

Material Penyusun dan Formula Campuran Beton untuk Produk PCI Girder

Brigitha Rasendriya Christya Pradipa¹, Baskoro Abdi Praja²
Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Email: 210218564@students.uajy.ac.id

Received 29 May 2024; Revised: 22 June 2024; Accepted for Publication 26 June 2024; Published 30 June 2024

Abstract — Concrete is a construction material that consists of a mixture of various materials, namely sand as a fine aggregate, gravel as a coarse aggregate, and cement which functions as a binder, water, concrete cure and additives in the form of fly ash used as needed. Testing of materials used in concrete is divided into two types, namely testing for coarse aggregates and testing for fine aggregates. Fine aggregate testing includes mud content, organic content, fine modulus, unit weight, specific gravity, and absorption rate. Meanwhile, coarse aggregate testing includes mud content, grading for roughness, unit weight, specific gravity, and absorption rate. The purpose of this study was to determine the constituent materials and concrete mix formula for PCI Girder products. This research uses the SNI method to make a mixture of concrete formulas. The effectiveness of concrete is measured by the ability of the mix to achieve or exceed the specified strength target. In this context, Trial Mix 1 was superior as it achieved higher strength. However, in terms of cost efficiency, Trial Mix 2 was more economical and sustainable, despite its lower strength but still meeting the design target. Trial Mix 2 was considered more efficient overall as it met the strength target at a lower cost and promoted the use of more sustainable materials.

Keywords— Concrete, Aggregate, Testing, Fly ash, Efficiency

Abstrak— Beton material konstruksi yang terdiri dari campuran berbagai bahan, yaitu pasir sebagai agregat halus, kerikil sebagai agregat kasar, dan semen yang berfungsi sebagai bahan pengikat, air, obat beton dan bahan tambah berupa abu terbang yang digunakan sesuai kebutuhan. Pengujian terhadap material yang digunakan dalam beton dibagi menjadi dua jenis, yaitu pengujian untuk agregat kasar dan pengujian untuk agregat halus. Pengujian agregat halus meliputi kandungan lumpur, kandungan organik, fine modulus, berat unit, berat jenis, dan tingkat penyerapan. Sementara itu, pengujian agregat kasar mencakup kandungan lumpur, grading untuk mengetahui kekasaran, berat unit, berat jenis, dan tingkat penyerapan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui material penyusun dan formula campuran beton untuk produk PCI Girder. Penelitian ini menggunakan metode SNI untuk membuat campuran formula beton. Efektivitas beton diukur dari kemampuan campuran untuk mencapai atau melampaui target kekuatan yang ditetapkan. Dalam konteks ini, Trial Mix 1 lebih unggul karena mencapai kekuatan yang lebih tinggi. Namun, dari segi efisiensi biaya, Trial Mix 2 lebih ekonomis dan berkelanjutan, meskipun kekuatannya lebih rendah namun tetap memenuhi target desain. Trial Mix 2 dianggap lebih efisien secara keseluruhan karena memenuhi target kekuatan dengan biaya lebih rendah dan mempromosikan penggunaan material yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci— Beton, Agregat, Pengujian, Fly ash, Efisiensi

PENDAHULUAN

Dalam dunia konstruksi, Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang masih cukup populer saat ini dalam pembangunan fisik. Hal ini dikarenakan beton adalah salah satu material yang memiliki daya tekan yang cukup kuat dan biaya yang relatif terjangkau dibandingkan material lain seperti baja atau kayu, [5]. Beton merupakan bahan dasar yang tersusun dari bahan moertar berupa bahan pengikat, air dan agregat halus. Agregat ini meliputi agregat halus dan agregat kasar, dengan semen sebagai bahan pengikatnya. Biasanya, campuran beton terdiri dari komponen volume pasta (air, semen dan tambahan lainnya seperti zat kimia untuk obat beton) dan komponen volume agregat, termasuk agregat halus serta agregat kasar dan komponen tambahan berupa *fly ash* (abu terbang) yang digunakan sesuai kebutuhan.

Pengujian material dibagi menjadi dua, yaitu pengujian material agregat kasar serta pengujian agregat halus. Tujuan pengujian tersebut berfungsi untuk memastikan bahwa seluruh komponen material memenuhi baku mutu kualitas yang dipersyaratkan dan berfungsi dengan baik dalam campuran beton. Pengujian ini mencakup penilaian terhadap kualitas dan karakteristik dari agregat yang digunakan, semen, air, obat kimia beton dan *fly ash*. Dengan melakukan pengujian ini, kita dapat menentukan proporsi campuran yang optimal untuk mencapai kekuatan, *Durability*, dan efisiensi biaya yang diinginkan pada produk beton akhir.

Job Mix Formula (JMF) atau campuran formula beton adalah rancangan spesifik yang menggambarkan proporsi tepat antara agregat, semen, air, obat beton, maupun *fly ash*, untuk mencapai karakteristik beton yang diinginkan. Proses pembuatan JMF melibatkan serangkaian *Trial Mix* dan pengujian untuk memvalidasi kinerja campuran beton tersebut.

