



TUGAS AKHIR

Analisa Kuat Tekan Beton Ramah Lingkungan dengan Substitusi Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar dan Penambahan Abu Pelepah Pisang

Oleh :

Galang Alifa Ramaditya (40030521655033)

Habbatul Fitri Amalia (40030521655049)

Disusun Sebagai :

Salah satu syarat syarat dalam menyelesaikan studi pada Program Studi Sarjana Terapan
Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL DAN PERANCANGAN ARSITEKTUR
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
2022**

ABSTRAK

Perkembangan pembangunan infrastruktur Indonesia yang semakin meningkat selalu ada terobosan baru dalam penggunaan material beton. Penggunaan material pada beton kerap kali terjadi kendala dalam pengadaan materialnya, tak jarang pula terjadi kerusakan terhadap lingkungan akibat penambangan guna mendapatkan material dalam pembuatan beton. Pemanfaatan limbah sebagai campuran beton ramah lingkungan menjadi solusi untuk mengurangi penggunaan material beton. Penelitian ini menggunakan limbah beton dan limbah pelepah pisang untuk meningkatkan mutu beton. Limbah beton yang berasal dari bekas uji kuat tekan dengan mutu f_c' 25MPa dan dihancurkan sampai setara gradasi agregat jenis B akan digunakan sebagai substitusi agregat kasar sebanyak 25%, 50% dan 75%. Limbah pelepah pisang yang didapat dari limbah bungkus tembakau dibakar hingga menjadi abu mengandung selulosa dan 52,72% silica (SiO_2) digunakan sebagai penambahan beton sebanyak 5%, 10%, dan 15%. Dengan menggunakan metode eksperimental, hasil dari inovasi campuran beton akan di bandingkan dengan beton normal. Benda uji penelitian ini menggunakan kubus berukuran (15×15×15) cm sebanyak 3 buah dan pengujian dilakukan pada umur beton 7 hari. Kuat tekan dari pengujian laboratorium, mendapatkan hasil tertinggi pada umur 28 hari yang telah dikonversi dengan substitusi limbah beton 25% + penambahan abu pelepah pisang 5% yakni 8% dari beton normal dengan kuat tekan sebesar 255,173 kg/cm². Penurunan kuat tekan beton terjadi pada substitusi limbah beton 50% + penambahan abu pelepah pisang 10% sebesar 17% dan pada substitusi limbah beton 75% + penambahan abu pelepah pisang 15% sebesar 46%. Dalam produksinya beton B lebih hemat biaya sebesar Rp. 66.484,50 per m³ dibanding beton normal.

Kata kunci : beton ramah lingkungan, abu pelepah pisang, limbah beton, kuat tekan

ABSTRACT

The development of infrastructure establishment in Indonesia is increasing, there are always new breakthroughs in the use of concrete materials. There are frequent constraints in the use of materials in conventional concrete regarding the procurement of the materials, there are also frequent damages to the environment due to mining in order to obtain materials in the manufacture of concrete. Utilization of waste as an eco friendly mixture is a solution to reduce the use of conventional concrete materials. This research uses concrete waste and banana stem waste and concrete waste to improve the quality of concrete. The concrete waste originating from the former compressive strength test with a quality of f_c' 25Mpa and crushed to equivalent gradation of type B aggregate will be used as a substitute for coarse aggregate as much as 25%, 50% and 75%. The banana stem waste obtained from tobacco pack waste which was burned to ash contains cellulose and 52.72% silica (SiO_2) is used as an addition of 5%, 10%, and 15% to the concrete. By using experimental methods, the results of the innovative concrete mixture will be compared with conventional concrete. The test object of this research uses cubes measuring (15×15×15) cm as many as 3 pieces and the test was carried out at the age of 7 days of concrete. Compressive strength from laboratory testing getting the highest results at the age of 28 days was obtained with the addition of 25% coarse aggregate substitution + 5% banana stem ash that was 8% of conventional concrete with the compressive strength of 255,173 kg/cm². The decrease of the compressive strength occurred in the 50% substitution of concrete waste + the addition of 10% banana stem ash that was 17% and in the addition of 75% concrete substitution + the addition of 15% banana stem ash that was 46%. In the production of concrete B, it's more cost-effective by Rp. 66.484,50/m³ compared to normal concrete.

Keywords: *eco concrete, banana stem ash, concrete waste, compressive strength*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT. atas segala berkat dan rahmat-Nya dalam penyusunan tugas akhir, sehingga dapat terselesaikan. Tugas Akhir dengan judul **“ANALISA KUAT TEKAN BETON RAMAH LINGKUNGAN DENGAN SUBSTITUSI LIMBAH BETON SEBAGAI AGREGAT KASAR DAN PENAMBAHAN ABU PELEPAH PISANG”** disusun guna melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya serta kelancaran kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas Akhir ini;
2. Kedua Orang Tua kami yang selalu memberikan motivasi, bimbingan dan doa serta dukungan moril, spiritual;
3. Ibu Asri Nurdiana, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang dan selaku Dosen Wali;
4. Bapak Drs. Hartono, M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir di Program Studi Sarjana Terapan Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro;
5. Semua pihak yang telah membantu sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Penulis menyadari akan ketidaksempurnaan maupun kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi insan teknik sipil khususnya dan semua pihak pada umumnya.

Semarang, 4 Juli 2022

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton	5
2.2 Beton Ramah Lingkungan.....	5
2.3 Agregat	5
2.4 Semen Portland.....	7
2.5 Limbah Beton	8
2.6 Limbah Pelepah Pisang	9

2.7	Abu Pelelah Pisang.....	10
2.8	Pozzolan	11
2.9	Air.....	12
2.10	Penelitian Terdahulu	12
BAB III.....		18
METODE PENELITIAN		18
3.1	Jenis Penelitian	18
3.2	Variabel Penelitian	18
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	19
3.4	Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.5	Rencana Output Penelitian	20
3.6	Instrumen Pelaksanaan	20
3.7	Pemilihan Material	21
3.8	Pengujian Material	22
3.9	Metode Mix Design.....	23
3.10	Metode Pembuatan Beton.....	23
3.11	Metode Pengujian	24
3.12	Perhitungan Kuat Tekan	24
BAB IV.....		26
ANALISA DAN PEMBAHASAN.....		26
4.1	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	26
4.1.1	Bahan Pengikat.....	26
4.1.2	Agregat.....	27
4.1.3	Air	27
4.1.4	Limbah Beton.....	28
4.1.5	Abu Pelelah Pisang	28

4.2	Hasil Pengujian Material	29
4.2.1	Analisa Saringan Agregat Halus	29
4.2.2	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	33
4.2.3	Pengujian Kadar Lumpur Kotoran Organik Agregat Halus	34
4.2.4	Pengujian Kadar Lebih Halus dari 50 Micron Untuk Pasir Adukan dan Pasir Beton (Sistem Cuci)	35
4.2.5	Pengujian Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Los Angeles	36
4.3	Pembuatan Benda Uji	37
4.4	Perawatan Benda Uji (<i>curing</i>)	43
4.5	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	43
4.5.1	Perhitungan Berat Massa Volume Benda Uji	43
4.5.2	Perhitungan Kuat Tekan Beton	47
4.5.3	Analisa Kuat Tekan Karakteristik Beton	49
4.6	Analisa Biaya Produksi Beton	53
BAB V		55
PENUTUP		55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	56
DAFTAR PUSTAKA		xi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Bahan Pengikat	27
Gambar 4.2 Agregat Kasar	27
Gambar 4.3 Agregat Halus	27
Gambar 4.4 Air	28
Gambar 4.5 Limbah Beton	28
Gambar 4.6 Abu Pelelah Pisang	29
Gambar 4.7 Uji Saringan	30
Gambar 4.8 Penentuan Kadar Lumpur Agregat Halus	33
Gambar 4.9 Kadar Lumpur Kotoran Organik Agregat Halus	34
Gambar 4.10 Memasukkan Agregat ke Mesin Los Angeles	36
Gambar 4.11 Timbang Agregat	37
Gambar 4.12 Timbang Semen	38
Gambar 4.13 Timbang Pasir	38
Gambar 4.14 Timbang Split	39
Gambar 4.15 Timbang Limbah Beton	39
Gambar 4.16 Air	40
Gambar 4.17 Concrete Mixer	40
Gambar 4.18 Pengadukan Material dengan Mixer	41
Gambar 4.19 Slump Test	41
Gambar 4.20 Memasukkan Beton ke Cetakan	42
Gambar 4.21 Curing Beton	43
Gambar 4.22 Grafik Rata - Rata Berat Massa Benda Uji	46
Gambar 4.23 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari	51
Gambar 4.24 Grafik Kuat Tekan Karakteristik Beton	52

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Mix Design penelitian untuk setiap 1 kubus beton ukuran	26
Tabel 4.2 Hasil Analisis Saringan Agregat Halus	32
Tabel 4.3 Nilai Slump Beton	42
Tabel 4.4 Berat Massa	46
Tabel 4.5 Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari	49
Tabel 4.6 Faktor Koreksi	50
Tabel 4.7 Kuat Tekan Beton Usia 28 Hari	50
Tabel 4.8 Kuat Tekan Karakteristik Beton.....	52
Tabel 4.9 Tabel Biaya Produksi Beton A (Normal)	53
Tabel 4.10 Tabel Biaya Produksi Beton B (Substitusi Limbah Beton 25% + Penambahan Abu Pelepah Pisang 5%)	53
Tabel 4.11 Tabel Biaya Produksi Beton C (Substitusi Limbah Beton 50% + Penambahan Abu Pelepah Pisang 10%)	54
Tabel 4.12 Tabel Biaya Produksi Beton D (Substitusi Limbah Beton 75% + Penambahan Abu Pelepah Pisang 15%)	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan dunia konstruksi di zaman sekarang sangat maju dengan pesat terutama di Indonesia. Banyaknya proyek-proyek yang muncul demi memenuhi kebutuhan akan sarana prasarana serta infrastruktur memunculkan gagasan bagaimana cara memanfaatkan bahan-bahan lain yang tadinya limbah agar bisa dimanfaatkan kembali sebagai bahan penunjang konstruksi. Beton adalah suatu bahan penunjang konstruksi yang berkembang dari waktu ke waktu. Sering ditemukan kasus kerusakan di berbagai daerah yang disebabkan oleh pengambilan bahan-bahan pembuatan beton secara massif (Soelarso et al., 2016). Hal ini dirasa sesuai dengan perkembangan pembangunan konstruksi di Indonesia yang sangat pesat pada era ini. Pemanfaatan limbah konstruksi di Indonesia belum dimanfaatkan dengan baik. Limbah konstruksi yang jumlahnya banyak dan selalu meningkat dari waktu ke waktu kebanyakan hanya dihamparkan dilahan terbuka dan sebagian digunakan untuk urugan (Soelarso et al., 2016). Banyaknya limbah konstruksi yang dapat mencemari lingkungan memunculkan gagasan bagaimana cara memanfaatkannya. Limbah konstruksi seperti sampah beton mungkin dapat dimanfaatkan lagi agar keberadaannya tidak mencemari lingkungan dan juga dapat menghemat penggunaan material pembuatan beton.

Banyak residu pertanian diproduksi di seluruh dunia dengan perkiraan 1000 juta ton dihasilkan sebagai limbah. Residu tanaman yang menyumbang 80% dari total limbah yang dihasilkan menjadi salah satu contributor utama dalam banyaknya limbah pertanian (Akinyemi & Dai, 2020). Limbah pertanian yang dimaksud adalah seperti limbah pengolahan kayu, tanaman hutan, dan limbah dari bahan pangan seperti tongkol jagung, Jerami, dan pelepah pohon pisang (Akinyemi & Dai, 2020). Diperkirakan lebih dari 10 juta hektar perkebunan pisang ditanam dari 160 negara di dunia yang tentunya menghasilkan ribuan limbah pelepah pisang setelah panen (The World Banana Economy, 1985-2002, n.d.). Limbah tersebut kadang hanya dibiarkan saja dan membusuk sehingga mengeluarkan gas karbon dioksida dan

metana. Tapi seringkali, limbah tersebut dibuang di tempat pembuangan akhir (Akinyemi & Dai, 2020). Limbah-limbah tersebut juga memiliki dampak negatif terhadap lapisan ozon, air bawah tanah, perubahan iklim, dan ekonomi dunia hal tersebut menjadi sorotan para pemerhati lingkungan (Akinyemi et al., 2019).

Dalam upaya pemanfaatan limbah pelepah pisang telah ditemukan upaya dalam pengembangan beton dengan mengaplikasikan pelepah pisang sebagai penguat (Akinyemi & Dai, 2020). Pemanfaatan limbah pelepah pisang yang mengandung zat selulosa dan silica diharapkan dapat sebagai perkuatan dalam campuran beton ramah lingkungan, yang mana juga menggunakan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar. Demi memangkas penggunaan material yang berdampak pada lingkungan dan biaya, diharapkan dengan beton yang terbuat dari material tersebut dapat mendapat hasil kuat tekan yang sama atau lebih besar dari beton normal.

