

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Indonesia memiliki hutan seluas 120.353.104 ha (Statistik Kehutanan 1970, 1981, 1990/1991 dan 1999/2000). Berbagai jenis hasil hutan yang dapat menjadi komoditi ekspor Indonesia seperti kayu, damar, rotan, arang kayu, dan lain sebagainya. Diantara hasil hutan di Indonesia, arang kayu dapat dijadikan bahan bakar alternatif sebagai pengganti minyak. Hasil produksi arang kayu di Indonesia pada tahun 2005 mencapai 345.824 ton (Direktorat Jenderal Bina Produksi Kehutanan, Jakarta, 2005). Tidak menutup kemungkinan, produksi arang kayu akan terus meningkat yang disebabkan naiknya harga bahan bakar minyak.

Arang kayu juga banyak digunakan di wilayah Surakarta sebagai bahan bakar untuk memasak makanan, baik untuk warung makan maupun digunakan di rumah sendiri. Terdapat banyak warung makan seperti sate, ayam bakar, *hik* (warung makan nasi dan minuman khas Surakarta), *coffee shop*, dan lain-lain yang menggunakan arang kayu. Dari hasil pembakaran menggunakan arang kayu dihasilkan abu arang. Pemanfaatan abu arang masih sebatas untuk keperluan mencuci peralatan rumah tangga atau sebagai abu gosok.

Sebagai negara berkembang, Indonesia banyak melakukan pembangunan infrastruktur di berbagai bidang yang bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Selain itu juga pembangunan pasca gempa di Aceh, Pulau Nias, Yogyakarta, dan Sumatera Barat juga terus dilakukan. Hal ini mengakibatkan kebutuhan semen nasional meningkat. Permintaan semen domestik selama Januari-Mei 2007 tumbuh 8,1 persen menjadi 12,83 juta ton, sementara pada periode sama tahun sebelumnya berkisar 11,87 juta ton (Permintaan Semen Tumbuh 8,1 Persen, Antara, 2007). Pertumbuhan konsumsi semen yang mulai membaik pada awal 2007 dan rencana pembangunan infrastruktur nasional, menyebabkan pada 2011 pasokan produksi tak dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri (Indonesia Kekurangan Semen 2011, Tempo Interaktif, 2007)

Di sisi lain, perkembangan di bidang teknologi beton juga semakin maju. Hal ini dapat dilihat dari berbagai penelitian yang dilakukan dengan menggunakan bahan tambah konstruksi beton. Bahan tambah tersebut antara lain bahan kimia tambahan yang berfungsi untuk mempercepat proses pengerasan, bahan tambah pozolan dan abu terbang (*fly ash*) yang berfungsi sebagai bahan pengganti sebagian semen Portland, bahan tambah serat (*fibre*) dari gelas/kaca, plastik, baja, serat tumbuh-tumbuhan (rami atau ijuk) berfungsi untuk menambah kuat tarik beton.

Dengan adanya pembangunan di berbagai bidang untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan pembangunan infrastruktur pasca gempa mengakibatkan Indonesia akan mengalami kekurangan pasokan semen. Selain itu, penggunaan arang kayu sebagai pengganti bahan bakar minyak semakin meningkat dikarenakan harga bahan bakar minyak semakin melonjak. Dari penggunaan arang kayu tersebut akan menghasilkan abu arang. Namun, pemanfaatan abu arang belum maksimal sebatas digunakan sebagai abu gosok untuk mencuci peralatan memasak. Abu arang adalah hasil perubahan secara kimia dari pembakaran arang kayu yang berwarna cerah keunguan. Abu arang mengandung silika yang merupakan pengikat agregat yang baik, hal ini sama dengan fungsi semen dalam suatu campuran beton. Oleh karena itu penulis mencoba melakukan penelitian yang berkaitan dengan permasalahan di atas sehingga akan dicapai hasil yang saling menguntungkan dengan judul ” **PENGARUH PENAMBAHAN ABU ARANG TERHADAP KUAT TEKAN BETON**”.

Dengan adanya hasil penelitian ini diharapkan abu arang hasil pembakaran kayu dapat dimanfaatkan dengan maksimal untuk bahan campuran beton yang dapat meningkatkan kuat tekan beton itu sendiri. Dengan demikian kandungan semen dalam suatu campuran beton dapat dikurangi tanpa mengakibatkan kuat tekan beton rencana menjadi berkurang. Sehingga kebutuhan semen secara nasional untuk pembangunan dapat dipenuhi tanpa membuat pabrik semen baru.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, terdapat permasalahan yang timbul berkaitan dengan penelitian ini dapat diidentifikasi sebagai berikut :

1. Abu hasil pembakaran arang tidak dimanfaatkan secara optimal yang mengakibatkan abu arang hanya digunakan sebagai abu gosok.
2. Banyaknya pembangunan di bidang infrastruktur dan rekonstruksi pasca gempa mengakibatkan kekurangan pasokan semen.
3. Dimungkinkan abu arang dapat digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran beton.
4. Dimungkinkan penggunaan abu arang sebagai bahan tambah dapat meningkatkan kuat tekan beton.

C. Pembatasan Masalah

Ada beberapa permasalahan yang muncul dalam penelitian ini, agar permasalahan yang diteliti menjadi lebih jelas, maka perlu adanya pembatasan masalah. Adapun permasalahan yang akan diteliti adalah sebagai berikut :

1. Pengaruh penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari. Abu arang yang digunakan dari hasil pembakaran arang yang dijual umum di pasaran yang lolos ayakan 0,075 mm. Campuran beton yang digunakan dengan berat jenis normal antara 2200-2400 kg/m³, dengan kuat tekan rencana 17,5 MPa. Pasir yang digunakan berasal dari Kali Woro (pasir hasil letusan gunung berapi). Kerikil yang digunakan adalah kerikil pecah mesin ukuran 1/2 cm yang berasal dari batu Kali Woro.
2. Prosentase optimal penambahan abu arang untuk mencapai kuat tekan beton yang optimal pada umur 28 hari. Prosentase penambahan abu arang terhadap berat semen sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap berat semen dalam setiap rencana campuran (*mix design*).

D. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi dan pembatasan masalah, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Adakah pengaruh abu arang terhadap kuat tekan beton?
2. Berapakah prosentase optimal penambahan abu arang untuk mencapai kuat tekan beton optimal?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.
2. Untuk mengetahui besarnya prosentase optimal penambahan abu arang untuk mencapai kuat tekan yang optimal pada umur 28 hari.

F. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

- a. Untuk mengembangkan ilmu pengetahuan dibidang tekologi beton, pengaruh abu arang sebagai bahan tambah terhadap kuat tekan beton.
- b. Untuk memanfaatkan abu arang sebagai alternatif bahan bangunan dari pada terbuang sebagai limbah sisa pembakaran.
- c. Sebagai pembanding apabila ada penelitian yang sejenis sebagai penelitian pengembangan.

2. Manfaat Praktis

- a. Memberikan informasi tentang abu arang sebagai bahan tambahan dalam teknis perencanaan dan pelaksanaan struktur beton.
- b. Dengan diadakannya penelitian ini diharapkan mendapatkan formula yang tepat sehingga menghasilkan beton dengan kuat tekan optimal.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

1. Abu Arang

a. Pengertian Arang Kayu

Arang yaitu residu hitam berisi karbon tidak murni yang dihasilkan dengan jalan menghilangkan kandungan air dan komponen volatil dari hewan atau tumbuhan, terutama dengan jalan memanaskan (tanpa oksigen). Sedangkan arang kayu adalah arang yang berasal dari kayu (<http://www.id.wikipedia.org/wiki/arang>. 29 Juli 2007).

Metode pembuatan arang kayu menurut Haris Iskandar (2005: 1) sebagai berikut: "Metode tradisional yang dikenal serta umum digunakan oleh masyarakat di dalam pembuatan arang kayu, yaitu berupa metode lubang tanah (*earth pit-kiln*). Selain itu, juga dikenal metode lain yang sudah berkembang dengan pengaturan ventilasi udara yang lebih terkontrol serta penggunaan bahan lain sebagai media tungku. Pengembangan ini dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki proses pembuatan serta hasil arang yang akan diperoleh. Beberapa metode tersebut antara lain adalah metode tungku drum (*drum-kiln*) serta tungku batu bata (*flat-kiln*).



Gambar 1. <http://www.id.wikipedia.org/wiki/arang> (29 Juli 2007) Arang Kayu

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa arang kayu adalah residu hitam berisi karbon tidak murni yang dihasilkan dengan jalan menghilangkan

kandungan air dan komponen volatil dari kayu, dengan cara memanaskan kayu tanpa oksigen. Dimana kualitas arang kayu tergantung cara pembuatannya.

b. Pengertian Abu Arang

Abu arang adalah hasil perubahan secara kimiawi dari pembakaran arang kayu. Pada saat arang kayu dibakar akan menghasilkan abu yang berwarna cerah keunguan. (http://www.en.wikipedia.org/wiki/Ash_analytical_chemistry).

Komposisi kimia dari abu arang terdiri atas senyawa kimia yaitu:

- Alumina (Al_2O_3) sebesar 10,9%
- Kalsium Oksida (CaO) sebesar 19,2%
- Ferr Trioksida (Fe_2O_3) sebesar 7,5%
- Magnesium Oksida (MgO) sebesar 10,3%
- Potasium Pentaoksida (P_2O_5) sebesar 1,7%
- Kalium Oksida (K_2O) sebesar 1,1%
- Silika (SiO_2) sebesar 36,5%

(<http://www.terrapreta.bioenergylists.org/charcoaluses>. 29 Nopember 2008)

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa abu arang adalah hasil perubahan secara kimiawi dari pembakaran arang kayu berwarna cerah keunguan dengan yang mengandung silika sebesar 36,5%, dimana silika tersebut dapat digunakan sebagai pengikat agregat yang baik.

c. Abu Arang Sebagai Fly Ash

Sisa pembakaran batu bara berupa partikel halus, keluar bersama-sama gas buang. Partikel halus sisa pembakaran dikenal dengan nama Abu Terbang (*Fly Ash*), sedangkan sisa pembakaran yang berupa butiran-butiran kasar keluar melalui bagian bawah disebut *Bottom Ash* (abu dasar).

Menurut Aman Subakti (1995: 73) mendefinisikan bahwa "Abu terbang (*Fly Ash*) adalah sisa hasil pemisahan sisa pembakaran yang halus dari pembakaran batubara yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang dikenal di Inggris sebagai serbuk abu pembakaran".

Sedangkan menurut ACI Committe 226 yang diambil dari buku Aman Subakti menerangkan bahwa "*Fly Ash* mempunyai butiran yang cukup halus,

yaitu lolos ayakan No. 325 ($45 \mu\text{m}$) 5-27%, dengan specific gravity antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman, sifat prosese pozzolonic dari Fly Ash mirip dengan bahan pozolan lainnya”.

Dari pengertian di atas dapat ditarik pengertian tentang abu terbang (*Fly Ash*) yaitu sisa pembakaran batubara yang mempunyai butiran cukup halus dan berwarna abu-abu kehitaman.

Dalam SKSNI-15-1990-F ”Spesifikasi abu terbang sebagai bahan tambahan untuk campuran beton” ada 3 jeni abu terbang, yaitu:

- 1). Abu terbang kelas F, yaitu abu terbang yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara jenis antrasit (batu bara keras) pada suhu 1560°C .
- 2). Abu terbang kelas C, yaitu hasil pembakaran *lignite* (batu bara muda) atau batubara dengan karbon sekitar 605, abu terbang ini mempunyai sifat seperti segmen dengan kadar kapur di atas 10%.
- 3). Abu terbang kelas N, yaitu hasil dari kalsinasi dari pozolan alam, misalnya tanah *diatomice*, *shale* (serpihan batu) dan batu apung.

Menurut ASTM C 618-86 mutu pozolan dan *fly ash* dibedakan menjadi tiga kelas, yaitu:

- 1). Kelas N : pozolan alam yang digolongkan dalam kelas ini seperti: serpihan batu, debu volkanik dan tanah liat.
- 2). Kelas C : *Fly Ash* mengandung CaO di atas 10 % yang dihasilkan dari pembakaran batu bara muda atau sub-bitumen batubara.
- 3). Kelas F : *Fly Ash* mengandung CaO kurang dari 10 % yang dihasilkan dari pembakaran batu antrasit (batu bara keras) atau bitumen batubara.

Tabel 1. Kandungan kimia pozolan dan *fly ash* menurut ASTM C 618-86.

Oksida	Kelas Bahan Tambah (%)		
	N	F	C
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ , min %	70,0	70,0	50,0
Sulfur Trioxide, SiO ₃	4,0	5,0	5,0
Moisture Content	3,0	3,0	3,0
Loss on ignition	10,0	6,0	6,0

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pada abu arang, komposisi SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ berkisar antara 50% – 70%, sehinggannya abu arang dapat dikategorikan sebagai *fly ash* tipe C.

2. Beton

Menurut SKSNI-15-1991-03 (1991; 2) memberi definisi tentang beton "Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat".

Sedangkan menurut Kardiyono Tjokrodinuljo (1996: 1) menjelaskan bahwa "Beton adalah bahan yang diperoleh dengan cara mencampurkan semen Portland, air, dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambahan yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat sampai bahan buangan non kimia) pada perbandingan tertentu".

Concrete is a construction material that consists of cement (commonly Portland cement) as well as other cementitious materials such as fly ash and slag cement, aggregate (generally a coarse aggregate such as gravel limestone or granite, plus a fine aggregate such as sand or manufactured sand and water) and chemical admixtures. Concrete solidifies and hardens after mixing and placement due to a chemical process known as hydration (<http://www.en.wikipedia.org/wiki/concrete>. 29 Juli 2007). Yang artinya adalah sebagai berikut: "Beton adalah suatu material konstruksi yang terdiri dari semen (biasanya Semen Portland) atau material yang mengandung bahan semen seperti abu terbang dan ampas bijih semen, agregat (agregat kasar seperti kerikil atau granit, pasir atau pasir buatan dan air) dan campuran kimia. Beton mengikat dan mengeras setelah pencampuran dan pencetakan dengan suatu proses kimia yang dikenal sebagai hidrasi".

Beton sering digunakan dalam konstruksi bangunan dikarenakan mempunyai banyak sekali keuntungan.

1. Harga relatif murah karena menggunakan bahan-bahan dasar dari lokal, kecuali semen portland.
2. Beton termasuk bahan yang berkekuatan tinggi, serta mempunyai sifat tahan terhadap pengkaratan/pembusukan oleh kondisi lingkungan.
3. Beton segar dapat dengan mudah diangkut maupun dicetak dalam bentuk apapun dan ukuran sebarang tergantung keinginan.
4. Kuat tekannya yang tinggi mengakibatkan jika dikombinasikan dengan baja tulangan (yang kuat tariknya tinggi) dapat dikatakan mampu dibuat untuk struktur berat.
5. Beton segar dapat disemprotkan di permukaan beton lama yang retak maupun diisikan ke dalam retakan beton dalam proses perbaikan.
6. Beton segar dapat dipompakan sehingga memungkinkan untuk dituang pada tempat-tempat yang posisinya sulit.
7. Beton termasuk bahan tahan aus dan tahan kebakaran, sehingga biaya perawatan termasuk rendah. (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1991:2).

Dari pendapat di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa beton adalah benda padat yang terbuat dari campuran agregat, bahan pengikat, air dan tanpa atau dengan bahan tambahan yang lain. Kualitas beton sangat dipengaruhi oleh bahan penyusunnya, disini dijelaskan secara singkat mengenai bahan penyusunnya.

a. Semen Portland

Semen portland merupakan bahan ikat yang penting dan banyak dipakai dalam pembangunan fisik.

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996: 5).

Semen portland yang baik adalah semen yang bubukannya halus, butiran sekitar 0,05 mm dan memiliki komposisi dari bahan dengan perbandingan sesuai dengan tabel 1.

Tabel 2. Susunan Unsur Semen Biasa (Kardiyono Tjokrodinuljo, 1996: 6)

Oksida	Persen (%)
Kapur, CaO	60 – 65
Silika, SiO ₂	17 – 25
Alumina, Al ₂ O ₃	3 – 8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5 – 6
Sulfur, SO ₃	0,5 – 4
Soda / Potash, Na ₂ O + K ₂ O	0,5 – 1

Menurut Edward G. Nawy (1989: 9) menerangkan bahwa "Semen portland adalah bahan yang dibuat dari serbuk halus mineral kristalin yang komposisi utamanya adalah kalium silikat, dimana penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang bila mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu".

Menurut SKSNI-15-2049-1994 semen portland dibagi menjadi 5 macam, yaitu:

Semen Portland Tipe I : Semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus

- Semen Portland Tipe II : Semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang
- Semen Portland Tipe II : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi
- Semen Portland Tipe IV: Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah
- Semen Portland Tipe V : Semen portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat

Portland cement is the most common type of cement in general usage in many parts of the world, as it is a basic ingredient of concrete, mortar, stucco and most non-specialty grout. It is a fine powder produced by grinding Portland cement clinker (more than 90%), a maximum of about 5% gypsum which controls the set time, and up to 5% minor constituents (as allowed by various standards). As defined by the European Standard EN197.1, "Portland cement clinker is a hydraulic material which shall consist of at least two-thirds by mass of calcium silicates ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ and $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), the remainder consisting of aluminium- and iron-containing clinker phases and other compounds. The ratio of CaO to SiO_2 shall not be less than 2.0. The magnesium content (MgO) shall not exceed 5.0% by mass." (The last two requirements were already set out in the German Standard, issued in 1909). Portland cement clinker is made by heating, in a kiln, a homogeneous mixture of raw materials to a sintering temperature, which is about 1450 °C for modern cements. The aluminium oxide and iron oxide are present as a flux and contribute little to the strength. For special cements, such as Low Heat (LH) and Sulfate Resistant (SR) types, it is necessary to limit the amount of tricalcium aluminate ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) formed. The major raw material for the clinker-making is usually limestone (CaCO_3). Normally, an impure limestone which contains SiO_2 is used - the CaCO_3 content can be as low as 80%. Secondary raw materials (materials in the rawmix other than limestone) depend on the purity of the limestone. Some of the secondary raw materials used are: clay, shale, sand, iron ore, bauxite, fly ash and slag. When a cement kiln is fired by coal, the ash of the coal acts as a secondary raw material (http://www.en.wikipedia.org/wiki/portland_cement. 29 Juli 2007). Yang artinya adalah "Semen Portland adalah jenis semen yang paling umum digunakan untuk berbagai macam pekerjaan konstruksi di dunia, sebagai dasar untuk campuran beton, adukan semen, plesteran semen dan spesi semen tidak khusus. Semen portland merupakan bubuk halus yang diproduksi dengan menggiling klinker semen (lebih dari 90%), gipsum (maksimum sekitar 5%), dan unsur kecil sampai 5% (sesuai standard). Standard Eropa EN197.1 menyatakan, "Klinker semen adalah suatu material hidrolis yang terdiri dari sedikitnya dua pertiga massa zat kapur silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ dan $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), sisanya terdiri dari aluminium dan besi

dan campuran lain. Perbandingan CaO dengan SiO₂ tidak akan kurang dari 2.0. Isi magnesium (MgO) tidak lebih dari 5.0% dengan massa." Menurut Standard Jerman, yang dikeluarkan tahun 1909). Kilngker Portland semen dibuat dengan memanaskan material di dalam dapur tanur tinggi dengan campuran homogen dari bahan baku pada suhu sekitar 1450°C untuk semen modern. Aluminium Oksida dan besi oksida mempunyai pengaruh sedikit terhadap kekuatan. Untuk semen khusus, seperti Panas Rendah dan Tahan Asam Sulfat, diperlukan pembatasan jumlah trikalsium aluminat (3CaO.Al₂O₃). Secara normal, digunakan batu kapur yang tidak alami berisi SiO₂, dengan kandungan CaCO₃ kurang dari 80%. Bahan baku sekunder (material yang digunakan selain batu kapur) tergantung pada kemurnian dari batu kapur. Beberapa dari bahan baku yang sekunder yang digunakan adalah: tanah liat, serpihan batu, pasir, bijih besi, bauksit, abu terbang dan ampas. Ketika dapur tanur tinggi dipanaskan dengan batu bara, abu hasil pembakaran batu bara dapat digunakan untuk bahan baku sekunder".

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa semen portland adalah bahan ikat hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium, dimana penambahan air pada mineral ini menghasilkan suatu pasta yang bila mengering akan mempunyai kekuatan seperti batu.

b. Agregat

Kardiyono Tjokrodinuljo, (1998: 13) berpendapat bahwa: "Agregat adalah butiran mineral alami atau buatan yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran beton atau mortar. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortar atau beton. Agregat yang butir-butirnya lebih besar dari 4,80 mm disebut agregat kasar, dan agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 4,80 mm disebut agregat halus".

Menurut Wuryati Samekto (2001:11) menyatakan bahwa: "Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar (aduk) dan beton. Agregat aduk dan beton dapat juga didefinisikan sebagai bahan yang dipakai sebagai pengisi bersama dengan bahan perekat dan membentuk suatu massa yang keras, padat bersatu".

