

PENGARUH AIR LAUT TERHADAP KUAT TEKAN BETON GRADASI SENJANG DENGAN CAMPURAN BUBUT ALUMINIUM SEBAGAI EXPANSIVE AGENT

Ageng Maulana Wirawan^{1*}, Zhang Yichao²

Politeknik Negeri Malang¹ Shenyang jianzhu University²

*Koresponden, Email: 1941320011@student.polinema.ac.id

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari desain beton ekspansif bergradasi senjang dengan menggunakan reaksi bubuk aluminium, pada air laut. Indonesia merupakan negara kepulauan yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia, angin muson dari Samudera Hindia bersifat sangat kuat dan dapat menyebabkan erosi tanah terutama di Laut Jawa bagian Selatan dengan kecepatan permukaan tertinggi sebesar 31 cm/detik. Pembangunan kawasan pemukiman dan kawasan wisata di sepanjang pantai Selatan Jawa membutuhkan material bangunan yang tahan terhadap air laut. Pada penelitian ini dibuat tiga variasi beton yang difokuskan pada komposisi aluminium sebagai pengganti sebagian agregat halus, yaitu (A) 0,2%, (B) 0,3% dan (C) 0,4% dari total volume beton atau 1,68%, 2,79% dan 3,35% dari berat semen. Ketiga laju ekspansi tersebut adalah 1,85%, 1,96% dan 2,04% dari volume beton normal. Beton tipe A memiliki kuat tekan terendah dari ketiga benda uji. Namun berbeda dengan dua spesimen lainnya, Spesimen A yang direndam dalam air laut memiliki kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen yang direndam dalam air tawar. Sedangkan beton tipe B merupakan beton yang memiliki komposisi paling efisien dengan nilai kuat tekan paling besar, baik yang direndam dalam air tawar maupun air laut.

Kata kunci : gradasi senjang, agen ekspansif, aluminium, air laut

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the design of gap-graded expanding concrete using aluminium waste reaction in seawater conditions. Indonesia is an archipelagic country adjacent to the Indian Ocean, monsoon winds from the Indian Ocean are very strong and can cause soil erosion, especially in the South Java Sea with the highest surface velocity of 31 cm/sec. The development of residential areas and tourist areas along the South Java coast requires structural materials that are resistant to sea water. In this study, three variations of concrete were made which focused on aluminium composition as a partial replacement for fine aggregate, the compositions were (A) 0.2%, (B) 0.3% and (C) 0.4% of the total volume of concrete or 1.68%, 2.79% and 3.35% of the weight of cement. The three expansion rates are 1.85%, 1.96% and 2.04% of the normal volume of concrete. Type A concrete has the lowest compressive strength of the three specimens. But different from the other two specimens, Specimen A which was immersed in seawater had a greater compressive strength than specimens cured in freshwater. Whereas type B concrete is concrete that has the most efficient composition with the greatest compressive strength value, both of which are soaked in fresh or sea water.

Keywords : gap-gradation, expansive agent, aluminium, seawater

1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak di antara dua samudera, yaitu Samudera Pasifik dan Samudera Hindia. Samudra pasifik berada di timur laut, sedangkan samudra hindia berada di selatan dan barat daya wilayah geografis Indonesia. Samudra hindia merupakan samudra terkecil, termuda secara geologis,

dan secara fisik paling kompleks di dunia, dan karena kondisi fisiknya yang berbeda, Samudra hindia berbeda dengan samudra lainnya (Atlantik dan Pasifik), yang dibatasi oleh batas daratan di bagian utara yang berada di daerah tropis. Daratan yang sangat luas di sebelah utara samudra ini berkontribusi pada iklim muson di kawasannya [1], [2].

Angin muson adalah angin yang bersifat periodik dan biasanya terjadi terutama di Samudera Hindia dan selatan Asia. Kemunculan angin muson biasanya ditandai dengan curah hujan yang tinggi. Angin muson mirip dengan angin laut, tetapi angin muson lebih besar, lebih kuat, dan lebih konstan. Karena karakteristik angin muson yang kuat dan konstan serta terjadi setiap tahun, maka garis pantai yang berada di sepanjang jalur sebaran angin muson akan terkena dampak gelombang tinggi yang dapat menyebabkan terjadinya erosi daratan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh European Geoscience Union, 2016 [3], garis pantai Sumatera dan Jawa bagian selatan sangat terpengaruh oleh arus yang dipengaruhi oleh angin muson. Kondisi terburuk yang terdampak adalah di bagian selatan laut Jawa yang memiliki suhu permukaan kurang dari 20 derajat Celsius, semakin dingin permukaan air, semakin kuat gelombangnya. Untuk mendukung data dari EGU, penelitian yang lebih detail didasarkan pada penelitian SAMUDERA, 1957, yang mengukur arah dan kecepatan arus permukaan di garis pantai Selatan Jawa. Diketahui bahwa kecepatan tertinggi adalah 31 cm/detik pada bulan Maret, pada akhir periode muson barat laut [4], [5], [6].

