

**PENGARUH VARIASI FAKTOR AIR SEMEN (FAS) DAN
SERAT *POLYPROPYLENE* TERHADAP SIFAT FISIK DAN SIFAT MEKANIK
SELF COMPACTING MORTAR (SCM)**

(Skripsi)

Oleh

**RIZKY NANDA FEBRIO ADHA
NPM 2215011084**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENGARUH VARIASI FAKTOR AIR SEMEN (FAS) DAN SERAT *POLYPROPYLENE* TERHADAP SIFAT FISIK DAN SIFAT MEKANIK *SELF COMPACTING MORTAR* (SCM)

Oleh

RIZKY NANDA FEBRIO ADHA

Perkembangan teknologi material konstruksi menuntut inovasi mortar yang memiliki kemampuan alir tinggi, kekuatan optimal, dan durabilitas baik. *self compacting mortar* merupakan mortar yang mampu mengalir dan memadat secara mandiri tanpa pemadatan eksternal sehingga meningkatkan efisiensi dan kualitas pekerjaan konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi FAS sebesar 0,30; 0,35; 0,40; dan 0,45 serta penambahan serat *polypropylene* sebesar 0,00%; 0,02%; 0,04%; 0,06%; dan 0,08% terhadap sifat fisik dan mekanik mortar dengan *superplasticizer* sebesar 2% dari berat semen. Pengujian meliputi *workability*, *density*, *absorption*, *voids*, kuat tekan, dan kuat lentur pada umur 28 hari.

Hasil menunjukkan bahwa FAS berperan dominan terhadap *workability*. FAS 0,30 dan 0,35 tidak memenuhi kriteria SCM, sedangkan FAS 0,40 dan 0,45 memenuhi rentang *slump flow* 24–26 cm. Penambahan PPF terbukti efektif menurunkan nilai *absorption* dan *voids*. Penurunan paling signifikan terjadi pada FAS 0,40 dengan kadar PPF 0,08%, nilai *absorption* mengalami penurunan sebesar 81,67%, serta *voids* mengalami penurunan sebesar 81,53% dari mortar tanpa PPF. Nilai *density dry* tertinggi terjadi pada FAS 0,45 dengan kadar PPF 0,06% yaitu sebesar 2,17 gr/cm³, sedangkan nilai *density SSD* tertinggi terjadi pada FAS 0,45 dengan kadar PPF 0% yaitu sebesar 2,28 gr/cm³. Kuat tekan paling optimum terjadi pada FAS 0,4 dengan kadar 0,08% yaitu 46,25 MPa atau meningkat 7,91% dari mortar tanpa PPF, sedangkan kuat lentur paling optimum terjadi pada FAS 0,45 dengan kadar PPF 0,04% yaitu 12,54 MPa atau meningkat 3,85% dari mortar tanpa PPF. Kombinasi terbaik diperoleh pada campuran dengan FAS 0,40 dan PPF 0,08% karena memberikan keseimbangan sifat fisik dan mekanik yang optimal.

Kata kunci: *self compacting mortar*, faktor air semen, serat *polypropylene*, kuat tekan, kuat lentur.

ABSTRACT

THE EFFECT OF WATER CEMENT RATIO AND POLYPROPYLENE FIBER VARIATION ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SELF COMPACTING MORTAR (SCM)

By

RIZKY NANDA FEBRIO ADHA

The development of construction material technology requires innovation in mortar with high flowability, optimal strength, and good durability. Self compacting mortar is a type of mortar capable of flowing and consolidating under its own weight without external vibration, thereby improving construction efficiency and quality. This study aims to analyze the effect of water cement ratio variations of 0.30, 0.35, 0.40, and 0.45 and polypropylene fiber additions of 0.00%, 0.02%, 0.04%, 0.06%, and 0.08% on the physical and mechanical properties of mortar with 2% superplasticizer by weight of cement. The tests included workability, density, water absorption, voids, compressive strength, and flexural strength at 28 days.

The results indicate that the water–cement ratio (w/c ratio) plays a dominant role in workability. Mixtures with w/c ratios of 0.30 and 0.35 do not meet the Self-Compacting Mortar (SCM) criteria, while those with w/c ratios of 0.40 and 0.45 satisfy the slump flow range of 24–26 cm. The addition of polypropylene fiber (PPF) has been proven effective in reducing absorption and voids. The most significant reduction occurred at a w/c ratio of 0.40 with 0.08% PPF, where absorption decreased by 81.67% and voids decreased by 81.53% compared to mortar without PPF. The highest dry density was observed at a w/c ratio of 0.45 with 0.06% PPF, reaching 2.17 g/cm³, while the highest saturated surface dry (SSD) density occurred at a w/c ratio of 0.45 without PPF, reaching 2.28 g/cm³. The optimum compressive strength was achieved at a w/c ratio of 0.40 with 0.08% PPF, reaching 46.25 MPa, representing an increase of 7.91% compared to mortar without PPF. Meanwhile, the optimum flexural strength was obtained at a w/c ratio of 0.45 with 0.04% PPF, reaching 12.54 MPa, or an increase of 3.85% compared to mortar without PPF. Overall, the best combination was achieved in the mixture with a w/c ratio of 0.40 and 0.08% PPF, as it provides the most optimal balance of physical and mechanical properties.

Keywords: self compacting mortar, water cement ratio, polypropylene fiber, compressive strength, flexural strength.

**PENGARUH VARIASI FAKTOR AIR SEMEN (FAS) DAN
SERAT *POLYPROPYLENE* TERHADAP SIFAT FISIK DAN SIFAT MEKANIK
SELF COMPACTING MORTAR (SCM)**

Oleh:

RIZKY NANDA FEBRIO ADHA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi

**: PENGARUH VARIASI FAKTOR AIR
SEMEN (FAS) DAN SERAT
POLYPROPYLENE TERHADAP SIFAT
FISIK DAN SIFAT MEKANIK *SELF
COMPACTING MORTAR* (SCM)**

Nama Mahasiswa

: Rizky Nanda Febrio Adha

Nomor Pokok Mahasiswa : 2215011084

Program Studi

: Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik



1. Komisi Pembimbing

Ir. Vera A. Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19740831 200003 2 002

Dr. Suyadi, S.T., M.T.
NIP 19741225 200501 1 003

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil

3. Ketua Prodi Teknik Sipil

Sasana Putra, S.T., M.T.
NIP 19691111 200003 1 002

Dr. Suyadi, S.T., M.T.
NIP 19741225 200501 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

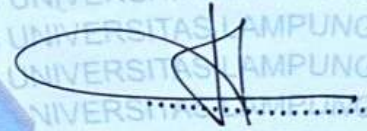
Ketua

**: Ir. Vera A. Noorhidana, S.T.,
M.T., Ph.D.**



Sekretaris

: Dr. Suyadi, S.T., M.T.



Penguji
Bukan Pembimbing

**: Prof. Ir. Masdar Helmi, S.T.,
D.E.A., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP 19691030 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **28 April 2026**

PERNYATAAN

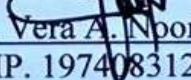
Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi saya yang berjudul "*Pengaruh Variasi Faktor Air Semen (FAS) Dan Serat Polypropylene Terhadap Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Self Compacting Mortar (SCM)*" adalah bagian dari penelitian Ibu Ir. Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D. mengenai pengaruh serat *polypropylene* terhadap sifat fisik dan sifat mekanik *Self Compacting Mortar (SCM)*.
2. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasi orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidaksesuaian dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah berlaku di Universitas Lampung.