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya ditemukan bahwa zat selulosa pada pelepah pisang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti semen Portland. Namun pada penelitian ini pelepah pisang yang sudah menjadi abu akan di tambahkan ke dalam campuran beton bukan lagi sebagai substitusi pada semen. Pemanfaatan limbah yang tentunya dapat menghemat bahan baku beton normal menjadi pertimbangan dalam penelitian ini. Pemanfaatan ini dirasa perlu disamping mengurangi limbah juga dapat bermanfaat bagi lingkungan agar penambahan material beton dapat berkurang.

Penggunaan limbah beton untuk menjadi agregat kasar tentunya dapat menjadi solusi akan banyaknya limbah beton yang terbengkalai. Akan tetapi penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar memiliki sifat dapat menurunkan kuat tekan beto, perlu adanya solusi untuk mengatasi hal tersebut. Penggunaan abu pelepah pisang yang dapat meingkatkan kuat tekan beton menjadi solusi dalam penelitian ini, didapat peningkatan pada beton dengan tambahan abu pelepah pisang.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Melimpahnya sampah beton yang semakin lama semakin banyak dan dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat.
2. Sifat pelepah pisang yang hanya sekali berbuah lalu mati dan menjadi limbah sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan perkuatan pada beton ramah lingkungan.
3. Penggunaan limbah dalam beton akan mengurangi penggunaan material dan akan mengurangi biaya serta ramah lingkungan.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara memanfaatkan limbah sampah beton agar dapat digunakan kembali?
2. Bagaimana cara untuk memanfaatkan limbah pelepah pisang sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan perkuatan pada beton ramah lingkungan?
3. Bagaimana cara mengurangi biaya produksi beton dengan memertahankan kuat tekannya?

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian dengan komparasi hasil kuat tekan beton normal dengan menggunakan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar serta abu pelepah pisang sebagai penambahan perkuatan pada beton ramah lingkungan.

1.5 Tujuan Penelitian

1. Menganalisa hasil kuat tekan beton dengan menggunakan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar dan penambahan abu pelepah pisang.
2. Menganalisa prosentase abu pelepah pisang yang digunakan agar didapat kuat tekan seperti beton normal.
3. Menganalisa apakah hasil kuat tekan beton memenuhi syarat sebagai beton struktural.

1.6 Manfaat Penelitian

1. Memberi informasi terkait pemanfaatan limbah beton.
2. Memberi informasi terkait pengaruh pelepah pisang sebagai bahan tambahan beton.
3. Memberi informasi beban yang dapat ditahan oleh beton dengan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar dan pelepah pisang sebagai bahan tambahan beton.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan pemaparan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang masalah, identifikasi masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi menguraikan literatur literatur terkait beton, limbah beton asil uji kuat tekan, dan pelepah pisang.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi metode penelitian dari penelitian yang penulis buat.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi analisa dan pembahsan dari penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi daftar literatur yang diperlukan dalam penyusunan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah campuran dari berbagai material seperti semen, pasir, krikil, dan air. Beton terdiri dari berbagai macam material oleh karena itu kualitas beton tergantung juga pada kualitas bahan penyusunnya (Kardiyono Tjokrodimulyo,2007). Syarat pembuatan beton antara lain:

1. Beton segar sebaiknya mudah untuk dikerjakan.
2. Beton yang akan dipakai sebaiknya mampu menahan beban rencana.
3. Beton tersebut dibuat dengan budget serendahnya dan tidak merusak lingkungan.

2.2 Beton Ramah Lingkungan

Menurut The Institution of Structural Engineers/ISE, 1999, pembuatan bahan penyusun beton ramah lingkungan dapat dibuat dengan 3 usaha antara lain :

1. Penggunaan emisi gas rumah kaca (terbesar yaitu CO₂).
2. Efisiensi energi dan materi dasar.
3. Penggunaan material limbah baik yang berasal dari konstruksi atau bukan.

Pada upaya tersebut, dengan pemakaian abu pelepah pisang sebagai bahan tambahan beton, serta dengan pengujian dan penggunaan material limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton. Mengembangkan *mix design* beton dengan penggunaan material ramah lingkungan.

2.3 Agregat

Agregat yaitu suatu gumpalan mineral alam yang memiliki fungsi sebagai isian pada adonan beton. Agregat sebagai pengisi beton ini memiliki volume 60% - 75% dari total volume beton (Zuraidah et al., 2007). Sifat utama yang harus diperhatikan pada agregat adalah ketahanan atau kekekalannya. Ukuran pada agregat ini

tentunya juga harus bervariasi, gradasi yang beragam ini bertujuan untuk membuat masa beton berguna sebagai beton yang rapat, utuh dan homogen.

Pemilihan material Agregat:

a. Gradasi Agregat

Ukuran maksimal untuk agregat yang sering dipakai adalah $\frac{3}{4}$ " – 6" (Zuraidah et al., 2007).

b. Kekakuan Agregat

Kekakuan atau ketahanan agregat sangat berpengaruh untuk kuat tekan beton. Pengujian sampel agregat akan dilakukan untuk mendapat kekuatan agregat yang sesuai standar.

c. Tekstur Permukaan

Butiran tekstur pada agregat berpengaruh terhadap:

1. Penyerapan air.
2. Pelaksanaan pekerjaan.
3. Kelekatan agregat dan bahan pengikat.

Macam – macam agregat:

a. Agregat Halus

Agregat Halus yaitu agregat yang lolos saringan 4,8 mm (Zuraidah et al., 2007). Persyaratan agregat halus dalam SK SNI 03-6821-2002 adalah :

- a. Agregat halus harus berbentuk tajam dan bersifat kekal, dalam artian tidak terpengaruh cuaca.
- b. Kadar lumpur maksimal pada agregat halus adalah 5%.
- c. Agregat halus tidak boleh banyak mengandung maerial organis yang dibuktikan dengan warna dari Abrams-Harder (pengujian dengan larutan NaOH).
- d. Agregat halus harus berasal dari berbagai ukuran degan syarat :
 - Menyisakan 2% dari berat di atas ayakan 4mm.
 - Menyisakan 10% dari bert di atas ayakan 1mm.
 - Menyisakan 80% - 95% dari berat di atas ayakan 0,25mm.

b. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat yang semua butirannya tidak lolos saringan 4,8 mm. Material yang biasa digunakan sebagai agregat kasar adalah kerikil pecahan kerikil, batu pecah, limbah beton dan lain lain.

Syarat Agregat kasar dalam SK SNI T15-1991-03 adalah:

- a. Agregat kasar terdiri dari butiran yang keka dan tidak boleh berpori. Butiran yang pipih dapat digunakan maksimal hanya 20% dari total butiran. Agregat kasar harus kuat dan tidak terpengaruh cuaca.
- b. Maksimal lumpur dari agregat kasar adalah 1%.
- c. Tidak boleh mengandung zat – zat yang dapat merusak beton.
- d. Agregat kasar harus terdiri dari beraneka ukuran butiran dengan harus memenuhi syarat-syarat berikut :
 - Menyisakan 0% berat diatas ayakan 31,5 mm.
 - Menyisakan 90% – 98% diatas ayakan 4 mm.
 - Selisih antara sisa ayakan diatas maksimum 60% dan minimum 10%.

Salah satu pengujian sederhana yaitu dengan mengambil beberapa sample kemudian periksa apakah banyak terdapat pasir halus atau tidak, jika banyak maka agregat kurang baik, namun jika sedikit maka agregat bisa dikatakan baik.

2.4 Semen Portland

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland adalah bahan pengikat hidrolis yang terdiri atas kalsium silikat bersifat hidrolis dan digiling dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain. Di Indonesia syarat mutu yang di pergunakan adalah SII.0013-81, “Mutu dan Cara Uji Semen Portland” yang terdapat pada SNI 03-3449-2004. Mutu yang ditetapkan SII diambil dari syarat mutu ASTM C-50. Pada semen portland yang sering digunakan pada konstruksi, memiliki kandungan dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Unsur Semen Portland

Unsur	Komposisi (%)
Kapur (CaO)	60 - 65
Silika (SiO ₂)	17 - 25
Alumina (Al ₂ O ₃)	3.0 - 8.0
Besi (Fe ₂ O ₃)	0.5 - 6.0
Magnesia (MgO)	0.5 - 4.0
Sulfur (SO ₃)	1.0 - 2.0
Soda/potash (Na ₂ O+K ₂ O)	0.5 - 1.0

(Sumber: Tjokrodinuljo, 2007)

Berdasarkan penggunaannya semen portland dibagi menjadi beberapa jenis yaitu sebagai berikut (SNI-15-2049-2004):

1. Jenis I yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Jenis II yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
3. Jenis III semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
4. Jenis IV yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
5. Jenis V yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan

2.5 Limbah Beton

Limbah beton adalah limbah konstruksi bangunan yang belum dimanfaatkan kembali. Limbah tersebut sebagian besar digunakan untuk material urugan dan ada yang hanya di buang begitu saja di tanah lapang yang terbuka. Dengan begitu dibutuhkan teknologi konstruksi untuk memanfaatkan limbah-limbah beton dan dapat mengurangi eksploitasi alam. Potensi untuk mendaur ulang limbah beton dapat menjadi solusi yang menguntungkan, dimana agregat yang digunakan yaitu memanfaatkan limbah beton yang di buang. Limbah beton yang dimanfaatkan

kembali dapat menambah tingkat umur material yang digunakan yang berasal dari limbah itu sendiri (Soelarso et al., 2016). Dengan demikian penggunaan kembali limbah beton untuk agregat kasar dapat mendukung konsep green concrete yaitu mengurangi, mendaur ulang dan menggunakan kembali. Menurut (Liu et al., 2022) dalam beberapa tahun terakhir tercatat banyaknya jumlah limbah solid bekas bangunan, terdapat 2,4 miliar ton limbah konstruksi di China setiap tahunnya dan hanya 5% yang dapat di recycle, sedangkan di Eropa dan Unites States terdapat masing-masing 930 juta ton dan 534 juta ton (Liu et al., 2022).

Penggunaan limbah beton di sini berdasarkan sifat butiran butiran limbah beton setelah dihancurkan ternyata masih menyisakan bagian yang tingkat kekerasannya memenuhi sebagai pengganti agregat. Perbedaan gradasi limbah beton sebagai substitusi agregat sangat berpengaruh pada kuat tekan beton yang dihasilkan, penggunaan gradasi yang lebih kasar menghasilkan kuat tekan yang lebih besar (Prasetyo, 2018). Dalam penelitiannya Prasetyo menggunakan agregat kasar yang berasal dari limbah beton dengan gradasi 2,54 mm dan 1,54 mm (Prasetyo, 2018). Sebagai syarat untuk agregat kasar sebagai bahan isian beton dengan kuat tekan < 20 MPA adalah nilai keausannya maksimal di angka 50% (SNI-03-2461-2002). Pada penelitian ini menggunakan limbah beton dengan mutu $F_c' 25$ MPa. Penggunaan mutu ini biasanya digunakan untuk beton struktural pada bangunan gedung. Selain itu limbah beton dengan mutu $F_c' 25$ MPa banyak dijumpai dari hasil pengujian kuat tekan beton pada pembangunan gedung yang tengah berlangsung.

2.6 Limbah Pelepah Pisang

Pisang adalah tumbuhan hidup yang biasa ditemukan di daerah tropis, salah satunya yaitu berada di negara Indonesia yang memiliki berbagai macam jenis tanaman pisang. Tanaman pisang sangat di minati oleh masyarakat mulai dari buahnya dan daunnya juga dapat di manfaatkan. Namun, pada bagian tanaman pisang yang belum di manfaatkan dengan baik yaitu bagian batangnya (Hani, 2018).

Serat yang berada dalam batang pisang memiliki sifat mekanik yaitu adanya massa jenis sebesar $1,35 \text{ g/cm}^3$, kandungan lignin 5%, kandungan hemiselulosa 20%, kandungan selulosa 63-64%, pertambahan Panjang 3,36%, memiliki kuat tarik rata-rata 600 MPa, dan modulus tarik rata-rata 17,85 GPa. Jenis serat batang pisang semuanya dapat digunakan untuk bahan tambahan guna memperbaiki atau memperkuat sifat-sifat beton.

Tanaman pisang yang hanya sekali berbuah akan meninggalkan batang yang nantinya akan membusuk dan menjadi sampah. Dengan begitu bagian dalam batang yang bernama pelepah pisang sebelum terjadi pembusukan dapat dimanfaatkan terlebih dahulu sebagai bahan tambah campuran beton.

