

ANALISIS KEKUATAN BETON RINGAN DENGAN LIMBAH ABU ALUMINIUM SEBAGAI SUBSTITUSI PASIR

Rino Nobrian Mas¹, Akhmad Suryadi², Utami Retno Pudjowati³

¹Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang

^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang Zikrar

¹rinonobrian00@gmail.com, ²akhmadsuryadi1@gmail.com, ³utami.retno@polinema.ac.id

ABSTRAK

Terdapat pabrik pembuat alumunium batangan di Jombang yang menghasilkan limbah abu alumunium cukup banyak, dan dapat digunakan untuk pengganti pasta pada beton ringan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa beton ringan yang disubstitusi abu limbah alumunium terhadap pasir. Pasir merah dan kerikil porous digunakan untuk mendapatkan berat isi kurang dari 1,860 kg/m³ dan mengetahui kekuatan tekan tertinggi. Menggunakan 4 variasi abu limbah alumunium yaitu 0%, 5%, 7,5% dan 10% substitusi pasir dan Penelitian dilakukan di Laboratorium Beton Politeknik Negeri Malang. Beton ringan menggunakan 12 silinder Ø 15 x 30 cm yang melalui proses perendaman sehari sesudah pengecoran dan sehari sebelum beton di uji kuat tekan dan kuat tarik belah pada umur 7, 14 dan 28 hari. Penelitian ini menghasilkan abu limbah alumunium dapat mengembangkan beton dengan prosentase pengembangan rata-rata variasi abu alumunium 5%, 7,5% dan 10% masing-masing adalah 1,22%; 1,78%; dan 3%. Pada hari ke 28 rata-rata kuat tekan variasi abu alumunium 0% , 5%, 7,5% dan 10% masing-masing adalah 22,27 Mpa; 11,06 Mpa; 10,47 Mpa dan 6.60 Mpa untuk kuat tarik belah adalah 2,50 Mpa; 2,22 Mpa; 2.12 Mpa dan 1,46 Mpa. Jumlah biaya yang dianggarkan adalah Rp. 728,635.719/m³ dan perbedaan setiap variasi hanya 0.99% lebih murah.

Kata kunci : abu limbah alumunium, substitusi pasir, kuat tekan, kuat tarik, beton ringan

ABSTRACT

There is an alumunium bar manufactory at Jombang that produces a waste aluminum ash a lot and can be use for pastes on lightweight concrete. This thesis's purpose is analyzing the performance of lightweight concrete that substitute by waste alumunium ash against sand. Red sand and porous gravel are used for got a content weight less than 1,860 kg/m³ and find out a highest compressive strength. Using 4 variation of waste alumunium ash, there are 0%, 5%, 7,5% and 10% that substitution for sand and this research implemented at Politeknik Negeri Malang's concrete laboratory. Lightweight concrete using 12 cylinders with Ø 15 x 30 cm which goes through the immersion process one day after casting and one day before the concrete is tested for compressive strength and tensile strength at ages 7, 14 and 28 days. The result of this thesis is waste alumunium ash can expand a concrete with development average of variation waste alumunium ash percentage 5%, 7.5%, 10% are 1,22%; 1,78%; dan 3%. At 28 days, the average of compressive strength and tensile strength test of alumunium ash variation 0% , 5%, 7,5% dan 10% are 22,27 Mpa; 11,06 Mpa; 10,47 Mpa and 6.60 Mpa for compressive strength and 2,50 Mpa; 2,22 Mpa; 2.12 Mpa dan 1,46 Mpa for tensile strength. The total of estimate cost is Rp. 728,635.719/m³ and the difference every variation only 0.99% cheaper.

Keywords : alumunium ash, sand substitution, compressive strength, tensile strength, lightweight concrete

1. PENDAHULUAN

Beton Ringan

Beton ringan memiliki berat jenis lebih rendah dari pada beton pada umumnya dan menjadi salah satu solusi sebagai bahan konstruksi yang populer hingga banyak dipakai karena banyak kelebihannya. Beton ringan memiliki campuran

agregat yang sama dengan beton biasa, namun agregat kasarnya lebih ringan karena diganti agregat yang berat jenisnya lebih kecil sehingga beton tersebut memiliki jumlah pori yang lebih banyak. Pori – pori tersebutlah yang

menyebabkan beton jauh lebih ringan. Pemilihan agregat ringan didasarkan pada tujuan konstruksi itu sendiri beserta berat isi agregat sesuai dengan yang disyaratkan. Salah satu bahan yang dapat digunakan dalam desain beton ringan yaitu Serbuk Alumunium.

Alumunium

Alumunium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik. Berat jenis alumunium yaitu $2,643 \text{ kg/m}^3$ atau sekitar $1/3$ dari berat besi atau baja dan mempunyai tegangan tarik yang cukup tinggi. Serbuk alumunium yang digunakan dalam penelitian ini merupakan limbah dari hasil bakaran produksi batangan alumunium usaha rumahan oleh Santi di Kabupaten Jombang yang nantinya akan dikirim dan dibentuk menjadi panci oleh pabrik panci di Jakarta. Menurut Santi, 2020 usaha rumahan tersebut dapat menghasilkan 0.5 ton limbah perhari, dan saat ini limbah residu berupa abu alumunium tersebut oleh masyarakat Jombang digunakan sebagai timbunan dam dan digunakan sebagai perkerasan jalan – jalan yang rusak.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan alumunium terhadap kuat tekan beton. Caranya yaitu dengan membandingkan persen penambahan serbuk alumunium.

