

**Studi Material *Permeable Concrete* Berbahan *Fly Ash* dengan
Variasi Jenis dan Ukuran Agregat untuk Aplikasi Drainase *River
Water Folder***

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Fina Auliyah

2214111007



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MANUFAKTUR
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

**Studi Material *Permeable Concrete* Berbahan *Fly Ash* dengan
Variasi Jenis dan Ukuran Agregat untuk Aplikasi Drainase *River
Water Folder***

Oleh:

Fina auliyah

221411007

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program
pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 03 juli, 2024

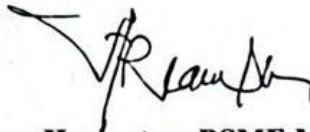
Disetujui,

Pembimbing I,



Dr. Heri Setiawan, ST., MT
NIP. 196707011992031001

Pembimbing II,



Iwan Harianton, BSME.M.Eng.
NIP. 196405071992011001

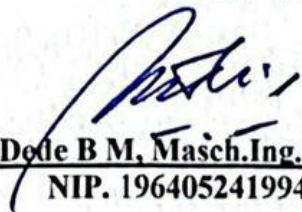
Pembimbing III,



Cecep Ruskandi, S.T., M.T.
NIP. 196301011992011001

Disahkan,

Penguji I,



Dede B M, Masch. Ing. HTL., MT.
NIP. 196405241994031002

Penguji II,



Dr. Herman B H, S.T., M.T., IPM.
NIP. 197902022008101001

Penguji III,



Dr. Dewi Idamayanti, S.Si., M.T
NIP. 197901032005012003

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fina Auliyah
NIM : 221411007
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Studi Material *Permeable Concrete* Berbahan *Fly Ash* dengan Variasi Jenis dan Ukuran Agregat untuk Aplikasi Drainase *River Water Folder*

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 04 – juli – 2025
Yang Menyatakan,

Fina Auliyah
NIM. 22141100

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fina Auliyah
NIM : 221411007
Jurusan : Teknik Mamufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Studi Material *Permeable Concrete* Berbahan *Fly Ash* dengan Variasi Jenis dan Ukuran Agregat untuk Aplikasi Drainase *River Water Folder*

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 04 – juli – 2025
Yang Menyatakan,

Fina Auliyah
NIM. 221411007

MOTO PRIBADI

“ Keberuntungan berpihak kepada orang yang berani bertindak ”

Tugas akhir ini saya persembahkan khusus untuk diri saya sendiri, mimih, bapak dan juga kakak saya. yang sudah bekerja keras untuk selalu membantu dan mendukung penulis secara moral dan materil selama menjalani perkuliahan di Politeknik Manufaktur Bandung.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: “Studi Material *Permeable Concrete* Berbahan *Fly Ash* dengan Variasi Jenis dan Ukuran Agregat untuk Aplikasi Drainase *River Water Folder*”.

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Teristimewa kepada orang tua penulis, Ibunda Cicik Ningsih dan Ayahanda Sukari. Terima kasih atas setiap tetes keringat, pengorbanan, dan kerja keras yang telah diberikan demi yang terbaik untuk penulis. Terima kasih telah mendidik, membimbing, serta selalu menyayangi dengan tulus, memberikan motivasi dan dukungan, serta tak pernah lelah mendoakan. Berkat semua itu, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Kepada kakak tercinta, Fais Nurul Hudin, terima kasih atas segala usaha dalam memenuhi kebutuhan penulis serta dukungan yang tak pernah henti, hingga

akhirnya penulis dapat menempuh perjalanan ini dan menyelesaikan studi di Politeknik Manufaktur Bandung

3. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung Bapak Bapak Darma Firmansyah U., S.ST.,M.T.
4. Untuk Ketua Jurusan Teknik Manufaktur Bapak Dr. Herman Budi Harja, S.T.,M.T.,IPM,
5. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur sekaligus pembimbing 1 tugas akhir penulis, Bapak Dr. Heri Setiawan, ST., MT., SST., MT.
6. Para pembimbing 2 dan 3 Bapak Iwan Harianton BSME.M.Eng. dan Bapak Cecep Ruskandi, ST., MT. atas bimbingan, dukungan, dan inspirasi yang telah diberikan selama proses penelitian ini.
7. Para Penguji sidang tugas akhir Bapak....
8. Untuk sahabat-sahabat tercinta, Anis Rosiani, Anggi Putri, Ashel Izzah, Dewi Yuliana, Sriningsih Handayani, dan Tika Wulandari, yang telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis sejak masa SMP hingga saat ini. Terima kasih atas kebersamaan, semangat, dan dukungan yang tak henti-hentinya kalian berikan. Kehadiran kalian menjadi sumber kekuatan dan inspirasi dalam setiap langkah penulis.
9. Untuk sahabat saya, Syifa Zuhriyah, yang senantiasa membimbing dan mengajarkan banyak hal baru. Terima kasih atas ilmu, semangat, dan ketulusan yang telah menjadi bagian berharga dalam perjalanan penulis.
10. Untuk sahabat saya, Chandika Aulia Hapsari dan Shenny Meilani, yang telah menjadi tempat penulis berbagi cerita dan keluh kesah selama menempuh perkuliahan di Politeknik Manufaktur Bandung. Terima kasih atas kebersamaan, perhatian, dan dukungan yang begitu berarti sepanjang perjalanan ini.
11. Untuk rekan 1 tim TA Ady, Silvia, dan Putri yang kebersamai penulis selama menjalani TA.
12. Untuk rekan-rekan kelas 4 MED, terima kasih atas bantuan, kebersamaan, dan semangat yang selalu kalian berikan selama masa perkuliahan di Politeknik

Manufaktur Bandung. Dukungan kalian menjadi bagian penting dalam perjalanan dan pencapaian penulis hingga saat ini.

13. Terakhir, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada diri sendiri, Fina Auliyah. Terima kasih karena telah bertahan sejauh ini, melewati hari-hari yang berat, menghadapi keraguan yang datang tanpa diundang, dan tetap melangkah meski arah sering kali terasa kabur. Terima kasih karena tidak menyerah saat ingin menyerah, karena tetap percaya meski sering merasa ragu, dan karena menjadi satu-satunya teman yang tak pernah pergi di tengah segala kegagalan, kebingungan, dan luka yang diam-diam disembunyikan. Terima kasih karena telah memilih untuk terus hidup dan berjuang, satu hari lagi, setiap harinya.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 4 juli 2025

Fina Auliyah

ABSTRAK

Permasalahan banjir dan genangan akibat berkurangnya daerah resapan air, yang diperparah oleh alih fungsi lahan serta penggunaan material perkerasan impermeabel seperti aspal dan beton konvensional. Salah satu solusi yang ditawarkan adalah penerapan sistem drainase *river water folder* menggunakan beton permeabel ramah lingkungan berbahan dasar *fly ash* dengan rasio *fly ash* terhadap aktivator 65%:35%, serta rasio NaOH terhadap Na_2SiO_3 sebesar 1:2,5 dan rasio agregat terhadap binder 5:1. Variabel utama meliputi ukuran agregat (5 mm dan 9 mm) serta jenis agregat (alami dan Pecahan). Pengujian mencakup uji permeabilitas dan kuat tekan, Data dianalisis dengan pendekatan taguchi untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing faktor, dilanjutkan dengan analisis ANOVA guna menentukan signifikansi kontribusi faktor-faktor tersebut, serta analisis regresi linier untuk menyusun model prediktif. Hasil menunjukkan permeabilitas maksimum sebesar 0,0176 cm/s diperoleh pada kombinasi agregat alami ukuran 9 mm, sedangkan kuat tekan tertinggi dicapai pada agregat Pecahan ukuran 5 mm. Prediksi kombinasi optimum berdasarkan hasil uji *optimizer* diperoleh pada jenis agregat 1 (agregat pecahan) dan ukuran agregat 2 (9 mm) menghasilkan kuat tekan 3,728 MPa dan permeabilitas 0,0166 cm/s. Hasil penelitian ini memenuhi standar beton permeabel *ACI (American Concrete institute)*, sehingga material ini layak untuk dijadikan sebagai subbase untuk aplikasi sistem drainase *river water folder* diharapkan dapat mendukung pengembangan material perkerasan yang meningkatkan daya resap air dan mengurangi risiko banjir di kawasan perkotaan.

