

Pengaruh Substitusi Agregat Halus dengan Pasir Silika Limbah *Sandblasting* terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Beton HVFA

Havy Fathony¹, Wiwik Dwi Pratiwi^{2*}, Vivin Setiani¹, Wahyuniarsih Sutrisno³, Kiki Dwi Wulandari⁴

^{*1} Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

^{*2} Program Studi Magister Terapan Teknik Keselamatan dan Resiko, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

^{*3} Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

^{*4} Program Studi D4 Teknik Perancangan & Konstruksi Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Jalan Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur

*E-mail: wiwik.pratiwi@ppns.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan pasir silika limbah *sandblasting* sebagai agregat halus dan *fly ash* sebagai substitusi semen pada beton dapat mengurangi volume limbah di industri. Penelitian ini mengkaji kuat tekan dan sifat fisik beton HVFA (*High Volume Fly Ash*). Sifat fisik beton meliputi porositas, densitas dan *water absorption*. Sifat-sifat tersebut memberikan indikasi kemudahan cairan dapat masuk ke dalam dan bergerak melalui beton. Dalam penelitian ini, beton HVFA dengan substitusi *fly ash* terhadap semen sebesar 40% dibandingkan dengan beton normal. Selanjutnya, beton HVFA tersebut dibandingkan dengan beton HVFA dengan agregat halus yang disubstitusi pasir silika limbah *sandblasting*. Kuat tekan beton HVFA dengan pasir biasa ditemukan sebesar 44,8 MPa. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan kuat tekan beton normal sebesar 33,2 MPa. Sedangkan beton HVFA dengan agregat halus pasir silika mempunyai kuat tekan 21,0 MPa. Porositas dan *water absorption* beton HVFA dengan agregat halus pasir biasa lebih rendah dibandingkan dengan beton normal dan lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton HVFA dengan agregat halus limbah *sandblasting*. Densitas beton HVFA dengan agregat halus pasir biasa ditemukan paling tinggi dibandingkan dua jenis beton yang lain. Hasil ini menunjukkan bahwa substitusi semen dengan *fly ash* memberikan dampak menaikkan kualitas beton, baik sifat fisik maupun mekanik. Di sisi lain, substitusi agregat halus dengan pasir silika limbah *sandblasting* menyebabkan penurunan kualitas beton, baik sifat fisik maupun mekanik.

Kata Kunci: Beton HVFA, *Fly Ash*, Limbah *Sandblasting*, Sifat Fisik, Sifat Mekanik

ABSTRACT

The utilization of silica sand from sandblasting waste as fine aggregate and fly ash as a substitute for cement in concrete can reduce the volume of waste in the industry. This research examines the compressive strength and physical properties of HVFA (*High Volume Fly Ash*) concrete. Porosity, density, and water absorption are physical properties observed in this study. These properties provide an indication of the ease with which liquids can enter and move through the concrete. HVFA concrete that uses ordinary sand fine aggregate with fly ash substitution to cement is 40% compared to normal concrete. Furthermore, the HVFA concrete was compared with HVFA concrete with fine aggregate substituted with silica sand from sandblasting waste. The compressive strength of HVFA concrete with sand is found to be 44.8 MPa. This value is higher than the normal concrete compressive strength of 33.2 MPa. While the HVFA concrete with a fine aggregate of silica sand has a compressive strength of 21.0 MPa. The porosity and water absorption of HVFA concrete with a fine aggregate of ordinary sand is lower than that of normal concrete and higher than that of HVFA concrete with a fine aggregate of sandblasting waste. The density of HVFA concrete with fine sand aggregate was found to be the highest compared to the other two types of concrete. These results indicate that the substitution of cement with fly ash has an impact on increasing the quality of concrete, both physical and mechanical properties. On the other hand, the substitution of fine aggregate with silica sand from sandblasting waste causes a decrease in the quality of concrete, both physical and mechanical properties.