Bandar Lampung, Maret 2026

Mengetahui

Dosen Pembimbing Skripsi


Ir. Vera A. Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197408312000032002



Rizky Nanda Febrio Adha
NPM. 2215011084

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gaya Baru 1, pada tanggal 15 Februari 2002. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Musadi dan Ibu Erni Samsiyah, serta memiliki dua saudara perempuan yang bernama Wulan Sari dan Zahra Maulidya, serta memiliki satu saudara laki-laki yang bernama Aditya Prawira Fikri.

Penulis menempuh pendidikan di TK Aisyah Bustanul Athfal yang diselesaikan pada tahun 2009, lalu dilanjutkan Pendidikan Tingkat Dasar di SD Negeri 1 Gaya Baru 1 yang diselesaikan pada tahun 2009, lalu dilanjutkan Pendidikan Tingkat Pertama di SMP Negeri 1 Seputih Surabaya yang diselesaikan pada tahun 2018, dan dilanjutkan Pendidikan Menengah Atas di SMA Negeri 1 Seputih Surabaya yang diselesaikan pada tahun 2021.

Penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri) pada tahun 2022. Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi HIMATEKS UNILA (Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung) sebagai Anggota Departemen Eksplorasi dan Pengembangan pada periode 2023-2024 dan 2024-2025. Pada tahun 2024 penulis menjadi panitia Seminar International pada acara The 8th Civil Brings Revolution. Pada tahun 2025 penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode I di Desa Canggung, Kecamatan Rajabasa, Kabupaten Lampung Selatan selama 30 hari, yaitu pada Januari-Februari 2025. Kemudian, penulis juga melaksanakan Kerja Praktik (KP) pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Urip Gedong Tataan selama 3 bulan terhitung sejak Mei – Agustus 2025. Mulai pada tahun 2025 juga, penulis melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Faktor Air Semen (FAS) dan Serat *Polypropylene* Terhadap Sifat Fisik dan Sifat Mekanik *Self Compacting Mortar* (SCM)” sebagai tugas akhir dan salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin dengan ridho-Mu ya Allah Akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga dengan terselesainya skripsi ini dapat menjadikanku insan yang berguna dan bermanfaat. Ku persembahkan skripsi ini untuk:

Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Musadi dan Ibu Erni Samsiyah, yang selalu mendoakan, mendukung, dan memberikan kasih sayang tanpa henti. Terima kasih atas segala pengorbanan dan doa yang tak pernah putus.

Untuk kakak dan adikku, serta seluruh keluarga yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan.

Untuk Bapak dan Ibu dosen pembimbing serta penguji atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan.

Serta untuk sahabat dan rekan seperjuangan Teknik Sipil Angkatan 2022 yang telah bersama-sama melewati masa perkuliahan dengan penuh kebersamaan.

MOTTO

“Setiap keringat orang tuaku yang keluar, ada seribu langkahku untuk maju”

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah: 5-6).

“Jangan takut gagal, karena yang tidak pernah gagal hanyalah orang-orang yang tidak pernah melangkah”

(Buya Hamka)

“Only you can change your life. Nobody else can do it for you”

“Hiduplah seperti kamu akan mati besok. Belajarlah seperti kamu akan hidup selamanya”

(B.J. Habibie)

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunianya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Faktor Air Semen (FAS) dan Serat *Polypropylene* Terhadap Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik *Self Compacting Mortar* (SCM)” adalah syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M, selaku Rektor Universitas Lampung sekaligus Dosen Teknik Sipil.
2. Dr. Hi. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Suyadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, sekaligus Dosen Pembimbing II atas segala arahan, masukan, bimbingan, dan dukungan kepada penulis selama masa kuliah dan penyusunan skripsi.
5. Ibu Ir. Vera Agustriana Noorhidana., S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang sudah meluangkan waktunya dalam memberikan bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan dan dalam proses penyelesaian skripsi. Saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas kebaikan hati, kesabaran, pengetahuan, ide, inspirasi, dan petunjuk yang sangat berharga, khususnya dalam proses penyelesaian skripsi ini.. Saya

berharap semua kebaikan yang telah Ibu berikan akan selalu membawa berkah bagi Ibu sekeluarga.

6. Bapak Prof. Ir. Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D. selaku Dosen Penguji atas kesediaannya memberikan saran, arahan, dan dukungan dalam pengerjaan skripsi.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil atas bekal dan ilmu pengetahuan yang telah diberikan.
8. Seluruh teknisi dan karyawan di Laboratorium Bahan dan Kontruksi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, yang telah memberikan bantuan dan bimbingan selama penulis melakukan penelitian.
9. Kedua orang tuaku, panutan dan pintu surgaku, Bapak Musadi dan Ibu Erni Samsiyah. Terima kasih atas segala doa dan dukungan yang tidak pernah putus. Memberikan cinta, kasih sayang, dan semangat yang mengiringi setiap langkah penulis untuk menyelesaikan pendidikan ini. Mereka memang tidak sempat merasakan pendidikan di bangku perkuliahan, namun mereka senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan serta memberikan perhatian dan dukungan hingga penulis mampu menyelesaikan pendidikan sampai meraih gelar sarjana. Semoga Bapak dan Ibu sehat, panjang umur, dan bahagia selalu.
10. Kakakku tersayang Wulan Sari serta adik-adikku tercinta Zahra Maulidya dan Aditya Prawira Fikri. Terima kasih telah menjadi sumber semangat dan motivasi dalam setiap langkah perjuangan penulis. Meski sering menjadi “musuh terbesar” dalam hal kecil sehari-hari, namun dibalik itu semua, kalianlah alasan terbesar penulis untuk terus berjuang dan menyelesaikan skripsi ini. Kehadiran kalian membuat perjalanan ini lebih bermakna.
11. Sahabat yang sudah penulis anggap sebagai saudara, Soviyani, S.Pd. Terima kasih telah mejadi bagian dari perjalanan hidup penulis sejak Taman Kanak-kanak. Menjadi tempat penulis untuk berkeluh kesah, bertukar pikiran, bercerita dan menyaksikan setiap bahagia serta tangisan hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Teman-teman terdekat penulis saat kuliah, Farah Ispi Nadia, Sesa Ridaliza, Darmawan Abdul Faqih, Dinda Rahmadani Oktavia, Alief Pratama, Monica

Silvia, Tarisa Ramadhani, dan Dhea Gaizka Qumairoh. Terima kasih karena telah menjadi bagian penting dalam perjalanan perkuliahan penulis, menjadi tempat berbagi, berdiskusi, penguat di saat lelah, serta salah satu alasan penulis mampu bertahan dan menyelesaikan masa perkuliahan ini.

