.

Struktur yang banyak terdapat pada saat sekarang adalah struktur aliran, sebagai contoh lava dari gunung di Hawaii. Permukaan pada aliran lava sering ditemukan struktur rongga (versikular). Struktur mineral berbentuk poligonal yang tegak lurus. Dan struktur bantal (pillow structure) dari lava dimana pendinginannya terbentuk dibawah permukaan air, struktur ini berbentuk lava sub spheroidal.

Ciri-ciri fisik yang tampak pada batuan basalt antara lain

- batuan dengan struktur masif dan jaringan kristalin
- memiliki ukuran butiran yang cukup halus
- warna batuan cenderung gelap kehitaman

Komposisi mineralogi dan kimiawi dari batuan basalt banyak kesamaannya dengan Gabro terutama didalam komposisi kimia. Analisis kimiawi dari batuan basalt terdiri dari tholeitik dan high alkalin. ( Dody Setia Graha, 1987 ; 1 09 )

#### 2.4 Air

Pada pekerjaan, beton air berfungsi sebagai bahan baku yang memicu reaksi kimiawi semen sehingga semen mengeras, membersihkan agregat dari kotoran yang melekat, media pencampur untuk memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton. Selain itu, air juga berfungsi untuk menjaga temperatur tidak terlalu tinggi, sehingga proses hidrasi semen berjalan sempurna.

Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih dan tidak mengandung zat yang dapat menghalangi proses pengikatan antara semen dengan agregat, misalnya minyak, asam, alkali, zat organis, atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan. Pada umumnya air yang tidak berbau dan dapat diminum dapat digunakan sebagai bahan pencampur.

#### 2.5 Faktor Air Semen (FAS)

Disebut juga *water cement ratio* (wcr) yaitu berat air dibagi dengan berat semen. Faktor air semen adalah indikator penting dalam perancangan campuran beton. Pada

umumnya jumlah air yang digunakan untuk proses hidrasi adalah sekitar 25% dari berat semen. Jika air yang digunakan kurang dari 25%, maka kemudahan dalam pengerjaan (workability) tidak akan tercapai.

Beton yang memiliki workability didefinisikan sebagai beton yang dapat dengan mudah dikerjakan atau dituangkan (poured) ke dalam cetakan dan dapat dengan mudah dibentuk. FAS yang rendah menyebabkan air yang berada diantara bagian-bagian semen sedikit dan jarak antara butiran-butiran semen menjadi pendek. Akibatnya masa semen lebih menunjukkan keterkaitannya (kekuatan awal lebih berpengaruh). Duff dan Abrams (1919) meneliti hubungan antara faktor air semen dengan kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan uji silinder. Jika faktor air semen semakin besar, kekuatan tekan akan menurun, dikarenakan tambahan air akan menambah jumlah pori-pori.

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen, untuk membasahi agregat, dan untuk melumasi campuran agar mudah pengerjaannya. Karena karakter pasta semen merupakan hasil reaksi kimiawi antara semen dan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total material (semen + pasir) yang menentukan, melainkan hanya perbandingan air dan semen pada campuran yang menentukan. (Wang, Chu Kia dan Salmon, Charles G, 1994).

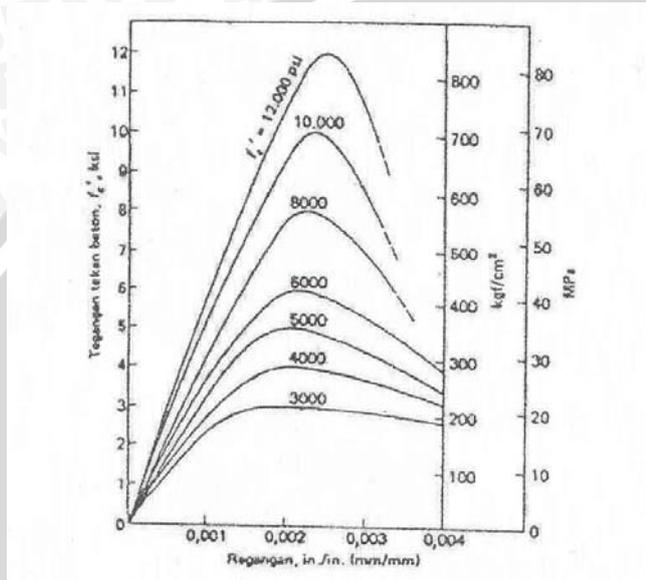
Penambahan air akan menyebabkan campuran beton semakin mudah dikerjakan, tetapi kekuatannya berkurang karena bertambahnya pori akibat adanya air bebas. Untuk mengurangi jumlah air bebas selain tetap mempertahankan kemudahan dalam pengerjaan, campuran tersebut harus ditambahkan semen. Sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak seluruhnya selesai. Sebagai akibatnya campuran spesi yang dihasilkan akan berkurang kekuatannya. Dengan demikian, perbandingan air-semen merupakan salah satu faktor yang menentukan kekuatan beton (Winter George dan Arthur H. Nilson, 1993)

## 2.6 Modulus Elastisitas Beton

Tolok ukur yang umum dari sifat elastis suatu bahan adalah modulus elastisitas yang merupakan perbandingan dari tegangan yang diberikan dengan deformasi yang terjadi per-satuan panjang sebagai akibat dari tegangan yang diberikan. (Murdock & Brook, 1979)

$$E = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}}$$

Dengan mengamati kurva tegangan-regangan beton dengan kuat tekan yang berbeda-beda, tampak bahwa umumnya tegangan maksimum tercapai saat nilai satuan regangan tekan  $\epsilon$  mencapai  $\pm 0,002$  (gambar 2.1). Kemudian nilai  $f'_c$  akan turun dengan bertambahnya nilai regangan sampai benda uji hancur pada saat nilai  $\epsilon$  mencapai 0,003-0,0045. SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2. menetapkan bahwa regangan kerja maksimum yang diperhitungkan dari serat tepi beton tekan terluar adalah 0,003 sebagai batas hancur.



**Gambar 2.1 Kurva tegangan regangan pada berbagai macam mutu beton**

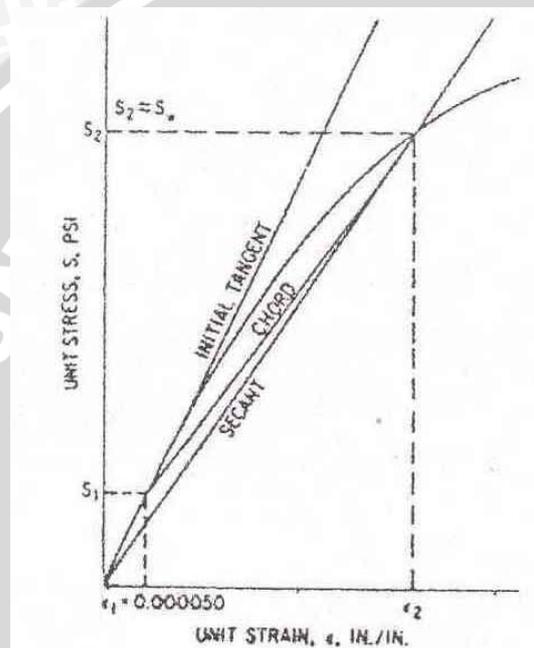
Dari gambar diatas tampak bahwa untuk beton dengan kekuatan yang rendah kurvanya mempunyai puncak yang panjang dan relatif datar. Untuk beton dengan kekuatan yang tinggi, puncaknya lebih tajam (Phill M. Fergusson).

Modulus elastisitas sangat berguna ketika akan menghitung suatu perubahan berupa lendutan atau teganga akibat beban kerja normal. Oleh karena itu beton bukanlah bahan elastis secara sempurna, sehingga modulus elastisitas akan tergantung pada definisi yang akan timbul. (Mulyono Tri, 2005).

Kurva tegangan-regangan beton pada saat pembebanan awal (sampai kira-kira 40% dari tegangan hancur) pada umumnya untuk tujuan praktis dapat dianggap linier, sehingga modulus elastisitas dari bahan ini adalah garis singgung dari kurva pada titik pusatnya. Kemiringan garis singgung ini didefinisikan sebagai modulus tangen awal (initial tangen).

Sedangkan kemiringan garis lurus yang menghubungkan titik pusat dengan suatu harga tegangan sekitar 0,4 tegangan hancur ( $f'_c$ ) disebut modulus elastisitas sekan beton (secant modulus). Ini memenuhi asumsi praktis bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan pada dasarnya dianggap linier. (Lihat gambar 2.2)

Modulus chord adalah kemiringan garis yang menghubungkan antara dua titik pada kurva tegangan-regangan (gambar 2.2). Bagian bawah titik didapat dari kurva yang bersesuaian dengan regangan sebesar 0,00005, sedang untuk titik bagian atas diperoleh dari kurva yang bersesuaian dengan tegangan sebesar 0,4  $f'_c$



**Gambar 2.2 Modulus Elastisitas Beton**  
Sumber Waddel, 1979 : 6-22

Rumus empiris yang diberikan ACI untuk menghitung modulus elastisitas beton ( $E_c$ ) adalah sebagai berikut :  $E_c = W_c^{1.5} 0,043 \sqrt{f'_c}$

Dengan :  $E_c$  = Modulus elastisitas beton dalam Mpa

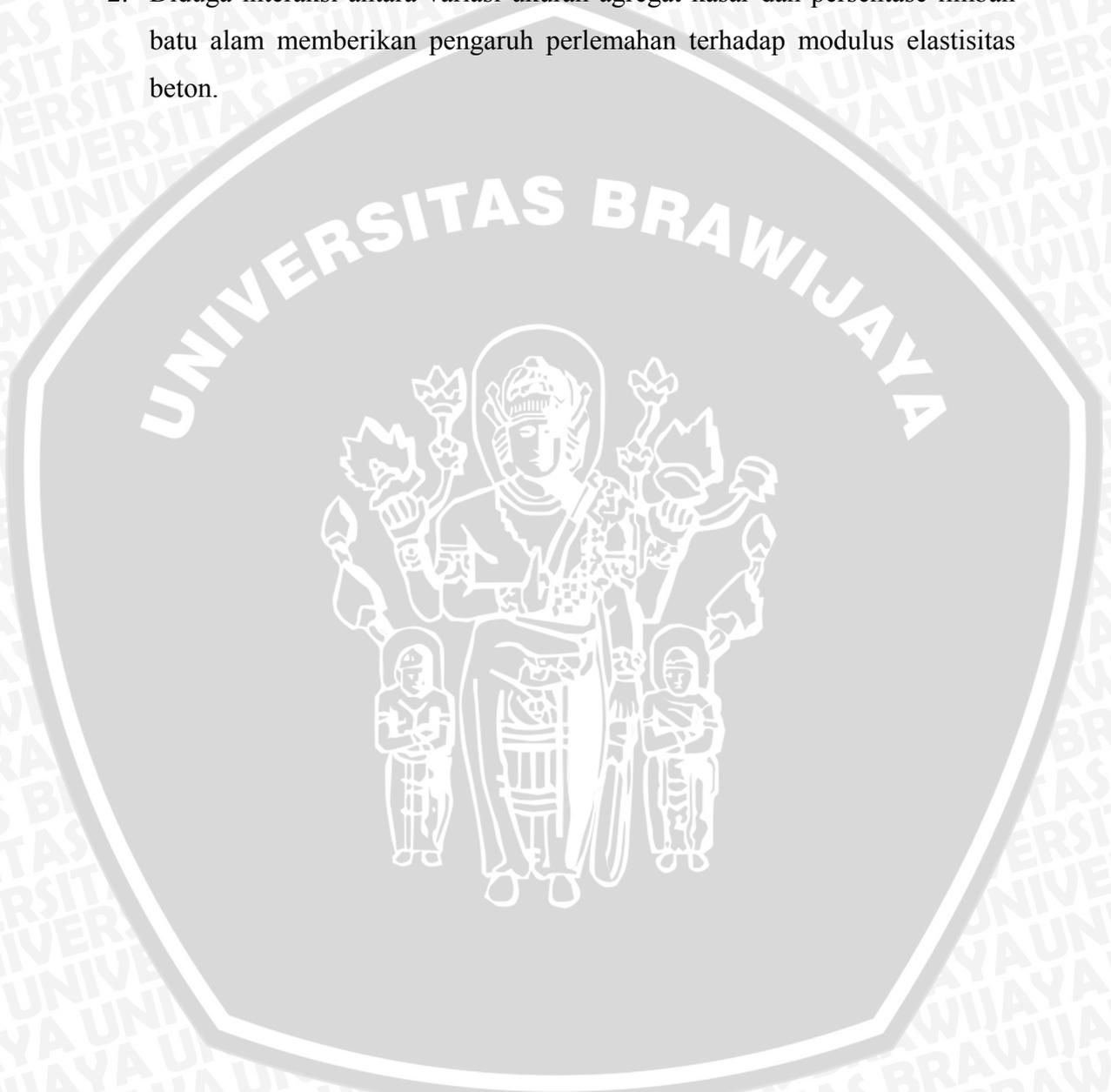
$W_c$  = Berat volume beton, dimana untuk beton berat volumenya 2800 – 3800  $\text{Kg/m}^3$

$f'_c$  = Mutu beton dalam Mpa

## 2.7 Hipotesis Penelitian

Setelah mempelajari tinjauan pustaka dan permasalahan yang diuraikan diatas, maka dapat diambil hipotesis penelitian sebagai berikut :

1. Diduga persentase limbah batu alam sebagai agregat kasar dalam campuran beton memberikan pengaruh perlemahan terhadap modulus elastisitas beton.
2. Diduga interaksi antara variasi ukuran agregat kasar dan persentase limbah batu alam memberikan pengaruh perlemahan terhadap modulus elastisitas beton.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Pelaksanaan Penelitian dilakukan pada Bulan Oktober 2006.

#### 3.2 Alat dan Bahan

a. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- timbangan
- cetakan silinder, diameter 15 mm, tinggi 30 mm
- tongkat pemadat, diameter 16 mm, tinggi 600 mm
- dial gauge
- gelas ukur
- alat uji tekan
- satu set alat pemeriksa slump
- molen
- satu set ayakan
- oven
- compressometer
- extensometer

b. Bahan yang diperlukan :

- Semen Gresik Type I
- Air bersih dari PDAM Kota Malang
- Agregat halus (pasir) yang didapat dari pasaran di sekitar lokasi penelitian.
- Limbah batuan dari pabrik kerajinan batu alam Junrejo , Kota Batu

#### 3.3 Analisis Bahan yang digunakan

##### 3.3.1 Limbah Batu Alam

- Analisis gradasi limbah batuan
- Analisis berat jenis

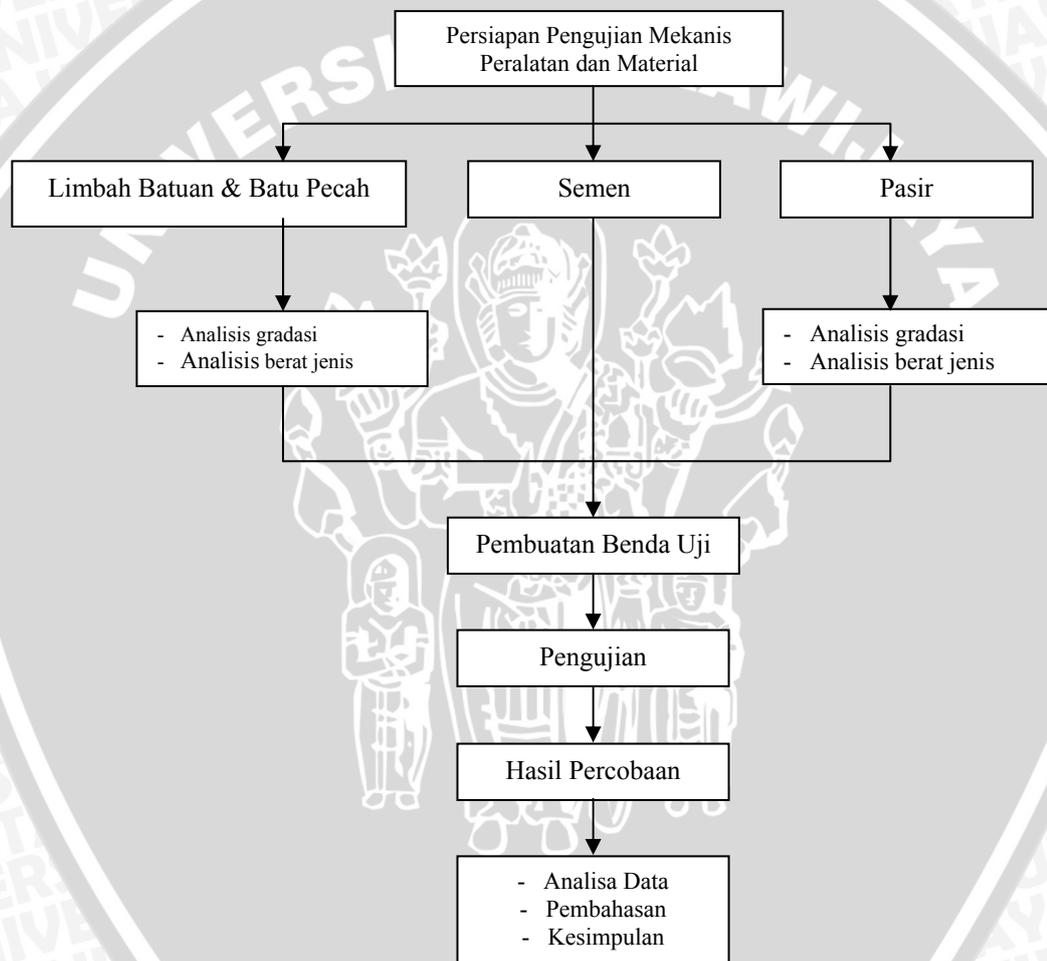
### 3.3.2 Pasir

- Analisis gradasi pasir
- Analisis berat jenis

### 3.3.3 Air

Tidak diadakan pengujian khusus, karena air yang digunakan adalah air bersih dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) malang. Air dianggap telah memenuhi syarat.