Kata kunci: Agregat, Alkali aktivator, Beton permeabel, Drainase *river water folder*, *Fly ash*, Kuat tekan, Permeabilitas.

ABSTRACT

The problem of flooding and inundation due to the reduction of water catchment areas, which is exacerbated by land use change and the use of impermeable pavement materials such as asphalt and conventional concrete. The solution offered is the implementation of a river water folder drainage system using fly ash-based environmentally friendly permeable concrete with a fly ash to activator ratio of 65%:35%, as well as a NaOH to Na₂SiO₃ ratio of 1:2.5 and an aggregate to binder ratio of 5:1. The main variables included aggregate size (5 mm and 9 mm) and aggregate type (natural and artificial). The tests included permeability and compressive strength tests. Data were analyzed using the Taguchi approach to evaluate the influence of each factor, followed by ANOVA analysis to determine the significance of the contribution of the factors, and linear regression analysis to develop a predictive model. The results showed that the maximum permeability of 0.0176 cm/s was obtained with the combination of 9 mm natural aggregate, while the highest compressive strength was achieved with 5 mm artificial aggregate. The optimum combination prediction based on the optimizer was obtained for aggregate type 1 (artificial aggregate) and aggregate size 2 (9 mm) resulting in a compressive strength of 3.728 MPa and permeability of 0.0166 cm/s. The results of this study meet the ACI (American Concrete institute) permeable concrete standard, so this material is suitable to be used as a subbase for the application of river water folder drainage system is expected to support the development of pavement materials that increase water absorption and reduce flood risk in urban areas.

Keywords: Aggregate, Alkali activator, Permeable concrete, River water folder drainage, Fly ash, compressive strength, Permeability

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-2
I.3 Batasan Masalah.....	I-3
I.4 Tujuan dan Manfaat	I-3
I.5 Sistematika Penulisan.....	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Tinjauan Teori.....	II-1
II.1.1 Hujan.....	II-1
II.1.2 Banjir.....	II-1
II.1.3 Drainase River Water Folder	II-2
II.1.4 Beton	II-3
II.1.5 Beton Permeabel (<i>Permeable Concrete</i>).....	II-4
II.1.6 Fly Ash	II-5
II.1.7 Alkali Aktivator	II-15
II.1.8 Agregat.....	II-16
II.1.9 Uji Permeabilitas.....	II-19
II.1.10 Kuat Tekan	II-21
II.1.11 Design of Experiment (DoE)	II-21
II.1.12 Metode Taguchi	II-22

II.1.13	Analysis of Variance (ANOVA).....	II-26
II.2	Tinjauan Alat.....	II-31
II.2.1	Minitab 19.....	II-31
II.2.2	Saringan Agregat.....	II-32
II.2.3	Cetakan Silinder Beton.....	II-33
II.2.4	Timbangan.....	II-34
II.2.5	Alat Uji Permeabilitas.....	II-35
II.2.6	Alat Uji Kuat Tekan.....	II-35
II.3	Studi Penelitian Terdahulu.....	II-36
BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH		III-1
III.1	Metodologi Penelitian.....	III-1
III.2	Diagram Alir.....	III-1
III.3	Rancangan Penelitian.....	III-4
III.3.1	Pemilihan Karakteristik Penelitian.....	III-4
III.3.2	Pemilihan Faktor.....	III-4
III.3.3	Pemilihan Level pada Setiap Faktor.....	III-4
III.3.4	Variabel Penelitian.....	III-5
III.4	Alat dan Bahan.....	III-6
III.5	Design of Experiment (DoE).....	III-7
III.5.1	Menentukan Derajat Kebebasan.....	III-7
III.5.2	Menentukan <i>Orthogonal Array</i> Penelitian.....	III-8
III.5.3	<i>Orthogonal Array</i> Penelitian.....	III-8
III.6	Pelaksanaan Eksperimen.....	III-9
III.6.1	Klasifikasi dan penyaringan ukuran agregat.....	III-9
III.6.2	Perhitungan Bahan.....	III-9
III.6.3	Penimbangan Bahan.....	III-10
III.6.4	Pencampuran Bahan (<i>Mixing</i>) dan Pengecoran.....	III-10
III.6.5	Proses <i>Curing</i>	III-11
III.6.6	Pengujian Permeabilitas.....	III-11
III.6.7	Pengujian Kuat Tekan.....	III-11
III.7	Pengolahann Data dan Analisis.....	III-12
III.7.1	Proses Pengambilan Data.....	III-12
III.7.2	Pengolahan Data dengan Menggunakan Metode Taguchi.....	III-13

