

Perencanaan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Superplasticizer Ligno C-491 Dan Kombinasi Ordinary Portland Cement (OPC) Dengan Semen Slag

Zulmahdi Darwis¹, Hendrian Budi Bagus Kuncoro², Jonathan Sitorus³

^{1,3}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman km. 03 Cilegon, Banten

²Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy Depok, Jawa Barat
jonathan.sitorus@gmail.com

Diterima redaksi: 1 Oktober 2022 | Selesai revisi: 28 Oktober 2022 | Diterbitkan *online*: 31 Oktober 2022

ABSTRAK

Dalam Konstruksi bangunan diperlukan Bahan bangunan yang stabil sehingga bangunan akan tahan lama dan menahan beban yang direncanakan sebesar. Material-material yang bagus dan berkualitas baik adalah dasar dalam pembentukan beton yang kuat. Dalam penelitian ini menganalisa pengaruh Semen Slag sebagai bahan kombinasi dengan semen OPC dan Ligno sebagai bahan tambah untuk meningkatkan mutu beton dan mempercepat pengikatan pada beton untuk mengetahui nilai tertinggi kuat tekan *admixture* terhadap beton digunakan variasi dosis 0.8% , 1.2% , 1.6% dan 2.0% serta menggunakan 10% semen slag sebagai bahan Kombinasi terhadap semen OPC. Hasil penelitian yang dilakukan dari penggunaan beton ligno didapat kuat tekan beton rata-rata Ligno 0,8% (50m1), 1,2% (75m1), 1,60/o (100m1) dan 2,0 (125 m1)% secara berurutan sebesar 34,79 MPa, 39,22 Mpa, 37,54 MPa, dan 31,90 MPa. Hasil Kuat tekan rata dari kombinasi semen slag dengan semen OPC tanpa Ligno adalah 20,87 Mpa. Hasil Persentase Peningkatan Kuat tekan beton Dengan Ligno 0,8% , 1,2% , 1,6% dan 2,0% terhadap beton normal secara berturut-turut adalah 67%, 88% , 80% dan 48%. Data pengujian sifat mekanis dari beton Ligno dan semen slag ini menunjukkan komposisi Ligno 1,2% (75m1) adalah dosis lingo dengan kuat tekan tertinggi dari variasi dosis lingo yang digunakan dalam penelitian ini.

Kata kunci : Sifat mekanik beton, ligno, beton mutu tinggi, semen slag

ABSTRACT

In building construction, strong building materials are needed so that the building can last a long time and can withstand the planned load. Good and good quality materials are the basis for the formation of strong concrete. In this study, to analyze the effect of Slag Cement as a combination material with OPC cement and Ligno as an added ingredient to improve the quality of concrete and accelerate the bonding of the concrete to determine the highest value of the compressive strength of the added material to concrete, a dose variation of 0.8%, 1.2% is used. , 1.6% and 2.0% and used 10% slag cement as a Combination material to OPC cement. The results of the research conducted from the use of ligno concrete showed that the average compressive strength of Ligno concrete was 0.8% (50m1), 1.2% (75m1), 1.60/o (100m1) and 2.0 (125 m1)% respectively 34.79 MPa, 39.22 MPa, 37.54 MPa, and 31.90 MPa. Results The average compressive strength of the combination of slag cement with OPC cement without Ligno is 20.87 Mpa. The results of the percentage increase in the compressive strength of concrete with Ligno 0.8%, 1.2%, 1.6% and 2.0% against normal concrete are 67%, 88%, 80% and 48%, respectively. The mechanical properties of Ligno concrete and slag cement show that the composition of Ligno 1.2% (75m1) is the dose of lingo with the highest compressive strength of the variations in the dose of lingo used in this study.

Keywords : Mechanical properties of concrete, ligno, high strength concrete, slag cement



1. Pendahuluan

Beton adalah bahan bangunan umum yang banyak digunakan dalam konstruksi. Beton sangat umum digunakan karena kelebihanannya dalam mempertahankan kuat tekan jangka panjang. Penggunaan beton harus mempertimbangkan nilai ekonomis serta kekuatan dan daya tahan.

