

**PENGARUH PENAMBAHAN COPPER SLAG
SEBAGAI AGREGAT HALUS
TERHADAP BERAT ISI DAN KUAT TEKAN BETON**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

ARIF PUGUH PRASETYO

NIM. 0410612002-61

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

**PENGARUH PENAMBAHAN COPPER SLAG
SEBAGAI AGREGAT HALUS
TERHADAP BERAT ISI DAN KUAT TEKAN BETON**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

ARIF PUGUH PRASETYO

NIM. 0410612002-61

DOSEN PEMBIMBING :

Ir. Wisnumurti, MT.

NIP. 131 879 046

Ir. Ristinah S, MT.

NIP. 130 531 843

**PENGARUH PENAMBAHAN COPPER SLAG
SEBAGAI AGREGAT HALUS
TERHADAP BERAT ISI DAN KUAT TEKAN BETON**

Disusun Oleh :

ARIF PUGUH PRASETYO

NIM. 0410612002-61

**Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 26 November 2007**

DOSEN PENGUJI :

**Ir. Wisnumurti, MT.
NIP. 131 879 046**

**Ir. Ristinah S, MT.
NIP. 130 531 843**

**Ir. Arifi Soenaryo
NIP. 130 350 755**

Mengetahui

Ketua Jurusan teknik Sipil

**Ir. As'ad munawir, MT.
NIP. 131 574 850**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur kehadirat Allah S.W.T atas segala rahmat dan karunia Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “ *Pengaruh penambahan copper slag sebagai agregat halus terhadap berat isi dan kuat tekan beton* “

Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Sipil dari Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak- pihak yang telah berperan dalam memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis, sehingga skripsi dapat terselesaikan diantaranya :

1. Ayah, Ibu dan semua saudaraku tercinta yang selalu memberi dukungan dan motivasi untuk menyelesaikan kuliah.
2. Bapak Ir.Wisnumurti, MT., selaku dosen pembimbing dengan segenap upayanya memberikan pengertian dan jalan keluar pada sa'at penulis mengalami kesulitan dalam memyelisaikan skripsi ini.
3. Ibu Ir. Hj. Ristinah S, MT., selaku dosen pembimbing dengan penuh pengertian dan kesabaran membimbing penulis dalam menyusun skripsi.
4. Bapak Ir. Arifi Soenaryo., selaku dosen penguji skripsi.
5. Bapak Ir. Pudyono, MT., selaku dosen wali penulis selama kuliah.
6. Bapak Ir. As'ad Munawir, MT., selaku ketua jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
7. Bapak Hendi Bowoputro, ST., MT., selaku sekertaris jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
8. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS., selaku KKDK stuktur jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
9. Ibu Ir. Edhy Wahjuni S, MT., selaku kepala Laboraturium.Bahan Kontrusksi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
10. Semua bapak dan ibu dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang telah membimbing dan memberi wawasan baru.
11. Pak Yunus, Mas sugeng, dan Staf Laboratorium Teknik Sipil yang telah banyak membantu penulis dalam melakukan penelitian di Laboratorium.

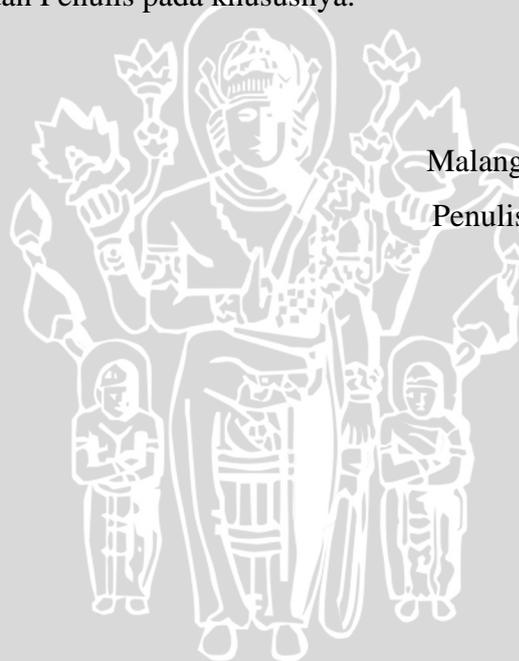
12. Staf rekording dan perpustakaan yang banyak membantu penulis dalam menyelesaikan semua administrasi dan studi
13. Teman-teman Alih Jenjang angkatan 2002/2003 s/d 2005/2006 yang banyak menyumbangkan pikiran, tenaga dan bantuan kepada penulis dalam kuliah sehingga terselesaikan penelitian dan skripsi ini.
14. Teman-teman angkatan 2001/2002 s/d 2004/2005 yang banyak menyumbangkan pikiran, tenaga dan bantuan dalam kuliah sehingga selesai penelitian dan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna disebabkan keterbatasan ilmu penulis, oleh karena itu segala saran dan kritikan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini untuk sekarang dan yang akan datang.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua kalangan pada umumnya, dan mahasiswa Teknik Sipil dan Penulis pada khususnya.

Malang, 30 November 2007

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
RINGKASAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Beton.....	4
2.1.1 Deskripsi.....	4
2.1.2 Karakter Fisik dan Mekanik.....	4
2.2 Agregat.....	5
2.2.1 Deskripsi.....	5
2.2.2 Agregat Halus.....	7
2.2.3 Agregat Kasar.....	7
2.3 Semen.....	8
2.4 Air.....	9
2.5 Copper Slag	10
2.5.1 Definisi Copper Slag.....	10
2.5.2 Sifat Material Copper Slag.....	11
2.6 Berat isi beton.....	12
2.7 Kuat tekan beton	13
2.8 Hipotesis Penelitian.....	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	15



3.2	Peralatan dan Bahan.....	15
3.3	Rancangan Penelitian.....	15
3.4	Pembuatan benda uji.....	16
3.5	Diagram Alir Penelitian.....	17
3.6	Variasi Benda uji	18
3.7	Prosedur Penelitian	18
3.8	Variabel Penelitian.....	18
3.9	Analisis Data.....	19

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisa Bahan yang Digunakan	20
4.1.1	Semen.....	20
4.1.2	Air	20
4.1.3	Agregat Halus.....	20
4.1.4	Copper Slag.....	21
4.1.5	Agregat Kasar.....	22
4.2	Agregat Gabungan.....	23
4.2.1	Agregat Gabungan Copper Slag dengan Pasir Alam.....	23
4.2.2	Agregat Gabungan Agregat Halus dengan Agregat Kasar	24
4.3	Pengujian Adukan Beton	24
4.4	Perawatan Beton	25
4.5	Pengujian Beton.....	25
4.5.1	Pemeriksaan Berat Isi Beton.....	25
4.5.2	Pemeriksaan Kuat Tekan Beton	27
4.6	Metode Pengujian Hipotesis.....	29
4.7	Analisis Metode Penerapan Acak Lengkap.....	29
4.8	Analisis Regresi.....	31
4.9	Pembahasan	36
4.9.1	Pembahasan Hasil Analisis Metode Penerapan Acak Lengkap.....	36
4.9.2	Pembahasan Hasil Analisis Regresi	37
4.9.3	Pembahasan Hasil Nilai Kuat Tekan Beton	38
4.9.4	Pembahasan Hasil Nilai Berat Isi Beton	39
4.9.5	Pembahasan hubungan berat isi dan kuat tekan beton.....	39

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	40
-----	-----------------	----

5.2	Saran.....	41
	DAFTAR PUSTAKA.....	42
	LAMPIRAN	43



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Gradasi Pasir	7
Tabel 2.2	Gradasi agregat kasar.....	8
Tabel 2.3.	Susunan unsur semen.....	8
Tabel 2.4	Perkiraan kebutuhan air (liter) berdasarkan nilai <i>slump</i> (mm) dan ukuran maksimum agregat (mm)	10
Tabel 2.5	Tipikal sifat fisik <i>Copper Slag</i>	12
Tabel 2.6	Tipikal sifat kimia <i>Copper Slag</i>	12
Tabel 3.1	Rancangan penelitian benda uji	16
Tabel 4.1	Hasil pemeriksaan agregat halus (pasir alam)	20
Tabel 4.2	Hasil pemeriksaan agregat halus (<i>Copper Slag</i>).....	21
Tabel 4.3	Hasil pemeriksaan agregat kasar.....	22
Tabel 4.4	Hasil pemeriksaan gradasi campuran agregat halus	23
Tabel 4.5	Hasil pemeriksaan gradasi campuran	24
Tabel 4.6	Hasil pemeriksaan <i>slump</i>	24
Tabel 4.7	Hasil pemeriksaaan berat isi beton	25
Tabel 4.8	Hasil pemeriksaan kuat tekan beton	27
Tabel 4.9	Analisa metode acak lengkap kuat tekan beton	30
Tabel 4.10	Analisa metode acak lengkap berat isi beton.....	30
Tabel 4.11	Sidik ragam regresi,regresi parsial, dan uji simpang model.....	32
Tabel 4.12	Sidik ragam regresi,regresi parsial, dan uji simpang model.....	33
Tabel 4.13	Sidik ragam regresi,regresi parsial, dan uji simpang model.....	35

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Grafik hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat beton.....	10
Gambar 2.2.	Grafik hubungan berat isi dengan kuat tekan beton.....	14
Gambar 3.1.	Cetakan dan benda uji selinder	16
Gambar 4.1.	Grafik gradasi agregat halus (pasir alam)	21
Gambar 4.2.	Grafik gradasi agregat halus (<i>Copper Slag</i>).....	22
Gambar 4.3.	Grafik gradasi agregat kasar (batu pecah).....	23
Gambar 4.4.	Diagram batang hubungan antara komposisi <i>Copper Slag</i> dengan berat isi	26
Gambar 4.5.	Diagram batang hubungan antara komposisi <i>Copper Slag</i> dengan kuat tekan.....	28
Gambar 4.6.	Diagram regresi hubungan antara komposisi <i>Copper Slag</i> dengan kuat tekan beton.....	31
Gambar 4.7.	Diagram regresi hubungan antara komposisi <i>Copper Slag</i> dengan berat isi beton.....	33
Gambar 4.8.	Diagram regresi hubungan antara berat isi dengan kuat tekan	35



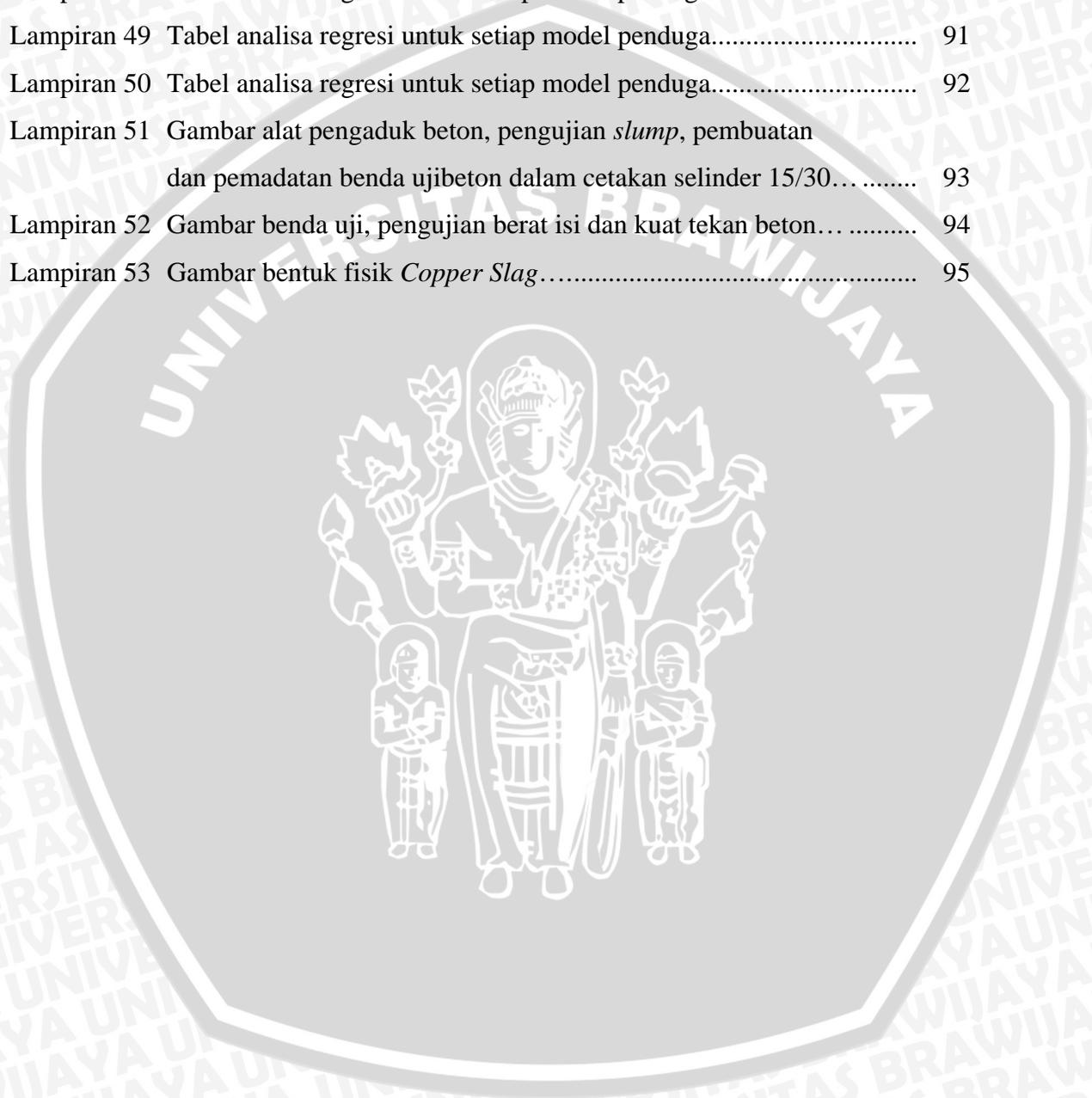
DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Tabel hasil pengujian berat jenis, penyerapan dan analisa saringan agregat halus (pasir alam).....	43
Lampiran 2	Tabel hasil pengujian kadar air, berat isi agregat halus (pasir alam) dan grafik zona.....	44
Lampiran 3	Tabel hasil pengujian berat jenis, penyerapan dan analisa saringan agregat halus (copper slag).....	45
Lampiran 4	Tabel hasil pengujian kadar air, berat isi agregat halus (copper slag) dan grafik zona.....	46
Lampiran 5	Tabel hasil pengujian berat jenis, penyerapan dan analisa saringan agregat kasar (batu pecah).....	47
Lampiran 6	Tabel hasil pengujian kadar air dan berat isi agregat kasar (batu pecah).....	48
Lampiran 7	Grafik zona agregat kasar	49
Lampiran 8	Tabel hasil campuran agregat halus 10% copper slag dengan 90% pasir alam dan grafik zona	50
Lampiran 9	Tabel hasil campuran agregat halus 20% copper slag dengan 80% pasir alam dan grafik zona	51
Lampiran 10	Tabel hasil campuran agregat halus 30% copper slag dengan 70% pasir alam dan grafik zona	52
Lampiran 11	Tabel hasil campuran agregat halus 40% copper slag dengan 60% pasir alam dan grafik zona	53
Lampiran 12	Tabel hasil campuran agregat halus 50% copper slag dengan 50% pasir alam dan grafik zona	54
Lampiran 13	Tabel hasil campuran agregat halus 60% copper slag dengan 40% pasir alam dan grafik zona	55
Lampiran 14	Tabel hasil analisa saringan agregat campuran dengan 0% copper slag.....	56
Lampiran 15	Tabel hasil analisa saringan agregat campuran dengan 10% copper slag.....	57