III.7.3	Pengelolaan Data Analisis of Variance (ANOVA).....	III-14
III.7.4	Analisis Regresi Dan formulasi	III-15
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
IV.1	Gambaran Umum	IV-1
IV.2	Pengujian Spesimen	IV-1
IV.2.1	Uji Permeabilitas.....	IV-1
IV.2.2	Pengujian Kuat Tekan.....	IV-3
IV.3	Analisis Metode Taguci	IV-6
IV.3.1	Analisis Metode Taguchi Terhadap Permeabilitas	IV-6
IV.3.2	Analisa Metode Taguchi Terhadap Kuat Tekan	IV-8
IV.4	Analisa Anova.....	IV-10
IV.4.1	Uji Normalitas.....	IV-10
IV.4.2	Hasil ANOVA.....	IV-12
IV.5	Analisis <i>Optimizer</i>	IV-12
IV.6	Pembahasan Spesifik Pengaruh Variasi Agregat	IV-13
IV.7	Pembahasan Luaran Kelayakan Hasil.....	IV-14
BAB V	V-1	
V.1	Kesimpulan	V-1
V.2	Saran.....	V-2
DAFTAR PUSTAKA		xix

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 keunggulan dan kelemahan beton permeabel.....	II-5
Tabel II. 2 Klasifikasi <i>fly ash</i>	II-7
Tabel II. 3 karakteristik <i>fly ash</i> menurut ACI (<i>American Concrete Institute</i>)	II-8
Tabel II. 4 hasil pengujian Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS).....	II-11
Tabel II. 5 Hasil uji XRF <i>fly ash</i> PLTU Paiton.....	II-13
Tabel II. 6 Syarat mutu <i>fly ash</i>	II-13
Tabel II. 7 Syarat kandungan kimia <i>fly ash</i>	II-14
Tabel II. 8 Kelebihan dan kekurangan penggunaan <i>fly ash</i>	II-14
Tabel II. 9 Hasil pemeriksaan agregat alami.....	II-18
Tabel II. 10 ANOVA computations	II-27
Tabel II. 11 Daftar saringan agregat yang digunakan	II-33
Tabel II. 12 Studi penelitian terdahulu.....	II-37
Tabel III. 1 Penjelasan Flow chart	III-2
Tabel III. 2 level pada faktor jenis agregat	III-5
Tabel III. 3 level pada faktor ukuran agregat.....	III-5
Tabel III. 4 Bahan yang digunakan	III-6
Tabel III. 5 Alat yang dibutuhkan.....	III-7
Tabel III. 6 Matriks <i>orthogonal array</i> $L_9(3^2)$	III-8
Tabel III. 7 Orthogonal Array penelitian	III-9
Tabel III. 8 Contoh tabel pengisian data hasil pengujian permeabilitas	III-13
Tabel III. 9 Tabel Kuat Tekan.....	III-13
Tabel III. 10 contoh tabel pengisian S/N ratio	III-14
Tabel III. 11 contoh tabel pengisian data main effect	III-14
Tabel III. 12 Contoh tabel pengisian data ANOVA.....	III-15
Tabel IV. 1 Data hasil pengujian Permeabilitas.....	IV-2
Tabel IV. 2 Hasil perhitungan Koefisien Permeabilitas.....	IV-2
Tabel IV. 3 Data Hasil pengujian kuat tekan	IV-5
Tabel IV. 4 Hasil perhitungan S/N ratio permeabilitas software minitab 19	IV-6
Tabel IV. 5 Main effect terhadap respon permeabilitas	IV-7