Untuk membangun sebuah bangunan hunian, publik atau sipil di daerah pesisir dibutuhkan beton dan bahan bangunan yang umumnya dibuat sedemikian rupa agar dapat menahan konsentrasi garam yang tinggi dari air laut dan udara [7], [8], [9], [10]. Umumnya untuk komposisi struktur diperlukan beton yang kedap air untuk melindungi baja dari korosi, sedangkan untuk komponen non-struktural dapat digunakan beton yang ringan, renggang, atau berpori sehingga dapat mengurangi beban bangunan [11]. Penelitian ini bermaksud untuk meneliti beton ringan berpori dengan bahan tambah aluminium sebagai bahan ekspansif berdasarkan rasio aluminium dengan berat semen. Menurut National Bureau of Standards Report, Amerika Serikat, tentang laporan akhir tentang korosi pada aluminium yang tertanam pada beton, aluminium secara alamiah bereaksi dengan lingkungan basa basah, seperti beton segar [12]. Produk dari proses korosi membentuk penghalang pelindung yang cenderung memperlambat reaksi. Dampak dari hal ini adalah terjadinya korosi total pada aluminium yang tertanam dan terisolasi tidak terlalu besar pada beton sederhana dan berkualitas baik yang dibiarkan mengering secara normal dan tidak mengalami pembasahan secara terus menerus atau terputus-putus. Hasilnya, dalam kondisi yang menguntungkan, seperti yang disebutkan di atas, aluminium cocok dengan bahan bangunan yang bersifat basa [13], [14]. Sebaliknya, aluminium yang ditanamkan dapat menimbulkan korosi yang dahsyat dalam kondisi yang sangat buruk. Para penyelidik National Bureau of Standards Report sebagian

besar setuju bahwa (1) Aluminium aman digunakan pada beton polos dan berkualitas baik yang tidak akan mengalami kondisi basah. (2) Aluminium tidak boleh digunakan pada beton bertulang yang mengandung klorida. (3) Lapisan aspal pada aluminium direkomendasikan jika aluminium bersentuhan dengan baja atau jika beton akan sering dibasahi.

Selain dengan menggunakan agen ekspansi, pengurangan berat beton juga dapat dilakukan dengan menggunakan gradasi senjang. Gradasi senjang adalah jenis gradasi di mana satu atau beberapa ukuran menengah tidak ada, atau sengaja dihilangkan [15]. Kurva akan berbentuk horizontal dalam kisaran ukuran sedang pada grafik gradasi. Hal ini mengacu pada gradasi yang hanya mengandung sebagian kecil partikel agregat dalam kisaran ukuran menengah [16]. Jika kemampuan kerja yang dibutuhkan tidak terlalu tinggi, agregat bergradasi celah atau senjang dapat menghasilkan beton yang baik. Manfaat dari gradasi celah termasuk beton yang lebih hemat biaya, penggunaan semen yang lebih sedikit, dan rasio w/c yang lebih rendah. Segregasi dapat terjadi jika digunakan dalam kombinasi dengan kemampuan kerja yang tinggi. Beton yang dihasilkan bersifat kaku dan sulit untuk dikerjakan. Beton tanpa butiran halus adalah contoh yang ekstrim. Beton ini sulit untuk dikerjakan dan dipadatkan, sehingga menghasilkan kekuatan yang rendah dan permeabilitas yang tinggi.

2. METODE

2.1. Persiapan material agregat

Bahan pengisi berupa agregat kasar dan halus yang digunakan pada penelitian ini berasal dari quarry Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang. Agregat kasar berupa batu pecah diambil dengan ukuran maksimal 40 mm dan tertahan pada ayakan 9,5 mm. Agregat halus merupakan pasir hitam lumajang yang lolos saringan 4,75 mm. Terdapat kesenjangan gradasi dikarenakan pendesainan yang menghilangkan ukuran gradasi 4,75 mm.