Keywords: HVFA Concrete, *Fly Ash*, *Sandblasting Waste*, *Physical Properties*, *Mechanical Properties*

1. PENDAHULUAN

Potensi Indonesia dalam pengembangan inovasi mengenai beton ramah lingkungan yang memanfaatkan limbah sebagai substitusi pengganti

material pembuatan beton seperti agregat halus maupun semen dalam pembuatan beton yang efisien dan memiliki sifat mekanik dan sifat fisik yang optimum. *Sandblasting* merupakan metode

pembersihan atau mengupas lapisan yang menutupi sebuah objek yang biasanya berbahan *metal* atau besi, dengan butiran pasir kuarsa yang ditembakkan langsung ke permukaan benda dengan kompresor berkekuatan tinggi. Proses ini menghasilkan produk samping berupa pasir silika yang tergolong limbah B3^[1]. Dengan begitu, volume limbah *sandblasting* yang ada di industri semakin banyak dan menumpuk, sehingga perlu adanya penelitian lebih jauh untuk dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bermanfaat dan mengurangi volume limbah tersebut. Dalam penelitian ini, limbah *sandblasting* dimanfaatkan untuk menjadi material pengganti agregat halus karena limbah *sandblasting* memiliki karakteristik fisik yang menyerupai pasir.

Fly Ash merupakan limbah padat yang berasal dari pembakaran batubara di PLTU. Indonesia saat ini masih menjadikan PLTU sebagai pilihan utama dalam menghasilkan energi listrik karena mampu menghasilkan energi yang cukup besar dengan didukung cadangan batubara yang cukup banyak. Saat ini penyumbang limbah *fly ash* terbesar berasal dari sektor pembangkit listrik. Dengan meningkatnya jumlah PLTU berbahan bakar batubara ini tentu saja akan menambah jumlah *fly ash* yang ada di Indonesia, dan apabila tidak dilakukan pengelolaan dengan baik maka menimbulkan terjadinya kerusakan pada lingkungan serta dapat memberikan dampak negatif bagi kesehatan masyarakat yang ada di sekitar PLTU. *Fly ash* memiliki sifat pozzolanik, atau kelas tertentu bersifat sementitious, sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai *supplementary cementitious materials* (SCM).

Substitusi semen dengan *fly ash* yang dikenal sebagai *High Volume Fly Ash Concrete*. Beton HVFA mengandung lebih dari 50% *fly ash* menurut beratnya dalam semen. Hal ini merupakan upaya untuk memaksimalkan kandungan *fly ash* dalam beton. Beton HVFA yang saat ini telah dikembangkan memiliki semua komponen yang ada pada beton kinerja tinggi yaitu sifat mekanik yang sangat baik, permeabilitas rendah, dan daya tahan yang unggul karena adanya kandungan *fly ash* yang tinggi, sehingga suhu *autogenous* sangat terkendali^[2].

Sifat mekanik dalam kualitas beton merupakan sifat yang paling penting diantara sifat-sifat lain yaitu kuat tekan beton. Hasil kuat tekan pada beton sangat ditentukan oleh perbandingan dari semen, agregat kasar dan halus, air. Kuat tekan benda uji ditentukan oleh kekuatan tekan tertinggi (f_c) yang dihasilkan benda uji. Sifat fisik pada beton yaitu Porositas, densitas dan water absorbtion terhadap nilai kuat tekan beton HVFA.

Penggunaan pasir silika limbah *sandblasting* sebagai agregat halus diharapkan menambah kekuatan pada beton dan dapat digunakan sebagai substitusi material sebagai campuran beton yang menghasilkan beton dengan kualitas tinggi dengan

mengetahui hubungan dan pengaruh kekuatan dan komposisi campuran bahan beton yang dibuat menggunakan pasir silika dan *Fly Ash* terhadap sifat mekanik dan sifat fisik yang dihasilkan pada beton HVFA ramah lingkungan.

2. PEMBAHASAN

Salah satu sifat mekanik pada beton yaitu Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Sifat mekanik juga akan mempengaruhi sifat fisik beton HVFA (*High Volume Fly Ash*) yang meliputi kuat tekan, porositas, densitas dan *water absorption*. Sifat-sifat tersebut memberikan indikasi kemudahan cairan dapat masuk ke dalam dan bergerak melalui pori-pori beton.