Construction aggregate, or simply "aggregate", is a broad category of coarse particulate material used in construction, including sand, gravel,

crushed stone, slag, and recycled concrete. Aggregates are a component of composite materials such as concrete and asphalt concrete; the aggregate serves as reinforcement to add strength to the overall composite material. Aggregates are also used as base material under foundations, roads, and railroads. To put it another way, aggregates are used as a stable foundation or road/rail base with predictable, uniform properties (e.g. to help prevent differential settling under the road or building), or as a low-cost extender that binds with more expensive cement or asphalt to form concrete (http://www.en.wikipedia.org/wiki/construction_agregat. 29 Juli 2007). Yang artinya adalah sebagai berikut: “Agregat konstruksi, atau sederhananya disebut "agregat", adalah suatu yang dikategorikan partikel material kasar yang digunakan dalam konstruksi, termasuk pasir, kerikil, batu yang dihancurkan, ampas bijih, dan daur ulang beton. Agregat adalah suatu komponen material gabungan seperti beton dan aspal, agregat digunakan untuk menambahkan kekuatan kepada keseluruhan material gabungan. Agregat juga dapat digunakan sebagai material dasar dibawah pondasi atau jalan, dan rel kereta api. Selain itu, agregat dapat direncanakan untuk menstabilkan pondasi, jalan raya/kereta (contoh. untuk membantu mencegah penyelesaian diferensial di bawah bangunan atau jalan), atau secara luas penggunaan agregat lebih murah dari pada menggunakan aspal sebagai campuran beton”.

Dari uraian di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa agregat adalah butir-butir mineral berupa pasir, kerikil, batu pecah. Agregat biasanya menempati sekitar 70% dari isi total beton, maka sifat-sifat agregat ini mempunyai pengaruh yang besar terhadap perilaku dari beton yang sudah mengeras.

Berdasarkan ukurannya, butir agregat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1). **Agregat halus (pasir)**

Syarat – syarat agregat halus menurut SK-SNI S-04-1989-F adalah sebagai berikut;

- a). Agregat halus harus terdiri dari butir-butiran tajam dan keras
- b). Butir-butir agregat harus bersifat kekal, artinya tidak hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
- c). Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%
- d). Agregat tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan larutan 3% NaOH, cairan diatas endapan tidak boleh lebih gelap dari warna larutan pembanding.
- e). Susunan besar butir agregat halus mempunyai modulus kehalusan antara 1,5 – 3,8 dan harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya.

Agregat halus (pasir) adalah agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 4,80 mm, adapun agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Harus mempunyai bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus), bersih, keras, kuat, dan gradasinya baik. (Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996:13).

Tabel 3. Gradasi Agregat

Lubang Ayakan (mm)	Persen berat 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 I = pasir kasar
 Daerah II = pasir agak kasar
 Daerah III = pasir agak halus
 Daerah IV = pasir halus

(Kardiyono Tjokrodimuljo, 1996:21)

Menurut SNI 03-2847-2002 (2002 : 4) agregat halus adalah: “Pasir alam sebagai hasil disintegrasi “alami” batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5.0 mm

Dari pendapat di atas dapat diambil kesimpulan bahwa agregat halus adalah agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 4,80 mm, harus mempunyai bentuk yang baik (bulat atau mendekati kubus), bersih, keras, kuat, dan gradasinya baik, yang sesuai dengan standart analisis saringan.

2). Agregat kasar (kerikil)

Menurut Edward G Nawy (1998 : 14) menerangkan bahwa: “Agregat disebut kasar apabila ukurannya sudah melebihi $\frac{1}{4}$ in (6mm). Sifat agregat kasar

mempengaruhi kekuatan akhir beton keras dan daya tahannya terhadap disintegrasi beton, cuaca, dan efek-efek perusak lainnya”.

Jenis-jenis agregat kasar yang umum digunakan

- a). Batu pecah alami: Bahan ini didapat dari cadas atau batu pecah alami yang digali yang menghasilkan kekuatan yang tinggi terhadap beton, batu pecah kurang memberikan kemudahan pengerjaan dan pengecoran dibandingkan dengan jenis agregat kasar lainnya.
- b). Kerikil alami: Kerikil didapat dari dasar proses alami, yaitu dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir. Kerikil memberikan kekuatan yang lebih rendah daripada batu pecah, tetapi memberikan kemudahan pengerjaan yang lebih tinggi.
- c). Agregat kasar buatan: Terutama berupa slag atau shale yang biasa digunakan untuk beton berbobot ringan. Biasanya merupakan hasil dari proses lain seperti dari *blast-furnace* dan lain-lain.
- d). Agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat. Dengan adanya tuntutan yang spesifik pada zaman atom sekarang ini, maka perlu ada beton yang dapat melindungi dari sinar x, sinar gamma, dan neutron. Edward Nawy G. (1998:14).

Sedangkan menurut SNI 03-2847-2002 (2002 : 4) menerangkan bahwa: “Agregat kasar sebagai hasil disintegrasi “alam” dari batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm sampai 40 mm”.

Syarat-syarat agregat kasar yang telah disyaratkan dalam SK-SNI S-04-1989-F sebagai berikut:

- a). Agregat kasar harus terdiri dari butir-butiran yang keras dan tidak berpori
- b). Agregat kasar yang mengandung butir-butiran pipih dan panjang hanya dapat dipakai, apabila jumlah butir-butir pipih dan panjang tersebut tidak melampaui 20% dari berat seluruhnya.
- c). Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya apabila mendapatkan pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan tidak pecah atau hancur.
- d). Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat yang reaktif alkali
- e). Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%
- f). Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang telah ditentukan, susunan butir mempunyai Modulus kehalusan antara 6-7,10 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut;
 - (1). Sisa diatas ayakan 38 mm, harus 0% berat
 - (2). Sisa diatas ayakan 4,8 mm, harus berkisar antara 90% dan 98% berat

- (3). Selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas dua ayakan yang berurutan, adalah maksimum 60% dan minimum 10% berat.

SNI (2002:14) menyatakan bahwa: Ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi:

- a). $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan, ataupun.
- b). $\frac{1}{3}$ ketebalan plat lantai ataupun.
- c). $\frac{3}{4}$ jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan atau kawat-kawat, bundel tulangan, atau tendon-tendon prategang atau selongsong-selongsong.

Dari uraian di atas, penulis dapat menyimpulkan bahwa agregat terdiri dari agregat kasar yaitu kerikil dan agregat halus berupa pasir, yang dicampurkan dengan semen portland dan juga air sehingga menghasilkan beton dengan ketentuan dan syarat-syarat tertentu.

3). Air

Menurut Kardiyono T (1996: 46) sebagai berikut: "Syarat-syarat air yang dapat digunakan untuk campuran beton adalah sebagai berikut:

- a). Tidak mengandung Lumpur (benda melyang lainnya) lebih dari 2 gram/liter.
- b). Tidak mengandung garam-garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter
- c). Tidak mengandung khlorida (I) lebih dari 0,5 gram/liter.
- d). Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter".

Murdock L.J., Brook K.M & Stephanus Hendarko (1999:96) berpendapat bahwa di dalam campuran beton, air mempunyai dua buah fungsi, yang pertama, untuk memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan, dan kedua sebagai pelicin campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan percetakan.

Sedangkan SNI 03-2847-2002 (2002:14) menerangkan bahwa:

- a). Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, alkali, garam, bahan

organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.

- b). Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung didalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
- c). Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan dalam beton, kecuali tuntutan berikut terpenuhi:
 - (1). Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama.
 - (2). Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

Dari uraian di atas, penulis dapat ditarik kesimpulan bahwa syarat air yang digunakan untuk beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam dan bahan-bahan organik atau bahan-bahan yang dapat merusak beton.

4). Bahan Tambahan Pada Beton

Penggunaan bahan tambahan dimaksudkan untuk memperbaiki dan menambah sifat beton sesuai dengan sifat beton yang diinginkan. Menurut Kardiyono T (1996: 47) menerangkan bahwa "Bahan tambah ialah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu dalam keadaan segar atau setelah mengeras".

Sedangkan Edward Nawy (1998: 17) menerangkan bahwa "Bahan campuran tambahan (*admixture*) adalah bahan yang bukan air, agregat maupun semen yang ditambahkan kedalam campuran sesaat atau selama pencampuran".

Kategori atau penggolongan pemilihan *admixture* menurut Aman Subakti (1995: 56) antara lain:

- 1). *Air Entraining Agent* (ASTM C 260)
Yaitu bahan tambahan untuk meningkatkan kadar udara agar beton tahan terhadap pembekuan dan pencucian terutama untuk daerah salju.
- 2). *Admixture* Kimia (Bahan Tambahan Kimia) ASTM C 49 dan BS 5075
Yaitu bahan tambahan cairan kimia yang ditambahkan untuk mengendalikan waktu pengerasan (mempercepat dan memperlambat),

mereduksi kebutuhan air, menambah kemudahan pengerjaan beton (meningkatkan slump) dan sebagainya.

3). *Mineral Admixture* (Bahan Tambahan Mineral)

Bahan tambahan mineral merupakan bahan padat yang dihaluskan dan ditambah untuk memperbaiki sifat beton agar mudah dikerjakan dan kekuatannya meningkat.

Contoh bahan tambahan mineral adalah bahan tambahan pozolan, slag, abu terbang (abu batubara), abu sekam (gabah), dan *silica fume* (bahan produksi sampingan silika murni, ferro silikon).

4). *Miscellaneous Admixture* (Bahan Tambahan Lainnya)

Yang termasuk kategori bahan tambahan ini adalah semua bahan tambahan yang tidak termasuk dari ketiga kategori di atas, misalnya bahan tambahan jenis polymer, *tiber mash*, bahan pencegah karatan, bahan tambahan yang mengembang, dan bahan tambahan untuk perekat (*bonding admixture*).

Dari pendapat di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa bahan campuran tambahan (*admixture*) adalah bahan selain unsur pokok beton seperti air, semen, dan agregat yang ditambahkan kedalam adukan beton, sebelum, sesudah atau selama pengadukan beton untuk mengubah sifat beton yang dihasilkan.

3. Hakekat Kuat Tekan Beton

Telah diketahui bersama bahwa sifat beton pada umumnya yang lebih baik jika kuat tekannya lebih tinggi. Dengan demikian untuk meninjau mutu beton biasanya secara kasar hanya ditinjau kuat tekannya saja.

Dalam teori teknologi beton dijelaskan bahwa faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton ialah faktor air semen dan kepadatan, umur beton, jenis semen, jumlah semen dan sifat agregat.

Menurut SNI 03-2847-2002 (2002 : 9) menerangkan bahwa "Kuat tekan beton adalah kuat tekan beton yang ditetapkan oleh perencanaan struktur (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tingginya 300 mm) yang digunakan dalam perencanaan struktur beton dinyatakan dalam mega pascal (MPa)".

Ismoyo.P.H (1995: 23) menerangkan bahwa "Yang dimaksud dengan kekuatan tekan adalah kekuatan tekan yang diperoleh dari pemeriksaan benda uji kubus berisi 15 cm dan berumur 28 hari".

Dari pendapat di atas, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa kekuatan tekan beton adalah kekuatan yang diperoleh dari hasil pengujian beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tingginya 30 cm atau kubus yang berisi 15 cm sebagai benda uji. Seperti telah diuraikan di atas bahwa kekuatan beton diukur dan diketahui dari kuat hancurnya, sedangkan kuat hancur dari beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor selain perbandingan air semen dan tingkat pematatannya.

L.J. Murdock dan K. M. Brook (1991: 233) menguraikan beberapa faktor penting yang mempengaruhi kuat desak beton yaitu:

a) Jenis semen dan karakternya mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.

b) Jenis lekuk-lekuk pada permukaan beton.

Kenyataannya menunjukkan bahwa penggunaan agregat akan menghasilkan beton, dengan kuat desak maupun kuat tarik yang besar dan pada penggunaan kerikil halus dari sungai.

c) Efisiensi dari perawatan (*curing*) kehilangan kekuatan sampai 40 % dapat terjadi bila pengeringan diadakan sebelum waktunya.

Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan lapangan dan pada pembuatan benda uji laboratorium.

d) Suhu. Pada umumnya kecepatan pegecoran bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat hancur akan tetap rendah untuk waktu yang lama.

e) Umur. Pada keadaan yang normal kekuatan beton bertambah dengan umurnya.

Kecepatan pertambahannya kekuatan tergantung pada jenis semen. Misalnya semen dengan kadar alumina yang tinggi menghasilkan beton yang kuat hancurnya pada 24 jam sama dengan portland semen biasa pada umur 28 hari. Pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai beberapa tahun.

Dari pendapat di atas dapat ditarik kesimpulan bahwa faktor-faktor penting yang mempengaruhi kuat desak beton yaitu jenis semen dan karakternya yang akan berpengaruh pada kekuatan-kekuatan dan batas beton, jenis lekuk-lekuk pada permukaan agregat, efisiensi dari perawatan, suhu dan umur.

4. Rencana Campuran Beton

Dalam penelitian ini, rencana campuran beton menggunakan metode DOE (*"Departement of Environment"*) yang dimuat dalam SK.SNI T-15-1990-03 dengan judul "Tata Cara Pencampuran Beton Normal".

Dalam penelitian ini, beton direncanakan untuk digunakan pada konstruksi balok dan kolom bangunan rumah dengan spesifikasi sebagai berikut:

Kuat tekan beton yang diisyaratkan $f_c' = 17,50$ Mpa

Jenis semen	: biasa
Jenis kerikil	: pecah mesin
Ukuran maksimal kerikil	: 20 mm
Nilai slam	: 60 mm
Jenis pasir	: agak kasar (golongan 2)

Perhitungan kebutuhan air, semen Portland, pasir dan kerikil tiap 1 meter kubik beton disesuaikan dengan urutan yang ada dalam Formulir Perancangan Adukan Beton, sebagai berikut:

1. Kuat tekan beton yang diisyaratkan pada 28 hari : 17,50 Mpa
2. Deviasi standar $s = 7$ Mpa, karena tidak mempunyai data pengalaman sebelumnya.
3. Nilai tambah = 12 Mpa, karena tidak mempunyai data.
4. Kuat tekan rata-rata yang direncanakan. $f_{cr}' : 17,5 + 12 = 29,5$ Mpa.
5. Jenis semen (ditentukan) : biasa.
6. Jenis kerikil (ditentukan) : pecah mesin.
7. Faktor air semen (dari gambar 7) : 0,52
8. Faktor air semen maksimum : 0,60 (beton di dalam ruang bangunan dengan keadaan keliling non-korosif). Sehingga digunakan f.a.s yang rendah : 0,52
9. Nilai slam : 120 mm (sudah ditentukan).
10. Ukuran maksimum butiran kerikil : 20 mm (sudah ditentukan).
11. Kebutuhan air diambil 205 liter (berdasarkan perhitungan)
12. Kebutuhan semen : $205 / 0,52 = 394$ kg (dari butir 8 dan 11).
13. Penyesuaian jumlah air atau faktor air semen.
14. Golongan pasir (telah diketahui) : golongan 2.

15. Persentase pasir terhadap campuran (gambar 9) : 40 persen.

16. Berat jenis campuran pasir dan kerikil : 2530 kg/m^3

17. Berat beton (gambar 10) : 2300 kg/m^3

18. Kebutuhan berat pasir dan kerikil dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} W_{\text{psr+krk}} &= W_{\text{btn-air-smn}} \\ &= 2300 - 205 - 394 \\ &= 1701 \text{ kg} \end{aligned}$$

19. Kebutuhan pasir dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} W_{\text{psr}} &= (P / 100) \cdot W_{\text{psr+krk}} \\ &= (40 / 100) \cdot 1701 \\ &= 680,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

20. Kebutuhan kerikil dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} W_{\text{krk}} &= W_{\text{psr+krk}} - W_{\text{psr}} \\ &= 1701 - 680,4 \\ &= 1020,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kesimpulan yang diperoleh dari contoh di atas adalah:

Untuk 1 m^3 beton (berat betonnya 2330 kg) dibutuhkan:

- a. Air : 205 liter
- b. Semen : 394 kg (9,85 kantong)
- c. Pasir : 6680,4 kg
- d. Kerikil : 1020,6 kg

Untuk 1 adukan (misalnya 1 kantong semen) maka dibutuhkan:

- a. Air : $(1/9,85) \cdot 205 = 20,81$ liter
- b. Semen : 1 kantong semen = 40 kg
- c. Pasir : $(1/9,85) \cdot 680,4 = 69,076$ kg
- d. Kerikil : $(1/9,85) \cdot 1020,6 = 103,614$ kg

Berat satuan adukan = $233,50 \text{ kg}$

B. Hasil Penelitian yang Relevan

Adapun penelitian yang relevan dan digunakan oleh penulis sebagai acuan adalah sebagai berikut :

1. Dimas Suryadi (1998) "Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) PLTU Suralaya Terhadap Kuat Tekan Beton" menyimpulkan bahwa:
 - a. Dengan menggunakan *fly ash* kelas F dari PLTU Suralaya pada penambahan 20%, maka didapat penambahan kekuatan optimum dari kekuatan desak beton sampai dengan 19,955 Mpa atau 40,31% dari kekuatan desak beton tanpa ditambah *fly ash* pada umur 7 hari.
 - b. Dengan menggunakan *fly ash* kelas F dari PLTU Suralaya pada penambahan 20%, maka didapat penambahan kekuatan optimum dari kekuatan desak beton sampai dengan 29,955 Mpa atau 40,29% dari kekuatan desak beton tanpa ditambah *fly ash* pada umur 28 hari.
2. Wira Disurya " Penggunaan Abu Ampas Tebu Untuk Pembuatan Beton Dengan Analisa Faktorial Design" menyimpulkan bahwa:
 - a. Beton dengan abu ampas tebu memiliki kuat tekan dan lentur awal yang lebih rendah dibandingkan dengan beton normal, tetapi memiliki peningkatan kekuatan tekan dan kekuatan lentur yang lebih baik dibandingkan dengan beton normal.
 - b. Beton dengan campuran *fly ash* 10 % dan *bottom ash* 5% (menggunakan abu ampas tebu) dengan jumlah sampel sebanyak lima kubus, lima prisma, tiga silinder untuk umur 91 hari mempunyai kuat tekan yang hampir sama sebesar 28,31 Mpa dengan kekuatan beton normal sebesar 28,82 Mpa

Dari beberapa penelitian di atas menunjukkan bahwa *fly ash* (abu terbang) hasil dari pembakaran batu bara dan abu ampas tebu hasil pembakaran ampas tebu mempunyai karakteristik yang hampir sama apabila digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran beton. Abu terbang dan abu ampas tebu mempunyai kandungan silika yang berfungsi sebagai bahan pengikat agregat. Kuat tekan beton dengan bahan tambah abu terbang maupun abu ampas tebu hampir sama, bahkan cenderung mengalami peningkatan kuat tekan dengan kuat tekan beton normal.

C. Kerangka Berfikir

1. Pengaruh penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.

Penggunaan abu arang sebagai bahan tambah dalam campuran beton diharapkan akan mengalami peningkatan kuat tekan beton. Hal ini diharapkan karena abu arang mempunyai unsur kimia yang terdapat dalam *fly ash* maupun semen.

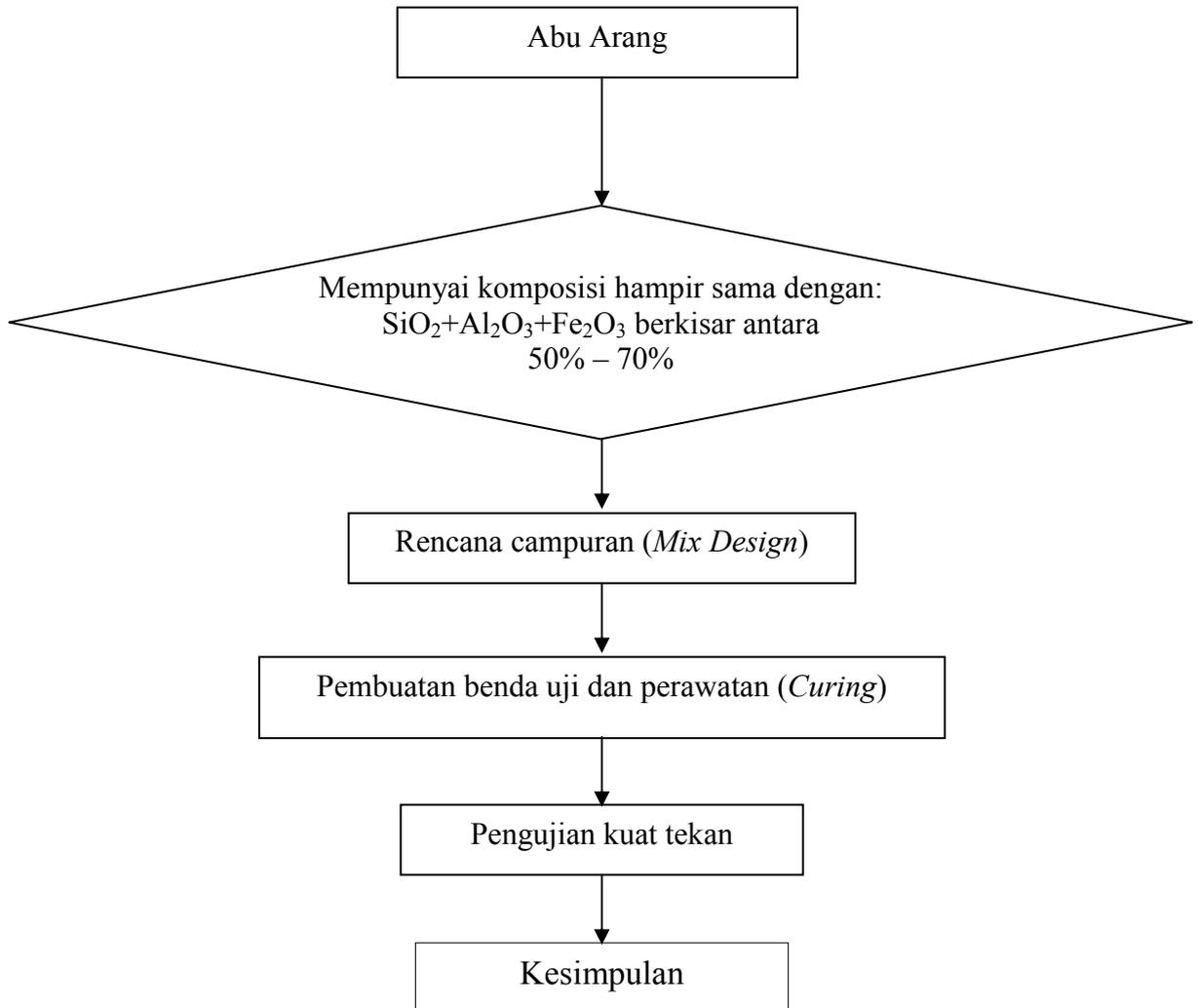
Dengan adanya peningkatan tersebut, kebutuhan semen dalam campuran beton dapat dikurangi tanpa mengurangi kuat tekan beton yang direncanakan apabila dibuat dalam campuran normal. Pengurangan jumlah semen dalam konstruksi dapat menghemat biaya konstruksi dikarenakan harga abu arang jauh lebih murah daripada harga semen.