Abu terbang apabila dibuang secara terbuka dapat mengakibatkan pencemaran karena abu terbang mengandung beberapa elemen beracun seperti *arsenik*, *vanadium*, *antimony*, *boron* dan *chromium*, [9]. Pemanfaatan *fly ash* sebagai material pembentuk beton memberikan dampak positif jika ditinjau dari segi lingkungan, [10].

Batu bara menghasilkan 2 limbah yaitu *fly ash* dan *bottom ash*, [6]. PLTU Tanjung Jati mampu mengoptimalkan penggunaan *fly ash* serta *bottom ash* senilai 90%, [11]. Limbah *fly ash* memiliki beberapa keuntungan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton, seperti peningkatan kinerja beton, mengoptimalkan *workability*, *Durability*, dan kekuatan beton. Material alternatif yang banyak digunakan sebagai bahan substitusi atau pengganti semen yaitu *fly ash* dan *slag*, [4]. Pencampuran *fly ash* kedalam campuran beton

juga dapat mengurangi kebutuhan akan semen *Portland*, yang pada gilirannya mengurangi emisi CO₂ terkait dengan produksi semen. Dengan mengurangi penggunaan semen yang signifikan ini, akan dapat mengurangi biaya pembangunan dari tipe konstruksi yang sederhana, [1].

Dalam penelitian ini, *fly ash* dimanfaatkan untuk bahan tambah sebagian campuran beton bernilai tinggi dengan rencana mutu kekuatan tekan sebesar 42 MPa. Normet merupakan salah satu jenis obat beton, yang digunakan dalam mengurangi kadar air yang dibutuhkan dalam menghasilkan beton dengan target mutu tertentu. Dengan menambahkan bahan obat beton ke dalam formula campuran beton, diharapkan beton yang dihasilkan memiliki kekuatan tekan yang tinggi dengan penggunaan jumlah air yang minimal. Selain itu, diharapkan juga bahwa beton tersebut akan lebih mudah dikerjakan (*workability*). Penggunaan obat beton ini bertujuan untuk mengurangi jumlah air yang diperlukan dalam campuran beton serta untuk meningkatkan kemampuan *slump* beton hingga 208 mm. Dosis yang dianjurkan adalah antara 1% hingga 2% dari berat semen yang digunakan.

METODE PENELITIAN

Proses penelitian yang dilakukan ini yaitu dengan menciptakan benda uji, dalam hal ini adalah sampel beton, atau yang dikenal sebagai *Trial Mix*, di Laboratorium PT Adhi Persada Beton Pabrik Margorejo. Dalam penelitian ini, benda uji yang dipakai berbentuk silinder dengan ukuran dimensi diameter 15 cm dan tinggi silinder 30 cm. Pengujian pada sampel beton, dilakukan pada beberapa kurun waktu setelah pembuatannya, anatara lain pada usia 3, 7, 14, serta 28 hari untuk mengetahui perkembangan dan kekuatan beton dalam kurun waktu yang telah ditetapkan.

Penelitian ini diawali dengan cara melakukan pengumpulan data dan informasi melalui kajian literatur. Tahap selanjutnya, mempersiapkan penelitian, yang mencakup mempersiapkan semua kebutuhan alat dan bahan yang akan dipakai, serta melakukan uji awal terhadap material. Selanjutnya, dibuat desain campuran (*mix design*). Proses berikutnya melibatkan pencampuran bahan-bahan dan perawatan terhadap benda uji. Tahap terakhir melibatkan pengujian terhadap benda uji, yang diikuti dengan diskusi dan penarikan kesimpulan dari hasil yang diperoleh.

Berikut ini adalah diagram alur penelitian yang menggambarkan tahap langkah-langkah dari awal hingga selesai, seperti yang ada pada gambar dibawah :



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Bahan :

Kebutuhan bahan yang dipakai dalam proses penelitian ini, antara lain:

1. Agregat Halus (Pasir)

Kriteria agar pasir dapat dianggap berkualitas sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6820-2002, yang digunakan sebagai acuan oleh PT Adhi Persada Beton Pabrik Margorejo adalah sebagai berikut:

 - a. Memiliki gradasi yang baik (fine modulus).
 - b. Memiliki kadar lumpur yang minimal (maksimal 5%).
 - c. Rendahnya kandungan organik.

Penelitian ini memakai agregat halus yang diambil dari Klaten, Jawa Tengah.
2. Agregat Kasar (Kerikil)

PT Adhi Persada Beton Pabrik Margorejo menggunakan kerikil berukuran 10-20 mm, yang merupakan jenis batu kerikil yang cocok untuk berbagai campuran konstruksi. Kerikil ini ideal untuk aplikasi dalam berbagai jenis proyek, baik konstruksi ringan maupun berat, seperti bantalan rel kereta api, landasan pacu pesawat, serta pembangunan pelabuhan dan dermaga. Komposisi agregat berkisar 60%-70% dari berat beton,[8]. Agregat kasar dalam proses ini menggunakan bahan dari Clereng, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta.
3. Semen

Semen merupakan bagian terpenting dalam pembuatan beton, semen mempersatukan pasir, agregat kasar, agregat halus dan air

menjadi satu kesatuan (Gunawan T.,Margaret S: 2002), [3]. Jenis dan tipe semen yang digunakan oleh PT Adhi Persada Beton Pabrik Margorejo merupakan semen tipe I, dengan Jenis Semen OPC (*Ordinary Portland Cement*) karena jenis dan tipe semen ini cocok untuk berbagai macam pembuatan beton, dan tidak memerlukan syarat – syarat khusus apapun.