13. Seseorang yang tidak kalah penting kehadirannya, yang tidak bisa penulis sebutkan namanya, dan telah membersamai penulis sejak awal perkuliahan hingga saat ini. Terima kasih telah menjadi rumah yang tidak hanya berupa tanah dan bangunan. Terima kasih telah berkontribusi baik tenaga, waktu, dan materi. Terima kasih telah mendukung, menemani dalam setiap situasi, serta menghibur penulis dalam keadaan sedih, mendengar keluh kesah dan menyakinkan penulis untuk pantang menyerah dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
14. *Last, but not least*. Penulis ingin mengucapkan terima kasih untuk diri sendiri, Rizky Nanda Febrio Adha. Seseorang yang mungkin sering kali terlupakan, namun diam-diam berjuang tanpa henti. Terima kasih karena telah bertanggung jawab atas apa yang sudah dimulai. Terima kasih karena tidak menyerah serta berani melawan rasa takut, tetap melangkah meski sering ragu dan lelah. Skripsi ini mungkin tidak sempurna, tetapi proses ini menjadi pengalaman yang penuh makna. Berbahagialah selalu dimanapun berada, Rizky. Adapun kurang dan lebihmu mari merayakan diri sendiri.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, besar harapan semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat dalam bidang teknik sipil. Aamiin.

Bandar Lampung, 03 Maret 2026
Penulis,

Rizky Nanda Febrio Adha
NPM. 2215011084

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	i
DAFTAR GAMBAR	ii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Hipotesis Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. <i>Self Compacting Mortar</i> (SCM).....	6
2.2. Bahan Penyusun <i>Self Compacting Mortar</i> (SCM).....	8
2.3. Bahan Tambah (<i>Admixture</i>)	11
2.4. Serat.....	12
2.5. Penelitian Mengenai Mortar dengan Penambahan Serat.....	14
2.6. Metode <i>Dixon Criteria</i> dalam Seleksi Data Hasil Pengujian.....	17
III. METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1. Umum.....	19
3.2. Bahan.....	19
3.3. Peralatan	22
3.4. Prosedur Pelaksanaan Penelitian	29
3.5. Diagram Alir Penelitian.....	43
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1. Umum.....	44
4.2. Hasil Pemeriksaan Bahan	44
4.3. Hasil Seleksi Data Menggunakan Metode <i>Dixon Criteria</i>	45
4.4. Sifat Fisik	50
4.5. Sifat Mekanik	73
V. KESIMPULAN DAN SARAN	93
5.1. Kesimpulan.....	93
5.2. Saran.....	94

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A (UJI BAHAN)

LAMPIRAN B (KOMPOSISI CAMPURAN MORTAR)

LAMPIRAN C (HASIL PENGUJIAN)

LAMPIRAN D (SPESIFIKASI BAHAN TAMBAH)

LAMPIRAN E (PELAKSANAAN DI LABORATORIUM)

LAMPIRAN F (LEMBAR ASISTENSI)

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Spesifikasi gradasi pasir (ASTM C-33)	10
2.2. Persamaan nilai data terendah dan tertinggi uji <i>dixon criteria</i>	18
2.3. Nilai kritis tingkat signifikan 5% uji <i>dixon criteria</i>	18
3.1. Komposisi campuran mortar per 1 m ³	30
3.2. Variasi benda uji kubus dan balok	31
4.1. Hasil pemeriksaan bahan.....	45
4.2. Hasil seleksi data kuat tekan mortar.....	46
4.3. Hasil seleksi data kuat lentur mortar.....	48
4.4. Nilai <i>slump flow</i>	51
4.5. Hasil pengujian <i>absorption</i>	55
4.6. Hasil pengujian <i>density dry</i>	61
4.7. Hasil pengujian <i>density SSD</i>	65
4.8. Hasil pengujian <i>voids</i>	69
4.9. Hasil pengujian dan perhitungan kuat tekan mortar	74
4.10. Hasil pengujian dan perhitungan kuat lentur mortar.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
3.1. Semen.....	20
3.2. Pasir.....	20
3.4. Serat <i>polypropylene</i>	21
3.5. <i>Superplasticizer</i>	22
3.6. Cetakan benda uji.....	23
3.7. Timbangan.....	23
3.8. Oven.....	24
3.9. Piknometer.....	24
3.10. Cetakan kerucut pasir.....	25
3.11. Satu set saringan.....	25
3.12. Mesin pengaduk mortar.....	26
3.13. Alat <i>slump flow test</i>	27
3.14. <i>Compression testing machine</i> (CTM).....	27
3.15. <i>Loading frame</i>	28
3.16. Bak perendam.....	28
3.17. Persiapan bahan.....	32
3.18. Mencampurkan semen dan pasir.....	32
3.19. Menambahkan serat <i>polypropylene</i> , air, dan.....	33
3.20. Prosedur pembuatan campuran mortar.....	33
3.21. Memasukkan campuran mortar.....	34
3.22. Mengangkat kerucut abrams.....	34
3.23. <i>Mini slump cone</i>	35
3.24. Memasukkan campuran mortar.....	35
3.25. Pemberian kode pada benda uji.....	36
3.26. Perawatan benda uji (<i>curing</i>).....	37
3.27. Uji kuat tekan mortar.....	40
3.28. Pengujian kuat lentur mortar.....	41
3.29. Diagram alir penelitian.....	42
4.1. Hasil pengujian <i>slump flow</i> campuran mortar.....	52
4.2. Campuran mortar FAS 0,4 tanpa serat <i>polypropylene</i> dan.....	54
4.3. Grafik <i>absorption</i>	56
4.4. (a) <i>Trendline absorption</i> FAS 0,3 (b) <i>Trendline absorption</i> FAS 0,35.....	56
4.5. Grafik <i>density dry</i>	61
4.6. Grafik <i>Density SSD</i>	65
4.7. Grafik <i>voids</i>	69

4.8. (a) <i>Trendline voids</i> FAS 0,3 (b) <i>Trendline voids</i> FAS 0,35	70
4.9. Grafik kuat tekan mortar.	75
4.10. <i>Trendline</i> polinomial kuat tekan FAS 0,3.	75
4.11. <i>Trendline</i> polinomial kuat tekan FAS 0,35.	76
4.12. <i>Trendline</i> polinomial kuat tekan FAS 0,4.	76
4.13. <i>Trendline</i> polinomial kuat tekan FAS 0,45.	77
4.14. (a) Benda uji mortar tanpa PPF dan (b) Benda uji mortar dengan PPF	82
4.15. Grafik kuat lentur mortar.	84
4.16. <i>Trendline</i> polinomial kuat lentur FAS 0,3.	85
4.17. <i>Trendline</i> polinomial kuat lentur FAS 0,35.	85
4.18. <i>Trendline</i> polinomial kuat lentur FAS 0,4.	86
4.19. <i>Trendline</i> polinomial kuat lentur FAS 0,45.	86
4.20. <i>Trendline</i> regresi kuat lentur	87
4.21. (a) Benda uji mortar tanpa PPF dan (b) Benda uji mortar dengan PPF	92

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi material konstruksi pada era modern saat ini sangat pesat dan kompetitif. Kebutuhan akan material bangunan yang memiliki kekuatan tinggi, keawetan baik, serta ramah terhadap lingkungan menjadi tantangan utama bagi dunia konstruksi. Beton dan mortar, sebagai material konstruksi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia, mengalami berbagai inovasi dalam pengembangannya. Salah satu inovasi yang menjadi sorotan dalam dua dekade terakhir adalah hadirnya *Self Compacting Concrete* (SCC) dan turunannya, yaitu *Self Compacting Mortar* (SCM). Teknologi ini dikembangkan untuk menjawab permasalahan efisiensi pekerjaan lapangan, kualitas hasil konstruksi, serta keterbatasan tenaga kerja (Okamura, Ouchi, 2003).