2. METODE

Komposisi Beton

Komposisi beton yang akan digunakan pada beton ringan ini terdiri dari dua perlakuan campuran dimana perancangan tanpa campuran limbah abu alumunium dan menggunakan sebagian campuran limbah abu alumunium. Beton ringan dengan komposisi yang terdiri dari semen gresik, batu porous, air dan pasir sedangkan komposisi penggantinya terdiri dari semen gresik, batu porous, limbah abu alumunium, air dan pasir sebagai campuran beton ringan.

Agregat Halus

1. Pengujian Kadar Air

Menurut SNI – 1971 – 2011. Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui berapa banyak kandungan air di dalam pasir merah

2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

Menurut SNI 03-2461-2002. Pengujian berat jenis dan penyerapan pasir merah cukup sulit untuk menentukan kadar SSD karena terlalu mudah menyerap air sehingga dalam pembentukan kerucut pasir tidak mudah runtuh.

3. Pengujian Berat Isi

Menurut ASTM C-29M-03. Berat isi disebut juga sebagai berat satuan agregat adalah rasio antara berat agregat dan isi / volume. Berat isi agregat diperlukan dalam perhitungan bahan campuran beton, apabila jumlah bahan ditakar dengan ukuran volume, dalam pengujian berat isi

pasir merah menggunakan 3 jenis pengujian yaitu berat isi lepas, padan dan goyang

4. Uji Gradasi

Menurut ASTM C-136-01. Gradasi atau susunan bituran adalah distribusi agregat butiran dari ukuran agregat. Distribusi ini bervariasi dapat dibedakan menjadi tiga dan untuk mengetahui gradasi tersebut dilakukan pengujian melalui Analisa ayak sesuai standar.

5. Pengujian Kadar Organik

Menurut ASTM C-142-97. Pasir wajak atau yang disebut dengan pasir merah merupakan pasir yang memiliki kadar organik tidak terlalu tinggi. Pencampuran pasir merah dengan larutan NaOH yang didiamkan selama 24 jam didalam botol dengan penambahan larutan yaitu 3%.

Agregat Kasar (Kerikil Porous)

Agregat kasar menggunakan kerikil porous yang diambil dari Kecamatan Dau Kota Malang. Pengujian Agregat Kasar yang diuji fisik meliputi:

1. Pengujian Berat Jenis

Menurut SNI 03-2461-2002. Berat jenis adalah nilai perbandingan antara massa dan volume dari kerikil porous. Sedangkan penyerapan berarti tingkat atau kemampuan kerikil porous untuk menyerap air.

2. Pengujian Kekerasan

Menurut BS: 882. Pengujian kekerasan pada kerikil porous bertujuan untuk menentukan sifat agregat kasar berdasarkan kekerasan dalam kaitan penggunaan untuk bahan campuran beton.

3. Pengujian Keausan

Menurut ASTM-C-131-55. Pengujian keausan bertujuan untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen dengan hasil yang dapat digunakan dalam perencanaan bahan perkerasan konstruksi beton.

Beton Segar

Karakteristik campuran beton segar secara tidak langsung mempengaruhi beton yang telah mengeras. Pengujian dilakukan pada beton segar meliputi pengujian *slump*, Bobot isi dan kadar udara.

Slump

Slump pada dasarnya merupakan salah satu pengtesan sederhana untuk mengetahui *workability* beton segar sebelum diterima dan diaplikasikan dalam pekerjaan pengecoran

Kadar Udara Beton

Kandungan udara di dalam beton segar merupakan acuan dalam pembuatan beton keras, semakin tinggi

kandungan kadar udara dalam beton semakin menurunkan kuat tekan pada beton SNI 8140:2914.

Pengujian Bobot Isi Beton

Berat isi beton segar adalah berat beton setiap satuan volume yang diukur ketika beton masih dalam keadaan plastis (SNI 1973:2008). Berat isi beton digunakan untuk membandingkan antara berat isi beton campuran dengan berat isi beton yang diperkirakan dalam *mix design*. Berikut perkiraan berat isi beton menurut SNI 7656:2012.

Kuat Tekan Beton Ringan

Dalam praktek ada dua macam bentuk benda uji yang sering dipakai, yaitu kubus dengan ukuran 150 x 150 x 150 mm, silinder 150 x 300 mm. Semua benda uji dicetak, dirawat, dan dites menurut peraturan atau standar yang ada (Sujatmiko, 2019:95). Kuat tekan beton dapat dihitung berdasarkan **Persamaan 1**.

$$f'c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

Dimana: $f'c$ = Kuat tekan (Mpa)
 P = Beban Tekan (N)
 A = Luas Penampang Benda Uji (mm²)