4. Air

Air untuk campuran pembuatan beton adalah air yang jernih, tidak berbau dan tidak memiliki kandungan zat berbahaya apapun. Air yang baik untuk digunakan dalam pembuatan beton adalah air yang tidak memiliki kandungan asam atau basa. Oleh karena itu, air yang bagus untuk pembuatan beton adalah air yang memiliki pH netral dengan nilai 7, [7].

5. Obat Beton

PT Adhi Persada Beton Pabrik Margorejo menggunakan bahan tambahan berupa obat beton Tipe F. Obat beton ini mampu mengurangi kebutuhan air dalam campuran beton hingga 12% atau lebih, serta meningkatkan *slump* beton hingga 208 mm. Produk yang biasa digunakan adalah Normet, dengan dosis yang direkomendasikan antara 1% hingga 2% dari berat semen.

6. Abu Terbang (*Fly ash*)

Abu Terbang atau *fly ash* adalah salah satu bahan tambahan yang dapat ditambahkan ke dalam pembuatan campuran beton untuk memenuhi permintaan mutu beton yang diinginkan oleh klien. *Fly ash* yang digunakan berasal dari limbah PLTU Tanjung Jati. Manfaat penggunaan abu terbang antara lain:

- a. Meningkatkan kemampuan kinerja, daya tahan, dan kekuatan beton.
- b. Penggunaan *fly ash* dapat membantu mengurangi kebutuhan akan semen.

Peralatan :

Peralatan yang digunakan dalam proses pembuatan sampel formula campuran beton ini meliputi:

- 1. Cetakan sampel beton
Cetakan yang dipakai berbentuk silinder dengan diameter 15 cm x 30 cm, difungsikan sebagai alat cetak membuat sampel benda uji beton yang akan diuji kekuatan tekannya.
- 2. Saringan
Saringan berfungsi sebagai alat untuk mengukur gradasi agregat (kasar maupun halus) dalam menentukan nilai modulus kehalusan butir.
- 3. *Compression Testing Machine* (CTM)
Mesin ini dipakai untuk menguji sampel beton terhadap kuat tekannya, yang telah diproses melalui tahapan sebelumnya.
- 4. Kerucut Abrams & papan dasar

Fungsi dari alat ini untuk mengetahui nilai *slump* (keleccakan) beton dalam uji *slump* test.

5. Timbangan

Berfungsi untuk mengukur berat bahan dan sampel, dalam waktu pengujian material yang digunakan dalam pembuatan beton, memastikan setiap komponen memiliki proporsi yang tepat sesuai dengan kebutuhan campuran formula pembuatan beton.

6. Alat Mix Beton (*Concrete Mixer*)

Berfungsi untuk mencampurkan bahan material beton secara merata dengan kapasitas yang sesuai, memastikan semua bahan seperti agregat, semen, air, dan bahan tambahan lainnya tercampur dengan baik untuk menghasilkan beton yang homogen.

7. Oven

Berfungsi untuk mengeringkan material yang uji.

8. Alat Bantu

Ember, meteran, sendok semen, palu, sekop, batang pengaduk.

Hasil Pengujian Agregat

| No. | Jenis Pengujian | Hasil Pengujian Agregat | | Standart Pengujian |
|-----|---|-------------------------|---------------|--------------------------------------|
| | | Agregat Kasar | Agregat Halus | |
| 1. | Pengujian Berat Unit | - | | SNI 03-4804-1998 |
| | Metode <i>Shoveling procedure</i> | 1,52 | 1,37 | |
| | Metode <i>Rodding procedure</i> | 1,60 | 1,62 | |
| 2. | Pengujian Kandungan Organik | - | 3 | SNI 2816:2014 |
| 3. | Pengujian Gradasi Agregat | 19 mm | 2,36 mm | SNI ASTM C136:2012 |
| 4. | Uji Kandungan Kadar Lumpur | - | | SNI 03-4142-1996 |
| | Metode Kering | 0,024% | 1,7% | |
| | Metode Basah | | 4,26% | |
| 5. | Pengujian SSD (<i>Surface Saturated Dry</i>) | 2,58 | 2,65 | SNI 03-1969-1990 SNI 03-1970-1990 |
| 6. | Pengujian LAA (<i>Loss Angeles Abrasion</i>) Nilai Keausan | 25,76%. | - | SNI 03-4142-1996 |