SCM merupakan mortar dengan kemampuan mengalir dan memadatkan diri sendiri tanpa memerlukan getaran atau pemadatan eksternal. Dengan sifat ini, SCM dapat dengan mudah mengisi celah sempit dan area dengan tingkat kepadatan tinggi, sehingga sangat efektif digunakan pada struktur dengan detail rumit atau tulangan rapat. Selain meningkatkan produktivitas pekerjaan, SCM juga mengurangi risiko segregasi akibat pemadatan manual yang tidak merata. Di sisi lain, SCM memiliki potensi menghasilkan permukaan akhir yang lebih halus, homogen, dan berkualitas tinggi dibandingkan mortar konvensional (EFNARC, 2005).

Meskipun memiliki banyak keunggulan, SCM juga menghadapi sejumlah tantangan. Salah satu permasalahan utama adalah kecenderungan terjadinya

segregasi dan *bleeding* akibat proporsi campuran yang tidak tepat. Segregasi dapat menyebabkan distribusi material tidak merata, sehingga kekuatan tekan maupun tarik mortar berkurang (Domone, 2006). Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang lebih mendalam mengenai parameter-parameter campuran yang dapat memengaruhi kinerja SCM, baik pada kondisi segar (*fresh properties*) maupun setelah mengeras (*hardened properties*).

Salah satu parameter yang paling berpengaruh adalah faktor air semen (FAS). FAS merupakan perbandingan antara jumlah air terhadap jumlah semen dalam suatu campuran. Nilai FAS sangat menentukan sifat fisik dan mekanik mortar. FAS yang rendah umumnya menghasilkan mortar dengan porositas rendah dan kuat tekan tinggi, namun berpotensi mengurangi kelecakan (*workability*). Sebaliknya, FAS yang tinggi akan meningkatkan *workability*, tetapi menurunkan kekuatan karena terbentuknya pori-pori berlebih dalam struktur mortar (Neville & Brooks, 2010). Oleh karena itu, perlu adanya keseimbangan antara nilai FAS dan penggunaan bahan tambahan kimia berupa *superplasticizer*. *Superplasticizer* mampu meningkatkan *workability* pada FAS rendah sehingga campuran tetap mudah mengalir, memenuhi kriteria *self-compacting*, sekaligus tetap memiliki kekuatan mekanik yang optimal (EFNARC, 2005).

Selain FAS, faktor lain yang dapat meningkatkan kinerja SCM adalah penggunaan serat *polypropylene* sebagai bahan tambah. Serat *polypropylene* termasuk dalam kategori serat sintesis polimer yang ringan, tahan alkali, serta memiliki sifat tidak mudah menyerap air. Penambahan serat ini terbukti mampu meningkatkan sifat mekanik mortar, terutama kuat tarik belah, kuat lentur, dan ketahanan terhadap perambatan retak. Mekanisme kerja serat adalah dengan menjembatani retak mikro yang timbul pada material, sehingga retak tidak berkembang lebih besar. Hal ini menjadikan mortar lebih daktal dan memiliki kapasitas deformasi yang lebih tinggi (Banthia & Gupta, 2004).

Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan manfaat penggunaan serat *polypropylene* pada beton maupun mortar. Misalnya, penelitian oleh Islam et al. (2012) menunjukkan bahwa penambahan serat *polypropylene* pada SCC dengan variasi 0,05–0,15% volume dapat meningkatkan kuat tarik belah hingga 17,7% dan kuat lentur hingga 32,3% dibandingkan beton tanpa serat. Demikian pula, penelitian Suma (2023) menunjukkan bahwa penambahan serat *polypropylene* dalam dosis tertentu mampu meningkatkan kekuatan lentur *Self Compacting Mortar* (SCM), meskipun pengaruhnya terhadap kuat tekan tidak terlalu signifikan. Namun, perlu dicatat bahwa dosis serat yang terlalu tinggi justru dapat menurunkan performa karena terjadi penggumpalan (*balling effect*) yang menurunkan homogenitas campuran.

Berdasarkan telaah pustaka, masih terdapat gap penelitian dalam hal kombinasi pengaruh variasi FAS dan dosis serat *polypropylene* pada *self compacting mortar* (SCM). Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada *self compacting concrete* (SCC) dengan agregat kasar, sedangkan kajian tentang SCM relatif terbatas. SCM memiliki karakteristik berbeda dari SCC karena tidak menggunakan agregat kasar, sehingga interaksi antara pasta semen, FAS, dan serat *polypropylene* dapat menghasilkan perilaku yang unik. Oleh karena itu, penelitian mengenai SCM sangat penting untuk mendapatkan pemahaman lebih dalam mengenai sifat fisik seperti *workability*, kepadatan (*density*), penyerapan air (*absorption*), dan volume rongga (*voids*) serta sifat mekanik seperti kuat tekan dan kuat lentur dari material ini.

Atas dasar uraian tersebut, penelitian ini dilakukan dengan variasi faktor air semen (0,30; 0,35; 0,40; dan 0,45) serta penambahan serat *polypropylene* (0%; 0,02%; 0,04%; 0,06% dan 0,08%), dengan *superplasticizer* sebesar 2% dari berat semen sebagai pengendali *workability*. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan kombinasi optimum antara FAS dan serat *polypropylene*, sehingga *self compacting mortar* (SCM) tidak hanya memiliki sifat fisik yang baik, tetapi juga mampu mencapai kuat tekan dan kuat lentur yang optimal.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi kombinasi faktor air semen (FAS) dan serat *polypropylene* terhadap sifat fisik *Self Compacting Mortar* (SCM), seperti *workability* (*slump flow test*), kepadatan (*density*), penyerapan air (*absorption*), dan volume rongga (*voids*)?
2. Bagaimana pengaruh variasi kombinasi faktor air semen (FAS) dan serat *polypropylene* terhadap sifat mekanik *Self Compacting Mortar* (SCM), termasuk kuat tekan dan kuat lentur benda uji mortar?
3. Bagaimana interaksi antara faktor air semen (FAS) dan serat *polypropylene* terhadap kinerja *Self Compacting Mortar* (SCM)?
4. Variasi kombinasi faktor air semen (FAS) dan serat *polypropylene* manakah yang menghasilkan *Self Compacting Mortar* (SCM) dengan keseimbangan terbaik antara sifat fisik dan sifat mekanik?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi kombinasi faktor air semen (FAS) dan serat *polypropylene* terhadap sifat fisik *Self Compacting Mortar* (SCM), seperti *workability*, kepadatan (*density*), penyerapan air (*absorption*), dan volume rongga (*voids*).
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi kombinasi faktor air semen (FAS) dan serat *polypropylene* terhadap sifat mekanik *Self Compacting Mortar* (SCM), termasuk kuat tekan dan kuat lentur benda uji mortar.
3. Untuk menganalisis hubungan antara faktor air semen (FAS) dan serat *polypropylene* terhadap kinerja *Self Compacting Mortar* (SCM).
4. Untuk menganalisis kombinasi faktor air semen (FAS) dan serat *polypropylene* yang menghasilkan *Self Compacting Mortar* (SCM) dengan keseimbangan terbaik antara sifat fisik dan sifat mekanik.