Dalam pembangunan gedung-gedung bertingkat tinggi dan bangunan serbaguna. Mutu beton dapat ditingkatkan dengan cara memberikan bahan ganti atau menambahkan bahan tambah, salah satu bahan pengganti dan bahan tambah yang ada diantaranya adalah Ligno Water Reducer selain dapat memudahkan pengerjaan beton dan dapat mengurangi waktu pematatan beton

Ligno Water Reducer Aditif yang mengurangi jumlah air yang dibutuhkan mixer untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Bahan tambahan ini biasa disebut water reducer atau plasticizer.

Dalam penelitian ini, jenis semen yang digunakan adalah semen Portland *Ordinary* atau biasa disebut dengan semen Portland, merupakan semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling terak semen portland yang sebagian besar merupakan asam silikat hidraulik yang tersusun dari kalsium dan dapat ditumbuk bersama-sama dengan semen portland. bahan tambahan. Satu atau lebih bentuk kristal dari senyawa kalsium sulfat dapat ditambahkan bersama dengan aditif lainnya.

Semen OPC ini akan dikombinasikan dengan semen Slag yang berasal dari PT.KSI, Semen Slag adalah semen yang berasal dari residu hasil pemurnian baja. Semen slag memiliki sifat yang sama seperti semen biasa yang berfungsi sebagai perekat. Semen Slag pada umumnya memiliki kandungan kalsium, aluminium dan silika yang memiliki keunggulan sebagai berikut : Ramah lingkungan, Panas hidrasi rendah, Kuat tekan akhir lebih tinggi.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Beton

1. Beton merupakan suatu bahan komposit yang kualitasnya sangat bergantung dari kualitas bahan penyusunnya yaitu semen, pasir, kerikil dan air. Kebersihan dan perawatan adalah hal yang dapat menjaga kualitas bahan penyusun beton. [1]

Beton dikategorikan menjadi 3 jenis berdasarkan beratnya yaitu beton normal (beton yang memiliki berat sekitar 2400kg/m³), beton ringan (beton yang memiliki berat <1800 kg/m³) dan beton berat (Beton yang memiliki berat >3200kg/m³)

Beton adalah campuran semen portland, pasir, kerikil dan air, ditambah kantong udara. Campuran bahan pembentuk beton harus dirancang dan direncanakan dengan cermat untuk menghasilkan beton cair yang mudah dikerjakan, memenuhi kuat tekan desain setelah perawatan, dan ekonomis. [3]

2.2. Bahan Tambah

Aditif adalah bahan (air, semen, agregat) yang ditambahkan selama proses pencampuran beton yang bukan merupakan bahan inti pembentukan beton. Penggunaan aditif ditujukan untuk mengubah sifat beton baik dalam keadaan kering maupun tidak diawetkan. Aditif hanya efektif jika efeknya pada beton dipertimbangkan dengan cermat. Aditif biasanya ditambahkan dalam jumlah kecil, tetapi secara langsung dapat mempengaruhi proses perubahan sifat beton. Sifat beton yang ditingkatkan meliputi kecepatan hidrasi (waktu pengerasan), workability, dan ketahanan air. Penggunaan aditif dalam beton memerlukan penelitian dan pengawasan yang cermat untuk memastikan bahwa mereka memenuhi tujuan yang dimaksudkan. Beton itu sendiri dapat rusak karena penggunaan aditif yang tidak ditangani dengan hati-hati.

Bahan tambahan kimia dibagi menjadi 5 (lima) jenis.

[4].

1. Menambahkan bahan kimia untuk mengurangi penggunaan air. Dengan

menggunakan bahan tambahan ini, diharapkan untuk mencapai modulus air semen yang lebih rendah untuk nilai viskositas yang sama, atau campuran viskositas mortar yang lebih tipis untuk modulus air semen yang sama.

2. Menambahkan Bahan kimia yang memperlambat proses pengerasan beton. Misalnya, digunakan bila jarak antara tempat pengadukan beton dan tempat pengecoran jauh dan perbedaan waktu dari awal pengadukan sampai pematatan adalah satu jam atau lebih..

3. Bahan kimia tambahan untuk mempercepat proses pengikatan dan pengerasan beton.

Ini adalah bahan yang digunakan saat menuangkan mortar ke dalam struktur beton atau di bawah air, yang membutuhkan waktu. Pemrosesan segera seperti perbaikan landasan pacu pesawat, balok prategang, jembatan, dll.

Empat. Bahan tambahan kimia memiliki fungsi ganda (superplasticizers). Ini berarti lebih sedikit air dan proses pengikatan yang lebih lambat.