## 3.4 Langkah – Langkah Penelitian



Gambar 3.1 Langkah-langkah penelitian.

## 3.5 Rancangan Penelitian

Benda uji dibuat dalam keseragaman komposisi beton dalam berat, yaitu 1 semen : 2 agregat halus : 3 agregat kasar dan faktor air semen yang sama, yaitu sebesar 0,5. Kemudian dibuat perlakuan yang berbeda pada ukuran maksimum agregat kasar dan persentase limbah dalam agregat kasar. Masing-masing perlakuan diuji dalam lima

kali pengulangan. Ada tiga variasi ukuran yaitu 1.9 cm, 2.54 cm, dan 3.81 cm dalam setiap blok percobaan. Dalam penelitian ini blok percobaan yang ditentukan oleh peneliti adalah variasi persentase limbah dalam agregat kasar.

Sehingga didapatkan 5 macam campuran benda uji yang masing-masing terdiri dari 3 macam ukuran agregat.

1) Campuran A

Campuran A adalah campuran beton dengan perbandingan 1 semen : 2 agregat halus : 3 agregat kasar dengan FAS 0,5. Campuran A dibuat dengan 3 variasi ukuran butiran agregat maksimum yaitu agregat maksimum 19 mm, 25.4 mm, 38.1 mm. Dan memiliki variasi komposisi campuran agregat kasar yaitu 100 % batu pecah biasa + 0 % limbah batuan. Jadi pada campuran A jumlah total benda uji adalah 15 silinder.

2) Campuran B

Campuran B adalah campuran beton dengan perbandingan 1 semen : 2 agregat halus : 3 agregat kasar dengan FAS 0,5. Campuran B dibuat dengan 3 variasi ukuran butiran agregat maksimum yaitu agregat maksimum 19 mm, 25.4 mm, 38.1 mm. Dan memiliki variasi komposisi campuran agregat kasar yaitu 75 % batu pecah biasa + 25 % limbah batuan. Jadi pada campuran B jumlah total benda uji adalah 15 silinder.

3) Campuran C

Campuran C adalah campuran beton dengan perbandingan 1 semen : 2 agregat halus : 3 agregat kasar dengan FAS 0,5. Campuran C dibuat dengan 3 variasi ukuran butiran agregat maksimum yaitu agregat maksimum 19 mm, 25.4 mm, 38.1 mm. Dan memiliki variasi komposisi campuran agregat kasar yaitu 50 % batu pecah biasa + 50 % limbah batuan. Jadi pada campuran C jumlah total benda uji adalah 15 silinder.

4) Campuran D

Campuran D adalah campuran beton dengan perbandingan 1 semen : 2 agregat halus : 3 agregat kasar dengan FAS 0,5. Campuran D dibuat dengan 3 variasi ukuran butiran agregat maksimum yaitu agregat maksimum 19 mm, 25.4 mm, 38.1 mm. Dan memiliki variasi komposisi campuran agregat kasar yaitu 25 % batu pecah biasa + 75 % limbah batuan. Jadi pada campuran D jumlah total benda uji adalah 15 silinder.

### 5) Campuran E

Campuran E adalah campuran beton dengan perbandingan 1 semen : 2 agregat halus : 3 agregat kasar dengan FAS 0,5. Campuran E dibuat dengan 3 variasi ukuran butiran agregat maksimum yaitu agregat maksimum 19 mm, 25.4 mm, 38.1 mm. Dan memiliki variasi komposisi campuran agregat kasar yaitu 0 % batu pecah biasa + 100 % limbah batuan. Jadi pada campuran E jumlah total benda uji adalah 15 silinder.

Jadi jumlah total benda uji untuk 3 variasi ukuran agregat maksimum dan 5 variasi komposisi agregat kasar adalah 75 benda uji. Pengujian silinder beton dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan alat mesin uji tekan.

Adapun rancangan pembuatan benda uji dibuat dengan model rancangan acak lengkap, selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Benda uji menurut variasi ukuran dan persentase limbah dalam campuran

Persentase Limbah	Variasi ukuran butiran agregat maksimum ( cm )		
	1,9	2,54	3,81
Jumlah benda uji			
A 100 % BPB + 0 % LB	5	5	5
B 75 % BPB + 25 % LB	5	5	5
C 50 % BPB + 50 % LB	5	5	5
D 25 % BPB + 75 % LB	5	5	5
E 0 % BPB + 100 % LB	5	5	5

Ket :

BPB = Batu Pecah biasa

LB = Limbah Batuan

Sumber : Rancangan Penelitian

### 3.6 Langkah-langkah Percobaan

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan :

1. Analisis ayakan agregat halus dan agregat kasar.
2. Percobaan berat jenis, berat volume, kadar air agregat kasar dan agregat halus.
3. Pembuatan benda uji dalam beberapa perlakuan seperti diperlihatkan pada tabel 3.1
4. Setelah dilakukan pencampuran, dilakukan percobaan slump untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (workability) dari masing-masing campuran beton. Selanjutnya campuran dimasukkan ke dalam cetakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

5. Uji tekan pada masing-masing benda uji dilakukan pada umur 28 hari dengan penambahan beban sampai benda uji menjadi hancur
6. Bersamaan dengan uji tekan dilakukan pembacaan regangan arah longitudinal untuk setiap penambahan beban sebesar 10 kN

### 3.7 Variabel Penelitian

Variabel yang akan diuji adalah sebagai berikut :

- a. Variabel bebas, adalah variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti mengikuti aturan yang sering digunakan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah ukuran maksimum agregat kasar dan persentase limbah dalam agregat kasar.
- b. Variabel tak bebas adalah variabel yang nilainya tergantung dari nilai variabel bebas. Variabel tak bebas dalam penelitian ini adalah hasil uji modulus elastisitas beton.

### 3.8 Analisis Data

Analisis data meliputi :

- a. Analisis Kurva Tegangan Regangan
- b. Analisis Modulus Elastisitas
- c. Analisis Varian dan Model Regresi

#### 3.8.1. Analisis Kurva Tegangan Regangan

Dari pengujian tegangan regangan dengan menekan silinder beton, diperoleh besarnya gaya tekan ( $P$ ) dan pada pembacaan regangan diperoleh data perubahan panjang arah longitudinal ( $\Delta L$ ). Kemudian dapat ditentukan kuat tekan hancur ( $f'_c$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ) untuk setiap perlakuan dengan rumus sebagai berikut :

- a. Tegangan hancur ( $f'_c$ )

$$f'_c = \frac{P}{A} \times \frac{1000}{10.2} \text{ Mpa} \dots\dots\dots(3-1)$$

dengan :  $P$  = Gaya Tekan (ton)

$A$  = Luas Penampang Silinder

$\frac{1000}{10.2}$  = perubahan satuan ton  $\text{cm}^{-2}$  menjadi Mpa

(Wang, 1990 : 4)

b. Regangan arah longitudinal ( $\epsilon_1$ )

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} \times \frac{10^{-3}}{2} \dots\dots\dots(3-2)$$

dengan :  $\Delta L$  = Perubahan panjang arah longitudinal (mm)

$L$  = Tinggi efektif silinder beton (jarak antara dua kerangka compressometer)

$$\frac{10^{-3}}{2} = \text{Kalibrasi jarum pengukur (Murai, 1920 : 4)}$$

Kurva tegangan regangan dapat diperoleh dari hasil regresi titik-titik antara pasangan tegangan ( $f^c$ ) dan regangan ( $\epsilon$ ) yang masing-masing dipindahkan menjadi sumbu y dan x.

**3.8.2. Analisis Modulus Elastisitas**

Penelitian ini menggunakan salah satu cara yang direkomendasikan oleh ASTM C 469, yaitu Modulus Chord. Adapun Perhitungan Modulus Chord adalah sebagai berikut :

Perhitungan Modulus Chord ( $E_c$ )

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \text{ Mpa} \dots\dots\dots(3.4)$$

dengan :  $S_2$  = tegangan sebesar 40%  $f^c$

$S_1$  = tegangan yang bersesuaian arah dengan regangan arah longitudinal sebesar 0,00005

$\epsilon_2$  = regangan longitudinal akibat tegangan  $S_2$

**3.8.3.1 Analisa Varian**

Untuk menguji apakah penggunaan agregat kasar dari limbah batu alam mempunyai pengaruh terhadap modulus elastisitas benda uji dengan ukuran butiran dan komposisi campuran digunakan analisis varian dua arah.

Metode analisis varian digunakan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan terhadap modulus elastisitas benda uji antara pemakaian limbah batu alam dengan batu pecah. Dari analisis varian didapatkan rumus secara statistik sebagai berikut :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots\dots\dots = \mu_n$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots\dots\dots \neq \mu_n$$



Dengan,

$H_0$  = hipotesis awal yang menyatakan tidak terdapat perbedaan, yaitu tidak ada pengaruh perlemahan dengan menggunakan agregat kasar limbah batu alam terhadap modulus elastisitas benda uji.

$H_1$  = hipotesis alternatif yang menyatakan terdapat perbedaan, yaitu ada pengaruh perlemahan dengan menggunakan agregat kasar limbah batu alam terhadap modulus elastisitas benda uji.

$F_{hitung}$  yang didapatkan dari hasil analisis variabel dibandingkan dengan  $F_{tabel}$  sesuai derajat bebas dengan faktor kesalahan ( $\alpha$ ), dimana bila  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak jika  $F_{hitung} < F_{tabel}(K-1, n-K, \alpha)$ .  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima jika  $F_{hitung} > F_{tabel}(K-1, n-K, \alpha)$ .

Untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan nilai modulus elastisitas benda uji antara tiap macam agregat kasar yang dipakai digunakan uji F. Pengujian terhadap hipotesis dihitung dengan koreksi kesalahan 5 %.

### 3.8.3.2 Analisis Regresi

Model persamaan regresi dipilih dengan melihat sebaran datanya dan kesesuaian dengan teori yang ada. Untuk mengetahui tingkat keterandalan model persamaan regresi tersebut maka perlu dilakukan pengujian terhadap nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ), yaitu parameter yang bisa dijadikan tolok ukur apakah persamaan regresi yang dipakai bisa mewakili sebaran data yang sebenarnya. Besarnya nilai koefisien tersebut berkisar antara 0 sampai  $\pm 1$ . Bila angka determinasi mendekati satu maka dapat dikatakan bahwa persamaan regresi tersebut memiliki tingkat keterandalan yang tinggi.

Kemudian dari angka determinasi dapat diperoleh angka korelasi ( $R$ ) sebagai akar dari angka determinasi. Angka korelasi dapat dijadikan tolok ukur seberapa dekat keterikatan antara variabel bebas dan variabel tak bebas atau dengan kata lain seberapa kuat variabel tak bebas dalam hal ini modulus elastisitas beton dapat diterangkan oleh variabel bebas.

Dari persamaan regresi juga bisa dilihat pola yang umum dari sebaran data yang ada karena persamaan tersebut dianggap bisa memetakan seluruh nilai variabel tak bebas untuk setiap nilai dalam seluruh populasi nilai variabel bebas. Dengan kata lain kita bisa menduga nilai variabel tak bebas untuk setiap nilai yang mungkin dalam variabel bebas yang hanya diwakili oleh beberapa sampel.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Bahan yang Digunakan

Pada bagian ini akan disajikan hasil penelitian yang mengacu pada beberapa standar dan peraturan. Standar dan peraturan tersebut misalnya, Standar Nasional Indonesia (SNI), Peraturan Beton Indonesia (PBI '71) dan *American Society for Testing Material* (ASTM).

##### 4.1.1 Semen

Dalam hal ini semen yang digunakan adalah Semen Portland Tipe I produksi PT. Semen Gersik yang sudah umum digunakan sehingga tidak perlu diadakan penelitian.

##### 4.1.2 Air

Air yang digunakan untuk campuran beton adalah air dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) kodya Malang, sehingga tidak perlu diadakan penelitian.

##### 4.1.3 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir sungai alami dari wilayah Malang.

###### a. Pemeriksaan gradasi pasir

Tujuan: Untuk menentukan pembagian butiran

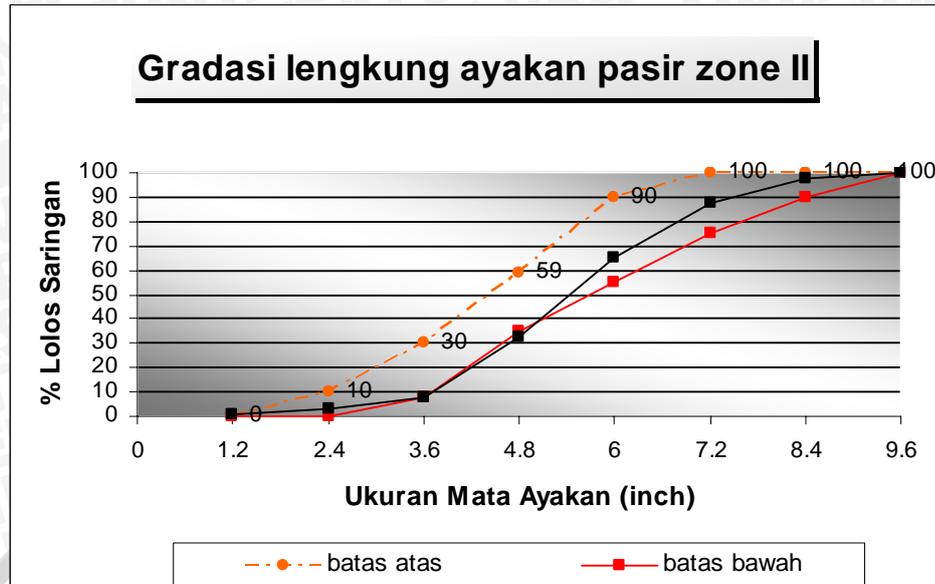
Data hasil pengujian :

Tabel 4.1.3 a Hasil analisa gradasi agregat halus

Lubang Saringan		Batu Pecah			
		Tertinggal		Kumulatif	
No	mm	Gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	0	0	0	100
2,5"	63,5	0	0	0	100
2"	50,8	0	0	0	100
1,5"	38,1	0	0	0	100
1"	25,4	0	0	0	100
3/4"	19,1	0	0	0	100
1/2"	12,7	0	0	0	100
3/8"	9,5	0	0	0	100
4	4,76	20.9	2.10	2.10	97.90
8	2,38	106.1	10.64	12.73	87.27
16	1,19	218.1	21.87	34.60	65.40
30	0,59	331.1	33.20	67.80	32.20
50	0,297	247	24.77	92.57	7.43
100	0,149	42.1	4.22	96.79	3.21
200	0,075	27	2.71	99.50	0.50
Pan		5			
		997.3		406.096	

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

$$\text{Modulus kehalusan agregat halus} = \frac{406,096}{100} = 4,061$$



Gambar 4.1.3 Analisa gradasi agregat halus

Dari grafik, zona gradasi = zona 2

b. Pemeriksaan berat jenis dan absorpsi agregat halus

Tujuan : Untuk mengetahui berat jenis dan penyerapan agregat halus.