Lampiran 16	Tabel hasil analisa saringan agregat campuran dengan 20% copper slag	58
Lampiran 17	Tabel hasil analisa saringan agregat campuran dengan 30% copper slag	59
Lampiran 18	Tabel hasil analisa saringan agregat campuran dengan 40% copper slag	60
Lampiran 19	Tabel hasil analisa saringan agregat campuran dengan 50% copper slag	61
Lampiran 20	Tabel hasil analisa saringan agregat campuran dengan 60% copper slag	62
Lampiran 21	Tabel perencanaan campuran beton normal.....	63
Lampiran 22	Tabel koreksi perencanaan beton normal.....	64
Lampiran 23	Tabel koreksi campuran beton untuk 5 sampel.....	65
Lampiran 24	Tabel koreksi campuran beton untuk 5 sampel.....	66
Lampiran 25	Tabel pengujian berat isi beton.....	67
Lampiran 26	Grafik hubungan komposisi copper slag dengan berat isi beton.....	68
Lampiran 27	Tabel hasil pengujian kuat tekan beton.....	69
Lampiran 28	Grafik hubungan komposisi copper slag dengan kuat tekan beton....	70
Lampiran 29	Analisa metode penerapan rancangan acak lengkap.....	71
Lampiran 30	Perhitungan metode penerapan rancangan acak lengkap.....	72
Lampiran 31	Tabel daftar ragam kuat tekan beton dengan komposisi penambahan agregat halus copper slag.....	73
Lampiran 32	Perhitungan metode penerapan rancangan acak lengkap.....	74
Lampiran 33	Tabel daftar ragam berat isi beton dengan komposisi penambahan agregat halus copper slag.....	75
Lampiran 34	Analisa regresi.....	76
Lampiran 35	Perhitungan analisa regresi.....	77
Lampiran 36	Tabel sidik ragam, regresi parsial dan uji simpangan model.....	78
Lampiran 37	Tabel analisa regresi untuk setiap model penduga.....	79
Lampiran 38	Tabel analisa regresi untuk setiap model penduga.....	80
Lampiran 39	Tabel analisa regresi untuk setiap model penduga.....	81
Lampiran 40	Perhitungan analisa regresi.....	82
Lampiran 41	Perhitungan analisa regresi.....	83
Lampiran 42	Tabel sidik ragam, regresi parsial dan uji simpangan model.....	84



Lampiran 43	Tabel analisa regresi untuk setiap model penduga.....	85
Lampiran 44	Tabel analisa regresi untuk setiap model penduga.....	86
Lampiran 45	Tabel analisa regresi untuk setiap model penduga.....	87
Lampiran 46	Perhitungan analisa regresi.....	88
Lampiran 47	Tabel sidik ragam, regresi parsial dan uji simpangan model.....	89
Lampiran 48	Tabel analisa regresi untuk setiap model penduga.....	90
Lampiran 49	Tabel analisa regresi untuk setiap model penduga.....	91
Lampiran 50	Tabel analisa regresi untuk setiap model penduga.....	92
Lampiran 51	Gambar alat pengaduk beton, pengujian <i>slump</i> , pembuatan dan pemadatan benda uji beton dalam cetakan selinder 15/30.....	93
Lampiran 52	Gambar benda uji, pengujian berat isi dan kuat tekan beton.....	94
Lampiran 53	Gambar bentuk fisik <i>Copper Slag</i>	95



RINGKASAN

ARIF PUGUH PRASETYO, 2007, **Pengaruh Penambahan *Copper Slag* Sebagai Agregat Halus Terhadap Berat Isi dan Kuat Tekan Beton**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas teknik Universitas Brawijaya. Dosen Pembimbing : Ir. Wisnumurti, MT. dan Ir. Ristinah S.,MT

Penelitian dan pengembangan teknologi bahan bangunan dilakukan untuk mencari bahan alternatif lain dari bahan bangunan. Bahan bangunan berupa *Copper Slag* yang cukup berpotensi sehingga bisa menambah nilai ekonomis dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh yang terjadi pada berat isi dan kuat tekan beton jika digunakan penambahan komposisi *Copper Slag* sebagai agregat halus pengganti sebagian pasir alam yang digunakan dalam campuran beton. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi *Copper Slag* dalam agregat halus dan variabel tak bebasnya adalah berat isi dan kuat tekan beton.

Pasir yang digunakan sebagai agregat halus adalah pasir alam dari wilayah Malang dan *Copper Slag* dari PT. Smelting di Gresik, Jawa Timur. Dengan komposisi *Copper Slag* sebagai agregat halus menggunakan prosentase 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%. Sedangkan faktor air semen rencana 0.4 dengan masing-masing perlakuan dibuat 5 buah benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sehingga jumlah total benda uji seluruhnya adalah 35 buah.

Setelah dilakukan pengujian didapatkan data berat isi yang menunjukkan peningkatan berat isi pada campuran komposisi 50% agregat halus *Copper Slag* dengan 50% pasir alam, yaitu sebesar 5,30%. Sedangkan berat isi maksimum dengan uji analisis regresi didapat 2556,149 kg/m³ pada campuran komposisi 59,44% agregat halus *Copper Slag*. Sedangkan pada kuat tekan peningkatan kuat tekan pada campuran komposisi 40% agregat halus *Copper Slag* dengan 60% pasir alam, yaitu sebesar 8,34%. Sedangkan kuat tekan maksimum dengan uji analisis regresi didapat 34,697 MPa pada campuran komposisi 51,39% agregat halus *Copper Slag*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dibidang industri konstruksi, pekerjaan beton memegang peranan sangat penting. Dapat dikatakan hampir pada setiap bangunan yang didirikan seperti gedung bertingkat, perumahan, jalan, jembatan, bendungan dan saluran irigasi serta bangunan lainnya selalu memerlukan pekerjaan beton, baik sebagai kebutuhan utama maupun sebagai unsur penunjang. Keuntungan yang diperoleh dari penggunaan beton pada bangunan diantaranya: beton memiliki ketahanan terhadap temperatur, seperti akibat peristiwa kebakaran. Bahan beton juga memiliki ketahanan terhadap pengaruh radiasi yang lebih baik, bila digunakan pada bangunan pembangkit listrik ataupun bangunan kedokteran. Dari sudut pandang estetika dan kebutuhan arsitektural, bahan beton sangat fleksibel untuk dibentuk sesuai dengan keinginan perancang. Pada daerah industri dan lingkungan dengan pengaruh korosif tinggi, beton tertentu mempunyai ketahanan dan keawetan lebih baik untuk melawan dampak negatif yang ditimbulkan

Beton adalah salah satu bahan bangunan yang telah umum digunakan dalam konstruksi, beton merupakan campuran dari semen, air, dan agregat, serta bahan tambahan bila diperlukan. Diharapkan dengan penelitian-penelitian yang dilakukan saat ini dapat menemukan bahan bangunan baru dan cara-cara baru untuk mendapatkan konstruksi yang lebih kuat dan lebih ekonomis. Banyaknya industri pertambangan yang ada di Indonesia, selain menghasilkan mineral yang dibutuhkan juga limbah yang membahayakan lingkungan.

Dengan maraknya pembangunan maka perlu memperhatikan aspek lingkungan, dengan penggunaan agregat alam yang tidak berlebihan. Bila memungkinkan penggunaan limbah industri sebagai pengganti agregat. Pemakaian limbah pada campuran beton diharapkan dapat menimbulkan dampak positif, yaitu peningkatan mutu beton dan kebersihan lingkungan. Limbah-limbah industri yang sebelumnya dikatakan industri tidak punya nilai ekonomis, setelah bisa dimanfaatkan sebagai campuran beton dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan sekarang memiliki nilai jual.

Satu - satunya industri peleburan dan pemurnian tembaga di Indonesia adalah PT. Smelting di Gresik, Jawa Timur dengan menghasilkan *Copper Slag* mencapai 530.000 ton / tahun. *Copper Slag* merupakan limbah padat yang berasal dari peleburan dan pemurnian konsentrat tembaga dimana besi dan batu kapur bergabung dengan silika,

kombinasi ini bereaksi dengan oksigen membentuk oksida masing-masing mineral yang kemudian didinginkan dan digranulasi. *Copper Slag* termasuk dalam daftar limbah B3 berdasar PP. Nomor 18 jo. 85 tahun 1999 dengan kode ilmiah D 211. Salah satu saran pengolahan limbah B3 diarahkan pada pendekatan 3R (*Reuse, Recycle, Recovery*) untuk berbagai penggunaan antara lain:

1. Pada industri semen adalah sebagai pengganti pasir besi. Pasir besi merupakan salah satu *raw material* industri semen disamping *limestone*, *silica sand* dan *clay* serta *gypsum*.
2. Pada industri shipyard sebagai bahan untuk kegiatan *sandblasting*. *Sandblasting* adalah cara untuk menghilangkan kerak dan karat pada dinding kapal dengan cara menembakkan partikel *abrasive* yang homogen dengan bantuan udara tekan.
3. Pada industri beton dan readymix adalah sebagai bahan agregat atau *filler*.

Pada penelitian sebelumnya bahwa *Copper Slag* dapat digunakan sebagai pengganti semen dilakukan Antonio dan Barzin, 1999 didapatkan dengan penggantian semen sebesar 20 % pada beton dapat meningkatkan kuat tekan 21,96 %, modulus elastisitas 17,432 %, permeabilitas 45,87 % dan porositas beton berkurang 0,11 %. Sedangkan pada pemanfaatan sebagai agregat halus yang dilakukan Aulia Hamzah, 1999 menunjukkan penambahan 40 % *Copper Slag* meningkatkan kuat tekan 8,99 %, modulus elastisitas 69,02 %.

Karena agregat menempati sekitar 75% dari isi total beton, maka sifat-sifat fisik dan mekanik agregat ini mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap perilaku beton yang sudah mengeras. Kandungan besi pada *Copper Slag* yang tinggi memberikan densitas yang tinggi pula sehingga memiliki *specific gravity* yang lebih besar dari agregat alam lainnya, dikarenakan *Copper Slag* memiliki sifat yang berbeda dengan agregat alam yang digunakan. Maka penggunaan *Copper Slag* sebagai agregat pengganti dapat mempengaruhi sifat beton khususnya berat isi beton dan kuat tekannya. Untuk mendapatkan beton dengan sifat-sifat seperti yang diharapkan, cukup dengan melakukan variasi terhadap komposisi agregat pada suatu campuran beton, mengingat prosentase dari agregat cukup besar. Variasi komposisi agregat pada suatu campuran beton menyebabkan sifat-sifat fisik dan mekanis beton juga bervariasi, terutama berat isi dan kuat tekan beton. Penggunaan *Copper Slag* sebagai campuran pasir alam pada beton, dalam penelitian ini untuk mengetahui sejauh mana pengaruh berat isi terhadap kuat tekan beton.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat dirumuskan masalah yang diteliti sebagai berikut :

- "Apakah variasi penambahan *Copper Slag* sebagai agregat halus berpengaruh pada berat isi dan kuat tekan beton"
- "Bagaimana pengaruh hubungan berat isi beton dibandingkan kuat tekannya dengan penambahan *Copper Slag* sebagai agregat halus"

1.3. Batasan Masalah

Dalam pelaksanaan penelitian skripsi ini dilakukan pembatasan-pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Semen yang digunakan adalah semen Gresik Tipe I, dengan pertimbangan mudah didapat di pasaran, untuk semen tidak dilakukan penelitian khusus
2. Agregat *Copper Slag* yang digunakan berasal dari PT. Smelting Gresik
3. Agregat kasar dan halus yang digunakan adalah kerikil dan pasir alam yang terdapat disekitar wilayah Malang
4. Air yang digunakan berasal dari PDAM kodya Malang
5. Tidak membahas secara khusus proses kimia yang terjadi pada campuran beton
6. Benda uji menggunakan silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan tiap variasi campuran masing –masing 5 buah
7. Uji kuat tekan dilakukan pada saat beton berumur 28 hari

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan *Copper Slag* sebagai agregat halus terhadap berat isi dan kuat tekan beton.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai informasi bagi praktisi maupun akademisi tentang beton dengan agregat *Copper Slag*, terutama pengaruh terhadap berat isi dan kuat tekan beton.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

2.1.1 Deskripsi

Beton adalah campuran dari agregat halus dan kasar dengan semen yang dipersatukan oleh air dengan perbandingan tertentu. Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang pada saat ini banyak digunakan di Indonesia dalam pembangunan fisik, maka diperlukan pengetahuan yang cukup luas antara lain mengenai sifat bahan dasarnya, cara pembuatannya, cara evaluasinya, dan variasi bahan tambahannya.

Menurut Edwards G.Nawy (1998). Berdasarkan beratnya beton dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu beton ringan, beton normal, beton berat, tiap jenis beton dapat dibedakan berdasarkan berat volumenya :

- Beton Ringan mempunyai berat volume : 1441,8 – 1762,2 kg/m³.
- Beton Normal mempunyai berat volume : 2082,6 – 2563,2 kg/m³.
- Beton Berat mempunyai berat volume : 2883,6 – 6087,6 kg/m³.

2.1.2 Karakter Fisik dan Mekanik

Karena agregat menempati sekitar 75% dari isi total beton, maka sifat-sifat agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras. Sifat agregat bukan hanya mempengaruhi sifat beton, tapi juga mempengaruhi ketahanan (durability, daya tahan terhadap kemunduran mutu akibat siklus dari pembekuan-pencairan), Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon (1994).