Kuat Tarik Belah

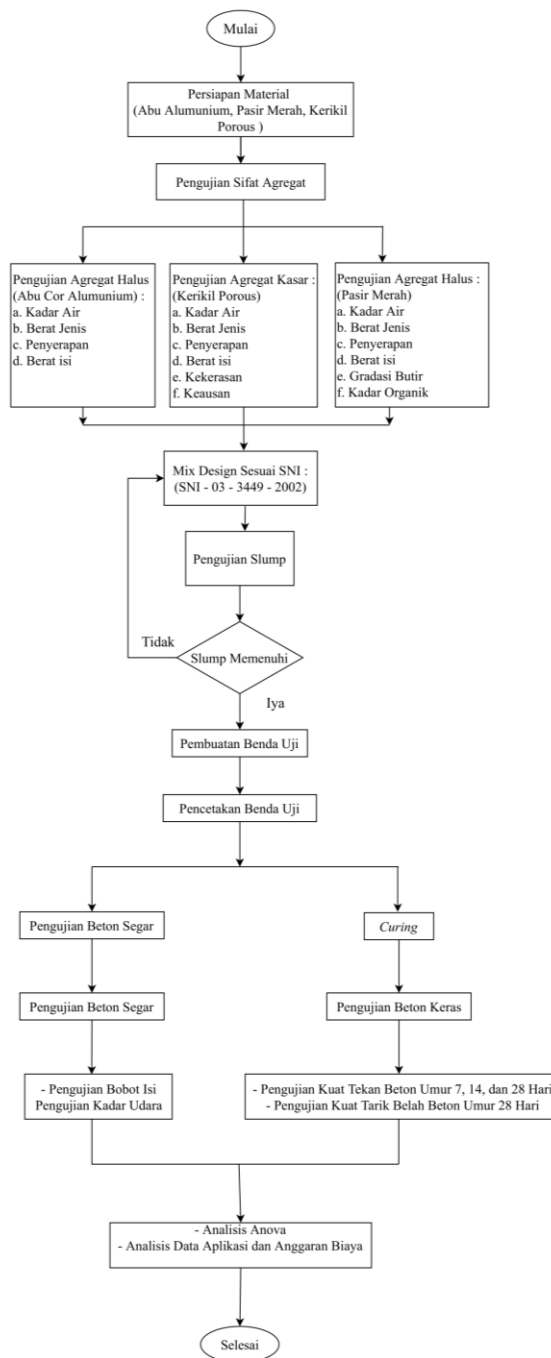
Nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk silinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji tersebut yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji ditekan. Kuat tarik belah beton dapat dihitung berdasarkan **Persamaan 2**.

$$Fct = \frac{2P}{\pi DT} \tag{2}$$

Dimana: Fct = Kuat Tarik belah dalam (MPa)
 P = Beban uji maksimu (N)
 D = Diameter benda uji (mm)
 T = Tinggi benda uji (mm)

Diagram alir (Flow Chart)

Langkah – langkah pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Flow Chart

Mix Design

Mengacu kepada SNI 03-3449-2002 Perencanaan *Mix Design* dimaksudkan untuk pemilihan material atau bahan, menentukan proporsi masing – masing bahan. Berikut hasil perencanaan secara umum untuk beton ringan dengan substitusi serbuk cor aluminium.

Kuat tekan rencana $f'c$ = 17.5 Mpa = 178.45 Kg/cm³
 Standar Deviasi = 70 Kg/cm²
 Nilai tambah = 114.8 Kg/cm²

| | |
|---|----------------------------|
| Kuat tekan rata – rata | = 293.2 Kg/cm ² |
| Jenis Kerikil | = Batu porous |
| Jenis Pasir | = Pasir merah |
| FAS yang digunakan | = 0.7 |
| Jenis semen yang digunakan | = Semen Gresik |
| Berat isi beton rencana | = 1850 Kg/cm ³ |
| Kebutuhan air per meter kubik | = 250 liter |
| Kebutuhan semen per meter kubik | = 357.1 Kg/m ³ |
| Presentase pasir terhadap campuran | = 60% |
| Kebutuhan agregat campuran | = 1.243 Kg/m ³ |
| Kebutuhan agregat halus | = 745.7 Kg/m ³ |
| Kebutuhan agregat kasar per meter kubik | = 497.1 Kg/m ³ |

Maka untuk 1 m³ beton diperlukan.

| | |
|---------|---------------------------|
| Semen | = 357.1 Kg/m ³ |
| Air | = 250 Liter |
| Pasir | = 745.7 Kg/m ³ |
| Kerikil | = 497.1 Kg/m ³ |

Volume 1 benda uji silinder = 0.005 m³

Jadi kebutuhan bahan untuk 48 benda uji adalah :

| | |
|---------|---------------------------|
| Semen | = 136.3 Kg/m ³ |
| Air | = 95.43 Kg/m ³ |
| Pasir | = 284.6 Kg/m ³ |
| Kerikil | = 189.8 Kg/m ³ |

Hasil Pengujian Material Penyusun Beton

1. Pengujian Limbah Abu Alumunium

Limbah abu alumunium diperoleh dari pabrik Cor Alumunium Kabupaten Jombang

a. Pengujian Kadar Air Limbah Abu Alumunium

Hasil dari pengujian kadar air limbah abu alumunium dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Pengujian Limbah Abu Alumunium

| Pemeriksaan | Benda Uji | |
|-------------------------|----------------|---------------|
| | I | II |
| Berat Cawan | W ₁ | 89.4 88.4 |
| Berat Cawan + BU | W ₂ | 616.15 639.04 |
| Berat Benda Uji | W ₃ | 526.25 550.64 |
| Berat Cawan + BU Kering | W ₄ | 607.75 630.34 |
| Berat BU Kering Oven | W ₅ | 517.85 541.94 |
| Kadar Air | | 1.62 1.61 |
| Kadar Air Rata – Rata | | 1.61% |