2.7 Abu Pelepah Pisang

Abu pelepah pisang merupakan suatu abu yang di hasilkan dari pembakaran pelepah pisang yang sudah di keringkan. Pohon pisang yang telah berbuah tidak dapat berbuah kembali dan akan menjadi limbah. Maka dari itu pemanfaatan limbah pelepah pisang ini tentunya perlu dilakukan. Karena lama kelamaan limbah yang menumpuk akan menjadi suatu masalah apabila di biarkan begitu saja dan tidak dimanfaatkan. Pada dasarnya penambahan serat untuk beton tergantung pada penggunaannya, namun yang harus diperhatikan yaitu kuat tarik yang dimiliki serat harus lebih besar dari pada kuat tarik beton (Hani & Tanjung, 2020). Berdasarkan riset dari Balai Riset dan Standarisasi Industri dan Perdagangan abu pelepah pisang mengandung 52,72% SiO_2 , oleh karena itu penggunaan abu pelepah pisang sangat mungkin dipakai sebagai bahan tambahan beton.

Menurut Sakthivel, et al (2019) kandungan kimia yang terdapat pada banana leat ash, ditunjukkan di dalam **Tabel 2.2** berikut :

Tabel 2.2 Komponen Kimia Abu Pelelah Pisang

Komponen	Persen Berat (%)
Silica (SiO ₂)	48.70
Iron Oksida (Fe ₂ O ₃)	1.40
Aluminium Oksida (Al ₂ O ₃)	2.60
Sodium Oksida (Na ₂ O)	0.21
Kalsium Oksida (CaO)	21.30
Magnesium Oksida (MgO)	0.96
Kalium Oksida (K ₂ O)	1.91
Sulfur Dioksida (SO ₂)	1.32
Zinc Oksida (ZnO)	0.82
Loss of Ignition	5.06

(Sumber : Sakthivel, et al, 2019)

Pembuatan Abu Pelelah Pisang:

1. Batang pisang dari pohon pisang yang telah berbuah dipilah pilah bagian pelapah nya.
2. Pengeringan pelelah pisang dilakukan dengan penjemuran dibawah sinar matahari selama 7 hari – 14 hari.
3. Setelah pelelah pisang kering dilakukan pembakaran dengan memasukan pelelah pisang kering kedalam drum dan diakar sampai pelelah pisang menjadi abu.
4. Setelah Pelapah pisang menjadi abu didiamkan pada wadah tahan panas selama minimal 6 jam agar abu yang dihasilkan berkualitas baik.

2.8 Pozzolan

Pozzolan merupakan suatu bahan tambahan beton yang didapat dari bahan alam dan batuan, kandungan material yang dipakai sebagai pozzolan adalah material yang mengandung SiO₂ (Purwanto et al., 2022). Salah satu alternatif dalam membuat beton lebih kedap terhadap air serta memperkuatnya adalah dengan penambahan pozzolan.

Menurut SK SNI S-18-1990 bahan tambahan beton yaitu suatu bahan yang berupa bubuk atau cairan yang ditambahkan pada adonan beton yang berfungsi

untuk merubah sifat serta karkteristik beton (Maricar et al, 2013 dalam (Purwanto et al., 2022). Salahsatu bahan pembuatan bahan tambahan ini adalah bahan yang berasal dari limbah pertanian dan perkebunan. Berdasarkan Purwanto et al., 2022 dalam (Sakthivel et al., 2008) abu daun pisang atau *banan leaf ash* dapat digunakan sebagai bahan tambahan pada beton karena mengandung reaksi pozzolan yang biasa ditemukan pada beton.

2.9 Air

Pada pembuatan beton, air adalah faktor penting, karena air berpegaruh terhadap sifat workability adonan beton, nilai susut beton, reaksi dengan semen portland, perawatan terhadap adonan beton guna menjamin pengerasan yang baik. Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F dalam SNI 03-3449-2002, air yang digunakan sebagai campuran beton adalah seperti dibawah ini:

1. Maksimal mengandung lumpur sebesar 2gr/lt.
2. Air tidak boleh mengandung garam di dalamnya.
3. Maksimal mengandung klorida sebesar 0,5 gr/lt.
4. Maksimal mengandung sulfat sebesar 1 gr/lt.

2.10 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian terdahulu pemanfaatan limbah beton dan limbah pelepah pisang di bidang konstruksi sudah beberapa kali dilakukan penelitian, berikut adalah rincian penelitiannya:

1. Limbah beton sebagai subtitusi agregat kasar
Karakteristik campuran beton menggunakan limbah beton sebagai bahan pengganti *agregat kasar* menggunakan mutu K-250. Limbah beton bekas uji kuat tekan yang digunakan sebagai agregat kasar memiliki pengaruh terhadap kuat tekan. Pada penelitian terdahulu, dengan bertambahnya prosentase limbah beton sebagai pengganti agregat kasar mendapatkan hasil kuat tekan semakin menurun. Rata-rata penurunan kuat tekan terendah terjadi pada penambahan limbah beton 25% dengan rata-rata penurunan sebesar 45,39%

dan menghasilkan kuat tekan beton maksimum yaitu sebesar $12,739 \text{ N/mm}^2$ pada umur 28 hari (Soelarso et al., 2016).

Dengan begitu disarankan oleh penelitian terdahulu untuk menggunakan mutu tertentu agar hasil lebih terkontrol dan menggunakan semen selain PPC, serta dapat menambahkan zat aditif untuk meningkatkan kuat tekan beton yang menggunakan limbah beton bekas uji kuat tekan yang di daur ulang (Soelarso et al., 2016).

2. Pelepah pisang sebagai bahan tambahan beton

Karakteristik campuran beton menggunakan limbah pelepah pisang sebagai pengganti semen portland beton geopolimer menggunakan mutu K-225. Limbah pelepah pisang yang sudah dibakar dan menjadi abu digunakan sebagai *binder* beton geopolimer memiliki pengaruh terhadap kuat tekan. Pada penelitian terdahulu, dengan bertambahnya prosentase abu pelepah pisang mendapatkan hasil kuat tekan semakin meningkat, akan tetapi terjadi penurunan hasil kuat tekan pada penambahan prosentase abu pelepah pisang tertentu. Pada penambahan abu pelepah pisang 15% menghasilkan kuat tekan beton maksimum yaitu sebesar $255,18 \text{ kg/cm}^2$ pada umur 28 hari. Terjadi peningkatan maksimum sebesar 11,67% terhadap beton normal yang memiliki hasik kuat tekan sebesar $225,40 \text{ kg/cm}^2$ (Junaidi, 2015).

Uji *slump* yang dilakukan setiap 3 kali setiap adukan beton memperoleh nilai slump dengan rata-rata mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena prosentase penambahan hasil pembakaran pelepah pisang yang semakin tinggi, sehingga mengalami kekurangan air pada beton. Dengan begitu disarankan oleh penelitian terdahulu untuk menggunakan mutu tertentu agar hasil lebih terkontrol dan dilaksanakan dengan berbagai varian suhu serta waktu pembakaran terhadap limbah pelepah pisang (Junaidi, 2015).

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu Menggunakan Limbah Beton dan Abu Pelepah Pisang

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Soelarso et al. (2016)	Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Normal Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas	Untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar terhadap kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton normal dengan mutu sedang.	Menggunakan metode eksperimental dengan perbandingan penambahan campuran limbah beton 25%, 50%, 75%, dan 100%.	Hasil rata-rata pengujian kuat tekan penambahan limbah beton pada umur 28 hari: 1. 25% = 12,739 N/mm ² 2. 50% = 10,911 N/mm ² 3. 75% = 11,677 N/mm ² 4. 100% = 10,828 N/mm ²
2.	Junaidi, A. (2015)	Pemanfaatan Abu Batang Pisang Sebagai Bahan Tambah Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton	Untuk mengetahui pengaruh penambahan abu pelepah pisang sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan beton.	Menggunakan metode eksperimental dengan perbandingan penambahan abu pelepah pisang 0%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, 17,5%, dan 20%.	Hasil rata-rata pengujian kuat tekan penambahan abu pelepah pisang pada umur 28 hari: 1. 0% = 225,40 kg/cm ² 2. 5% = 227,59 kg/cm ² 3. 7,5% = 223,02 kg/cm ² 4. 10% = 238,13 kg/cm ² 5. 12,5% = 248,12 kg/cm ² 6. 15% = 255,18 kg/cm ² 7. 17,5 % = 241,63 kg/cm ² 8. 20% = 227,58 kg/cm ²

3.	Sakthivel et al. (2019)	Experimental investigation on concrete with banana fiber and partial replacement of cement by banana leaf ash	Untuk mengetahui kekuatan beton sehingga menghasilkan bahan semen yang baik dengan menggunakan abu daun pisang sebagai campuran semen dan untuk meningkatkan kekuatan tarik dengan penambahan serat pisang.	Menggunakan metode eksperimental dengan perbandingan penambahan campuran abu daun pisang 0%, 2%, 4%, 6% dan penambahan serat pisang 0,2%.	Peningkatan kuat tekan beton terjadi di 2% dan 6% pada penambahan abu daun pisang dan dengan penambahan 0,2% serat pisang dapat meningkatkan kekuatan tarik beton.
4.	Akinyemi et al. (2020)	Development of banana fibers and wood bottom ash modified cement mortars	Untuk mengetahui pengaruh penggunaan abu kayu, serat pisang, dan emulsi stirena butadiena.	Menggunakan metode eksperimental dengan perbandingan penambahan campuran abu kayu 10%, 15%, 25%. Serat pisang 1,5% dan polimer stirena butadiena sebesar 0,3%.	Optimal kinerja komposit dapat diperoleh ketika semen diganti hingga 10% dari dasar abu kayu, 1,5% kandungan serat pisang dan 0,3% emulsi polimer stirena butadiena. dikembangkan memberikan sifat insulasi termal yang baik dan dapat digunakan pada beberapa bahan dasar semen terpilih aplikasi.
5.	Purwanto et al. (2021)	Pemanfaatan Pelelah Pidang Geda Desa Jejawi Sebagai Bahan Tambah Alternatif Kuat Tekan Beton	Untuk mengetahui kemampuan beton K225 yang dihasilkan dengan penambahan variasi pelepas pisang Geda yang dibakar menjadi abu dengan temperatur bakar awal 250°C terhadap pengujian karakteristik kuat tekan beton.	Menggunakan metode eksperimental dengan perbandingan penambahan campuran abu pelepas pisang Geda Desa Jejawi dengan presentase 2%, 2,5%, dan 5%	Peningkatan kuat tekan beton, terjadi kenaikan kuat tekan dari normal ke campuran abu pisang Geda 2% yaitu dari 225,54 kg/cm ² menjadi 236,27 kg/cm ² (atau naik 4,76%) dan menurun di campuran 2,5% sebesar 217,99 kg/cm ² dan kemudian menurun lagi dicampuran abu pisang 5% sebesar 203,13 kg/cm ² .

Pada penelitian ini menggunakan material limbah beton dan abu pelepah pisang yang berpotensi untuk di substitusi dan sebagai bahan tambah campuran beton. Beton dapat di substitusikan karena beton tidak hanya memiliki komponen tunggal tetapi memiliki beberapa komponen. Komponen utama yang dapat di substitusikan yaitu agregat dan pengikat semen. Material limbah beton dapat dijadikan sebagai substitusi agregat kasar karena beton memiliki karakteristik yang keras dan kaku sehingga dapat masuk ke dalam karakteristik agregat kasar. Sedangkan material limbah pelepah pisang dapat dijadikan sebagai substitusi *portland cement* karena pelepah pisang memiliki kandungan selulosa yang tinggi, kandungan ini juga di miliki oleh *portland cement*. Dengan mensubstitusikan limbah pelepah pisang ke dalam *portland cement* dapat mengurangi penggunaan semen yang tinggi dan mengurangi pencemaran lingkungan dalam proses pembuatan semen.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Metode penelitian pada penelitian ini adalah eksperimental. Dimana eksperimen sendiri adalah suatu metode dimana kita mencari pengaruh atau perbedaan ketika kita mengatur suatu variabelnya (Arifin et al., 2020). Pada penelitian ini abu pelepah pisang dan limbah beton berperan sebagai variabel bebas sedangkan kuat tekan beton menjadi variabel terikat. Perbandingan kuat tekan beton mutu K-225 normal dan beton dengan penambahan variabel bebas sebagai pengganti sebagian material akan menjadi output data yang nantinya akan dianalisa. Dengan hasil analisa apakah penambahan variabel bebas tadi akan berpengaruh terhadap variabel terikatnya.