Untuk dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam beton, maka abu arang harus memenuhi persyaratan-persyaratan yang tercantum dalam SK SNI S-15-1990-F atau ASTM C 618.

2. Prosentase optimal penambahan abu arang untuk mencapai kuat tekan beton yang optimal pada umur 28 hari.

Untuk mengetahui prosentase optimal penambahan abu arang untuk mencapai kuat tekan beton yang optimal dapat dilakukan dengan cara membuat benda uji yang bervariasi prosentase penambahan abu arangnya. Prosentase yang digunakan untuk penambahan abu arang adalah 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dari berat semen yang digunakan dalam campuran. Sedangkan sebagai pembanding dibuat beton normal dengan kandungan 0% abu arang terhadap berat semen yang digunakan dalam campuran.

Penambahan abu arang yang bervariasi diharapkan mendapatkan kekuatan beton bervariasi pula. Penambahan abu arang yang terlalu sedikit dimungkinkan akan berpengaruh kecil terhadap kuat tekan beton, demikian juga bila terlalu banyak. Dari hasil pengujian kuat tekan beton yang berumur 28 hari, maka akan diketahui kuat tekan beton untuk masing-masing benda uji. Sehingga akan diketahui penambahan abu arang optimal untuk mencapai kekuatan tekan beton maksimal.



Gambar 2. Bagan Alur Kerangka Berfikir

D. Perumusan Hipotesis

Berdasarkan uraian di atas dapat diambil suatu hipotesis sebagai berikut :

1. Ada pengaruh penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.
2. Ada prosentase optimal penambahan abu arang untuk mencapai kuat tekan beton yang optimal pada umur 28 hari.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Untuk mendapatkan data penelitian yang baik, maka penelitian ini dilaksanakan di tempat penelitian yang direncanakan. Selain itu didukung oleh tempat penelitian / uji coba yaitu Laboratorium Beton di Kampus Pendidikan Teknik Bangunan jika kurang memadai maka akan menggunakan Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.

2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan pada tanggal 26 Juni – 26 Oktober 2008 dan untuk lebih jelas mengenai tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. Waktu Penelitian

Waktu Kegiatan	Tahun 2008																					
	Juli				Agustus				September				Oktober				Nopember					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Pengajuan Judul		X																				
Pra Proposal			X																			
Proposal				X																		
Seminar					X																	
Revisi Proposal						X	X															
Perijinan Penelitian							X	X	X													
Pelaksanaan Penelitian										X	X	X	X	X								
Analisis Data														X	X	X						
Penulisan Laporan							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Revisi																		X	X			

B. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif jenis eksperimen yaitu mendeskripsikan suatu penelitian dengan melakukan uji coba beberapa benda uji untuk mendapatkan jawaban dari maksud serta tujuan penelitian.

Prosedur penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi penelitian

Pada tahap ini peneliti melakukan pencarian literatur penunjang dari buku atau dari sumber lain yang ada kaitannya dengan permasalahan yang akan diteliti.

2. Persiapan alat dan bahan

a). Bahan

- Bahan pengikat menggunakan Semen Holcim.
- Agregat halus dalam beton normal sebagai pembanding menggunakan pasir Kaliworo.
- Agregat kasar menggunakan batu pecah dari Karanganyar.
- Air yang digunakan adalah air dari Laboratorium Bahan dan Beton Pendidikan Teknik Bangunan Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Bahan tambahan berupa abu arang berasal dari hasil pembakaran arang kayu yang dijual dipasaran di sekitar kota Solo.

b). Alat

- Satu set ayakan agregat halus dan agregat kasar untuk menyaring pasir dan kerikil.
- Timbangan dengan kapasitas 500 gram dan ketelitian 0,1 gram untuk menimbang pasir, kerikil dan abu arang.
- Timbangan dengan kapasitas 20 kg untuk menimbang benda uji.
- Satu set ayakan *sieve analysis* dengan diameter 6,30 mm ; 2,0 mm ; 0,6 mm ; 0,425 mm ; 0,250 mm ; 0,150 mm ; dan 0,075 mm
- Corong konik dengan ukuran atas 3.8 cm, diameter bawah 2,9 cm, tinggi 7,8 cm dan tongkat baja sebagai alat tumbuk seberat 336 gram untuk mengukur keadaan SSD (kering permukaan) agregat halus.
- Loyang alumunium untuk tempat agregat didalam oven.

- Gelas kaca ukuran 1000° cc dan 500° cc untuk mengukur volume air yang digunakan.
- Oven dengan kemampuan sampai 240° untuk mengeringkan bahan agregat.
- *Concrete Mixer* untuk mengaduk adukan beton.
- Ember Plastik untuk tempat air
- Cetok untuk mengisi adukan beton dalam cetakan beton dan kerucut Abram.
- Cetakan benda uji untuk berbentuk kubus terbuat dari besi dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm.
- Mesin uji kuat beton.

3. Tahap penelitian

a). Pemeriksaan bahan

1). Pasir

(a). Pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus (pasir)

(a). Tujuan pemeriksaan

Tujuan pemeriksaan kandungan lumpur dalam pasir yaitu untuk mengetahui seberapa banyak kandungan Lumpur dalam pasir.

(b). Alat dan bahan

- Gelas ukur
- Neraca / timbangan
- Cawan
- Air
- Pasir
- Oven

(c). Pelaksanaan pemeriksaan

- Masukkan pasir ke dalam oven 110° C selama 24 jam
- Ambil pasir kering oven seberat 100 gram
- Masukkan pasir ke dalam gelas ukur berserta air hingga volume 200 cc

- Kocok pasir tersebut 10 kali kemudian air dibuang dan diisi kembali sampai mendapat air yang bersih
- Kemudian pasir diambil dan dikeringkan dengan oven 110 selama 24 jam.
- Setelah 24 jam pasir diambil kemudian timbang beratnya.
- Prosentase kandungan Lumpur dapat dihitung dengan rumus:

$$X = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

Keterangan :

A = berat pasir kering (gram)

B = berat pasir kering oven (gram)

Jika kadar Lumpur lebih dari 5 % maka pasir harus dibersihkan tetapi jika kurang dari 5 % dapat digunakan tanpa mengalami pencucian.

(b). Pemeriksaan kandungan zat organik dalam pasir

(1). Tujuan pemeriksaan

Tujuan pemeriksaan kandungan zat organik dalam pasir yaitu untuk mengetahui seberapa banyak kandungan zat organik dalam pasir seperti dalam table berikut ini.

Tabel 5. Perubahan warna

Warna	Penurunan Kekuatan (%)
Jernih	0
Kuning muda	0 – 10
Kuning tua	10 – 20
Kuning kemerahan	20 – 30
Coklat kemerahan	30 – 50
Coklat tua	50 – 100

(2). Alat dan bahan

- Gelas ukur 250 cc
- Oven
- Pasir
- Larutan NaOH

(3). Pelaksanaan pemeriksaan

- Masukkan pasir kedalam oven 110o C selama 24 jam
- Ambil pasir kering seberat 100 gram
- Masukkan pasir dalam gelas ukur, kemudian masukkan larutan NaOH sebesar 3 %
- Kocok pasir ± 10 menit dan diamkan selama 24 jam
- Kemudian amati perubahan yang terjadi. Jika didapatkan warna kuning jernih berarti pasir sedikit mengandung zat organik.

(c). Pemeriksaan gradasi agregat halus (pasir)

(1). Tujuan pemeriksaan

Tujuan pemeriksaan gradasi agregat halus yaitu untuk mengetahui variasi ukuran butir pasir, prosentase dan modulus kehalusannya.

(2). Alat dan Bahan

- Satu set ayakan 0.00 – 9.50 mm
- Neraca
- Pasir
- Mesin penggetar

(3). Pelaksanaan pemeriksaan

- Masukkan pasir kedalam oven 110° C selama 24 jam
- Ambil pasir kering seberat 3000 gram
- Masukkan pasir dalam ayakan kemudian getarkan selama 5 menit.
- Ambil pasir yang tertinggal diatas ayakan kemudian timbang beratnya

- Modulus kehalusan pasir dapat dihitung dengan rumus

$$\text{Modulus Kehalusan} = \frac{C}{B}$$

Keterangan :

C = \sum Kumulatif berat pasir yang tertinggal selain dalam pan (gr)

B = \sum Prosentase berat pasir yang tertinggal

A = \sum Prosentase kumulatif berat tertinggal

- Prosentase kehilangan berat dihitung dengan rumus

$$= \frac{(\text{Berat Awal} - \text{Berat Setelah Diayak})}{\text{Berat Awal}} \times 100\%$$

(d). Pemeriksaan spesifikasi *gravity* agregat halus (pasir)

Mengetahui sifat-sifat bahan bangunan yang akan dicapai dalam suatu konstruksi adalah sangat penting karena dengan sifat-sifat tersebut dapat ditentukan langkah-langkah yang tepat untuk mengerjakan bangunan tersebut. Berat jenis salah satu variabel yang sangat penting dalam merencanakan adukan beton, karena dengan mengetahui variabel tersebut dapat dihitung volume pasir yang diperlukan.

(1). Tujuan pemeriksaan

- Untuk mengetahui *bulk spesifik gravity*, yaitu perbandingan antara pasir dalam kondisi kering dengan volume pasir total.
- Untuk mengetahui *spesifik gravity SSD*, yaitu perbandingan antara berat pasir jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan volume pasir total.
- Untuk mengetahui *apparent spesifik gravity*, yaitu perbandingan antara berat pasir kering dengan volume pasir total.
- Untuk mengetahui *absorpsi*, yaitu perbandingan antara berat air yang diserap dengan berat pasir kering.

(2). Alat dan bahan

- Cawan aluminium
- *Volumetric flash*
- *Conical mould*
- Neraca
- Oven
- Pasir kering oven
- Air

(3). Pelaksanaan pemeriksaan

- Menyiapkan pasir kering dalam kondisi SSD (*saturated surface dry*).
- Pengamatan pasir kering oven dalam kondisi SSD dengan langkah-langkah sebagai berikut :
 - Pasir dimasukkan kedalam *conical mould* 1/3 bagian lalu ditumbuk 10 kali.
 - Pasir ditambah lagi hingga 2/3 bagian lalu ditumbuk 10 kali.
 - Pasir ditambah hingga penuh lalu ditumbuk 10 kali.
 - Mengangkat *conical mould* lalu mengukur penurunan pasir yang terjadi. Pasir dalam kondisi SSd apabila penurunan yang terjadi sebesar 1/3 tinggi *conical mould*.
- Mengambil pasir dalam kondisi SSD sebanyak 500 gram dan memasukanya kedalam *volumetric flash* dan direndam dalam air selama 24 jam.
- Menimbang berat *volumetric flash* + air + pasir (c).
- Mengeluarkan pasir dalam *volumetric flash* lalu menimbang *volumetric flash* + air (b).
- Mengeringkan pasir dalam oven selama 24 jam.
- Menimbang pasir yang telah kering oven (a).

- Menganalisa hasil pengujian dengan rumus-rumus sebagai berikut :

$$\text{Bulk specific gravity} = \frac{A}{B + 500 - C}$$

$$\text{Specific gravity SSD} = \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$\text{Apparent specific gravity} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorpsi} = \frac{500 - A}{A} \times 100\%$$

Keterangan :

A = Berat pasir kering oven (gram)

B = Berat *volumetric flash* + air (gram)

C = Berat *volumetric flash* + air + pasir (gram)

(e). Pengujian kadar air agregat halus

Kondisi agregat halus dalam rancang campuran beton (*mix design*) adalah SSD (*saturate surface dry*). Tetapi dalam pelaksanaan pembuatan adukan, kondisi dari agregat halus mungkin bukan dalam keadaan SSD, oleh karena itu perlu diketahui kadar air dari agregat halus tersebut sebagai perbandingan rancangan campuran.

(1). Tujuan

Untuk mengetahui perbandingan antara berat air terhadap berat kering butir pasir.

(2). Alat dan bahan

- Neraca
- Cawan
- Oven
- Pasir

(3). Cara kerja

- Menimbang cawan dan memberi nomor
- Mengambil benda uji dan memasukan kedalam cawan lalu menimbang pasir dalam cawan (a).
- Mengeringkan pasir kedalam oven selama 24 jam pada suhu 110 ° C.
- Mengeluarkan pasir dari oven dan mengangin-anginkanya kemudian menimbang pasir yang telah kering oven tersebut (b).
- Menghitung kadar air pasir :

$$\text{Kadar air} : \frac{(a - b)}{b} \times 100\%$$

Keterangan :

a = Berat pasir sebelum dioven (gram)

b = Pasir setelah dioven (gram)

2). Agregat Kasar(a). Pengujian specific gravity agregat kasar

Mengetahui sifat-sifat bahan bangunan yang akan dicapai dalam suatu konstruksi adalah sangat penting karena dengan sifat-sifat tersebut dapat ditentukan langkah-langkah yang tepat untuk mengerjakan bangunan tersebut. Berat jenis salah satu variabel yang sangat penting dalam merencanakan adukan beton, karena dengan mengetahui variabel tersebut dapat dihitung volume kerikil yang diperlukan.

(1). Tujuan :

- Untuk mengetahui *bulk specific gravity*, yaitu perbandingan antara kerikil dalam kondisi kering dengan volume kerikil total.

- Untuk mengetahui *bulk specific gravity* (SSD), yaitu perbandingan antara berat kerikil jenuh dalam kondisi kering permukaan dengan volume kerikil total.
- Untuk mengetahui *apparent specific gravity*, yaitu perbandingan antara berat kerikil kering dengan volume kerikil total.
- Untuk mengetahui daya serap air (*absorbtion*), yaitu perbandingan antara berat air yang diserap dengan berat kerikil kering.

(2). Alat dan bahan

- Oven
- Kontainer
- Bejana
- Neraca
- Kerikil kering oven

(3). Cara kerja

- Mencuci kerikil lalu dimasukkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam
- Mengambil Kerikil kering lalu ditimbang sebanyak 3000 gram dan didiamkan hingga mencapai suhu ruang (a)
- Merendam kerikil dalam air selama 24 jam, lalu dikeringkan dengan kain lap agar permukaan kerikil kering, lalu menimbang kerikil tersebut (b).
- Memasang container pada neraca, lalu menuangkan air dalam bejana hingga container terendam seluruhnya dan mengatur posisi agar neraca seimbang.
- Memasukkan kerikil dalam container hingga seluruhnya terendam air.
- Menimbang kerikil tersebut (c).

- Menganalisa hasil pengujian dengan rumus-rumus sebagai berikut

$$\text{Bulk specific gravity} = \frac{A}{B + 500 - C}$$

$$\text{Specific gravity SSD} = \frac{500}{B + 500 - C}$$

$$\text{Apparent specific gravity} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorpsi} = \frac{500 - A}{A} \times 100\%$$

Dengan :

A = Berat kerikil kering oven (gr)

B = Berat kerikil kondisi SSD (gr)

C = Berat kerikil dalam air (gr)

(b). Pengujian abrasi agregat kasar

Agregat kasar harus tahan terhadap gaya aus gesek, bagian yang hilang karena gesekan tidak boleh lebih dari 50%

(1). Tujuan

Untuk mengetahui daya tahan agregat terhadap gesekan

(2). Alat dan bahan

- Mesin *los Angeles*
- Ayakan
- Bejana
- Neraca
- Kerikil kering oven

(3). Cara kerja

- Menyiapkan agregat kasar dengan diameter dan berat yang sesuai dengan susunan butir contoh yang telah diuji, jumlah bola baja yang digunakan dan jumlah putaran mesin pengujian sesuai dengan SII.0087.75

- Mencuci kerikil lalu dioven dengan suhu 110°C selama 24 jam, kemudian ditimbang sebanyak 10.000 gram (a)
- Memasukkan benda uji ke dalam bejana Los Angeles bersama bola baja sebanyak 11 buah (untuk agregat 10-20 mm), lalu bejana ditutup dan diputar dengan kecepatan putaran 30-33 putaran per menit sebanyak 500 putaran
- Mengeluarkan benda uji kemudian disaring dengan ayakan 2.36 mm, sisa benda uji diatas ayakan 2.36 mm dicuci dan dioven dengan suhu 110°C selama 24 jam
- Menimbang benda uji sisa kering oven (B)
- Menganalisa prosentase berat benda uji yang hilang dengan rumus :

$$\text{Keausan agregat kasar} = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

Dengan :

A = Berat kerikil mula-mula (gr)

B = Berat kerikil setelah diuji (gr)

(c). Pengujian gradasi agregat kasar

Gradasi dan keseragaman diameter agregat kasar sangat penting untuk diketahui, karena sangat menentukan sifat pengerjaan dan sifat kohesif campuran adukan beton.. Selain itu kerikil sangat menentukan pemakaian semen dalam pembuatan beton.

(1). Tujuan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui variasi ukuran butir kerikil, prosentase dan modulus kehalusannya.

(2). Alat dan bahan

- Satu set ayakan dengan susunan diameter lubang 25,0 mm; 19,0 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 4,75 mm; 2,36 mm; 1,18 mm; 0,60 mm; 0,30 mm; 0,15 mm dan pan penampungan.

- Mesin penggetar
- Neraca
- Kerikil kering oven sebanyak 3000 gram.

(3). Cara kerja

- Menyiapkan kerikil yang telah dioven sebanyak 3000 gram
- Memasang ayakan dengan susunan sesuai dengan besar diameter lubang dan terbawah adalah pan penampungan.
- Memasukan kerikil kedalam ayakan teratas kemudian menutup dengan rapat
- Memasang ayakan tersebut pada mesin penggetar dan digetarkan selama 5 menit, kemudian mengambil susunan ayakan tersebut.
- Memindahkan kerikil yang tertinggal dalam masing-masing ayakan kedalam cawan lalu ditimbang.
- Menghitung prosentase berat kerikil tertinggal pada masing-masing ayakan.
- Menghitung modulus kehalusan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Modulus kehalusan kerikil} = \frac{a}{b}$$

Dengan :

a = Σ prosentase komulatif berat kerikil yang tertinggal selain dalam pan.

B = Σ prosentase berat kerikil yang tertinggal

(d). Pengujian kadar air agregat kasar

Kondisi agregat kasar dalam rancang campuran beton (*Mix Design*) adalah SSD (*Saturate Surface Dry*). Tetapi dalam pelaksanaan pembuatan adukan, kondisi dari agregat kasar mungkin bukan dalam keadaan SSD, oleh karena itu perlu

diketahui kadar air dari agregat kasar tersebut sebagai koreksi perbandingan rancangan campuran.

(1). Tujuan

Untuk mengetahui perbandingan antara berat air terhadap berat kering butir krikil.

(2). Alat dan bahan

- Neraca
- Cawan
- Oven
- Krikil

(3). Cara kerja

- Menimbang cawan dan memberi nomor
- Mengambil benda uji dan memasukan kedalam cawan lalu menimbang krikil dalam cawan (a).
- Mengeringkan krikil kedalam oven selama 24 jam pada suhu 110 ° C.
- Mengeluarkan krikil dari oven dan mengangin-anginkanya kemudian menimbang pasir yang telah kering oven tersebut (b).
- Menghitung kadar air krikil :

$$\text{Kadar air} : \frac{(a - b)}{b} \times 100\%$$

Dengan :

a = Berat kerikil sebelum dioven (gr)

b = Berat kerikil setelah dioven (gr)

b). Perencanaan Campuran

1). f_c 17,5 Mpa

2). Faktor air semen tertentu yaitu 0,6

- 3). Bahan pengisi abu arang dengan prosentase 0 %, 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 % dari berat semen yang dipakai.

c). Pembuatan benda uji

1). Pembuatan Campuran Beton

Pembuatan ini berdasarkan analisa agregat dan analisa semen terdahulu. Peralatan yang digunakan, yaitu:

- (a). Timbangan 50 kg
- (b). Neraca
- (c). Tempat adukan cetok
- (d). *Concrete Mixer*
- (e). Ember
- (f). Semen
- (g). Pasir
- (h). Kerikil

Setelah semua bahan yang diperlukan disiapkan, kemudian kerikil dan sebagian air dimasukkan ke tempat pengadukan dan diaduk, setelah semua kerikil terbasahi rata, lalu semen dimasukkan di susul dengan pasir. Kemudian sisa air dimasukkan, lalu diaduk sampai beton bercampur homogen.

Untuk campuran yang mengandung abu arang, penambahan abu arang dilakukan sebelum air dimasukkan. Setelah adukan bercampur homogen. Kemudian ditambah air sesuai dengan rencana, lalu dikeluarkan sebageian untuk dilakukan uji slump.