Menurut SNI T.15-1990-03 beton yang digunakan pada rumah tinggal atau untuk penggunaan beton dengan kekuatan tekan tidak melebihi 10 MPa boleh digunakan campuran 1 semen: 2 pasir: 3 batu pecah dengan slump untuk mengukur kemudahan pengerjaan tidak lebih dari 100 mm. Pengerjaan beton dengan kekuatan tekan hingga 20 MPa boleh menggunakan penakaran volume, tetapi pengerjaan beton dengan kekuatan tekan lebih besar dari 20 MPa harus menggunakan campuran berat.

Berdasarkan sifat mekanis beton, secara umum dapat diklasifikasikan sebagai sifat jangka pendek atau sesaat dan jangka panjang. Sifat jangka pendek ini meliputi kekuatan tekan, kekuatan tarik dan kekuatan geser serta kekakuan yang diukur dari modulus elastisitasnya. Sedangkan sifat jangka panjang meliputi rangkai dan susut yang terjadi pada beton.

Tiga kinerja yang dibutuhkan dalam pembuatan beton adalah :

1. Memenuhi kriteria konstruksi yaitu dapat dengan mudah dikerjakan dan dibentuk serta memiliki nilai ekonomis.
2. Kekuatan tekan.
3. Durabilitas atau keawetan.

Secara praktis, penilaian mengenai penggunaan bahan untuk menghasilkan kinerja tertentu akan bergantung pada tujuan beton tersebut dibuat. Agar beton yang kita buat sesuai dengan yang kita inginkan perlu diperhatikan beberapa hal berikut :

- 1) Karakteristik bahan-bahan penyusun beton yang dipilih :
 - a) Semen : jenis, kualitas, dan kecepatan pengerasan.
 - b) Agregat (halus dan kasar) : gradasi, kadar air, dan kekerasan.
 - c) Air : kuantitas dan kualitas dari air.
- 2) Rencana proporsi campuran beton :
 - a) Metode.
 - b) Takaran berat.
 - c) Takaran volume.
- 3) Pelaksanaan pekerjaan beton :
 - a) Pengadukan.
 - b) Pengangkutan.
 - c) Pengecoran.
 - d) Pemadatan.
 - e) Pemeliharaan.



2.2. Agregat

2.2.1 Deskripsi

Agregat merupakan butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton. Sifat dan karakteristik agregat sangat menentukan kualitas akhir beton yang dikerjakan, agregat dengan sifat kekerasan, kepadatan dan keawetan tinggi akan menghasilkan beton berkualitas tinggi sedangkan beton yang dibuat dengan sifat sebaliknya akan menghasilkan beton yang berkualitas rendah. Agregat dengan kepadatan, kekerasan dan keawetan yang tinggi mempunyai sifat kekekalan yang baik. Agregat dengan ukuran butir lebih halus memerlukan penggunaan semen lebih banyak dibandingkan dengan butiran dengan lebih kasar dan berarti memerlukan penggunaan memerlukan semen lebih sedikit, sehingga berdampak terdapat pengurangan harga akhir

beton, Sjarfei Amri (2005). Faktor lain agregat yang mempengaruhi kuat tekan beton diantaranya kekuatan batuan, bentuk dan ukuran, susunan permukaan, gradasi, reaksi kimia dan karakteristik panas, Tri Mulyono (2004).

Agregat yang baik harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, rapat dan agregat yang berukuran kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada diantara agregat yang berukuran besar, Sjarfei Amri (2005). Penggunaan agregat perlu diperhatikan dalam adukan beton, dikarenakan perbedaan berat jenis yang besar, cenderung menyebabkan agregat yang lebih berat mengendap dan agregat yang ringan mengambang, sehingga kemungkinan terjadinya segregasi menjadi lebih besar. Hal ini menyebabkan beton menjadi keropos, untuk mencegah terjadinya hal tersebut dapat dilakukan dengan cara kontrol proporsi bahan, pengerjaan beton dengan hati-hati atau dengan penggunaan bahan tambahan.

Menurut Wuryati Samekto dan Candra Rahmadiyanto, (2001). Berdasarkan berat jenisnya agregat dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu agregat ringan, agregat normal dan agregat berat :

- a. Agregat ringan, yaitu agregat yang memiliki berat jenis kurang dari 2,0 dan biasanya digunakan sebagai beton non struktural. Agregat ini dapat digunakan untuk beton struktural atau blok dinding tembok. Agregat ini memiliki kelebihan, yaitu memiliki berat sendiri yang rendah, sehingga strukturnya ringan dan fondasinya dapat diperkecil. Agregat ringan dapat diperoleh secara alami maupun buatan. Beberapa contoh agregat ringan antara lain: batu apung, abu terbang, *volcanic cinder*, dan organik.
- b. Agregat normal adalah agregat yang memiliki berat jenis antara 2,5 s/d 2,7. agregat ini biasanya berasal dari batuan granit, basalt, kuarsa, dan sebagainya. Beton yang menggunakan agregat normal biasanya memiliki berat jenis sekitar 2,3 dan kuat desak antara 15 MPa sampai 40 MPa, yang disebut beton normal.
- c. Agregat berat mempunyai berat jenis lebih dari 2,8 misalnya magnetik, barit, dan kerak baja (*steel slag*). Beton yang dihasilkan memiliki berat jenis yang tinggi juga (dapat mencapai 5,0). Beton jenis ini efektif digunakan sebagai dinding penahan sinar radiasi.

Menurut Edwards G.Nawy (1998). Agregat juga dapat dibedakan berdasarkan berat volumenya menjadi 3 jenis :

- Agregat ringan mempunyai berat volume : 640,80 s/d 1121,40 kg/m³
- Agregat normal mempunyai berat volume : 1121,40 s/d 1762,20 kg/m³
- Agregat berat mempunyai berat volume : > 2162,70 kg/m³

2.2.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang ukuran butiran tertahan ayakan No.200 dan lolos ayakan dengan lubang 4,75 mm.

SNI-03-1750-1990 membatasi kandungan partikel halus tidak melebihi 5% dari berat Agregat halus apabila kandungannya melebihi dari yang disyaratkan maka material tersebut harus dicuci dan agregat halus juga diharapkan tidak mengandung bahan organik yang dapat merusak beton. Menurut BS kekasaran pasir dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar

Tabel 2.1. Gradasi Pasir

Ukuran ayakan (mm)	Persen butir yang lewat ayakan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4,8	90 – 100	90 – 100	90 – 100	95 – 100
2,4	60 – 95	75 – 100	85 – 100	95 – 100
1,2	30 – 70	55 – 90	75 – 100	90 – 100
0,6	15 – 34	35 – 59	60 – 79	80 – 100
0,3	5 – 20	8 – 30	12 – 40	15 – 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 – 15

Keterangan: Daerah gradasi I = Pasir Kasar
 Daerah gradasi II = Pasir Agak Kasar
 Daerah gradasi III = Pasir Halus
 Daerah gradasi IV = Pasir Agak Halus

(Sumber :Triono Budi Astanto, 2001)

2.2.3. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah butiran agregat yang tertinggal diatas ayakan dengan lubang ayakan 4,75 mm dan lolos ayakan 40 mm dan SNI 03-1750-1990 memberi batasan persyaratan susunan butir agregat kasar sebagai berikut :

Tabel 2.2. Gradasi Agregat kasar

Ukuran ayakan	Persentase berat lolos ayakan ukuran nominal gradasi agregat mm		
	38,0 - 4,80	19,0 - 4,80	9,6 - 4,80
38,10	95 - 100	100	-
19,00	35 - 70	95 - 100	100
9,52	10 - 40	30 - 60	50 - 85
4,76	0 - 5	0 - 10	0 - 10

(Sumber :Triono Budi Astanto, 2001)

2.3. Semen

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dicampur dengan gips sebagai bahan tambahan, Triono Budi Astanto (2001). Bahan semen pada pekerjaan beton berfungsi sebagai bahan pengikat antara agregat kasar dan halus. Fungsi semen sebagai pengikat butir-butir agregat menjadi satu dan padat seperti batu.

Tabel 2.3. Susunan unsur semen

Oksida	%
Kapur, CaO	60 - 65
Silika, SiO ₂	17 - 25
Alumina, Al ₂ O ₃	3 - 8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5 - 6
Magnesia, MgO	0,5 - 4
Sulfur, SO ₃	1 - 2
Soda/potash, Na ₂ O + K ₂ O	0,5 - 1

(Sumber :Triono Budi Astanto, 2001)

Semen portland di Indonesia menurut SII 0013-81 dibagi menjadi lima jenis antara lain :

- Jenis I : Semen portland untuk penggunaannya umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
- Jenis II : Semen portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- Jenis III : Semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengerasan terjadi.

- Jenis IV : Semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
- Jenis V : Semen portland yang penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

(Sumber :Triono Budi Astanto, 2001)

2.4. Air

Pada pekerjaan beton air mempunyai beberapa fungsi yaitu: sebagai pembersih agregat dari kotoran yang melekat, merupakan media untuk pencampur, mengecor dan memadatkan serta memelihara beton. Air digunakan untuk menjadikan semen bereaksi dan dijadikan pelumas antara butiran-butiran agregat sehingga mudah dipadatkan dan dikerjakan, biasanya jumlah air yang diperlukan dalam pembuatan beton berkisar 25% dari jumlah berat semen, Triono Budi Astanto (2001). kelebihan penggunaan air dapat mengurangi kekuatan dari beton itu sendiri. Untuk memperoleh pengikatan semen dengan agregat yang sempurna diperlukan air yang berfungsi menjaga temperatur tidak terlalu tinggi, sehingga proses hidrasi semen berjalan dengan sempurna.

Air yang dapat digunakan sebagai campuran pekerjaan campuran pekerjaan beton ialah air yang tidak mengandung zat yang menghambat proses pengikatan antara semen dan agregat. Pada umumnya air yang tidak berbau dan dapat diminum boleh digunakan sebagai bahan campuran, penggunaan air sebagai campuran pekerjaan beton harus memenuhi syarat SNI-03-2847-2002 dalam pasal 5.4 ayat 1 s/d 3

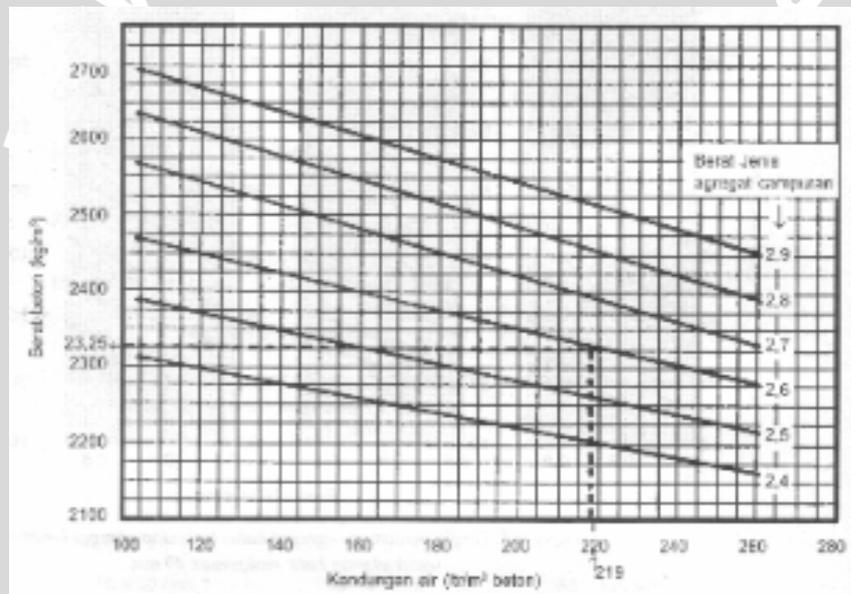
Air yang mengandung kotoran akan memperlambat waktu ikatan awal adukan beton dan mengakibatkan lemahnya kekuatan beton setelah mengeras dan daya tahannya menurun, air laut tidak boleh digunakan untuk campuran adukan beton karena air laut mengandung garam 3,5 % dan dapat menyebabkan korosi pada tulangan sehingga kekuatannya menurun, demikian pula air buangan industri yang banyak mengandung alkali dan bahan organik lainnya yang dapat merusak sifat dari beton.

Tabel 2.4. Perkiraan kebutuhan air (liter) berdasarkan nilai slump (mm) dan ukuran maksimum agregat (mm)

Slump (mm)	Ukuran maksimum agregat (mm)		
	10	20	40
25-50	206	182	162
75-100	226	203	177
150-175	240	212	188
Udara terperangkap	3%	2%	1%

(Sumber :Triono Budi Astanto, 2001)

Dalam menentukan berat beton dan jumlah kandungan air bebas dalam beton berdasarkan kekuatan rencana dan data berat jenis campuran dapat ditentukan dengan grafik berikut.



Gambar 2.1. Grafik hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat beton

(Sumber :Triono Budi Astanto, 2001)

2.5. COPPER SLAG

2.5.1. Definisi Copper Slag

Copper Slag merupakan limbah padat yang berasal dari peleburan dan permunian konsentrat tembaga dimana besi dan batu kapur bergabung dengan silika, kombinasi ini bereaksi dengan oksigen membentuk oksida masing-masing mineral yang kemudian didinginkan dan digranulasi. Manfaat *Copper Slag* selama ini digunakan sebagai bahan

baku semen, pengisi pondasi caisson, pembersihan karat pada kapal dengan penyemprotan (*sand blasting*), material reklamasi, sebagai block pemecah gelombang.

2.5.2. Sifat Material Copper Slag

Copper Slag memiliki distribusi partikel yang konstan karena produksinya selalu dikontrol, selain itu juga mempunyai strength tinggi karena kekerasannya. Dengan bentuk fisiknya yang terlihat mengkilap menunjukkan porositas kecil, menyebabkan *Copper Slag* memiliki absorption kecil, Butiran *Copper Slag* berbentuk pipih dan runcing.