3.2 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat dua variabel bebas dan satu variabel terikat. Adapun variabel bebas adalah variabel yang memengaruhi variabel terikat dan variabel terikat adalah variabel yang terpengaruh variabel bebas (Dicky Hastjarjo & Psikologi Universitas Gadjah Mada Pengantar, n.d.). Sehingga hasil dari variabel terikat sangat tergantung oleh variabel bebas. Variabel – variabel dalam penelitian ini antara lain adalah:

1. Variabel Bebas:

- a. Limbah Beton

Limbah beton akan ditambahkan pada beton sebagai pengganti agregat kasar dengan 25%, 50% dan 75% agregat kasar akan diganti dengan limbah beton ini. Limbah beton yang akan digunakan adalah limbah beton dengan mutu $F_c' 25$ MPa.

b. Abu Pelelah Pisang

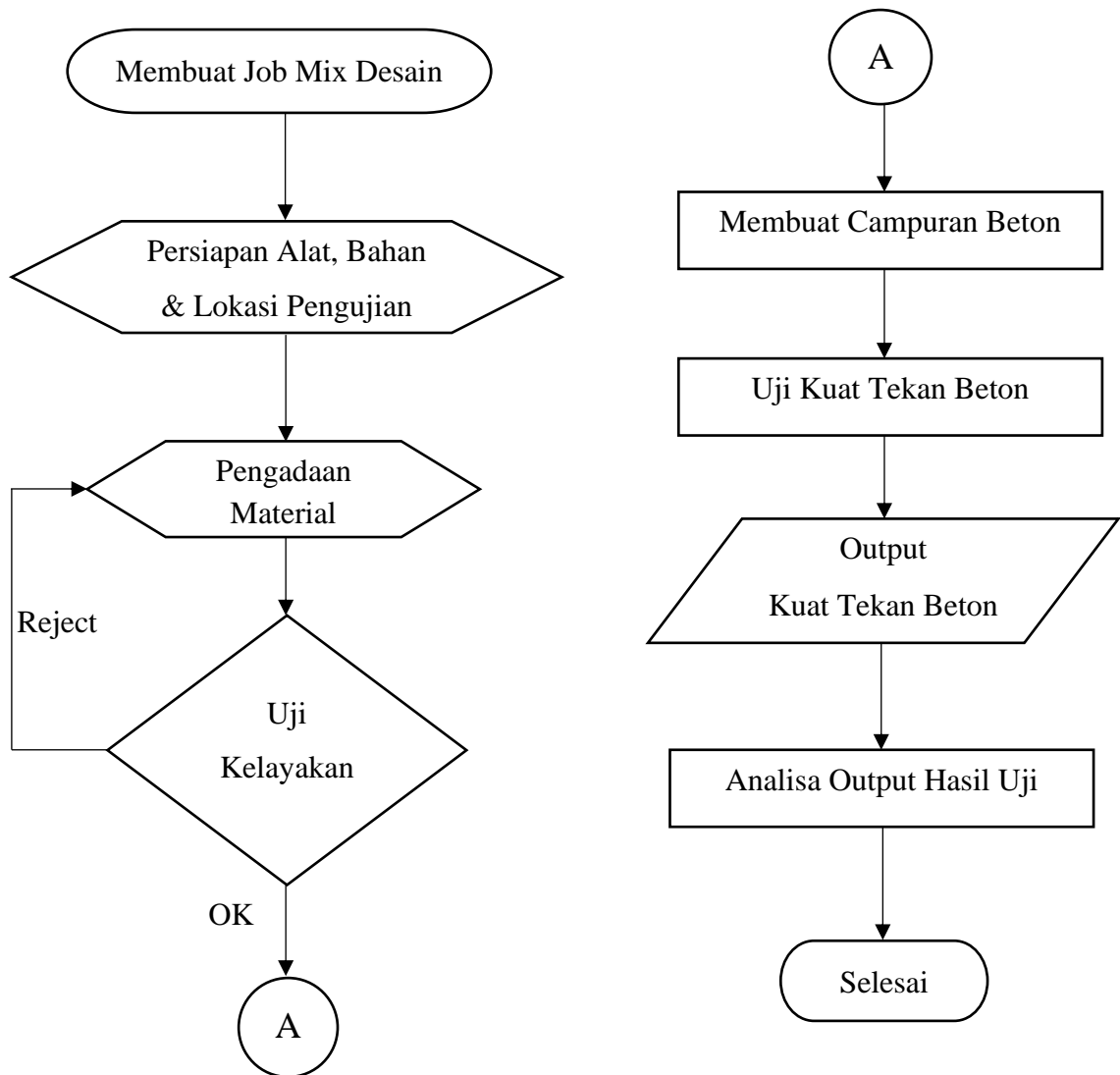
Abu pelelah pisang digunakan sebagai bahan tambahan beton. Dimana akan dicoba 5%, 10% dan 15% abu pelelah pisang pada campuran beton.

2. Variabel Terikat:

a. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah variabel terikat yang mana hasil uji kuat tekan beton yang dihasilkan akan sangat terpengaruh oleh penggantian bahan dari variabel bebas.

3.3 Diagram Alir Penelitian



3.4 Waktu dan Tempat Penelitian

Tempat penelitian untuk penelitian ini direncanakan akan dilakukan di Laboratorium Teknologi Beton Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, Semarang. Waktu penelitian dilakukan pada 20 Mei 2022 sampai 14 Juni 2022.

3.5 Rencana Output Penelitian

Output dari penelitian ini adalah prototype beton ramah lingkungan serta analisa perbandingan dari beton yang menggunakan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar dan pelepah pisang sebagai bahan tambah beton yang nantinya akan di uji kuat tekan betonnya. Diharapkan dengan memaksimalkan penggunaan limbah beton dan limbah pelepah pisang dapat mengurangi limbah yang dapat merusak tatanan ekosistem lingkungan dan dapat memberikan hasil kuat tekan yang minimal sama dengan beton normal.

3.6 Instrumen Pelaksanaan

Instrumen pelaksanaan dalam penelitian ini yaitu :

1. Satu set saringan

Alat ini digunakan untuk mengukur gradasi agregat sehingga dapat ditentukan nilai modulus kehalusan butir agregat. Saringan yang dipakai dengan diameter berturut-turut 9,50 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,60 mm, 0,30 mm, 0,15 mm, 0,075 mm, 0,00 mm yang dilengkapi dengan tutup (*pan*).

2. Timbangan

Timbangan berkapasitas 30 kg dengan ketelitian pembacaan 1 gram digunakan untuk mengukur berat bahan campuran beton dan berat benda uji kubus.

3. Oven

Alat ini digunakan untuk mengeringkan bahan-bahan pada saat pengujian material yang membutuhkan kondisi kering.

4. Rojokan Besi

Alat bantu yang digunakan untuk memadatkan beton saat proses pencetakan

5. Kerucut Abrams

Kerucut Abrams beserta tilam pelat baja dan tongkat besi digunakan untuk mengukur *workability* adukan dengan percobaan *Slump Test*

6. Palu Karet

Alat ini digunakan dalam proses pemadatan beton

7. Cetakan Kubus

Cetakan beton kubus dengan ukuran lebar 15 cm dan tinggi 15 cm. digunakan untuk mencetak benda uji pengujian kuat tekan.

8. Mesin Uji Tekan

Alat ini digunakan untuk menguji kuat tekan beton. Dalam penelitian ini akan dipakai Compression Testing Mechine (CTM).

9. Alat Bantu

Selama proses pembuatan benda uji digunakan beberapa alat bantu diantaranya adalah sendok semen, mistar, ember dan gayung.

3.7 Pemilihan Material

Material yang digunakan dalam pembuatan beton ini adalah sebagai berikut:

1. Semen

Semen yang digunakan dalam pembuatan beton ini adalah semen PCC merek Indocement Tiga Roda.

2. Agregat Halus

Pasir yang digunakan dalam pembuatan beton ini adalah pasir Merapi yang berasal dari Muntilan.

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam pembuatan beton ini adalah split dan limbah beton yang berasal dari PT. Varia Usaha Beton Ungaran.

4. Air

Air yang digunakan dalam pembuatan beton ini adalah air SPAM Fakultas Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro.

5. Abu Pelelah Pisang

Abu pelelah pisang yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari pelelah pisang dari semua jenis yang berasal dari Grobogan.

3.8 Pengujian Material

Sebelum melaksanakan *mix design* terlebih dahulu melakukan pengujian agregat baik agregat halus maupun kasar yang terdiri dari:

A. Agregat Halus (Pasir)

1. Penentuan Kadar Lumpur Agregat Halus Sistem Kocokan

Pengujian kadar lumpur diawali dengan memasukkan agregat halus masing - masing ke dalam dua gelas ukur. Gelas berisi air disimpan pada tempat yang datar selama 24 jam. Setelah 24 jam, dilakukan pengukuran tinggi pasir (V1) dan tinggi lumpur (V2). Kadar lumpur kemudian dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kadar Lumpur (\%)} = \frac{V2}{V2+V1} \times 100\%$$

2. Penentuan Kadar Lumpur Organik Agregat Halus

Agregat halus berupa pasir yang telah bersih sebanyak 130 cc dimasukkan ke dalam gelas ukuran berukuran 500 cc. Setelah itu, ditambahkan larutan NaOH 6 gram dan air 194 gram, setelah itu didiamkan 24 jam dan dilakukan pengukuran tinggi pasir (V1) dan tinggi lumpur (V2). Warna cairan dibandingkan dengan standar warna pada *organic plate*. Standar warna NaOH:

- a. Jernih sampai kuning tua = dapat dipakai
- b. Merah muda = dapat dipakai
- c. Coklat tua sampai merah kecoklatan = tidak dapat dipakai

3. Penentuan Kadar Air Agregat Halus

Agregat halus ditimbang 200 gram (W1). Setelah itu, agregat halus dimasukkan ke dalam gelas ukur dan dicuci hingga transparan. Kemudian dipanaskan di dalam oven 110°C selama 24 jam. Setelah 24 jam dikeluarkan dan kemudian ditimbang (W2). Penentuan kadar air dilakukan dengan melakukan perhitungan sesuai rumus berikut.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{W1-W2}{W2} \times 100\%$$

B. Agregat Kasar (Split dan Limbah Beton)

1. Penentuan Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Los Angeles

Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan cara yaitu gradasi bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm dan jumlah bola pejal buah dengan 500 putaran. Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam mesin Los Angeles. Putarlah mesin dengan kecepatan 30 s/d 33 rpm, sebanyak 500 putaran. Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan No. 12, butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven sampai berat tetap. Kemudian di hitung berat benda uji semula (a) dan berat benda uji tertahan di saringan No. 12 (b).

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

3.9 Metode Mix Design

Perencanaan *mix design* dilakukan untuk dapat mengetahui perbandingan proporsi bahan – bahan material yang digunakan dalam pembuatan beton ini agar menghasilkan beton dengan kuat tekan yang diinginkan. Perencanaan mix design berdasarkan SNI 7656:2012 yang mengacu pada ACI 211.1-91 dengan kuat tekan rencana beton pada K-225 sebesar 225 kg/cm² pada 28 hari. Nilai slump yang direncanakan adalah 12 cm ± 2 cm.

3.10 Metode Pembuatan Beton

Berikut ini adalah teknis pembuatan beton setelah dilakukan pengujian material dan perhitungan *mix design* dengan menggunakan abu pelepah pisang dan limbah beton.

1. Sebelum melakukan pengecoran, terlebih dahulu mempersiapkan alat dan material ditimbang sesuai dengan perhitungan *mix design* yang telah dilakukan.
2. Mempersiapkan cetakan kubus sebanyak 4 buah dengan ukuran lebar 15 cm dan tinggi 15 cm.
3. Memasukkan agregat halus, abu pelepah pisang dan semen lalu mengaduk selama beberapa menit sampai tercampur rata.

4. Kemudian memasukkan agregat kasar yang telah dicampur dengan limbah beton, lalu diaduk sampai tercampur rata.
5. Setelah itu, memasukkan air sedikit demi sedikit dan diaduk hingga campuran homogen.
6. Setelah terus diaduk dan viskositas beton sudah cukup baik, campuran pun dirasa sudah cukup rata, maka setelah itu dilakukan uji slump dan beton siap di masukkan ke dalam cetakan.
7. Cara pemadatan beton dengan menggunakan rojokan baja sebanyak 25 kali dan di pukul menggunakan palu karet setiap 1/3 lapis cetakan beton hingga seluruh lapis cetakan terisi.
8. Menghaluskan permukaan beton.
9. Beton dibiarkan mengeras selama 1 hari setelah itu melepaskan cetakan beton lalu di curing dalam bak air.

3.11 Metode Pengujian

Menurut (SNI 03-1974-1990) tentang metode pengujian kuat tekan beton langkah-langkah pengujian kuat tekan beton ada beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Letakan benda uji beton yang sudah di curing dan dikeringkan ke mesin uji kuat tekan dengan centris;
2. Jalankan mesin dengan penambahan beban yang konstan antara 2 sampai 4 kg/cm² per detik;
3. Lakukan pembebanan ke benda uji sampai benda uji hancur, dan catat beban maksimum yang dapat ditahan;
4. gambar dan catat kondisi benda uji.