2.1. Tahap *Mix Design*

Perencanaan campuran beton dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan mutu beton yang sesuai dengan yang direncanakan pada uji kuat tekan beton, maka dilakukan perencanaan ini untuk menentukan formulasi campuran pembentuk beton agar memenuhi persyaratan. Perencanaan proporsi campuran pada beton ini mengacu berdasarkan ACI 237R-07. Komposisi campuran binder terdapat pada Tabel 1, sedangkan komposisi beton tertera pada Tabel 2

Tabel 1. Komposisi campuran binder

No	Benda Uji	Semen (%)	Fly Ash (%)	CaCO ₃ (%)
1.	BU 1	100	0	0
2.	BU 2	57	40	3
3.	BU 3	57	40	3

Tabel 2. Komposisi campuran beton (kg/m³)

No	Benda Uji	Binder (Fly Ash + CaCO ₃)	Agregat halus		Agregat kasar	Air
			Pasir biasa	Pasir silika		
1.	BU 1	16,50	29,14	0	24,67	4,14
2.	BU 2	16,01	29,14	0	24,67	4,14
3.	BU 3	16,01	0	29,14	24,67	4,14

Pada pembuatan benda uji dalam penelitian ini mengacu pada SNI 2493:2011. Benda uji yang dibuat berupa beton silinder dengan dimensi 200 mm x 100 mm.

2.2. Sifat Mekanik Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mendapatkan kualitas beton yang telah dibuat. Pengujian kuat tekan dilakukan berdasarkan ASTM

C39^[3]. Uji tekan pada benda uji yang dirawat lembab dilakukan segera setelah pemindahan dari tempat pelembaban. Pada penelitian ini, uji tekan dilaksanakan setelah berumur 28 hari masa perawatan.

Pada pengujian kuat tekan, benda uji yang digunakan berjumlah 3 benda uji. Sebelum dilakukan pengujian, permukaan atas benda uji diberi *capping* belerang yang berfungsi agar permukaan benda uji rata, sehingga penyebaran tekanan pada saat sampel dilakukan pengujian. Hasil uji kuat tekan beton terhadap 3 *mix design* pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji kuat tekan beton HVFA

No	Benda Uji	Hasil Uji Kuat Tekan (MPa)
1.	BU 1	33,4
2.	BU 2	44,8
3.	BU 3	21,0

Hasil uji kuat tekan beton normal (BU1) memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 33,4 MPa. Untuk beton dengan campuran *fly ash* 40% tanpa menggunakan pasir silika limbah *sandblasting* (BU2) memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 44,8 MPa serta untuk beton dengan campuran 40% *fly ash* dengan pasir silika limbah *sandblasting* memiliki nilai kuat tekan (BU3) sebesar 21,0 MPa.

Kuat tekan tertinggi didapatkan pada variasi beton HVFA dengan kode benda uji BU2 yakni campuran *fly ash* 40% tanpa menggunakan pasir silika limbah *sandblasting*. Nilai kuat tekan dari beton dengan substitusi agregat halus pasir silika limbah *sandblasting* masih lebih rendah dibandingkan dengan variabel kontrol, yaitu beton normal (BU1) dan beton dengan campuran *fly ash* 40% tanpa menggunakan pasir silika limbah *sandblasting* (BU2). Hal ini menunjukkan bahwa substitusi pasir silika limbah *sandblasting* menyebabkan penurunan kuat tekan dibandingkan dengan beton normal HVFA yang menggunakan pasir biasa.

Penyebab penurunan nilai kuat tekan tersebut adalah bentuk fisik dari pasir silika limbah *sandblasting* yang digunakan. Semakin banyaknya jumlah limbah *sandblasting* membuat kuat tekan yang diperoleh semakin menurun^[4]. Sifat fisik pada agregat limbah *sandblasting* memiliki rongga udara yang lebih tinggi sekitar 35% - 38% sehingga beton yang dihasilkan belum cukup baik karena ikatan antar agregat masih kurang kuat^[5].