Terdapatnya kadar besi pada *Copper Slag* menyebabkan berat jenisnya lebih tinggi dari agregat alam lainnya, selain itu kandungan tembaga yang ada bersifat oksidator. Unsur SiO_2 yang dengan mengatur pembakaran tertentu akan diperoleh silika reaktif dan dapat dipergunakan sebagai pozolan buatan. Sebagaimana bahwa silika reaktif dapat bereaksi dengan kapur padam membentuk kalsium silikat hidrat, dimana kalsium silikat hidrat ini berperan dalam pengerasan semen. Kalsium hidroksida dari reaksi semen dengan air merupakan basa kuat sehingga beton mudah diserang asam dan menimbulkan korosi. Dengan adanya SiO_2 pada *Copper Slag*, kalsium hidroksida akan berreaksi dengan silika reaktif hal ini mengakibatkan berkurangnya porositas beton

Keuntungan penggunaan slag dalam campuran beton adalah sebagai berikut Lewis, (1982) :

- mempertinggi kuat tekan beton karena kecenderungan melambatnya kenaikan kekuatan.
- menaikkan rasio antara kelenturan dan kuat tekan beton
- mengurangi variasi kuat tekan beton
- mempertinggi ketahanan terhadap sulfat dalam air laut
- mengurangi serangan alkali-silika
- mengurangi panas hidrasi dan penurunan suhu
- memperbaiki penyelesaian akhir dan memberi warna cerah pada beton
- mempertinggi keawetan karena pengaruh perubahan volume
- mengurangi porositas dan serangan klorida

Tabel 2.5. Tipikal sifat fisik copper slag

No	Sifat	Keterangan
1	Berat jenis (<i>specific gravity</i>)	3,76
2	Resapan (<i>absorption</i>)	0,5 %
3	Berat volume (<i>unit weight</i>)	1,872 t/m ³
4	Kadar Lumpur (<i>soilcontent</i>)	0 %
5	Modulus kehalusan (F.M)	3,0536
6	Kebersihan	Bersih
7	Kekerasan	50,09 kwh/s.ton
8	Soundness	0,94 %
9	Bentuk partikel	Tidak beraturan
10	Tekstur permukaan	Kasar dan halus

(Sumber : Aulia hamzah, 1999)

Tabel 2.6. Tipikal sifat kimia copper slag

No	Sifat	Keterangan
1	SiO ₂	45,65 %
2	Al ₂ O ₃	0,11 %
3	Fe ₂ O ₃	50,20 %
4	CaO	0,88 %
5	MgO	0,09 %
6	Na ₂ O	1,92 %
7	K ₂ O	0,02 %
8	CuO	0,63 %
9	Hilang pijar	0,00

(Sumber : Aulia hamzah, 1999)

2.6. Berat Isi Beton

Berat isi adalah perbandingan antara berat beton dengan volume. Berat volume beton tergantung pada berat volume agregat, berarti juga bergantung pada berat jenis agregatnya, Edwards G.Nawy (1998). Berdasarkan SNI 03-1973-1990 hasil pengujian berat isi dapat digunakan sebagai perencanaan campuran beton dan untuk mengendalikan mutu beton pada pelaksanaan. Berat isi beton dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$BV = \frac{W}{V} \text{ kg / liter} \quad (2.1)$$

BV = Berat volume/isi

W = Berat benda uji (kg)

V = Isi takaran (liter)

2.7. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan penampang beton untuk menahan beban aksial. Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar/halus, air dan bahan tambah lainnya, perbandingan dari air terhadap semen merupakan faktor utama dalam penentuan kekuatan beton, semakin rendah perbandingan A/C semakin tinggi kekuatan tekan dan jika air yang digunakan dalam campuran beton terlalu banyak dari satu sisi memudahkan dalam pengerjaan tetapi akan menurunkan kekuatan beton, Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmom (1994).

Selain faktor diatas ada beberapa faktor lain yang berpengaruh terhadap hasil akhir pada beton tersebut, Murdock (1986) :

- a. Jenis semen dan kualitasnya : ini mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kekuatan batas.
- b. Jenis dan tekstur agregat : kenyataan menunjukkan dengan penggunaan agregat batu pecah akan menghasilkan beton dengan kuat desak maupun kuat tarik yang tinggi dibandingkan dengan kerikil halus dari sungai.
- c. Efisiensi dari perawatan : kehilangan kekuatan sebesar 40% dapat terjadi bila pengeringan dilakukan sebelum waktunya, perawatan adalah hal yang sangat penting dalam pelaksanaan dilapangan maupun pembuatan benda uji di laboratorium.
- d. Suhu : pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu.
- e. Umur : pada keadaan yang normal kekuatan beton bertambah sejalan dengan umurnya, kecepatan pertambahan kekuatan tergantung pada jenis semen.
- f. Pemadatan : gelembung udara yang terperangkap akibat pemadatan yang kurang baik akan mempegaruhi kekuatan itu sendiri.

Sehingga nilai kuat tekan beton dapat dirumuskan sebagai berikut:

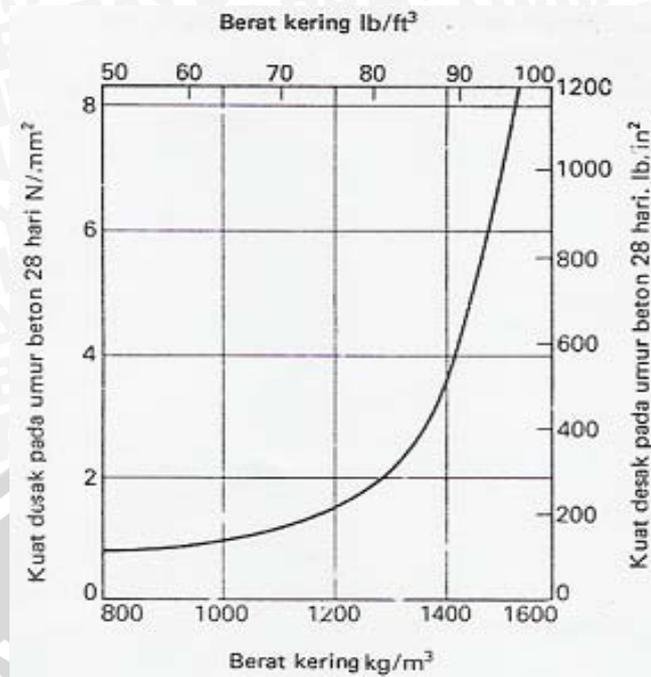
$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (2.2)$$

f'_c = kuat tekan beton (kg/cm²)

P = beban maksimum (kg)

A = luas penampang benda uji (cm²)

Hubungan berat isi beton ringan dengan kuat tekannya dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 2.2. Grafik hubungan berat isi dengan kuat tekan beton
(Sumber :L.J. Murdock dan K.M.Brook, 1991)

2.8. Hipotesis Penelitian

Karena agregat sekitar 75 % dari isi total beton, maka sifat-sifat fisik dan mekanik agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras. Untuk mendapatkan beton dengan sifat-sifat seperti yang diharapkan, cukup dengan melakukan variasi terhadap komposisi agregat pada suatu campuran beton mengingat prosentase dari agregat yang cukup besar. Variasi komposisi agregat pada campuran beton menyebabkan sifat-sifat fisik dan mekanis dari beton juga akan bervariasi, terutama berat isi dan kuat tekan beton.

Setelah mempelajari uraian diatas, maka dapat diambil hipotesa sebagai berikut ;

1. Diduga variasi penambahan *Copper Slag* sebagai agregat halus memberi pengaruh terhadap berat isi dan kuat tekan beton.
2. Diduga adanya hubungan antara berat isi dengan kuat tekan beton

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium bahan konstruksi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang. Pelaksanaan penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2007 sampai dengan selesai.

3.2. Peralatan dan Bahan

Sebelum melakukan penelitian, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah persiapan alat dan bahan.

a. Persiapan alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah;

- Timbangan
- Cetakan silinder standar \varnothing 15 cm dan tinggi 30 cm
- Tongkat pemadat \varnothing 1,6 cm dan tinggi 60 cm
- Alat uji slump (kerucut Abram) dan tongkat penumbuk
- Mesin pengaduk campuran beton
- Gelas ukur
- Mesin uji tekan
- Satu set ayakan
- Oven

b. Bahan yang dipergunakan;

- Semen Gresik type I
- Agregat halus pasir alam dari wilayah Malang
- Agregat kasar kerikil (batu pecah) dari wilayah Malang
- Agregat halus *Copper Slag* dari PT Smelting Gresik
- Air PDAM Malang

3.3. Rancangan Penelitian

Dalam setiap perlakuan dibuat benda uji sebanyak 5 buah silinder beton. Jadi keseluruhan benda uji yang dibuat sebanyak 35 buah.

Secara garis besar, penelitian ini didasarkan pada:

1. Perhitungan rencana adukan beton dengan $f_c' = 32$ MPa, berdasarkan peraturan Nasional Indonesia (SNI) yang mengacu pada metode British Standard (BS) atau yang dikenal dengan metode Department Of Environment (DOE)
2. Pembuatan benda uji dan perawatan beton.
3. Pengujian berat isi beton
4. Pengujian kuat tekan beton.
5. Dari hasil pengujian akan dilihat pengaruh penambahan *Copper Slag* sebagai agregat halus terhadap berat isi dan kuat tekan beton.

3.4. Pembuatan Benda Uji

Benda uji penelitian terdiri dari 35 silinder beton diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, ini sesuai dengan standard pembuatan benda uji yang berdasarkan SNI 03- 2493- 1991 dengan perhitungan adukan campuran beton menggunakan metode BS/DOE yang dipakai pada standard perencana Departemen Pekerjaan Umum dan dimuat dalam buku standar No. SK. SNI T-15-1990-03 dengan judul buku "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal".

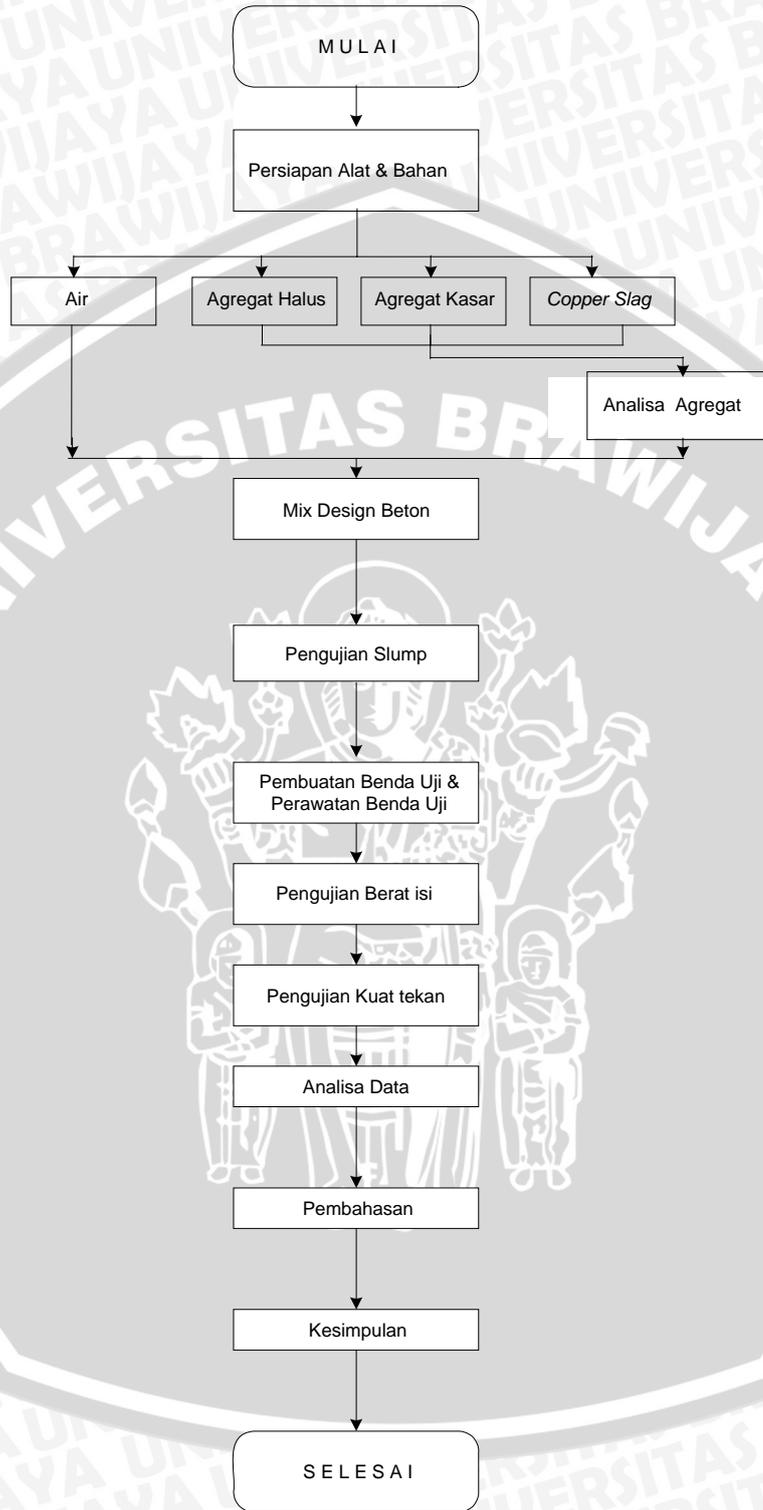


Gambar 3.1. Cetakan dan Benda Uji (Selinder)