Gambar 2. Hasil Pengujian Agregat

Hasil JMF (Job Mix Formula) Trial Mix I Fc' 58 MPa

| No | Uraian | Tabel/Grafik/Perhitungan | Nilai |
|----|--|---|-----------------------|
| 1 | Kuat Tekan Yang Disyaratkan (benda uji silinder) | Ditetapkan | 58 Mpa pada 28 Hari |
| 2 | Devisiasi Standart | Butir 4.3.2.1.1),(2 tabel 1) | 7 Mpa |
| 3 | nilai tambah (margin) | Butir 4.2.3.1.2) | 11,48 |
| 4 | kekuatan Rata Rata yang ditargetkan | Butir 4.2.3.1.3) | 69,48 |
| 5 | Jenis Semen | Ditetapkan | Semen Portland Tipe 1 |
| 6 | jenis agregat : kasar & halus | Ditetapkan | Batu Pecah |
| | | | Alami |
| 7 | faktor air semen bebas | Tabel 2 Grafik 1 atau 2 | 0,30 |
| 8 | faktor air semen maksimum | Butir 4.2.3.2. 2) | 0,6 |
| 9 | Slump | Ditetapkan Butir 4.2.3.3 | 60-180 mm |
| 10 | ukuran agregat maksimum | Ditetapkan Butir 4.2.3.4 | 20 mm |
| 11 | kadar air bebas | Tabel 3 Butir 4.2.3.4 | 141,00 |
| 12 | kadar semen | 11 : 8 atau 7 | 470,00 |
| 13 | kadar semen maksimum | Ditetapkan | - |
| 14 | kadar semen minimum | Ditetapkan Butir 4.2.3.2 Tabel 4,5,6 | 275 |
| 15 | Faktor Air Semen yang disesuaikan | - | - |
| 16 | susunan butir agregat halus | Grafik 3 s/d 6 | Gradasi 2 |
| 17 | susunan butir agregat kasar atau gabungan | Tabel 7, Grafik 7, 8, 9 Grafik 10, 11, 12 | - |
| 18 | persen agregat halus | Grafik 13 s/d 15 | 0,5 |

| | | | |
|----|--|--|-------------------------------------|
| 19 | berat jenis agregat halus | dari properties | 2,65 |
| 20 | berat jenis agregat kasar | dari properties | 2,58 |
| 21 | berat jenis relatif agregat (gabungan) | (persen ag halus x ag. Halus)+((100% - persen ag.halus)x ag. Kasar) | 2,62 |
| 22 | berat isi beton | Grafik 16 | 2460 |
| 23 | kadar agregat Gabungan | (22 - 12 - 11) | 1849,00 |
| 24 | kadar agregat halus | 18 x 23 | 1109,40 |
| 25 | kadar agregat kasar | 23 - 24 | 739,60 |
| 26 | proporsi campuran teoritis | Tiap m3 | Tiap campuran 8 Silinder (0,050 m3) |
| | semen (kg) | 470,00 | 23,50 |
| | Air (kg/lt) | 141 | 7,05 |
| | Agregat Halus | 1109,40 | 55,47 |
| | Agregat Kasar | 739,60 | 36,98 |
| | Additive | 4,70 | 0,24 |

| | | |
|---|--------------------------|-------|
| MENCARI VOLUME SOLID | SEMEN | 0,149 |
| | ADDITIVE (1% DARI SEMEN) | 0,004 |
| | AGREGAT HALUS | 0,419 |
| | AGREGAT KASAR | 0,287 |
| | AIR | 0,141 |
| HASIL VOLUME SOLID | | 0,859 |
| VOLUME AGGREGATE = VOLUME COARSE/VOLUME SOLID | | 0,334 |

| | |
|-------|-----------------------|
| 0,295 | PASTE VOLUME |
| 0,705 | AGGREGATE VOLUME |
| 1,000 | TOTAL PASTE+AGGREGATE |

Gambar 3. Hasil JMF (Job Mix Formula) Trial Mix I Fc' 58 MPa

Hasil JMF (Job Mix Formula) Trial Mix 2 Fc' 42 MPa dengan Fly ash

| No | Uraian | Tabel/Grafik/Perhitungan | Nilai |
|----|--|------------------------------|-----------------------|
| 1 | Kuat Tekan yang disyaratkan (Benda Uji Silinder) | Ditetapkan | 42 Mpa pada 28 Hari |
| 2 | Devisiasi Standard | Butir 4.3.2.1.1).(2 tabel 1) | 5 Mpa |
| 3 | nilai tambah (margin) | Butir 4.2.3.1.2) | 8,20 |
| 4 | kekuatan Rata Rata yang ditargetkan | Butir 4.2.3.1.3) | 50,20 |
| 5 | Jenis Semen | Ditetapkan | Semen Portland Tipe 1 |
| 6 | jenis agregat : kasar & halus | Ditetapkan | Batu Pecah |
| | | | Alami |
| 7 | faktor air semen bebas | Tabel 2 Grafik 1 atau 2 | 0,30 |
| 8 | faktor air semen maksimum | Butir 4.2.3.2. 2) | 0,6 |
| 9 | Slump | Ditetapkan Butir 4.2.3.3 | 60-180 mm |
| 10 | ukuran agregat maksimum | Ditetapkan Butir 4.2.3.4 | 20 mm |
| 11 | kadar air bebas | Tabel 3 Butir 4.2.3.4 | 141 |