5. Bahan kimia tersebut memiliki fungsi ganda (supply agent) yaitu mereduksi air dan mempercepat proses pengikatan dan pengerasan beton.

Persyaratan kualitas untuk bahan tambahan kimia sesuai dengan ASTM C 494-81. Pengertian jenis dan jenis bahan tambahan kimia dapat dijelaskan sebagai berikut:

Tipe A/Tipe 1: adalah aditif yang mengurangi jumlah air yang digunakan saat mencampur beton untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu. Bahan ini bersifat water reduce.

Tipe B/Tipe 2: Ini adalah aditif yang menekan pelekatan beton. Bahan ini bersifat water reduce.

Tipe C/Tipe 3: adalah aditif yang dirancang untuk mempercepat pengerasan dan peningkatan kekuatan awal beton. Bahan ini bersifat water reduce.

Tipe D/Tipe 4: adalah aditif yang memiliki dua fungsi: mengurangi jumlah air pencampuran selama produksi beton

dan menghambat pengerasan. Bahan ini bersifat water reduce.

Tipe E/Tipe 5: adalah aditif fungsi ganda yang mengurangi jumlah air pencampuran yang dibutuhkan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengerasan beton. Bahan ini bersifat water reduce.

Tipe F/Tipe 6: Aditif yang dirancang untuk mengurangi jumlah air yang dibutuhkan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu hingga 12%. Bahan ini bersifat water reduce.

Tipe G/Tipe 7: adalah aditif yang digunakan untuk mengurangi jumlah air pencampur yang dibutuhkan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi yang diberikan 12% atau lebih tinggi, dan juga digunakan untuk menghambat pengerasan beton. Bahan ini bersifat water reduce dan retarding admixture.

2.3. Ordinary Portland Cement (OPC)

Semen Portland Biasa, juga dikenal sebagai semen Portland, diproduksi dengan menggiling bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal dari senyawa kalsium sulfat dan bahan tambahan lainnya. Semen keras. Seperti yang Anda ketahui, semen Portland diklasifikasikan menjadi 5 jenis tergantung pada aplikasinya. Kelima kategori tersebut adalah:

Jenis 1 merupakan lahan pelabuhan untuk penggunaan umum dan tidak memerlukan persyaratan khusus

- Jenis 2 mampu menahan hidrasi dan asam sulfat

- Jenis 3 adalah Portland yang membutuhkan kekuatan tinggi pada tahap awal setelah pengikatan

- Jenis 4 adalah semen yang membutuhkan hidrasi yang rendah

- Jenis 5 adalah semen Portland dengan kebutuhan asam sulfat yang tinggi.

2.4. Pengujian Awal Untuk Bahan Pembentuk Beton

1. Agregat Halus (Pasir)

a Uji Kadar Air Kadar air agregat adalah berat air yang terkandung dalam agregat dibandingkan dengan berat kering agregat.

2. Agregat Kasar

a Uji Jumlah kadar Air

Jumlah kadar air agregat adalah berat air dalam agregat dibandingkan dengan berat kering agregat. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengeringkan dan menentukan kadar air total yang ada dalam agregat

3. Air

Air dibutuhkan dalam beton untuk memulai proses sementasi, membasahi agregat dan mempermudah pekerjaan beton. Kebutuhan air secara umum meliputi:

a. Bersih.

b. Tidak diperbolehkan mengandung minyak.

c. Tidak diperbolehkan mengandung asam basa.

d. Tidak mengandung pengotor yang dapat mengganggu ikatan beton (debu, lumpur, dll)

4. Semen

Semen adalah produk industri yang kompleks yang memiliki banyak campuran dan komponen yang berbeda. Semen digunakan sebagai bahan pengikat untuk bahan bangunan. Semen dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

a) Semen Hidrolik

Semen hidrolik memiliki kemampuan untuk mengikat dan mengeras dalam air. Contoh:

kapur hidrolik, semen Pozzolo, semen Portland, dll. Semen portland adalah bahan bangunan yang paling banyak digunakan dalam produksi beton. Fungsi utama semen adalah untuk mengikat partikel agregat menjadi massa padat dan mengisi rongga antar partikel agregat..