Aluminium digunakan sebagai pengganti agregat halus secara parsial. Aluminium yang dipakai berupa bubut aluminium, limbah dari penguliran pipa aluminium di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang. Aluminium dipisahkan dari limbah logam lainnya, dan di ayak melewati ayakan ukuran 4,75 mm (**Gambar 1**).



Gambar 1. Bubut Aluminium

Sumber: Laboratorium

Semen digunakan sebagai bahan pengikat serta didesain untuk bereaksi dengan aluminium saat terjadi hidrasi. Semen yang digunakan adalah semen Portland komposit, semen Tiga Roda, yang telah sesuai dengan SNI 15-7064-2004 [17].

2.2. Uji fisik material agregat

Agregat kasar dan halus diuji sesuai dengan Standar yang berlaku. Pengujian dilakukan di Laboratorium bahan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang. Pengujian meliputi gradasi, masa jenis, dan kadar air agregat.

2.2.1. Gradasi

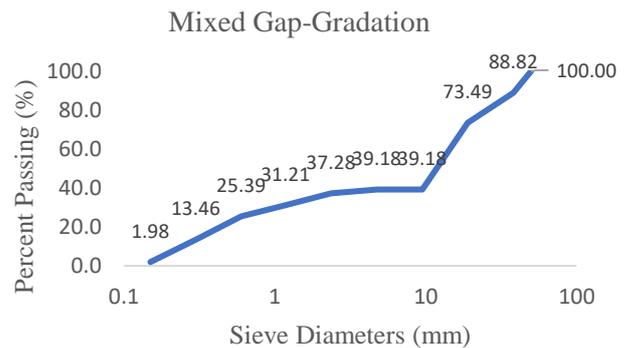
Pengujian gradasi agregat kasar dan halus dilakukan secara terpisah sesuai dengan ASTM C 136-06, IDT [18], dengan agregat yang telah di hilangkan kadar airnya di dalam oven pada temperature $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Modulus halus dari agregat selanjutnya di hitung untuk mendesai gradasi campuran. Modulus halus dari agregat di hitung menggunakan rumus (1) dan (2), dari rumus tersebut didapatkan modulus halus agregat halus dan kasar masing-masing sebesar 3,494 dan 7,941. Untuk menentukan komposisi agregat halus dari total berat agregat digunakan rumus (3), didapatkan untuk mendapatkan campuran optimal dibutuhkan 47,94% agregat halus dari total agregat, dengan menggunakan modulus halus butiran desain sebesar $C= 6,5$.

$$\text{Modulus Butiran, Halus, } P = \frac{\sum FC\%}{100} \tag{1}$$

$$\text{Modulus Butiran, Kasar, } K = \frac{\sum CC\%}{100} \tag{2}$$

$$\text{Persentase Halus, } W = \frac{(K-C)}{(C-P)} \times 100\% \tag{3}$$

Hasil gradasi campuran agregat ditunjukkan pada **Gambar 2.** Terdapat kesenjangan gradasi akibat kosongnya ukuran agregat 4,75 mm. Gradasi campuran yang didapat kemudian masukan pada grafik gradasi ukuran maksimum 40 mm, ASTM C-33 [19]. Setelah diplotkan gradasi campuran masuk di antara kurva 1 sampai kurva 4. Agregat campuran ini diharapkan dapat menghasilkan campuran yang baik meskipun tidak hanya diantara kedua kurva tersebut tetapi overlapnya berada diantara kurva 1 sampai 4.



Gambar 2. Grafik Gradasi Campuran

Sumber: Hasil analisa data

2.2.2. Kadar air

Agregat yang ditimbun di tempat quarry biasanya membawa sejumlah air bebas atau air permukaan yang menjadi bagian dari air pencampur. Agregat kasar yang baru dicuci mengandung air bebas, permukaan agregat dapat mengering dnegan cepat sehingga terkadang agregat tersebut dalam keadaan kering udara saat digunakan, dan menyerap sebagian air pencampur. Pengujian kadar air didasari oleh SNI 1971:2011 [20]. Hasil uji kadar air laboratorium ditunjukkan pada **Tabel 1.**

Tabel 1. Kadar Air Agregat

Material	Kadar Air (%)	Nilai rata-rata (%)
Batu pecah	2,207 1,989	2,098
Pasir hitam Lumajang	10,11 9,7	9,905

Sumber: Hasil laboratorium

Kadar air pada agregat perlu diketahui, agar rasio air semen saat pencampuran beton dapat lebih spesifik, tidak lebih dari yang seharusnya dibutuhkan.