Fly ash sangat berpengaruh terhadap meningkatkan kuat tekan pada umur beton. Hal tersebut disebabkan karena pada umur 28 hari, hasil reaksi hidrasi semen diperkuat dengan hasil reaksi *pozzolan* dari *fly ash*. Terlihat perbandingan antara beton normal yaitu tanpa adanya substitusi *fly ash* lebih rendah dibandingkan dengan beton substitusi *fly ash* yang memiliki nilai uji kuat tekan vlebih tinggi.

2.3. Sifat Fisik Beton

Pada penelitian ini, sifat fisik yang diujikan pada beton yaitu Porositas, Densitas, dan *Water Absorption* Pada beton pada usia 28 hari. Pengujian sifat fisik beton mengacu pada ASTM C642^[6].

2.3.1 Hasil Uji Porositas Beton

Porositas ialah kandungan pori-pori atau ruang kosong yang dalam beton terhadap volume beton dalam bentuk persentase. Porositas dapat diakibatkan adanya partikel-partikel bahan penyusun beton yang relatif besar, sehingga mengandung udara saat kondisi lecah dan kerapatan beton tidak maksimal setelah mengeras. Pengujian porositas beton juga perlu dilakukan untuk melihat seberapa besar pori yang terdapat pada beton yang mana menghitung seberapa besar persentase air yang masuk kedalam campuran beton.

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan volume pori-pori terhadap volume total beton. Peningkatan persentase porositas memiliki keterkaitan terhadap penurunan kuat tekan beton. Hasil pengujian porositas beton HVFA menggunakan standar pengujian ASTM C 642-90^[14] dan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji porositas beton HVFA

No.	Benda Uji	Porositas rata-rata (%)
1.	BU 1	10,40
2.	BU 2	9,29
3.	BU 3	11,98

Dari hasil pengujian porositas pada beton didapatkan nilai porositas tertinggi diperoleh variasi 40% campuran *fly ash* dengan substitusi pasir silika limbah *sandblasting* dibandingkan dengan hasil porositas beton normal dan campuran 40% *fly ash* dengan pasir normal. Semakin tinggi tingkat kepadatan pada beton maka semakin besar mutu beton, sebaliknya semakin besar porositas beton, maka kekuatan beton akan semakin kecil^[8]. Hal ini sesuai dengan data kuat tekan yang ditampilkan pada Tabel 3 yang mana kuat BU 2 lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan BU1.

Nilai porositas beton menunjukkan jumlah persentase ruang kosong antara fase material yang terdapat didalam beton. Semakin banyak volume pori yang terdapat didalam beton, maka semakin tinggi nilai porositas beton tersebut. Porositas merupakan nilai yang penting pada beton karena berhubungan langsung dengan durabilitas beton^[9].

Nilai porositas beton pada campuran yang diperoleh dari hasil pengujian, beton dengan campuran *fly ash* cenderung lebih padat sebagaimana yang ditunjukkan oleh hasil pengujian yaitu nilai porositas beton dengan campuran *fly ash* cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan porositas beton besar dengan campuran pasir silika limbah *sandblasting*.

Hubungan antara kuat tekan dan porositas berbanding terbalik, artinya semakin tinggi porositas beton maka, nilai kuat tekan akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena semakin tinggi porositas diakibatkan dari tingginya angka pori yang ditimbul, angka pori mempengaruhi nilai kuat tekan beton tersebut, semakin besar angka pori maka kuat tekan beton tersebut semakin rendah^[10].