Data hasil pengujian :

Tabel 4.1.3 b Hasil analisa berat jenis dan absorpsi pasir

Nomor Contoh		A
Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)	Bj (	500
Berat benda uji kering oven)	Bk ( gram	492
Berat picnometer berisi air (pada suhu kamar)	Ba ( gram )	656
Berat picnometer + benda uji (ssd) + air (pada suhu kamar	B ( gram )	984

Nomor Contoh		A
Berat jenis curah ( Bulk Specific Grafity )	$Bk / ( Bj - Ba )$	2.860
Berat jenis permukaan jenuh ( Bulk Specific Grafity Saturated Surface Dry )	$Bj / ( Bj - Ba )$	2.907
Berat Jenis Semu ( Apparent Specific Grafity )	$Bk / ( Bk - Ba )$	3.000
Penyerapan ( % ) ( Absorption )	$( Bj - Bk ) / Bk \times 100\%$	1.626

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

c. Pemeriksaan kadar air agregat halus

Tujuan : Untuk mengetahui kadar air agregat halus.

Data hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 4.1.3 c Hasil analisa kadar air pasir

Nomor Contoh Nomor Talam	1	
	A	B
1. Berat talam + contoh basah ( gr )	140	121
2. Berat talam + contoh kering ( gr )	135	118
3. Berat air = ( 1 ) - ( 2 ) ( gr )	5	3
4. Berat talam (gr)	42	42
5. Berat contoh kering = (2) - (4) = (gr)	93	76
6. Kadar air = ( 3 ) / ( 5 ) ( % )	5.376	3.947
7. Kadar air rata-rata ( % )	4.662	

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

Agregat halus berupa pasir alam, setelah dianalisis didapatkan hasil sebagai berikut,

Modulus halus : 4.061

Berat jenis SSD : 2.907

Absorpsi : 1.626

Kadar air : 4.662 %

Uraian selengkapnya pada lampiran 1

#### 4.1.4 Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah biasa dan limbah batuan Junrejo.

##### 1. Batu Pecah Biasa (BPB)

###### a. Pemeriksaan gradasi agregat

Tujuan : Untuk menentukan gradasi butiran batu pecah biasa

Untuk menentukan modulus kehalusan batu pecah biasa

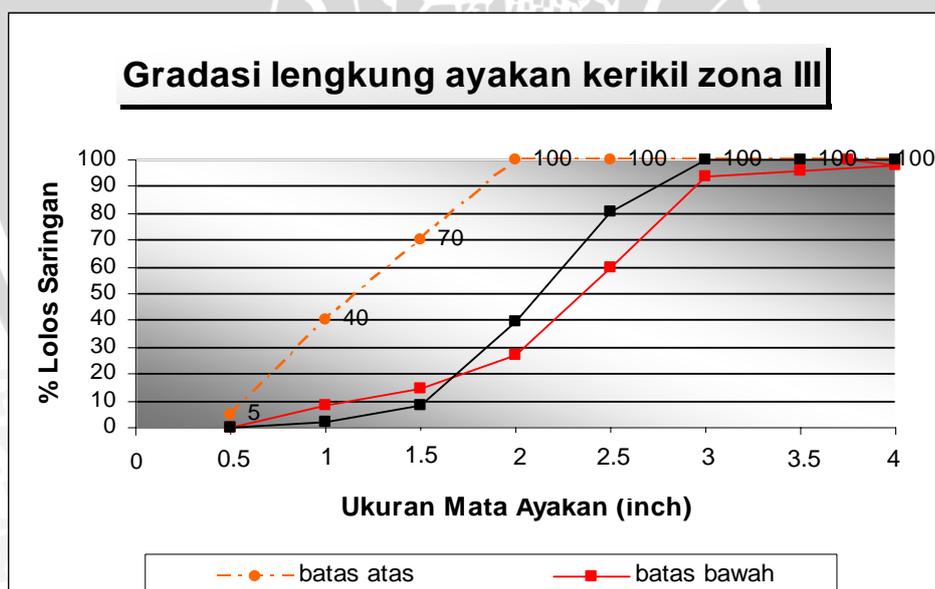
Data hasil pengujian :

Tabel 4.1.4 a<sub>1</sub> Hasil analisa gradasi agregat kasar

Lubang Saringan		Batu Pecah			
		Tertinggal		Kumulatif	
No	mm	Gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	0	0	0	100
2,5"	63,5	0	0	0	100
2"	50,8	0	0	0	100
1,5"	38,1	0	0	0	100
1"	25,4	1937	19.37	19.37	80.63
3/4"	19,1	4110	41.09	60.46	39.54
1/2"	12,7	3123	31.22	91.68	8.32
3/8"	9,5	603	6.03	97.71	2.29
4	4,76	200	2.00	100	0
8	2,38	0	0	100	0
16	1,19	0	0	100	0
30	0,59	0	0	100	0
50	0,297	0	0	100	0
100	0,149	0	0	100	0
200	0,075	0	0	100	0
Pan		29	0.29		
		10002		969.216	

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

$$\text{Modulus kehalusan agregat kasar} = \frac{969.216}{100} = 9.69216$$

Gambar 4.1.4 a<sub>1</sub>Analisa gradasi agregat kasar

Dari grafik, zona gradasi = zona 3

## b. Pemeriksaan Berat Jenis Dan Absorpsi Agregat kasar

Tujuan : Untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan air pada agregat kasar.

Data Hasil Pengujian :

Tabel 4.1.4 b<sub>1</sub> Hasil analisa berat jenis dan absorpsi batu pecah biasa

Nomor Contoh		A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	Bj ( gram )	5000
Berat benda uji kering oven	Bk ( gram )	4923
Berat picnometer berisi air (pada suhu kamar)	Ba ( gram )	3046

Nomor Contoh		A
Berat jenis curah ( Bulk Specific Grafity )	$Bk / ( Bj - Ba )$	2.519
Berat jenis permukaan jenuh ( Bulk Specific Grafity Saturated Surface Dry )	$Bj / ( Bj - Ba )$	2.559
Berat Jenis Semu ( Apparent Specific Grafity )	$Bk / ( Bk - Ba )$	2.623
Penyerapan ( % ) ( Absorption )	$( Bj - Bk ) / Bk \times 100\%$	1.564

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

## c. Pemeriksaan Kadar Air Agregat kasar

Tujuan : Menentukan prosentase kadar air yang dikandung oleh agregat

Data hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 4.1.4 c<sub>1</sub> Hasil Analisa Kadar Air batu pecah biasa

Nomor Contoh	1	2
Nomor Talam	A	B
1. Berat talam + contoh basah ( gr )	180	169
2. Berat talam + contoh kering ( gr )	176	167
3. Berat air = ( 1 ) - ( 2 ) ( gr )	4	2
4. Berat talam (gr)	42	42
5. Berat contoh kering = ( 2 ) - ( 4 ) = ( gr )	134	125
6. Kadar air = ( 3 ) / ( 5 ) ( % )	2.985	1.600
7. Kadar air rata-rata ( % )	2.293	

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

Agregat kasar berupa batu pecah biasa, setelah dianalisis didapatkan hasil sebagai berikut :

Modulus halus : 9.69216

Berat jenis SSD : 2.559

Absorbansi : 1.564

Kadar air : 2.293 %

Uraian selengkapnya pada lampiran 2

## 2. Batu Limbah (LB)

### b. Pemeriksaan gradasi agregat limbah

Tujuan : Untuk menentukan gradasi butiran limbah batuan

Untuk menentukan modulus kehalusan limbah batuan

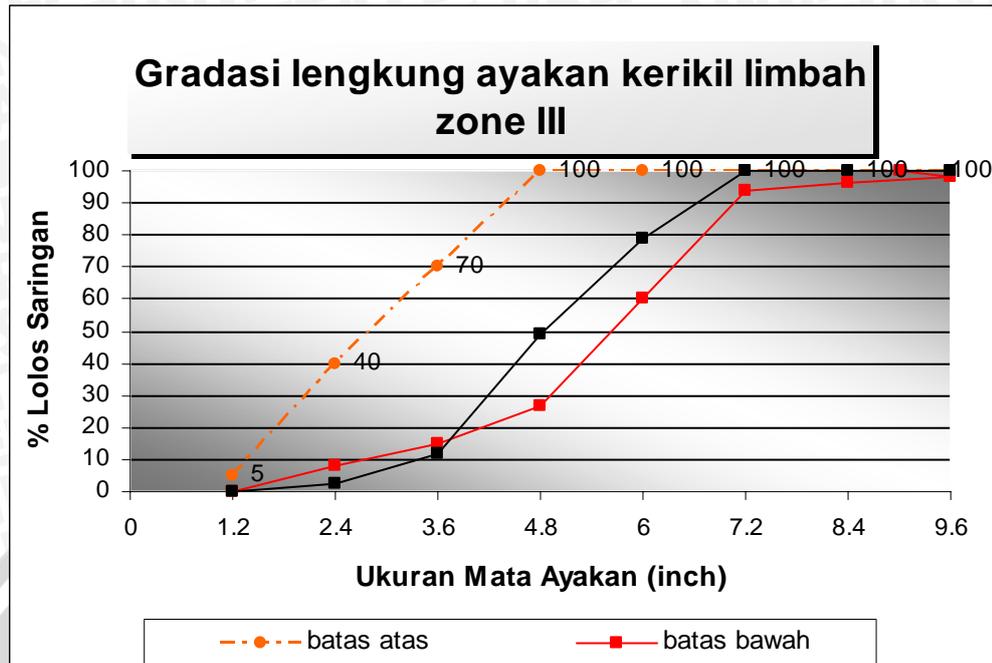
Data hasil pengujian :

Tabel 4.1.4 a<sub>2</sub> Hasil analisa gradasi agregat kasar

Lubang Saringan		Limbah Batuan			
		Tertinggal		Kumulatif	
No	mm	Gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	0	0	0	100
2,5"	63,5	0	0	0	100
2"	50,8	0	0	0	100
1,5"	38,1	0	0	0	100
1"	25,4	2112	21.11	21.11	78.89
3/4"	19,1	3000	29.99	51.09	48.91
1/2"	12,7	3696	36.94	88.04	11.96
3/8"	9,5	939	9.39	97.42	2.58
4	4,76	235	2.35	100	0
8	2,38	0	0	100	0
16	1,19	0	0	100	0
30	0,59	0	0	100	0
50	0,297	0	0	100	0
100	0,149	0	0	100	0
200	0,075	0	0	100	0
Pan		23	0.23		
		10005		957.661	

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

$$\text{Modulus Kehalusan Agregat kasar} = \frac{957.661}{100} = 9.57661$$



Gambar 4.1.4 a<sub>2</sub> Analisa gradasi agregat kasar

Dari grafik, zona gradasi = zona 3

b. Pemeriksaan berat jenis dan absorpsi agregat kasar

Tujuan : Untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan air pada agregat kasar limbah batuan.

Data Hasil Pengujian :

Tabel 4.1.4 b<sub>2</sub> Hasil analisa berat jenis dan absorpsi limbah batuan

Nomor Contoh	A
Berat benda uji kering permukaan jenuh Bj ( gram )	5000
Berat benda uji kering oven Bk ( gram )	4938
Berat picnometer berisi air (pada suhu kamar) Ba ( gram )	3046

Nomor Contoh	A
Berat jenis curah $Bk / ( Bj - Ba )$ ( Bulk Specific Grafitiy )	2.527
Berat jenis permukaan jenuh $Bj / ( Bj - Ba )$ ( Bulk Specific Grafitiy Saturated Surface Dry )	2.559
Berat Jenis Semu $Bk / ( Bk - Ba )$ ( Apparent Specific Grafitiy )	2.610
Penyerapan ( % ) $( Bj - Bk ) / Bk \times 100\%$ ( Absorption )	1.256

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

c. Pemeriksaan kadar air agregat kasar

Tujuan : Menentukan prosentase kadar air yang dikandung oleh agregat

Data hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 4.1.4 c2 Hasil Analisa Kadar Air agregat kasar

Nomor Contoh	1	2
Nomor Talam	A	B
1. Berat talam + contoh basah ( gr )	238	175
2. Berat talam + contoh kering ( gr )	235	173
3. Berat air = ( 1 ) - ( 2 ) ( gr )	3	2
4. Berat talam (gr)	42	42
5. Berat contoh kering = (2) - (4) = (gr)	193	131
6. Kadar air = ( 3 ) / ( 5 ) ( % )	1.554	1.527
7. Kadar air rata-rata ( % )	1.541	

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

Agregat kasar berupa limbah batuan, setelah dianalisis didapatkan hasil sebagai berikut :

Modulus halus : 9.57661

Berat jenis SSD : 2.559

Absorpsi : 1.256

Kadar air : 1.541 %

Uraian selengkapnya pada lampiran 3

#### 4.2 Pengujian Beton Segar

Pengujian beton segar dilakukan dengan pengujian slump. Pengujian slump menggunakan alat ukur kerucut abrams, yang bertujuan untuk mengetahui kelecakan dan kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan beton (workability).