1.4. Batasan Masalah

1. Pengujian yang dilakukan adalah *workability (slump flow test)*, kepadatan (*density*), penyerapan air (*absorption*), volume rongga (*voids*) serta pengujian kuat tekan dan kuat lentur pada benda uji mortar.
2. Bahan tambah yang digunakan adalah serat *polypropylene* dengan variasi penambahan 0,00%, 0,02%, 0,04%, 0,06% dan 0,08% dari volume benda uji.
3. Faktor air semen (FAS) yang digunakan yaitu 0,30, 0,35, 0,40, dan 0,45.
4. Penambahan *superplasticizer* yaitu 2% dari berat semen.
5. Pengujian benda uji mortar yaitu pada umur 28 hari.
6. Seleksi data menggunakan metode *dixon criteria* yaitu pada hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pekerjaan konstruksi untuk meningkatkan kualitas mortar.

1.6. Hipotesis Penelitian

Kombinasi variasi faktor air semen (FAS), serat *polypropylene*, dan penambahan *superplasticizer* dalam campuran mortar dapat meningkatkan sifat fisik mortar dan dapat meningkatkan kuat tekan serta kuat lentur benda uji mortar.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Self Compacting Mortar* (SCM)

Self Compacting Mortar (SCM) merupakan salah satu komponen penting dalam pengembangan *Self Compacting Concrete* (SCC). *Self Compacting Mortar* (SCM) digunakan sebagai dasar untuk merancang SCC karena sifat mekanik mortar secara langsung memengaruhi performa beton secara keseluruhan (Tuaum et al., 2018). SCC adalah jenis beton yang dapat mengalir secara mandiri di bawah bobotnya sendiri dan mampu mengisi seluruh bekisting, termasuk area dengan tulangan yang rapat, tanpa memerlukan pemadatan eksternal. Selama proses pengisian, homogenitas campuran tetap terjaga sehingga menghasilkan struktur beton yang seragam dan bebas segregasi (EFNARC, 2002). Untuk mencapai kemampuan *self-compacting*, campuran mortar harus dirancang dengan kandungan semen yang relatif tinggi dan pembatasan jumlah agregat, sehingga menghasilkan pasta yang cukup untuk melumasi partikel padat. Selain itu, penggunaan *superplasticizer* menjadi hal yang krusial karena berfungsi meningkatkan *workability* beton sekaligus menahan segregasi selama aliran campuran (Maskur, 2017).

Karakteristik utama SCC dapat dijelaskan melalui beberapa parameter:

1. *Flowability* (aliran): Menunjukkan kemampuan beton segar untuk memenuhi seluruh bekisting secara merata. Semakin baik *flowability*, semakin mudah beton mengisi cetakan tanpa memerlukan bantuan getaran.

2. *Viscosity* (kekentalan): Menggambarkan laju aliran beton segar dan resistensinya terhadap deformasi. Kekentalan yang optimal mencegah segregasi dan bleeding, sehingga campuran tetap homogen.
3. *Passing ability* (kemampuan melewati tulangan): Menunjukkan kemampuan beton untuk bergerak melalui celah antar tulangan tanpa terjadi penyumbatan (*blockage*). Parameter ini penting agar beton dapat mencapai seluruh bagian struktur yang memiliki tulangan rapat.
4. *Segregation resistance* (ketahanan terhadap segregasi): Menunjukkan kemampuan beton segar mempertahankan distribusi partikel yang seragam dan mencegah pemisahan material selama pengaliran (EFNARC, 2005).

SCM dirancang untuk mencapai diameter aliran mortar antara 240 mm hingga 260 mm. Pencapaian nilai aliran ini dapat diatur melalui penambahan *superplasticizer* pada campuran mortar. Penambahan *superplasticizer* perlu diuji menggunakan *slump flow test* dengan *mini slump cone* untuk memastikan aliran mortar sesuai dengan target yang diinginkan. Pengujian ini memastikan bahwa mortar tidak hanya memiliki *workability* yang cukup, tetapi juga tetap stabil dan homogen selama proses pengisian (EFNARC, 2002).

Adapun keunggulan SCM dibandingkan dengan mortar konvensional yaitu sebagai berikut :

- a. Memadat sendiri tanpa vibrator, dapat mengisi cetakan dan celah sempit tanpa pemadatan eksternal (Okamura, Ouchi, 2003).
- b. Aliran yang baik atau *flowability* tinggi, memastikan distribusi material merata di seluruh cetakan (EFNARC, 2005).
- c. Homogen dan permukaan akhir halus, mengurangi segregasi dan bleeding dibanding mortar konvensional.
- d. Mampu melewati tulangan rapat (*passing ability*), cocok untuk struktur bertulangan padat atau area detail tinggi.

- e. Ketahanan retak lebih baik, penambahan serat *polypropylene* meningkatkan kuat lentur dan daktilitas (Banthia & Gupta, 2004).
- f. Efisiensi waktu dan tenaga kerja: Tidak memerlukan pemadatan manual sehingga meningkatkan produktivitas dan keselamatan kerja (EFNARC, 2005).

2.2. Bahan Penyusun *Self Compacting Mortar* (SCM)

Dalam pembuatan *Self Compacting Mortar* (SCM), diperlukan berbagai jenis bahan penyusun yang memiliki fungsi dan peranan masing-masing untuk mencapai karakteristik mortar yang mudah mengalir, padat, serta memiliki kekuatan mekanik yang baik. Adapun bahan-bahan penyusun *Self Compacting Mortar* (SCM) adalah sebagai berikut.

1. Semen

Semen merupakan bahan pengikat hidraulik yang berfungsi untuk merekatkan butiran agregat halus dan kasar menjadi satu massa padat yang kuat setelah mengalami proses pencampuran dengan air dan pengerasan. Berdasarkan SNI 2049:2015, semen didefinisikan sebagai bahan yang apabila dicampur dengan air akan membentuk pasta yang dapat mengeras dan mengikat bahan-bahan lain menjadi satu kesatuan yang kompak. Sifat hidraulik semen berarti material ini dapat mengeras dan mencapai kekuatan bahkan di bawah air, karena terjadi reaksi kimia antara senyawa-senyawa penyusunnya dengan air (reaksi hidrasi). Semen secara umum diproduksi melalui proses penggilingan halus bahan-bahan utama seperti batu kapur (sumber kalsium karbonat), tanah liat atau lempung (sumber silika, alumina, dan besi oksida), serta bahan tambahan lainnya yang dipanaskan dalam tanur (kiln) hingga membentuk terak (*clinker*). Terak tersebut kemudian digiling bersama gypsum untuk mengatur waktu pengikatan semen.