| | | | |
|----|--|--|---|
| 12 | Jumlah Bahan bersifat semen | 11 : 8 atau 7 | 470,00 |
| 13 | persentase semen | Ditetapkan | 80% |
| 14 | Persentase abu terbang | ditetapkan | 20% |
| 15 | jumlah semen maksimum | ditetapkan | - |
| 16 | Jumlah semen minimum (pakai bila lebih besar dari 12.lalu hitung 15) | Ditetapkan Butir 4.2.3.2 Tabel 4,5,6 | 275 |
| 17 | Faktor Air Semen yang disesuaikan | - | - |
| 18 | susunan butir agregat halus | Grafik 3 s/d 6 | Gradasi 2 |
| 19 | susunan butir agregat kasar atau gabungan | Tabel 7, Grafik 7, 8, 9 Grafik 10, 11, 12 | - |
| 20 | persen agregat halus | Grafik 13 s/d 15 | 0,5 |
| 21 | berat jenis agregat halus | dari properties | 2,65 |
| 22 | berat jenis agregat kasar | dari properties | 2,58 |
| 23 | berat jenis relatif agregat (gabungan) | (persen ag halus x ag. Halus)+((100% - persen ag.halus)x ag. Kasar) | 2,62 |
| 24 | berat isi beton | Grafik 16 | 2440 |
| 25 | kadar agregat Gabungan | (22 - 12 - 11) | 1829,00 |
| 26 | kadar agregat halus | 18 x 23 | 1097,40 |
| 27 | kadar agregat kasar | 23 - 24 | 731,60 |
| 28 | proporsi campuran teoritis (kg/m ³) | Tiap m ³ | Tiap campuran uji 0,050 m ³ (8 silinder) |
| | Semen | 376,00 | 18,80 |
| | Fly Ash | 94,00 | 4,70 |
| | Air | 141 | 7,05 |
| | Agregat Halus | 1097,40 | 54,87 |
| | Agregat Kasar | 731,60 | 36,58 |
| | Additive | 4,7000 | 0,24 |

| | | |
|---|---------------|--------|
| MENCARI VOLUME SOLID | SEMEN | 0,119 |
| | Fly Ash | 0,038 |
| | AGREGAT HALUS | 0,414 |
| | AGREGAT KASAR | 0,284 |
| | AIR | 0,141 |
| | Additive | 0,0044 |
| HASIL VOLUME SOLID | | 0,859 |
| VOLUME AGGREGATE = VOLUME COARSE/VOLUME SOLID | | 0,330 |

| | |
|-------|-----------------------|
| 0,302 | PASTE VOLUME |
| 0,698 | AGGREGATE VOLUME |
| 1,000 | TOTAL PASTE+AGGREGATE |

Gambar 4. Hasil JMF (Job Mix Formula) Trial Mix 2 Fc' 42 MPa dengan Fly ash

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian Slump

Pengujian *slump* merupakan metode untuk mengukur konsistensi beton segar, yang menunjukkan kemudahan pengerjaan beton. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan kerucut yang berdiameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dan tinggi 30 cm, [2]. *Slump test* dilakukan dengan menempatkan beton dalam kerucut terbalik, kemudian mengukur jarak antara puncak beton dan tinggi awal kerucut setelah diangkat. Pengujian ini penting untuk memastikan konsistensi beton yang tepat untuk aplikasi yang diinginkan, sehingga menghasilkan beton dengan kekuatan struktural dan daya tahan yang optimal.

Hasil dari Pengujian *Slump* ini adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Hasil Nilai *Slump* Trial Mix 1



Gambar 6. Hasil Nilai *Slump* Trial Mix 2

b. Uji Pemeriksaan Kekuatan Tekan Beton

Uji kuat tekan beton *precast* merujuk pada prosedur standar yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan beton yang telah dicetak dan mengeras dalam bentuk elemen

struktural atau komponen pra-cetak untuk menahan beban tekan. Beton *precast* adalah beton yang dicetak dalam bentuk atau ukuran tertentu di pabrik atau lokasi yang berbeda dari lokasi konstruksi akhirnya, lalu diangkut ke situs konstruksi untuk dipasang. Kekuatan tekan beton ini diperoleh dari formula campuran beton yang dirancang oleh peneliti untuk mencapai kekuatan tekan yang sesuai. Rumus menghitung hasil kekuatan tekan beton dengan cara berikut:

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \quad [8]$$

Keterangan:

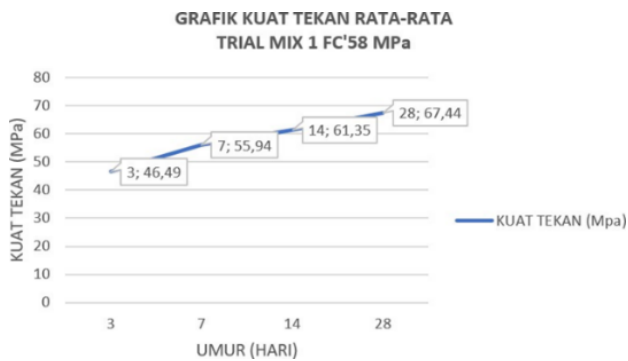
Kekuatan tekan beton = Kekuatan tekan beton dengan benda uji silinder (Mpa atau N/mm²) [8]

P = Gaya tekan aksial (N) [8]

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²) [8]

Luas penampang lintangnya akan dihitung dengan rumus luas lingkaran ($A=\pi r^2$), dimana r merupakan jari-jari silinder (setengah dari diameter lingkaran).