Tabel IV. 6 S/N ratio terhadap respon kuat tekan..... IV-9

Tabel IV. 7 Main effect terhadap respon kuat tekan..... IV-9

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Konstruksi drainase River Water Folder	II-2
Gambar II. 2 Mekanisme kerja sistem drainase River Water Folder	II-3
Gambar II. 3 Beton Permeabel.....	II-4
Gambar II. 4 Fly Ash	II-5
Gambar II. 5 Proses Terbentuknya Fly Ash.....	II-6
Gambar II. 6 Hasil uji SEM <i>fly ash</i> PLTU Paiton 500 X perbesaran [27].....	II-9
Gambar II. 7 Grafik uji XRD <i>fly ash</i> PLTU Paiton [27].....	II-12
Gambar II. 8 Agregat pecahan (Split).....	II-17
Gambar II. 9 Agregat alami	II-18
Gambar II. 10 Grafik Nominal-The Best.....	II-24
Gambar II. 11 Grafik Smaller The Better [40].....	II-25
Gambar II. 12 Grafik larger the better[40].....	II-25
Gambar II. 14 Software minitab 19.....	II-31
Gambar II. 15 Saringan agregat	II-32
Gambar II. 16 Cetakan spesimen beton	II-33
Gambar II. 17 Timbangan.....	II-34
Gambar II. 18 Alat uji permeabilitas.....	II-35
Gambar II. 19 Alat uji kuat tekan (Compression Testing Machine).....	II-35
Gambar III. 1 Diagram alir penelitian.....	III-2
Gambar III. 2 (a) Agregat, (b) <i>fly ash</i> , (c) NaOH, (d) Na ₂ SiO.....	III-10
Gambar III. 3 (a) proses mixer, (b) Campuran beton, (c) Pengecoran spesimen uji	III-10
Gambar III. 4 Spesimen uji permeabilitas.....	III-11
Gambar IV. 1 Proses uji permeabilitas	IV-1
Gambar IV. 2 Diagram batang koefisien permeabilitas.....	IV-3
Gambar IV. 3 Mesin Uji Kuat Tekan Polban.....	IV-4
Gambar IV. 4 (a) kondisi awal, (b) retakan, (c) runtuh.....	IV-4
Gambar IV. 5 Diagram batang kuat tekan	IV-5

Gambar IV. 6 Grafik main effect terhadap respon permeabilitas	IV-8
Gambar IV. 7 Grafik main effect plot terhadap respon kuat tekan	IV-10
Gambar IV. 8 Hasil uji normalitasterhdap data permeabilitas	IV-11
Gambar IV. 9 Hasil uji normalitas terhadap data Kuat Tekan.....	IV-11

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

PLTU	=	Pembangkit Listrik Tenaga Uap
SUDS	=	<i>Sustainable Urban Drainage System</i>
Al	=	Alumunium
Si	=	Silikon
NaOH	=	Natrium Hidroksida
Na ₂ SiO ₃	=	Natrium Silikat
KOH	=	Kalium Hidroksida
CaO	=	Kalsium Oksida
SiO ₂	=	<i>Silicon Dioxide</i>
Al ₂ O ₃	=	<i>Aluminum Oxide</i>
Fe ₂ O ₃	=	<i>Ferric Oxide</i>
Na ₂ O	=	<i>Sodium Oxide</i>
NaCl	=	Natrium Clorida
SNI	=	Standar Negara Indonesia
ASTM	=	American Standards Testing and Materials
ACI	=	<i>American Concrete Institute</i>
Mpa	=	Megapascal
N	=	Newton
Mm	=	Mikrometer
Mm	=	Milimeter
Kg	=	Kilogram
G	=	Gram
det	=	Detik
SEM	=	<i>Scanning Electron Microscope</i>
XRD	=	<i>X-Ray Diffractometer</i>
XRF	=	X fluoresensi
<i>f'c</i>	=	Kuat Tekan Beton