Pada pembuatan adukan dilaksanakan 5 (lima) kali pembuatan adukan, karena tiap adukan menggunakan prosentase penambahan abu arang yang bervariasi.

2). Pengukuran Uji Slump

Pengukuran dengan menggunakan alat slump ini bertujuan untuk mengukur tinggi penurunan aduk beton setelah dilepas dari alat

slump yang digunakan. Tinggi slump menunjukkan derajat mampu dikerjakan dari aduk yang diukur. Slump yang tinggi menunjukkan, bahwa adukan beton terlalu cair (terlalu banyak air) dan sebaliknya.

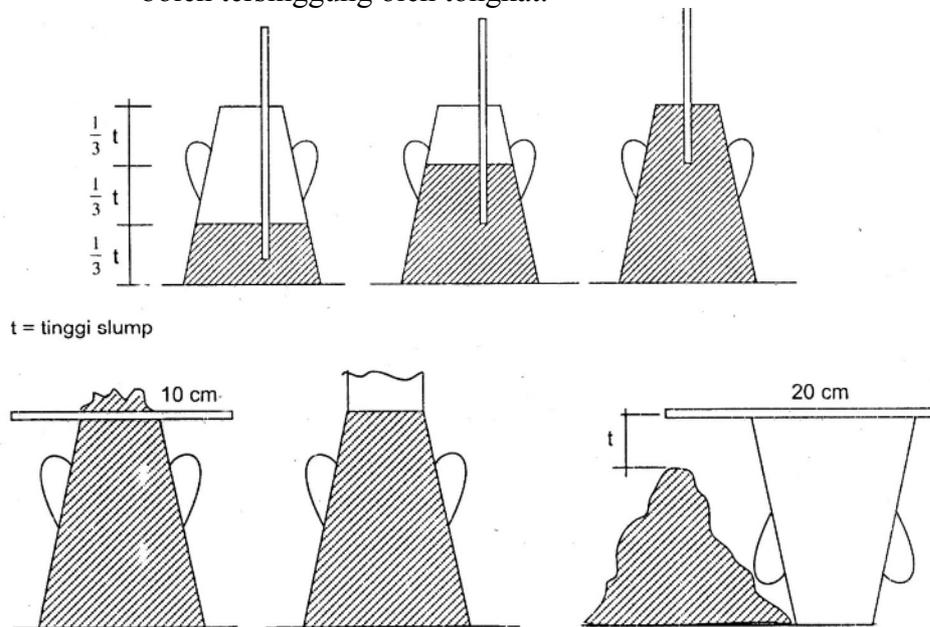
Untuk mengukur tinggi slump digunakan alat yang dinamakan alat slump, yang terdiri dari:

- (a). Corong baja yang berbentuk konus berlubang pada kedua ujungnya. Bagian bawah berdiameter 20 cm, dan bagian atasnya 10 cm, sedang tinggi konusnya 30 cm;
- (b). Tongkat baja dengan diameter 16 mm dan panjang 60cm, sedang bagian ujung-ujungnya dibulatkan.

Cara pengukuran tinggi slump dilakukan sebagai berikut:

- (a). Corong baja diletakkan diatas tempat yang rata dan tidak menghisap air, dengan posisi diameter corong yang besar dibagian bawah dan diamter kecil dibagian atas.
- (b). Ambil dengan menggunakan cetok, aduk beton yang baru selesai diaduk/dicampur, dan dimasukkan ke dalam corong dengan hati-hati sampai setinggi kira-kira $\frac{1}{3}$ tinggi corong.
- (c). Kemudian tusuk-tusuk adukan di dalam corong dengan tongkat baja sebanyak 25 kali.
- (d). Isi lagi corong dengan adukan hingga tinggi kira-kira $\frac{2}{3}$ tinggi corong;
- (e). Tusuk-tusuk lagi sebanyak 25 kali
- (f). Isi lagi corong dengan adukan hingga penuh
- (g). Tusuk-tusuk lagi sebanyak 25 kali
- (h). Isi lagi corong hingga penuh
- (i). Ratakan permukaan aduk beton di dalam corong
- (j). Bersihkan aduk yang ada disekeliling / diluar corong.
- (k). Angkat corong vertikal ke atas dengan hati-hati jangan sampai tepi corong menyinggung adukan beton.

- (l). Letakkan corong di samping adukan tadi dengan posisi (berdiri) terbalik, dan letakkan tongkat baja mendatar di atas corong hingga sebagian tongkat berada di atas aduk beton tadi.
- (m). Ukur jarak antara bagian bawah tongkat baja dengan adukan yang tertinggi.
- (n). Jarak itulah yang disebut dengan tinggi slump
- (o). Saat mengisi adukan ke dalam corong, corong harus dipegang agar tidak bergoncang saat diisi. Saat menusuk-nusuk corong tidak boleh tersinggung oleh tongkat.



Gambar 3. Cara mengukur tinggi Slump

3). Mencetak Benda Uji

Pada penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm. Pencetakan benda uji sebanyak 30 buah dengan 6 buah kubus setiap prosentase penambahan abu arang yaitu:

- (a). Tahap pencetakan benda uji silinder sebanyak 5 buah dengan penambahan abu arang 0 % (sebagai pembanding).
- (b). Tahap pencetakan benda uji kubus sebanyak 5 buah dengan penambahan abu arang 2 % terhadap berat semen.

- (c). Tahap pencetakan benda uji kubus sebanyak 5 buah dengan penambahan abu arang 4 % terhadap berat semen.
- (d). Tahap pencetakan benda uji kubus sebanyak 5 buah dengan penambahan abu arang 6 % terhadap berat semen.
- (e). Tahap pencetakan benda uji kubus sebanyak 5 buah dengan penambahan abu arang 8 % terhadap berat semen.
- (f). Tahap pencetakan benda uji kubus sebanyak 5 buah dengan penambahan abu arang 10 % terhadap berat semen.

Adapun alat-alat yang digunakan dalam pembuatan benda uji, yaitu:

- (a). Cetakan kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm
- (b). Cetok
- (c). Ember

Beton segar dimasukkan ke dalam cetakan dan diisi sampai penuh, kemudian ditusuk-tusuk dan permukaan beton diratakan. Cetakan baru dibuka setelah \pm 24 jam (sejak pengisian beton ke dalam cetakan).

d). Perawatan benda uji

Dalam perawatan benda uji silinder dilakukan dengan cara benda uji direndam dalam air selama 28 hari. Perawatan ini dilakukan untuk menjaga proses pengikatan beton agar berjalan dengan baik dan tidak terjadi proses pengikatan beton yang terlalu cepat dikarenakan suhu yang panas pada beton tersebut.

e). Tahap pengujian

Dalam pengujian sampel bertujuan untuk mengetahui kekuatan beton. Waktu pengujian dilakukan pada beton berumur 28 hari. Peralatan yang dipergunakan yaitu:

- 1). Timbangan 150 kg
- 2). Mesin kuat tekan beton

3). Plat baja

Benda uji yang akan dilakukan pengetesan diambil dari perawatan, sebelum dilakukan tes kuat tekan beton, benda uji terlebih dahulu ditimbang beratnya. Benda uji diletakkan pada posisi berdiri pada mesin uji.

C. Populasi dan Sampel

1. Populasi Penelitian

Populasi dalam penelitian ini menggunakan populasi terbatas, artinya penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji berupa kubus beton ukuran 15cm x 15cm x 15cm dengan jumlah 30 buah.

2. Sampel Penelitian

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah berbentuk kubus dengan ukuran 15cm x 15cm x 15cm yang berjumlah 30 buah, dengan rincian sebagai berikut:

- a. Kubus 15cm x 15m x 15cm dengan campuran abu arang 0% =5 buah
- b. Kubus 15cm x 15m x 15cm dengan campuran abu arang 2% =5 buah
- c. Kubus 15cm x 15m x 15cm dengan campuran abu arang 4% =5 buah
- d. Kubus 15cm x 15m x 15cm dengan campuran abu arang 6% =5 buah
- e. Kubus 15cm x 15m x 15cm dengan campuran abu arang 8% =5 buah
- f. Kubus 15cm x 15m x 15cm dengan campuran abu arang 10% =5 buah

D. Teknik Pengumpulan Data

1. Sumber Data

a. **Sumber Data Primer**

Data yang diperoleh dari hasil eksperimen dan pengujian benda uji terhadap kuat tekan yang dilakukan di laboratorium, yaitu:

- 1). Data hasil uji bahan.
- 2). Data pemeriksaan bahan.
 - a). Pemeriksaan kandungan lumpur agregat halus

- b). Pemeriksaan kandungan organik agregat halus
 - c). Pemeriksaan gradasi agregat halus
 - d). Pemeriksaan spesifik gravity agregat halus
- 3). Data pemeriksaan nilai slump
 - 4). Data faktor air semen
 - 5). Data pengujian kuat tekan beton

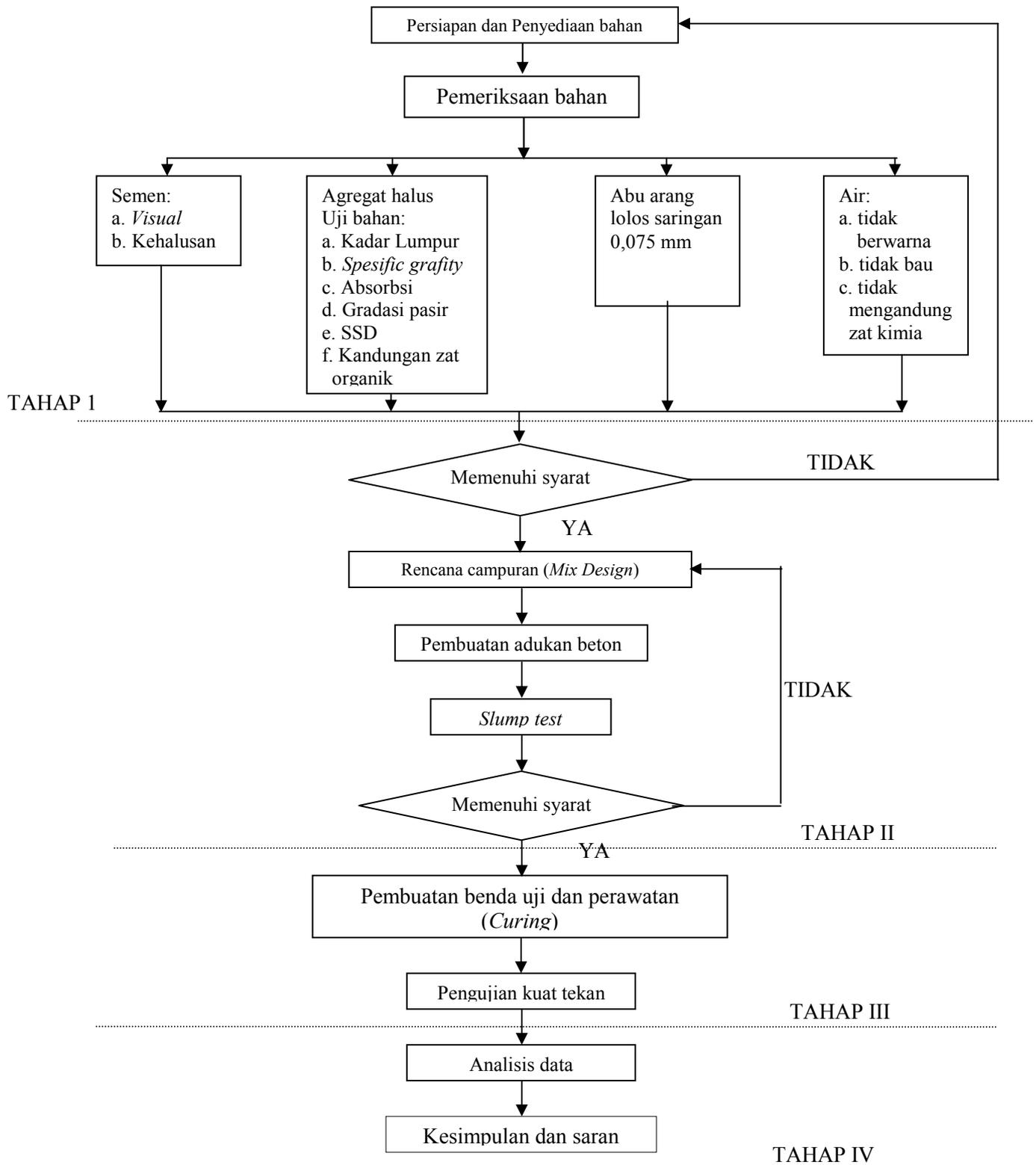
b. Sumber Data Sekunder

Sumber data sekunder ini merupakan data pendukung yang diperoleh dari buku, internet, ataupun dari informasi lain yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

2. Teknik Memperoleh Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dicatat dan digunakan sebagai bahan masukan dalam pembahasan, analisis data serta laporan penelitian dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Tahap I
 - 1) Persiapan bahan
 - 2) Pemeriksaan bahan
- b. Tahap II
 - 1) Perencanaan campuran
 - 2) Pembuatan adukan
 - 3) Uji slump
 - 4) Pembuatan benda uji dan Perawatan benda uji
- c. Tahap III : Pengujian kuat tekan beton
- d. Tahap IV
 - 1) Analisa data
 - 2) Kesimpulan



Gambar 4. Bagan Alur Penelitian

1. Uji Persyaratan Analisis

a. Uji Normalitas Data

Data yang diperoleh terlebih dahulu di uji kenormalannya dengan lilliefors (Sudjana, 1996: 467). Untuk dapat menerima/menolak hipotesis nol, dimana harga L_{hit} dikonsultasikan dengan nilai kritis atau L_{tab} dengan taraf signifikan 5%. Jika diperoleh L_{hit} lebih kecil dari L_{tab} , maka hipotesa nol yang menyatakan populasi berdistribusi normal diterima, tetapi jika harga L_{hit} lebih besar dari L_{tab} maka hipotesa nol ditolak, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pengamatan X_1, X_2, \dots, X_n (data hasil pengamatan), dijadikan angka baku

Z_1, Z_2, \dots, Z_n dengan rumus:

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \dots\dots\dots \text{Sudjana, (2002:466)}$$

Dimana:

Z_i = Variabel unit standart

\bar{X} = Rata-rata sampel

S = Simpangan baku

2. Untuk tiap angka baku ini dan menggunakan daftar distribusi normal baku, dapat dihitung peluang $F(Z_i) = P(Z \leq Z_i) \dots\dots\dots$ Sudjana, (2002:466)
3. Selanjutnya dihitung proporsi Z_1, Z_2, \dots, Z_n yang lebih kecil atau sama dengan Z_i . Jika proporsi ini dinyatakan oleh $S(z_i)$, maka:

$$S(z_i) = \frac{\text{Banyaknya } Z_1, Z_2, \dots, Z_n \text{ yang } \leq Z_i}{n} \dots\dots \text{Sudjana, (2002:466)}$$

4. Hitung selisih $F(Z_i) - S(Z_i)$, klemudian tentukan harga mutlak.
5. Ambil harga yang paling besar diantara harga-harga mutlak selisih tersebut (Lo)

b. Uji Homogenitas

Uji homogenitas ini digunakan untuk mengetahui apakah sampel mempunyai varian yang sama/ homogen. Untuk ini digunakan uji Bartlet menurut Sudjana (1996: 263) dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1). Menghitung varian masing-masing sampel (S_i)
- 2). Menghitung varian gabungan dan sampel (S^2) dengan rumus:

$$S^2 = \frac{\sum (n_i - 1) S_i^2}{\sum (n_i - 1)}$$

- 3). Menghitung harga B (*barlet*) dengan rumus:

$$B = (\log S^2) \sum (n_i - 1)$$

- 4). Menghitung harga Chi-Kuadrat (X^2) dengan rumus:

$$X^2 = (\ln 10) \left\{ B - \sum (n_i - 1) \log S_i^2 \right\}, \quad dk = k - 1$$

- 5). Mencari nilai X^2 dari tabel distribusi Chi-Kuadrat pada taraf signifikan 1%. kriteria uji sampel mempunyai varian yang homogen jika X^2_{hit} lebih kecil dari X^2_{tab} .

c. Uji Linearitas dan Keberartian Regresi

Uji linearitas dimaksudkan untuk mengetahui linier tidaknya data pada variabel terikatnya, sehingga didapatkan gambaran tentang ada tidaknya keterikatan antara variabel bebas dengan variabel terikat. Dengan menggunakan rumus seperti yang dikemukakan oleh Sudjana (1996 : 332) :

$$F_1 = \frac{S_{reg}^2}{S_{res}^2} \qquad F_2 = \frac{S_{TC}^2}{S^2 e}$$

Keterangan :

F_1 = Harga keberartian

F_2 = Harga linearitas

S^2_{reg} = Varians kuadrat regresi

S^2_{res} = Varians kuadrat residu/sisa

S^2_{TC} = Varians kuadrat tuna cocok

$S^2 e$ = Varians kuadrat galat/kekeliruan

Kriteria :

$F_1 > F_{tab}$ = Arah regresi berarti

$F_1 < F_{tab}$ = Arah regresi tidak berarti

$F_2 > F_{tab}$ = Regresi tidak linier

$F_2 < F_{tab}$ = Regresi linier

2. Uji Hipotesis

a. Uji Hipotesis Pertama

Uji hipotesis pertama ini berfungsi untuk mengetahui pengaruh penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari dengan menggunakan regresi linier. Menurut Sudjana (1996 : 338) persamaan garis regresi yang berbentuk parabola mempunyai bentuk persamaan :

$$Y = a + bx + cx^2$$

Dari rumus ini akan diperoleh persamaan-persamaan untuk mencari koefisien a, b, c yaitu :

$$\sum Y = na + b\sum X + c\sum X^2$$

$$\sum XY = a\sum X + b\sum X^2 + c\sum X^3$$

$$\sum X^2Y = a\sum X^2 + b\sum X^3 + c\sum X^4$$

Keterangan :

Y = Kuat tekan rata-rata

X = Prosentase penambahan abu arang

Dengan kriteria mengikuti distribusi t, karena $n \leq 30$

Ho diterima apabila $t_{hit} \leq t_{tab}$

Ho ditolak apabila $t_{hit} > t_{tab}$

$$Y_c = a + bX$$

$$a = \frac{\sum X \cdot \sum XY - \sum Y \cdot \sum X^2}{(\sum X)^2 - n \sum X^2}$$

$$b = \frac{\sum X \cdot \sum Y - n \sum XY}{(\sum X)^2 - n \sum X^2}$$

Dimana: Y = variabel terikat yaitu kuat tekan beton

X = variabel bebas yaitu prosentase penambahan abu arang

n = jumlah variasi penambahan abu arang

b. Uji Hipotesis Kedua

Uji hipotesis kedua ini berfungsi untuk mengetahui prosentase penambahan abu arang optimal dalam adukan beton pada umur 28 hari terhadap kuat tekan, dengan mendefinisikan persamaan regresi garis lengkung $Y = z + bx +$

cx^2 sehingga didapat : $\frac{dY}{dX} = 0$

BAB IV HASIL PENELITIAN

A. Deskripsi Data

1. Data Hasil Pemeriksaan Bahan

a. Pasir

Setelah dilaksanakan pemeriksaan bahan yang digunakan dalam pembuatan kubus beton didapat hasil sebagai berikut:

Hasil pengujian pasir didapat hasil sebagai berikut (perhitungan selengkapnya pada lampiran 1) :

Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Bahan

No	Jenis Pengujian	Hasil	Persyaratan L.J. Murdock (1991 : 106)	Keterangan
1	Kadar lumpur pasir	4,244 %	< 5 %	Memenuhi
2	Zat organik	Kuning muda	-	Memenuhi
3	<i>Bulk Specific Gravity Pasir</i>	2,429	2,50 – 2,80	Memenuhi
4	<i>Bulk Speciefic Gravity SSD</i>	2,554	2,50 – 2,80	Memenuhi
5	<i>Apparent Speciefic Gravity</i>	2,775	2,50 – 2,80	Memenuhi
6	<i>Absortions</i>	1,936 %	-	-

Sumber : hasil penelitian

b. Kerikil

Hasil pengujian kerikil didapat hasil sebagai berikut (perhitungan selengkapnya lihat lampiran 1)

- 1) *Bulk Specific Gravity* = 2,427
- 2) *Bulk Specific Gravity SSD* = 2,505
- 3) *Apparent Specific Gravity* = 2,632
- 4) *Absorbision* = 3,21 %
- 5) Keausan agregat kasar (abrasi) = 41,30 %

c. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen jenis I yang dengan merk *holcime*, karena semen ini sudah memenuhi standart SNI mengenai bahan pengikat untuk beton.

d. Air

Air yang digunakan dalam campuran pelat beton adalah air dari sumur dengan kriteria harus bersih dan bebas dari bahan – bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, atau bahan – bahan lainnya yang merugikan beton atau tulangan.

e. Abu Arang

Abu arang yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu arang dari hasil pembakaran arang kayu yang lolos ayakan 0,075 mm. Arang kayu yang digunakan adalah arang kayu yang dijual di pasaran bebas.