Semen memiliki berbagai jenis tergantung pada komposisi bahan dan sifat yang diinginkan. Jenis semen yang paling umum digunakan adalah

Semen *Portland (Ordinary Portland Cement* atau OPC), yang banyak dipakai pada pekerjaan konstruksi umum karena memiliki kekuatan tekan tinggi dan waktu ikat yang sesuai untuk berbagai kondisi. Selain itu, terdapat jenis semen lain seperti Semen *Portland Pozzolan* (PPC), Semen *Portland Komposit* (PCC), Semen Putih, dan Semen Tahan Sulfat (*Sulfate Resistant Cement*), yang masing-masing memiliki karakteristik khusus sesuai kebutuhan konstruksi. Semen berperan sangat penting dalam dunia konstruksi sebagai bahan utama pembentuk beton, mortar, plesteran, dan berbagai produk pracetak, dengan keunggulan berupa daya rekat tinggi, kemampuan mengeras di udara maupun di air, serta ketahanan terhadap beban dan pengaruh lingkungan tertentu.

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah bahan granular yang digunakan sebagai komponen utama dalam campuran mortar maupun beton, yang terdiri dari pasir alam maupun pasir buatan. Pasir alam terbentuk melalui proses pelapukan dan disintegrasi alami batu-batuan, sedangkan pasir buatan diperoleh dari proses penghancuran batu menggunakan peralatan mekanis. Ukuran butir maksimum agregat halus biasanya 4,75 mm, sehingga dapat bercampur dengan baik bersama semen dan air untuk membentuk pasta mortar yang homogen.

Berdasarkan SKSNI S-04-1989-F 6.1, agregat halus harus memenuhi beberapa kriteria penting:

a. Kekerasan dan ketajaman butir

Butir harus keras dan bersudut tajam untuk memastikan kekuatan mekanik mortar atau beton, serta meningkatkan kohesi dengan pasta semen.

b. Ketahanan terhadap pengaruh cuaca

Agregat harus bersifat permanen, tidak mudah pecah atau hancur akibat perubahan cuaca, siklus beku-cair, atau kelembaban tinggi.

c. Kandungan lumpur rendah

Kandungan lumpur atau material halus lainnya tidak boleh melebihi 5% untuk menjaga kualitas pasta semen dan mencegah penurunan kuat tekan.

Gradasi atau distribusi ukuran butir agregat halus juga sangat penting dalam menentukan performa campuran mortar. Agregat halus dengan gradasi baik akan menghasilkan campuran yang padat, memiliki *workability* yang tinggi, serta mengurangi porositas dan segregasi. Standar gradasi agregat halus menurut ASTM C-33 dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Spesifikasi gradasi pasir (ASTM C-33)

No.	Nomor Saringan	Persentase Lolos
1.	3/8 in (9,50 mm)	100
2.	No. 4 (4,75 mm)	95 – 100
3.	No. 8 (2,36 mm)	80 – 100
4.	No. 16 (1,18 mm)	50 – 85
5.	No. 30 (0,6 mm)	25 – 60
6.	No. 50 (0,3 mm)	10 – 30
7.	No. 100 (0,15 mm)	2 – 10

3. Air

Air merupakan salah satu bahan utama dalam pembuatan mortar yang memiliki peran penting dalam menentukan kualitas campuran. Fungsi utama air adalah sebagai medium reaksi bagi semen, memungkinkan terjadinya proses hidrasi. Selama hidrasi, air bereaksi dengan senyawa-senyawa semen membentuk pasta semen yang mengikat agregat halus, sehingga menghasilkan mortar yang keras dan memiliki kekuatan yang diinginkan (Day, 2021). Selain berfungsi sebagai reaktan, air juga bertindak sebagai pelumas antar butir agregat halus, sehingga memudahkan distribusi dan pergerakan partikel dalam campuran. Hal ini sangat penting terutama

pada *self compacting mortar* (SCM), di mana kemampuan aliran dan pemadatan sendiri campuran sangat bergantung pada kecukupan air serta homogenitas distribusi partikel (EFNARC, 2005).

Kualitas air yang digunakan harus memenuhi kriteria tertentu. Air harus bersih dan bebas dari lumpur, minyak, benda terapung, garam larut, maupun partikel tersuspensi, karena kontaminan tersebut dapat mengganggu hidrasi semen, menurunkan homogenitas campuran, dan berdampak negatif terhadap sifat fisik maupun mekanik mortar (Test & Concrete, 2009). Dengan demikian, air bukan sekadar bahan pengencer, tetapi komponen kritis yang memengaruhi baik sifat segar (seperti *workability* dan aliran) maupun sifat keras (kuat tekan, kuat lentur, dan ketahanan retak) dari mortar. Pengendalian kualitas dan jumlah air yang tepat menjadi faktor penting dalam keberhasilan pembuatan mortar berkualitas tinggi.

2.3. Bahan Tambah (*Admixture*)

Bahan tambah atau *admixture* adalah zat tambahan yang dicampurkan ke dalam campuran mortar selain air, semen, dan agregat, dengan tujuan untuk memodifikasi atau meningkatkan sifat tertentu dari mortar, baik pada kondisi segar maupun setelah mengeras. Penambahan bahan tambah biasanya dilakukan sebelum atau selama proses pencampuran (ACI, 2008). *Admixture* dapat berupa bahan kimia atau mineral yang berfungsi untuk meningkatkan *workability*, mengatur waktu pengerasan, mengurangi kebutuhan air, meningkatkan kekuatan, atau meningkatkan ketahanan terhadap kondisi lingkungan tertentu. Penggunaan bahan tambah memungkinkan penyesuaian sifat mortar sesuai dengan kebutuhan spesifik proyek konstruksi, seperti untuk aplikasi pada suhu tinggi atau rendah, atau untuk meningkatkan ketahanan terhadap serangan kimia. Salah satu tipe *admixture* yaitu *superplasticizer*.

Superplasticizer termasuk dalam kategori Tipe F (*high-range water-reducing admixtures*) yang berfungsi untuk mengurangi kebutuhan air dalam campuran mortar atau beton sehingga dapat mencapai konsistensi dan *workability* yang diinginkan tanpa menurunkan kekuatan mekanik (EFNARC, 2002). Dosis yang umum direkomendasikan berkisar antara 1–2% dari berat semen, karena penggunaan yang berlebihan dapat menurunkan kuat tekan akibat terbentuknya pori-pori berlebih dalam campuran (Magma, 2017). Pada *self compacting mortar* (SCM), *superplasticizer* digunakan untuk mengoptimalkan nilai *workability* sehingga campuran dapat mengalir dengan mudah, menembus celah-celah cetakan, dan melewati tulangan rapat tanpa memerlukan pemadatan eksternal. Penggunaan *superplasticizer* yang tepat juga membantu menjaga homogenitas campuran dan mencegah segregasi atau bleeding, sehingga sifat fisik dan mekanik mortar tetap optimal (Mehta & Monteiro, 2014).

2.4. Serat

Menurut ACI Committee 544, terdapat empat jenis serat yang umum digunakan untuk memperkuat beton, yaitu:

1. SFRC (*Steel Fiber Reinforced Concrete*)
2. GFRC (*Glass Fiber Reinforced Concrete*)
3. SNFRC (*Synthetic Fiber Reinforced Concrete*)
4. NFRC (*Natural Fiber Reinforced Concrete*).