3.12 Perhitungan Kuat Tekan

Berdasarkan (SNI 03-1974-1990) cara perhitungan kuat tekan beton dengan data yang telah didapat setelah proses pengujian yaitu beban maksimum yang bisa ditahan beton adalah sebagai berikut:

1. Rumus Kuat Tekan Beton

$$\sigma' = \frac{P}{A} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Keterangan :

σ' = Kuat Tekan Beton (kg/cm²)

P = Beban Maksimum (kg)

A = Luas Permukaan Benda Uji (cm²)

2. Rumus Standard Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\sigma_{bi} - \sigma_{bm})^2}{(n-1)}}$$

Keterangan:

S = Standar Deviasi

σ_{bi} = Kuat Tekan Masing-Masing Benda Uji (kg/cm²)

σ_{bm} = Rata-Rata Kuat Tekan Beton (kg/cm²)

n = Jumlah Benda Uji

3. Rumus Karakteristik Kuat Tekan Beton

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - (1,64 \cdot S)$$

Keterangan :

σ'_{bk} = Karakteristik Kuat Tekan Masing-Masing Benda Uji (kg/cm²)

σ'_{bm} = Rata-Rata Kuat Tekan Beton (kg/cm²)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Untuk menentukan campuran beton (*mix design*) sebagai bahan penyusun beton pada penelitian ini digunakan acuan campuran beton yaitu (SNI 7394:2008). Dengan proporsi 371 kg semen, 698 kg pasir, 1047 kg batu, 215 lt air untuk setiap 1 m³ beton normal. Pada campuran beton di penelitian ini dilakukan pencampuran untuk 4 variasi campuran. Adapun campuran itu adalah satu campuran beton normal dengan acuan *mix design* sesuai dengan SNI 7394:2008 dan tiga campuran substitusi limbah beton sebagai agregat kasar dan abu pelepah pisang sebagai bahan tambahan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 *Mix Design* penelitian untuk setiap 1 kubus beton ukuran
15cm x 15cm x 15cm

Sampel	Semen (Kg)	Pasir (Kg)	Split (Kg)	Air (Lt)	Abu Pelepah Pisang (Kg)	Limbah Beton (Kg)
A	1,252	2,356	3,534	0,726	-	-
B	1,252	2,356	2,650	0,726	0,118	0,883
C	1,252	2,356	1,767	0,726	0,376	1,767
D	1,252	2,356	0,883	0,726	0,563	2,650

Keterangan:

A = 0% Abu Pelepah Pisang + 0% Limbah Beton (Normal)

B = 5% Abu Pelepah Pisang + 25% Limbah Beton

C = 10% Abu Pelepah Pisang + 50% Limbah Beton

D = 15% Abu Pelepah Pisang + 75% Limbah Beton

4.1.1 Bahan Pengikat

Bahan pengikat yang digunakan pada penelitian ini yaitu PCC (Portland Composit Cement) merk Tiga Roda. Semen yang digunakan dalam keadaan baik dan masih segel.



Gambar 4.1 Bahan Pengikat

4.1.2 Agregat

Agregat yang digunakan adalah batu split dengan gradasi ayakan 4 mm sebagai agregat kasar dan pasir dengan gradasi butiran di ayakan 0,25 mm sebagai agregat halus.



Gambar 4.2 Agregat Kasar



Gambar 4.3 Agregat Halus

4.1.3 Air

Air sebagai bahan pelarut dan pencampur sesuai dengan peraturan yang ada. Air yang di dapat dari PAM Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.



Gambar 4.4 Air

4.1.4 Limbah Beton

Limbah Beton yang digunakan sebagai substitusi agregat kasar diambil dari limbah beton bekas uji coba kuat tekan yang didapat dari PT. Varia Usaha Beton Ungaran, Jawa Tengah. Limbah Beton yang digunakan sebagai substitusi agregat kasar memiliki mutu F_c' 25 MPa.



Gambar 4.5 Limbah Beton

4.1.5 Abu Pelepah Pisang

Abu pelepah pisang yang digunakan yaitu abu hasil pembakaran limbah pelepah pisang yang didapat dari grobogan. Sebagai informasi limbah pelepah pisang yang digunakan adalah limbah bekas pembungkus tembakau.



Gambar 4.6 Abu Pelelah Pisang

4.2 Hasil Pengujian Material

Sebelum digunakan, material yang digunakan diuji terlebih dahulu kelayakannya, apakah material tersebut memenuhi standar yang telah tertera pada aturan yang berlaku. Pengujian ini bertujuan untuk meminimalisir kegagalan dari penelitian ini, material yang telah lolos uji kemudian dapat digunakan. Material yang telah diuji diantaranya adalah agregat kasar (split dan limbah beton), agregat halus (Pasir Muntilan), dan air. Pelaksanaan pengujian material dilakukan di Laboratorium Teknologi Beton Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

4.2.1 Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian saringan agregat halus mengacu pada SNI ASTM C136:2012. Di bawah ini merupakan langkah uji saringan agregat halus:

1. Siapkan alat dan benda uji yang sudah dikeringkan dari oven 24 jam suhu (110 ± 5)°C seberat 500 gram.
2. Pasir muntilan yang telah dikeringkan ditimbang kembali.
3. Susun saringan dari mulai yang terbesar sampai terkecil di paling bawah.
4. Pasir dimasukkan pada saringan. Penyaringan dilakukan seteliti mungkin kehilangan pasir maksimal sebesar 1%, usahakan pasir tersaring dengan baik dengan mesin penggetar saringan selama 15 menit. Bisa juga dengan cara menggoyang-goyang saringan ke kanan / ke kiri.



Gambar 4.7 Uji Saringan

5. Setelah 15 menit alat penggetar berhenti, timbang hasil saringan di setiap lapisan-lapisan saringan dengan sangat teliti agar kemungkinan terjadi pengurangan berat sangat kecil.

Pada pengujian analisis saringan pada agregat halus ini menggunakan pasir yang berasal dari daerah Muntilan. Perhitungan analisis agregat halus sebagai berikut:

1. No saringan = 3/8
 Ukuran saringan = 9,5 mm
 Berat tertahan = 10 gram
 $\% \text{ Tertahan} = \frac{10}{498} \times 100\% = 2,008\%$
 $\% \text{ Tertahan kumulatif} = 0\% + 2,008\% = 2,008\%$
 $\% \text{ Lolos kumulatif} = 100\% - 2,008\% = 97,992\%$
2. No saringan = 4
 Ukuran saringan = 4,75 mm
 Berat tertahan = 15 gram
 $\% \text{ Tertahan} = \frac{15}{498} \times 100\% = 3,012\%$
 $\% \text{ Tertahan kumulatif} = 2,008\% + 3,012\% = 5,020\%$
 $\% \text{ Lolos kumulatif} = 97,992\% - 3,012\% = 94,980\%$

3. No saringan = 8
Ukuran saringan = 2,36 mm
Berat tertahan = 31,5 gram
% Tertahan = $\frac{31,5}{498} \times 100\% = 6,325\%$
% Tertahan kumulatif = 5,020% + 6,325% = 11,345%
% Lolos kumulatif = 94,980% - 6,325% = 88,655%
4. No saringan = 16
Ukuran saringan = 1,18 mm
Berat tertahan = 90 gram
% Tertahan = $\frac{90}{498} \times 100\% = 18,072\%$
% Tertahan kumulatif = 11,345% + 18,072% = 29,418%
% Lolos kumulatif = 88,655% - 18,072% = 70,582%
5. No saringan = 30
Ukuran saringan = 0,6 mm
Berat tertahan = 113 gram
% Tertahan = $\frac{113}{498} \times 100\% = 22,691\%$
% Tertahan kumulatif = 29,418% + 22,691% = 52,108%
% Lolos kumulatif = 70,582% - 22,691% = 47,892%
6. No saringan = 50
Ukuran saringan = 0,3 mm
Berat tertahan = 115 gram
% Tertahan = $\frac{115}{498} \times 100\% = 23,092\%$
% Tertahan kumulatif = 52,108% + 23,092% = 75,201%
% Lolos kumulatif = 47,892% - 23,092% = 24,799%
7. No saringan = 100
Ukuran saringan = 0,15 mm
Berat tertahan = 67,5 gram
% Tertahan = $\frac{67,5}{498} \times 100\% = 13,554\%$
% Tertahan kumulatif = 75,201% + 13,554% = 88,755%
% Lolos kumulatif = 24,799% - 13,554% = 11,245%

8. No saringan = 200
 Ukuran saringan = 0,075 mm
 Berat tertahan = 21 gram
 $\% \text{ Tertahan} = \frac{21}{498} \times 100\% = 4,217\%$
 $\% \text{ Tertahan kumulatif} = 88,755\% + 4,217\% = 92,972\%$
 $\% \text{ Lolos kumulatif} = 11,245\% - 4,217\% = 7,028\%$
9. No saringan = 500
 Ukuran saringan = 0 mm
 Berat tertahan = 35 gram
 $\% \text{ Tertahan} = \frac{35}{498} \times 100\% = 7,028\%$
 $\% \text{ Tertahan kumulatif} = 92,972\% + 7,028\% = 100\%$
 $\% \text{ Lolos kumulatif} = 7,028\% - 7,028\% = 0\%$

Berdasarkan data-data dari setiap no. saringan yang telah dihitung, maka modulus kehalusan agregat halus dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Modulus Kehalusan} &= \frac{\sum \% \text{ Tertahan kumulatif diatas diameter } 0,150\text{mm}}{100} \\ &= \frac{2,008+5,020+11,345+29,418+52,108+75,201+88,755}{100} \\ &= \frac{263,855}{100} \\ &= 2,638 \text{ (sedang)} \end{aligned}$$

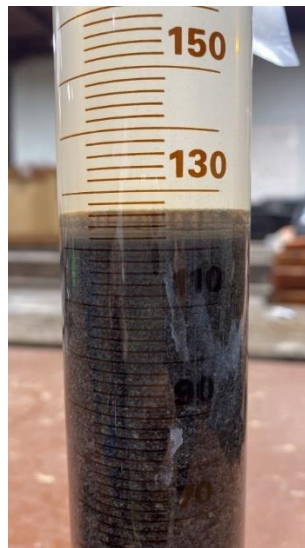
Tabel 4.2 Hasil Analisis Saringan Agregat Halus

Ukuran Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Presentase Agregat Tertahan (%)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)	Gradasi	
					Min (%)	Maks
9,500	10	2,008%	2,008%	97,992%	100	100
4,750	15	3,012%	5,020%	94,980%	90	100
2,360	31,5	6,325%	11,345%	88,655%	75	100
1,180	90	18,072%	29,418%	70,582%	55	90
0,600	113	22,691%	52,108%	47,892%	35	59
0,300	115	23,092%	75,201%	24,799%	8	30
0,150	67,5	13,554%	88,755%	11,245%	0	10
0,075	21	4,217%	92,972%	7,028%	0	0
0,000	35	7,028%	100,000%	0,000%	0	0
Modulus Halus Butir		= 2,638				

4.2.2 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Uji kadar lumpur mengacu pada SNI S-04-1989-F. Langkah kerja yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Masukkan pasir kering ke dalam gelas ukur setinggi 130cc.
2. Tuang air setinggi 250cc tunggu sampai air meresap kebawah lalu tambah air lagi sampai benar benar 250cc.
3. Kocoklah gelas ukur selama 30 menit kemudian diamkan gelas tersebut ditempat yang diam selama 24 jam.
4. Setelah 24 jam kemudian catatlah tinggi lapisan antara lumpur dengan dengan tinggi pasir yang dipakai dalam percobaan tersebut.



Gambar 4.8 Penentuan Kadar Lumpur Agregat Halus

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kandungan lumpur yang terdapat pada agregat halus Pasir Muntilan. Lumpur dapat mempengaruhi campuran beton sehingga kuat tekan campuran beton menjadi rendah. Contoh perhitungan pengujian kandungan lumpur agregat halus :

Tinggi pasir (V1)	= 122 cc
Tinggi lumpur (V2)	= 5 cc
Tinggi pasir + lumpur	= 127 cc
Kadar lumpur	$= \frac{5}{127} \times 100 \%$
	= 3,9%

Kandungan lumpur yang terkandung adalah 3,9%. Menurut SNI S-04-1989-F kadar lumpur maksimal yang diperbolehkan adalah 5%, apabila kadar lumpur lebih dari 5% dilakukan pencucian agregat halus untuk menghilangkan lumpurnya.

4.2.3 Pengujian Kadar Lumpur Kotoran Organis Agregat Halus

Pengujian ini berfungsi untuk mengetahui kandungan kotoran organik pada pasir. Berikut ini merupakan langkah pengujian kandungan organik:

1. Siapkan agregat halus sebanyak 300 gram, keringkan di dalam oven selama 24 jam dengan suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
2. Masukkan agregat halus ke dalam gelas ukur setinggi 130cc.
3. Tambahkan larutan NaOH 3% sampai ketinggian 200ml lalu tutup dengan plastik.
4. Kocok selama 15 menit dan diamkan selama 24 jam.
5. Ukur tinggi pasir dan lumpur di 3 sisi dan hitung rata-ratanya.



