

Pemanfaatan Limbah *Fly Ash* Sebagai Substitusi Semen pada Beton HVFA untuk Konstruksi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Asyhadi Adnin Istimrori¹, Luqman Cahyono¹, Wiwik Dwi Pratiwi², Yuyun Tajunnisa^{3*}

¹ Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

² Program Studi Magister Terapan Teknik Keselamatan dan Resiko, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

³ Teknologi Rekayasa Pengelolaan dan Pemeliharaan Bangunan Sipil, Departemen Teknik Infrstruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jl. Raya Menur 127, Manyar, Surabaya, 60118

*E-mail: yuyun_t@ce.its.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan batubara menimbulkan dampak yang signifikan terhadap peningkatan timbulan limbah *fly ash*. Limbah *Fly ash* berpotensi dimanfaatkan sebagai substitusi semen karena material ini memiliki sifat sementius yang mirip dengan semen dan memiliki sifat pozzolanik. Substitusi semen dengan *fly ash* dalam jumlah lebih dari 50% dapat dilakukan dengan teknologi beton *High Volume Fly Ash* (HVFA). Perkembangan beton HVFA di Indonesia masih pada konsumen yang terbatas sehingga penelitian ini bertujuan untuk penerapan pada konstruksi bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan sampel beton dilakukan pengujian kelayakan teknis terhadap kuat tekan yang mengacu pada ACI 350M-06. Hasil penelitian menunjukkan komposisi beton HVFA dengan substitusi semen menggunakan 47% limbah *fly ash* dan CaCO_3 sebanyak 3% menghasilkan kuat tekan sebesar 32,82 MPa pada usia beton 28 hari. Berdasarkan hasil tersebut, limbah *fly ash* terbukti layak teknis sebagai substitusi semen pada beton HVFA untuk konstruksi bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

Keywords: *Limbah Fly Ash, Bangunan IPAL, HVFA, Beton.*

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan batubara menimbulkan beberapa dampak yang signifikan terhadap pemanasan global seperti perubahan iklim, timbulnya emisi CO_2 , hujan asam dan peningkatan limbah *fly ash* dan *bottom ash*. Pembakaran batubara menghasilkan emisi gas rumah kaca, kumpulan gas tersebut yang telah melewati ambang batas akan menimbulkan efek rumah kaca (*green house effect*) yang merupakan suatu keadaan yang timbul akibat semakin banyaknya gas buang ke lapisan atmosfer yang memiliki sifat penyerap panas yang akan dipancarkan kembali ke permukaan bumi (Rahmah Muthia, 2018). Dampak tersebut menyebabkan perubahan kondisi lingkungan sehingga perlu adanya pengolahan terhadap limbah hasil pembakaran batubara yang ditimbulkan. Salah satu limbah yang memiliki kandungan potensial besar untuk dimanfaatkan kembali dan perlu pengelolaan yang tepat adalah *fly ash* atau abu terbang. *Fly ash* dikategorikan sebagai salah satu limbah yang tidak berbahaya sesuai dengan PP No 22 Tahun 2021 tentang Penerapan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Fly ash merupakan limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara dengan berbagai faktor karakteristik yang terkandung didalamnya dan mengandung unsur-unsur kimia antara lain alumina (Al_2O_3) (Tajunnisa et al., 2016). *Fly ash* berpotensi dimanfaatkan pada beberapa sektor, salah satunya pada bidang konstruksi sebagai bahan substitusi semen. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen didasari pada material ini memiliki sifat yang mirip dengan semen dan memiliki sifat pozzolanik yang baik (Tajunnisa et al., 2019). Kemiripan *fly ash* dengan semen dapat terlihat dalam hal kehalusan dan butirannya. Penggunaan *fly ash* pada beton dapat menjadi solusi mengurangi jumlah timbulan *fly ash*. Beton merupakan komponen utama dalam pembangunan yang saat ini umum digunakan dalam bidang konstruksi. Beton terbuat dari campuran komposisi agregat halus dan agregat kasar dengan pengikat semen dan air yang membutuhkan hidrasi atau pengerasan dalam jangka waktu tertentu.

Beton cukup populer dalam dunia konstruksi bangunan dikarenakan terdapat beberapa kelebihan yaitu biaya produksi lebih rendah dari pada bahan penyusun bangunan lainnya, mudah diperoleh, biaya perawatan yang relatif murah, dapat digunakan dalam berbagai kondisi cuaca, dan dapat dibuat di tempat (*cast in situ*) sesuai yang direncanakan (Benn, 2021). Limbah *fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai penggantian semen dalam jumlah signifikan dapat dilakukan dengan teknologi *High Volume Fly Ash Concrete*. *High Volume Fly Ash Concrete* (HVFA) adalah beton dimana setidaknya 50% jumlah semen sebagai bahan pengikat digantikan *fly*

ash (Setiawan et al., 2014).