2. Data Hasil Perhitungan Berat Campuran Bahan

Hasil perhitungan berat campuran bahan pembuat kubus beton dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 7. Kebutuhan Bahan Adukan

Bahan	Prosentase Penambahan Abu Arang					
	0%	2%	4%	6%	8%	10%
Semen/ PC (kg)	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65
Agregat Halus (kg)	11,48	11,48	11,48	11,48	11,48	11,48
Agregat Kasar (kg)	17,22	17,22	17,22	17,22	17,22	17,22
Air (liter)	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46
Abu Arang (kg)	0	0,13	0,27	0,40	0,53	0,66

Sumber : hasil penelitian

3. Data Hasil Uji Kuat Tekan

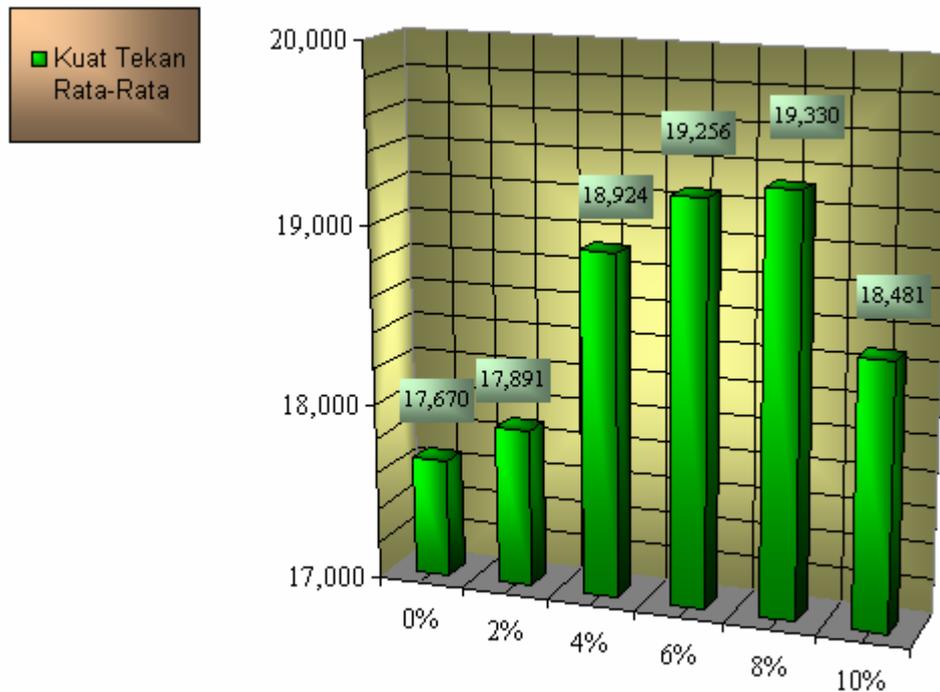
Hasil pengujian kuat tekan kubus beton dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm yang dilakukan pada umur 28 hari dengan menggunakan alat uji tekan *Compression Testing Machine* dengan kapasitas 1500 KN.

Tabel 8. Nilai kuat tekan beton dengan penambahan abu arang

Prosentase Penambahan Abu Arang	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
0%	17,670
2%	17,891
4%	18,924
6%	19,256
8%	19,330
10%	18,481

Sumber : hasil penelitian

Dari tabel 8. diatas dapat kita buat grafik visualisasi antara prosentase abu arang terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.



Gambar 5. Grafik Nilai Kuat Tekan Beton dengan Penambahan Abu Arang

B. Uji Persyaratan Analisis

1. Uji Normalitas Data

Uji normalitas dipakai untuk menguji apakah data hasil penelitian yang didapatkan mempunyai distribusi normal atau tidak. Untuk uji ini dilakukan dengan menggunakan uji normalitas *Liliefors*, dengan taraf signifikan 1 %. Selanjutnya mencari harga $L_{maks} \{|F(Z_i) - S(Z_i)|\}$ pada masing-masing kelompok. Kemudian harga L_{Maks} dikonsultasikan dengan harga L_{Tabel} yang didapatkan pada tabel dengan $n = 5$ dan diperoleh L_{Tabel} sebesar 0,337. Jika hasil perhitungan mendapatkan harga L_{Maks} lebih kecil dari harga L_{Tabel} , maka data berdistribusi normal.

Berdasarkan hasil perhitungan uji normalitas kuat tekan beton pada lampiran 9 diperoleh harga L_o untuk kuat tekan beton dengan penambahan abu arang 0% sebesar 0,167, dengan penambahan abu arang 2% sebesar 0,045, dengan penambahan abu arang 4% sebesar 0,041, dengan penambahan abu arang 6% sebesar 0,226, dengan penambahan abu arang 8% sebesar 0,021, dengan

penambahan abu arang 10% sebesar 0,109 dengan $n = 5$ dan taraf nyata (α) = 0,01, dari tabel diperoleh harga L_{tabel} sebesar 0,337. Dengan demikian harga $L_{\text{hitung}} < L_{\text{tabel}}$ sehingga hipotesis nol diterima dan kesimpulannya adalah data tersebut berdistribusi normal.

2. Uji Homogenitas

Uji homogenitas digunakan untuk menguji kesamaan beberapa buah rata-rata. Pada penelitian ini, digunakan metode *Bartlett* untuk uji homogenitas. Dan pengambilan kesimpulan dengan taraf signifikan 1 %. Jika didapatkan harga X^2_{hitung} ($X^2_{\text{hitung}} = (\ln 10) \{B - \sum (n_i - 1) \log s_i^2\}$) lebih besar dari harga X^2_{tabel} ($X^2_{(0,01)(3)} = 13,30$), berarti data yang didapatkan berasal dari sampel yang tidak homogen. Namun, bila didapatkan harga X^2_{hitung} lebih kecil dari harga X^2_{tabel} ($X^2_{(0,01)(3)} = 13,30$), berarti data yang didapatkan berasal dari sampel yang homogen.

Berdasarkan hasil perhitungan uji homogenitas kuat tekan beton dengan dengan penambahan abu arang pada lampiran 9, halaman 89. Untuk kuat tekan beton dengan penambahan abu arang pada taraf signifikan 0,01 dari tabel distribusi Chi Kuadrat diperoleh $X^2_{\text{tabel}} = 13,30$ sehingga $X^2_{\text{hitung}} < X^2_{\text{tabel}} = 10,8480 < 13,30$. Data hasil penelitian tersebut dapat dinyatakan bahwa sampel adalah homogen.

3. Analisis Koefisien Regresi

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton, yaitu dengan garis regresi. Berdasarkan hasil perhitungan analisa koefisien garis regresi linier kuat tekan beton lampiran 6 untuk kuat tekan beton diperoleh persamaan garis regresi kurva linier $\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$.

4. Uji Keberartian dan Linieritas Regresi

Uji kelinieran regresi yakni menguji apakah model linier yang telah diambil itu betul-betul cocok dengan keadaannya atau tidak, uji keberartian adalah untuk menguji keberartian dari arah regresi tersebut. Untuk menguji linearitas regresi dan keberartian regresi.

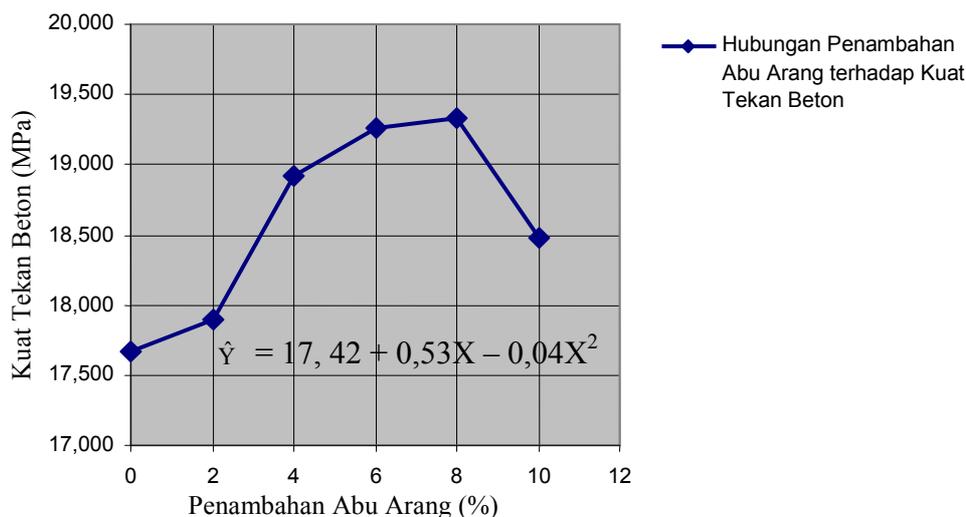
Berdasarkan hasil perhitungan uji keberartian dan linieritas regresi terhadap kuat tekan beton pada lampiran 9, halaman 95 dengan menggunakan $\alpha = 0,01$ dan dk pembilang = 1 sedangkan dk penyebut = 28, didapat harga $F_{(0.01;1,28)} = 4,41$. Untuk uji keberartian diperoleh harga $F_1 = 8,5355$, sehingga $F_{hitung} > F_{tabel} = 7,261 > 4,20$ maka data hasil perhitungan berarti.

Uji kelinieran regresi lampiran 9, halaman 95 pada kuat tekan beton dengan penambahan abu arang menggunakan $\alpha = 0,01$ dk pembilang = 4 sedangkan dk penyebut = 24, didapat harga $F_{(0.01;4,24)} = 3,29$. Untuk uji kelinieran diperoleh harga $F_2 = -1,6083$, sehingga $F_{hitung} < F_{tabel} = -1,235 < 2,78$ maka model regresi linier diterima dan merupakan regresi linier.

C. Pengujian Hipotesis

1. Uji Hipotesis Pertama

Hipotesis pertama yang menyatakan bahwa ada pengaruh penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari akan diuji dengan menggunakan persamaan regresi dan harus dicari terlebih dahulu persamaan garis regresinya. Dari hasil analisa bahwa garis regresi yang terbentuk adalah garis regresi kurva linier. Lampiran 10, halaman 97 diperoleh persamaan garis regresi $\hat{Y} = 17,42 + 0,53X - 0,04X^2$.



Gambar 6. Grafik Prosentase Penambahan Abu Arang Optimum Yang Menghasilkan Kuat Tekan Optimum.

2. Uji Hipotesis Kedua

Hipotesis kedua yang menyatakan bahwa ada prosentase optimal penambahan abu arang untuk mencapai kuat tekan beton yang optimal, maka untuk menguji hipotesis tersebut dengan menggunakan persamaan *defferensial* turunan pertama dari persamaan garis regresi linier. Dari hasil perhitungan diperoleh variasi penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton yang optimum yaitu pada penambahan 6,52% terdapat kuat tekan beton maksimal sebesar 19,160 MPa. (lampiran 10, halaman 102).

D. Pembahasan Hasil Analisis Data

1. Pengaruh Penambahan Abu Arang Terhadap Kuat Tekan Beton

Setelah mendapatkan data yang diperoleh melalui pengujian kuat tekan beton, dengan variasi penambahan abu arang pada umur 28 hari maka ada beberapa hal penting yang perlu untuk dibahas, diantaranya adalah tentang kuat tekan beton yang mengalami perubahan seiring dengan variasi penambahan abu arang.

Tabel. 9. Hasil Kuat Tekan Beton dengan Prosentase Penambahan Abu Arang

Prosentase Penambahan Abu Arang	No	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
0%	1	16,600	17,670
	2	16,416	
	3	18,444	
	4	18,444	
	5	18,444	
2%	1	17,338	17,891
	2	16,969	
	3	17,707	
	4	18,629	
	5	18,813	
4%	1	18,260	18,924
	2	18,076	
	3	19,182	
	4	19,551	
	5	19,551	
6%	1	19,182	19,256
	2	18,076	
	3	19,920	
	4	19,551	
	5	19,551	
8%	1	18,629	19,330
	2	19,182	
	3	18,813	
	4	19,551	
	5	20,473	
10%	1	18,260	18,481
	2	18,260	
	3	18,076	
	4	18,629	
	5	19,182	

Dari hasil penelitian adanya peningkatan kuat tekan beton yang bervariasi sesuai dengan prosentase abu arang. Beton yang tidak memakai penambahan abu arang memiliki nilai kuat tekan yang rendah yaitu 17,670 MPa. Tetapi setelah ditambahkan abu arang dengan variasi prosentase yang berbeda-beda yaitu 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% cm terlihat bahwa beton mengalami peningkatan kuat tekan. Peningkatan kuat tekan tertinggi di dapat pada prosentase

penambahan abu arang sebesar 8%, hal ini dipengaruhi oleh kandungan silika sebesar 36,5%.

Akan tetapi nilai kuat tekan mulai mengalami penurunan pada prosentase penambahan 10%. Peningkatan kuat tekan pada prosentase 10% mengalami penurunan menunjukkan ada pengaruh penggunaan abu arang terhadap kuat tekan beton, hal ini ini disebabkan kandungan di dalam abu arang selain silika sebesar 64,5%. Kandungan dalam abu arang yang dapat menurunkan kuat tekan beton antara lain Magnesium Oksida (MgO) sebesar 10,3 % dan bahan lain sebesar 54,2%. Kondisi ini menunjukkan bahwa penambahan abu arang di atas 10% tidak menguntungkan.

Hal ini bisa dijadikan sebagai acuan bahwa abu arang bisa dijadikan sebagai alternatif penambahan campuran beton mengingat kebutuhan semen untuk pembangunan semakin meningkat dan dan harganya semakin tinggi.

2. Prosentase Penambahan Abu Arang yang Optimum

Untuk mengetahui prosentase penambahan abu arang yang optimum yang menghasilkan beton dengan kuat tekan maksimum. Dari hasil perhitungan didapat persamaan garis regresi adalah:

$$\hat{Y} = 17,42 + 0,53X - 0,04X^2$$

dideferensialkan sehingga didapat:

$$\frac{dy}{dx} = 0 \longrightarrow X = 0,534 - 2(0,041)X$$

$$X = 0,534 - 0,082X$$

$$X = \frac{0,534}{0,082} = 6,52\%$$

Untuk mencari harga Y, maka nilai X didistribusikan ke persamaan kurva linier, yaitu sebagai berikut:

$$\hat{Y} = 17,42 + 0,53X - 0,04X^2 = 19,165 \text{ MPa.}$$

Dari perhitungan dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa prosentase penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton yang optimal dicapai pada pada prosentase 6, 52% dengan kuat tekan beton yang optimum sebesar 19,165 MPa.

Dari analisis diatas menggambarkan bahwa penambahan abu arang dapat memberikan pengaruh terhadap kuat teka beton itu sendiri. Hal ini menunjukkan bahwa variasi prosentase penambahan abu arang tidak menjamin dicapai kuat lentur yang optimal, sehingga untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang optimal harus dilakukan perhitungan seperti diatas.

BAB V

KESIMPULAN, IMPLIKASI, DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasannya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Ada pengaruh penggunaan abu arang terhadap kuat tekan beton. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan kuat tekan beton dari beton normal yaitu 17,670 Mpa, penambahan abu arang sebanyak 2% yaitu 17,891 Mpa, penambahan abu arang sebanyak 4% yaitu 18,924 Mpa, penambahan abu arang sebanyak 6% yaitu 19,256 Mpa, penambahan abu arang sebanyak 8% yaitu 19,330 Mpa dan penambahan abu arang sebanyak 10% yaitu 18,481 Mpa
2. Terdapat prosentase penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton yang optimal yaitu prosentase 6,52% dicapai kuat tekan beton 19,16 MPa.

B. Implikasi

Dengan melihat hasil penelitian diatas mengenai tinjauan kuat tekan beton dengan menggunakan penambahan abua arang, maka implikasi yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan abu arang untuk campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton, hal ini dikarenakan abu arang mempunyai komposisi kimia hampir sama dengan semen dan *fly ash* tipe C.
2. Abu arang dapat digunakan sebagai salah satu alternatif bahan tambah untuk meningkatkan kuat tekan beton.

C. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan implikasi penelitian diatas, maka beberapa saran yang dapat dikemukakan antara lain:

1. Dalam proses pembuatan campuran beton terutama pada saat pencampuran bahan beton harus benar-benar homogen, karena sangat mempengaruhi kualitas beton yang dihasilkan.
2. Sebaiknya pada proses pencampuran beton digunakan mesin pengaduk atau molen agar campuran dapat benar-benar tercampur secara homogen.
3. Pada saat pemadatan beton sebaiknya dilakukan dengan *vibrator* supaya adukannya dapat padat.
4. Untuk memperoleh beton dengan kekuatan yang optimum, produsen beton sebaiknya memperhitungkan dengan teliti perbandingan campuran yang tepat.
5. Sebaiknya jika ingin mendapatkan hasil yang optimum, proses pengayakan atau penyaringan abu arang dilakukan dengan lebih teliti agar mendapatkan butiran yang sangat halus.

DAFTAR PUSTAKA

- Annual Book of American Society of Material and Testing (ASTM) C 618-85. 1987. Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as Mineral Admixture in Portland Cement Concrete.* Philadelphia
- Antara News. 2007. *Permintaan Semen Tumbuh 8,1 Persen.* Jakarta: <http://www.antara.co.id/arc/2007/6/13/permintaan-semen-tumbuh-8-1-persen/>. Selasa, 26 Juni 2007.
- Chu Kia Wang, Charles G Salmon, Binsar Hariandja. *Disain Beton Bertulang Jilid I.* Edisi ke- 4. Jakarta: Erlangga
- Dimas Suryadi. 1998. *Pengaruh Penambahan Abu Terbang (Fly Ash) PLTU Suralaya Terhadap Kuat Tekan Beton.* Skripsi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Edward G. Nawy. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar* Jakarta: Erlangga
- http://www.dephut.go.id/INFORMASI/STATISTIK/2005//IV_3_7.pdf. Jumat, 29 Juni 2007.
- http://www.dephut.go.id/INFORMASI/STATISTIK/2005//I_1_1A.pdf. Jumat, 29 Juni 2007.
- <http://www.tempointeraktif.com/hg/ekbis/2007/06/13/brk,20070613-101908,id.html>. Jumat, 29 Juni 2007.
- <http://www.terrapreta.bioenergylists.org/charcoaluses>. 29 Nopember 2008
- <http://www.wikipedia.com>. Jumat, 29 Juni 2007
- Kardiyono Tjokrodimulyo. 1996. *Teknologi Beton.* Yogyakarta: Nafiri
- Perturan Beton Bertulang Indonesia Th. 1971.
- SK SNI M-62-1990-03. 1990. *Metoda Pembuatan dan Perawata Benda Uji Beton di Laboratoium.* Bandung: Yayasan LPMB Departemen Pekerjaan Umum
- SK SNI T-15-1990-03. 1990. *Tata Cara Pembuatan Rencana Camuran Beton Normal.* Bandung: Yayasan LPMB Departemen Pekerjaan Umum

Sudjana. 1996. *Metoda Statika*. Bandung: Tarsito.

Sutrisno Hadi. 1994. *Analisis Regresi*. Yogyakarta: Andi Offset.

Wira Disurya. 2002. *Penggunaan Abu Ampas Tebu Untuk Pembuatan Beton Dengan Analisa Faktorial Design*. Fakultas Teknik Universitas Petra Surabaya. Surabaya.

Lampiran 1. Pemeriksaan Bahan

PENELITIAN KADAR LUMPUR PASIR

Tempat : Laboratorium Bahan dan Beton PTB UNS

Tanggal : 08, 09, 10 September 2007

A. Tujuan Pengujian

Untuk mengetahui kandungan lumpur dalam pasir.

B. Alat dan Bahan

1. Alat:
 - a. Gelas ukur 250 mm.
 - b. Cawan alumunium.
 - c. Timbangan/ neraca Ghausss.
 - d. Pipet.
 - e. Oven.
2. Bahan
 - a. Pasir 100 gr.
 - b. Air bersih.
3. Pelaksanaan Pengujian
 - a. Menyiapkan pasir kering oven pada suhu 110°C selama 24 jam.
 - b. Menimbang pasir kering oven 100 gram (A).
 - c. Mengambil tabung gelas ukur kemudian memasukkan pasir tersebut ke dalam gelas.
 - d. Melakukan proses pencucian.
 - e. Menuangkan air ke dalam tabung berisi pasir setinggi 12 cm dari atas permukaan.
 - f. Menutup tabung rapat-rapat.
 - g. Mengocok tabung sebanyak 10 kali.
 - h. Membuang airnya.
 - i. Percobaan ini dilakukan beberapa kali sampai airnya jernih.
 - j. Menuangkan pasir ke dalam cawan alumunium. Jika masih ada airnya, maka dibuang dengan pipet.

- k. Pasir dalam cawan tersebut kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 110⁰C dalam 24 jam.
- l. Setelah 24 jam didiamkan hingga mencapai suhu kamar.
- m. Menimbang pasir yang sudah kering oven (B).

4. Hasil Pengujian

Tabel 10. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

No	Uraian	Berat (gr)
1.	Berat cawan	10,285
2.	Berat pasir sebelum dicuci + cawan	110,285
3.	Berat pasir setelah dicuci + cawan	106,041
4.	Berat pasir sebelum dicuci (A)	100,000
5.	Berat pasir setelah dicuci (B)	95,756

5. Analisis data

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Lumpur} &= \frac{A - B}{A} \times 100\% \\
 &= \frac{100 - 95,756}{100} \times 100\% = 4,244 \%
 \end{aligned}$$

6. Pembahasan

Dari percobaan pengujian kadar lumpur dalam pasir diperoleh kesimpulan:

Kadar lumpur dalam pasir 4,244 % sehingga memenuhi syarat sebagai agregat halus, karena syarat sebagai agregat halus adalah lebih kecil dari 5%.

Lampiran 2. Pemeriksaan Bahan

PENELITIAN KANDUNGAN ZAT ORGANIK PASIR

Tempat : Laboratorium Bahan dan Beton PTB UNS

Tanggal : 08, 09, 10 September 2007

A. Tujuan Pengujian

Untuk Mengetahui prosentase kadar zat organik di dalam pasir berdasarkan tabel perubahan warna dari Rooseno.

B. Alat dan Bahan

1. Alat:
 - a. Gelas ukur 250 mm.
 - b. Timbangan/ neraca Ghaus.
 - c. Oven.
2. Bahan
 - a. Pasir dari oven.
 - b. Larutan NaOH 3%.