b) Semen non-hidrolik

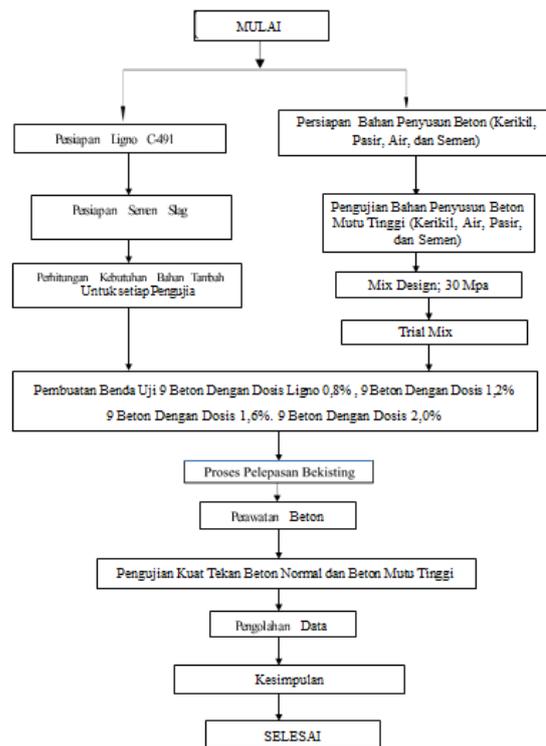
Semen non-hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras dalam air tetapi dapat mengeras di udara. Contoh :kapur.

5. Semen Slag

Semen metalurgi atau *Slag* adalah jenis semen Portland yang menggunakan terak dari industri baja sebagai bahan bakunya. Semen blast-furnace memiliki emisi CO₂ yang rendah selama proses manufaktur, menjadikannya solusi konstruksi yang sangat ramah lingkungan dan berkelanjutan. (konsisten).

Terak semen juga dikenal sebagai terak tanur sembur tanah (GGBFS) yang diperoleh dengan mendinginkan besi cair dalam tanur sembur dengan air atau uap. Meningkatkan kekuatan beton dan lebih ekonomis.

3. Metodologi Penelitian



Gambar 1. Metodologi Penelitian

3.1. Studi Eksperimen

Metode penelitian ini adalah membandingkan tingkat penggunaan atau dosis yang digunakan dalam bentuk cair Ligno C - 491 yaitu 0,8%, 1,2%, 1,6%, 2 dari berat semen. *Admixture* yang digunakan dalam penelitian ini adalah material Ligno *Water reducer* C-491.

Apakah ada perbedaan kuat tekan beton antara dosis yang direncanakan.

3.2. Proses Penelitian

Terdapat 8 proses tahapan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Tahap *Preparation*
 - a. Mengumpulkan data-data teori dasar
 - b. Persiapan material kerja yang dibutuhkan
 - c. Persiapan material dasar yang akan digunakan
 - d. Memastikan Perhitungan sudah sesuai dengan kebutuhan penelitian
2. Tahap perencanaan
 - a. Menentukan tanggal dan tahapan penelitian dalam pembuatan benda uji
 - b. Memperhitungkan biaya dan kebutuhan tenaga bantu agar pekerjaan sesuai dengan rencana
3. Tahap pengujian agregat
 - a. Agregat Halus
 - 1) Berat SSD (Kering Permukaan)
 - 2) Rasio air
 - 3) Analisis penyaring
 - 4) Rasio lumpur
 - b. Agregat Mentah
 - 1) Berat SSD (Kering Permukaan)
 - 2) Rasio air
 - 3) Rasio lumpur
 - 4) Keausan keseluruhan
3. Tahap pembuatan benda uji (Mix Design)
 - a. Penentuan Mix Design Beton (proporsi campuran)
 - b. Pembuatan benda Uji Beton Trial
 - c. Pembuatan Benda Uji beton
4. Tahap *Curing*/Perawatan

Sampel uji yang telah dibuat dikeringkan dalam bekisting silinder selama lebih dari 24 jam, setelah sudah cukup kering, benda uji dimasukkan ke dalam bak perendaman selama umur perencanaan beton yaitu umur 7, umur 14, dan umur 28 hari.
5. Tahap Uji Sampel

Pada tahap ini dilakukan pengujian kuat tekan beton terak dan non terak dengan umur 7, 14 dan 28 hari.