Tabel 4.2.1 Hasil pengujian rata-rata slump

Variasi Campuran Agregat Kasar	Variasi Ukuran maksimum Agregat Kasar		
	1.91 (cm)	2.54 (cm)	3.81 (cm)
	Slump		
A 100 % BPB + 0 % LB	8.5	10.5	11
B 75 % BPB + 25 % LB	9	14	12
C 50 % BPB + 50 % LB	11	11.5	10.5
D 25 % BPB + 75 % LB	11	13	13.5
E 0 % BPB + 100 % LB	11	14	10.5

Ket :

BPB = Batu Pecah biasa

LB = Limbah Batuan

Sumber :Hasil pengujian laboratorium

### 4.3 Pengujian Beton Keras

Untuk pengujian beton keras dibuat benda uji berupa silinder yang berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Setelah benda uji mencapai umur yang 28 hari, dilakukan uji kuat tekan dengan alat yang disebut “*Commpression Testing Mechine*”. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban aksial di ujung silinder beton sampai benda uji mengalami kegagalan (hancur). Adapun hasil pengujian kuat tekan benda uji ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 4.3.1 Hasil Pengujian Nilai Kuat Tekan Beton (Kg/cm<sup>2</sup>)

Variasi Campuran Agregat Kasar	Variasi Ukuran Maksimum Agregat Kasar		
	1.91 (cm)	2.54 (cm)	3.81 (cm)
	Kuat Tekan Beton (kg/ cm <sup>2</sup> )		
A 100 % BPB + 0 % LB	226.354	178.819	202.417
	189.571	185.157	235.974
	174.858	185.044	215.093
	210.848	141.245	188.779
	183.120	130.719	183.403
B 75 % BPB + 25 % LB	172.029	226.354	164.050
	139.208	185.157	195.287
	176.952	206.661	151.827
	200.210	164.333	177.122
	139.943	228.617	158.731
C 50 % BPB + 50 % LB	234.842	216.677	198.852
	145.772	257.477	224.147
	186.289	191.325	178.763
	247.857	226.354	159.523
	176.330	226.354	158.108
D 25 % BPB + 75 % LB	148.771	180.574	187.534
	190.533	168.860	175.537
	191.665	180.178	173.613
	221.091	169.086	129.305
	138.472	135.303	189.062
E 0 % BPB + 100 % LB	193.419	127.211	126.022
	215.715	129.361	169.313
	213.848	148.941	124.042
	208.415	130.267	147.413
	174.066	213.621	124.042

Ket :

BPB = Batu Pecah biasa

LB = Limbah Batuan

Sumber : Hasil penelitian laboratorium

### 4.3.1 Perhitungan Modulus Elastisitas

Perhitungan modulus elastisitas dilakukan sesuai dengan metode pengujian modulus elastisitas dengan menggunakan alat *compression extensiometer* (SNI 03-4169-1996). Dari hasil uji tekan silinder beton diperoleh data kuat hancur beton dan deformasi arah longitudinal. Besarnya deformasi dibagi panjang silinder mula-mula menghasilkan regangan beton. Kemudian dibuat grafik hubungan antara tegangan dengan regangan arah longitudinal untuk tiap-tiap perlakuan dan masing masing perlakuan ada lima kali pengulangan. Dengan menggunakan analisis regresi polinomial akan didapatkan persamaan untuk tiap-tiap kurva hubungan tegangan dengan regangan longitudinal. Fungsi regresi polinomial yang digunakan tidak persis sama dengan yang digunakan pada ilmu statistik. Hal ini disebabkan karena adanya syarat batas yang mengharuskan fungsi regresi melewati titik 0(0.0) sehingga dipakai fungsi regresi yang mempunyai bentuk sebagai berikut :

$$S = g(x) = a_1 \cdot \varepsilon + a_2 \cdot \varepsilon^2 + a_3 \cdot \varepsilon^3 + \dots + a_n \cdot \varepsilon^n$$

Dengan : S → tegangan beton (kg/cm<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  → regangan

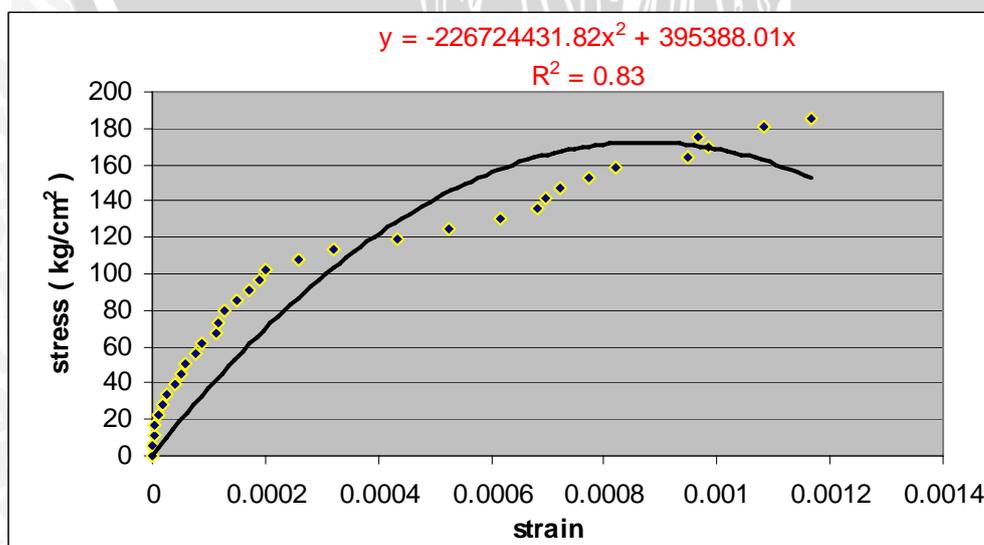
$a_1, a_2, a_3, a_n$  → koefisien polinomial

Pada penelitian ini digunakan fungsi regresi polinomial derajat dua sehingga bentuk persamaannya adalah sebagai berikut :

$$S = g(x) = a_1 \cdot \varepsilon + a_2 \cdot \varepsilon^2$$

Tingkat ketepatan dari fungsi regresi tersebut diukur dengan besaran statistik koefisien determinasi.

Contoh kurva:



Gambar 4.4.1b Hubungan tegangan regangan pada salah satu contoh benda uji hasil penelitian

Berdasarkan persamaan-persamaan regresi yang telah ada dan dengan menggunakan rumus-rumus perhitungan modulus chord, maka dapat dihitung nilai modulus elastisitas sebagai berikut:

$$f^c = 185.157324 \text{ kg/cm}^2$$

$$S_2 = 0.4 \times 185.157324 = 74.0629296 \text{ kg/cm}^2$$

Persamaan regresi polinomial tegangan-regangan longitudinal menjadi:

$$S = (395388.01\varepsilon - 226724431.82 \varepsilon^2) \times 10^{-4}$$

$$\text{Untuk } S_2 = 74.0629296 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \varepsilon_{12} = 0.00021344$$

$$\text{Untuk } \varepsilon_1 = 0.00005 \rightarrow S_1 = 19.20259 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas (chord)} &= \frac{74.0629296 - 19.20259}{0.00021344 - 0.00005} \\ &= 335659.639 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$



Hasil perhitungan modulus elastisitas beton dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.3.2 Modulus Elastisitas Beton hasil perhitungan ( $\text{kg/cm}^2$ )

Variasi Campuran Agregat Kasar	Variasi Ukuran maksimum Agregat Kasar		
	1.91 (cm)	2.54 (cm)	3.81 (cm)
A 100 % BPB + 0 % LB	Modulus Elastisitas Beton ( $\text{kg/cm}^2$ )		
	835001.281	1104847.000	437139.593
	1078436.700	350043.471	442247.239
	249147.914	939464.601	556826.023
	946971.4	251419.633	465502.430
B 75 % BPB + 25 % LB	69240.292	636574.434	287081.701
	586031.526	886736.630	330101.041
	967404.820	335659.639	983559.084
	308361.397	393941.308	403083.963
	283614.337	900174.356	578183.481
C 50 % BPB + 50 % LB	267074.547	986428.100	421890.376
	666903.170	1053777.779	540020.259
	328992.545	790988.189	741398.977
	730349.110	394554.608	282087.348
	703115.448	874920.230	379508.709
D 25 % BPB + 75 % LB	593961.150	605955.644	536970.574
	449403.429	546499.627	480005.798
	619197.916	454228.261	443989.242
	420979.393	287174.385	435779.140
	502724.145	712210.823	742284.070
E 0 % BPB + 100 % LB	520173.356	537056.740	607405.828
	832500.845	176226.134	674951.350
	492242.626	945354.759	385882.437
	739283.957	481812.220	460751.129
	484086.124	302579.022	482157.789
	236548.935	311757.724	197832.613

Ket :

BPB = Batu Pecah biasa

LB = Limbah Batuan

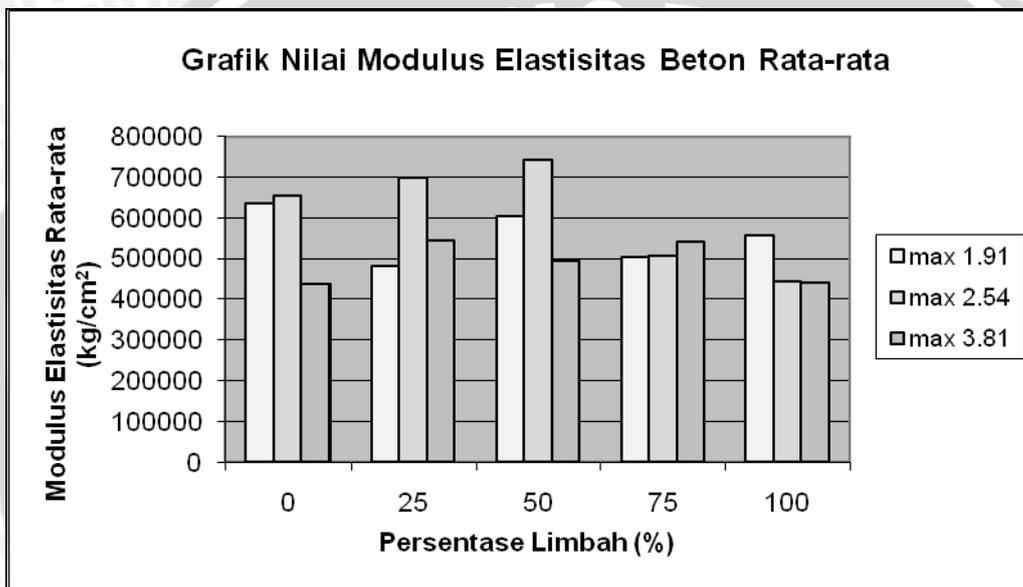
Tabel 4.3.3 rekapitulasi modulus elastisitas beton rata-rata ( $\text{kg/cm}^2$ )

	Variasi ukuran maksimum agregat aasar	Modulus Elastisitas Beton ( $\text{kg/cm}^2$ )		
		1.91 (cm)	2.54 (cm)	3.81 (cm)
Variasi komposisi agregat kasar		Modulus Elastisitas Beton ( $\text{kg/cm}^2$ )		
A	100 % BPB + 0 % LB	635759.517	656469.828	437759.397
B	75 % BPB + 25 % LB	482497.325	700588.007	543363.589
C	50 % BPB + 50 % LB	604664.285	744039.290	495997.173
D	25 % BPB + 75 % LB	502495.648	507433.967	541892.815
E	0 % BPB + 100 % LB	556932.497	443545.972	440315.064

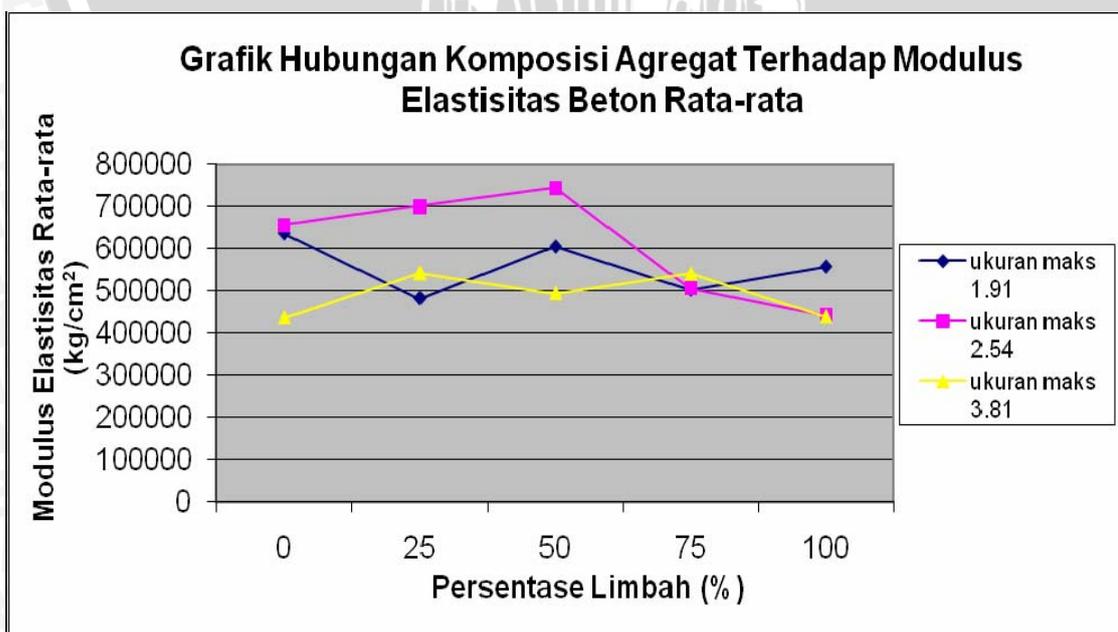
Ket :

BPB = Batu Pecah biasa

LB = Limbah Batuan



Gambar 4.3.3a Grafik nilai modulus elastisitas beton rata-rata



Gambar 4.3.3b Grafik hubungan persentase limbah terhadap modulus elastisitas beton rata-rata

#### 4.4 Pengujian Hipotesis

##### 4.4.1 Pengaruh penggunaan limbah batu alam junrejo dengan ukuran dan komposisi campuran yang bervariasi, akan berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas beton.

Berdasarkan hipotesisi penelitian pada sub bab 2.7 pemakaian limbah batu alam junrejo sebagai pengganti agregat kasar dengan variasi ukuran dan komposisi campuran akan berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas silinder beton, maka perlu diadakan uji hipotesis penelitian sebagai berikut.

Pengujian hipotesis dilakukan dengan menggunakan analisis varian 1 arah dan 2 arah antara variasi komposisi agregat dengan ukuran agregat. Untuk mengetahui korelasi persamaan regresinya digunakan nilai determinasi  $R^2$  yang mendekati 1, yaitu antara variasi komposisi agregat dengan kuat tekan beton. Hipotesis ini dapat dijelaskan dengan cara statistik sebagai berikut :

##### 1. Analisis Satu Arah :

Variasi ukuran maksimum agregat kasar :

##### a.) Analisis satu arah pada variasi campuran agregat kasar 100 % BPB + 0 % LB

Tabel 4.4.1a Analisis satu arah pada campuran agregat kasar 100 % BPB + 0 % LB

Campuran Agregat Kasar 100% BPB + 0% LB			
1.91 (cm)	2.54 (cm)	3.81 (cm)	
Modulus Elastisitas Beton (kg/cm <sup>2</sup> )			
835001.281	1104847.000	437139.593	
1078436.700	350043.471	442247.239	
249147.914	939464.601	556826.023	
946971.4	251419.633	465502.430	
69240.292	636574.434	287081.701	
n = 5	n = 5	n = 5	n = 15
T1 = 3178797.587	T2 = 3282349.140	T3 = 2188796.987	T = 8649943.714
X = 635759.517	X = 656469.828	X = 437759.397	X = 576662.914

- Hipotesis :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

- Tingkat signifikasin  $\alpha = 0.05$ ;  $n_1 = 3 - 1 = 2$  dan  $n_2 = 15 - 3 = 12$

$F_{(0.05 : 2, 12)} = 3.89$ , didapat dari Tabel VI distribusi F.