P	=	Gaya Tekan Aksial
A	=	Luas Penampang
K	=	Koefisien Permeabilitas
p	=	Massa Jenis
g	=	Gravitasi
Q	=	Debit Aliran Air
DoE	=	<i>Design of Experiment</i>
OA	=	<i>Orthogonal Array</i>
SN Ratio	=	<i>Signal to Noise Ratio</i>
ANOVA	=	<i>Analysis of Variance</i>
CTM	=	<i>Compression Testing Machine</i>
GGBFS	=	<i>Ground Granulated Blast Furnace Slag</i>
π	=	PI
\emptyset	=	Diameter
r	=	Jari-jari
t	=	Tinggi Cetakan

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan urbanisasi yang signifikan telah menyebabkan konversi lahan terbuka menjadi area terbangun yang tertutup oleh material kedap air (*impermeable surfaces*) seperti beton konvensional dan aspal. Penggunaan material *impermeable* memperluas permukaan kedap air sehingga air hujan tidak dapat meresap ke dalam tanah [1]. Akibatnya volume limpasan permukaan meningkat secara signifikan dan membebani kapasitas saluran drainase konvensional yang umumnya sudah tidak memadai. Sistem drainase yang dirancang hanya untuk menyalurkan air dengan cepat ke saluran utama, tanpa memberikan ruang untuk infiltrasi, menyebabkan penurunan cadangan air tanah, memperparah resiko banjir saat hujan lebat, dan kekeringan saat musim kemarau [2]. Permasalahan ini menjadi isu lingkungan yang krusial di kota-kota besar di Indonesia.

Di sisi lain, industri konstruksi masih sangat bergantung pada semen portland sebagai material perekat utama dalam proses pembuatan beton. Padahal, proses produksi semen menyumbang sekitar 7–8% dari total emisi karbon global dan menghasilkan limbah industri dalam jumlah besar [3]. Oleh karena itu, dibutuhkan bahan alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satu material yang berpotensi menggantikan semen adalah *fly ash*, yaitu limbah hasil pembakaran batu bara di PLTU yang memiliki sifat pozzolanik dan reaktif terhadap larutan alkali [4]. Berdasarkan penelitian terdahulu penggunaan *fly ash* tipe F sebagai binder mampu meningkatkan durabilitas dan kekuatan beton permeabel [5]. Selain itu, karena *fly ash* tidak memerlukan proses kalsinasi seperti pada proses pembuatan semen, penggunaannya secara langsung dapat mengurangi konsumsi energi dan emisi karbon dalam industri konstruksi [6]. Substitusi semen sebanyak 30% dengan *fly ash* pada beton menghasilkan kuat tekan melebihi 25 MPa pada usia 14 hari, sekaligus menurunkan biaya material dan emisi karbon secara signifikan [7]. Oleh karena itu, *fly ash* dinilai sebagai salah satu alternatif paling menjanjikan dalam pengembangan beton berkelanjutan.

Sebagai solusi dari kedua permasalahan tersebut, dikembangkanlah beton permeabel berbahan *fly ash* yang dirancang untuk mendukung sistem drainase modern seperti *river water folder*. Sistem ini tidak hanya berfungsi mengalirkan air hujan, tetapi juga memungkinkan infiltrasi dan penampungan sementara, sehingga mampu meredam limpasan permukaan. Beton dengan karakteristik porositas tinggi memungkinkan air hujan mengalir langsung ke tanah melalui rongga-rongga di dalam struktur beton, menjadikannya sangat ideal untuk sistem drainase berkelanjutan di kawasan padat penduduk.