2.2.3. Berat Jenis

Pengujian berat jenis agregat diatur oleh SNI 1969:2008 [21] untuk agregat kasar dan SNI 1970:280 [22] untuk agregat halus. Berat jenis agregat adalah massa agregat

di udara dibagi dengan massa volume air yang sama. Agregat dengan berat jenis sebesar 2,50 memiliki berat dua setengah kali lebih berat dari air. Setiap partikel agregat terdiri dari bahan padat dan rongga yang mungkin mengandung atau tidak mengandung air. Dikarenakan massa agregat bervariasi dengan kadar airnya, maka berat jenis ditentukan pada kadar air yang tetap. Empat kondisi kelembaban ditentukan untuk agregat tergantung pada jumlah air pada pori-pori atau di permukaan partikel.

Tabel 2. Berat Jenis Agregat

Material	OV (g/cm ³)	SSD (g/cm ³)	APP (g/cm ³)	Saturasi (%)
Batu Pecah	2,32	2,51	2,86	8,2
Pasir hitam Lumajang	2,40	2,415	2,435	0,5

*OV; kering oven, SSD; Kering jenuh permukaan, APP; Appatent

Sumber: Hasil laboratorium

2.3. Desain campuran beton

Desain campuran beton didasarkan pada ASTM C.685 [23] mengenai volume campuran, dimana pengukuran volume harus didasarkan pada proporsi campuran dalam berat yang dikonversikan ke dalam volume berdasarkan berat satuan bulking masing-masing material (PB, 1989:17) [24]. Metode perancangannya sendiri menggunakan metode Road Note No.4 yang disimpulkan dari hasil penelitian Glanville, et.al, yang menekankan pada pengaruh gradasi agregat terhadap kemudahan pekerjaan.

Tabel 3. Desain Campuran Beton

F_c= 15 MPa, S=4,2

Mix Design	Semen (kg/m ³)	Air (kg/m ³)	Agregat Kasar (kg/m ³)	Agregat Halus	
				Pasir Lumajang (kg/m ³)	Bubut Aluminium (kg/m ³)
AL-A	337,0	151,7	1241,5	567,7	5,4
AL-B	337,0	151,7	1241,5	565,4	8,1
AL-C	337,0	151,7	1241,5	562,9	10,8

*AL; Aluminium, A-B-C menandakan variabel

Sumber: Hasil uji dan analisis

Desain campuran menggunakan tiga variable yang berfokus pada komposisi bubuk aluminium sebagai pengganti parsial pasir (Tabel 3). Rasio yang digunakan dilihat dari volume beton dan berat semen. Berat semen digunakan agar dapat dilihat pengaruh aluminium dengan semen saat proses hidrasi. Adapun variable yang digunakan berdasar perbandingan aluminium dengan volume beton dengan berat

semen adalah; (A) kadar aluminium 0,2% & 1,68%; (B) kadar aluminium 0,3% & 2,79%; (C) kadar aluminium 0,4% & 3,35%.

2.4. Pengukuran kembang beton

Untuk mengukur tingkat ekspansifitas beton, perhitungan akan mengacu pada GB/T 23439-2017 [25]. Meskipun di laboratorium Politeknik Negeri Malang belum ada alat yang lengkap untuk hal tersebut, pengukuran akan menggunakan alat sederhana berupa penggaris. Kelebihan tinggi sampel beton akan diukur dari tiga sisi masing-masing sampel. Kemudian dari ketiga ukuran yang telah didapat akan dikonversikan menjadi sebuah volume yang nantinya akan dirata-rata. Niali ekspansifitas didapat menggunakan rumus (4).