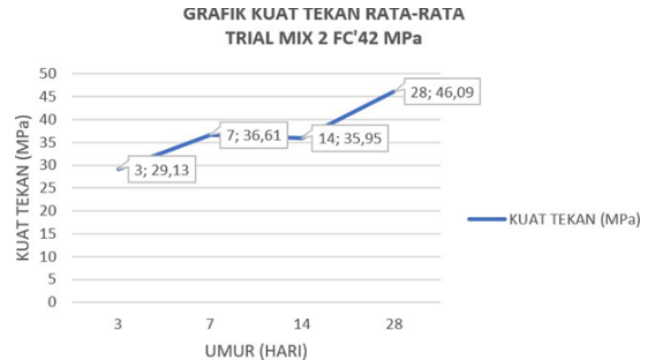
Kekuatan tekan beton yang diperoleh setelah melakukan pengujian pada usia 28 hari dengan mutu f'c 58 MPa dapat dilihat pada Gambar 7, sedangkan kekuatan tekan beton dengan mutu f'c 42 MPa dapat dilihat pada Gambar 8 berikut:



Gambar 7. Hasil Kekuatan tekan Rerata Fc' 58 MPa

Dari grafik pada Gambar 7 untuk mutu beton 58 MPa:

- Rerata kekuatan tekan beton setelah usia 3 hari sebesar 46,49 MPa
- Rerata kekuatan tekan beton setelah usia 7 hari sebesar 55,94 MPa
- Rerata kekuatan tekan beton setelah usia 14 hari sebesar 61,35 MPa
- Rerata kekuatan tekan beton setelah usia 28 hari sebesar 67,44 MPa



Gambar 8. Hasil Kekuatan tekan Rata – Rata Fc' 42 MPa

Dari grafik pada Gambar 8 untuk mutu beton 42 MPa :

- Rerata kekuatan tekan beton setelah usia 3 hari sebesar 29,13 MPa
- Rerata kekuatan tekan beton setelah usia 7 hari sebesar 36,61 MPa
- Rerata kekuatan tekan beton setelah usia 14 hari sebesar 35,95 MPa
- Rerata kekuatan tekan beton setelah usia 28 hari sebesar 46,09 MPa

c. Perhitungan Ekonomis Trial Mix

Hasil perhitungan biaya dari pengujian dan penyusunan bahan untuk membuat suatu produk PCI dengan mutu yang telah ditentukan oleh PT ADHI PERSADA BETON Pabrik Margorejo, Rincian harga satuan dan kebutuhan per meter kubik dapat ditemukan dalam tabel yang ditampilkan pada Gambar 9 dan Gambar 10 berikut:

| JMF TRIAL MIX 1 | | | |
|------------------|----------|-----------|---------------|
| MATERIAL | Satuan | KEBUTUHAN | Harga Satuan |
| PASIR | Kg | 1109,4 | Rp 92,47 |
| SPLIT | Kg | 739,6 | Rp 122,45 |
| AIR | Kg/liter | 141 | Rp 3,42 |
| SEMEN | Kg | 470 | Rp 900,00 |
| Normet Tancem 60 | Kg/liter | 4,7 | Rp 25.000,00 |
| TOTAL | | | Rp 734.126,99 |

Gambar 9. Hasil Perhitungan Ekonomis Fc' 58 MPa

| JMF TRIAL MIX 2 (FLY ASH) | | | |
|---------------------------|----------|-----------|---------------|
| MATERIAL | Satuan | KEBUTUHAN | Harga Satuan |
| PASIR | Kg | 1097,4 | Rp 92,47 |
| SPLIT | Kg | 731,6 | Rp 122,45 |
| AIR | Kg/liter | 141 | Rp 3,42 |
| SEMEN | Kg | 376 | Rp 900,00 |
| Normet Tancem 60 | Kg/liter | 4,7 | Rp 25.000,00 |
| Fly Ash (Abu Terbang) | Kg | 94 | Rp 300,00 |
| TOTAL | | | Rp 675.637,81 |

Gambar 10. Hasil Perhitungan Ekonomis Fc' 42 MPa

d. Evaluasi Hasil Trial Mix

Untuk mengevaluasi efektivitas dan efisiensi antara Trial Mix 1 pada Gambar 11 dan Trial Mix 2 pada Gambar 12, perlu mempertimbangkan beberapa aspek utama yaitu kekuatan yang dicapai dibandingkan dengan target, biaya ekonomis dari setiap campuran, serta penggunaan bahan tambah abu terbang sebagai berikut.