Beberapa sifat khas dari serat yang digunakan antara lain:

a. Serat kaca

Serat kaca memiliki kekuatan tarik yang relatif tinggi, kepadatan ringan, serta modulus elastisitas yang besar. Namun, serat ini memiliki kelemahan, yaitu rentan mengalami kerusakan akibat lingkungan alkali dari semen dan biaya produksinya lebih mahal dibandingkan jenis serat lain.

b. Serat baja

Serat baja unggul dalam hal kekuatan dan modulus elastisitas yang tinggi, sehingga mampu meningkatkan performa mekanik beton. Kelemahannya, serat baja bersifat korosif jika terkena air atau lingkungan agresif, sehingga membutuhkan perlindungan tambahan.

c. Serat polimer (*synthetic fiber*)

Serat polimer memiliki kekuatan tarik tinggi, tetapi modulus elastisitasnya rendah dan daya lekat dengan matriks semen relatif rendah. Selain itu, serat ini mudah terbakar dan memiliki titik leleh rendah. Beberapa tipe serat polimer antara lain:

- 1) *Acrylic*: Terdiri minimal 85% dari beratnya berupa akrilonitril, dengan modulus elastisitas lebih tinggi dibandingkan jenis serat polimer lain.
- 2) *Aramid*: Memiliki modulus elastisitas sangat tinggi, sehingga mampu meningkatkan kekuatan tarik dan lentur beton berserat secara signifikan.
- 3) *Nylon*: Tersedia dalam berbagai panjang dan sangat tipis, dengan jumlah serat mencapai sekitar 35 juta per 0,45 kg, panjang sekitar 19 mm
- 4) *Polyester*: Terbuat dari monomer etil asetat, sifat fisik dan kimianya dapat dimodifikasi selama pembuatan untuk mencapai modulus elastisitas tinggi dan interaksi yang baik dengan matriks.
- 5) *Polyethylene*: Panjang standar antara 12–50 mm, tersedia dalam bentuk serbuk atau filamen, dengan permukaan berbintik untuk meningkatkan ikatan dengan matriks, dapat meningkatkan daktilitas, ketahanan terhadap benturan, dan daya tahan siklik beton.
- 6) *Polypropylene*: Berbentuk filament panjang 6–50 mm yang akan terurai saat dicampurkan ke adukan beton. Serat ini dapat meningkatkan kekuatan tarik dan lentur, mengurangi retak akibat penyusutan, meningkatkan ketahanan terhadap benturan (impact), serta meningkatkan daktilitas beton.

2.5. Penelitian Mengenai Mortar dengan Penambahan Serat

Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja mortar melalui penambahan material tambahan seperti serat. Penambahan serat bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik mortar, terutama dalam hal kuat tekan, kuat lentur, serta ketahanan terhadap retak. Beberapa penelitian yang meneliti pengaruh penambahan serat terhadap sifat mortar adalah sebagai berikut.

1. Suma (2023)

Pada penelitian yang berjudul “Pengaruh komposisi penambahan serat *polypropylene* terhadap kuat tekan dan kuat lentur *self compacting mortar* (SCM)” benda uji dibuat dengan faktor air semen 0,4 dan perbandingan antara semen dan agregat halus adalah 1:2,5 serta dilakukan penambahan *superplasticizer* sebanyak 2% dari berat semen dan penambahan serat *polypropylene* dengan variasi 0%, 0,04%, 0,06%, 0,08%, 0,1% dari volume benda uji mortar. Pengujian dilakukan pada benda uji berumur 28 hari. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penambahan serat *polypropylene* sebesar 0,04% pada *self compacting mortar* (SCM) menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 34,81 MPa, atau meningkat sekitar 14,07% dibandingkan mortar tanpa serat. Sementara itu, kuat lentur SCM terus mengalami peningkatan seiring dengan penambahan variasi serat, dengan nilai tertinggi dicapai pada penambahan 0,1% serat *polypropylene*, yaitu sebesar 11,72 MPa atau naik 26,05% dibandingkan mortar tanpa serat (Suma et al., 2023).

2. Xu (2020)

Pada penelitian yang berjudul “*Effect of Polypropylene Fiber on Properties of Alkali-Activated Slag Mortar*” bertujuan untuk menilai efektivitas penambahan serat *polypropylene* (PPF) dalam mengurangi penyusutan mortar AAS. Eksperimen dilakukan dengan variasi kadar serat *polypropylene* sebesar 0,05%, 0,1%, 0,15%, dan 0,2% dari volume

campuran, kemudian diuji terhadap waktu ikat, kelecakan, sifat fisik (porositas, penyerapan air, dan massa jenis), sifat mekanik, penyusutan, ketahanan benturan, serta mikrostrukturnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat *polypropylene* mampu menekan deformasi susut, meningkatkan ketahanan benturan, memperbaiki daktilitas, dan sedikit meningkatkan kuat tekan pada umur lanjut. Namun, keberadaan serat *polypropylene* juga memperlambat waktu ikat awal serta menurunkan kelecakan, densitas, porositas, dan penyerapan air mortar AAS. Analisis SEM memperlihatkan bahwa efek jembatan (*bridging effect*) dari serat *polypropylene* dapat menghambat terbentuknya dan meluasnya retak, sehingga memperbaiki mikrostruktur internal serta meningkatkan kinerja mortar AAS (Xu et al., 2020)

Hasil penelitian sifat fisik menunjukkan bahwa penambahan serat *polypropylene* memberikan pengaruh terhadap kerapatan struktur mortar sehingga nilai *apparent porosity* dan *water absorption* mengalami penurunan dibandingkan mortar tanpa serat. Nilai *apparent porosity* pada mortar tanpa serat tercatat sekitar 8,32%, kemudian menurun seiring bertambahnya kandungan serat *polypropylene*. Pada penambahan serat 0,05% porositas menurun sebesar 1,44%, pada variasi 0,10% sebesar 2,65%, pada 0,15% sebesar 3,20%, dan pada 0,20% sebesar 4,74% dibandingkan mortar kontrol. Penurunan ini menunjukkan bahwa keberadaan serat *polypropylene* mampu membantu memperbaiki struktur mikro mortar dengan mengurangi jumlah rongga yang terbentuk di dalam matriks sehingga struktur mortar menjadi lebih rapat dan padat. Sejalan dengan penurunan porositas tersebut, nilai *water absorption* juga mengalami penurunan pada setiap peningkatan variasi serat. Pada variasi serat 0,05% penyerapan air menurun sebesar 1,48%, pada 0,10% sebesar 2,94%, pada 0,15% sebesar 4,49%, dan pada 0,20% sebesar 5,34% dibandingkan mortar tanpa serat. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin sedikit pori yang terbentuk dalam mortar

maka semakin kecil kemampuan mortar untuk menyerap air karena jalur masuk air ke dalam struktur material menjadi lebih terbatas. Sementara itu nilai *bulk density* menunjukkan sedikit penurunan pada setiap penambahan kandungan serat *polypropylene*. Penurunan *bulk density* berada pada kisaran sekitar 0,05% hingga 0,39% dibandingkan mortar tanpa serat. Hal ini terjadi karena serat *polypropylene* memiliki berat jenis yang lebih rendah dibandingkan dengan matriks mortar sehingga penambahan serat menyebabkan massa jenis mortar menjadi sedikit lebih ringan, meskipun penurunannya relatif kecil dan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kerapatan keseluruhan mortar (Xu et al., 2020).