Sumber : Hasil Pengujian

b. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Limbah Abu Alumunium

Hasil dari pengujian kadar air limbah abu alumunium dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat Jenis Abu Alumunium

| Pemeriksaan | | Benda Uji | | |
|----------------------------|----------------|-----------|----------|-------------|
| | | I | II | |
| Berat BU JPK/SSD | B _J | 500 | 500 | |
| Berat BU Kering Oven | B ₂ | 486.59 | 493.64 | |
| Berat Piknometer + Air | B ₃ | 1,294.78 | 1,294.78 | |
| Berat Piknmeter + Air + BU | B ₁ | 1,616.03 | 1,611.75 | |
| Pemeriksaan | | Benda Uji | | Rata - Rata |
| | | I | II | |
| Bj Bulk | | 2.72 | 2.70 | 2.71 |
| Bj Jpk/SSD | | 2.80 | 2.73 | 2.76 |
| Bj App | | 2.94 | 2.79 | 1.87 |
| Penyerapan | | 2.76 | 1.29 | 2.02% |

Sumber : Hasil Pengujian

c. Hasil Pengujian Berat Isi Limbah Abu Alumunium

Hasil dari pengujian kadar air limbah abu alumunium dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Isi Lepas, Padat dan Goyang

| Pemeriksaan | | Benda Uji | |
|-------------------------------|-------------------|-----------|-------|
| | | I | II |
| Berat Mould | W ₁ | 2,284 | 2,284 |
| Berat Mould + BU | W ₂ | 5,027 | 5,024 |
| Berat BU | W ₃ | 2,743 | 2,740 |
| Berat Mould + Air | W ₄ | 4,845 | 4,845 |
| Berat Air / Volume Mould | V | 2,561 | 2,561 |
| Berat Isi Agregat | W ₃ /V | 1.07 | 1.07 |
| Rata – Rata Berat Isi Agregat | | 1.07 | |
| Pemeriksaan | | Benda Uji | |
| | | I | II |
| Berat Mould | W ₁ | 2,284 | 2,284 |
| Berat Mould + BU | W ₂ | 5,584 | 5,605 |
| Berat BU | W ₃ | 3,299 | 3,321 |
| Berat Mould + Air | W ₄ | 4,845 | 4,845 |
| Berat Air / Volume Mould | V | 2,561 | 2,561 |
| Berat Isi Agregat | W ₃ /V | 1.29 | 1.30 |
| Rata – Rata Berat Isi Agregat | | 1.29 | |
| Pemeriksaan | | Benda Uji | |
| | | I | II |
| Berat Mould | W ₁ | 2,284 | 2,284 |
| Berat Mould + BU | W ₂ | 5,584 | 5,605 |
| Berat BU | W ₃ | 3,429 | 3,431 |
| Berat Mould + Air | W ₄ | 4,845 | 4,845 |
| Berat Air / Volume Mould | V | 2,561 | 2,561 |
| Berat Isi Agregat | W ₃ /V | 1.34 | 1.34 |
| Rata – Rata Berat Isi Agregat | | 1.34 | |

Sumber : Hasil Pengujian

2. Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pasir merah.

a. Pengujian Kadar Air Pasir

Hasil dari pengujian kadar air pasir dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Data Pengujian Kadar Air Pasir

| Pemeriksaan | | Benda Uji | |
|-------------------------|----------------|-----------|--------|
| | | I | II |
| Berat Cawan | W ₁ | 69.17 | 72.22 |
| Berat Cawan + BU | W ₂ | 500 | 500 |
| Berat Benda Uji | W ₃ | 430.83 | 427.78 |
| Berat Cawan + BU Kering | W ₄ | 412.15 | 412.96 |
| Berat BU Kering Oven | W ₅ | 342.98 | 340.74 |
| Kadar Air | | 25.61 | 25.54 |
| Kadar Air Rata – Rata | | 25.58% | |

Sumber : Hasil Pengujian

b. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Pasir

Hasil dari pengujian kadar air limbah abu aluminium dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Data Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Pasir

| Pemeriksaan | | Benda Uji | | Rata - Rata |
|----------------------------|----------------|-----------|--------|-------------|
| | | I | II | |
| Berat BU JPK/SSD | B _J | 500 | 500 | |
| Berat BU Kering Oven | B ₂ | 450.45 | 449.82 | |
| Berat Piknometer + Air | B ₃ | 672.77 | 672.77 | |
| Berat Piknmeter + Air + BU | B ₁ | 947.07 | 9.50 | |
| Pemeriksaan | | Benda Uji | | Rata - Rata |
| | | I | II | |
| Bj Bulk | | 2.00 | 2.02 | 2.01 |
| Bj Jpk/SSD | | 2.22 | 2.24 | 2.23 |
| Bj App | | 2.56 | 2.61 | 2.58 |
| Penyerapan | | 11.00 | 11.16 | 11.08% |