Tanggal Pembuatan 25 Januari 2024

| Umur Beton | TRIAL MIX 3 (58 Mpa) | | GAMBAR BENDA UJI 1 | GAMBAR BENDA UJI 2 | HASIL PENGUJIAN BENDA UJI 1 | HASIL PENGUJIAN BENDA UJI 2 |
|-------------------------------|----------------------|-------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | BENDA UJI 1 | BENDA UJI 2 | | | | |
| 3 Hari (28 Januari 2024) | 12,714 Kg | 12,745 Kg | | | | |
| | 896 kN | 746 kN | | | | |
| | 50,73 Mpa | 42,24 Mpa | | | | |
| 7 Hari (01 Februari 2024) | 13,027 Kg | 13,109 Kg | | | | |
| | 1039 kN | 938 kN | | | | |
| | 58,77 Mpa | 53,11 Mpa | | | | |
| 14 Hari (08 Februari 2024) | 1117 kN | 1050 kN | | | | |
| | 63,24 Mpa | 59,45 Mpa | | | | |
| | 13,219 Kg | 12,868 Kg | | | | |
| 28 Hari (22 Februari 2024) | 1231 kN | 1151 kN | | | | |
| | 69,70 Mpa | 65,17 Mpa | | | | |
| | | | | | | |

| Gambar Slump | Rata Rata Kuat Tekan | Persentase | Sisa Air Tertahan (liter) |
|--------------|----------------------|------------|---------------------------|
| | 46,49 | 80% | 0,062 |
| | 55,94 | 96% | |
| | 61,35 | 106% | |
| | 67,44 | 116% | |

Gambar 11. Hasil Trial Mix I Fc'58 MPa

Tanggal Pembuatan 03 Februari 2024

| Umur Beton | TRIAL MIX 4 (42 Mpa) | | GAMBAR BENDA UJI 1 | GAMBAR BENDA UJI 2 | HASIL PENGUJIAN BENDA UJI 1 | HASIL PENGUJIAN BENDA UJI 2 |
|-------------------------------|----------------------|-------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | BENDA UJI 1 | BENDA UJI 2 | | | | |
| 3 Hari (06 Februari 2024) | 11,892 Kg | 12,129 Kg | | | | |
| | 508 kN | 521 kN | | | | |
| | 28,76 Mpa | 29,50 Mpa | | | | |
| 7 Hari (12 Februari 2024) | 12,401 Kg | 12,036 Kg | | | | |
| | 643 kN | 660 kN | | | | |
| | 35,84 Mpa | 37,37 Mpa | | | | |
| 14 Hari (17 Februari 2024) | 12,421 Kg | 12,256 Kg | | | | |
| | 668 kN | 602 kN | | | | |
| | 37,82 Mpa | 34,08 Mpa | | | | |
| 28 Hari (02 Maret 2024) | 12,309 Kg | | | | | |
| | 814 kN | | | | | |
| | 46,09 Mpa | | | | | |

| Gambar Slump | Rata Rata Kuat Tekan | Persentase | Sisa Air Tertahan (liter) |
|--------------|----------------------|------------|---------------------------|
| | 29,13 | 69% | 0,081 |
| | 36,61 | 87% | |
| | 35,95 | 86% | |
| | 46,09 | 110% | |

Gambar 12. Hasil Trial Mix 2 Fc' 42 MPa Fly ash

• Kekuatan Beton

- Trial Mix 1*: Setelah 28 hari, hasil rerata kuat tekan beton adalah 67,44 MPa, yang dimana melampaui target desain sebesar 58 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa beton memiliki performa kekuatan yang sangat baik.
- Trial Mix 2*: Hasil akhir rerata kuat tekan setelah usia beton sampel 28 hari adalah 46,09 MPa, yang juga melebihi target desain sebesar 42 MPa. Hal ini menunjukkan keberhasilan dalam memenuhi kriteria desain

- Biaya Ekonomis
 - Trial Mix 1*
Biaya ekonomisnya mencapai Rp 734.126,00.
 - Trial Mix 2*
Biaya ekonomisnya mencapai Rp 675.637,00.

- Penggunaan Abu Terbang (*Fly ash*)
 - Trial Mix 1* tidak menggunakan abu terbang dalam campurannya.
 - Trial Mix 2* memanfaatkan abu terbang sebagai bahan tambah, yang merupakan praktik yang baik dalam hal keberlanjutan dan pengurangan penggunaan semen. Ini tidak hanya dapat mengurangi biaya tetapi juga meningkatkan beberapa aspek *Durability* beton.

- Evaluasi Efektivitas dan Efisiensi
 - Efektivitas dalam konteks ini dapat diartikan sebagai kemampuan campuran untuk memenuhi atau melampaui target kekuatan yang ditetapkan. Dalam hal ini, kedua *Trial Mix* efektif, tetapi *Trial Mix 1* lebih unggul karena mencapai kekuatan yang jauh lebih tinggi.
 - Efisiensi mengacu pada penggunaan sumber daya, termasuk biaya ekonomis dan material, untuk mencapai tujuan tersebut. *Trial Mix 2* lebih efisien dari segi biaya, dengan penghematan yang signifikan dibanding *Trial Mix 1* dan penggunaan bahan tambah yang berkelanjutan.