6. Tahapan Menganalisis Data

Pada tahap ini, data yang diperoleh dari hasil uji kuat tekan dianalisis menggunakan program Microsoft Excel untuk mendapatkan hubungan antar variabel yang diteliti dalam penelitian.

7. Tahap penarikan dan Pembuatan Kesimpulan.

Pada tahapan ini ditarik kesimpulan dari hasil yang berkaitan dengan tujuan penelitian dari data yang dianalisis pada langkah terdahulu.

3.3. Bahan Benda Uji

Material dasar yang akan dipakai pada penelitian ini

1. Semen OPC Type I dengan merk semen Merah Putih
2. Air bersih yang berasal dari Lab. teknik sipil Untirta
3. Agregat Halus (Pasir)

Material agregat halus dari toko material setempat

4. Agregat Kasar (Split)

Material kasar yang didapat dari penambangan di daerah Bojonegara

5. Zat Aditif

HR-Water Reducer Ligno C 491 dengan berat jenis 1,25 0,03 Kg/L. Ligno C 491 merupakan jenis Superplasticizer

3.4. Alat Uji

Dalam penelitian ini menggunakan alat-alat sebagai berikut :

1. Timbangan otomatis (ketelitian 0,1%)
2. Mesin Pemanas ber- suhu 110 + 5°c
3. Cawan dari logam
4. Bak Perendaman
5. *Picnometer* 500 ml
6. Kerucut pancung
7. Container
8. Bekisting besi
9. Cawan
10. Sekop

4. Analisis dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Hasil pengujian sifat fisik agregat kasar ditunjukkan pada Tabel 1 berikut

Tabel 1. Hasil Uji Agregat Kasar

Pengujian	Agregat Kasar	Keterangan
Berat Jenis	2,62gr/ml	Memenuhi SNI
Kadar Air	3,1%	Standar SNI
Analisa	25,4 mm	Batu Pecah
Keausan Agregat Kasar	19,12%	Standar SNI
Kadar Lumpur	1,9%	Tidak Sesuai SNI

Sumber: Analisa penulis, 2021

Hasil pengujian agregat kasar diperoleh kepadatan SSD 2,62g/ml, kadar air 3,1%, analisis ayakan 25,4mm, keausan agregat kasar 19,12% dan kadar lumpur 1,9%.

4.2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Tabel 2. Hasil Uji Agregat Halus

Pengujian	Agregat Kasar	Keterangan
Berat Jenis SSD	2,33 gr/ml	Memenuhi SNI
Kadar Air	4,8%	Memenuhi SNI
Analisa Saringan	2,3 mm	Pasir Halus
Kadar Lumpur	4,25%	Sesuai SNI

Sumber: Analisa penulis, 2021

Hasil dari pengujian agregat halus didapatkan berat jenis SSD 2,33 gr/ml, kadar air 4,8%, analisa saringan 2,3 mm dan kadar lumpur 4,25%.

4.3. Proporsi Campuran Beton

Hasil dari proposi campuran didapatkan dosis ligno 0,8%, 1,2%, 1,6%, dan 2% yaitu semen 12 kg, air 3,8 L, agregat halus 10 kg, agregat kasar 22,2 kg, dan semen slag 1,6 kg.

Tabel 3. Proporsi Campuran Beton

Ligno	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	Semen
0,8%	3,8 L	10 kgr	22kgr	12 kgr
1,2%	3,8 L	10 kgr	22kgr	12 kgr
1,6%	3,8 L	10 kgr	22kgr	12 kgr
2,0%	3,8 L	10 kgr	22kgr	12 kgr

4.4. Pengujian Kuat Tekan Beton

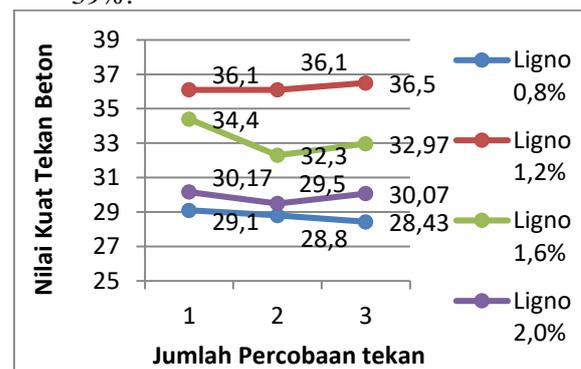
Hasil dari pengujian kuat tekan beton dalam slump dari dosis ligno 0,8% yaitu BL 0,8 dengan air 3,8 L. Dosis Ligno 1,2% yaitu BL 1,2 dengan air 3,8 L. Dosis Ligno 1,6% yaitu BL 1,6 dengan air 3,8L. Dosis Ligno 2% yaitu BL 2,0 dengan air 3,8 L.