Gambar 3. Pengukuran kembang beton

Sumber: Laboratorium

$$\text{Ekspansifitas, } \varepsilon = \frac{L_1 - L}{L_0} \times 100 \quad (4)$$

- ε Ekspansifitas, %
- L1 Panjang setelah pengerasan, mm
- L Panjang awal sebelum pengerasan, mm
- L0 Panjang referensi (sampel silinder), mm

2.5. Proses Curing

Curing beton adalah proses menjaga temperatur dan kadar air pada beton agar tetap stabil cukup lama sehingga terjadi hidrasi dan menghasilkan kualitas beton yang sesuai. Curing dilakukan dengan menggunakan dua variabel yang berbeda, yaitu air tawar yang diperoleh dari air sumur di Politeknik Negeri Malang (a) dan air laut yang diperoleh di pantai Balekambang, Malang Selatan, Indonesia (b). Proses curing dilakukan selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari.



Gambar 4. (a) Curing air tawar, (b) Curing air laut
 Sumber: Laboratorium

Mix Design	Kadar volume Al (%)	Rerata pertambahan tinggi (cm)	Ekspansifitas (%)	Kenaian Ekspansifitas (%)
AL-A	0,2	0,56	1,85	0,111
AL-B	0,3	0,59	1,96	0,074
AL-C	0,4	0,61	1,04	-

Sumber: Hasil laboratorium

Sejalan dengan data yang diperoleh untuk beton tipe A dan tipe B, beton tipe C mengalami peningkatan laju pengembangan volume total. Laju pengembangan yang diperoleh sebesar 2,037%, kenaikannya 0,074% dibandingkan dengan beton tipe B, lebih kecil dibandingkan dengan kenaikan tipe A ke B. Kenaikan pada setiap sisi bervariasi dari 0,1 cm hingga 0,9 cm, dengan rata-rata 0,61 cm. Dibandingkan dengan variasi yang lain, variasi tonase C yang memiliki kandungan aluminium 3,35% berat semen memiliki pengembangan yang paling tidak stabil dan tidak merata.

2.6. Tes kuat tekan

Uji kuat tekan akan dilakukan sesuai dengan peraturan yang telah disusun dalam ASTM C39 [26]. Sebelum melakukan uji kuat tekan, beberapa beton harus diberi capping terlebih dahulu. Capping adalah proses pelapisan salah satu sisi sampel beton. Hal ini bertujuan untuk meratakan permukaan sehingga tekanan yang diterima oleh beton akan seragam. Bahan yang digunakan untuk capping adalah belerang karena mudah dibentuk setelah dipanaskan seperti lilin.

Beton akan ditekan menggunakan alat uji kuat tekan dari "Tecnotest" dengan nomor seri KC 300/S. Alat tersebut dihubungkan dengan komputer agar dapat dijalankan dan dibaca secara lebih detail dan spesifik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metode yang dibahas sebelumnya, didapatkan hasil berupa;

3.1. Ekspansifitas

Berdasarkan Tabel 4 bahwa kenaikan volume beton pada setiap sisi tidak sama atau penambahan aluminium menyebabkan swelling pada beton tidak terlalu rata. Beton tipe A yang memiliki kandungan aluminium sebesar 2% volume atau 1,68% berat semen memiliki kenaikan antara 0,4 sampai 0,7 cm, dengan rata-rata swelling 0,56 cm dan tingkat pengembangan sebesar 1,85% dari total volume beton.

Data dari beton tipe B dengan komposisi aluminium berdasarkan volume 0,3% dan 2,79% berat semen, menunjukkan bahwa rata-rata pengembangan beton adalah 0,59% dengan peningkatan individu berkisar antara 0,5 hingga 0,7 cm. Laju pengembangan volume beton meningkat sekitar 0,11% dari beton tipe A, menjadi 1,92%.

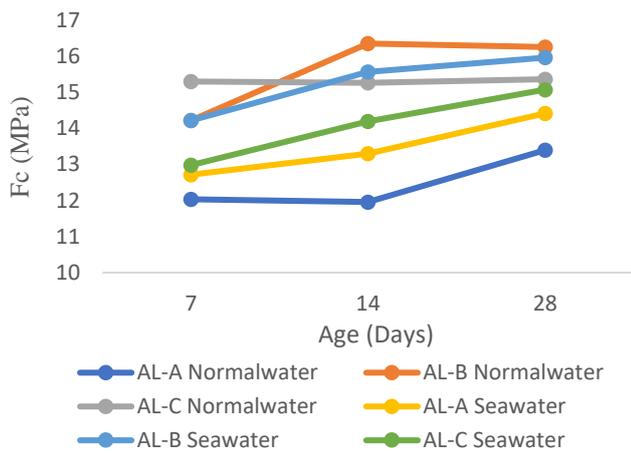
3.2. Kuat tekan

3.2.1. Analisa umur beton vs kuat tekan

Dengan dilakukannya proses curing dengan cara perendaman dengan air tawar dan laut selama 7, 14, dan 28 hari, didapatkan grafik hubungan umur dan kuat tekan dari beton, ditunjukkan oleh Gambar 5. Beton tipe A memiliki kuat tekan paling rendah dari ketiga spesimen. Namun berbeda dengan kedua spesimen lainnya, Spesimen A yang direndam dalam air laut memiliki kuat tekan yang lebih besar dibandingkan dengan spesimen yang diawetkan dalam air tawar.