• Kesimpulan Hasil *Trial Mix*

Jika prioritas proyek adalah mencapai kekuatan maksimal tanpa mempertimbangkan batasan biaya, *Trial Mix 1* merupakan pilihan yang lebih baik karena menyediakan kekuatan yang jauh melebihi target dengan biaya yang lebih tinggi.

Namun, jika efisiensi biaya dan keberlanjutan adalah pertimbangan utama tanpa mengorbankan kriteria kekuatan minimal, *Trial Mix 2* adalah pilihan yang lebih efisien dan ekonomis. Meskipun kekuatannya lebih rendah, masih memenuhi target desain dan menggunakan bahan tambahan berupa abu terbang (*Fly ash*) yang dapat meningkatkan keberlanjutan campuran.

Dengan demikian, *Trial Mix 2* mungkin dianggap lebih efisien secara keseluruhan, karena memenuhi target kekuatan yang ditetapkan dengan biaya yang lebih rendah dan mempromosikan

Penggunaan material yang lebih berkelanjutan. penggunaan *fly ash* dalam campuran beton untuk *PCI Girder* tidak hanya meningkatkan kinerja dan ketahanan beton, tetapi juga menawarkan solusi yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

KESIMPULAN

Penelitian yang dilakukan berhasil meningkatkan pengetahuan serta pemahaman mengenai sebagian pekerjaan yang ada pada Perusahaan *Precast* Beton. Selain itu, penelitian ini untuk mengevaluasi dan menentukan bagaimana *fly ash* dapat mempengaruhi kualitas, kinerja mekanis, dan ketahanan beton yang digunakan dalam produksi *PCI Girder*, serta bertujuan untuk mengidentifikasi proporsi optimal penyusunan material pada mutu rencana beton 58 Mpa dan beton dengan mutu rencana sebesar 42 MPa menggunakan abu terbang (*fly ash*) dapat meningkatkan kemampuan pengerjaan (*workability*), kekuatan tekan, serta ketahanan beton (*durability*), sekaligus mengurangi biaya produksi dan dampak lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini berupaya memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi beton yang lebih efisien dan berkelanjutan untuk aplikasi struktural yang menuntut seperti *PCI Girder*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. D. Alfian Hendri Umboh, "Jurnal Sipil Statik Vol.2 No. 7, November 2014," Pemanfaatan Abu Terbang (*FLYASH*) dari PLTU II SULAWESI UTARA SEBAGAI Substitusi Parsial Semen terhadap kekuatan tekan beton , pp. 325-328, 2014.
- [2] L. I. Eko Bagus Saputra, "Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil," Pengaruh Abu , pp. 67-71, 2019.
- [3] M. E. Elia Hunggurami, "Jurnal Teknik Sipil," PERBANDINGAN DESAIN CAMPURAN BETON NORMAL MENGGUNAKAN SNI 03-2834-2000 DAN SNI 7656:2012, pp. 165-172, 2017.
- [4] A. O. Irlan, G. Kurniawati and M. Sofyan, "Tinjauan Karakteristik Bahan Penyusun Beton Berpori dengan Penggunaan *Fly ash* dan *Superplasticizer* untuk Perkerasan Jalan Ramah Lingkungan," *jurnal.itph.ac.id*, 2020.
- [5] A. M. Adiasa, D. K. Prakoso, J. U. D. Hatmoko, and T. D. Santoso, "EVALUASI PENGGUNAAN BETON PRECAST DI PROYEK KONSTRUKSI," *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 126-134, Jun. 2014
- [6] F. A. & D. Pertiwi, "Pengaruh Variasi *Fly ash* Sebagai Pengganti Sebagian Pasir untuk beton mutu 42 Mpa," pp. 1-7.
- [7] B. B. A. & A. C. F.M. Irfan, "Pengaruh PH air dan penambahan *Fly ash* pada kekuatan tekan beton fc 35 MPA," pp. 1-7, 2022.
- [8] A. Prayogi, "Pengaruh campuran abu sekam padi dan abu arang tempurung sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kekuatan tekan beton," pp. 1-9, 2021.
- [9] M. D. & R. S. W. Adrian Philip Martinus, "Jurnal Sipil Statik Vol. 3 No. 11 November 2015," Pengaruh Penambahan abu terbang (*fly ash*) terhadap kuat tarik belah beton, p. 8, 2015.
- [10] M. Setiawati, "*Fly ash* sebagai bahan pengganti semen pada beton," p. 8.
- [11] PT PLN (Persero) Pembangkitan Tanjung Jati B, " mengoptimalisasi pemanfaatan *fly ash* dan bottom ash sebesar 90% serta pengurangan 126.252 m2 konsumsi air demin setiap tahun.," 2024.

PENULIS



Brigitha Rasendriya Christya Pradipa, prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.



Baskoro Abdi Praja, prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.