Tabel 4. Hasil Uji Kuat Tekan

Dosis Ligno	Kuat Tekan Rata-Rata 28	Persentase Peningkatan
0,8 %	28,78 Mpa	37%
1,2 %	36,20 Mpa	73%
1,6%	33,20 Mpa	59%
2.0%	29,10 Mpa	39%

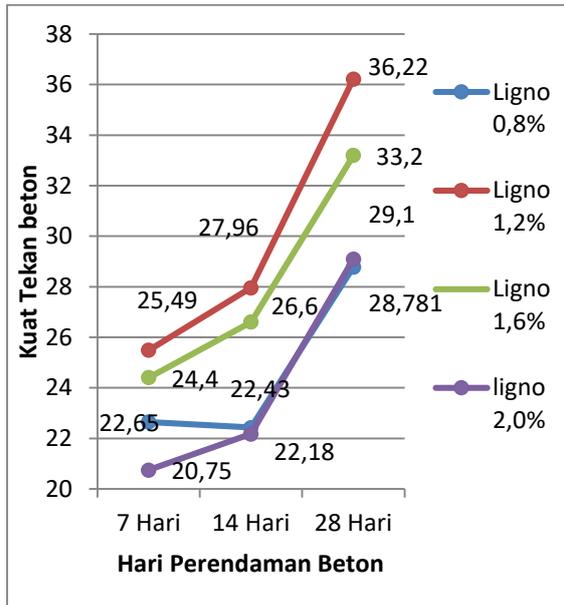
Sumber: Analisa penulis, 2021

Hasil dari pengujian kuat tekan beton yaitu pada dosis ligno 0,8% kuat tekan rata-rata 28 hari 28,78 Mpa dan persentasenya 37%. Pada dosis 1,2% kuat tekan rata-rata 28 hari 36,20 Mpa dan persentasenya 73%. Pada dosis ligno 1,6% rata-rata kuat tekan pada 28 hari 33,20 Mpa dan persentasenya 59%. Dan pada dosis ligno 2% kuat tekan rata-rata 28 hari 29,10 Mpa dan persentasenya 39%.

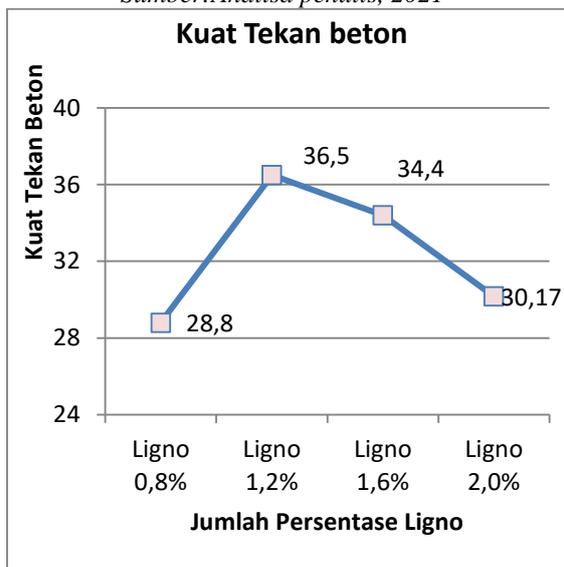


Gambar 2. Chart Nilai Kuat Tekan Beton Dengan Dosis Ligno 0.8%, 1.2%, 1.6%, dan 2.0%

Sumber: Analisa penulis, 2021



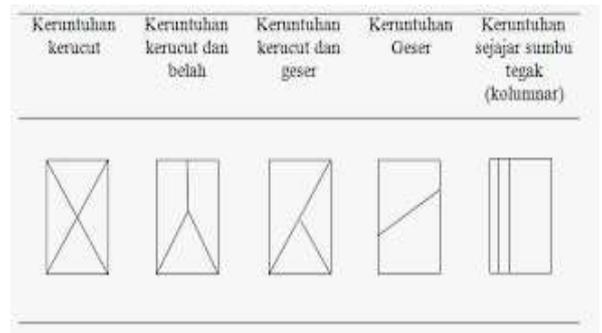
Gambar 3. Chart Nilai Kuat Tekan Beton Normal dengan Slag 10%
 Sumber: Analisa penulis, 2021