- Statistik uji :

$$F = \frac{RKP}{RKS}$$

- Daerah penolakan  $H_0$  :

$H_0$  ditolak, bila  $F_h > 3.89$

- Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kuadrat total (JKT)} &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n} \\ &= 6513963773172.09 - \frac{74821526252636.20}{15} \\ &= 2.30405 \times 10^{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)} &= \sum_{i=1}^3 \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n} \\ &= \frac{3178797.587^2}{5} + \frac{3282349.140^2}{5} + \frac{2188796.987^2}{5} - \frac{8649943.714^2}{15} \\ &= 9.23966 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKP} \\ &= 2.30405 \times 10^{12} - 9.23966 \times 10^{11} \\ &= 1.38008 \times 10^{12} \end{aligned}$$

$$\text{Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)} = \frac{\text{JKP}}{p-1} = \frac{1.45779 \times 10^{11}}{2} = 72889347528$$

$$\text{Kuadrat Tengah Galat (KTG)} = \frac{\text{JKG}}{n-p} = \frac{1.38008 \times 10^{12}}{12} = 1.15007 \times 10^{11}$$

Apabila dituangkan dalam tabel anava akan didapatkan :

	d.b	JK	RK	FH
Perlakuan	2	145778695055.51	461982894028.19	4.017
sesatan	12	1380083327940.83	115006943995.07	
total	14	1525862022996.34		

Kesimpulan :

$H_0$  diterima karena  $F_{hitung} > 3.89$  artinya variasi ukuran butiran agregat kasar berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton.

b.) Analisis satu arah pada variasi campuran agregat kasar 75 % BPB + 25 % LB

Tabel 4.4.1b Analisis satu arah pada campuran agregat kasar 75 % BPB + 25% LB

<b>Campuran Agregat Kasar 75% BPB + 25% LB</b>			
1.91 (cm)	2.54 (cm)	3.81 (cm)	
Modulus Elastisitas Beton (kg/cm <sup>2</sup> )			
586031.526	886736.630	330101.041	
967404.820	335659.639	983559.084	
308361.397	393941.308	403083.963	
283614.337	900174.356	578183.481	
267074.547	986428.100	421890.376	
n = 5	n = 5	n = 5	n = 15
T1 = 2412486.627	T2 = 3502940.033	T3 = 2716817.945	T = 8632244.605
X = 482497.325	X = 700588.007	X = 543363.589	X = 575482.974

Sumber : Hasil penelitian laboratorium

- Hipotesis :  
 $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$   
 $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$
- Tingkat signifikan  $\alpha = 0.05$ ;  $n_1 = 3 - 1 = 2$  dan  $n_2 = 15 - 3 = 12$   
 $F_{(0.05 : 2, 12)} = 3.89$ , didapat dari Tabel VI distribusi F.
- Statistik uji :

$$F = \frac{RKP}{RKS}$$

- Daerah penolakan  $H_0$  :  
 $H_0$  ditolak, bila  $F_h > 3.89$
- Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kuadrat total (JKT)} &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n} \\ &= 6114790435505.78 - \frac{74515646924749.80}{15} \\ &= 1.693 \times 10^{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)} &= \sum_{i=1}^3 \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n} \\ &= \frac{2412486.627^2}{5} + \frac{3502940.033^2}{5} + \frac{2716817.95^2}{5} - \frac{8632244.61^2}{15} \\ &= 6.72568 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKP} \\ &= 1.693 \times 10^{12} - 6.72568 \times 10^{11} \\ &= 1.02043 \times 10^{12} \end{aligned}$$

$$\text{Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)} = \frac{JKP}{p-1} = \frac{1.26646 \times 10^{11}}{2} = 63323137222$$

$$\text{Kuadrat Tengah Galat (KTG)} = \frac{JKG}{n-p} = \frac{1.02043 \times 10^{12}}{12} = 85036197173$$

Apabila dituangkan dalam tabel anava akan didapatkan :

	d.b	JK	RK	FH
Perlakuan	2	126646274444.86	336284145340.87	3.9546
sesatan	12	1020434366077.60	85036197173	
total	14	1147080640522.46		

Kesimpulan :

$H_0$  diterima karena  $F_{\text{hitung}} > 3.89$  artinya variasi ukuran butiran agregat kasar berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton.

c.) Analisis satu arah pada variasi campuran agregat kasar 50 % BPB + 50 % LB

Tabel 4.4.1c Analisis satu arah pada campuran agregat kasar 50 % BPB + 50% LB

Campuran Agregat Kasar 50% BPB + 50% LB			
1.91 (cm)	2.54 (cm)	3.81 (cm)	
Modulus Elastisitas Beton (kg/cm <sup>2</sup> )			
666903.170	1053777.779	540020.259	
328992.545	790988.189	741398.977	
730349.110	394554.608	282087.348	
703115.448	874920.230	379508.709	
593961.150	605955.644	536970.574	
n = 5	n = 5	n = 5	n = 15
T1 = 3023321.423	T2 = 3720196.449	T3 = 2479985.867	T = 9223503.740
X = 604664.285	X = 744039.290	X = 495997.173	X = 614900.249

Sumber : Hasil penelitian laboratorium

- Hipotesis :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

- Tingkat signifikasin  $\alpha = 0.05$ ;  $n_1 = 3 - 1 = 2$  dan  $n_2 = 15 - 3 = 12$

$F_{(0.05 : 2, 12)} = 3.89$ , didapat dari Tabel VI distribusi F.

- Statistik uji :

$$F = \frac{RKP}{RKS}$$

- Daerah penolakan  $H_0$  :

$H_0$  ditolak, bila  $F_h > 3.89$

- Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kuadrat total (JKT)} &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n} \\ &= 6311249700902.56 - \frac{85073021237897.20}{15} \\ &= 6.39715 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)} &= \sum_{i=1}^3 \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n} \\ &= \frac{3023321.423^2}{5} + \frac{3720196.449^2}{5} + \frac{2479985.867^2}{5} - \frac{9223503.740^2}{15} \\ &= 1.54598 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Galat (JKG)} &= JKT - JKP \\ &= 6.39715 \times 10^{11} - 1.54598 \times 10^{11} \\ &= 4.85117 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\text{Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)} = \frac{JKP}{p-1} = \frac{1.54598 \times 10^{11}}{2} = 77299020574$$

$$\text{Kuadrat Tengah Galat (KTG)} = \frac{JKG}{n-p} = \frac{1.88202 \times 10^{11}}{12} = 40426409213$$

Apabila dituangkan dalam tabel anava akan didapatkan :

	d.b	JK	RK	FH
Perlakuan	2	154598041148.98	77299020574	1.9121
sesatan	12	485116910560.43	40426409213	
total	14	639714951709.41		

Kesimpulan :

Ho diterima karena  $F_{hitung} < 3.89$  artinya variasi ukutan butiran agregat kasar tidak berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton.

d.) Analisis satu arah pada variasi campuran agregat kasar 25 % BPB + 75 % LB

Tabel 4.4.1d Analisis Satu Arah pada Campuran Agregat Kasar 25 % BPB + 75 % LB

Campuran Agregat Kasar 25% BPB + 75% LB			
1.91 (cm)	2.54 (cm)	3.81 (cm)	
Modulus Elastisitas Beton (kg/cm <sup>2</sup> )			
449403.429	546499.627	480005.798	
619197.916	454228.261	443989.242	
420979.393	287174.385	435779.140	
502724.145	712210.823	742284.070	
520173.356	537056.740	607405.828	
n = 5	n = 5	n = 5	n = 15
T1 = 2512478.240	T2 = 2537169.836	T3 = 2709464.077	T = 7759112.153
X = 502495.648	X = 507433.967	X = 541892.815	X = 517274.144

Sumber : Hasil penelitian laboratorium

- Hipotesis :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

- Tingkat signifikasin  $\alpha = 0.05$ ;  $n_1 = 3 - 1 = 2$  dan  $n_2 = 15 - 3 = 12$

$F_{(0.05 : 2, 12)} = 3.89$ , didapat dari Tabel VI distribusi F.

- Statistik uji :

$$F = \frac{RKP}{RKS}$$

- Daerah penolakan  $H_0$  :

$H_0$  ditolak, bila  $F_h > 3.89$

- Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kuadrat total (JKT)} &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n} \\ &= 4206396470273.17 - \frac{60203821399084.80}{15} \\ &= 1.92808 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)} &= \sum_{i=1}^3 \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n} \\ &= \frac{2512478.240^2}{5} + \frac{2537169.836^2}{5} + \frac{2709464.077^2}{5} - \frac{7759112.153^2}{15} \\ &= 4606560048 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKP} \\ &= 1.92808 \times 10^{11} - 4606560048 \\ &= 1.88202 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\text{Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)} = \frac{\text{JKP}}{p-1} = \frac{4606560048}{2} = 2303280024$$

$$\text{Kuadrat Tengah Galat (KTG)} = \frac{\text{JKG}}{n-p} = \frac{1.88202 \times 10^{11}}{12} = 15683484746$$

Apabila dituangkan dalam tabel anava akan didapatkan :

	d.b	JK	RK	FH
perlakuan	2	4606560048	2303280024	0.1469
sesatan	12	188201816952.54	15683484746	
total	14	192808377000.85		

Kesimpulan :

Ho diterima karena  $F_{hitung} < 3.89$  artinya variasi ukuran butiran agregat kasar tidak berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton.

e.) Analisis satu arah pada variasi campuran agregat kasar 0 % BPB + 100 % LB

Tabel 4.4.1e Analisis Satu Arah pada Campuran Agregat Kasar 0 % BPB + 100 % LB

<b>Campuran Agregat Kasar 0% BPB + 100% LB</b>			
1.91 (cm)	2.54 (cm)	3.81 (cm)	
Modulus Elastisitas Beton (kg/cm <sup>2</sup> )			
832500.845	176226.134	674951.350	
492242.626	945354.759	385882.437	
739283.957	481812.220	460751.129	
484086.124	302579.022	482157.789	
236548.935	311757.724	197832.613	
n = 5	n = 5	n = 5	n = 15
T1 = 2784662.486	T2 = 2217729.858	T3 = 2201575.318	T = 7203967.663
X = 556932.497	X = 443545.972	X = 440315.064	X = 480264.511

Sumber : Hasil penelitian laboratorium

- Hipotesis :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

- Tingkat signifikasin  $\alpha = 0.05$ ;  $n_1 = 3 - 1 = 2$  dan  $n_2 = 15 - 3 = 12$

$F_{(0.05 : 2, 12)} = 3.89$ , didapat dari Tabel VI distribusi F.

- Statistik uji :

$$F = \frac{RKP}{RKS}$$

- Daerah penolakan  $H_0$  :

$H_0$  ditolak, bila  $F_h > 3.89$

- Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kuadrat total (JKT)} &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n} \\ &= 4206207289846.56 - \frac{51897150083238.90}{15} \\ &= 7.46397 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP)} &= \sum_{i=1}^3 \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n} \\ &= \frac{2784662.486^2}{5} + \frac{2217729.858^2}{5} + \frac{2201575.318^2}{5} - \frac{7203967.663^2}{15} \\ &= 44110947934 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Galat (JKG)} &= \text{JKT} - \text{JKP} \\ &= 7.46397 \times 10^{11} - 44110947934 \\ &= 7.02286 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\text{Kuadrat Tengah Perlakuan (KTP)} = \frac{\text{JKP}}{p-1} = \frac{44110947934}{2} = 2303280024$$

$$\text{Kuadrat Tengah Galat (KTG)} = \frac{\text{JKG}}{n-p} = \frac{7.02286 \times 10^{11}}{12} = 15683484746$$

Apabila dituangkan dalam tabel anava akan didapatkan :

	d.b	JK	RK	FH
Perlakuan	2	44110947934	22055473967	0.3769
sesatan	12	702286336363.59	58523861364	
total	14	746397284297.30		

Kesimpulan :

$H_0$  diterima karena  $F_{hitung} < 3.89$  artinya variasi ukuran butiran agregat kasar tidak berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton.

Variasi komposisi limbah :

a.) Analisis Satu Arah pada Variasi Ukuran Maksimum Agregat Kasar 1.91 cm

Tabel 4.4.1f Analisis satu arah pada variasi ukuran maksimum agregat kasar 1.91 cm

Ukuran maksimum Agregat Kasar 1.91 (cm)					
100 % BPB + 0 % LB	75 % BPB + 25 % LB	50 % BPB + 50 % LB	25 % BPB + 75 % LB	0 % BPB + 100 % LB	
Modulus Elastisitas Beton (kg/ cm <sup>2</sup> )					
835001.28	586031.53	666903.17	449403.43	832500.84	
1078436.70	967404.82	328992.55	619197.92	492242.63	
249147.91	308361.40	730349.11	420979.39	739283.96	
946971.40	283614.34	703115.45	502724.15	484086.12	
69240.29	267074.55	593961.15	520173.36	236548.94	
n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 25
T1=3178797.59	T2=2412486.63	T3=3023321.42	T4=2512478.24	T5=2784662.49	T=13911746.36
X = 635759.52	X = 482497.33	X = 604664.29	X = 502495.65	X = 556932.50	X=556469.86

Sumber : Hasil penelitian laboratorium

1. Hipotesis :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

2. Tingkat signifikasin  $\alpha = 0.05$ ;  $n_1 = 5 - 1 = 4$  dan  $n_2 = 25 - 5 = 20$

$F_{(0.05; 4, 20)} = 2.87$ , didapat dari Tabel VI distribusi F.

3. Statistik uji :

$$F = \frac{RKP}{RKS}$$

4. Daerah penolakan  $H_0$  :

$H_0$  ditolak, bila  $F_h > 2.87$

5. Perhitungan :

$$JKT = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$$

$$JKT = 9341702257015.77 - \frac{193536686883230}{25} = 1.60023 \times 10^{12}$$

$$\bullet \quad JKP = \sum_{i=1}^3 \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n}$$

$$JKP =$$

$$\frac{3178797.6^2}{5} + \frac{2412486.6^2}{5} + \frac{3023321.4^2}{5} + \frac{2512478.2^2}{5} + \frac{2784662.5^2}{5} - \frac{13911746.4^2}{25}$$

$$= 84974589035$$

$$\bullet \quad JKS = JKT - JKP = 1.60023 \times 10^{12} - 84974589035 = 1.51526 \times 10^{12}$$

$$\bullet \quad RKP = \frac{JKP}{p-1} = \frac{84974589035}{4} = 21243647259$$

$$\bullet \quad RKS = \frac{JKS}{n-p} = \frac{1.51526 \times 10^{12}}{20} = 75763009633$$

Apabila dituangkan dalam tabel anava akan didapatkan :

	d.b	JK	RK	FH
Perlakuan	4	84974589035	21243647259	0.2804
sesatan	20	$1.51526 \times 10^{12}$	75763009633	
total	24	$1.60023 \times 10^{12}$		

6. Kesimpulan :

Ho diterima karena  $F_{hitung} < 2.87$  artinya variasi persentase limbah tidak berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton.

b.) Analisis Satu Arah pada Variasi Ukuran Maksimum Agregat Kasar 2.54 cm

Tabel 4.4.1g Analisis satu arah pada variasi ukuran maksimum agregat kasar 2.54 cm

Ukuran maksimum Agregat Kasar 1.91 (cm)					
100 % BPB + 0 % LB	75 % BPB + 25 % LB	50 % BPB + 50 % LB	25 % BPB + 75 % LB	0 % BPB + 100 % LB	
Modulus Elastisitas Beton (kg/ cm <sup>2</sup> )					
1104847.000	886736.630	1053777.779	546499.627	176226.134	
350043.471	335659.639	790988.189	454228.261	945354.759	
939464.601	393941.308	394554.608	287174.385	481812.220	
251419.633	900174.356	874920.230	712210.823	302579.022	
636574.434	986428.100	605955.644	537056.740	311757.724	
n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 25
T1=3282349.1	T2=3502940.0	T3=3720196.4	T4=2537169.8	T5=2217729.9	T=15260385.3
X = 656469.8	X = 700588.0	X = 744039.3	X = 507434.0	X = 443546.0	X=610415.4

Sumber : Hasil penelitian laboratorium

1. Hipotesis :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

2. Tingkat signifikasin  $\alpha = 0.05$ ;  $n_1 = 5 - 1 = 4$  dan  $n_2 = 25 - 5 = 20$

$F_{(0.05; 4, 20)} = 2.87$ , didapat dari Tabel VI distribusi F.