Gambar 4.9 Kadar Lumpur Kotoran Organis Agregat Halus

Tinggi pasir (V1)	= 130 cc
Tinggi lumpur (V2)	= 9 cc
Tinggi pasir + lumpur	= 138 cc
Kadar lumpur	= $\frac{9}{139} \times 100 \%$
	= 6,4%
Warna NaOH	= Kuning jernih

Pada percobaan kandungan zat organik (dengan NaOH 3%) diperoleh hasil NaOH berwarna kuning jernih, jadi pasir dalam percobaan ini memenuhi syarat untuk digunakan dalam adukan maupun beton.

4.2.4 Pengujian Kadar Lebih Halus dari 50 Micron Untuk Pasir Adukan dan Pasir Beton (Sistem Cucian)

1. Timbanglah pasir sebanyak 200 gram
2. Kemudian masukkan pasir ke dalam gelas ukur tersebut kemudian tambahkan air sebanyak 12 cm diatas permukaan pasir. Diamkan kurang lebih 1 jam dan kemudian diaduk sampai keruh.
3. Setelah didiamkan selama 1 menit agar butiran yang kasar mengendap kemudian buang setengah air keruh tadi dengan perlahan-lahan dan usahakan jangan sampai butiran pasir ikut hanyut. Isi air lagi hingga setinggi 12 cm diatas permukaan pasir kemudian aduk lagi dan diamkan selama 1 menit.
4. Setelah 1 menit buang setengah air tadi dan usahakan jangan sampai butiran pasir ikut hanyut dan terbang.
5. Ulangi langkah tersebut hingga air diatas permukaan pasir menjadi jernih.
6. Setelah air menjadi jernih, tuangkan sisa pasir tersebut kedalam cawan pengering dan masukkan cawan tadi ke dalam oven untuk dikeringkan.
7. Setelah pasir benar-benar kering, timbanglah pasir tadi dengan teliti.
8. Setelah ditimbang, hitunglah selisih antara berat pasir semula (200 gram) dengan berat pasir setelah dicuci dan dikeringkan. Selisih itulah yang hilang (50 micron) dan hitung prosentase bagian yang hilang.

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui dan menentukan kadar butiran lebih halus dari 50 micron yang sering disebut slip, dalam agregat halus atau pasir untuk adukan spesi dan pasir untuk beton. Contoh perhitungan analisis kadar lumpur sistem lebih kecil dari 50 micron sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Berat pasir mula-mula (W1)} &= 200 \text{ gram} \\ \text{Berat setelah dicuci (W2)} &= 193,7 \text{ gram} \\ \text{Berat lumpur} &= 200 - 193,7 = 6,3 \text{ gram} \\ \text{Kadar lumpur} &= \frac{6,3}{200} \times 100 \% \\ &= 3,15 \%\end{aligned}$$

4.2.5 Pengujian Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Los Angeles

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat keausan agregat tersebut, yang dibuktikan dengan perbandingan berat bahan aus lolos saringan No. 12 (1,7 mm) terhadap berat semula, dalam persen (%). Adapun Langkah-langkah pengujiannya yaitu :

1. Pengujian dapat dilakukan dengan cara berikut :
Gradasi lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm.
Jumlah bola pejal 12 buah 500 putaran.
2. Masukkan benda uji dan bola pejal kedalam mesin Los Angeles.



Gambar 4.10 Memasukkan Agregat ke Mesin Los Angles

3. Putarlah mesin kecepatan 30 s/d 33 rpm, sebanyak 500 putaran.
4. Setelah mesin berhenti beputar keluarkan benda uji dan saring dengan saringan no.12 lalu timbang benda uji.



Gambar 4.11 Timbang Agregat

1. Split

$$a = 5 \text{ kg}$$

$$b = 3,780 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Keausan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{5-3,780}{5} \times 100\% \\ &= 24 \% \end{aligned}$$

2. Limbah Beton

$$a = 5 \text{ kg}$$

$$b = 3,305 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Keausan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{5-3,305}{5} \times 100\% \\ &= 33,9 \% \end{aligned}$$

4.3 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dibuat per jenis campuran. Pembuatan benda uji dilakukan 4 kali sesuai jumlah jenis campuran, yaitu pembuatan benda uji tipe A, B, C dan D. Dibuat 3 benda uji untuk setiap jenis campuran dan akan diuji pada umur beton 7

hari. Pembuatan benda uji ini dilakukan di laboratorium bahan bangunan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. Berikut adalah tahapan pembuatan benda uji:

1. Menyediakan semen sesuai kebutuhan, pada pembuatan benda uji dibuat 3 benda uji setiap *mixing* maka dari itu sediakan semen untuk kebutuhan 3 benda uji. Semen yang digunakan adalah *Portland Composit Cement* dengan merk Semen Tiga Roda.



Gambar 4.12 Timbang Semen

2. Sediakan agregat halus sesuai kebutuhan 3 benda uji dan sesuaikan dengan jenis yang akan dibuat. Agregat halus atau pasir yang digunakan adalah pasir Muntilan yang akan disaring dengan saringan no.4 yang berukuran 0,5 cm. Setelah disaring pasir yang lolos saringan no.4 dicuci bersih yang bertujuan untuk menghilangkan kadar lumpurnya.



Gambar 4.13 Timbang Pasir

3. Menyediakan agregat kasar sesuai kebutuhan pengecoran. Agregat kasar yang digunakan adalah batu split yang tertahan di saringan no.4 dengan ukuran maksimal 4 cm. Sebelum digunakan agregat kasar dicuci terlebih dahulu sampai bersih untuk menghilangkan kadar lumpurnya.



Gambar 4.14 Timbang Split

4. Sediakan abu pelepah pisang sesuai kebutuhan untuk beton tipe B, C dan D. Abu pelepah pisang yang dibuat dari pelepah pisang kering yang didapat dari Grobogan.
5. Sediakan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar untuk beton tipe B, C dan D. Limbah beton yang dipakai adalah limbah beton dengan mutu $f_c' 25$ MPa yang didapat dari PT Varia Usaha Beton Ungaran.



Gambar 4.15 Timbang Limbah Beton

6. Menyediakan air bersih sebagai bahan pelarut. Air yang digunakan adalah air dari laboratorium bahan bangunan sekolah vokasi universitas diponegoro. Air

yang diambil diukur volumenya dengan gelas ukur sehingga didapat air dengan volume sesuai kebutuhan.



Gambar 4.16 Air

7. Setelah menimbang dan menyiapkan material yang dibutuhkan tahap selanjutnya adalah menyiapkan alat yang berupa alat *mixer*, kerucut abrams, rojokan, plat pembuatan beton sebagai alas, rojokan, cetok, meteran.



Gambar 4.17 Concrete Mixer

8. Setelah alat dan bahan siap maka pengadukan adonan siap dilakukan menggunakan *mixer concrete*. Masukkan material satu persatu mulai dari pasir, semen, abu pelepah pisang (kecuali benda uji tipe A), agregat kasar, limbah beton (kecuali benda uji tipe A), dan sebelum air dimasukkan *mixer* di putar terlebihdahulu supaya material yang telah dimasukkan tercampur terlebihdahulu yang bertujuan agar tidak ada material yang menggumpal setelah campuran

kering tercampur baru dimasukan air bertahap setiap 1/3 volume air sesuai kebutuhan. Aduk adonan selama 15 menit sampai campuran homogen. Setelah campuran dirasa homogen matikan *mixer* dan tuang beton ke wadah plat yang telah disediakan.



Gambar 4.18 Pengadukan Material dengan Mixer

9. Setelah adonan beton dituang ke plat wadah lalu dilakukan *slump test* dengan target nilai *slump* 12 ± 2 . Langkah yang dilakukan adalah berdirikan kerucut Abrams lalu masukan adonan beton 1/3 bagian lalu rojok sebanyak 25 kali lakukan hal itu sampai kerucut penuh. setelah penuh lalu tarik perlahan kerucut Abrams ke atas lalu balik kerucut, letakan rojokan dan ukur ketinggian nilai *slump* di tiga titik dengan meteran.



Gambar 4.19 Slump Test

Tabel 4.3 Nilai Slump Beton

No	Jenis Beton	Slump (cm)			Rata-Rata Slump
1.	A	13	12	12	12
2.	B	10	10	11	10
3.	C	10	13	12	12
4.	D	10	12	13	12

Keterangan:

A = 0% Abu Pelelah Pisang + 0% Limbah Beton (Normal)

B = 5% Abu Pelelah Pisang + 25% Limbah Beton

C = 10% Abu Pelelah Pisang + 50% Limbah Beton

D = 15% Abu Pelelah Pisang + 75% Limbah Beton

10. Selanjutnya adalah memasukan adonan beton kedalam cetakan kubus ukuran 15cm x 15cm x 15cm. sebelum beton dimasukan terlebih dahulu kencangkan kuncian pada cetakan lalu olesi permukaan dalam bekisting dengan oli agar bekisting mudah dibongkar. Masukan beton setiap 1/3 bagian lalu rojok sebanyak 25 kali dan pukul bagian luar cetakan dengan palu karet yang bertujuan agar beton tidak keropos dan segregasi. Setelah cetakan penuh ratakan permukaan beton dengan cetok.



Gambar 4.20 Memasukan Beton ke Cetakan

11. Setelah pengecoran selesai simpan benda uji selama 24 jam di tempat yang terhindar sinar matahari dan setelah 24 jam bongkar cetakan.

4.4 Perawatan Benda Uji (*curing*)

Setelah benda uji dibongkar dari bekisting tahap selanjutnya adalah perawatan beton (*curing*). Berdasarkan SNI 03-2847-2002 *curing* atau perawatan beton dilakukan minimal selama 7 hari. *Curing* untuk penelitian ini dilakukan selama 7 hari. *Curing* dilakukan dengan merendam benda uji yang telah dibongkar dari bekisting di dalam air bersih selama 7 hari, setelah 7 hari benda uji dikeringkan untuk siap di uji kuat tekannya.



Gambar 4.21 Curing Beton

4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 7 hari. Tatacara pengujian kuat tekan beton berdasarkan SNI 1974:2011. Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan *compressor machine* yang tersedia di laboratorium bahan bangunan Sekolah Vokasi Undip.

4.5.1 Perhitungan Berat Massa Volume Benda Uji

Berikut adalah perbandingan masa volume beton pada beton uji coba tipe A, B, C dan D:

1. Perhitungan volume benda uji

Benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm maka didapat perhitungan volume sebagai berikut

$$\begin{aligned}\text{Volume Benda Uji} &= 15 \times 15 \times 15 \\ &= 3375 \text{ cm}^3 = 0,003375 \text{ m}^3\end{aligned}$$

2. Perhitungan Berat Masa Volume Benda Uji

$$\begin{aligned}\text{Benda Uji Tipe A-1} &= \frac{\text{Berat Benda Uji}}{\text{Volume Benda Uji}} \\ &= \frac{7,065}{0,003375} \\ &= 2253,333 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Benda Uji Tipe A-2} &= \frac{\text{Berat Benda Uji}}{\text{Volume Benda Uji}} \\ &= \frac{7,620}{0,003375} \\ &= 2257,778 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Benda Uji Tipe A-3} &= \frac{\text{Berat Benda Uji}}{\text{Volume Benda Uji}} \\ &= \frac{7,515}{0,003375} \\ &= 2226,667 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Benda Uji Tipe B-1} &= \frac{\text{Berat Benda Uji}}{\text{Volume Benda Uji}} \\ &= \frac{7,785}{0,003375} \\ &= 2306,667 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Benda Uji Tipe B-2} &= \frac{\text{Berat Benda Uji}}{\text{Volume Benda Uji}} \\ &= \frac{7,780}{0,003375} \\ &= 2305,185 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Benda Uji Tipe B-3} &= \frac{\text{Berat Benda Uji}}{\text{Volume Benda Uji}} \\ &= \frac{7,605}{0,003375} \\ &= 2253,333 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Benda Uji Tipe C-1} &= \frac{\text{Berat Benda Uji}}{\text{Volume Benda Uji}} \\ &= \frac{7,520}{0,003375} \\ &= 2228,148 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Benda Uji Tipe C-2} &= \frac{\text{Berat Benda Uji}}{\text{Volume Benda Uji}} \\ &= \frac{7,580}{0,003375} \\ &= 2245,926 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Benda Uji Tipe C-3} &= \frac{\text{Berat Benda Uji}}{\text{Volume Benda Uji}} \\ &= \frac{7,520}{0,003375} \\ &= 2228,148 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Benda Uji Tipe D-1} &= \frac{\text{Berat Benda Uji}}{\text{Volume Benda Uji}} \\ &= \frac{7,270}{0,003375} \\ &= 2154,074 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Benda Uji Tipe D-2} &= \frac{\text{Berat Benda Uji}}{\text{Volume Benda Uji}} \\ &= \frac{7,205}{0,003375} \\ &= 2134,815 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