Sumber: Hasil Pengujian

c. Pengujian Berat Isi Pasir

Hasil dari pengujian berat isi pasir dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Data Pengujian Berat Isi Lepas, Padat dan Goyang

| Pemeriksaan | | Benda Uji | |
|------------------|----------------|-----------|-------|
| | | I | II |
| Berat Mould | W ₁ | 3,314 | 3,314 |
| Berat Mould + BU | W ₂ | 6,915 | 6,920 |

| Pemeriksaan | | Benda Uji | |
|-------------------------------|-------------------|-----------|-------|
| | | I | II |
| Berat BU | W ₃ | 3,601 | 3,606 |
| Berat Mould + Air | W ₄ | 6,222 | 6,222 |
| Berat Air / Volume Mould | V | 2,908 | 2,908 |
| Berat Isi Agregat | W ₃ /V | 1.24 | 1.24 |
| Rata – Rata Berat Isi Agregat | | 1.24 | |

| Pemeriksaan | | Benda Uji | |
|-------------------------------|-------------------|-----------|-------|
| | | I | II |
| Berat Mould | W ₁ | 3,314 | 3,314 |
| Berat Mould + BU | W ₂ | 7,239 | 7,253 |
| Berat BU | W ₃ | 3,925 | 3,939 |
| Berat Mould + Air | W ₄ | 6,222 | 6,222 |
| Berat Air / Volume Mould | V | 2,908 | 2,908 |
| Berat Isi Agregat | W ₃ /V | 1.35 | 1.35 |
| Rata – Rata Berat Isi Agregat | | 1.35 | |

| Pemeriksaan | | Benda Uji | |
|-------------------------------|-------------------|-----------|-------|
| | | I | II |
| Berat Mould | W ₁ | 3,314 | 3,314 |
| Berat Mould + BU | W ₂ | 7,437 | 7,489 |
| Berat BU | W ₃ | 4,123 | 4,175 |
| Berat Mould + Air | W ₄ | 6,222 | 6,222 |
| Berat Air / Volume Mould | V | 2,908 | 2,908 |
| Berat Isi Agregat | W ₃ /V | 1.42 | 1.44 |
| Rata – Rata Berat Isi Agregat | | 1.43 | |

Sumber: Hasil Pengujian

d. Pengujian Gradasi Pasir

Hasil dari pengujian gradasi pasir dapat dilihat pada **Tabel 7** dan **Tabel 8**.

Tabel 7. Data Pengujian Gradasi Pasir

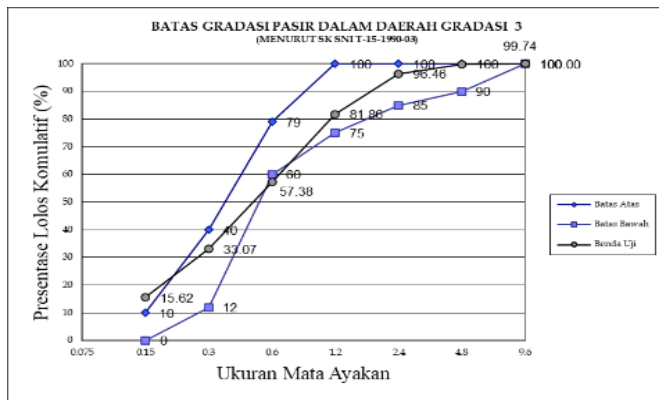
| Lubang Saringan (mm) | Tertahan | | % Kumulatif | |
|----------------------|----------|-------|-------------|--------|
| | Gram | % | Tertinggal | Tembus |
| 10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 4.8 | 2.63 | 0.26 | 0.26 | 99.74 |
| 2.4 | 32.81 | 3.28 | 3.54 | 94.46 |
| 1.2 | 145.90 | 14.59 | 18.14 | 81.86 |
| 0.6 | 244.76 | 24.48 | 42.62 | 57.38 |
| 0.3 | 243.08 | 24.31 | 66.93 | 33.07 |
| 0.15 | 176.46 | 17.45 | 84.38 | 15.62 |

Tabel 8. Data Pengujian Gradasi Pasir (Lanjutan)

| Lubang Saringan (mm) | Tertahan | | % Kumulatif | |
|----------------------|----------|-------|-------------|--------|
| | Gram | % | Tertinggal | Tembus |
| Pan | 156.21 | 15.62 | 100.00 | 0.00 |
| Jumlah | | | 999.85 | |
| Angka Keehalusan | | | 2.16 | |

Sumber: Hasil Pengujian

Hasil perhitungan diketahui bahwa gradasi pasir merah masuk ke zona III dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Grafik Gradasi Zona 3

e. Pengujian Kadar Organik

Pasir wajak atau yang disebut dengan pasir merah merupakan pasir yang memiliki kadar organik tidak terlalu tinggi. Pencampuran pasir merah dengan lauratan NaOH yang didiamkan selama 24 jam didalam botol dengan penambahan larutan yaitu 3%. Hasil dari alat tester pembanding warna setelah di diamkan selama 24 jam yaitu masuk ke warna nomor 3 dan masih cocok untuk digunakan sebagai campuran beton.

3. Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar pada penelitian ini menggunakan kerikil porous.

a. Pengujian Kekerasan Kerikil Porous

Hasil dari pengujian kadar air limbah abu alumunium dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Data Hasil Pengujian Kekerasan Kerikil Porous

| Pemeriksaan | Benda Uji | |
|---------------------------------|-----------|--------|
| | I | II |
| Berat Silinder + Plat Alas | 2.953 | 2.952 |
| Berat Silinder + Plat Alas + BU | 2.415 | 3.406 |
| Berat Benda Uji Semula | 463 | 454 |
| Berat Benda Uji Tertahan 2.36 | 161.06 | 149.72 |
| Kekerasan Agregat | 65.21 | 67.02 |
| Kekerasan Agregat Rata – Rata | 66.12 | |

Sumber: Hasil Pengujian

b. Pengujian Keausan Kerikil Porous

Hasil dari pengujian kadar air limbah abu alumunium dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 10. Data Pengujian Keausan Kerikil Porous

| Gradasi Pemeriksaan | | B |
|----------------------|-------|-----------------------|
| Ukuran Saringan (mm) | Lewat | Tertahan |
| | | Berat Material (gram) |
| 76.2 | 63.5 | |

| Gradasi Pemeriksaan | | B |
|---|-------|-----------------------|
| Ukuran Saringan (mm) | Lewat | Tertahan |
| | | Berat Material (gram) |
| 63.5 | 50.8 | |
| 50.8 | 37.5 | |
| 37.5 | 25.4 | |
| 25.4 | 19 | |
| 19 | 12.5 | 2.500 |
| 12.5 | 9.5 | 2,500 |
| 9.5 | 6.3 | |
| 6.3 | 4.75 | |
| 4.75 | 2.36 | |
| Berat Total Material (A) | | 5,000 |
| Berat Material Tertahan Saringan No. 12 (B) | | 675 |
| Keausan Agregat | | 86.5 |

Sumber: Hasil Pengujian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian Slump

Hasil pengujian slump dapat dilihat pada **Tabel 10**.

Tabel 10. Data Hasil Pengujian Slump

| No. | Beton | Nilai Slump |
|-----|--------------------|-------------|
| 1 | 0% Abu Aluminium | 6.25 |
| 2 | 5% Abu Aluminium | 6.5 |
| 3 | 7.5% Abu Aluminium | 6.6 |
| 4 | 10% Abu Aluminium | 7.1 |

Sumber: Hasil Pengujian

b. Pengujian Kadar Udara

Hasil pengujian kadar udara dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Data Hasil Pengujian Kadar Udara

| No. | Beton | Nilai Slump |
|-----|--------------------|-------------|
| 1 | 0% Abu Aluminium | 7 |
| 2 | 5% Abu Aluminium | 7.5 |
| 3 | 7.5% Abu Aluminium | 8 |
| 4 | 10% Abu Aluminium | 9.8 |

Sumber: Hasil Pengujian

c. Pengujian Bobot Isi Beton

Hasil pengujian bobot isi dapat dilihat pada **Tabel. 12**

Tabel 12. Data Hasil Pengujian Bobot Isi

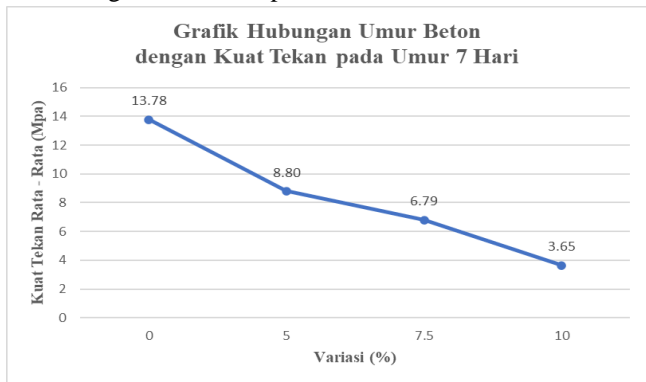
| Pemeriksaan | Sampel Benda Uji | | | |
|-------------------|------------------|-------|-------|-------|
| | 0% | 5% | 7.5% | 10% |
| Berat Mould | 3,320 | 3,320 | 3,320 | 3,320 |
| Berat Mould + BU | 9,080 | 9,080 | 9,080 | 9,080 |
| Berat BU | 5,760 | 5,760 | 5,760 | 5,913 |
| Berat Mould + Air | 6,286 | 6,286 | 6,286 | 6,286 |
| Berat Isi | 2,966 | 2,966 | 2,966 | 2,966 |

| Pemeriksaan | Sampel Benda Uji | | | |
|-----------------|------------------|-------|-------|-------|
| | 0% | 5% | 7.5% | 10% |
| Berat Isi Beton | 1.942 | 1.942 | 1.942 | 1.994 |

Sumber: Hasil Pengujian

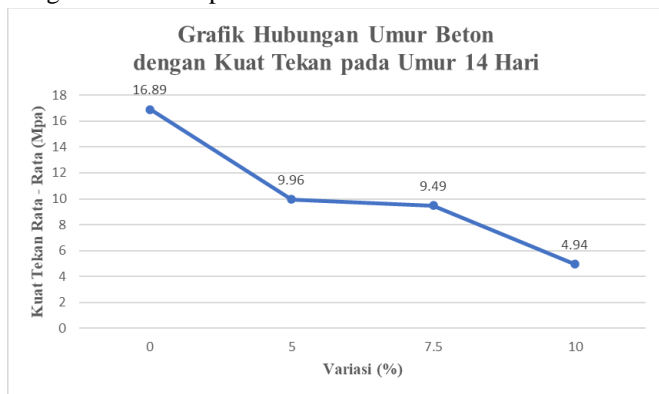
d. Pengujian Kuat Tekan

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton dapat diketahui bahwa nilai kuat tekan beton normal yang dapat mencapai kuat tekan rencana. Berikut grafik hubungan umur beton dengan kuat tekan pada **Gambar 3**.