3. Statistik uji :

$$F = \frac{RKP}{RKS}$$

4. Daerah penolakan  $H_0$  :

$H_0$  ditolak, bila  $F_h > 2.87$

5. Perhitungan :

$$JKT = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$$

$$JKT = 11284983791640.20 - \frac{232879360004561.00}{25} = 2.60613 \times 10^{12}$$

$$\bullet \quad JKP = \sum_{i=1}^3 \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n}$$

$$JKP =$$

$$\frac{3282349.1^2}{5} + \frac{3502940.0^2}{5} + \frac{3720196.4^2}{5} + \frac{2537169.8^2}{5} + \frac{2217729.9^2}{5} - \frac{15260385.3^2}{25}$$

$$= 9.69115 \times 10^{11}$$

$$\bullet \quad JKS = JKT - JKP = 2.60613E+12 - 9.69115 \times 10^{11} = 1.63702 \times 10^{12}$$

$$\bullet \quad RKP = \frac{JKP}{p-1} = \frac{3.3279 \times 10^{11}}{4} = 83197543604$$

$$\bullet \quad RKS = \frac{JKS}{n-p} = \frac{1.63702 \times 10^{12}}{20} = 81850960852$$

Apabila dituangkan dalam tabel anava akan didapatkan :

	d.b	JK	RK	FH
perlakuan	4	969115376487.61	83197543604	2.96
sesatan	20	1637019217039.88	81850960852	
total	24	1969809391457.71		

#### 6. Kesimpulan :

Ho ditolak karena  $F_{hitung} > 2.87$ , artinya variasi persentase limbah berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton

#### c.) Analisis Satu Arah pada Variasi Ukuran Maksimum Agregat Kasar 3.81 cm

Tabel 4.4.1h Analisis satu arah pada variasi ukuran maksimum agregat kasar 3.81 cm

Ukuran maksimum Agregat Kasar 1.91 (cm)					
100 % BPB + 0 % LB	75 % BPB + 25 % LB	50 % BPB + 50 % LB	25 % BPB + 75 % LB	0 % BPB + 100 % LB	
Modulus Elastisitas Beton (kg/ cm <sup>2</sup> )					
437139.593	330101.041	540020.259	480005.798	674951.350	
442247.239	983559.084	741398.977	443989.242	385882.437	
556826.023	403083.963	282087.348	435779.140	460751.129	
465502.430	578183.481	379508.709	742284.070	482157.789	
287081.701	421890.376	536970.574	607405.828	197832.613	
n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 5	n = 25
T1=2188796.9	T2=2716817.9	T3=2479985.9	T4=2709464.1	T5=2201575.3	T=12296640.2
X = 737759.4	X = 543363.6	X = 495997.2	X = 541892.8	X = 440315.1	X = 491865.6

Sumber : Hasil penelitian laboratorium

#### 1. Hipotesis :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

#### 2. Tingkat signifikasin $\alpha = 0.05$ ; $n_1 = 5 - 1 = 4$ dan $n_2 = 25 - 5 = 20$

$F_{(0.05; 4, 20)} = 2.87$ , didapat dari Tabel VI distribusi F.

3. Statistik uji :

$$F = \frac{RKP}{RKS}$$

4. Daerah penolakan  $H_0$  :

$H_0$  ditolak, bila  $F_h > 2.87$

5. Perhitungan :

$$JKT = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \frac{T^2}{n}$$

$$\sum x_{ij}^2 = 6725921621044.22$$

$$T^2 = 151207360067518.00$$

$$n = 25$$

$$JKT = 6725921621044.22 - \frac{151207360067518.00}{25} = 6.77627 \times 10^{11}$$

$$\bullet \quad JKP = \sum_{i=1}^3 \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{n}$$

$$JKP =$$

$$\frac{2188797.0^2}{5} + \frac{2716817.9^2}{5} + \frac{2479985.9^2}{5} + \frac{2709464.1^2}{5} + \frac{2201575.3^2}{5} - \frac{12296640.2^2}{25}$$

$$= 53783870139$$

$$\bullet \quad JKS = JKT - JKP = 6.77627 \times 10^{11} - 53783870139 = 6.23843 \times 10^{11}$$

$$\bullet \quad RKP = \frac{JKP}{p-1} = \frac{53783870139}{4} = 13445967535$$

$$\bullet \quad RKS = \frac{JKS}{n-p} = \frac{6.23843 \times 10^{11}}{20} = 31192167410$$

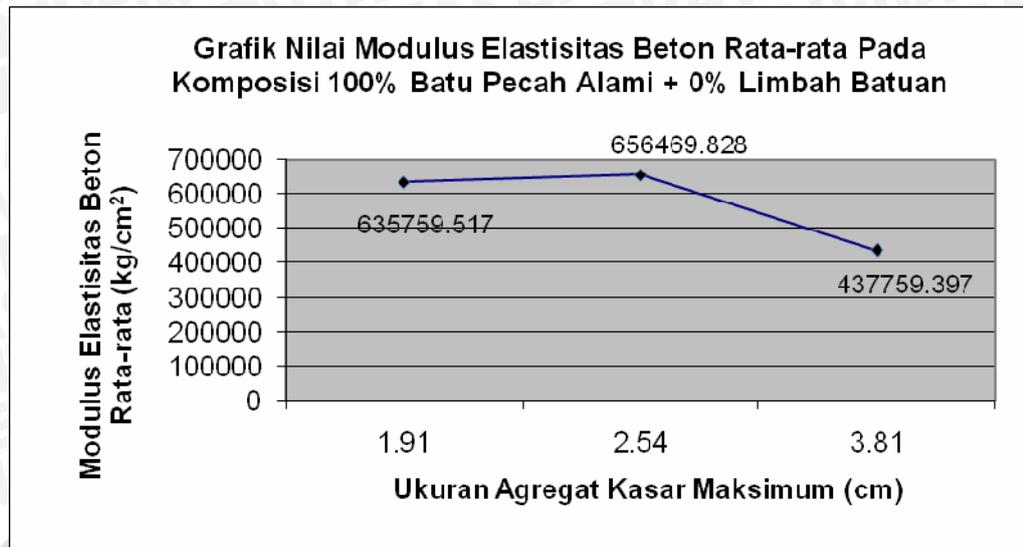
Apabila dituangkan dalam tabel anava akan didapatkan :

	d.b	JK	RK	FH
Perlakuan	4	53783870139	13445967535	3.617
sesatan	20	623843348204.02	31192167410	
total	24	677627218343.51		

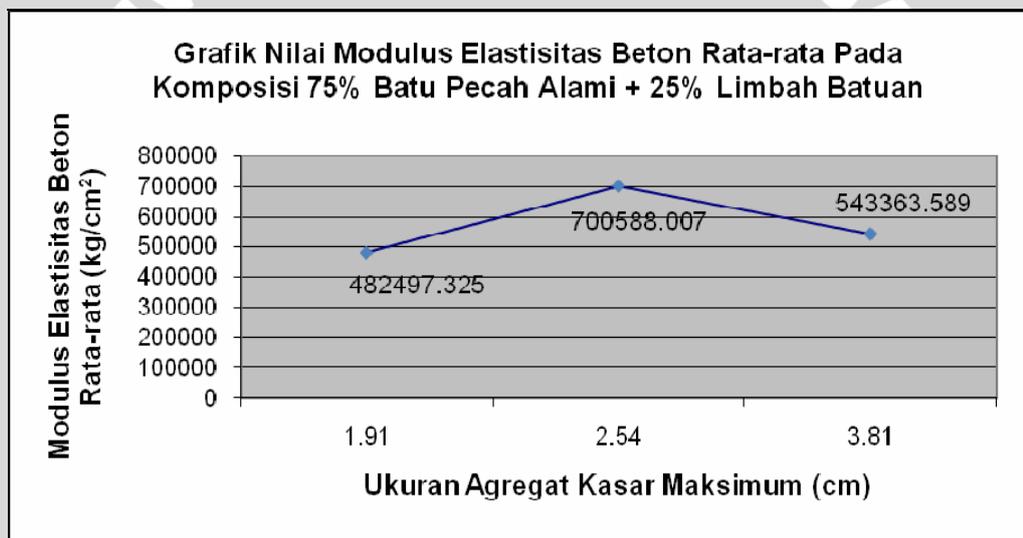
6. Kesimpulan :

$H_0$  ditolak karena  $F_{hitung} > 2.87$ , artinya variasi persentase limbah berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton

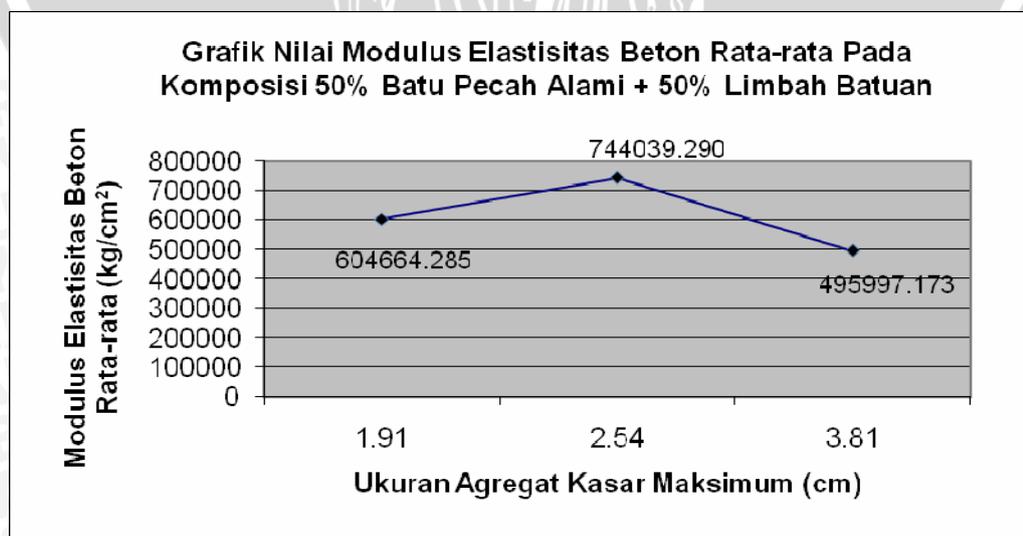
### Grafik Hubungan Modulus Elastisitas Beton Rata-Rata :



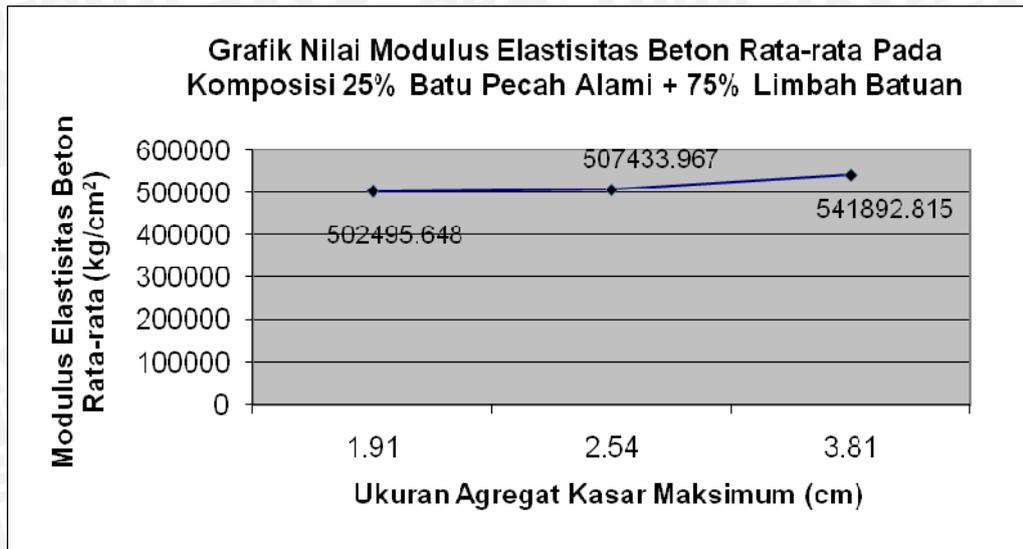
Gambar 4.4.1 a Grafik hubungan nilai modulus elastisitas rata-rata pada komposisi 0 % Limbah



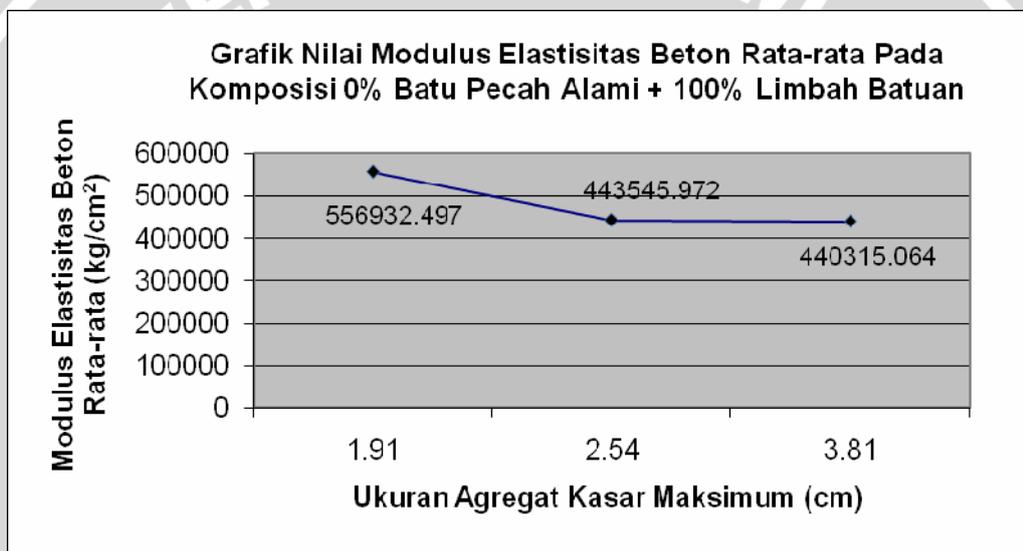
Gambar 4.4.1 b Grafik hubungan nilai modulus elastisitas rata-rata pada komposisi 25 % Limbah



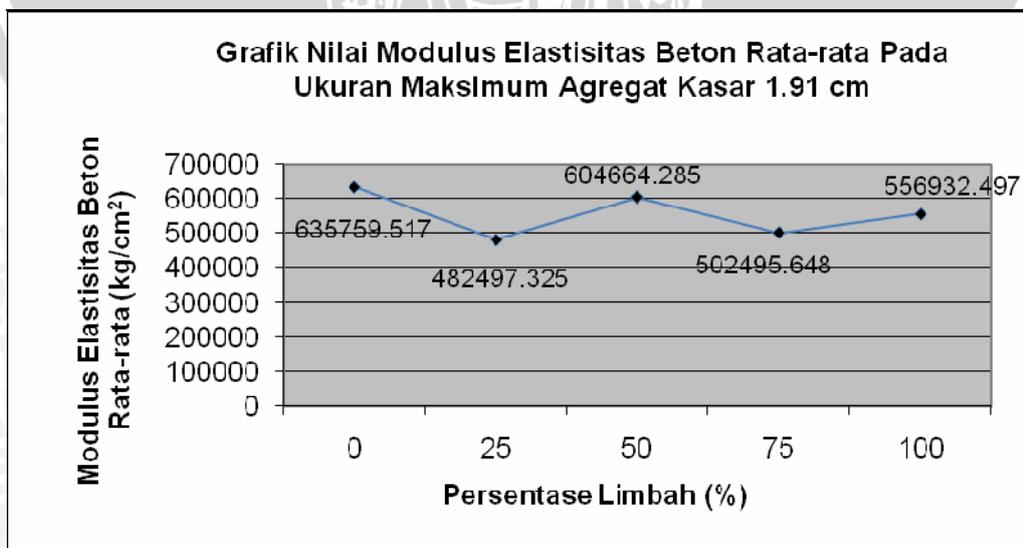
Gambar 4.4.1 c Grafik hubungan nilai modulus elastisitas rata-rata pada komposisi 50% Limbah



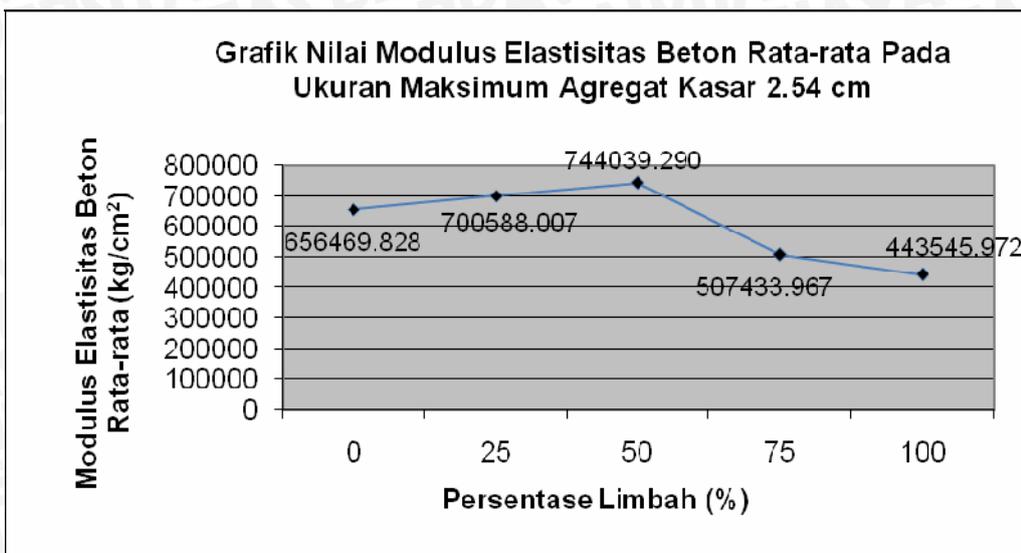
Gambar 4.4.1 d Grafik hubungan nilai modulus elastisitas rata-rata pada komposisi 75 % Limbah