Perkembangan beton HVFA di Indonesia masih pada konsumen yang terbatas, sehingga perlu dikembangkan agar dikenal dan diaplikasikan lebih luas. Salah satu bentuk pemanfaatan beton HVFA yakni diaplikasikan pada bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pemanfaatan beton Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan tempat penampungan air limbah dari buangan pabrik industri dan limbah domestik yang berfungsi untuk mengolah air limbah. Kemudian air limbah yang telah diolah dibuang ke sungai dalam keadaan sesuai dengan nilai baku mutu yang telah ditetapkan, sehingga dengan IPAL diharapkan sungai terbebas dari pencemaran air limbah (Dewi, 2018). Bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) tersusun dari struktur beton bertulang. Beton yang digunakan dalam struktur bangunan IPAL harus memiliki mutu dan karakteristik khusus untuk menunjang durabilitas konstruksi IPAL terhadap air limbah yang akan ditampung di dalamnya. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) salah satu contoh bangunan yang berinteraksi langsung terhadap air limbah yang mengandung beberapa zat-zat kimia. Air limbah yang dihasilkan dalam kegiatan domestik dan industri memiliki sifat dan konsentrasi pH yang beragam. Hal tersebut didasari dari proses penggunaan air dalam kegiatan dan aktivitas produksi baik di lingkup domestik dan industri, sehingga karakteristik beton perlu diperhatikan terkait daya serap air dan kemampuan beton menyerap klorida (Gustiono & Purwanti, 2023).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Persiapan alat dan persiapan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini meliputi neraca analitik, oven, sekop, pengaduk (*mixer*), cetakan (*mold*) kerucut *abrams*, saringan, instrumrn uji tekan, instrumen uji sifat fisik material. Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi *fly ash*, semen OPC, batu kerikil, pasir, air, CaCO_3 .

2.2 Variasi Mix Design

Mutu beton yang telah direncanakan perlu dilaksanakan perencanaan campuran kebutuhan beton, sehingga mutu beton terpenuhi sesuai dengan perencanaan dan persyaratan. Perencanaan kebutuhan material didasarkan pada volume dari masing-masing material dan beton HVFA. Perencanaan proporsi campuran pada beton mengacu berdasarkan SNI 2834-2000 tata cara pembuatan rencana campuran beton. Rincian komposisi campuran *fly ash* sebagai substitusi semen dapat dilihat berikut ini pada Tabel 1 Komposisi Campuran Binder.

Tabel 1. Komposisi Campuran Binder.

No	Benda Uji	Semen (%)	Fly Ash (%)	CaCO_3 (%)
1.	FA0C0	100	0	0
2.	FA47C3	50	47	3

Kuat tekan beton adalah besarnya beton per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur dengan diberikan beban dengan gaya tertentu. Kekuatan tekan beton yang direncanakan mengacu terhadap ACI 350M-06 tentang ACI 350M-06 tentang struktur beton teknik lingkungan pada bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang mensyaratkan nilai kuat tekan minimum sebesar 28 MPa.

2.3 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan spesimen benda uji dilakukan di Laboratorium Material Struktur Gedung Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pembuatan spesimen benda uji dalam penelitian ini mengacu pada SNI 2493:2011 dengan benda uji yang digunakan berukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Berikut ini tahapan pembuatan benda uji :

1. Timbang masing-masing material sesuai dengan yang sudah direncanakan pada mix design.
2. Campurkan semua material yang telah ditimbang dengan menggunakan mesin pengaduk (*mixer*).
3. Setelah adukan tercampur, lakukan *slump test* dengan target uji 600-1200 mm.
4. Setelah pengujian *slump*, masukkan kembali campuran beton kedalam *mixer* (*molen*) hingga adukan tercampur rata.
5. Masukkan beton yang telah tercampur kedalam cetakan atau bekisting dengan menggunakan sekop secara perlahan, tuangkan adukan beton kedalam cetakan secara berlapis sesuai dengan benda uji. Memadatkan beton dengan metode sesuai hasil dari nilai *slump* yang dihasilkan, lalu diratakan menggunakan alat penusuk untuk pemadatan awal.
6. Selanjutnya benda uji ditutup dengan bahan yang tidak mudah menyerap air, tidak reaktif, dan mudah

digunakan tetapi juga harus dapat menjaga kelembaban sampai saat benda uji dilepas dari cetakan.