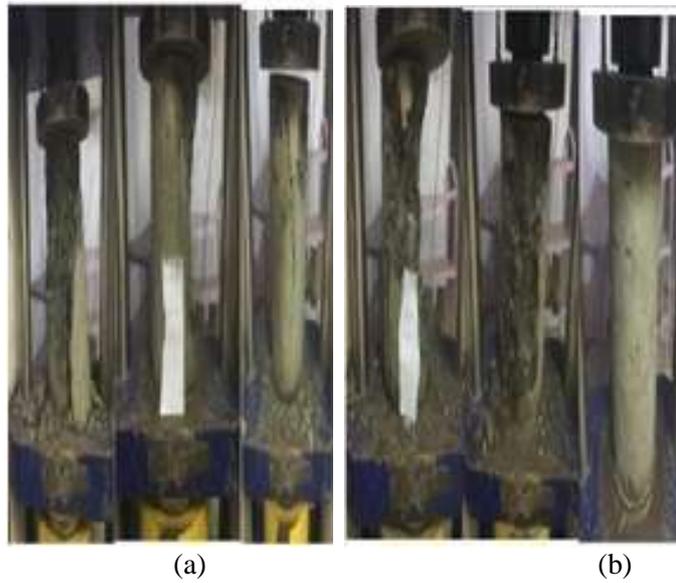
Gambar 4. Chart nilai kuat tekan beton dengan variasi Ligno
 Sumber: Analisa penulis, 2021

4.5 Analisa Pola Keruntuhan Beton

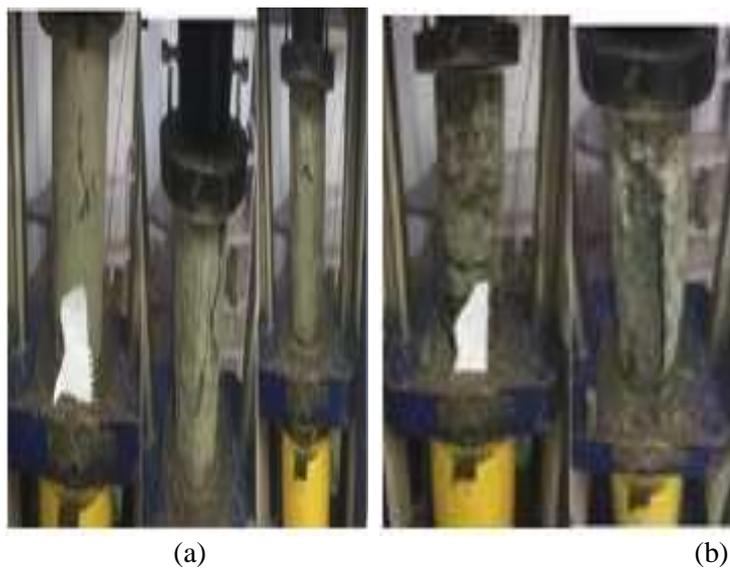
Jenis-jenis pola keruntuhan sampel beton menurut ASTM C39-03 terdiri dari keruntuhan kerucut, kerucut dan belah, kerucut dan geser, geser dan sejajar sumbu tegak (kolomnar).



Gambar 5. Pola keruntuhan sampel beton silinder (ASTM C39-03)



Gambar 6. Pola keruntuhan sampel beton dengan ligno 0,8% (a) dan ligno 1,2% (b)



Gambar 7. Pola keruntuhan sampel beton dengan ligno 1,6% (a) dan ligno 2,0% (b)

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton, Nilai Optimum dari Penelitian ini Terdapat Pada Hasil Pencampuran Ligno C-491 Dengan Dosis 1,2% Dengan Nilai Kuat Tekan Maksimum 36,5 Mpa dan Rata-rata kuat tekan senilai 36,22 Mpa. Sementara Kuat Tekan Minimum Terdapat Pada Ligno Dengan Dosis 2% Dengan Nilai Kuat Tekan Terendah 25,5 Mpa (Konversi) dan Nilai Kuat Tekan Rata-rata 31,9 Mpa (Konversi).
2. Berdasarkan Penelitian Diatas Kuat Tekan Beton Yang Dicampur Dengan Ligno Lebih Besar dari Beton Normal (Semen OPC + KSI). Dengan Nilai Kuat Tekan: Beton Normal (Semen OPC + KSI) = 20,87 Mpa