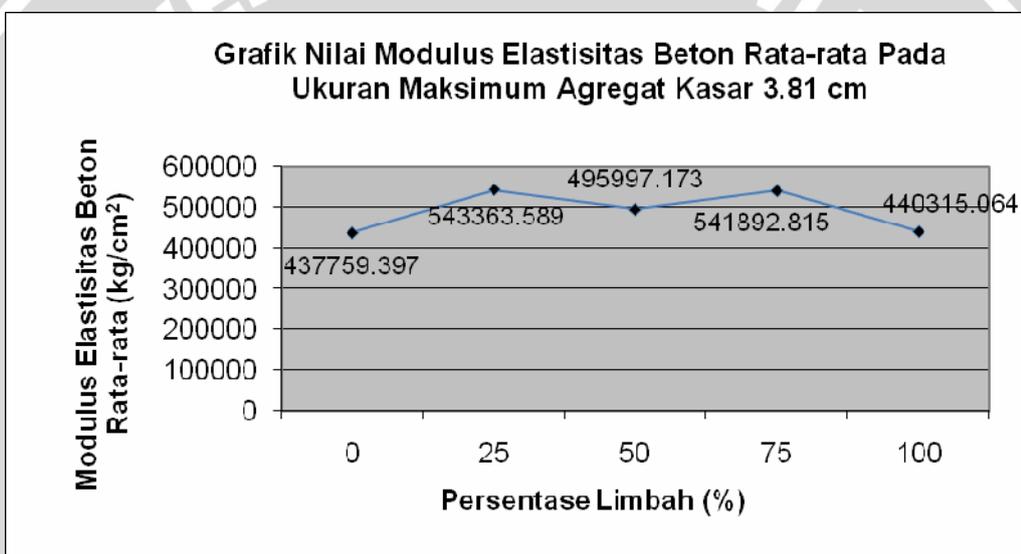
Gambar 4.4.1e. Grafik hubungan nilai modulus elastisitas rata-rata pada komposisi 100% Limbah



Gambar 4.4.1f Grafik hubungan nilai modulus elastisitas rata-rata pada ukuran maksimum 1.91



Gambar 4.4.1g Grafik hubungan nilai modulus elastisitas rata-rata pada ukuran maksimum 2.54



Gambar 4.4.1h Grafik hubungan nilai modulus elastisitas rata-rata pada ukuran maksimum 3.81

#### 4.4.2 Analisis Dua Arah :

Tabel 4.4.2 Analisis Dua Arah

	Variasi Ukuran maksimum Agregat Kasar			Total
	1.91 (cm)	2.54 (cm)	3.81 (cm)	
Variasi Campuran Agregat Kasar	Modulus Elastisitas Beton (kg/cm <sup>2</sup> )			
A 100 % BPB + 0 % LB	835001.281	1104847.000	437139.593	2376987.874
	1078436.700	350043.471	442247.239	1870727.411
	249147.914	939464.601	556826.023	1745438.538
	946971.4	251419.633	465502.430	1663893.464
	69240.292	636574.434	287081.701	992896.428
B 75 % BPB + 25 % LB	586031.526	886736.630	330101.041	1802869.197
	967404.820	335659.639	983559.084	2286623.543
	308361.397	393941.308	403083.963	1105386.668
	283614.337	900174.356	578183.481	1761972.174
	267074.547	986428.100	421890.376	1675393.023
C 50 % BPB + 50 % LB	666903.170	1053777.779	540020.259	2260701.208
	328992.545	790988.189	741398.977	1861379.711
	730349.110	394554.608	282087.348	1406991.066
	703115.448	874920.230	379508.709	1957544.387
	593961.150	605955.644	536970.574	1736887.368
D 25 % BPB + 75 % LB	449403.429	546499.627	480005.798	1475908.854
	619197.916	454228.261	443989.242	1517415.419
	420979.393	287174.385	435779.140	1143932.918
	502724.145	712210.823	742284.070	1957219.039
	520173.356	537056.740	607405.828	1664635.924
E 0 % BPB + 100 % LB	832500.845	176226.134	674951.350	1683678.328
	492242.626	945354.759	385882.437	1823479.822
	739283.957	481812.220	460751.129	1681847.306
	484086.124	302579.022	482157.789	1268822.935
	236548.935	311757.724	197832.613	746139.272
Total	13911746.364	15260385.316	12296640.194	41468771.874

Sumber : Hasil penelitian laboratorium

- Hipotesis :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$$

- Dengan menggunakan persamaan uji hipotesis data dan model analisis varian dua arah dengan kriteria pengujian :

$$\alpha = 0.05 \quad (\text{rasio kegagalan})$$

$$a = 5 \quad (\text{variasi ukuran maksimum agregat})$$

$$b = 3 \quad (\text{variasi campuran agregat})$$

$$r = 5 \quad (\text{jumlah perulangan})$$

$$n = 75 \quad (\text{jumlah data})$$

- Derajat bebas :

$$\text{db perlakuan} = (a \times b) - 1 = 14$$

$$\text{db galat} = a \times b (r-1) = 60$$

$$\text{db total} = r a b - 1 = 74$$

- Batas kritis pada tabel F adalah

$$V1 - A = b - 1 = 2$$

$$V1 - B = a - 1 = 4$$

$$V1 - AB = (b - 1) \cdot (a - 1) = 8$$

$$V2 = b \cdot a (r - 1) = 3.5(5 - 1) = 60$$

Sehingga Ftabel didapat sebagai berikut :

$$F(0.05 ; 2 ; 60) = 3.15$$

$$F(0.05 ; 4 ; 60) = 2.53$$

$$F(0.05 ; 8 ; 60) = 2.10$$

- Statistik uji :

$$F = \frac{KTP}{KTG}$$

- Daerah penolakan  $H_0$  :

$$H_0 \text{ ditolak bila, } F_h > 3.15$$

$$F_h > 2.53$$

$$F_h > 2.10$$

- Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Faktor Koreksi (FK)} &= \frac{Y^2}{rab} \\ &= \frac{40486773^2}{75} \\ &= 2.18557 \times 10^{13} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Total (JKT)} &= \sum_{ijk} Y_{ijk}^2 - FK \\ &= 3.13826 \times 10^{13} - 2.18557 \times 10^{13} \\ &= 9.52685 \times 10^{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Perlakuan} &= \frac{1.37415 \times 10^{14}}{5} - 2.18557 \times 10^{13} \\ &= 5.62732 \times 10^{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat Galat (JKG)} &= JKT - JKP \\ &= 9.52685 \times 10^{12} - 5.62732 \times 10^{12} \\ &= 3.89953 \times 10^{12} \end{aligned}$$

Menentukan jumlah kuadrat untuk pengaruh jenis variasi komposisi (J), pengaruh variasi ukuran butiran (P) dan interaksi keduanya (JP)

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat (J)} &= \sum_i (a_i^2) / rb - FK \\ &= \frac{3.30487 \times 10^{14}}{15} - 2.18557 \times 10^{13} \\ &= 1.76751 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat (P)} &= \sum_j (a_j^2) / ra - FK \\ &= \frac{5.54811 \times 10^{14}}{25} - 2.18557 \times 10^{13} \\ &= 3.36742 \times 10^{11} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Kuadrat (JP)} &= JKP - JK(J) - JK(P) \\ &= .62732 \times 10^{12} - 1.76751 \times 10^{11} - 3.36742 \times 10^{11} \\ &= 21.39105 \times 10^{12} \end{aligned}$$

Menentukan derajat bebas untuk pengaruh utama dan interaksi,

$$\text{db faktor variasi komposisi (J)} = a - 1 = 5 - 1 = 4$$

$$\text{db faktor ukuran butiran (P)} = b - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$\text{db interaksi (JP)} = (a - 1)(b - 1) = 4 \times 2 = 8$$

Menentukan kuadrat tengah (KT) masing masing melalui pembagian antara JK dan derajat bebasnya, yaitu :

$$KT(J) = JK(J) / (a - 1) = \frac{1.76751 \times 10^{11}}{4} = 44187674707$$

$$KT(P) = JK(P) / (b - 1) = \frac{3.36742 \times 10^{11}}{2} = 1.68371 \times 10^{11}$$

$$KT(JP) = JK(JP) / (a - 1)(b - 1) = \frac{2.93365 \times 10^{11}}{8} = 1.73882 \times 10^{11}$$

$$KTG = JKG / \text{db Galat} = \frac{3.89953 \times 10^{12}}{60} = 64992099872$$

Apabila dituangkan dalam tabel anava akan didapatkan :

Sumber Keragaman	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (RK)	F hitung (FH)	F tabel (FT)
Perlakuan	14	665001921418.45			
Pengaruh (J)	4	176750698826.35	44187674707	0.679893	3.15
Pengaruh (P)	2	194886454889.37	97443227445	2.59064	2.53
Pengaruh (J& P)	8	293364767702.73	36670595963	2.67543	2.10
Galat	60	3899525992310.81	64992099872		
total	74	4564527913729.26			

Sumber : Hasil perhitungan

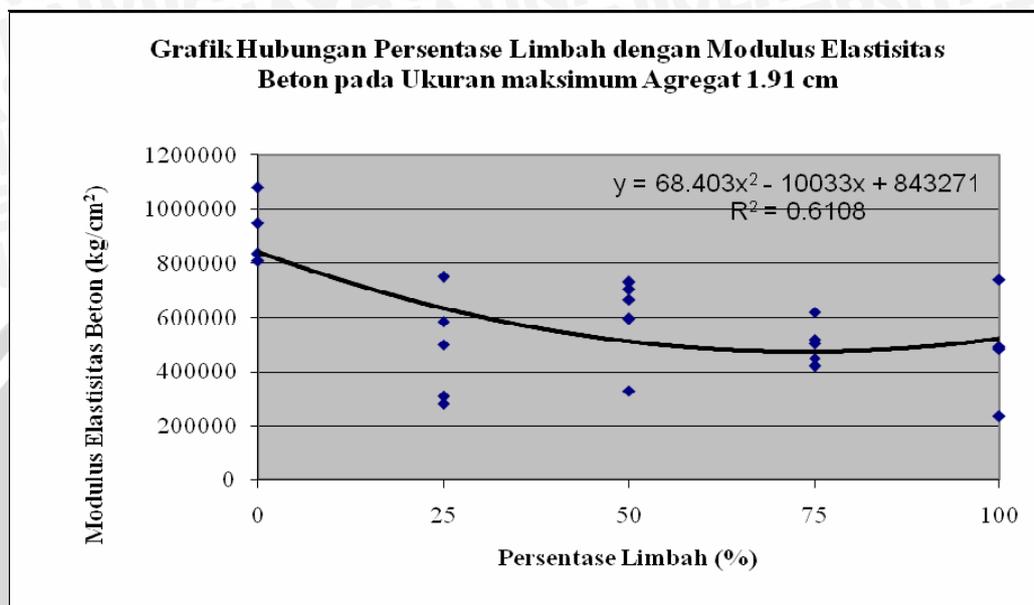
- Kesimpulan :

- Untuk (J); pengaruh akibat variasi ukuran agregat maksimum,  $F_{hitung} < F_{tabel}$  (5 %). Maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak untuk resiko kesalahan 5 % ; artinya faktor variasi ukuran maksimum agregat kasar tidak berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton.
- Untuk (P) ; pengaruh akibat variasi komposisi,  $F_{hitung} > F_{tabel}$  (5 %). Maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima untuk resiko kesalahan 5 % ; Artinya faktor variasi persentase limbah batuan berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas beton.
- Untuk (J & P) ; pengaruh akibat keduanya,  $F_{hitung} > F_{tabel}$  (5%) Maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima untuk resiko kesalahan 5 % ; artinya interaksi antara variasi persentase limbah dan ukuran maksimum agregat kasar berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton disebabkan karena variasi komposisi mempengaruhi nilai modulus elastisitas beton

#### 4.4.3 Analisis Regresi

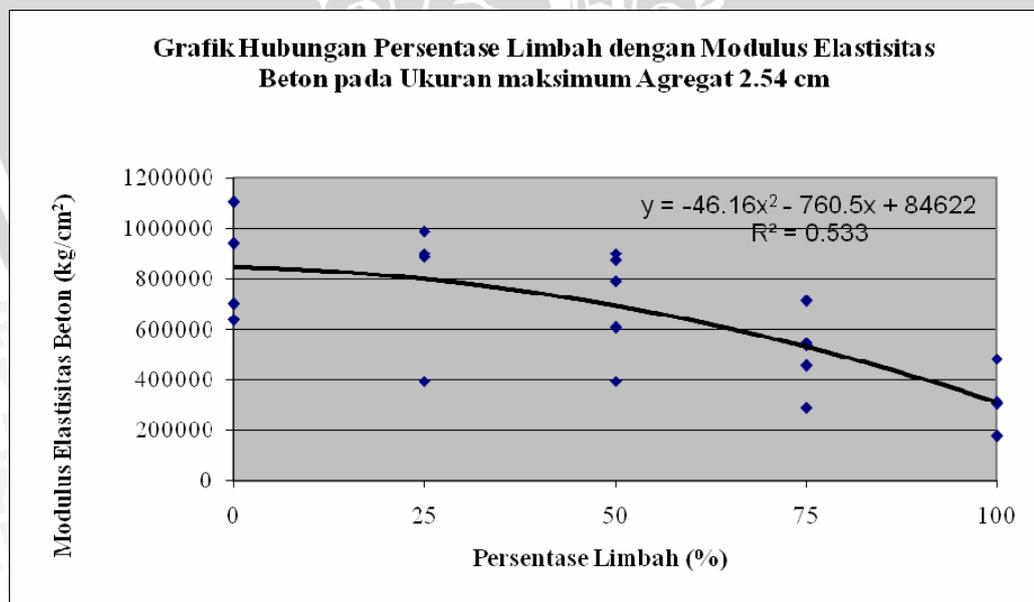
Dengan bantuan Microsoft Excel dalam perhitungan analisis regresi satu arah dengan model persamaan regresi polinomial berderajat dua, didapat hasil sebagai berikut :

a) untuk ukuran maksimum agregat 1.91 cm



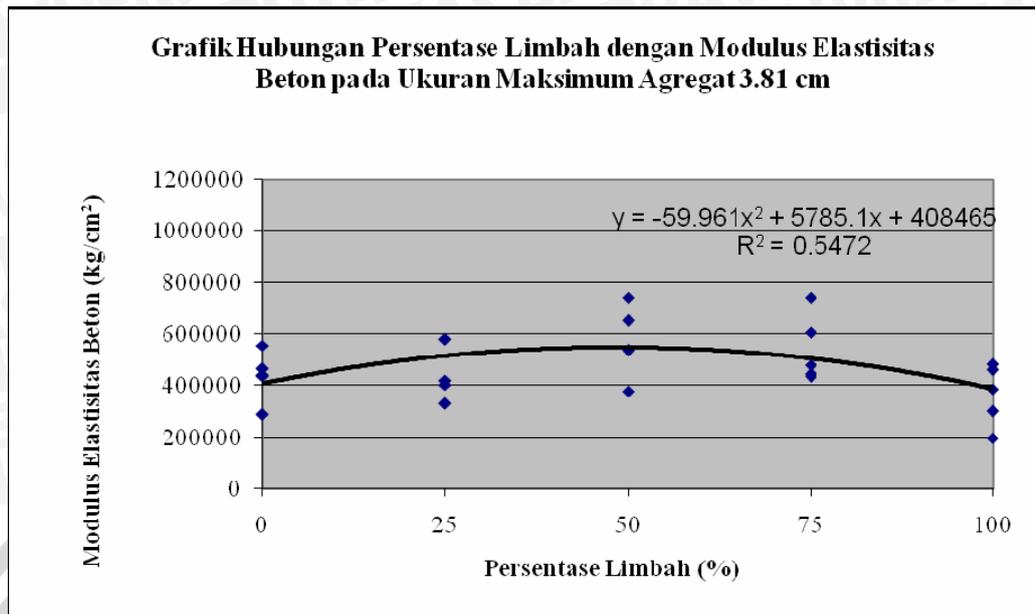
Gambar 4.4.3a Grafik korelasi nilai modulus elastisitas beton dengan persentase limbah pada ukuran maksimum agregat 1.91 cm

b) untuk ukuran maksimum agregat 2.54 cm



Gambar 4.4.3b Grafik korelasi nilai modulus elastisitas beton dengan persentase limbah pada ukuran maksimum agregat 2.54 cm

c) untuk ukuran maksimum agregat 3.81 cm



Gambar 4.4.3c Grafik korelasi nilai modulus elastisitas beton dengan persentase limbah pada ukuran maksimum agregat 3.81 cm



## 4.5 Pembahasan

### 4.5.1 Pengaruh variasi ukuran maksimum agregat terhadap modulus elastisitas beton

Dari hasil pengujian statistik satu arah (tabel 4.4.1a) dengan variasi ukuran maksimum agregat kasar pada masing-masing komposisi limbah batuan terlihat bahwa pada komposisi 100% batu pecah + 0% limbah, ukuran butiran maksimum agregat berpengaruh secara signifikan terhadap nilai modulus elastisitas beton. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian-penelitian terdahulu sejak beton ditemukan. Hal yang sama juga terjadi pada komposisi 75% batu pecah biasa + 25% limbah (tabel 4.4.1b).