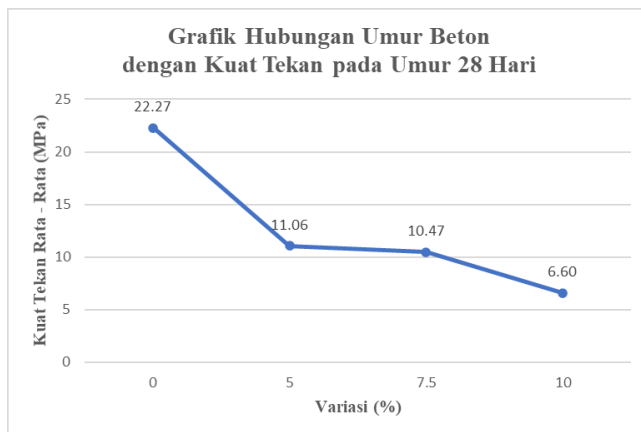
Gambar 3. Grafik Hubungan Umur Beton Dengan Kuat Tekan Umur 7 hari

Berdasarkan **Gambar 3**, Kuat tekan beton menurun seiring dengan pertambahan prosentase abu limbah aluminium. Berikut grafik hubungan umur beton 14 hari dengan kuat tekan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Grafik Hubungan Umur Beton Dengan Kuat Tekan Umur 14 hari

Berdasarkan **Gambar 4**, Kuat tekan beton menurun seiring dengan pertambahan prosentase abu limbah aluminium.



Berikut grafik hubungan umur beton dengan kuat tekan pada **Gambar 5**.

Gambar 5. Grafik Hubungan Umur Beton Dengan Kuat Tekan Umur 28 hari

Berdasarkan **Gambar 5**, Kuat tekan beton menurun seiring dengan pertambahan prosentase abu limbah aluminium.

e. Pengujian Kuat Tarik Belah

Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada **Tabel 14**,

Tabel 13. Data Pengujian Rata - Rata Kuat Tarik Belah

| No. | Beton | Tarik Belah Rata - Rata (MPa) |
|-----|--------------------|-------------------------------|
| 1 | 0% Abu Aluminium | 2.5 |
| 2 | 5% Abu Aluminium | 2.22 |
| 3 | 7.5% Abu Aluminium | 2.12 |
| 4 | 10% Abu Aluminium | 1.46 |

Sumber : Hasil Pengujian

Berdasarkan **Tabel 13** nilai dari kuat tarik belah beton mengalami penurunan dari setiap variasi substitusi yaitu 2.50 MPa, 2.22 MPa, 2.12 MPa, dan 1.46 MPa. Dapat dijelaskan bahwa substitusi abu cor aluminium justru memberikan pengaruh bahwa substitusi limbah akan menurunkan nilai kuat tarik belah.

f. Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah

Secara teoritis nilai dari kuat tekan beton dan kuat tarik belah memiliki hubungan, jika ditabelkan dengan menggunakan rumus $\delta ft = 0.495\sqrt{f'c}$ dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 14. Data Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Tarik 0%

| No. | Umur (Hari) | Kuat Tekan (MPa) | Tarik Belah (MPa) | ACI – 318 - 02 | fr |
|-----|-------------|------------------|-------------------|--------------------|------|
| 1 | 28 | 22.83 | 2.55 | $0.495\sqrt{f'_c}$ | 2.36 |
| 2 | 28 | 24.5 | 2.55 | $0.495\sqrt{f'_c}$ | 2.45 |
| 3 | 28 | 19.49 | 2.40 | $0.495\sqrt{f'_c}$ | 2.18 |

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 15. Data Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Tarik 5%

| No. | Umur (Hari) | Kuat Tekan (MPa) | Tarik Belah (MPa) | ACI – 318 - 02 | fr |
|-----|-------------|------------------|-------------------|--------------------|------|
| 1 | 28 | 12.37 | 2.27 | $0.495\sqrt{f'_c}$ | 1.74 |
| 2 | 28 | 10.68 | 2.12 | $0.495\sqrt{f'_c}$ | 1.62 |
| 3 | 28 | 10.12 | 2.27 | $0.495\sqrt{f'_c}$ | 1.57 |

Sumber: Hasil Pengujian

Tabel 16. Data Pengujian Kuat Tekan Dan Kuat Tarik 7.5%

| No. | Umur (Hari) | Kuat Tekan (MPa) | Tarik Belah (MPa) | ACI – 318 - 02 | fr |
|-----|-------------|------------------|-------------------|--------------------|------|
| 1 | 28 | 11.03 | 2.40 | $0.495\sqrt{f'_c}$ | 1.64 |
| 2 | 28 | 10.19 | 1.99 | $0.495\sqrt{f'_c}$ | 1.58 |
| 3 | 28 | 10.19 | 1.99 | $0.495\sqrt{f'_c}$ | 1.58 |