Dalam konteks fungsional beton permeabel, selain peran binder, salah satu variable yang paling berpengaruh terhadap kinerja beton adalah jenis dan proporsi agregat yang digunakan. Agregat menyusun sekitar 70% dari volume beton permeable [8]. Oleh karena itu, sifat fisik dan distribusi ukuran agregat secara langsung memengaruhi kekuatan struktural, porositas, dan kemampuan aliran air dari beton tersebut. Ukuran agregat yang lebih besar akan meningkatkan permeabilitas karena membentuk rongga yang lebih besar, sedangkan agregat pecahan dengan permukaan kasar meningkatkan ikatan antar partikel dan kuat tekan beton [9].

Penelitian ini mendukung kebijakan pemerintah melalui RPMJMN (Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional) 2025–2029 agar menargetkan pembangunan infrastruktur yang bisa menyesuaikan iklim seperti tahan terhadap gempa dan banjir. Selain itu, penelitian ini juga mendukung pengelolaan air hujan berkelanjutan (*sustainable Urban Drainage System/SUDS*) sekaligus meningkatkan efisiensi sistem drainase perkotaan yang ramah lingkungan [10][10].

I.2 Rumusan Masalah

Sebagaimana telah diuraikan dalam latar belakang, terdapat sejumlah permasalahan yang akan dianalisis dalam penelitian ini, yakni:

1. Faktor manakah yang paling berpengaruh terhadap respon permeabilitas dan faktor manakah yang paling berpengaruh terhadap respon kuat tekan?
2. Seberapa besar persentase kontribusi setiap faktor terhadap respon permeabilitas dan seberapa besar persentase kontribusi setiap faktor terhadap respon kuat tekan?

3. Apakah hasil respon *optimizer* memenuhi batasan teknis yang ditetapkan dalam standar beton Nasional (SNI) atau Internasional (ACI)?

I.3 Batasan Masalah

1. Faktor yang diteliti pada penelitian ini yaitu jenis agregat dan ukuran agregat
2. Ukuran agregat yang dipakai pada analisis penelitian ini yaitu jenis agregat alami dan agregat pecahan dengan variasi ukuran 5mm, dan 9mm.
3. Jenis *Fly ash* yang dipakai pada penelitian ini yaitu tipe F, yang diambil dari PLTU Paiton Probolinggo.
4. Prosentase binder : agregat yaitu 1:5
5. Rasio NaOH dengan Na_2SiO_3 1:2,5
6. Prosentase untuk ukuran agregat campuran 50% :50%
7. Prosentase untuk jenis agregat campuran 50% :50%
8. Perawatan spesimen dilakukan pada suhu ruang selama 14 hari
9. Spesimen uji berukuran silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
10. Pengujian dilakukan dalam kondisi laboratorium skala kecil tanpa dilakukan uji lapangan.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini memiliki suatu tujuan yang didasari oleh rumusan masalah, yaitu:

1. Mengidentifikasi faktor yang paling berpengaruh terhadap permeabilitas dan mengidentifikasi faktor yang paling berpengaruh terhadap kuat tekan.
2. Menganalisis besarnya presentase kontribusi setiap faktor terhadap nilai permeabilitas dan menganalisis besarnya presentase kontribusi setiap faktor terhadap nilai permeabilitas.
3. Untuk mengevaluasi kesesuaian hasil optimasi parameter campuran beton permeabel terhadap spesifikasi teknis berdasarkan standar SNI dan ACI

Diharapkan penelitian ini bisa memberikan manfaat, seperti:

1. Memberikan data ilmiah tentang pengaruh ukuran dan jenis agregat dalam menghasilkan beton permeabel dengan permeabilitas dan kuat tekan tinggi untuk aplikasi drainase *river water folder*

2. Menjadi referensi teknis dalam memilih kombinasi jenis dan ukuran agregat yang optimal untuk nilai permeabilitas dan kuat tekan yang besar pada beton permeabel
3. Mendukung upaya pemanfaatan limbah industri (*fly ash*) secara berkelanjutan
4. Mengatasi permasalahan lingkungan khususnya banjir dan limbah batu bara.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika Karya Tulis Ilmiah Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, Memuat penjabaran mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, Memuat tahapan-tahapan penanganan masalah tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi tentang inti yang ditemukan pada saat penelitian.

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan penelitian dan saran penelitian selanjutnya.