Tabel 3.1. Rancangan Penelitian Benda Uji

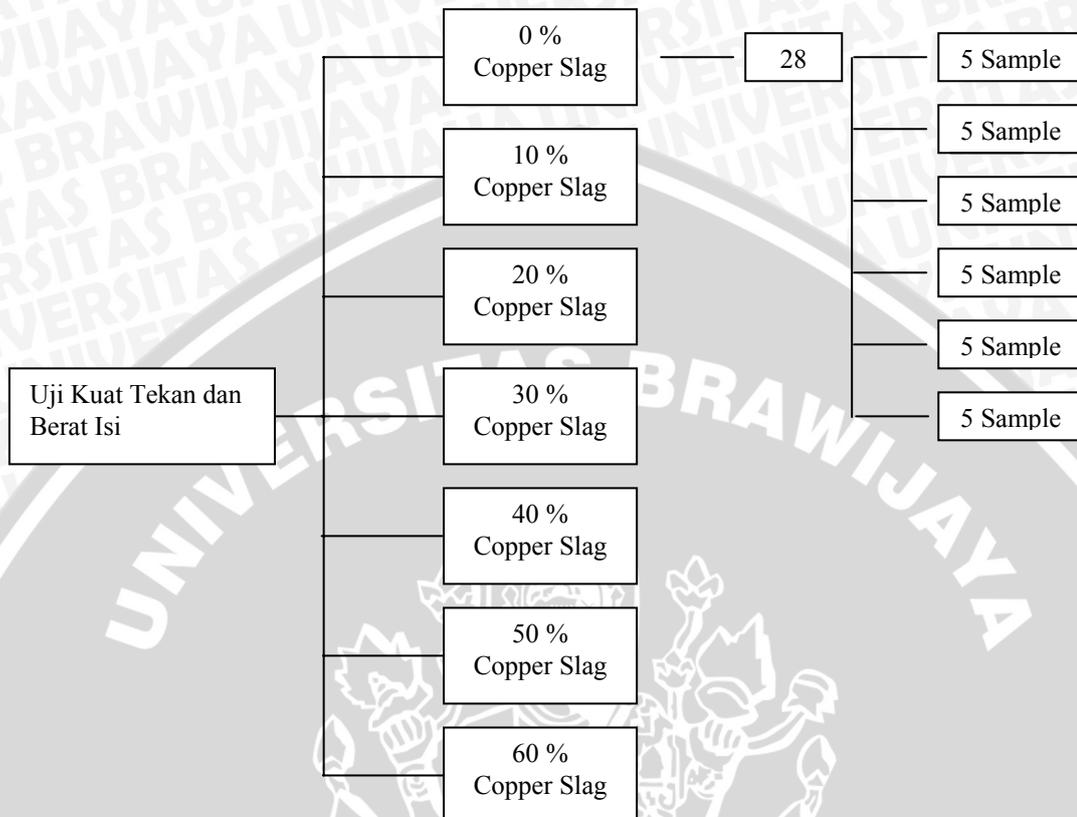
Kelompok	Prosentase <i>Copper Slag</i>	Prosentasi agregat halus	Jumlah benda uji
A1	0	100	5
A2	10	90	5
A3	20	80	5
A4	30	70	5
A5	40	60	5
A6	50	50	5
A7	60	40	5

3.5. Diagram Alir Penelitian



3.6. Variasi Benda Uji

Jumlah benda uji = 35 sample



3.7. Prosedur penelitian

1. Persiapan bahan (semen, agregat halus, agregat kasar dan *Copper Slag*).
2. Analisa agregat halus, agregat kasar dan *Copper Slag* meliputi: gradasi agregat, kadar air, berat isi, berat jenis dan penyerapan.
3. Mix desain campuran beton.
4. Pembuatan benda uji dan pengujian slump beton.
5. Pengujian berat isi beton.
6. Pengujian kuat tekan beton.
7. Analisa data.

3.8. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang diuji sebagai berikut :

- a. Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti, mengikuti aturan yang sering digunakan. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi penambahan *Copper Slag* sebagai agregat halus.

- b. Variabel tak bebas adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel tak bebas dalam penelitian ini adalah berat isi dan kuat tekan beton.

3.9. Analisa Data

Analisa data meliputi Perhitungan berat isi dan kuat tekan beton, sebagai akibat penambahan *Copper Slag* sebagai agregat halus. Dimana penambahan *Copper Slag* sebagai variabel bebas sedangkan berat isi dan kuat tekan beton variabel terikat, penelitian ini mengamati tentang ada tidaknya pengaruh variabel bebas terhadap variabel tak bebas. Selain itu juga untuk mengetahui hubungan antara berat isi dengan kuat tekan beton.

Untuk menguji apakah penggunaan penambahan *Copper Slag* sebagai agregat halus mempunyai pengaruh terhadap nilai berat isi dan kuat tekan beton dengan variasi komposisi campuran, digunakan metode rancangan acak lengkap.

Data yang telah dikumpulkan akan dilakukan pengolahan data dengan menggunakan metode analisa varian satu arah dan regresi. Dengan analisis regresi didapatkan suatu bentuk persamaan regresinya kemudian dibuat grafik untuk mendapatkan masing-masing parameter berat isi dan kuat tekan beton.

Dari analisa varian satu arah dapat dirumuskan hipotesis secara statistik sebagai berikut :

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

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

Dengan :

H_0 = Hipotesis awal yang menyatakan tidak terdapatnya pengaruh.

H_1 = Hipotesis alternatif yang menyatakan terdapat pengaruh

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Bahan yang Digunakan

4.1.1. Semen

Penelitian ini menggunakan Semen *Portland* Gresik Type I yang sudah umum digunakan sehingga tidak diperlukan penelitian lebih lanjut.

4.1.2. Air

Air yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah air bersih dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM), air ini dianggap telah memenuhi syarat sebagai bahan pengaduk semen dengan agregat, sehingga dalam penelitian ini tidak dilakukan analisis lagi.

4.1.3. Agregat Halus

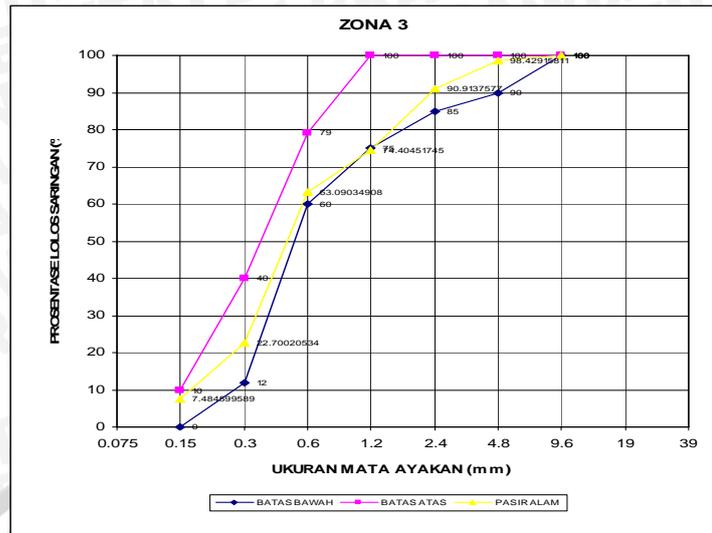
Agregat halus yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pasir alam yang diambil dari daerah Malang. Perhitungan berat jenis, penyerapan, kadar air agregat halus dapat dilihat pada Lampiran 1 – 2 dan hasil pemeriksaan dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil pemeriksaan agregat halus (pasir alam)

JENIS PEMERIKSAAN	SATUAN	NILAI
Berat Jenis Curah	-	2,55
Berat Jenis SSD	-	2,60
Berat Jenis Semu	-	2,69
Penyerapan	%	2,06
Kadar Air	%	0,60

Sumber : Hasil Penelitian

Setelah dilakukan pengujian gradasi pasir alam yang digunakan dalam penelitian ini, maka didapatkan bahwa pasir alam termasuk kedalam *zona* 3, yang menyatakan bahwa pasir alam bergradasi halus. Hasil perhitungan gradasi pasir alam dapat dilihat pada Lampiran 1 - 2, dan *zona* pasir terlampir pada Grafik 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1. Grafik gradasi agregat halus (pasir alam)

Dari hasil pemeriksaan didapat berat jenis agregat adalah 2,60. Berdasarkan berat jenisnya agregat diatas merupakan agregat normal karena memiliki berat jenis yang berkisar antara 2,5 sampai 2,7.

4.1.4. Copper Slag

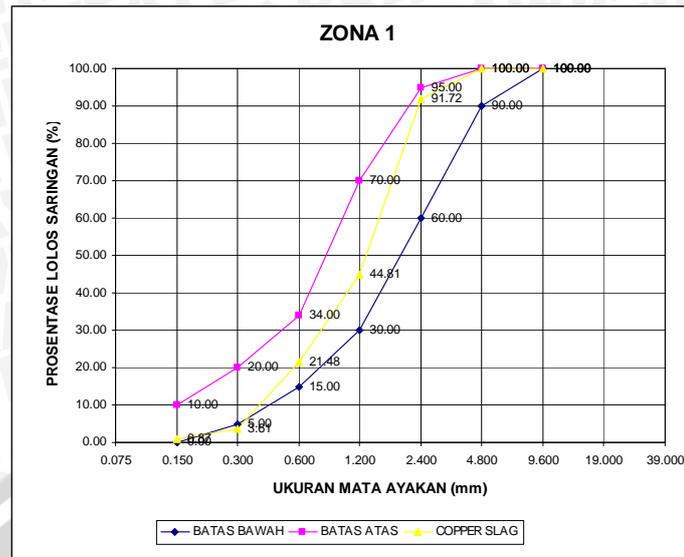
Agregat halus yang dilakukan dalam penelitian ini adalah *Copper Slag* yang diambil dari industri peleburan dan pemurnian tembaga PT. Smelting Gresik Jawa Timur. Perhitungan berat jenis, penyerapan, dan kadar air agregat halus *Copper Slag* dapat dilihat pada Lampiran 3 - 4, dan hasil pemeriksaan dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil pemeriksaan agregat halus (*Copper Slag*)

JENIS PEMERIKSAAN	SATUAN	NILAI
Berat Jenis Curah	-	3,58
Berat Jenis SSD	-	3,60
Berat Jenis Semu	-	3,64
Penyerapan	%	0,46
Kadar Air	%	0,44

Sumber : Hasil Penelitian

Setelah dilakukan pengujian gradasi *Copper Slag* yang digunakan dalam penelitian ini, maka didapatkan bahwa *Copper Slag* termasuk kedalam zona 1, yang menyatakan bahwa *Copper Slag* bergradasi kasar. Hasil perhitungan gradasi *Copper Slag* dapat dilihat pada Lampiran 3 - 4, dan zona *Copper Slag* terlampir pada Grafik 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2. Grafik gradasi agregat halus (*Copper Slag*)

Dari hasil pemeriksaan didapat berat jenis agregat adalah 3,60. Berdasarkan berat jenisnya agregat diatas merupakan agregat berat karena memiliki berat jenis yang lebih dari 2,8. Sedangkan berat volume agregat adalah 2165 kg/m^3 berdasarkan berat volumenya *Copper Slag* termasuk agregat berat karena memiliki berat volume melebihi $2162,70 \text{ kg/m}^3$.

4.1.5. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah dengan ukuran butiran maksimum 20 mm yang didapat dari daerah Malang. Perhitungan berat jenis, penyerapan dan kadar air dapat dilihat pada Lampiran 5 - 7 dan hasil pemeriksaan dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

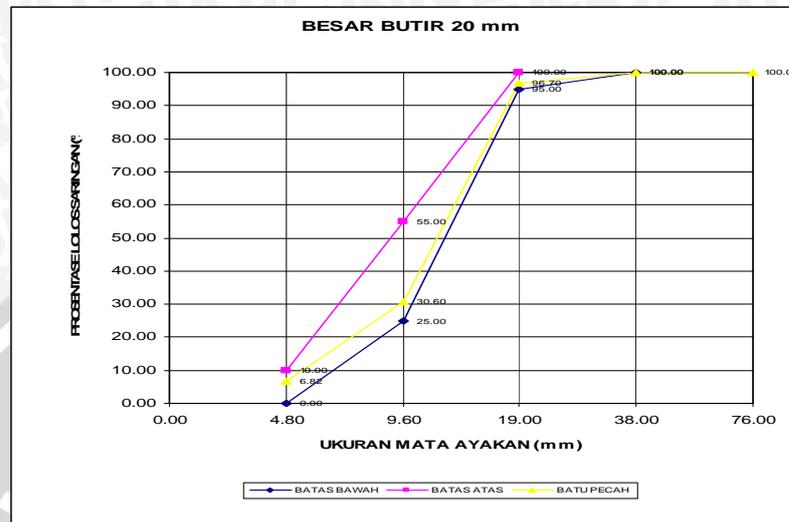
Tabel 4.3. Hasil pemeriksaan agregat kasar

JENIS PEMERIKSAAN	SATUAN	NILAI
Berat Jenis Curah	-	2,68
Berat Jenis SSD	-	2,75
Berat Jenis Semu	-	2,90
Penyerapan	%	2,90
Kadar Air	%	1,33

Sumber : Hasil Penelitian

Setelah dilakukan pengujian gradasi kerikil yang digunakan dalam penelitian ini, maka didapatkan bahwa agregat kasar termasuk kedalam zona gradasi kerikil/koral

ukuran maksimum 20 mm, sehingga dapat menentukan grafik agregat gabungan berdasarkan gradasi butiran tersebut. Hasil perhitungan gradasi agregat kasar dapat dilihat pada lampiran 5 - 7, dan zona gradasi butiran agregat kasar terlampir pada Grafik 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3. Grafik gradasi agregat kasar (batu pecah)

Dari hasil pemeriksaan didapat berat jenis agregat adalah 2,75. Berdasarkan berat jenis agregat diatas merupakan agregat normal karena memiliki berat jenis yang berkisar antara 2,7 sampai 2,8.

4.2. Agregat Gabungan

4.2.1. Agregat Gabungan Copper Slag Dengan Pasir Alam

Berdasarkan data dari agregat halus dibuat gabungan kedua agregat dengan hasil penambahan agregat halus *Copper Slag* sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% diharapkan agregat halus gabungan masuk dalam satu zona yaitu zona 2, hasil perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 8 – 13 dan zona gradasi dapat dilihat tabel 4.4. dibawah ini.

Tabel 4.4. Hasil pemeriksaan gradasi campuran agregat halus

Jenis pemeriksaan	Komposisi campuran copper slag dengan pasir alam					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Modulus kehalusan	2.56	2.75	2.79	2.89	2.83	2.82
Zona gradasi	2	2	2	2	2	2

Sumber : Hasil Penelitian

4.2.2. Agregat Gabungan Agregat Halus Dengan Agregat Kasar

Berdasarkan data dari agregat halus dan agregat kasar dapat dibuat gabungan kedua agregat dengan hasil agregat halus 43,50% (*Copper Slag* + pasir alam) dan agregat kasar 56,50% (batu pecah) sehingga gabungan agregat masuk pada grafik agregat gabungan dengan butir mak.20 mm dalam zona 2 – 3 dan zona 3 - 4, hasil perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 14 - 20. dan modulus halus dapat dilihat tabel 4.5. dibawah ini

Tabel 4.5. Hasil pemeriksaan gradasi agregat campuran

Jenis pemeriksaan	Komposisi campuran copper slag dengan pasir alam						
	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Modulus kehalusan	5.138	5.196	5.278	5.293	5.336	5.313	5.309

Sumber : Hasil Penelitian

4.3. Pengujian Adukan Beton

Pengujian adukan beton sebelum dilakukan pengecoran terlebih dahulu dilakukan uji *slump*. Pengujian *slump* dilakukan dengan menggunakan alat kerucut Abrams. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekentalan dan *workability* dari adukan beton.