Kuat tekan yang lebih tinggi diikuti oleh beton tipe C, dimana variasi yang direndam di air laut relatif memiliki kuat tekan yang meningkat seiring berjalannya waktu. sedangkan variasi yang direndam di air tawar terlihat mengalami penurunan kualitas dari umur 7 hari hingga 14 hari, data beton umur 7 hari dirasa belum cukup untuk dijadikan acuan dan dapat dikelompokkan ke dalam data yang unik dimana kualitas beton melebihi dari yang didesain. Spesimen dengan kuat tekan dan stabilitas terbesar antara spesimen yang direndam dalam air tawar dan air laut adalah beton variabel B. Meskipun beton ini memiliki kandungan aluminium yang berada di tengah-tengah dari semua variasi, namun beton ini dapat mencapai kuat tekan tertinggi sehingga dapat dikatakan sebagai variabel. B adalah variabel dengan kandungan aluminium yang paling mendekati komposisi efektif.

Tabel 4. Analisa Ekspansifitas

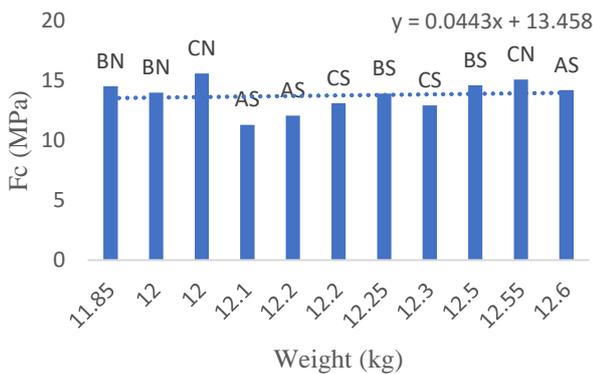


Gambar 5. Grafik kuat tekan vs umur beton

Sumber: Hasil laboratorium

3.2.2. Analisa berat beton vs kuat tekan

Dengan dilakukannya proses curing dengan cara perendaman dengan air tawar dan laut selama 7, 14, dan 28 hari, didapatkan grafik hubungan berat dan kuat tekan dari beton (**Gambar 6**, **Gambar 7**, dan **Gambar 8**). Pada umur 7 hari, beton terlihat tidak memiliki hubungan yang signifikan antara berat beton dengan kuat tekan maksimum yang ditemukan. Peneliti tidak dapat mengetahui alasan dibalik fenomena ini, namun jika ditarik rata-rata dari keseluruhan data, dapat terlihat bahwa berat beton memiliki hubungan dengan kuat tekan, dimana semakin berat beton, maka semakin besar pula kuat tekan maksimum yang akan didapatkan.

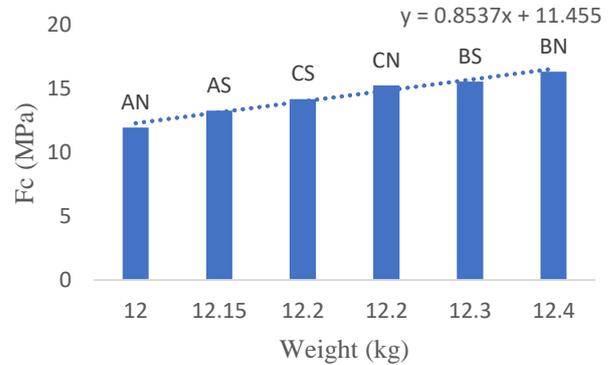


Gambar 6. Grafik kuat tekan vs berat beton 7 hari

Sumber: Hasil laboratorium

Gambar 7 menunjukkan sampel dengan umur 14 hari, beton menunjukkan data yang signifikan, hal ini dapat disebabkan karena semakin banyak agregat kasar yang terkandung pada beton yang memiliki berat yang lebih besar. Beton tipe A memiliki berat yang paling ringan dan memiliki kuat tekan yang paling kecil, padahal beton tipe A memiliki