5.2. Saran

Dari hasil kesimpulan yang didapat, saran yang dapat diberikan penulis sebagai berikut:

1. Penggunaan Beton Dengan Dosis 2,0% (125ml) sudah melewati titik optimum dan disarankan tidak perlu digunakan dalam pengujian beton (3 Silinder)
2. Penggunaan Ligno Dianjurkan Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Beton
3. Semen Slag Cukup Baik digunakan sebagai Bahan Pencampur terhadap Semen Konvensional
4. Diperlukan Proses Pengerjaan Yang baik Dalam Penggunaan Ligno dikarenakan Sifat nya yang Mudah Mengikat Setelah Proses Mixing. Dikhawatirkan Ligno Beton Sudah Mulai Mengeras Sebelum Proses Pengisian Ke dalam Bekisting

6. Daftar Pustaka

- [1] K. Tjokrodimuljo, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: UGM Press, 1992.
- [2] D. P. U. dan T. L. Dirjen Cipta Karya, *Peraturan Beton Bertulang Indonesia* 1971. 1971.
- [3] Sutikno, *Panduan Praktek Beton*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2003.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, *SK SNI S-18-1990-03 "Spesifikasi Bahan Tambahan Untuk Beton."* 1990.
- [5] A. S. for T. and Materials, *ASTM C 494-81 "Standard Specification for Chemical Admixture for Concrete."* 1995.
- [6] Hernando, F, *Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi Dengan Penambahan Superplasticizer Dan Pengaruh Penggantian Sebagian Semen Dengan Fly Ash*. 2009
- [7] Pradana, T., Teknik Sipil, J., Fakultas Teknik, F., & Riau, U, *Kuat Tekan dan Porositas Beton Semen OPC, PCC, dan OPC POFA di Lingkungan Gambut*. 2016
- [8] Prayuda, H., & Pujianto, A. *Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Menggunakan Komparasi Agregat Gamalama, Agregat Merapi Dan Agregat Kali Progo*, 2018
- [9] Rose, D., & Krupp Polysius, A. G *Granulated blast furnace slag grinding*. World Cement. 2000
- [10] B. S. Nasional, *SNI 15-2049-2004 "Semen Portland,"* vol. 10, no. 1. 2002, pp. 5–14. doi: 10.1891/jnum.10.1.5.52550.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1971-2011 'Cara Uji Kadar Air Total dengan Pengeringan,'" *Badan Stand. Nas. Indones.*, p. 6, 2011.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 03- 1970-1990 'Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus,'" *Bandung Badan Stand. Indones.*, pp. 1–17, 1990.
- [13] T. Mulyono, *BAHAN BANGUNAN DAN KONSTRUKSI*. Jakarta: Perpustakaan Nasional RI, 2021.
- [14] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 03- 6861.1-2002 'Spesifikasi bahan bangunan bagian A (bahan bangunan bukan logam),' " *Badan Standar Nas. Indones.*, p. 6861, 2002.
- [15] B. H. Setiadji, H. Dewabrata, H. Ay

- Lie, and S. A. P. Subagyo, "Studi Penggunaan Semen Slag sebagai Substitusi Semen Portland pada Beton," *Siklus J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 117–128, 2020, doi: 10.31849/siklus.v6i2.4595.
- [16] Ahmad, J., Kontoleon, K. J., Majdi, A., Naqash, M. T., Deifalla, A. F., Ben Kahla, N., Isleem, H. F., & Qaidi, S. M. A. (2022). A Comprehensive Review on the Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS) in Concrete Production. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/su14148783>
- [17] Papayianni, I., Tsohos, G., Oikonomou, N., & Mavria, P. (2005). Influence of superplasticizer type and mix design parameters on the performance of them in concrete mixtures. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.010>
- [18] Pei, M., Wang, D., Hu, X., & Xu, D. (2000). Synthesis of sodium sulfanilate-phenol-formaldehyde condensate and its application as a superplasticizer in concrete. *Cement and Concrete Research*, 30(11), 1841–1845. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00389-6](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00389-6)