Sumber : Hasil Pengujian

Tabel 17. Data Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Tarik 10%

| No. | Umur (Hari) | Kuat Tekan (MPa) | Tarik Belah (MPa) | ACI – 318 - 02 | fr |
|-----|-------------|------------------|-------------------|--------------------|------|
| 1 | 28 | 5.66 | 1.41 | $0.495\sqrt{f'_c}$ | 1.17 |
| 2 | 28 | 7.36 | 1.41 | $0.495\sqrt{f'_c}$ | 1.34 |
| 3 | 28 | 6.79 | 1.56 | $0.495\sqrt{f'_c}$ | 1.29 |

Sumber: Hasil Pengujian

g. Analisis Anova (ANOVA)

Perhitungan analisis varian (ANOVA) yang dilakukan dengan metode 1 arah (*one way*) dengan interaksi dan hipotesis. Pengujian normalitas untuk kuat tekan beton dapat ditunjukkan pada **Gambar 6**.

| | KuatTekan | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
|---------|----------------|---------------------------------|----|-------|--------------|----|------|
| | | Statistic | df | Sig. | Statistic | Df | Sig. |
| | Alumunium 0% | .210 | 9 | .200* | .924 | 9 | .429 |
| | Alumunium 5% | .131 | 9 | .200* | .972 | 9 | .910 |
| VAR0000 | Alumunium 7.5% | .214 | 9 | .200* | .871 | 9 | .125 |
| 1 | Alumunium 10% | .206 | 9 | .200* | .946 | 9 | .646 |

Gambar 6. Data Analisis ANOVA

Sumber: Hasil Aplikasi SPSS

Berdasarkan **Gambar 6**, hasil menyebutkan nilai probabilitas limbah abu alumunium 0% sebesar 0.429, alumunium 5% sebesar 0.910 alumunium 7.5% sebesar 0.125 dan alumunium 10% sebesar 0.646.

h. Analisa Rencana Anggaran Biaya

Penghitungan biaya kebutuhan material beton per m³ menggunakan Harga Satuan Pekerjaan Kota Malang tahun 2019. Anggaran Biaya untuk pembuatan beton dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 18. Data Anggaran Biaya Pembuatan Beton 0%

| Nama Material | Sat. | Kuantitas | Harga Satuan | Jumlah (Rp) |
|----------------|------|-----------|--------------|-------------|
| Pasir | Kg | 745.714 | 193.793 | 144,514.291 |
| Kerikil Porous | Kg | 497.143 | 270.00 | 134,228.571 |
| Semen | Kg | 357.143 | | 449,892.857 |
| Abu Alumunium | Kg | 0 | | - |
| Air | Kg | 250.00 | | 12,500.00 |
| Jumlah Harga | | | | 741,135.719 |

Sumber : HSPK Kota Malang 2019

Tabel 19. Data Anggaran Biaya Pembuatan Beton 5%

| Nama Material | Sat. | Kuantitas | Harga Satuan | Jumlah (Rp) |
|----------------|------|-----------|--------------|-------------|
| Pasir | Kg | 708.429 | 193.793 | 144,514.291 |
| Kerikil Porous | Kg | 497.143 | 270.00 | 134,228.571 |
| Semen | Kg | 357.143 | 1,259.70 | 449,892.857 |
| Abu Alumunium | Kg | 37.286 | | - |
| Air | Kg | 250.00 | 50.000 | 12,500.00 |
| Jumlah Harga | | | | 733,910.005 |

Sumber: HSPK Kota Malang 2019

Berdasarkan tabel di atas biaya yaitu Rp. 741,135.719 per m³. Biaya dengan f'c paling tinggi (5% abu cor alumunium) adalah Rp. 733,910.005 per m³ atau 0.97% lebih murah.

4. KESIMPULAN

- Berdasarkan analisa terhadap parameter dan hasil pengujian, dapat disimpulkan abu limbah alumunium memiliki sifat fisik cukup baik karenanya abu cor alumunium memenuhi persyaratan kecuali kadar organik.
- Parameter performa beton meliputi berat sendiri beton yang sudah terpenuhi dan pengujian kuat tekan beton pada umur 7,14, dan 28 hari terpenuhi untuk proporsi beton campuran abu limbah alumunium. Nilai kuat tekan

rata-rata mengalami penurunan namun masih memenuhi kuat tekan pada beton ringan meskipun tidak ada yang mencapai kuat tekan target 17.5 Mpa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sujatmiko, Bambang Ir. MT. 2019. *TEKNOLOGI BETON DAN BAHAN BANGUNAN*. Media Sahabat Cendekia.
- [2] Bahar, Suhardi Ir. MT, dkk. 2005. *Pedoman Pekerjaan Beton*. Biro Enjiniring, PT Wijaya Karya.
- [3] Badan Standardisasi Nasional, 1990. *Cara Uji Gradasi Agregat*, SNI 03-1968-1990. Bandung: BSN
- [4] Standar Nasional Indonesia, 2004. *Semen Portland Pozolan*, SNI 15-0302-2004. Bandung: BSN.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, 2008. *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran, dan Kadar Udara Beton*, SNI 1973-2008. Bandung: BSN.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, 1990. *Mutu dan Cara Uji Agregat*, SNI 1750-1990. Bandung: BSN.
- [7] Gunawan, T. Ir dan Margaret S. Ir. 1987. *Teori Soal dan Penelesaian Konstruksi Beton I*. Jakarta : Delta Teknik Group Jakarta.