Dalam penelitian ini digunakan nilai slump yang sama pada setiap campuran beton yaitu 60 mm, akan tetapi menghasilkan nilai FAS yang berbeda karena pengaruh penggunaan variasi komposisi *Copper Slag* yang berbeda. Hal ini dikarenakan *Copper Slag* memiliki kekedapan yang cukup tinggi, sehingga berpengaruh terhadap resapan air oleh *Copper Slag*. hasil pengujian slump dapat dilihat pada Tabel 4.6. dibawah ini.

Tabel 4.6. Hasil pemeriksaan *slump*

Variasi campuran	Slump rencana	Slump aktual	fas
0% copper slag	60	61	0.427
10% copper slag	60	58	0.393
20% copper slag	60	59	0.392
30% copper slag	60	57	0.391
40% copper slag	60	57	0.390
50% copper slag	60	58	0.389
60% copper slag	60	57	0.388

Sumber : Hasil Penelitian

4.4. Perawatan Beton

Perawatan dilakukan untuk menjamin tersedianya air, guna proses hidrasi dan perawatan yang dilakukan terhadap benda uji adalah sebagai berikut :

1. Benda uji dikeluarkan dari cetakan setelah 24 jam setelah pengecoran.
2. Benda uji tidak dilakukan perawatan khusus (disimpan pada suhu kamar).

4.5. Pengujian Beton

4.5.1. Pemeriksaan Berat Isi Beton

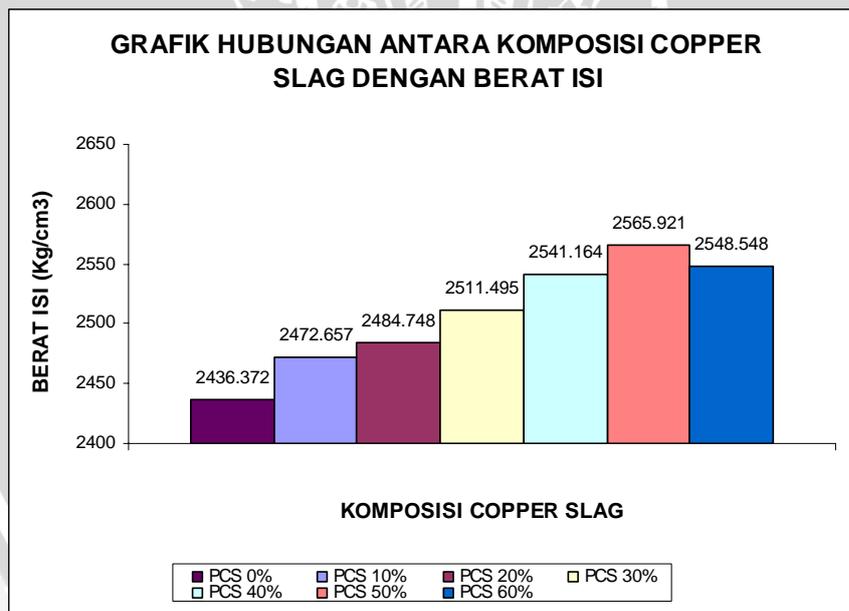
Beton dibuat berupa benda uji selinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, setelah mencapai umur beton yang ditentukan dalam penelitian ini yaitu 28 hari maka dilakukan pengukuran dimensi pada benda uji dan ditimbang beratnya untuk mengetahui berat isinya, perhitungan berat isi benda uji terdapat pada lampiran 25, berat isi benda uji terdapat pada Tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.7. Hasil pemeriksaan berat isi beton

Jenis Beton	Sampel	Berat	berat isi (Kg/m ³)	rata-rata (Kg/m ³)	prosentase
Beton A > copper slag 0 % > Pasir Alam 100 %	1	12.96	2445.86	2436.372	0%
	2	12.97	2446.80		
	3	12.93	2440.20		
	4	12.77	2409.06		
	5	12.93	2439.94		
Beton B > copper slag 10 % > Pasir Alam 90 %	1	13.14	2479.46	2472.657	1.48%
	2	13.19	2488.61		
	3	13.09	2470.39		
	4	13.06	2463.79		
	5	13.04	2461.03		
Beton C > copper slag 20 % > Pasir Alam 80 %	1	13.23	2495.87	2484.748	1.98%
	2	13.17	2485.49		
	3	13.14	2479.31		
	4	13.19	2489.63		
	5	13.11	2473.44		
Beton D > copper slag 30 % > Pasir Alam 70 %	1	13.35	2519.69	2511.495	3.07%
	2	13.24	2498.70		
	3	13.31	2512.48		
	4	13.37	2523.18		
	5	13.27	2503.42		

Beton E > copper slag 40 % > Pasir Alam 60 %	1	13.39	2527.01	2541.164	4.28%
	2	13.51	2550.57		
	3	13.47	2541.17		
	4	13.53	2552.49		
	5	13.43	2534.59		
Beton F > copper slag 50 % > Pasir Alam 50 %	1	13.45	2537.39	2565.921	5.30%
	2	13.76	2596.84		
	3	13.63	2571.36		
	4	13.59	2563.97		
	5	13.57	2560.04		
Beton G > copper slag 60 % > Pasir Alam 40 %	1	13.61	2567.59	2548.548	4.59%
	2	13.42	2532.67		
	3	13.48	2544.00		
	4	13.50	2547.88		
	5	13.52	2550.60		

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4.4. Diagram batang hubungan antara komposisi *Copper Slag* dengan berat isi beton

Pada diagram diatas terlihat bahwa variasi komposisi *Copper Slag* berpengaruh terhadap nilai berat isi beton. Dengan semakin besarnya prosentase agregat *Copper Slag* pada campuran beton maka berat isinya semakin bertambah. Pada komposisi campuran 50% *Copper Slag* berat isi betonnya meningkat dan komposisi yang lebih besar dari 50% berat isinya mengalami penurunan.

4.5.2. Pemeriksaan Kuat Tekan Beton

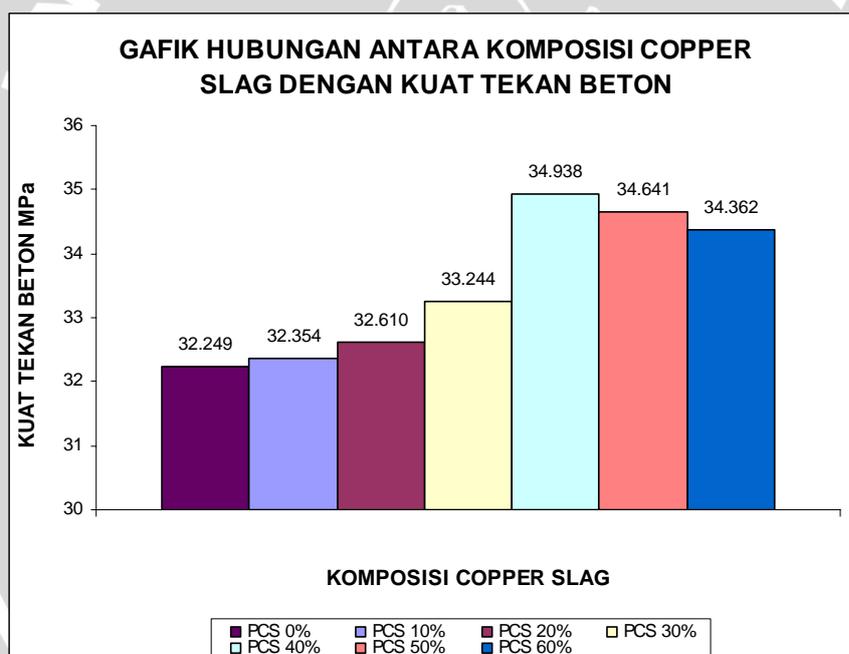
Untuk pengujian kuat tekan beton, pengujian dilakukan dengan alat *Compression Testing Machine*. Pengujian dilakukan dengan meletakkan benda uji berdiri tegak lurus dan dengan penambahan beban yang konstan sampai benda uji kelihatan retak yang diindikasikan dengan tidak lagi adanya peninggatan gaya tekan. Adapun hasil dari perhitungan uji kuat tekan silinder beton terdapat pada lampiran 27. Hasil pengujian kuat tekan beton yang menggunakan variasi penambahan *Copper Slag* terdapat pada Tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8. Hasil pemeriksaan kuat tekan beton

Jenis Beton	Sampel	Kuat tekan				
		Beban (KN)	kuat tekan (kg/cm ²)	kuat tekan (Mpa)	rata-rata	prosentase
Beton A > copper slag 0 % > Pasir Alam 100 %	1	520.01	300.210	30.021	32.249	0.00%
	2	556.00	320.990	32.099		
	3	553.00	319.260	31.926		
	4	580.99	335.420	33.542		
	5	583.00	336.580	33.658		
Beton B > copper slag 10 % > Pasir Alam 90 %	1	556.14	321.070	32.107	32.354	0.32%
	2	570.57	329.400	32.940		
	3	577.04	333.140	33.314		
	4	559.29	322.890	32.289		
	5	539.01	311.180	31.118		
Beton C > copper slag 20 % > Pasir Alam 80 %	1	580.65	335.220	33.522	32.492	0.75%
	2	546.58	315.550	31.555		
	3	560.24	323.440	32.344		
	4	571.94	330.190	33.019		
	5	554.65	320.210	32.021		
Beton D > copper slag 30 % > Pasir Alam 70 %	1	582.57	336.330	33.633	33.244	3.08%
	2	588.96	340.020	34.002		
	3	575.00	331.960	33.196		
	4	575.31	332.140	33.214		
	5	557.32	321.750	32.175		
Beton E > copper slag 40 % > Pasir Alam 60 %	1	596.90	344.600	34.460	34.938	8.34%
	2	607.32	350.620	35.062		
	3	603.32	348.310	34.831		

	4	613.04	353.920	35.392		
	5	605.31	349.460	34.946		
Beton F	1	617.01	356.210	35.621	34.641	7.42%
> copper slag 50 %	2	606.99	350.430	35.043		
> Pasir Alam 50 %	3	592.60	342.120	34.212		
	4	586.80	338.770	33.877		
	5	596.72	344.500	34.450		
Beton G	1	563.33	325.220	32.522	34.362	6.55%
> copper slag 60 %	2	591.99	341.770	34.177		
> Pasir Alam 40 %	3	620.00	357.940	35.794		
	4	587.99	339.460	33.946		
	5	612.68	353.710	35.371		

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4.5. Diagram batang hubungan antara komposisi copper slag dengan kuat tekan beton

Pada diagram diatas terlihat bahwa variasi komposisi *Copper Slag* berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton. Dengan semakin besarnya prosentase agregat *Copper Slag* pada campuran beton maka kuat tekannya semakin bertambah. Pada komposisi campuran 40% *Copper Slag* kuat tekan betonnya meningkat dan komposisi yang lebih besar dari 50% kuat tekannya mengalami penurunan.

4.6. Metode Pengujian Hipotesis

Pengaruh pemakaian dengan variasi komposisi tertentu pada campuran beton dengan menggunakan penambahan *Copper Slag* sebagai agregat halus terhadap pasir alam dapat memberikan pengaruh terhadap berat isi dan kuat tekan beton, maka perlu suatu pengujian hipotesis tersebut.

Pengujian hipotesis dilakukan dengan menggunakan analisa varian satu arah antara variasi penambahan *Copper Slag* sebagai agregat halus terhadap nilai berat isi dan kuat tekan.

Hipotesis ini secara statistik dapat dijelaskan sebagai berikut :

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

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

H_0 = Hipotesis awal, yang menyatakan tidak ada pengaruh.

H_1 = Hipotesis alternatif, yang menyatakan ada pengaruh.

Dengan menggunakan persamaan uji hipotesis data, kriteria pengujian analisa varian satu arah adalah :

$$\alpha = 0,05 \text{ dan } 0,01 \text{ (resiko kegagalan)}$$

$$t = 5 \text{ (jumlah perulangan)}$$

$$n = 35 \text{ (jumlah data)}$$

Batas kritis derajat kebebasan (*Degree of Freedom*) pada tabel analisa varian satu arah adalah :

$$db_{\text{total}} = rt - 1 = \text{banyaknya pengamatan} - 1$$

$$= 35 - 1$$

$$= 34$$

$$db_{\text{perlak}} = rt - 1 = \text{banyaknya pengamatan} - 1$$

$$= 5 - 1$$

$$= 4$$

$$db_{\text{galat}} = db_{\text{total}} - db_{\text{perlak}}$$

$$= 34 - 4$$

$$= 30$$

4.7. Analisis Metode Penerapan Acak Lengkap

Dari distribusi F diperoleh $F_{\text{tabel}} \rightarrow F(0,05 ; 4 ; 30) = 2,69$

Dari distribusi F diperoleh $F_{\text{tabel}} \rightarrow F(0,01 ; 4 ; 30) = 4,62$

Pengujian analisa metode acak lengkap pengaruh penambahan *Copper Slag* sebagai agregat halus terhadap kuat tekan dengan perhitungan manual maka diperoleh pada tabel berikut :

Tabel 4.9. Analisa metode penerapan acak lengkap kuat tekan beton

Keragaman	DB	JK	KT	F hitung	F tabel	
					5%	1%
Perlakuan	4	4032.718	1008.179	12.104**	2.69	4.62
Galat	30	2498.736	83.291	-	-	-
Total	34	6531.453	-	-	-	-

**) nyata pada taraf 1% ; $kk = 2,72\%$

Keterangan :

dk = Derajat kebebasan

JK = Jumlah kuadrat

KT = Kuadrat tengah

Berdasarkan tabel 4.9 dijelaskan bahwa :

- Jadi $F_{hitung} = 12,104 > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima untuk rasio kegagalan 5% dan 1%.
- Berarti variasi komposisi agregat halus *Copper Slag* menyebabkan pertambahan kuat tekan beton secara nyata.

Pengujian analisa metode acak lengkap pengaruh penambahan *Copper Slag* sebagai agregat halus terhadap berat isi dengan perhitungan manual maka diperoleh pada tabel berikut :

Tabel 4.10. Analisa metode penerapan acak lengkap berat isi beton

Keragaman	DB	JK	KT	F hitung	F tabel	
					5%	1%
Perlakuan	4	65139.82	16284.96	94.51**	2.69	4.02
Galat	30	5169.31	172.31	-	-	-
Total	34	70309.13	-	-	-	-

**) nyata pada taraf 1% ; $kk = 0,52\%$

Berdasarkan tabel 4.10 dijelaskan bahwa :

- Jadi $F_{hitung} = 94,51 > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima untuk rasio kegagalan 5% dan 1%.
- Berarti variasi komposisi agregat halus *Copper Slag* menyebabkan pertambahan berat isi beton secara nyata.