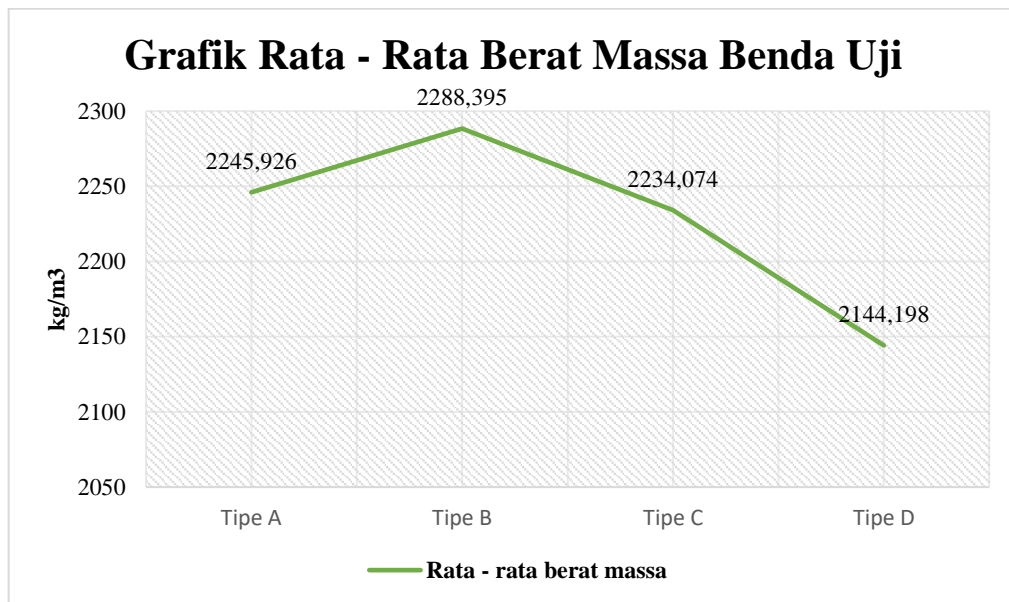
$$\begin{aligned} \text{Benda Uji Tipe D-3} &= \frac{\text{Berat Benda Uji}}{\text{Volume Benda Uji}} \\ &= \frac{7,235}{0,003375} \\ &= 2143,704 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan massa volume di atas, maka dijelaskan data dalam

Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Berat Massa

Sampel	Berat (kg)	Rata-rata berat	Volume (cm ³)	Volume (m ³)	Berat Masa Volume Beton (kg/m ³)	Rata - rata Berat Massa Volume
A1	7,605	7,580	3375	0,003375	2253,333	2245,926
A2	7,620				2257,778	
A3	7,515				2226,667	
B1	7,785	7,723			2306,667	2288,395
B2	7,780				2305,185	
B3	7,605				2253,333	
C1	7,520	7,540			2228,148	2234,074
C2	7,580				2245,926	
C3	7,520				2228,148	
D1	7,27	7,237			2154,074	2144,198
D2	7,205				2134,815	
D3	7,235				2143,704	



Gambar 4.22 Grafik Rata - Rata Berat Massa Benda Uji

Berdasarkan tabel grafik diatas rata – rata berat massa untuk beton tipe A adalah 2245 kg/m³, tipe B 228,395 kg/m³, tipe C 2234,074 kg/m³ dan tipe D 2144,198 kg/m³. Menurut SNI 03-2847-2002 berat massa volume untuk benda uji yang termasuk kategori beton normal adalah tipe A, B, dan C sedang kan benda uji tipe D tidak masuk karena berat massa nya masih dibawah beton normal menurut SNI 03-2847-2002 yaitu 2200 – 2500 kg/m³.

4.5.2 Perhitungan Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan menggunakan compression machine menunjukkan beban maksimal yang dapat ditahan benda uji sampai terjadi retakan. Berikut hasil perhitungan kuat tekan beton:

1. Perhitungan luas penampang benda uji kubus (A)

$$\begin{aligned} A &= S \times S \\ &= 15 \times 15 \\ &= 225 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} A &= \text{luas penampang benda uji (cm}^2\text{)} \\ S &= \text{panjang sisi alas benda uji kubus (cm)} \end{aligned}$$

2. Perhitungan kuat tekan benda uji kubus 15×15 pada usia 7 hari

- a) Kuat Tekan Beton A-1

$$\begin{aligned} \sigma' &= \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{37405,890}{225} \\ &= 166,248 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- b) Kuat Tekan Beton A-2

$$\begin{aligned} \sigma' &= \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{39427,830}{225} \\ &= 175,235 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

- c) Kuat Tekan Beton A-2

$$\begin{aligned} \sigma' &= \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{44482,680}{225} \\ &= 197,701 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

d) Kuat Tekan Beton B-1

$$\begin{aligned}\sigma' &= \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{38416,860}{225} \\ &= 170,742 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

e) Kuat Tekan Beton B-2

$$\begin{aligned}\sigma' &= \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{37991,375}{225} \\ &= 168,495 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

f) Kuat Tekan Beton B-3

$$\begin{aligned}\sigma' &= \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{39427,830}{225} \\ &= 175,235 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

g) Kuat Tekan Beton C-1

$$\begin{aligned}\sigma' &= \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{29318,130}{225} \\ &= 130,303 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

h) Kuat Tekan Beton C-2

$$\begin{aligned}\sigma' &= \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{31340,070}{225} \\ &= 139,289 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

i) Kuat Tekan Beton C-3

$$\begin{aligned}\sigma' &= \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{30329,100}{225} \\ &= 134,796 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

j) Kuat Tekan Beton D-1

$$\begin{aligned}\sigma' &= \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{23555,601}{225} \\ &= 104,692 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

k) Kuat Tekan Beton D-2

$$\begin{aligned}\sigma' &= \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{27902,772}{225} \\ &= 124,012 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

l) Kuat Tekan Beton D-3

$$\begin{aligned}\sigma' &= \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ &= \frac{36394,920}{225} \\ &= 161,755 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka kuat tekan beton paa umur 7 hari dapat disajikan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

Sampel		Berat	P (kN)	P (Kg)	A (cm ²)	Kuat Tekan Beton umur 7 hari (Kg/cm ²)
A	A1	7,605	370	37405,890	225,000	166,248
	A2	7,620	390	39427,830	225,000	175,235
	A3	7,515	440	44482,680	225,000	197,701
B	B1	7,785	380	38416,860	225,000	170,742
	B2	7,780	375	37911,375	225,000	168,495
	B3	7,605	390	39427,830	225,000	175,235
C	C1	7,520	290	29318,130	225,000	130,303
	C2	7,580	310	31340,070	225,000	139,289
	C3	7,520	300	30329,100	225,000	134,796
D	D1	7,27	233	23555,601	225,000	104,692
	D2	7,205	276	27902,772	225,000	124,012
	D3	7,235	360	36394,920	225,000	161,755

4.5.3 Analisa Kuat Tekan Karakteristik Beton

Berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 tentang prediksi perkembangan kuat tekan beton berdasarkan umur beton. Berikut adalah faktor koreksi kuat tekan beton berdasarkan umur beton yang disajikan pada tabel dibawah.

Tabel 4.6 Faktor Koreksi

Umur (Hari)	Faktor Koreksi
3	0,4
7	0,65
14	0,88
21	0,95
28	1

Sumber: SK SNI T-15-1991-03

Nilai *factor* koreksi diatas dapat digunakan untuk menghitung kuat tekan beton pada usia 28 hari. Setelah mengetahui kuat tekan beton pada umur 28 hari maka kita dapat melakukan perhitungan kuat tekan karakteristik betonnya.

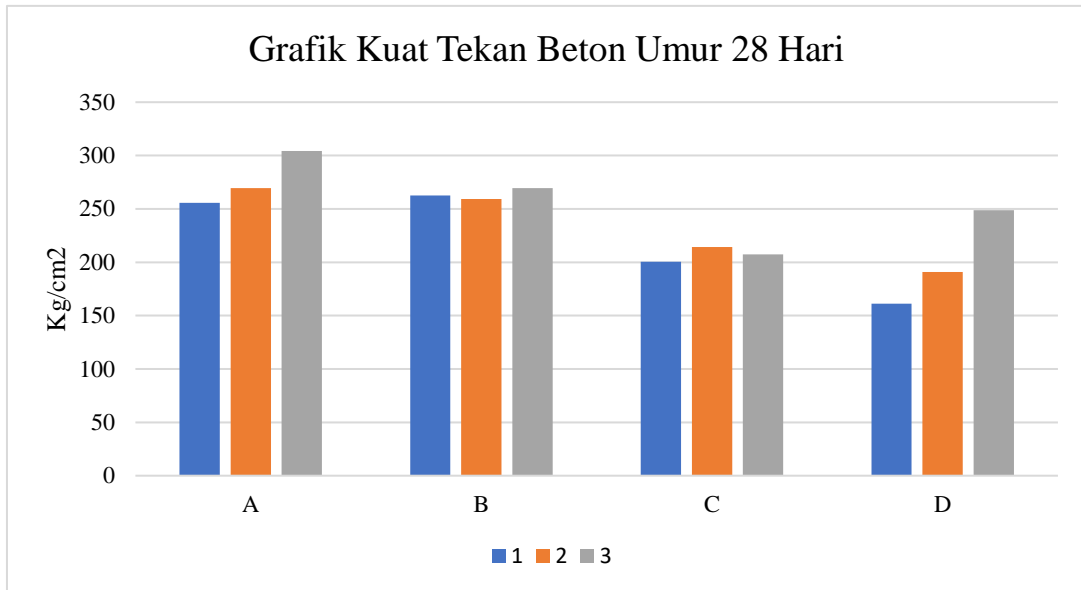
Kuat tekan beton pada umur 28 hari dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\sigma'_{(28hari)} = \frac{\sigma'_{(7hari)}}{\text{faktor koreksi umur 7 hari}}$$

Dengan rumus diatas tersebut maka perhitungan hasil konversi kuat tekan beton umur 7 hari ke umur 28 hari disajikan pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Kuat Tekan Beton Usia 28 Hari

Sampel		P (kg)	A (cm ²)	Kuat Tekan Beton (kg/cm ²)	
				7 Hari	28 Hari
A	A1	37405,890	225,000	166,248	255,767
	A2	39427,830	225,000	175,235	269,592
	A3	44482,680	225,000	197,701	304,155
B	B1	38416,860	225,000	170,742	262,679
	B2	37911,375	225,000	168,495	259,223
	B3	39427,830	225,000	175,235	269,592
C	C1	29318,130	225,000	130,303	200,466
	C2	31340,070	225,000	139,289	214,291
	C3	30329,100	225,000	134,796	207,378
D	D1	23555,601	225,000	104,692	161,064
	D2	27902,772	225,000	124,012	190,788
	D3	36394,920	225,000	161,755	248,854



Gambar 4.23 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Hasil Perhitungan di atas akan digunakan sebagai acuan dalam menghitung kuat tekan karakteristik beton. Sebelum menghitung kuat tekan karakteristik beton terlebih dahulu dicari penyimpangan atau standar deviasinya. Standar deviasi dan kuat tekan karakteristik dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

1. Standard Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\sigma'_{bi} - \sigma'_{bm})^2}{(n-1)}}$$

Keterangan :

S = Standar Deviasi

σ'_{bi} = Kuat Tekan Masing-Masing Benda Uji (kg/cm²)

σ'_{bm} = Rata-Rata Kuat Tekan Beton (kg/cm²)

n = Jumlah Benda Uji

2. Karakteristik Kuat Tekan Beton

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm} - (1,64 \cdot S)$$

Keterangan :

σ'_{bk} = Karakteristik Kuat Tekan Masing-Masing Benda Uji (kg/cm²)

σ'_{bm} = Rata-Rata Kuat Tekan Beton (kg/cm²)

Dengan rumus yang tertera di atas maka didapat hasil kuat tekan beton sebagai berikut yang tertera pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8 Kuat Tekan Karakteristik Beton