2.3.2 Hasil Uji Densitas Beton

Densitas merupakan ukuran kerapatan suatu zat yang dinyatakan banyak zat (massa) persatuan volume. Tujuan pengujian densitas adalah untuk menentukan kepadatan beton. Pengujian densitas beton atau berat isi beton dilakukan pada beton segar yang dipadatkan ketika mengukur kemampuan kerja atau kandungan udara yang ada dalam kandungan beton^[11]. Hasil pengujian densitas beton HVFA menggunakan standar pengujian berdasarkan ASTM C 642-90^[14] yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji densitas beton HVFA

Benda Uji	Apparent density (Mg/m ³)	Average Density (Mg/m ³)
BU 1	2,63	2,64
	2,65	
	2,64	
BU 2	2,71	2,67
	2,65	
	2,65	
BU 3	2,50	2,47
	2,42	
	2,48	

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan *apparent density* atau densitas semu merupakan densitas yang merupakan massa beton kering dibandingkan dengan berat beton didalam air (ASTM C642)^[7]. Hasil pengujian densitas menunjukan bahwa substitusi 40% *fly ash* dengan pasir biasa menunjukan nilai densitas tertinggi. Penambahan *fly ash* pada beton dapat menghasilkan daya serap air dan densitas lebih tinggi jika dibandingkan dengan beton tanpa penambahan *fly ash*^[12]. Semakin tinggi densitas (massa jenis) suatu beton, maka semakin besar pula massa setiap volumenya betonnya.

2.3.3 Hasil Uji Water Absorption Beton

Penyerapan atau absorpsi merupakan kemampuan air untuk bergerak melalui rongga-rongga kapiler melalui permukaan hingga lapisan dalam pada beton ketika benda tersebut bersentuhan dengan air. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui banyaknya air yang diserap oleh beton.

Pada umumnya, penelitian absorpsi diukur dengan menghitung prosentase antara perbedaan massa dari kondisi kering dengan kondisi SSD (*saturated surface dry*). Pengujian ini dilakukan untuk menentukan tingkat penyerapan (*sorptivity*)

air oleh beton semen hidrolis dengan mengukur peningkatan massa dalam spesimen yang dihasilkan dari penyerapan air sebagai fungsi waktu ketika hanya satu permukaan yang terekspos air. Hasil pengujian *water absorption* beton HVFA yang mengacu pada standar prosedur pengujian ASTM C 642 – 90^[14], disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil uji water absorption beton HVFA

Variasi	Absorpsi (%)	Rata-rata (%)
BU 1	4,91	4,38
	4,26	
	3,99	
BU 2	3,73	3,73
	3,66	
	3,81	
BU 3	5,20	4,88
	5,12	
	4,30	

Hasil pengujian *water absorption* beton HVFA dapat disimpulkan bahwa beton *High Volume Fly Ash* memiliki daya serap air yang rendah, dilihat pada perbandingan beton campuran *fly ash* 40% dengan pasir biasa (BU2) pada beton campuran normal (BU1). Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menunjukkan substitusi *fly ash* terhadap semen sebesar 40% menurunkan nilai resistivitas listrik^[15]. Di sisi lain, substitusi pasir silika limbah *sandblasting* membuat daya serap air pada beton pada variasi BU3 meningkat. Pengujian nilai penyerapan dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang bisa menyerap kedalam beton. Semakin besar nilai penyerapan pada beton akan dapat merusak tulangan pada beton apabila beton diaplikasikan pada struktur beton bertulang^[13].

3. KESIMPULAN

Sifat mekanik dan sifat fisik yang ditunjukkan pada beton HVFA menunjukan bahwa, kuat tekan beton HVFA dengan pasir biasa ditemukan sebesar 44,8 Mpa dibandingkan dengan nilai kuat tekan beton normal sebesar 33,2 MPa. sedangkan beton HVFA dengan agregat halus pasir silika mempunyai kuat tekan 21,0 MPa. Sifat fisik porositas dan *water absorption* beton HVFA dengan komposisi *fly ash* agregat halus pasir biasa lebih rendah dibandingkan dengan beton normal dan beton HVFA dengan agregat halus limbah *sandblasting* serta nilai densitas beton HVFA dengan agregat halus pasir biasa ditemukan paling tinggi dibandingkan dengan beton normal serta HVFA dengan substitusi limbah *sandblasting*. Hasil ini menunjukkan bahwa substitusi semen dengan *fly ash* memberikan dampak menaikkan kualitas beton, baik sifat fisik maupun mekanik. Hasil substitusi agregat halus dengan pasir silika limbah *sandblasting* diketahui dapat menyebabkan

penurunan kualitas beton, baik sifat fisik maupun mekanik pada beton HVFA.