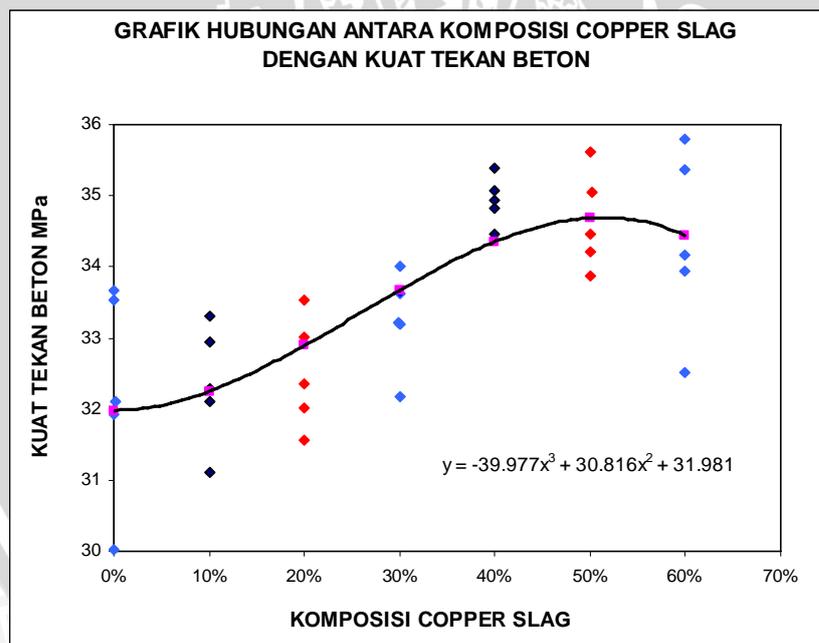
4.8. Analisis Regresi

Hubungan antara variasi komposisi agregat halus *Copper Slag* dan nilai kuat tekan beton, secara statistik dapat ditulis hubungan antara variasi komposisi agregat halus *Copper Slag* (%) dengan nilai kuat tekan beton (MPa) dengan persamaan regresi sebagai berikut :

Y = Nilai kuat tekan beton (MPa)

X = Variasi komposisi agregat halus *Copper Slag* (%)

Model regresi yang sesuai untuk permasalahan ini adalah regresi kubik, model regresi yang didapat :



Gambar 4.6. Diagram regresi hubungan antara komposisi copper slag dengan kuat tekan beton

$$Y = 31,981 + 30,816 X^2 - 39,977 X^3$$

$$\text{Koefisien determinasi } (R^2) = 0,442$$

$$\text{Koefisien korelasi } (R) = 0,665$$

Tabel 4.11. Sidik ragam regresi, regresi parsial, dan uji simpang model

Sumber keragaman	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel	
					5%	1%
Regresi	2	36.424	18.212	20.172**	3.09	5.03
x^2	1	14.184	14.184	15.711**	3.89	7.06
x^3	1	8.610	8.610	9.537**	3.89	7.06
sisia	32	28.891	0.903			
Galat murni	28	24.987	0.892			
simpangan model	4	3.903	0.976	1.081 ^{ns}	2.51	3.75
Total	34	65.315				

Keterangan ** signifikan pada taraf probabilitas 1%
 * signifikan pada taraf probabilitas 5%
 ns non-signifikan

Untuk analisis regresi diperoleh hasil sebagai berikut:

Tampak bahwa F_{hitung} regresi, regresi parsial X^2 dan X^3 signifikan, sedangkan simpangan model non-signifikan, artinya hipotesis $H_0: b_0 = b_2 = b_3 = 0$ ditolak dan model tidak menyimpang. Model $Y = 31,981 + 30,816X^2 - 39,977X^3$ merupakan model yang sesuai dengan derajat keterandalan model 44,2% dapat dikatakan bahwa nilai Y dipengaruhi oleh X

$$Y = 31,981 + 30,816X^2 - 39,977X^3$$

$$\frac{dy}{dx} = 0$$

$$= 61,63 X - 119,93 X^2$$

$$X_{12} = X (61,63 - 119,93 X)$$

$$X_1 = 0 \quad X_2 = 0,5139$$

$$X = 51,39 \%$$

$$Y = 31,981 + 30,816 (0,5139)^2 - 39,977 (0,5139)^3$$

$$Y = 34,697 \text{ MPa}$$

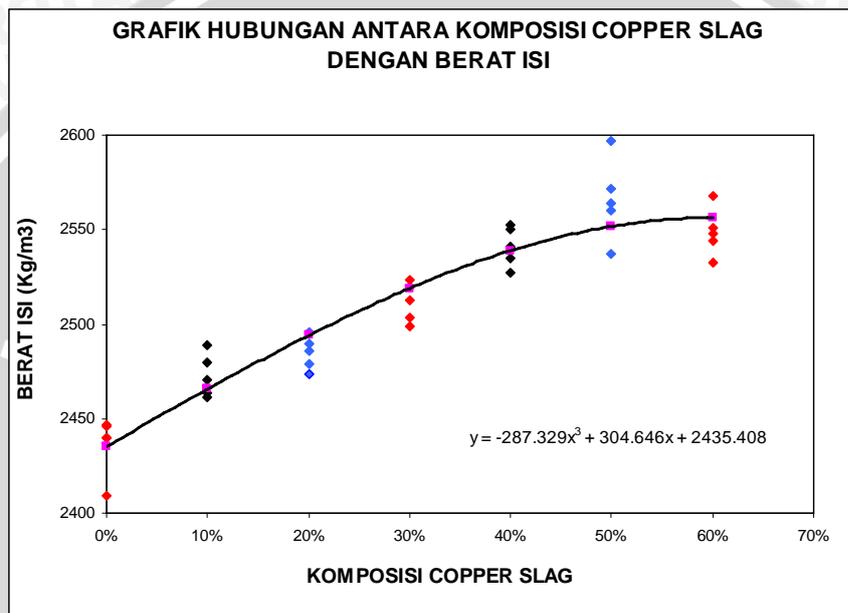
Jadi nilai kuat tekan maksimum dengan uji regresi didapat sebesar 34,697 MPa pada variasi komposisi *Copper Slag* sebesar 51,39 %

Hubungan antara variasi komposisi agregat halus *Copper Slag* dan berat isi beton, secara statistik dapat ditulis hubungan antara variasi komposisi agregat halus *Copper Slag* (%) dengan berat isi beton (Kg/m^3) dengan persamaan regresi sebagai berikut :

Y = Nilai berat isi beton (kg/m^3)

X = Variasi komposisi agregat halus *Copper Slag* (%)

Model regresi yang sesuai untuk permasalahan ini adalah regresi kubik, model regresi yang didapat :



Gambar 4.7. Diagram regresi hubungan antara komposisi copper slag dengan berat isi beton

$$Y = 2435,408 + 304,646X - 287,329X^3$$

$$\text{Koefisien determinasi (R}^2\text{)} = 0,105$$

$$\text{Koefisien korelasi (R)} = 0,325$$

Tabel 4.12. Sidik ragam regresi, regresi parsial, dan uji simpang model

Sumber keragaman	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel	
					5%	1%
Regresi	2	6286.00	31430.00	135.025**	3.09	5.03
x	1	23157.57	23157.57	99.48**	3.89	7.06
x ³	1	2897.78	2897.78	12.45**	3.89	7.06
sisanya	32	7449.13	232.79			
Galat murni	28	5169.31	184.62			

simpangan model	4	2279.82	569.96	2.45 ^{ns}	2.51	3.75
Total	34	70309.13				

Keterangan ** signifikan pada taraf probabilitas 1%
 * signifikan pada taraf probabilitas 5%
 ns non-signifikan

Untuk analisis regresi diperoleh hasil sebagai berikut:

Tampak bahwa F_{hitung} regresi, regresi parsial X dan X^3 signifikan, sedangkan simpangan model non-signifikan, artinya hipotesis $H_0: b_0 = b_1 = b_3 = 0$ ditolak dan model tidak menyimpang. Model $Y = 2435,408 + 304,646X - 287,329X^3$ merupakan model yang sesuai dengan derajat keterandalan model 10,5% dapat dikatakan bahwa nilai Y dipengaruhi oleh X

$$Y = 2435,408 + 304,646X - 287,329X^3$$

$$\frac{dy}{dx} = 0$$

$$= 340,646 - 861,987 X^2$$

$$X^2 = 340,646 / 861,987$$

$$X = 0,594$$

$$X = 59,44 \%$$

$$Y = 2435,408 + 304,646 (0.594) - 287,329 (0.594)^3$$

$$Y = 2556,149 \text{ kg/m}^3$$

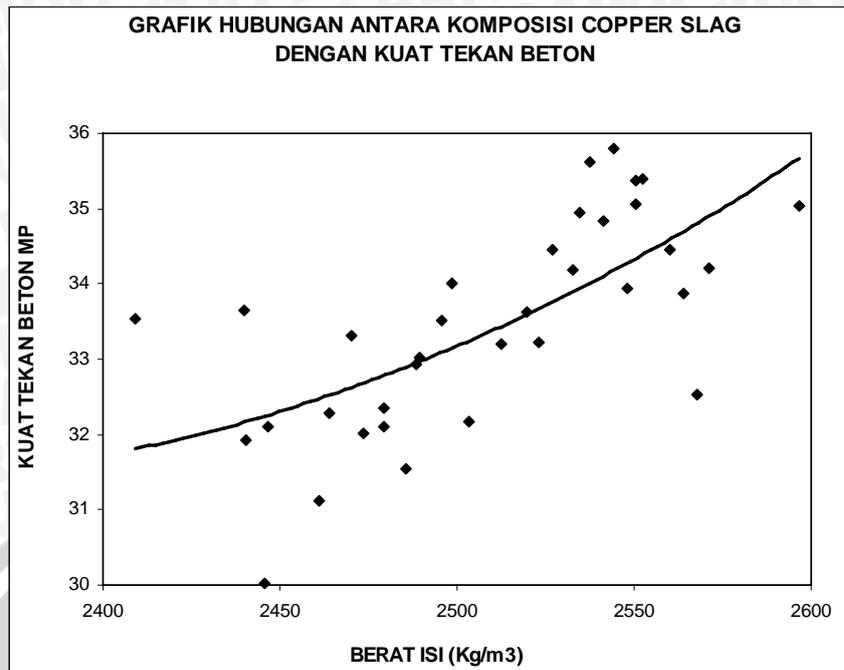
Jadi nilai berat isi maksimum dengan uji regresi didapat sebesar 2556,149 kg/m^3 pada variasi komposisi *Copper Slag* sebesar 59,44 %

Hubungan antara berat isi beton dan kuat tekan beton, secara statistik dapat ditulis hubungan antara berat isi beton (Kg/m^3) dengan kuat tekan beton (MPa) dengan persamaan regresi sebagai berikut :

Y = Nilai kuat tekan beton (MPa)

X = Nilai berat isi beton (kg/m^3)

Model regresi yang sesuai untuk permasalahan ini adalah regresi kubik, model regresi yang didapat :



Gambar 4.8. Diagram regresi hubungan antara berat isi dengan kuat tekan beton

$$Y = 7,39 - 4,14E-06 X^2$$

$$\text{Koefisien determinasi (R}^2\text{)} = 0,463$$

$$\text{Koefisien korelasi (R)} = 0,680$$

Tabel 4.13. Sidik ragam regresi, regresi parsial, dan uji simpang model

Sumber keragaman	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel	
					5%	1%
Regresi	1	30.246	30.246	28.462**	3.75	6.80
sisas	33	35.068	1.063			
Galat murni	28	24.987	0.892			
simpangan model	5	10.081	2.016	1.897 ^{ns}	2.27	3.33
Total	34	65.315				

Keterangan ** signifikan pada taraf probabilitas 1%

* signifikan pada taraf probabilitas 5%

ns non-signifikan

Untuk analisis regresi diperoleh hasil sebagai berikut:

Tampak bahwa F_{hitung} regresi, regresi parsial X^2 signifikan, sedangkan simpangan model non-signifikan, artinya hipotesis $H_0: b_0 = b_2 = 0$ ditolak dan model tidak menyimpang. Model $Y = 7,39 - 4,14E-06 X^2$ merupakan model yang sesuai dengan derajat keterandalan model 46,3% dapat dikatakan bahwa nilai Y dipengaruhi oleh X

4.9. Pembahasan

4.9.1. Pembahasan Hasil Analisis Metode Penerapan Acak Lengkap

Dari daftar distribusi F pada taraf 5% dan 1% ternyata F_{hitung} dari perbandingan kuat tekan dan berat isi menunjukkan nilai yang lebih besar dari F_{tabel} . $F_{hitung} = 12,104 > F_{tabel} = 2,69$ dan $4,02$, $F_{hitung} = 94,51 > F_{tabel} = 2,69$ dan $4,02$

Berarti hipotesis H_0 yang menyatakan tidak ada pengaruh ditolak, dan hipotesis H_1 yang menyatakan adanya pengaruh diterima.

Jadi variasi komposisi agregat halus *coper slag* berpengaruh nyata terhadap nilai berat isi dan kuat tekan beton dengan tingkat kepercayaan 95%. Artinya, kebenaran akan hipotesis tersebut sebesar 95%, sedang kesalahan hipotesis tersebut sebesar 5%. Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa variasi komposisi agregat halus *Copper Slag* berpengaruh nyata terhadap nilai berat isi dan kuat tekan beton.

4.9.2. Pembahasan Hasil Analisis Regresi

Dari hasil analisis regresi untuk pengaruh terhadap kuat tekan diperoleh :

- Koefisien korelasi (R) = 0,665, berarti adanya hubungan linear langsung antar variabel X dan variabel Y.
- Koefisien determinasi (R^2) = 0,442, berarti pengaruh variabel X terhadap perubahan variabel Y sebesar 44,2%, sedangkan sisanya variabel Y dipengaruhi oleh variabel yang lain.

Tampak bahwa F_{hitung} regresi, regresi parsial X^2 dan X^3 signifikan, sedangkan simpangan model non-signifikan, artinya hipotesis $H_0: b_0 = b_2 = b_3 = 0$ ditolak dan model tidak menyimpang. Model $Y = 31,981 + 30,816X^2 - 39,977X^3$ merupakan model yang sesuai dengan derajat keterandalan model 44,2% dapat dikatakan bahwa nilai Y dipengaruhi oleh X

Jadi model grafik regresi adalah dengan tingkat kepercayaan 95%. Artinya, kebenaran akan hipotesis tersebut sebesar 95%, sedang kesalahan hipotesis tersebut sebesar 5%.