C. Pelaksanaan Pengujian

1. Menyiapkan pasir kering oven pada suhu 110°C selama 24 jam.
2. Mengambil tabung gelas ukur dan kemudian memasukkan pasir tersebut ke dalam tabung gelas ukur sebanyak 130 cc.
3. Mengambil dan menuangkan larutan NaOH 3% kedalam gelas ukur yang berisi pasir tersebut sehingga volume pasir dan NaOH mencapai 200 cc.
4. Mengocok pasir dan larutan NaOH 3% selama ± 10 menit.
5. Meletakkan campuran pada tempat terlindung selama 24 jam.
6. Mengamati warna yang berada di atas pasir dalam gelas ukur tersebut, lalu membandingkan warna asli pengujian dengan warna tabel.

D. Analisis data

1. Berat pasir = 100 gr.
2. Pasir dan larutan NaOH 3% dikocok dan didiamkan selama 24 jam. Larutan yang ada di atas pasir berwarna kuning muda.

Tabel 11. Hasil Pengujian Kadar Zat Organik Agregat Halus

Warna	Penurunan kekuatan (%)	Hasil akhir
Jernih	0	
Kuning muda	0 – 10	√
Kuning tua	10 – 20	
Kuning kemerahan	20 – 30	
Coklat kemerahan	30 – 50	
Coklat tua	50 - 100	

E. Pembahasan

Dari hasil pengujian percobaan kadar/kandungan zat organik dalam pasir diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

Kadar zat organik dalam pasir termasuk kecil. Hal ini dapat dilihat dari warna NaOH 3% yang terlihat berwarna kuning muda. Sehingga pasir dapat digunakan sebagai agregat halus karena kandungan zat organiknya adalah 0% sampai 10%.

Lampiran 3. Pemeriksaan Bahan

PENELITIAN *BULK SPECIFIC GRAVITY* PASIR

Tempat : Laboratorium Bahan dan Beton PTB UNS

Tanggal : 08, 09, 10, 11 September 2007

A. Tujuan Pengujian

1. Untuk mengetahui kadar *Bulk Specific Gravity* (Berat jenis pasir dalam keadaan kering dengan volume keseluruhan).
2. Untuk mengetahui kadar *Bulk Specific Gravity SSD / Saturated Surface Dry* (Berat jenis pasir jenuh kering permukaan dengan volume pasir total).
3. Untuk mengetahui kadar *Apperent Specific Gravity* (Perbandingan berat pasir kering dengan volume pasir).
4. Untuk mengetahui kadar *Absortion* (Besarnya air yang diserap pasir).

B. Alat dan Bahan

1. Alat:

a. <i>Conical Mould</i> dan <i>Temper</i> (pemadat).	d. Pipet.
b. Volumetric flash 500 cc.	e. Oven.
c. Timbangan/ neraca <i>Ghauss</i> .	f. Cawan.
2. Bahan
 - a. Pasir.
 - b. Air bersih.

C. Pelaksanaan Pengujian

1. Menyiapkan pasir kering oven opada suhu 110^0 C selama 24 jam.
2. Menimbang pasir kering oven secukupnya.
3. Memerciki pasir yang telah dioven dengan air lalu diangin-anginkan sampai kering permukaan.
4. Memasukkan pasir dalam *conical mould* sampai $\frac{1}{3}$ tinggi kemudian ditumbuk dengan temper sebanyak 15 kali.
5. Memasukkan pasir lagi ke dalam *conical mould* sampai $\frac{2}{3}$ tinggi kemudian ditumbuk lagi sebanyak 15 kali.

6. Memasukkan pasir lagi hingga penuh dan ditumbuk 15 kali.
7. Mengangkat *conical mould* sehingga pasir akan merosot, bila penurunan pasir mencapai $1/3$ tinggi atau $\pm 2,5$ cm maka pasir tersebut dalam keadaan kering permukaan (SSD).
8. Mengambil pasir kering dalam keadaan SSD sebanyak 500 gram.
9. Memasukkan pasir tersebut dalam *volumetric flash* dan kemudian ditambah air sampai penuh dan didiamkan 24 jam.
10. Setelah 24 jam, *volumetric flash* yang berisi pasir tersebut ditimbang (C).
11. Keluarkan pasir dari *volumetric flash* dan masukkan ke cawan dengan membuang air terlebih dahulu jika di dalam terjadi tersebut masih ada air maka air tersebut dibuang dengan menggunakan pipet.
12. Memasukkan pasir dalam cawan ke dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
13. *Volumetric flash* yang telah kosong dan bersih diisi air sampai penuh dan ditimbang (B).
14. Pasir yang telah dioven didiamkan sampai mencapai suhu kamar kemudian ditimbang (A).

D. Hasil Pengujian

Tabel 12. Hasil Pengujian *Specific Gravity* Agregat Halus

No	Uraian	Berat (gr)
1	Berat pasir kering oven (A)	475,550
2.	<i>Volemetric flas</i> + air (B)	710,600
3.	<i>Volemetric flas</i> + air + pasir (C)	1014,800

E. Analisis data

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Bulk Specific Gravity} &= \frac{A}{B + 500 - C} \\
 &= \frac{475,550}{710,600 + 500 - 1014,800} \\
 &= 2,429 \\
 2. \text{ Bulk Specific Gravity SSD} &= \frac{500}{B + 500 - C}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{500}{710,600 + 500 - 1014,800} = 2,554$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Apparent Specific Gravity} &= \frac{A}{B + A - C} \\ &= \frac{475,550}{710,600 + 475,550 - 1014,800} \\ &= 2,775 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. \text{ Absortion} &= \frac{500 - A}{A} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 475,550}{475,550} \times 100\% \\ &= 5,141 \% \end{aligned}$$

Dimana:

A = Berat kering oven (gram)

B = Berat *Volumetric flash* + air (gram)

C = Berat *Volumetric flash* + air + pasir (gram)

F. Pembahasan

Karakteristik pasir dalam praktek adalah sebagai berikut :

- a. *Bulk specific gravity* pasir = 2,429
- b. *Bulk specific gravity* SSD = 2,554
- c. *Apparent specific gravity* = 2,775
- d. *Absortion* = 1,936 %

Lampiran 4. Pemeriksaan Bahan

PENELITIAN GRADASI PASIR

Tempat : Laboratorium Bahan dan Beton PTB UNS

Tanggal : 08, 09, 10, 11 September 2007

A. Tujuan Pengujian

Untuk mengetahui variasi diameter butiran pasir, prosentase dan modulus kehalusannya.

B. Alat dan Bahan

1. Alat:
 - a. Timbangan/ neraca Ghaus.
 - b. Oven.
 - c. Satu set alat pemeriksa gradasi dengan diameter:
9,5mm – 4,75mm - 2.36mm – 1,18mm – 0,85mm – 0,30mm - 0.15mm
- Pan, cawan dan sikat.
 - d. Mesin penggetar.
2. Bahan: {pasir dalam kondisi kering oven}.

C. Pelaksanaan Pengujian

1. Menyiapkan pasir kering oven pada suhu 110°C selama 24 jam.
2. Menimbang pasir kering oven 3000 gram.
3. Mengambil dan menyusun *sieve* dengan susunan dari bawah ke atas.
4. Meletakkan pasir kering ke *sieve*, kemudian mesin penggetar dihidupkan selama ± 5 menit.
5. Menuangkan sisa butiran yang tertahan pada masing-masing ayakan dan menimbang satu persatu.
6. Mencatat hasilnya untuk setiap ayakan.

D. Hasil Pengujian

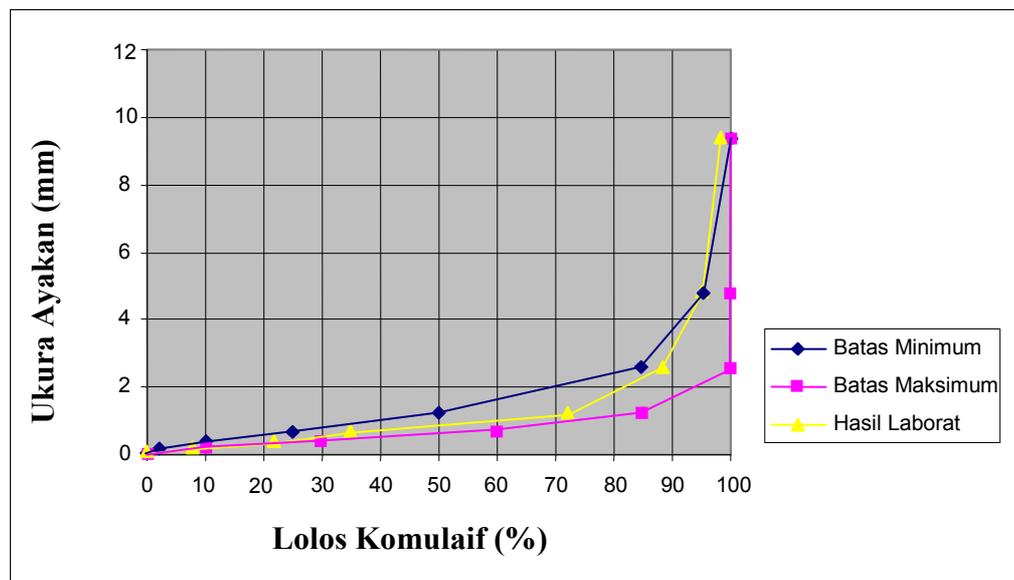
Tabel 13. Tabel Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

No	Diameter ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Kumulatif berat tertinggal (gr)	Berat lolos (%)	ASTM
1	9,50	52,5	1,755	1,755	98,245	100
2	4,75	85,8	2,868	4,623	95,377	95 - 100
3	2,36	186,6	6,238	10,861	89,139	85 - 100
4	1,16	494,3	16,524	27,385	72,615	50 - 85
5	0,85	1112,4	37,187	64,572	35,428	25 - 60
6	0,30	365,7	12,225	76,797	23,203	10 - 30
7	0,15	425,8	14,234	91,031	8,969	2 - 10
8	Pan	268,3	8,969	100,000	0,000	-
JUMLAH		2991,4	100,000	277,024		

(A)

(B)

(C)



Gambar 6. Gradasi Agregat Halus Hasil Penelitian

E. Analisis data

Berat pasir awal = 3000 gr

Berat pasir setelah diayak = 2991,4 gr

Berat yang hilang = Berat awal - Berat setelah pengayakan

= 3000 - 2991,4 = 8,6 gr

$$\begin{aligned} \text{Prosentase Kehilangan Berat} &= \frac{(\text{Berat Awal} - \text{Berat Setelah Diayak})}{\text{Berat Awal}} \times 100\% \\ &= \frac{(3000 - 2991,4)}{3000} \times 100\% = 0,287\% < 1\% \end{aligned}$$

Toleransi kehilangan yang diinginkan < 1% berarti pasir tersebut memenuhi syarat.

F. Pembahasan

$$\text{Modulus Kehalusan} = \frac{C}{B}$$

C = Σ prosentase kumulatif berat pasir yang tertinggal
selain dalam pan

B = Σ prosentase berat pasir yang tertinggal

$$\text{Modulus Kehalusan} = \frac{C}{B} = \frac{277,024}{100,000} = 2,770$$

Lampiran 5. Pemeriksaan Bahan

PENELITIAN BERAT JENIS KERIKIL

Tempat : Laboratorium Bahan Fakultas Teknik UNS

Tanggal : 10, 11, 13 September 2007

A. Tujuan Pengujian

Untuk mengetahui berat jenis kerikil.

B. Alat dan Bahan

1. Alat :
 - a) Timbangan/neraca kapasitas 5 kg ketelitian 100 mg
 - b) Bejana dan *kontainer*
 - c) Tangki air
 - d) Oven
 - e) Saringan / ayakan
 - f) Lap (dari kain)
2. Bahan :
 - a) Agregat kasar
 - b) Air jernih dari laboratorium BKT

C. Pelaksanaan Pengujian

1. Mengambil kerikil (sampel) kemudian dicuci untuk menghilangkan kotoran.
2. Mengeringkan kerikil dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
3. Mendinginkan kerikil setelah dioven hingga mencapai suhu kamar.
4. Menimbang kerikil seberat 3000 gram (kode A).
5. Memasukkan kerikil kedalam kontainer dan direndam selama 24 jam.
6. Setelah 24 jam, kontainer dan kerikil ditimbang dalam keadaan terendam dalam air.
7. Mengangkat kontainer dari dalam air kemudian mengeringkan kerikil dengan dilap.
8. Menimbang kerikil dalam kondisi SSD (kode B).

9. Menimbang kontainer.
10. Menghitung kerikil dalam air dengan cara mengurangkan hasil penimbangan dengan berat kontainer.

D. Hasil Pengujian

1. Berat kerikil kering (a) = 3000 gram
2. Berat kerikil SSD (b) = 3096 gram
3. Berat kerikil + air (c) = 1860 gram

Tabel 14. Hasil Pengujian *Specific Gravity* Agregat Kasar

No	Uraian	Berat (gr)
1	Berat kerikil kering (a)	3000
2.	Berat kerikil SSD (b)	3096
3.	Berat kerikil + air (c)	1860

E. Analisis data

1. *Bulk Specific Gravity* = $\frac{a}{b-c} = \frac{3000}{3096-1860} = 2,427$
2. *Bulk Specific Gravity SSD* = $\frac{b}{b-c} = \frac{3096}{3096-1860} = 2,505$
3. *Apparent Specific Gravity* = $\frac{a}{a-c} = \frac{3000}{3000-1860} = 2,632$
4. *Absorbtion* = $\frac{b-a}{a} \times 100\% = \frac{3096-3000}{3000} \times 100\% = 3,200\%$

F. Pembahasan

Dari hasil penelitian dan analisa data maka diperoleh harga-harga:

1. *Bulk Specific Gravity* = 2,427
2. *Bulk Specific Gravity SSD* = 2,505
3. *Apparent Specific Gravity* = 2,632
4. *Absorbtion* = 3,200 %

Didapat nilai berat jenis agregat kasar sebesar 2,505 gr/cm³.

Lampiran 6. Pemeriksaan Bahan

PENELITIAN ABRASI KERIKIL

Tempat : Laboratorium Bahan Fakultas Teknik UNS

Tanggal : 10, 11, 13 September 2007

A. Tujuan

Mengetahui tingkat keausan karena gesekan atau perputaran yang terdeteksi dengan prosentase.

B. Alat dan Bahan

1. Alat :
 - a. Saringan (Apreture 12,5 mm ; 9,5 mm ; 4,75 mm ; 2 mm)
 - b. Abrasi test set (mesin pemutar los angelos)
2. Bahan :
 - a. Agregat kasar yang lolos saringan 12,5 mm dan tertampung saringan 9,5 mm sebanyak 2,5 kg
 - b. Agregat kasar yang lolos saringan 9,5 mm dan tertampung saringan 4,75 mm sebanyak 2,5 kg

C. Pelaksanaan Pengujian

1. Mencuci agregat kasar sampai bersih kemudian mengeringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
2. Mengayak agregat kasar menggunakan saringan Ø 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm dan menimbang masing-masing 2500 gram untuk agregat yang tertahan ayakan ukuran 12,5 mm dan ukuran 9,5 mm.
3. Memasukkan hasil ayakan ke dalam mesin Los Angelos dan diputar sebanyak 500 kali yang didalamnya terdapat 11 bola baja.
4. Setelah diputar, menimbang hasil pemutaran yang tertahan pada ayakan 2 mm.
5. Akan didapatkan nilai abrasi.

D. Hasil Pengujian

Tabel 15. Data Awal Pengujian Abrasi Agregat Kasar

No	Lolos ϕ (mm)	Tertahan ϕ (mm)	Berat (gr)	Kelas	Jumlah bola
1	9,5	4,75	2500	B	11 bola baja 500X putaran
2	12,5	9,5	2500		

1. Berat Agregat kasar mula-mula (a) = 5000 gram
2. Berat Agregat kasar setelah diuji (b) = 2935 gram

E. Analisa data

$$\begin{aligned}
 \text{Keausan agregat kasar} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\
 &= \frac{5000 - 2935}{5000} \times 100\% \\
 &= 41,3 \%
 \end{aligned}$$

F. Pembahasan

Dari hasil penelitian dan analisa data maka diperoleh harga-harga:

Keausan agregat kasar = 41,3 %

Lampiran 7. *MIX DESIGN*

A. Perhitungan Kebutuhan Bahan

Dalam penelitian ini, rencana campuran beton menggunakan metode DOE (*"Departement of Environment"*) yang dimuat dalam SK.SNI T-15-1990-03 dengan judul "Tata Cara Pencampuran Beton Normal".

1. Data-data Bahan Beton

Data-data bahan beton diperoleh dari hasil pengujian dilaboraturium terhadap bahan-bahan penyusun beton

a. Semen Portland (PC)

Semen portland yang digunakan adalah semen jenis I, yaitu semen yang biasa dipakai pada bangunan. Mutu semen pada umumnya telah memenuhi standar pabrikasi sehingga tidak perlu lagi dilakukan pengujian dilaboraturium.

b. Agregat Halus (Pasir)

Pasir yang digunakan adalah pasir kaliworo. Dari hasil pengujian dilaboraturium diperoleh data, berat jenis jenuh kering muka (SSD)

c. Agregat Kasar (Kerikil)

Kerikil yang digunakan adalah batu pecah dari daerah Karanganyar. Dari hasil pengujian dilaboraturium diperoleh data, berat jenis jenuh kering muka (SSD)

2. Langkah – langkah Perencanaan

Langkah-langkah perencanaan campuran adukan beton beserta penjelasannya dapat diuraikan sebagai berikut :

a. Deviasi standar (S)

Dalam perencanaan ini, pelaksana tidak memiliki data pelaksanaan sebelumnya dan dianggap belum berpengalaman sehingga tingkat pengendalian mutu pekerjaan dikategorikan jelek, maka besarnya nilai standar deviasi 7 Mpa.

Tabel 16. Nilai deviasi standar untuk berbagai tingkat pengendalian mutu pekerjaan

Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	Nilai Standar Deviasi (MPa)
Memuaskan	2,8
Sangat baik	3,5
Baik	4,2
Cukup	5,6
Jelek	7,0
Tanpa kendali	8,4

b. Nilai Tambah (Margin)

Nilai tambah dihitung berdasarkan nilai deviasi standar, maka dilakukan dengan rumus berikut:

$$M = k \cdot S$$

$$M = 1,64 \cdot 7,0$$

$$= 11,48 \text{ MPa}$$

Dengan: M = nilai tambah (MPa)

$$k = 1,64$$

S = standar deviasi (MPa)

c. Kuat Beton yang ditetapkan / disyaratkan (f_c')

Kuat beton yang disyaratkan dalam penelitian ini adalah 17,5 Mpa pada umur 28 hari

d. Kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f_{cr}')

Dengan rumus :

$$\begin{aligned} f_{cr}' &= f_c' + m \\ &= 17,5 + 11,48 \\ &= 28,98 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dengan :

f_{cr}' = kuat tekan rata-rata (MPa).

f_c' = kuat tekan yang disyaratkan (MPa).

m = nilai tambah margin (MPa) .

e. Penetapan jenis semen yang digunakan

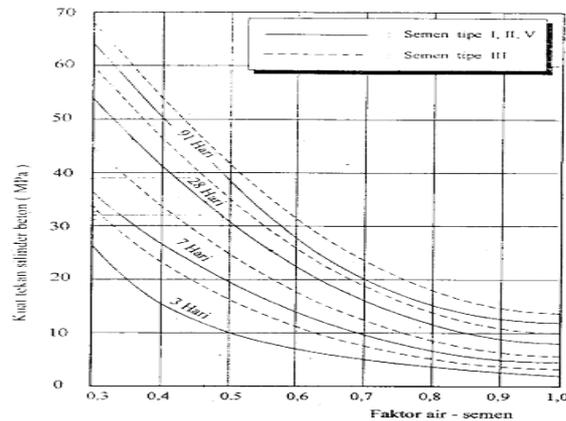
Jenis semen yang digunakan adalah semen biasa (jenis I)

f. Penetapan jenis agregat

Penetapan jenis agregat kasar menggunakan batu pecah dari Karanganyar dan agregat halus yang digunakan adalah agregat alami dari kali Woro.

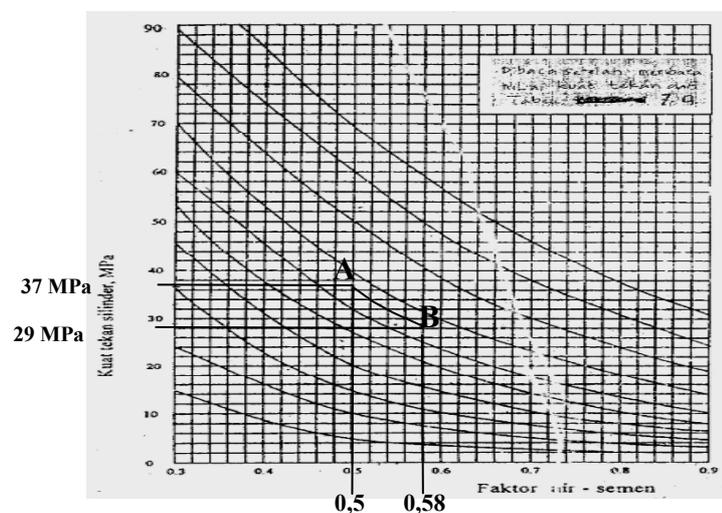
g. Faktor air semen (FAS)

- 1). Karena digunakan semen jenis I dan kuat tekan rata-rata kubus beton direncanakan pada umur 28 hari adalah 29 Mpa, maka akan diperoleh nilai FAS 0,52 (hasil pembacaan grafik Gb.1)



Gambar 7. Grafik Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan Rata-Rata Silinder Beton

- 2). Perkiraan kuat tekan beton dari tabel 36 dengan FAS dasar 0.5 pada umur 28 hari dengan menggunakan semen jenis I dan agregat kasar batu pecah 37 MPa sebagai ordinat maka diperoleh titik A (Gambar 8), dari titik A ditarik garis lengkung ke bawah mengikuti dua lengkung disampingnya dan akan bertemu dengan kuat tekan rata-rata perlu sebesar 29 MPa memotong grafik baru sebagai titik B ditarik garis kebawah vertikal diperoleh nilai FAS 0,58.