7. Lepaskan spesimen benda uji dari cetakan setelah 20 jam dan tidak lebih dari 48 jam setelah pencetakan.

2.4 Pengujian Kuat Tekan

Setelah benda uji beton dibuat dan dilepaskan dari bekisting, benda uji tersebut akan diawetkan atau dirawat dengan merendam dalam air selama periode waktu yang diinginkan sesuai rencana. Uji kuat tekan akan dilakukan pada beton setelah mencapai umur 7,14, dan 28 hari. Benda uji yang digunakan untuk pengujian memiliki ukuran 100 x 200 mm. Tes kuat tekan didasarkan pada SNI 1974-2011 Tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Berikut ini prosedur pengujian kuat tekan beton:

1. Meratakan permukaan beton dengan metode *capping* menggunakan belerang.
2. Letakkan binder secara vertikal pada alat *universal testing machine*.
3. Benda uji ditekan dengan kecepatan konstan.
4. Catat besaran kuat tekannya.

Angka yang terdapat pada alat *universal testing machine* menunjukkan indikator tekan (P), maka untuk mendapatkan nilai kuat tekan (f'_c) perlu dibagi dengan luas permukaan benda uji (A).

$$F'_c = P/A \quad (1)$$

Keterangan:

F'_c = Kuat tekan beton (Mpa)

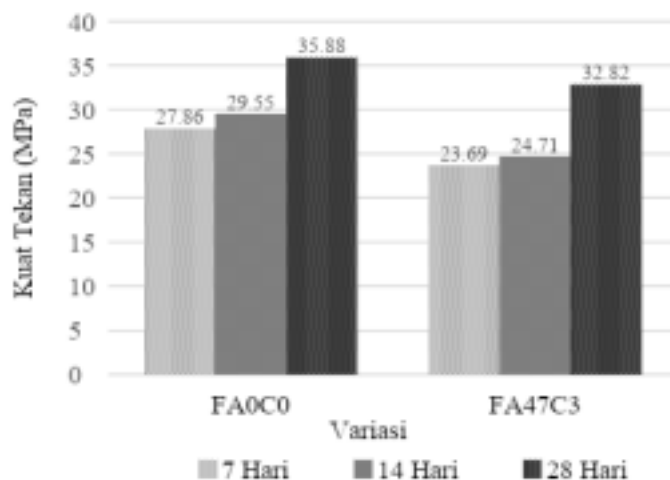
P = Gaya tekan aksial

A = Luas penampang melintang beton (mm^2)



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Material Struktur Gedung Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Setelah benda uji beton dibuat dan dilepaskan dari bekisting, benda uji tersebut akan diawetkan atau dirawat dengan merendam dalam air selama periode waktu yang diinginkan sesuai rencana. Uji kuat tekan akan dilakukan pada beton setelah mencapai umur 7, 14, dan 28 hari. Benda uji yang digunakan untuk pengujian memiliki ukuran 10 cm x 20 cm. Tes kuat tekan didasarkan pada SNI 1974-2011 Tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Kuat tekan beton adalah besarnya beton per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan

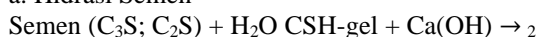
Pengujian beton normal dengan kode variasi FA0C0 umur 7 hari menghasilkan hasil kuat tekan rata-rata sebesar 27.86 MPa tanpa menggunakan campuran limbah *fly ash* dan CaCO_3 . Selanjutnya Beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) dengan substitusi semen menggunakan campuran limbah *fly ash* dengan kadar 47% dan CaCO_3 sebanyak 3% menghasilkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 23 MPa.

Beton normal dengan campuran 100% semen OPC pada umur 14 hari menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 29.55 MPa. Beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) dengan variasi FA47C3 yang menggunakan campuran limbah *fly ash* dan CaCO_3 menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 24.71 MPa.

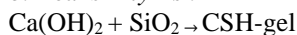
Umur 28 hari beton normal menunjukkan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 35.88 MPa. Sedangkan Beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) variasi FA47C3 dengan substitusi semen menggunakan campuran limbah *fly ash* dengan kadar 47% dan CaCO_3 sebanyak 3% menunjukkan nilai kuat tekan sebesar 32.82 MPa.

Hasil pengujian kuat tekan beton pada variasi kontrol FA0C0 terjadi peningkatan hanya sebesar 21.4% dari umur 14 hari ke 28 hari. Jika dibandingkan dengan variasi FA47C3 yang memiliki peningkatan lebih tinggi dengan masing-masing sebesar 32.8%. Hal tersebut disebabkan oleh pengaruh reaksi hidrasi semen dan *strength development* yang berasal dari komposisi campuran limbah *fly ash*. Senyawa kimia yang dapat terbentuk dan mendominasi yaitu CaO (kalsium oksida) yang merupakan komponen utama dalam pembuatan semen (Cahyono et al., 2023). Reaksi kimia semen dan penambahan limbah *fly ash* yang terjadi di dalam beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) yang membentuk *Calcium Silicate Hydrate* (CSH) (Yun et al., 2021). Berikut ini reaksi hidrasi semen dengan reaksi *fly ash* yang berkaitan.

a. Hidrasi Semen



b. Reaksi *Fly Ash*



Kandungan silika (SiO_2) di dalam *fly ash* yang tinggi akan mengikat Ca(OH)_2 untuk membentuk *Calcium Silicate Hydrate* (CSH). Proses hidrasi semen akan berlanjut dengan membentuk kristalisasi CSH yang tumbuh dan saling berikatan seiring dengan bertambahnya umur beton. Sehingga penambahan limbah *fly ash* akan menyebabkan durabilitas beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) semakin meningkat nilai kuat tekannya selama pertambahan umur hingga proses hidrasi semen mencapai titik optimum.