- Untuk uji analisa regresi

$$Y = 31,981 + 30,816X^2 - 39,977X^3$$

$$\frac{dy}{dx} = 0$$

$$= 61,63 X - 119,93 X^2$$

$$X_{12} = X (61,63 - 119,93 X)$$

$$X_1 = 0 \quad X_2 = 0,5139$$

$$X = 51,39 \%$$

$$Y = 31,981 + 30,816 (0,5139)^2 - 39,977 (0,5139)^3$$

$$Y = 45,54 \text{ MPa}$$

Jadi nilai kuat tekan maksimum dengan uji regresi didapat sebesar 34,697 Mpa pada variasi komposisi *Cpper Slag* sebesar 51,39 %

Dari hasil analisis regresi untuk pengaruh terhadap berat isi diperoleh :

- Koefisien korelasi (R) = 0,325, berarti adanya hubungan linear langsung antar variabel X dan variabel Y.
- Koefisien determinasi (R^2) = 0,105, berarti pengaruh variabel X terhadap perubahan variabel Y sebesar 10,5%, sedangkan sisanya variabel Y dipengaruhi oleh variabel yang lain.

Tampak bahwa F_{hitung} regresi, regresi parsial X dan X^3 signifikan, sedangkan simpangan model non-signifikan, artinya hipotesis $H_0: b_0 = b_1 = b_3 = 0$ ditolak dan model tidak menyimpang. Model $Y = 2435,408 + 304,646X - 287,329X^3$ merupakan model yang sesuai dengan derajat keterandalan model 10,5% dapat dikatakan bahwa nilai Y dipengaruhi oleh X

Jadi model grafik regresi adalah dengan tingkat kepercayaan 95%. Artinya, kebenaran akan hipotesis tersebut sebesar 95%, sedang kesalahan hipotesis tersebut sebesar 5%.

- Untuk uji analisa regresi

$$Y = 2435,408 + 304,646X - 287,329X^3$$

$$\frac{dy}{dx} = 0$$

$$= 340,646 - 861,987 X^2$$

$$X^2 = 340,646 / 861,987$$

$$X = 0,594$$

$$X = 59,44 \%$$

$$Y = 2435,408 + 304,646 (0.594) - 287,329 (0.594)^3$$

$$Y = 2556,149 \text{ kg/m}^3$$

Jadi nilai berat isi maksimum dengan uji regresi didapat sebesar 2556,149 kg/m³ pada variasi komposisi *Copper Slag* sebesar 59,44 %

Dari hasil analisis regresi untuk pengaruh berat isi terhadap kuat tekan diperoleh:

- Koefisien korelasi (R) = 0,680, berarti adanya hubungan linear langsung antar variabel X dan variabel Y.
- Koefisien determinasi (R^2) = 0,463, berarti pengaruh variabel X terhadap perubahan variabel Y sebesar 46,3 %, sedangkan sisanya variabel Y dipengaruhi oleh variabel yang lain.

Tampak bahwa F_{hitung} regresi, regresi parsial X^2 signifikan, sedangkan simpangan model non-signifikan, artinya hipotesis $H_0: b_0 = b_2 = 0$ ditolak dan model tidak menyimpang. Model $Y = 7,39 - 4,14E-06 X^2$ merupakan model yang sesuai dengan derajat keterandalan model 46,3% dapat dikatakan bahwa nilai Y dipengaruhi oleh X

4.9.3. Pembahasan Hasil Nilai Kuat Tekan Beton

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa, dengan pemakaian agregat halus *Copper Slag* menunjukkan kenaikan nilai kuat tekan beton yang maksimum pada komposisi campuran 40% *Copper Slag* dan 60% pasir alam yaitu mengalami kenaikan sebesar 8,34%. Sedangkan kekuatan maksimum dengan uji analisis regresi didapatkan sebesar 34,697 Mpa dengan variasi *Copper Slag* 51,39 %.

Dari berbagai komposisi campuran agregat halus *Copper Slag*, ternyata yang menunjukkan kenaikan nilai kuat tekan beton tertinggi (maksimum) adalah dengan menggunakan variasi komposisi agregat halus *Copper Slag* pada 40% - 50%. Kuat tekan yang tinggi disebabkan oleh berat jenis *Copper Slag* yang cukup tinggi diakibatkan porositas yang kecil sehingga *Copper Slag* bersifat keras. Berat jenis suatu material identik dengan kekuatannya, dimana beton yang disusun oleh material yang memiliki berat jenis tinggi maka kuat tekan beton akan lebih besar daripada beton dengan material penyusun berat jenis rendah. Sedangkan penurunan kuat tekan yang terjadi disebabkan oleh grading gabungan yang kurang baik atau terlalu kasar.

4.9.4. Pembahasan Hasil Nilai Berat Isi Beton

Dari tabel diatas didapatkan berat isi beton adalah 2436.372 - 2565.921 kg/m³ termasuk dalam beton normal dimana berat isi beton normal 2082,6 – 2563,2 kg/m³. Dengan pemakaian agregat halus *Copper Slag* menunjukkan kenaikan nilai berat isi beton yang maksimum pada komposisi campuran 50% *Copper Slag* dan 50% pasir alam yaitu mengalami kenaikan sebesar 5,30%. Sedangkan kekuatan maksimum dengan uji analisis regresi didapatkan sebesar 2556,149 kg/m³ dengan variasi *Copper Slag* 59,44 %.

Penggunaan material penyusun beton dengan berat jenis yang tinggi menyebabkan berat benda uji juga tinggi, sehingga beton dengan campuran *Copper Slag* memiliki berat yang lebih tinggi dari beton normal non *Copper Slag* untuk setiap benda uji.

4.9.5. Pembahasan Hubungan Berat Isi dan Kuat Tekan Beton

Dari perhitungan diatas didapatkan bahwa dengan bertambahnya nilai berat volume beton kuat tekan beton cenderung mengalami peningkatan, dengan didapatkan persamaan $Y = 7,39 - 4,14E-06 X^2$. Hal ini menunjukan bahwa penggunaan suatu jenis agregat dan prosentasenya dalam suatu campuran akan mempengaruhi sifat dan karakteristik beton tersebut, sesuai dengan sifat dan karakteristik dari agregat batuan yang dipakai.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

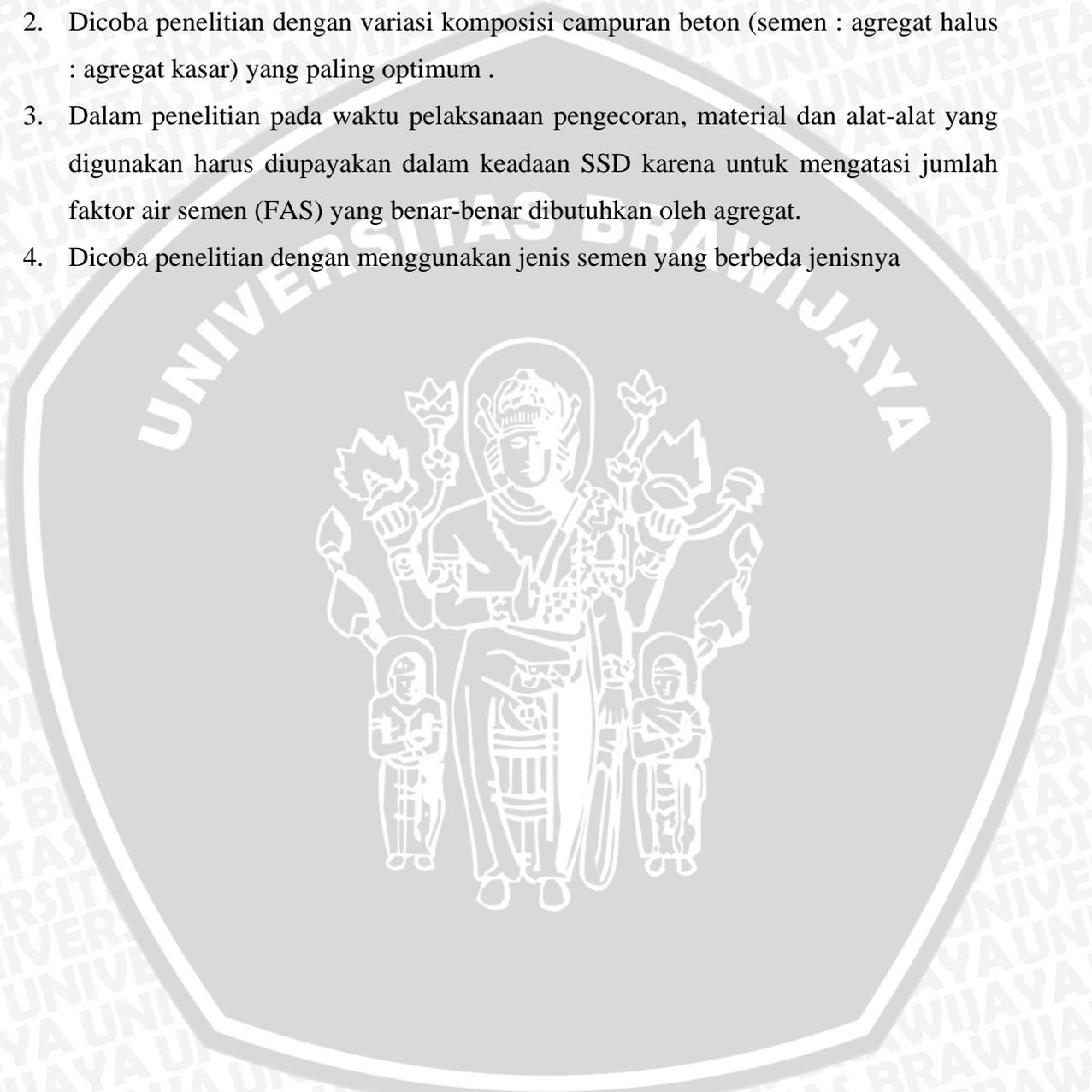
Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan seperti yang diuraikan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari penelitian agregat halus *Copper Slag* didapatkan berat jenis (SSD) = 3,60 ; penyerapan = 0,46 ; kadar air = 0,44% ; berat volume = 2,16 gr/cc. Hal ini menunjukkan *Copper Slag* termasuk agregat berat.
2. Diberikannya variasi komposisi campuran agregat halus *Copper Slag* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap berat isi dan kuat tekan beton, yakni nilai berat isi dan kuat tekan beton meningkat pada prosentase tertentu campuran agregat halus *Copper Slag* dengan pasir alam. Begitu juga hubungan berat isi dengan kuat tekannya, dimana berat isi menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap kuat tekan beton. Hal ini menunjukkan bahwa sifat agregat dan prosentase dalam campuran berpengaruh terhadap sifat dan karakteristik beton
3. Dari hasil penelitian didapatkan nilai kuat tekan beton sebesar 34,938 MPa pada campuran komposisi 40% agregat halus *Copper Slag* dengan 60% pasir alam, Pada uji analisa regresi didapatkan $Y = 31,981 + 30,816X^2 - 39,977X^3$ dengan campuran maksimum yang didapat pada komposisi 51,39 % agregat halus *Copper Slag* dengan kuat tekan 34,697 Mpa.
4. Dari hasil penelitian didapatkan nilai berat isi beton sebesar 2565,921 Kg/m³ pada campuran komposisi 50% agregat halus *Copper Slag* dengan 50% pasir alam, Pada uji analisa regresi didapatkan $Y = 2435,408 + 304,646X - 287,329X^3$ dengan campuran maksimum yang didapat pada komposisi 59,44 % agregat halus *Copper Slag* dengan berat isi 2556,149 kg/m³.
5. Dari analisis regresi didapatkan persamaan $Y = 7,39 - 4,14E-06 X^2$ dimana setiap penambahan berat isi nilai kuat tekan beton cenderung meningkat.
6. Hasil penelitian menunjukkan penurunan nilai berat isi pada komposisi 60% dan pada kuat tekan 50% terhadap agregat halus *Copper Slag*. Hal ini dimungkinkan karena penyebaran *Copper Slag* dalam adukan tidak merata, karena perbedaan berat jenis dan berat volume agregat yang besar, cenderung menyebabkan terjadinya segregasi.

5.1. Saran

Setelah melakukan penelitian dan mengetahui hasilnya, maka dapat disarankan sebagai berikut :

1. Dicoba penelitian dengan variasi campuran agregat halus *Copper Slag* yang lebih beragam dan dengan variasi faktor air semen (FAS) yang paling optimum.
2. Dicoba penelitian dengan variasi komposisi campuran beton (semen : agregat halus : agregat kasar) yang paling optimum .
3. Dalam penelitian pada waktu pelaksanaan pengecoran, material dan alat-alat yang digunakan harus diupayakan dalam keadaan SSD karena untuk mengatasi jumlah faktor air semen (FAS) yang benar-benar dibutuhkan oleh agregat.
4. Dicoba penelitian dengan menggunakan jenis semen yang berbeda jenisnya



DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, Hari dan Daryanto, 1999, *Ilmu Bahan*. Jakarta. Penerbit PT. Bumi Angkasa.
- SK SNI M-12-1989-F. *Metode Pengujian Slump Beton*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- SK SNI M-03-1974-1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- SK SNI M-62-1990-03. *Metoda Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton Di Laboratorium*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Nawy, Edward.G, 1998, *Beton Bertulang Suatu Pendakatan Dasar*, Penerbit PT Refika Aditama, Bandung.
- Wang, Chu-Kia, Charles G. Salmon dan Binsar Hariandja, 1994, *Desain Beton Bertulang*, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Astanto, Budi Triono, 2001, *Konstruksi Beton Bertulang*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Samekto, Wuryani dan R. Candra, 2001, *Teknologi Beton*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Murdock, L.J, K.M dan Stephanus Hendarko, 1986, *Bahan dan Praktek beton*, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Mulyono, Tri, 2004, *Teknologi Beton*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Amri, Sjafei, 2005, *Teknologi Beton A-Z*, Penerbit Yayasan John Hi-Tech Idetama, Jakarta.
- Hamzah, Aulia, 1999, *Sifat Fisik Dan Mekanik Beton Mutu Tinggi Dengan Campuran Copper Slag*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil FTSP Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Gaspersz, Vincent, 1991. *Tennik Analisis dalam Penelitian Percobaan jilid 1*, Penerbit Tarsito, Bandung.
- Gaspersz, Vincent, 1991. *Tennik Analisis dalam Penelitian Percobaan jilid 2*, Penerbit Tarsito, Bandung.
- Santoso, R. D dan Kusnadi, M. H, 1992, *Analisis Regresi*, Penerbit Andi, Yogyakarta.