Gambar 8. Grafik Kuat Tekan dan Faktor Air Semen 1

3). Perhitungan selanjutnya FAS dari (a) dan (b) dipakai yang terkecil, yaitu: 0,52

h. Penetapan nilai slump

Penetapan nilai slump dapat dilihat pada tabel 2, nilainya antara (7.5 – 15 cm) diambil 12 cm atau 120 mm.

Tabel 17. Penetapan Nilai Slump

Pemakaian Beton	Maks	Min
Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Pondasi telapak tidak bertulang, kaisan dan struktur di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, Balok kolom, dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan massal	7,5	2,5

i. Penetapan besar butir agregat maksimum

Penetapan besar butir agregat maksimum pada beton normal ada tiga pilihan yaitu : 10mm, 20mm, 40mm. Pada percobaan ini ditetapkan ukuran buturan maksimum sebesar 20mm.

j. Kebutuhan air yang diperlukan tiap m³ beton

Berdasarkan tabel2, ukuran maksimum 20mm, pasir jenis alami kerikil menggunakan batu pecah dan slump yang diinginkan sebesar 7.5 – 15 cm maka kebutuhan air 225 liter/ m³ beton.

Tabel 18. Perkiraan Kebutuhan Air Per meter Kubik Beton

Besarnya ukuran maks kerikil	Jenis batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	18	205	225
	Batu pecah	180	205	230	25
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Karena digunakan agregat halus dan agregat kasar yang berbeda jenisnya (alami dan batu pecah), maka banyaknya air yang diperlukan ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$A = 0,67W_f + 0,33W_c$$

Dengan:
 A = banyaknya air per meter kubik
 W_f = banyaknya air dari agregat halus
 W_c = banyaknya air dari agregat kasar

$$A = (0,67 \times 195) \text{ liter} + (0,33 \times 225) \text{ liter}$$

$$= 204,9 \text{ liter}$$

Berdasarkan ukuran agregat maksimum 20 mm, jenis pasir alami dan jenis kerikil pecah dan nilai slump yang diinginkan sebesar 7,5 – 15 cm maka dibutuhkan air 205 liter/m³ beton.

k. Berat semen yang diperlukan

Berat semen yang dihitung berdasarkan nilai FAS pada langkah (g) sampai (j) dengan kebutuhan air pada langkah (k) menggunakan rumus

$$W_{\text{smn}} = \frac{W_{\text{air}}}{\text{FAS}} = \frac{205}{0,52} = 394 \text{ kg}$$

l. Penetapan jenis agregat halus

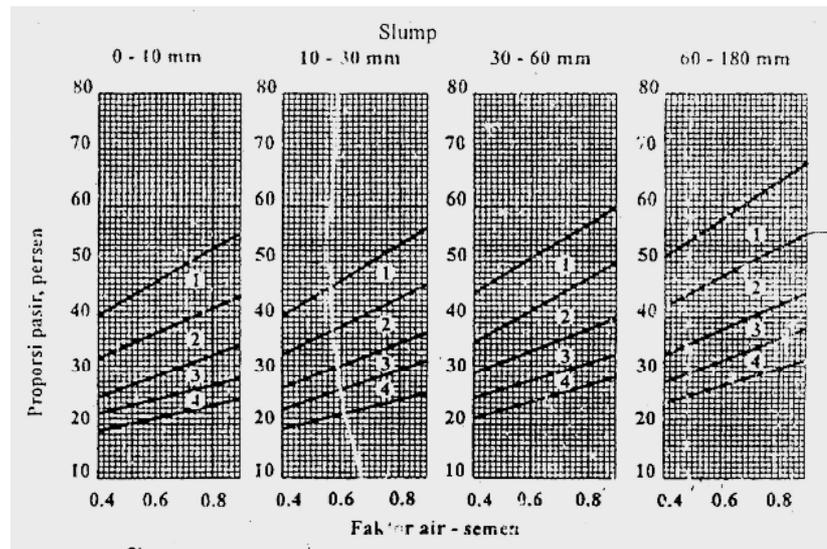
Penetapan agregat halus dapat dilihat gradasi pasir

Daerah 1 (kasar)	Daerah 2 (agak kasar)	Daerah 3 (agak halus)	Daerah 4 (halus)
100	100	100	100
90-100	90-100	90-100	95-100
60-95	75-100	85-100	95-100
30-70	55-90	75-100	90-100
15-34	35-59	60-79	80-100
5-20	8-30	12-40	15-50
0-10	0-10	0-10	0-15

Dari hasil percobaan didapat pasir daerah 2 (agak kasar).

m. Proporsi berat agregat halus terhadap agregat campuran.

Perbandingan berat agregat halus dan agregat kasar dari grafik didapat 40%.



Gambar 9. Grafik Presentase Agregat Halus terhadap Agregat Keseluruhan untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm

n. Berat jenis campuran agregat

Digunakan rumus : $= 0,40 \partial \text{ SSD pasir} + 0,60 \partial \text{ SSD kerikil}$

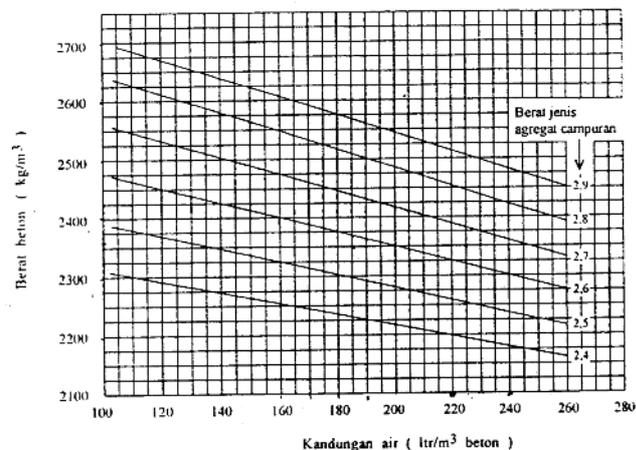
$$= (0,40 \times 2,56) + (0,60 \times 2,51)$$

$$= 2,53 \text{ ton/m}^3$$

o. Perkiraan berat jenis beton

Perkiraan berat jenis agregat beton ada 2 cara: cara gravis dan cara analisis.

Pada percobaan ini menggunakan cara grafis didapat nilai 2300 kg/m^3



Gambar 10. Grafik Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat Campuran, dan Berat Beton

p. Kebutuhan agregat campuran

Kebutuhan agregat campuran dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} W_{\text{agr camp}} &= W_{\text{btn}} - W_{\text{air}} - W_{\text{smn}} \\ &= 2300 - 205 - 394 \\ &= 1701 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} W_{\text{agr camp}} &= \text{berat agregat campuran (kg/m}^3\text{)} \\ W_{\text{btn}} &= \text{berat agregat beton (kg/m}^3\text{)} \\ W_{\text{air}} &= \text{berat air (lt)} \\ W_{\text{smn}} &= \text{berat semen (kg)} \end{aligned}$$

q. Kebutuhan agregat halus

$$\begin{aligned} W_{\text{agr halus}} &= kh \cdot W_{\text{agr camp}} \\ &= 40 \% \cdot 1701 \\ &= 680,4 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} kh &= \text{prosentase berat agregat halus terhadap campuran} \\ W_{\text{agr camp}} &= \text{berat agregat campuran per meter kubik (kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

r. Kebutuhan agregat kasar

$$\begin{aligned} W_{\text{agr kasar}} &= kk \cdot W_{\text{agr camp}} \\ &= 60\% \cdot 1701 \\ &= 1020,6 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} kk &= \text{persentase berat agregat kasar terhadap campuran.} \\ W_{\text{agr camp}} &= \text{berat agregat campuran per meter kubik (kg/m}^3\text{)}. \end{aligned}$$

Tabel 19. Hasil Perhitungan Kebutuhan Bahan

No	Uraian	Jumlah	Satuan
1	<i>Deviasi Standart (s)</i>	0	MPa
2	Nilai tambah (m)	7	MPa
3	Kuat tekan beton yang disyaratkan pada umur 14 hari (f_c')	17,5	MPa
4	Kuat tekan rata-rata yang direncanakan ($f_{cr}' = f_c' + m$)	28,98	MPa
5	Jenis semen (Biasa)	I	
6	Jenis Agregat		
	Jenis agregat halus (alami)	Alami	
	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
7	Faktor Air Semen	0,52	
8	Nilai slump	12	cm
9	Ukuran maksimum butiran kerikil	20	mm
10	Kebutuhan air per m^3 beton	205	liter
11	Kebutuhan semen <i>portland</i> per meter kubik beton	394	Kg
12	Daerah gradasi agregat halus (1,2,3,4)	2	
13	Persen berat agregat halus terhadap campuran	40	%
14	Berat jenis agregat campuran permeter kubik beton	2,53	Ton/ m^3
15	Perkiraan berat jenis beton permeter kubik beton	2300	Kg/ m^3
16	Kebutuhan agregat permeter kubik beton	1730,3	Kg/ m^3
17	Kebutuhan agregat halus permeter kubik beton	605,6	Kg/ m^3
18	Kebutuhan agregat kasar permeter kubik beton	1124,7	Kg/ m^3

Total Kebutuhan Bahan

Volume	Berat total (Kg)	Air (Liter)	Semen (Kg)	Ag. Halus (Kg)	Ag. Kasar (Kg)
1 m^3	2300	205	394	680,4	1020,6
1 adukan (5 benda uji)	38,81	3,46	6,65	11,48	17,22
30 benda uji	232,88	20,76	39,89	68,89	103,34

$$\text{Volume kubus} = 0,15 \cdot 0,15 \cdot 0,15 = 0,003375 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume 5 kubus} = 6 \cdot 0,003375 = 0,016875 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume 30 kubus} = 30 \cdot 0,003375 = 0,10125 \text{ m}^3$$

s. Kebutuhan Abu Arang

Kebutuhan abu arang dihitung berdasarkan berat semen yang digunakan dalam campuran.

Tabel 20. Kebutuhan Abu Arang Untuk Kuat Rencana 17,5 MPa

Kebutuhan Bahan Tiap 5 Benda Uji	Prosentase Penambahan Abu Arang						Jumlah
	0%	2%	4%	6%	8%	10%	
Air (liter)	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	3,46	20,76
Semen (kg)	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65	39,89
Pasir (kg)	11,48	11,48	11,48	11,48	11,48	11,48	68,89
Kerikil (kg)	17,22	17,22	17,22	17,22	17,22	17,22	103,34
Abu Arang (kg)	0,00	0,13	0,27	0,40	0,53	0,66	1,99

Lampiran 8. Data Hasil Uji Kuat Tekan

Prosentase Penambahan Abu Arang	No	Berat (g)	Berat Rata-Rata (g)	Beban Maksimal		Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
				(KN)	N			
0%	1	7500	7500	450	450000	22500	16,600	17,670
	2	7500		445	445000	22500	16,416	
	3	7500		500	500000	22500	18,444	
	4	7500		500	500000	22500	18,444	
	5	7500		500	500000	22500	18,444	
2%	1	7500	7560	470	470000	22500	17,338	17,891
	2	7500		460	460000	22500	16,969	
	3	7500		480	480000	22500	17,707	
	4	7800		505	505000	22500	18,629	
	5	7500		510	510000	22500	18,813	
4%	1	7900	7900	495	495000	22500	18,260	18,924
	2	7800		490	490000	22500	18,076	
	3	8000		520	520000	22500	19,182	
	4	8000		530	530000	22500	19,551	
	5	7800		530	530000	22500	19,551	
6%	1	7400	7500	520	520000	22500	19,182	19,256
	2	7500		490	490000	22500	18,076	
	3	7500		540	540000	22500	19,920	
	4	7500		530	530000	22500	19,551	
	5	7600		530	530000	22500	19,551	
8%	1	8000	8000	505	505000	22500	18,629	19,330
	2	8100		520	520000	22500	19,182	
	3	7900		510	510000	22500	18,813	
	4	8000		530	530000	22500	19,551	
	5	8000		555	555000	22500	20,473	
10%	1	7900	7920	495	495000	22500	18,260	18,481
	2	7900		495	495000	22500	18,260	
	3	7900		490	490000	22500	18,076	
	4	7900		505	505000	22500	18,629	
	5	8000		520	520000	22500	19,182	

Lampiran 9

UJI PERSYARATAN ANALISIS

1. UJI NORMALITAS LILIEFORS

Tabel 21. Hasil Uji Normalitas Kuat Tekan Beton

(%) Abu Arang	No sampel	Xi	Xi2	xi- x	(xi-x)2	$S_i = \frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{n - 1}$	$S = \sqrt{S_i}$	$Z_i = \frac{(X_i - \bar{X})}{S}$	FZi = P(Z = Zi)	$S(Z_i) = \frac{n}{\sum n}$	$Lo = F(Z_i) - S(Z_i)$
0	1	16,600	275,560	-1,070	1,144	1,129	1,063	-1,007	0,156	0,200	-0,044
	2	16,416	269,470	-1,254	1,573			-1,180	0,119	0,400	-0,281
	3	18,444	340,198	0,775	0,600			0,729	0,767	0,600	0,167
	4	18,444	340,198	0,775	0,600			0,729	0,767	0,800	-0,033
	5	18,444	340,198	0,775	0,600			0,729	0,767	1,000	-0,233
Jumlah		88,349	1565,623		4,518						
rata-rata		17,670	313,125		0,904						
2	1	17,338	300,599	-0,553	0,306	0,646	0,804	-0,688	0,245	0,200	0,045
	2	16,969	287,943	-0,922	0,850			-1,147	0,123	0,400	-0,277
	3	17,707	313,526	-0,184	0,034			-0,229	0,409	0,600	-0,191
	4	18,629	347,036	0,738	0,544			0,918	0,821	0,800	0,021
	5	18,813	353,942	0,922	0,850			1,147	0,875	1,000	-0,125
Jumlah		89,456	1603,045		2,586						
rata-rata		17,891	320,609		0,517						
4	1	18,260	333,428	-0,664	0,441	0,503	0,710	-0,936	0,174	0,200	-0,026
	2	18,076	326,726	-0,848	0,720			-1,196	0,116	0,400	-0,284
	3	19,182	367,958	0,258	0,067			0,364	0,641	0,600	0,041
	4	19,551	382,246	0,627	0,393			0,884	0,811	0,800	0,011
	5	19,551	382,246	0,627	0,393			0,884	0,811	1,000	-0,189

(%) Abu Arang	No sampel	Xi	Xi2	xi- x	(xi-x)2	$S_i = \frac{\sum(xi - \bar{x})^2}{n - 1}$	$S = \sqrt{S_i}$	$Z_i = \frac{(Xi - \bar{X})}{S}$	FZi = P(Z = Zi)	$S(Z_i) = \frac{n}{\sum n}$	$Lo = F(Z_i) - S(Z_i)$
6	1	19,182	367,958	-0,074	0,005	0,503	0,710	-0,104	0,460	0,200	0,260
	2	18,076	326,726	-1,180	1,393			-1,664	0,049	0,400	-0,352
	3	19,920	396,806	0,664	0,441			0,936	0,826	0,600	0,226
	4	19,551	382,246	0,295	0,087			0,416	0,663	0,800	-0,137
	5	19,551	382,246	0,295	0,087			0,416	0,663	1,000	-0,337
Jumlah	15	96,280	1855,982		2,014						
rata-rata	3	19,256	371,196		0,403						
8	1	18,629	347,036	-0,701	0,491	0,534	0,731	-0,959	0,169	0,200	-0,032
	2	19,182	367,958	-0,148	0,022			-0,202	0,421	0,400	0,021
	3	18,813	353,942	-0,516	0,267			-0,707	0,239	0,600	-0,361
	4	19,551	382,246	0,221	0,049			0,303	0,618	0,800	-0,182
	5	20,473	419,157	1,144	1,308			1,565	0,941	1,000	-0,059
Jumlah	15	96,649	1870,338		2,136						
rata-rata	3	19,330	374,068		0,427						
10	1	18,260	333,428	-0,221	0,049	0,194	0,440	-0,503	0,309	0,200	0,109
	2	18,260	333,428	-0,221	0,049			-0,503	0,309	0,400	-0,092
	3	18,076	326,726	-0,406	0,165			-0,921	0,179	0,600	-0,421
	4	18,629	347,036	0,148	0,022			0,335	0,633	0,800	-0,167
	5	19,182	367,958	0,701	0,491			1,592	0,944	1,000	-0,056
Jumlah	15	92,407	1708,574		0,776						
rata-rata	3	18,481	341,715		0,155						

Keterangan :

Xi = Kuat tekan beton

Si = Simpangan baku

Zi = Skor standar

F_(Zi) = Peluang

S = Proporsi

F_(Zi) - S_(Zi) = L_{hitung} (Liliefors)

Kesimpulan:

Berdasarkan hasil perhitungan uji normalitas untuk kuat tekan beton diperoleh L_o terbesar dari tiap-tiap kelompok data (varian) data sebagai berikut:

- Penambahan dengan 0% abu arang $L_o = 0,167$
- Penambahan dengan 2% abu arang $L_o = 0,045$
- Penambahan dengan 4% abu arang $L_o = 0,041$
- Penambahan dengan 6% abu arang $L_o = 0,226$
- Penambahan dengan 8% abu arang $L_o = 0,021$
- Penambahan dengan 10% abu arang $L_o = 0,109$

Dengan $n = 5$ dan taraf nyata (α) = 0,05 dari tabel didapat $L_{tabel} = 0,337 > L_o$ sehingga data tersebut berdistribusi normal.

2. UJI HOMOGENITAS

Tabel 22. Hasil Uji Homogenitas Kuat Tekan Beton

% Abu Arang	dk=(n-1)	Si	Si ²	Log Si ²	dk.Log Si ²	dk.Si ²
0	4	1,1295	1,2757	0,1057	0,4230	5,1027
2	4	0,6464	0,4178	-0,3790	-1,5161	1,6712
4	4	0,5035	0,2535	-0,5960	-2,3841	1,0140
6	4	0,5035	0,2535	-0,5960	-2,3841	1,0140
8	4	0,5341	0,2853	-0,5447	-2,1790	1,1411
10	4	0,1939	0,0376	-1,4248	-5,6992	0,1504
Jumlah	24	3,5108	2,5234	-3,4348	-13,7394	10,0934

Penambahan abu arang sebesar 0% :

$$S_i = \frac{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}{N(N-1)} = \frac{5(1565,623) - (88,349)^2}{5(5-1)} = 1,1295$$

Penambahan abu arang sebesar 2% :

$$S_i = \frac{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}{N(N-1)} = \frac{5(1603,045) - (89,456)^2}{5(5-1)} = 0,6465$$

Penambahan abu arang sebesar 4% :

$$S_i = \frac{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}{N(N-1)} = \frac{5(1792,603) - (94,620)^2}{5(5-1)} = 0,5035$$

Penambahan abu arang sebesar 6% :

$$S_i = \frac{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}{N(N-1)} = \frac{5(1855,982) - (96,280)^2}{5(5-1)} = 0,5035$$

Penambahan abu arang sebesar 8% :

$$S_i = \frac{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}{N(N-1)} = \frac{5(1870,338) - (96,649)^2}{5(5-1)} = 0,5341$$

Penambahan abu arang sebesar 10% :

$$S_i = \frac{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}{N(N-1)} = \frac{5(1708,574) - (92,407)^2}{5(5-1)} = 0,1939$$

$$S^2 = \frac{\sum (dk \cdot S_i^2)}{\sum dk} = \frac{10,0934}{24} = 0,4206$$

$$\text{Log } S^2 = \text{Log } 0,4206 = -0,3762$$

$$B = \text{Log } S^2 \times \sum (n-1) = -0,3762 \times 24 = -9,0281$$

Statistik uji:

$$\begin{aligned} X^2 &= (\ln 10) \times \{B - \sum ((n_1-1) \times \text{Log } S_1^2)\} \\ &= (2,303) \times \{(-9,0281) - (-13,7394)\} \\ &= 2,303 \times (4,711) = 10,8480 \end{aligned}$$

Pada taraf signifikan 0,01 dari tabel distribusi Chi Kuadrat diperoleh $X^2_{\text{tabel}} = 13,300$ sehingga $X^2_{\text{hitung}} < X^2_{\text{tabel}} = 10,848 < 13,300$.

Data hasil penelitian tersebut dapat dinyatakan bahwa sampel adalah homogen.

3. Analisis Koefisien Regresi

a. Perhitungan Persamaan Garis Regresi Linier Kuat Tekan Beton

Nilai konstanta garis regresi linier a dan b dapat dicari dengan metode kuadrat terkecil, sebelum itu terlebih dahulu menentukan nilai Y dan X. untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 23. Analisa Koefisien Garis Regresi Linier Kuat Tekan Beton.