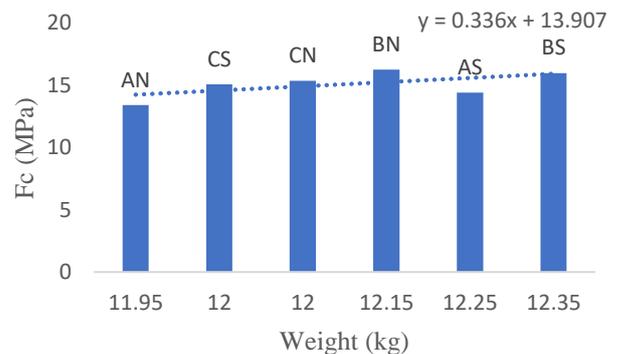
angka ekspansif yang lebih kecil dibandingkan tipe lainnya, yang berarti beton ini memiliki pori-pori yang lebih sedikit, berbeda dengan beton C yang memiliki angka ekspansif yang lebih besar dibandingkan tipe A namun memiliki kuat tekan yang lebih besar dibandingkan tipe A.



Gambar 7. Grafik kuat tekan vs berat beton 14 hari

Sumber: Hasil laboratorium

Analisis pengaruh berat beton terhadap kuat tekan pada beton umur 28 hari kembali menunjukkan hasil yang tidak terlalu signifikan. beton "AS" merupakan sampel gagal yang memiliki berat yang tidak sesuai dengan kuat tekan yang dihasilkan. Namun, data ini tetap menunjukkan bahwa hubungan antara berat beton berpengaruh terhadap kuat tekan, dimana semakin berat beton, maka semakin tinggi kuat tekan yang akan diperoleh.



Gambar 8. Grafik kuat tekan vs berat beton 28 hari

Sumber: Hasil laboratorium

4. KESIMPULAN

Sebagai kesimpulan, studi tentang beton gradasi senjang dengan bubuk aluminium sebagai agen ekspansif dalam kondisi air laut memberikan beberapa poin penting. Penggunaan aluminium sebagai pengganti sebagian agregat halus, mulai dari 0,2% hingga 0,4% dari total volume beton segar, tidak secara signifikan mengurangi kekuatan beton.