PUSTAKA

- [1] PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- [2] Avinash, C, "High Volume Fly Ash Concrete In Construction" *2015 International Journal in IT and Engineering*, 3(6), 61–67.
- [3] American Concrete Institute. "ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens" *2001 1 (pp. 1–5). American Concrete Institute*.
- [4] Fabiolawati, A. S. "Pemanfaatan Fly Ash Tipe C dan Limbah Sandblasting Pada Pembuatan Prototipe Semen Geopolimer" *2020 Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- [5] Tomayahu, Yahya. "Analisa Agregat terhadap Kuat Tekan Beton pada Pembangunan Jalan Isimu-Paguyaman (Pavement Rigid)" *2019 Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi Sekolah Tinggi Teknik (STITEK) Bina Taruna Gorontalo Vo. 4 No. 2*.
- [6] Irawan, R. R., Hardono, S., Budiman, Y. I., Soeherman, O., &..... "Beton Dengan Sedikit Semen Portland Memanfaatkan Abu Terbang dari PLTU Batubara." *2015 Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Retrieved from https://binamarga.pu.go.id/bintekjatan/repositori/system/files/1_Beton_Abu_Terbang_%282015_5NI%29.pdf*
- [7] American Society for Testing and Materials. "ASTM C642-13 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete" *2013 (pp. 1–3). ASTM International*.
- [8] Sutapa, Gede, A. A. "Porositas, Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Dengan Agregat Kasar Batu Pecah Pasca Dibakar" *2011 Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 15(1), 50–57*.
- [9] Larici, R., Wibisono, G., & Olivia, M. "Durabilitas Beton Menggunakan Remah Karet dan FABA (Fly Ash Bottom Ash) untuk Perkerasan Kaku di Lingkungan Gambut" *2020 Jurnal Rekayasa Sipil, 16(2), 143–153*.
- [10] Astutik, Herna Puji., As'ad Sholihin., dan Basuki, Achmad. "Kuat Tekan, Porositas Dan Permeabilitas Pervious Concrete Dengan Campuran Agregat Limbah Gerabah" *2014 e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL Vol. 2 No.*
- [11] Dermawan, H. "Sifat Fisik dan Mekanis Beton Sekat Kanal High Volume Fly Ash (HVFA) di Lingkungan Gambut." *2022 Jurnal Teknik, 16, 23–31*.
- [12] Nurzal, & Putra, W. F. "Pengaruh waktu pengeringan dengan penambahan 5% berat Fly Ash Melalui Daya Serap Air dan Uji Densitas pada Pembuatan Paving Block." *2014 Teknik Mesin, 4(2), 59–67. Retrieved from <https://ejournal.itp.ac.id/>*
- [13] Pujiyanto, A., Prayuda, H., Zega, B. C., & Afriandini, B. . "Kuat Tekan Beton dan Nilai Penyerapan dengan Variasi Perawatan Perendaman Air Laut dan Air Sungai." *2019 Semesta Teknika, 22(2), 112–122. <https://doi.org/10.18196/st.222243>*
- [14] ASTM C 642-90. "Standard Test Method For Specific Gravity, Absorption, And Voids In Hardened Concrete" *1991 ASTM Standards ,USA*
- [15] Dwi Putra, F. D., Pratiwi, W. D., Santiasih, I., Wulandari, K. D., Abdullah, K., & Arumsari, N. "Electrical Resistivity as Prediction of High-Volume Fly Ash Concrete Performance in Marine Environment. *2021 7th International Conference on Ship and Offshore Technology, 200–205. <https://icsot.ppons.ac.id/for-authors/proceeding-icsot/>*