Ini bisa dipahami karena makin besar ukuran agregat, kemampuan saling mengisi diantara agregat semakin menurun sehingga semakin banyak terdapat rongga-rongga di dalam beton keras. Semakin besar volume rongga dengan gaya tekan yang sama akan mengakibatkan beton mengalami regangan yang lebih besar sehingga nilai modulus elastisitasnya juga menurun. Hal ini sesuai dengan hasil pengolahan data oleh peneliti bahwa pada ukuran agregat 3.81 cm nilai modulus elastisitasnya mengikuti pola yang menurun.

Akan tetapi pada persentase 50%, 75%, dan 100% limbah terlihat variasi ukuran maksimum agregat tidak berpengaruh nyata terhadap nilai modulus elastisitas beton. Hal ini bisa terjadi karena permukaan limbah batu alam Junrejo lebih halus menyebabkan kerekatan antar agregat maupun dengan komponen lain dalam campuran beton berkurang. Sehingga nilai modulus elastisitas beton pada ketiga sampel yang diambil oleh peneliti tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Hasil yang didapat dari uji F untuk variasi ukuran maksimum agregat terhadap modulus elastisitas beton pada setiap persentase limbah adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5.1 Resume  $F_{hitung}$  dan  $F_{tabel}$  untuk variasi ukuran maksimum agregat terhadap modulus elastisitas beton

Pada Komposisi	$F_{hitung}$	$F_{tabel}$
A 100 % BPB + 0 % LB	4.017	3.890
B 75 % BPB + 25 % LB	3.9546	3.890
C 50 % BPB + 50 % LB	1.9121	3.890
D 25 % BPB + 75 % LB	0.1469	3.890
E 0 % BPB + 100 % LB	0.3769	3.890

Sumber : hasil perhitungan

Dari hasil uji statistik dengan menggunakan varian satu arah maka diperoleh hasil bahwa  $F_{hitung} < F_{tabel}$ . Ini berarti  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima, artinya bahwa variasi ukuran maksimum agregat kasar tidak berpengaruh nyata terhadap nilai modulus elastisitas beton, dengan rasio kegagalan 5%.

Ini bukan berarti bahwa hasil penelitian ini menyimpang dari hasil penelitian-penelitian terdahulu yang mengatakan bahwa ukuran agregat berpengaruh terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh persentase limbah batuan terhadap kekuatan beton sehingga sampel yang diambil oleh peneliti terhadap ukuran maksimum butiran agregat tidak bisa mewakili seluruh populasi ukuran butiran.

#### 4.5.2 Pengaruh variasi persentase limbah terhadap modulus elastisitas

Dari hasil pengujian statistik satu arah dengan variasi atau persentase limbah pada masing-masing ukuran maksimum agregat kasar terlihat bahwa pada ukuran agregat 2.54 cm dan 3.81 cm persentase limbah batuan Junrejo dalam agregat kasar berpengaruh nyata terhadap nilai modulus elastisitas beton. Hal ini bisa terjadi karena sifat dan karakteristik limbah batuan berbeda dengan batu pecah biasa antara lain permukaannya lebih licin, bentuk lebih pipih, dan penyerapan air lebih kecil serta modulus halus yang lebih besar.

Nilai modulus elastisitas beton rata-rata yang didapatkan pada ukuran maksimum agregat 2.54 cm adalah sebagai berikut :

- 100 % BPB + 0 % LB adalah 656469.828 Kg/cm<sup>2</sup> ;
- 75 % BPB + 25 % LB sebesar 700588.007 Kg/cm<sup>2</sup> ;
- 50 % BPB + 50 % LB sebesar 744039.290Kg/cm<sup>2</sup> ;
- 25 % BPB + 75 % LB sebesar 507433.967 Kg/cm<sup>2</sup> dan
- 0 % BPB + 100 % LB sebesar 443545.972 Kg/cm<sup>2</sup>,

Tabel 4.5.2 Resume  $F_{hitung}$  dan  $F_{tabel}$  untuk variasi komposisi agregat terhadap modulus elastisitas beton

Pada Ukuran Maksimum	$F_{hitung}$	$F_{tabel}$
1.91 (cm)	0.2804	2.780
2.54 (cm)	2.96	2.780
3.81 (cm)	3.617	2.780

Sumber : hasil perhitungan

Sedangkan untuk ukuran maksimum agregat kasar 1.91 cm persentase limbah tidak berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas beton karena ukuran butiran yang kecil memungkinkan agregat dapat saling mengisi dengan baik dan semakin kecil butiran limbah batuan, semakin sedikit pula bentuk agregat yang pipih.

Dari hasil pengujian modulus elastisitas beton dengan menggunakan analisa varian dua arah dapat dilihat bahwa variasi persentase limbah berpengaruh nyata terhadap nilai modulus elastisitas beton dengan rasio kegagalan sebesar 5 %. Dari grafik gambar 4.3.2b terlihat nilai modulus elastisitas beton rata-rata mengikuti pola yang menurun .

#### **4.5.3 Hubungan antara variasi persentase limbah dan ukuran maksimum agregat kasar terhadap nilai modulus elastisitas beton**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi persentase limbah dan ukuran maksimum agregat bersama-sama memberikan pengaruh yang signifikan terhadap modulus elastisitas beton. Dari hasil analisis varian dua arah nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$  maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima. Artinya interaksi antara persentase limbah dan ukuran agregat maksimum berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton disebabkan karena variasi persentase mempengaruhi modulus elastisitas beton

#### **4.5.4 Hasil analisis regresi untuk hubungan antara persentase limbah terhadap modulus elastisitas beton**

Perhitungan regresi satu arah dengan menggunakan persamaan polinomial berserajat dua menghasilkan tingkat keterandalan model (angka determinasi) relatif kecil, yang ditunjukkan dengan nilai  $R^2$  yang relatif kecil. Ini berarti bahwa kecocokan model persamaan yang diperoleh untuk data yang diolah relative kecil. Dengan bantuan *Microsoft Excel* dapat diperoleh persamaan regresi untuk masing-masing ukuran maksimum agregat kasar yaitu sebagai berikut :

a) ukuran maksimum agregat 1.91 cm

$$Y = 68,403x^2 - 10033x + 843271$$

$$R^2 = 0.6108$$

$$R = 0.7815$$

b) ukuran maksimum agregat 2.54 cm

$$Y = -46,16x^2 - 760,5x + 84622$$

$$R^2 = 0,5330$$

$$R = 0.7301$$

c) ukuran maksimum agregat 3.81 cm

$$Y = -59,961x^2 - 5785,1x + 408465$$

$$R^2 = 0.5472$$

$$R = 0.7397$$

Dengan :

$$Y = \text{modulus elastisitas beton (kg/cm}^2\text{)}$$

$$X = \text{persentase limbah (\%)}$$

Disini tampak bahwa koefisien determinasi (tingkat keterandalan model) yang paling besar terjadi pada ukuran maksimum agregat 1.91 cm yang ditunjukkan dengan nilai  $R^2$  yang terbesar. Demikian juga dengan tingkat keeratan hubungan antara variabel X dan Y yang terbesar terjadi pada variasi yang sama. Hal ini ditunjukkan dengan nilai R yang terbesar. Hal ini bisa juga berarti bahwa nilai modulus elastisitas beton dengan variasi persentase limbah batuan pada ukuran agregat maksimum 1.91 cm mempunyai rata-rata simpangan yang paling kecil atau dengan kata lain mempunyai sebaran data yang paling baik.

Pada kurva persamaan regresi untuk ukuran maksimum agregat 1.91 cm (Gambar 4.4.2a) dan ukuran maksimum 2.54 cm (Gambar 4.4.2b), nilai modulus elastisitas beton mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase limbah. Tetapi untuk ukuran maksimum agregat 3.81 cm (gambar 4.4.2c) nilai modulus elastisitas beton mencapai maksimum terjadi pada persentase limbah sekitar 50%. Hal ini bisa terjadi pada ukuran agregat 3.81 cm karena pada komposisi agregat kasar yang berimbang antara batu pecah biasa dan limbah (50% - 50%), agregat dapat saling mengisi dengan lebih baik bila dibandingkan dengan persentase 0% limbah maupun 100% limbah pada ukuran yang sama.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

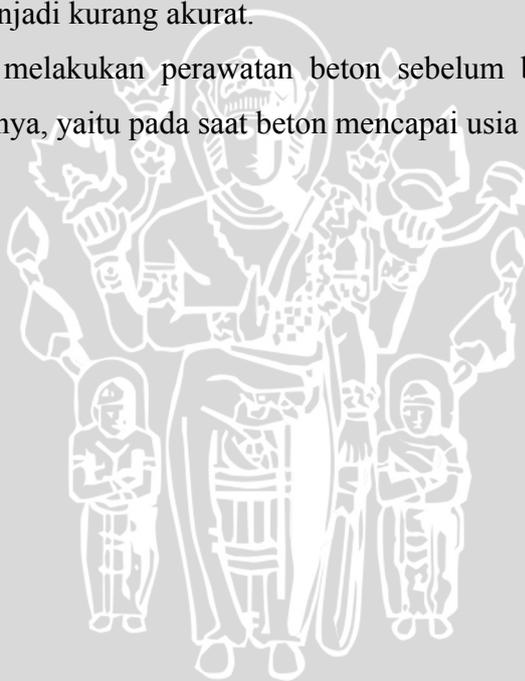
Dari proses analisis data hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Batuan basalt memiliki penyerapan air yang lebih kecil daripada batu pecah biasa karena permukaan yang lebih licin dan lebih sedikit terdapat rongga. Modulus kehalusan batuan basalt sedikit lebih kecil dibandingkan dengan batu pecah biasa.
2. Berdasarkan hasil uji F didapatkan kesimpulan bahwa :
  - Variasi ukuran maksimum agregat kasar tidak berpengaruh nyata terhadap modulus elastisitas beton.
  - Pemakaian limbah batu alam Junrejo sebagai agregat kasar pada ukuran maksimum agregat 1,91 cm tidak mempengaruhi kekuatan beton dalam hal ini modulus elastisitasnya.
  - Pemakaian limbah batu alam Junrejo sebagai agregat kasar pada ukuran maksimum agregat 2,54 cm akan mengurangi kekuatan beton dalam hal ini modulus elastisitasnya.
  - Pemakaian limbah batu alam Junrejo sebagai agregat kasar pada ukuran maksimum agregat 3,81 cm akan meningkatkan kekuatan beton dalam hal ini modulus elastisitasnya.
3. Pemakaian limbah batu alam Junrejo sebagai agregat kasar untuk membuat beton akan memperlemah kekuatannya sebesar 16,471% jika menggunakan ukuran maksimum agregat kasar 1,91 cm dengan persentase limbah sebesar 25%
4. Pemakaian limbah batu alam Junrejo sebagai agregat kasar untuk membuat beton akan memperlemah kekuatannya sebesar 54,423% jika menggunakan ukuran maksimum agregat kasar 2,54 cm.
5. Pemakaian limbah batu alam Junrejo sebagai agregat kasar untuk membuat beton akan menaikkan kekuatannya sebesar 34,116% jika menggunakan ukuran maksimum agregat kasar 3,81 cm dengan persentase limbah sebesar 50%.
6. Limbah batu alam Junrejo dapat dimanfaatkan sebagai agregat kasar jika dipakai ukuran maksimum 1,91 cm dengan persentase limbah sebesar 25% atau menggunakan ukuran maksimum 3,81 cm dengan persentase limbah 50%.

## 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian dan mengetahui hasilnya peneliti dapat memberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pemeriksaan yang lebih lengkap dan terperinci mengenai sifat-sifat dan karakteristik limnah batu alam Junrejo
2. Sebelum melakukan percobaan di laboratorium, diharapkan untuk menguasai semua prosedur pengujian dan pemakaian alat sehingga didapatkan data yang lebih teliti dan akurat.
3. Disarankan untuk melakukan pengawasan yang ketat pada saat pengerjaan dan penuangan beton kedalam silinder untuk menghindari permukaan atas benda uji yang tidak rata pada saat beton mengeras. Jika permukaan tidak rata, data regangan beton menjadi kurang akurat.
4. Disarankan untuk melakukan perawatan beton sebelum benda uji siap untuk diperiksa kekuatannya, yaitu pada saat beton mencapai usia 28 hari.



## DAFTAR PUSTAKA

Amri, Sjafei, 2005, *Teknologi Beton A-Z*. Jakarta : Penerbit Yayasan John Hi-Tech Ideatama

Mulyono, Tri, 2005, *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Penerbit Andi

Cahya, Indra, 1984, *Teknologi Beton*. Malang : Bagian Penerbit Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Wang, CK, dan Salmon, GG. 1993, *Disain Beton Bertulang*, Jilid I Edisi Keempat. Jakarta : Penerbit Erlangga.

Nawi, Edward G., 1990, *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung : penerbit PT. Eresco.

Murdock, L.J, K.M. Brook dan Stephanus Hendarko, 1986, *Bahan dan Praktek Beton*. Edisi keempat. Jakarta : Penerbit Erlangga.

Winter, George dan Nilson, Arthur, 1993, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*. Bandung : penerbit ITB dan PT Pradnya Paramita

Wicaksono, Galih, 2005, *Pengaruh Variasi Agregat Pada Campuran Beton Ringan Beragregat Batuan Andesit Piroksen terhadap Modulus Elastisitas dan Rasio Poisson*, Tugas Akhir. Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya, Malang.

Budi, Arief, 2007, *Uji Juat Tekan Campuran Beton dengan Limbah Batuan Pabrik Pengrajin Batu Alam Junrejo Kota Batu*, Tugas Akhir. Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya, Malang.

Setia Graha, Doddy, 1987, **Batuan dan Mineral**. Bandung : Penerbit Nova