Namun, diperlukan kehati-hatian dalam penggunaan aluminium yang berlebihan dikarenakan aluminium lebih lunak dari batuan keras dan dapat mempengaruhi kekuatan tekan beton. Interaksi antara aluminium dan semen menyebabkan reaksi permukaan, menghasilkan gas hidrogen dan menyebabkan pengembangan beton. Penelitian ini menunjukkan korelasi langsung antara kandungan aluminium dan tingkat ekspansifitas, dengan konsentrasi aluminium yang lebih tinggi menghasilkan pengembangan volume yang lebih besar. Air laut memberi dampak besar terhadap beton, walaupun aluminium memiliki sifat anti-korosi yang baik, air laut tetap dapat mempengaruhi kuat tekan beton. Beton dengan kandungan aluminium yang lebih rendah menunjukkan kekuatan tekan yang lebih baik dalam air laut, tidak seperti beton dengan konsentrasi aluminium yang lebih tinggi. Selain itu, penelitian ini menyoroti bahwa beton tipe B, dengan 3,35% aluminium berdasarkan berat semen, menunjukkan kekuatan tekan dan stabilitas yang efektif di air tawar dan air laut, menjadikannya komposisi yang cukup ideal. Beton dengan gradasi senjang yang menggunakan bubuk aluminium mencapai kekuatan tekan yang memenuhi target desain 15 MPa, sehingga cocok untuk penggunaan non-struktural seperti pedestrian jalan. Walau demikian kandungan air laut tidak diteliti lebih lanjut pada penelitian ini, sehingga dibutuhkan penelitian lebih lanjut terkait kandungan mineral yang berada di dalam air laut Jawa Selatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Narayana Menon Vinayachandran, Puthenveettil, "Reviews And Syntheses : Physical And Biogeochemical Processes Associated With Upwelling In The Indian Ocean," European Geosciences Union, No.22 (2021) : <https://doi.org/10.5194/bg-18-5967-2021>
- [2] Panchang, Rajani, Mugdha Ambekar, "Ocean Acidification In The Northern Indian Ocean : A Review," Science Direct, Volume 219 (2021) : <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2021.104904>
- [3] Wei, Z., Fang, G., Susanto, R. D., Adi, T. R., Fan, B., Setiawan, A., Li, S., Wang, Y., and Gao, X.: Tidal elevation, current, and energy flux in the area between the South China Sea and Java Sea, Ocean Sci., 12, 517–531, <https://doi.org/10.5194/os-12-517-2016>, 2016
- [4] RD.E. Soeriaatmadja, "The Coastal Current South Of Java," *Mar.Res. Indonesia*, Vol 3 (1957): 41-55 <https://doi.org/10.14203/mri.v3i0.329>
- [5] Soeriaatmadja, Raden E, "The Coastal Current South Of Java," *Mar. Res. Indonesia*, Vol.3, (1957) : 41-55 <https://doi.org/10.1423/mri.v3i0.329>
- [6] Gingele, Franz X, Patrick De Decker, "History Of The South Java Current Over The Past 80 Ka," *Science Direct*, No. 3-4 (2002) : [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00489-8](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00489-8)
- [7] E Nwankwo, "Marine Water Effect On Compressive Strength Of Concrete: A Case Study Of Escravos Area Of Nigerian Delta," *Nigerian Journal Of Technology* No.2 (2015) <https://doi.org/10.4314/njt.v34i2.4>
- [8] F. Adeyemi, Olutoge, Amusan G Modupeola, "The Effect Of Sea Water On Compressive Strength Of Concrete," *International Journal Of Engineering Science Invention*, No.7 (2014) : 23-31 https://www.researchgate.net/publication/285356557_The_Effect_of_Sea_Water_on_Compressive_Strength_of_Concrete
- [9] Susilorini, M.I Retno, Kristina Retno Dewi W, Tri Wibowo, "The Performance Of Early-Age Concrete With Seawater Curing," *Jurnal Of Coastal Development*, No.2 (2005): 89-95 http://repository.unika.ac.id/16842/1/01_JurnalNas_Terakrds_CoastalUndip_2005.pdf
- [10] Triwari, Preeti, Rajiv Chandak, R.K. Yadav, "Effect Of Salt Water On Compressive Strength Of Concrete," *Journal Of Engineering Research And Application*, No.4 (2014): 38-42
- [11] Wegian, Falah M, "Effect Of Seawater For Mixing And Curing On Structural Concrete," *THE IES JOURNAL PART A: CIVIL & STRUCTURAL ENGINEERING* NO.4 (2010): 235-243 <https://doi.org/10.1080/19373260.2010.521048>
- [12] Pitts, Joseph W, "National Bureau Of Standards Report," US, 1967
- [13] Azarhomayun, Fazel, Mohammad Haji, Mahdi Kioumars, "Effect Of Calcium Stearate And Aluminium Powder On Free And Restrained Drying Shrinkage, Crack Characteristic And Mechanical Properties Of Concrete," *Elsevier*, (2020): 1-12 <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104276>

- [14] Onuralp Ozkiloglu, Memduh Karalar, Ceyhan Aksoylu, "Shear Performance Of Reinforced Expansive Concrete Beams Utilizing Aluminium Waste," *Journal Of Materials Research And Technology*, Volume 24 (2023); 5433-5448
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.04.120>
- [15] Wang, Tao, Sihong Liu, Yan Feng, "Compaction Characteristics And Minimum Void Ratio Prediction Model For Gap-Graded Soil-Rock Mixture," *MDPI*, no.12 (2018)
<https://doi.org/10.3390/app8122584>
- [16] Malewar, Yogita, Shumaila Saleem, Abhyuday Titiksh, "Gap Grading Of Aggregates & Its Effect On The Inherent Properties Of Concrete," *MAT Journals*, No.1 (2017) 1-8 :
https://www.researchgate.net/publication/315050219_Gap_Grading_of_Aggregates_Its_Effect_on_The_Inherent_Properties_Of_Concrete
- [17] SNI 15-7064-2004
- [18] ASTM C 136-06, IDT
- [19] ASTM C-33
- [20] SNI 1971:2011
- [21] SNI 1969:2008
- [22] SNI 1970:280
- [23] ASTM C.685
- [24] PB, 1989:17
- [25] GB/T 23439-2017
- [26] ASTM C39