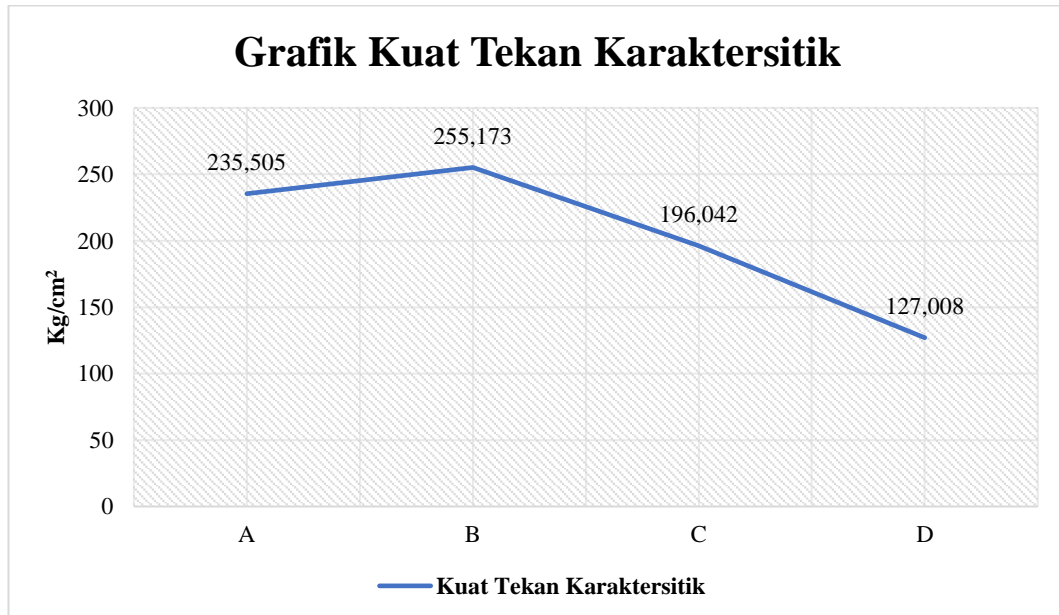
Sampel		P (Kg)	A (cm ²)	Kuat Tekan Beton(Kg/cm ²)	Standar Deviasi	Kuat Tekan Karakteristik (Kg/cm ²)
A	A1	37405,89	225	255,767	24,924	235,505
	A2	39427,83	225	269,592		
	A3	44482,68	225	304,155		
B	B1	38416,86	225	262,679	5,280	255,173
	B2	37911,38	225	259,223		
	B3	39427,83	225	269,592		
C	C1	29318,13	225	200,466	6,913	196,042
	C2	31340,07	225	214,291		
	C3	30329,10	225	207,378		
D	D1	23555,60	225	161,064	44,651	127,008
	D2	27902,77	225	190,788		
	D3	36394,92	225	248,854		

A = 0% Abu Pelepah Pisang + 0% Limbah Beton (Normal)

B = 5% Abu Pelepah Pisang + 25% Limbah Beton

C = 10% Abu Pelepah Pisang + 50% Limbah Beton

D = 15% Abu Pelepah Pisang + 75% Limbah Beton



Gambar 4.24 Grafik Kuat Tekan Karakteristik Beton

Dari hasil perhitungan kuat tekan karakteristik beton di atas maka dapat disimpulkan beton dengan jenis B (substitusi agregat kasar 25% + penambahan abu pelepah pisang 5%) memiliki kuat tekan karakteristik sebesar 255,173 kg/cm² memenuhi kuat tekan minimum berdasarkan acuan beton A (Normal) yaitu sebesar 235,505 kg/cm². Sedangkan untuk beton tipe C (substitusi agregat kasar 50% + penambahan abu pelepah pisang 10%) dengan kuat tekan karakteristik 196,042 Kg/cm² beton tipe D (substitusi agregat kasar 75% + penambahan abu pelepah pisang 15%) dengan kuat tekan karakteristik 127,008 kg/cm² tidak memenuhi kuat tekan minimum yang dibandingkan dengan beton tipe A (Normal).

4.6 Analisa Biaya Produksi Beton

Pada produksi beton dipakai acuan SNI 7656:2012. Beton A (normal) menjadi acuan untuk biaya beton mutu K₂₂₅ yang akan dikomparasikan dengan biaya produksi beton variasi B, C dan D. Berikut adalah analisa biaya produksi beton A, B, C dan D.

Tabel 4.9 Tabel Biaya Produksi Beton A (Normal)

No	Material	Harga Satuan/kg	Kebutuhan Material (kg/m ³)	Harga
1	Semen	Rp 1.160,00	371	Rp 430.360,00
2	Pasir Batu	Rp 273,00	698	Rp 190.554,00
3	Krikil	Rp 254,00	1047	Rp 265.938,00
Total Harga				Rp 886.852,00

Tabel 4.10 Tabel Biaya Produksi Beton B (Substitusi Limbah Beton 25% + Penambahan Abu Pelepah Pisang 5%)

No	Material	Harga Satuan/m ³	Kebutuhan Material (kg/m ³)	Harga
1	Semen	Rp 1.160,00	371	Rp 430.360,00
2	Pasir Batu	Rp 273,00	698,00	Rp 190.554,00
3	Krikil	Rp 254,00	785,25	Rp 199.453,50
4	Limbah Beton	Rp -	261,75	Rp -
5	Abu Pelepah Pisang	Rp -	55,65	Rp -
Total Harga				Rp 820.367,50

Tabel 4.11 Tabel Biaya Produksi Beton C (Substitusi Limbah Beton 50% + Penambahan Abu Pelelah Pisang 10%)

No	Material	Harga Satuan/m ³	Kebutuhan Material (kg/m ³)	Harga
1	Semen	Rp 1.160,00	371	Rp 430.360,00
2	Pasir Batu	Rp 273,00	698,00	Rp 190.554,00
3	Krikil	Rp 254,00	523,5	Rp 132.969,00
4	Limbah Beton	Rp -	523,5	Rp -
5	Abu Pelelah Pisang	Rp -	111,3	Rp -
Total Harga				Rp 753.883,00

Tabel 4.12 Tabel Biaya Produksi Beton D (Substitusi Limbah Beton 75% + Penambahan Abu Pelelah Pisang 15%)

No	Material	Harga Satuan/m ³	Kebutuhan Material (kg/m ³)	Harga
1	Semen	Rp 1.160,00	371	Rp 430.360,00
2	Pasir Batu	Rp 273,00	261,75	Rp 71.457,75
3	Krikil	Rp 254,00	261,75	Rp 66.484,50
4	Limbah Beton	Rp -	785,25	Rp -
5	Abu Pelelah Pisang	Rp -	166,95	Rp -
Total Harga				Rp 568.302,25

Berdasarkan analisa diatas dapat dilihat perbedaan biaya produksi pada keempat jenis beton. Beton A (Normal) menjadi acuan perbandingan dari analisa ini. pada beton B, C, dan D secara berturut-turut terdapat selisih biaya produksi sebesar Rp. 66.484,50; Rp. 132.969,00; dan Rp. 318.549,75 terhadap beton A (Normal) dimana beton A adalah beton dengan biaya tertinggi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan yang berjudul “Analisa Kuat Tekan Beton Ramah Lingkungan dengan Substitusi Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar dan Penambahan Abu Pelepah Pisang”

1. Penggunaan substitusi limbah beton terhadap agregat kasar dan penambahan abu pelepah pisang berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton. Pada penelitian ini beton B (Substitusi Limbah Beton 25%+Penambahan Abu Pelepah Pisang 5%) terjadi peningkatan kuat tekan karakteristik sebesar 8%, namun terjadi penurunan kuat tekan karakteristik untuk beton C (Substitusi Limbah Beton 50%+Penambahan Abu Pelepah Pisang 10%) sebesar 17% dan D (Substitusi Limbah Beton 75%+Penambahan Abu Pelepah Pisang 15%) sebesar 46 % jika dibandingkan dengan beton normal.
2. Nilai kuat tekan karakteristik beton umur 28 hari pada beton B terjadi kenaikan dengan nilai kuat tekan sebesar $255,173 \text{ kg/cm}^2$ terhadap beton A yang memiliki nilai sebesar $235,505 \text{ kg/cm}^2$ dan memenuhi kuat tekan minimum berdasarkan acuan beton A (normal). Namun terjadi penurunan pada beton C sebesar $196,042 \text{ kg/cm}^2$ dan beton D sebesar $127,008 \text{ kg/cm}^2$ sehingga tidak memenuhi kuat tekan minimum yang dibandingkan dengan beton A. Hal ini menunjukkan bahwa beton campuran pada beton B dapat digunakan sebagai beton struktural.
3. Berdasarkan hasil penelitian prosentase efektif pada penambahan abu pelepah pisang yaitu terjadi pada prosentase 5%. Hasil kuat tekan pada prosentase 5% terhadap penambahan abu pelepah pisang memiliki nilai kuat tekan karakteristik sebesar $255,173 \text{ kg/cm}^2$ dimana nilai kuat tekan karakteristik beton normal sebesar $235,505 \text{ kg/cm}^2$.
4. Rata-rata berat massa volume benda uji mengalami kenaikan pada beton B sebesar 2% namun mengalami penurunan pada beton C sebesar 1% dan beton D sebesar 5% terhadap beton normal. Hal ini terjadi dikarenakan semakin

bertambahnya prosentase limbah beton sebagai substitusi agregat kasar maka semakin rendah berat massa volumenya dikarenakan tingkat keausan limbah beton yang lebih rendah terhadap keausan agregat kasar (split). Sehingga semakin banyak limbah beton yang digunakan dalam campuran beton maka beton akan semakin ringan.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan penulis dan dari kesimpulan yang telah jabarkan, maka penulis menyarankan untuk penelitian selanjutnya yang dapat diperbaiki agar mendapat hasil yang lebih sesuai target dan juga valid. Berikut saran dari penelitian ini:

1. Untuk penelitian selanjutnya penulis menyarankan untuk menggunakan limbah beton dengan nilai keausan yang lebih rendah lagi.
2. Penulis menyarankan untuk menggunakan mutu limbah beton yang lebih tinggi lagi menjadi $f_c' 30$ Mpa.
3. Substitusi limbah beton baiknya dikurangi menjadi lebih sedikit karena mengingat dapat menurunkan kuat tekan apabila terlalu banyak.
4. Untuk penelitian selanjutnya agar umur benda uji dibuat lebih panjang lagi, disarankan pada umur beton 14 dan 28 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Akinyemi, B. A., & Dai, C. (2020). *Development of banana fibers and wood bottom ash modified cement mortars*. Amsterdam. Elsevier
- Akinyemi, B. A., Okonkwo, C. E., Alhassan, E. A., & Ajiboye, M. (2019). Durability and strength properties of particle boards from polystyrene–wood wastes. *Amsterdam. Springer*
- Arifin, Z., Al-Hikmah, S., Agung, B., & Kanan, W. (2020). METODOLOGI PENELITIAN PENDIDIKAN. Way Kanan. *Jurnal Al-Hikmah*
- Dicky Hastjarjo, T. *Rancangan Eksperimen Acak*. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada
- Hani, S. (2018). PENGARUH CAMPURAN SERAT PISANG TERHADAP BETON. *EDUCATIONAL BUILDING Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan Dan Sipil*.
- Hani, S., & Tanjung, Y. T. (2020). KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN SERAT PISANG DAN SUPERPLASTICIZER PADA CAMPURAN BETON. *EDUCATIONAL BUILDING Jurnal Pendidikan Teknik Bangunan Dan Sipil*.
- Junaidi, A. (2015). PEMANFAATAN ABU BATANG PISANG SEBAGAI BAHAN TAMBAH UNTUK MENINGKATKAN KUAT TEKAN BETON. Palembang. *Berkala Teknik*, 5(2), 823.
- Liu, Z., Yuan, X., Zhao, Y., Chew, J. W., & Wang, H. (2022). Concrete waste-derived aggregate for concrete manufacture. *Journal of Cleaner Production*. Amsterdam. Elsevier
- Prasetyo, L. (2018). *PENGARUH VARIASI GRADASI LIMBAH BETON SEBAGAI* . Malang. Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa (SENTRA)

- Purwanto, H., Adiguna, & Amiwarti. (2022). Pemanfaatan Pelepah Pisang Geda Desa Jejawi Sebagai Bahan Tambah Alternatif Kuat Tekan Beton. Pekanbaru. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 58–69. <https://doi.org/10.31849/siklus.v8i1.8613>
- Sakthivel, S., Parameswari, R., Gomathi, M., & Sangeetha, S. (2008). IRJET-EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CONCRETE WITH BANANA FIBER AND PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT BY BANANA LEAF EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON CONCRETE WITH BANANA FIBER AND PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT BY BANANA LEAF ASH. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3914. www.irjet.net
- SNI 03-1974-1990. (1990). *SNI 03-1974-1990 Metode pengujian kuat tekan beton*.
- SNI 7394:2008. (2008). *SNI 7394:2008 tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan beton untuk konstruksi bangunan gedung dan perumahan*.
- Soelarso, Baehaki, & Sidik, N. F. (2016). PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BETON SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR PADA BETON NORMAL TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS. In *Jurnal Fondasi* (Vol. 5, Issue 2).
- The World Banana Economy, 1985-2002*. (n.d.). Retrieved December 4, 2021, from <https://www.fao.org/3/y5102e/y5102e00.htm>
- Zuraidah, S., Rahmat, &, & Jatmiko, A. (2007). *PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH PECAHAN BATU MARMER SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI AGREGAT KASAR PADA KEKUATAN BETON*.