Berdasarkan ACI 350M-06 dalam perencanaan konstruksi bangunan IPAL memiliki syarat permeabilitas rendah jika terkena air, gas korosif, dan air limbah. Air limbah yang mengandung bahan kimia seperti bentonit, kalsium karbonat, kalsium hidroksida, klorida, metanol, dll dianggap tidak berbahaya bagi beton. Selain itu ACI 350M-06 menyajikan nilai minimum kuat tekan beton untuk pengolahan air limbah sebesar 28 Mpa. Hasil pengujian terhadap nilai dengan kuat tekan beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) variasi FA47C3 memenuhi untuk diaplikasikan pada bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

4. KESIMPULAN

Beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) variasi FA47C3 dengan substitusi semen menggunakan campuran limbah *fly ash* 47% dan CaCO_3 3 % menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 32,82 MPa pada umur beton 28 hari. Limbah *fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai substitusi semen pada beton *High Volume Fly Ash* (HVFA). Beton *High Volume Fly Ash* (HVFA) dengan variasi FA47C3 dapat diaplikasikan pada konstruksi bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang telah memenuhi syarat kriteria berdasarkan ACI 350M-06 tentang struktur beton teknik lingkungan pada bangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ditujukan kepada seluruh pihak yang berkontribusi dalam menyelesaikan Tugas Akhir. Kepada Laboratorium Matrial Struktur Gedung Beton Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang memberikan waktu dan tempat dalam menyelesaikan penelitian ini. Kepada Bapak dan Ibu Dosen Teknik Pengolahan Limbah PPNS dan Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ITS, Bapak Luqman Cahyono, Ibu Wiwik Dwi Pratiwi, dan Ibu Yuyun Tajunnisa yang memberi saran dan masukan untuk Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini memberikan manfaat bagi penelitian selanjutnya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Benn, B. T. (2021). Properties of concrete made with cement containing increased levels of limestone addition. *Concrete in Australia*, 38(1), 20–26.
- Cahyono, L. C., Sinta, Y. R. D., Jannah, N. R., Fikriyah, I. A., Anwar, P. N., Putri, D. R. S., & Utomo, A. P. (2023). Pemanfaatan Limbah Abu Cangkang Kemiri Industri Makanan Sebagai Substitusi Agregat Halus Paving Block. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(3), 677–684. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i3.23155>
- Dewi, Y. S. (2018). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik System Lumpur Aktif Di Gedung Trans Mart. *Jurnal TechLINK*, 2(2), 1–12.
- Gustiono & Purwanti. (2023). Perencanaan Test Rendam Dan Cara Menanggulangi Bocor Kolam Pengolahan Air Di Proyek Pembangunan Ipal Terintegrasi Dan Jaringan Perpipaan Kit Batang Fase 1-450 HA. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2(4), 5–24.
- Rahmah Muthia, 2018. (2018). *Evaluasi Hasil Emisi Co2 Dari Proses Kalsinasi Pada Pt Semen Padang Berdasarkan Intergovernmental Panel On Climate Change (Ippc) Guidelines 2006 Dalam Mewujudkan Green Cement Industry.*
- Setiawan, Y., Surachman, A., Asthary, P. B., & Saepulloh, S. (2014). Pemanfaatan emisi gas CO2 untuk budidaya Spirulina platensis dalam upaya penurunan Gas Rumah Kaca (GRK). *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 8(2).
- Tajunnisa, Y., Shigeishi, M., Bayuaji, R., & Darmawan, M. S. (2019). Reliability of alkali-activated and Portland cement mortar under compressive test by acoustic emission. *International Journal of GEOMATE*, 17(60), 197–203. <https://doi.org/10.21660/2019.60.70515>
- Tajunnisa, Y., Sugimoto, M., Sato, T., Jaya, J., & Shigeishi, M. (2016). *Characterization of Low Calcium.*
- May. Yun, C. M., Ngu, C., & Liing, K. (2021). Compressive strength of high-volume fly ash (HVFA) concrete as a function of lime water and curing time. *Research Square*, 1–21. <https://www.researchsquare.com/article/rs-919744/latest.pdf>