NO	Xi	Yi	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	0	16,600	0,000	0,000	275,560
2	0	16,416	0,000	0,000	269,470
3	0	18,444	0,000	0,000	340,198
4	0	18,444	0,000	0,000	340,198
5	0	18,444	0,000	0,000	340,198
6	2	17,338	34,676	4,000	300,599
7	2	16,969	33,938	4,000	287,943
8	2	17,707	35,413	4,000	313,526
9	2	18,629	37,258	4,000	347,036
10	2	18,813	37,627	4,000	353,942
11	4	18,260	73,040	16,000	333,428
12	4	18,076	72,302	16,000	326,726
13	4	19,182	76,729	16,000	367,958
14	4	19,551	78,204	16,000	382,246
15	4	19,551	78,204	16,000	382,246
16	6	19,182	115,093	36,000	367,958
17	6	18,076	108,453	36,000	326,726
18	6	19,920	119,520	36,000	396,806
19	6	19,551	117,307	36,000	382,246
20	6	19,551	117,307	36,000	382,246
21	8	18,629	149,031	64,000	347,036
22	8	19,182	153,458	64,000	367,958
23	8	18,813	150,507	64,000	353,942
24	8	19,551	156,409	64,000	382,246
25	8	20,473	163,787	64,000	419,157
26	10	18,260	182,600	100,000	333,428
27	10	18,260	182,600	100,000	333,428
28	10	18,076	180,756	100,000	326,726
29	10	18,629	186,289	100,000	347,036
30	10	19,182	191,822	100,000	367,958
Σ	150	557,760	2832,329	1100,000	10396,164

Keterangan :

X_i = Prosentase penambahan abu arang.

Y_i = Kuat tekan beton dengan penambahan abu arang

Data yang dihasilkan

$$\begin{aligned}\Sigma X_i &= 150; & \Sigma Y_i &= 557,760 & \Sigma X_i \cdot Y_i &= 2832,329 \\ \Sigma X_i^2 &= 1100; & \Sigma Y_i^2 &= 10396,164 & k &= 6 \text{ dan } n = 30\end{aligned}$$

Secara umum persamaan regresi linier adalah sebagai berikut:

$$\hat{Y} = a + bx \dots\dots\dots \text{Sudjana, (2002: 315)}$$

Koefisien-koefisien regresi a dan b untuk regresi linier, ternyata dapat dihitung dengan rumus. Dari persamaan (1) dan (2) dapat dicari persamaan untuk harga a dan b, yaitu sebagai berikut:

$$a = \frac{(\Sigma Y_i)(\Sigma X_i^2) - (\Sigma X_i)(\Sigma X_i Y_i)}{n \Sigma X_i^2 - (\Sigma X_i)^2} \dots\dots\dots \text{Sudjana, (2002: 315)}$$

$$b = \frac{n \Sigma X_i Y_i - (\Sigma X_i)(\Sigma Y_i)}{n \Sigma X_i^2 - (\Sigma X_i)^2} \dots\dots\dots \text{Sudjana, (2002: 315)}$$

Maka nilai a dan b adalah:

$$\begin{aligned}a &= \frac{(\Sigma Y_i)(\Sigma X_i^2) - (\Sigma X_i)(\Sigma X_i Y_i)}{n \Sigma X_i^2 - (\Sigma X_i)^2} \\ &= \frac{(557,70 * 1100) - (150 * 2832,329)}{(30 * 1100) - (150)^2} \\ &= 17,970\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b &= \frac{n \Sigma X_i Y_i - (\Sigma X_i)(\Sigma Y_i)}{n \Sigma X_i^2 - (\Sigma X_i)^2} \\ &= \frac{30 * 2832,329 - (150) * (557,70)}{30 * 1100 - (150)^2} \\ &= 0,124\end{aligned}$$

Maka persamaan garis regresi kurva linier adalah:

$$\hat{Y} = a + bX$$

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$$

Dengan menggunakan rumus persamaan garis regresi tersebut, maka dapat diketahui variabel terikat kuat tekan beton dengan penambahan abu arang (Y) apabila kita masukkan harga X (kadar abu arang).

Penambahan abu arang 0 % :

X = 0 % maka:

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$$

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124 * 0$$

$$\hat{Y} = 17,970$$

Penambahan abu arang 2 % :

X = 2 % maka:

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$$

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124 * 2$$

$$\hat{Y} = 18,219$$

Penambahan abu arang 4 % :

X = 4 maka:

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$$

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124 * 4$$

$$\hat{Y} = 18,468$$

Penambahan abu arang 6 % :

X = 6 maka:

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$$

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124 * 6$$

$$\hat{Y} = 18,716$$

Penambahan abu arang 8 % :

X = 8 maka:

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$$

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124 * 8$$

$$\hat{Y} = 18,965$$

Penambahan abu arang 10 % :

$X = 10$ maka:

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$$

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124 * 10$$

$$\hat{Y} = 19,214$$

Dari perhitungan di atas dapat dijelaskan bahwa:

- Dengan harga $\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$ maka dapat dinyatakan bahwa untuk penambahan abu arang 0% akan didapat kuat tekan beton rata-rata 17,970 MPa.
- Dengan harga $\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$ maka dapat dinyatakan bahwa untuk penambahan abu arang 2% akan didapat kuat tekan beton rata-rata 18,219 MPa.
- Dengan harga $\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$ maka dapat dinyatakan bahwa untuk penambahan abu arang 4% akan didapat kuat tekan beton rata-rata 18,468 MPa.
- Dengan harga $\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$ maka dapat dinyatakan bahwa untuk penambahan abu arang 6% akan didapat kuat tekan beton rata-rata 18,716 MPa.
- Dengan harga $\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$ maka dapat dinyatakan bahwa untuk penambahan abu arang 8% akan didapat kuat tekan beton rata-rata 18,965 MPa.
- Dengan harga $\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$ maka dapat dinyatakan bahwa untuk penambahan abu arang 10% akan didapat kuat tekan beton rata-rata 19,214 MPa.

4. Uji Linieritas

Perhitungan Uji Linieritas Kuat Tekan Beton

NO	Xi	Yi	Xi.Yi	Xi ²	Yi ²
1	0	16,600	0,000	0,000	275,560
2	0	16,416	0,000	0,000	269,470
3	0	18,444	0,000	0,000	340,198
4	0	18,444	0,000	0,000	340,198
5	0	18,444	0,000	0,000	340,198
6	2	17,338	34,676	4,000	300,599
7	2	16,969	33,938	4,000	287,943
8	2	17,707	35,413	4,000	313,526
9	2	18,629	37,258	4,000	347,036
10	2	18,813	37,627	4,000	353,942
11	4	18,260	73,040	16,000	333,428
12	4	18,076	72,302	16,000	326,726
13	4	19,182	76,729	16,000	367,958
14	4	19,551	78,204	16,000	382,246
15	4	19,551	78,204	16,000	382,246
16	6	19,182	115,093	36,000	367,958
17	6	18,076	108,453	36,000	326,726
18	6	19,920	119,520	36,000	396,806
19	6	19,551	117,307	36,000	382,246
20	6	19,551	117,307	36,000	382,246
21	8	18,629	149,031	64,000	347,036
22	8	19,182	153,458	64,000	367,958
23	8	18,813	150,507	64,000	353,942
24	8	19,551	156,409	64,000	382,246
25	8	20,473	163,787	64,000	419,157
26	10	18,260	182,600	100,000	333,428
27	10	18,260	182,600	100,000	333,428
28	10	18,076	180,756	100,000	326,726
29	10	18,629	186,289	100,000	347,036
30	10	19,182	191,822	100,000	367,958
Σ	150	557,760	2832,329	1100,000	10396,164

Keterangan :

Xi = Prosentase penambahan abu arang.

Yi = Kuat tekan beton dengan penambahan abu arang

Σ Xi = 150; Σ Yi = 557,760 Σ Xi.Yi = 2832,329

Σ Xi² = 1100; Σ Yi² = 10396,164 k = 6 dan n = 30

Regresi Y atas X mempunyai persamaan:

$$\hat{Y} = 17,970 + 0,124X$$

Untuk uji kelinieran regresi, kita perlukan:

$$JK = \frac{(\sum Y_i)^2}{n} = \frac{(557,760)^2}{30} = 10369,874$$

$$JK (b/a) = b \left(\sum X_i \cdot Y_i - \frac{(\sum X_i)(\sum Y_i)}{n} \right)$$

$$= 0,124 * \left(2832,329 - \frac{150 * 557,760}{30} \right) = 5,414$$

$$JK_{res} = \sum Y_i^2 - JK(b/a) - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} = 10396,164 - 5,414 - \frac{557,760^2}{30} = 20,877$$

Untuk mendapatkan JK(E), kita gunakan rumus

$$JK_{(E)} = \sum_x \left(\sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n_i} \right)$$

$$= 26,290$$

$$JK_{(TC)} = JK_{res} - JK_{(E)} = 20,877 - 26,290 = -5,414$$

Jika hasil-hasil perhitungan di atas disusun dalam daftar analisis varian diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 24. Uji Kelinieran Regresi Kuat Tekan Beton

Sumber Variasi	Dk	JK	KT	F
Total	30	10.396,200	-	-
Regresi (a)	1	10.369,874	24403,27	
Regresi (b/a)	1	5,414	5,414	7,261
Residu	30 - 2 = 28	20,877	0,745	
Tuna Cocok	6 - 2 = 4	-5,414	-1,353	
Kekeliruan	30 - 6 = 24	26,290	1,095	-1,236

Dengan menggunakan $\alpha = 0,05$ dan dk pembilang = 4 sedangkan dk penyebut = 24, didapat harga $F_{(4;24;0,05)} = 2,78$, untuk uji kelinieran diperoleh harga $F = -1,236$ sehingga $F_{hitung} < F_{tabel} = -1,236 < 2,78$ maka model regresi linier diterima dan merupakan regresi linier.

Lampiran 10. Uji Hipotesis

UJI HIPOTESIS

A. Uji Hipotesis Pertama

1. Perhitungan Persamaan Garis Regresi

Tabel 25. Perhitungan Persamaan Garis Regresi Kuat Tekan Beton

NO	X	X ²	X ³	X ⁴	Y	X.Y	X ² Y
1	0	0	0	0	16,600	0,000	0,000
2	0	0	0	0	16,416	0,000	0,000
3	0	0	0	0	18,444	0,000	0,000
4	0	0	0	0	18,444	0,000	0,000
5	0	0	0	0	18,444	0,000	0,000
6	2	4	8	16	17,338	34,676	69,351
7	2	4	8	16	16,969	33,938	67,876
8	2	4	8	16	17,707	35,413	70,827
9	2	4	8	16	18,629	37,258	74,516
10	2	4	8	16	18,813	37,627	75,253
11	4	16	64	256	18,260	73,040	292,160
12	4	16	64	256	18,076	72,302	289,209
13	4	16	64	256	19,182	76,729	306,916
14	4	16	64	256	19,551	78,204	312,818
15	4	16	64	256	19,551	78,204	312,818
16	6	36	216	1296	19,182	115,093	690,560
17	6	36	216	1296	18,076	108,453	650,720
18	6	36	216	1296	19,920	119,520	717,120
19	6	36	216	1296	19,551	117,307	703,840
20	6	36	216	1296	19,551	117,307	703,840
21	8	64	512	4096	18,629	149,031	1192,249
22	8	64	512	4096	19,182	153,458	1227,662
23	8	64	512	4096	18,813	150,507	1204,053
24	8	64	512	4096	19,551	156,409	1251,271
25	8	64	512	4096	20,473	163,787	1310,293
26	10	100	1000	10000	18,260	182,600	1826,000
27	10	100	1000	10000	18,260	182,600	1826,000
28	10	100	1000	10000	18,076	180,756	1807,556
29	10	100	1000	10000	18,629	186,289	1862,889
30	10	100	1000	10000	19,182	191,822	1918,222
Σ	150	1100	9000	78320	557,760	2832,329	20764,018

a. Perhitungan koefisien a, b, dan c persamaan umum garis regresi:

$$\begin{array}{rclclclcl} 30 & A & + & 150 & b & + & 1100 & C & = & 557,760 \\ 150 & A & + & 1100 & b & + & 9000 & C & = & 2832,329 \\ 1100 & A & + & 9000 & b & + & 78320 & C & = & 20764,018 \end{array}$$

Persamaan (1) dieliminasi ke persamaan (2)

$$\begin{array}{rclclclcl} 30 & A & + & 150 & b & + & 1100 & C & = & 557,760 & \times & 5 \\ 150 & A & + & 1100 & b & + & 9000 & C & = & 2832,329 & \times & 1 \\ 150 & A & + & 750 & b & + & 5500 & C & = & 2788,800 & & \\ 150 & A & + & 1100 & b & + & 9000 & C & = & 2832,329 & - & \\ \hline & & & -350 & b & + & -3500 & C & = & -43,529 & & \end{array}$$

Persamaan (1) dieliminasi ke persamaan (3)

$$\begin{array}{rclclclcl} 30 & A & + & 150 & b & + & 1100 & C & = & 557,760 & \times & 36,667 \\ 1100 & A & + & 9000 & b & + & 78320 & C & = & 20764,018 & \times & 1 \\ 1100 & A & + & 5500 & b & + & 40333,333 & C & = & 20451,200 & & \\ 1100 & A & + & 9000 & b & + & 78320 & C & = & 20764,018 & - & \\ \hline & & & -3500 & b & + & -37986,667 & C & = & -312,818 & & \end{array}$$

Persamaan (4) dieliminasi ke persamaan (5)

$$\begin{array}{rclclclcl} -350 & b & + & -3500,000 & C & = & -43,529 & \times & 10 \\ -3500 & b & + & -37986,667 & C & = & -312,818 & \times & 1 \\ -3500 & b & + & -35000,000 & C & = & -435,29 & & \\ -3500 & b & + & -37986,667 & C & = & -312,82 & - & \\ \hline & & & 2986,667 & C & = & -122,47 & & \\ & & & & & & & & & & & \mathbf{C} = \mathbf{-0,0410} \end{array}$$

Untuk mendapatkan nilai b harga c dimasukkan ke persamaan 4

$$\begin{array}{rclclclcl} -350 & b & + & -3500,000 & C & = & -43,529 \\ -350 & b & + & -3500,000 & \times -0,041 & = & -43,529 \\ -350 & b & + & -3500,000 & \times -0,041 & = & -43,529 \\ -350 & b & + & 143,521 & & = & -43,529 \\ & & & & & & & & & & \mathbf{B} = \mathbf{0,534} \end{array}$$

untuk mendapatkan nilai a, harga b dan c dimasukkan ke persamaan pertama

$$\begin{array}{rclclclcl} 30 & a & + & 150 & b & + & 1100 & C & = & 557,760 \\ 30 & a & + & 150 & 0,53 & + & 1100 & \times -0,041 & = & 557,760 \\ 30 & a & + & 80,164 & + & & -45,107 & & = & 557,760 \\ 30 & a & + & & & & 35,058 & & = & 557,760 \\ & & & & & & & & & & \mathbf{a} = \mathbf{17,423} \end{array}$$

Didapat nilai

$$a = 17,423$$

$$b = 0,534$$

$$c = 0,041$$

Jadi persamaan garis regresi kurva linier $Y = a + b.X + c.X^2$ diatas adalah:
 $Y = 17,423 + 0,534X - 0,041X^2$

b. Perhitungan *Standart Error of Estimate* (S_{yx})

Yang dimaksud dengan *standart error of estimate* adalah penyimpangan standart dari harga Y terhadap garis regresinya dan harganya dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n - m}}$$

Harga m tergantung dari bentuk persamaan regresinya. Bila persamaan garis regresinya linier maka $m = 2$ dan bila persamaan garis regresinya non linier dengan bentuk kurva atau parabola maka harga $m = 3$.

Tabel 26. Perhitungan *Standart Error of Estimate* (Syx) Uji Hipotesis Pertama

No	X	Y	X.Y	Y ²	Y Bar	Y- Y Bar	(Y-Y Bar) ²	X ²
1	0	16,600	0,000	275,560	17,670	-1,070	1,144	0
2	0	16,416	0,000	269,470	17,670	-1,254	1,573	0
3	0	18,444	0,000	340,198	17,670	0,775	0,600	0
4	0	18,444	0,000	340,198	17,670	0,775	0,600	0
5	0	18,444	0,000	340,198	17,670	0,775	0,600	0
6	2	17,338	34,676	300,599	17,891	-0,553	0,306	4
7	2	16,969	33,938	287,943	17,891	-0,922	0,850	4
8	2	17,707	35,413	313,526	17,891	-0,184	0,034	4
9	2	18,629	37,258	347,036	17,891	0,738	0,544	4
10	2	18,813	37,627	353,942	17,891	0,922	0,850	4
11	4	18,260	73,040	333,428	18,924	-0,664	0,441	16
12	4	18,076	72,302	326,726	18,924	-0,848	0,720	16
13	4	19,182	76,729	367,958	18,924	0,258	0,067	16
14	4	19,551	78,204	382,246	18,924	0,627	0,393	16
15	4	19,551	78,204	382,246	18,924	0,627	0,393	16
16	6	19,182	115,093	367,958	19,256	-0,074	0,005	36
17	6	18,076	108,453	326,726	19,256	-1,180	1,393	36
18	6	19,920	119,520	396,806	19,256	0,664	0,441	36
19	6	19,551	117,307	382,246	19,256	0,295	0,087	36
20	6	19,551	117,307	382,246	19,256	0,295	0,087	36
21	8	18,629	149,031	347,036	19,330	-0,701	0,491	64
22	8	19,182	153,458	367,958	19,330	-0,148	0,022	64
23	8	18,813	150,507	353,942	19,330	-0,516	0,267	64
24	8	19,551	156,409	382,246	19,330	0,221	0,049	64
25	8	20,473	163,787	419,157	19,330	1,144	1,308	64
26	10	18,260	182,600	333,428	18,481	-0,221	0,049	100
27	10	18,260	182,600	333,428	18,481	-0,221	0,049	100
28	10	18,076	180,756	326,726	18,481	-0,406	0,165	100
29	10	18,629	186,289	347,036	18,481	0,148	0,022	100
30	10	19,182	191,822	367,958	18,481	0,701	0,491	100
Σ	150	557,760	2832,329	10396,164	557,760	0,000	14,043	1100

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n - m}}$$

$$= \sqrt{\frac{14,043}{30 - 3}}$$

$$S_{yx} = 0,722$$

c. Perhitungan *Standart Error of the Regression Coefficient* (Sb)

Yang dimaksud *standart error of the regression coefficient* (Sb) adalah harga penyimpangan standart dari distribusi sampling harga koefisien regresi. Sb dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Sb = \frac{S_{yx}}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2}}$$

$$\text{Dimana } \sum (X - \bar{X})^2 = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}$$

$$S_{yx} = 0,722$$

$$\sum X^2 = 22500$$

$$\sum X = 1100$$

$$n = 30$$

Maka besarnya Sb dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Sb &= \frac{S_{yx}}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2}} = \frac{0,722}{\sqrt{1100 - \frac{22500}{30}}} \\ &= 0,039 \end{aligned}$$

d. Tes Hipotesis Koefisien Regresi

Dari persamaan garis regresi yang diperoleh pada perhitungan $Y = 17,423 + 0,534X - 0,041X^2$, maka tes hipotesis adalah sebagai berikut:

1) Hipotesis

$H_0 > 2,550$, tidak ada pengaruh variasi penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.

$H_a < 2,550$, ada pengaruh variasi penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari.

2) Tingkat Signifikansi

Dipilih tingkat signifikan $\alpha = 0,01$

3) Kriteria

Karena $n < 30$ maka distribusi sampling mengikuti distribusi t.

H_0 diterima apabila:

$$t_{hit} \geq t_{tab} = t(\alpha, n-2)$$

$$t_{hit} \geq t_{tab} = t(0,01,28) = 2,550$$

Ho ditolak apabila:

$$t_{hit} \leq t_{tab} = t(0,01,28) = 2,550$$

4) Hitungan t_{hit}

$$t_{hit} = \frac{b - \beta}{Sb}$$

$$= \frac{0,534 - 2,550}{0,039} = -91,632$$

5) Kesimpulan

Dari hasil perhitungan diperoleh harga $t_{hit} = -91,632$ dan $t_{(0,01,28)} = 2,550$ berarti $t_{hit} \leq t_{tab}$ dengan demikian dengan demikian Ho ditolak dan Ha diterima. Maka hipotesis yang menyatakan bahwa ada pengaruh variasi penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari diterima.

B. Uji Hipotesis Kedua

Untuk mengetahui variasi optimum penambahan abu arang terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari digunakan persamaan garis regresi. Untuk lebih jelasnya lihat perhitungan persamaan garis regresi di bawah ini :

$Y = 17,423 + 0,534X - 0,041X^2$ didiferensialkan sehingga didapat:

$$\frac{dy}{dx} = 0 \longrightarrow 0 = 0,534 - 2(0,041)X$$

$$0 = 0,534 - 0,082X$$

$$X = \frac{0,534}{0,082} = 6,516 \%$$

Untuk mencari harga Y, maka nilai X didistribusikan ke persamaan garis regresi, yaitu sebagai berikut:

$$Y = 17,423 + 0,534X - 0,041X^2$$

$$Y = 17,423 + 0,534 \cdot 6,526 - 0,041 \cdot (6,516^2)$$

$$Y = 19,165 \text{ MPa}$$

Dari perhitungan di atas dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa prosentase optimum penambahan abu arang sebesar 6,516 % akan dicapai kuat tekan maksimum beton sebesar 19,165 MPa. Untuk tiap M³ beton diperlukan bahan dengan perhitungan sebagai berikut.

Tabel 27. Kebutuhan Bahan untuk Memperoleh Kuat Tekan Beton Maksimum

No	Bahan	Prosentase Optimum (6,516 %)	Satuan
1	Semen/ PC	394,000	kg
2	Agregat Kasar	1020,600	kg
3	Agregat Halus	680,400	kg
4	Abu Arang	25,675	kg
5	Air	205,00	liter