3. Alsadey (2016)

Pada penelitian yang berjudul “*Effect of Polypropylene Fiber on Properties of Mortar*” bertujuan untuk menilai bagaimana kadar serat *polypropylene* yang berbeda memengaruhi kekuatan dan kelecakan mortar. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh penambahan serat *polypropylene* terhadap sifat mekanik mortar semen. Studi eksperimental dilakukan dengan variasi serat *polypropylene* sebesar 0%, 0,5%, 1%, dan 1,5% dari volume mortar. Beberapa pengujian dilakukan, termasuk uji *flow table* untuk menilai kelecakan dan uji kuat tekan pada umur perawatan 28 hari, baik pada mortar referensi maupun mortar yang diperkuat serat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan serat *polypropylene* memberikan peningkatan yang jelas pada sifat-sifat tersebut. Penggunaan serat *polypropylene* meningkatkan kuat tekan mortar ketika volume serat *polypropylene* melebihi 0,5%, dengan peningkatan sekitar 30,65% untuk 0,5%, 33,40% untuk 1%, dan 34,50% untuk 1,5% volume serat *polypropylene* (Alsadey & Salem, 2016).

2.6. Metode *Dixon Criteria* dalam Seleksi Data Hasil Pengujian

Pada penelitian eksperimental di bidang teknik sipil, khususnya penelitian yang berkaitan dengan pengujian sifat fisik dan sifat mekanik *Self Compacting Mortar* (SCM), sering dijumpai data hasil pengujian yang menyimpang dari pola umum data lainnya. Data tersebut dikenal sebagai data pencilan (*outlier*) dan dapat disebabkan oleh ketidakhomogenan campuran, cacat benda uji, kesalahan prosedur pengujian, maupun keterbatasan alat uji (Montgomery et al., 2012). Keberadaan data pencilan dapat memengaruhi nilai rata-rata dan kesimpulan penelitian, sehingga diperlukan metode statistik yang objektif untuk mendeteksi dan menyeleksi data tersebut. Salah satu metode statistik yang banyak digunakan untuk jumlah data kecil adalah *Dixon Criteria Method* atau *Dixon's Q Test* (Dixon, 1950).

Dixon Criteria merupakan metode statistik yang digunakan untuk menentukan apakah suatu data ekstrem pada sekumpulan data berukuran kecil (umumnya $n \leq 30$) dapat dianggap sebagai data pencilan dan layak dikeluarkan dari analisis. Metode *Dixon Criteria* umum diterapkan pada penelitian laboratorium material konstruksi dengan jumlah benda uji terbatas seperti *workability*, kepadatan (*density*), penyerapan air (*absorption*), volume rongga (*voids*), kuat tekan, dan kuat lentur. Metode ini dirancang untuk mengidentifikasi satu data yang paling menyimpang dalam suatu kelompok data sehingga hasil analisis menjadi lebih representatif (Rorabacher, 1991).

Prinsip dasar metode *Dixon Criteria* adalah membandingkan selisih antara data ekstrem dengan data terdekatnya terhadap rentang total data dalam satu kelompok pengujian. Pada penerapannya, data hasil pengujian terlebih dahulu diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar. Selanjutnya, data yang diduga sebagai pencilan (*outlier*), baik pada nilai terendah maupun tertinggi, dianalisis dengan menghitung nilai rasio *Dixon* (Q hitung). Nilai Q hitung tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai kritis *Dixon* (Q tabel) yang ditentukan berdasarkan jumlah data dan tingkat kepercayaan tertentu, yang

umumnya digunakan sebesar 95%. Apabila nilai Q hitung lebih besar daripada nilai Q tabel, maka data tersebut dinyatakan sebagai data pencilan dan dapat dikeluarkan dari analisis selanjutnya. Berdasarkan ASTM E178 tentang *Standard Practice for Dealing With Outlying Observations*, persamaan nilai data terendah dan tertinggi, serta nilai kritis tingkat signifikansi 5% berdasarkan kelompok data pada uji *dixon criteria* dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3.

Tabel 2.2. Persamaan nilai data terendah dan tertinggi uji *dixon criteria*

Jumlah Data	Data Terendah	Data Tertinggi
3-7	$(X_2 - X_1)/(X_n - X_1)$	$(X_n - X_{n-1})/(X_n - X_1)$
8-10	$(X_2 - X_1)/(X_{n-1} - X_1)$	$(X_n - X_{n-1})/(X_n - X_2)$
11-13	$(X_3 - X_1)/(X_{n-1} - X_1)$	$(X_n - X_{n-2})/(X_n - X_2)$
14-50	$(X_3 - X_1)/(X_{n-2} - X_1)$	$(X_n - X_{n-2})/(X_n - X_3)$

Tabel 2.3. Nilai kritis tingkat signifikan 5% uji *dixon criteria*

n	5%	n	5%
3	0,941	19	0,462
4	0,766	20	0,45
5	0,642	21	0,44
6	0,56	22	0,43
7	0,507	23	0,421
8	0,554	24	0,413
9	0,511	25	0,406
10	0,478	26	0,339
11	0,576	27	0,393
12	0,546	28	0,387
13	0,521	29	0,381
14	0,546	30	0,376
15	0,525	35	0,354
16	0,507	40	0,337
17	0,49	45	0,323
18	0,475	50	0,312

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Fakultas Teknik Universitas Lampung. Pada penelitian ini, benda uji yang digunakan adalah benda uji mortar berbentuk kubus dengan dimensi 5 x 5 x 5 mm untuk pengujian kuat tekan, kepadatan (*density*), penyerapan air (*absorption*), dan volume rongga (*voids*) serta benda uji mortar berbentuk balok dengan dimensi 40 x 40 x 160 mm untuk pengujian kuat lentur. Perbandingan berat semen dan agregat halus (pasir) adalah 1:2,5 dan perbandingan berat air semen adalah 0,3, 0,35, 0,4, dan 0,45. Serta dilakukan penambahan serat *polypropylene* sebesar 0,00%, 0,02%, 0,04%, 0,06% dan 0,08% dari volume benda uji.

3.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. Semen

Semen berperan untuk menyatukan butiran agregat sekaligus mengisi celah di antara agregat sehingga terbentuk massa yang padat. Jenis semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cement (PCC)* dengan merek Semen Tiga Roda, dikemas dalam kantong 50 kg, dan diperoleh dari toko dalam kondisi baik serta tertutup rapat. Semen dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Semen.

2. Agregat Halus (Pasir)

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini harus memenuhi standar yang sudah ditetapkan oleh ASTM C33 tentang *Standard Specification for Concrete Aggregates* dengan dilakukan pengujian terlebih dahulu. Pengujian terhadap agregat halus antara lain kadar air, berat jenis dan penyerapan, berat volume, kadar lumpur dengan penyaringan, kandungan zat organik dalam pasir, dan gradasi agregat halus, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Pasir.

3. Air

Air berfungsi sebagai pelarut semen untuk memulai reaksi hidrasi, sehingga terbentuk pasta yang mengikat butiran agregat. Selain itu, air memungkinkan distribusi bahan yang merata, meningkatkan kelecakan (*workability*), dan mempermudah aplikasi serta pemadatan mortar. Air juga digunakan pada saat proses perawatan beton (*curing*). Air yang digunakan harus dalam kondisi bersih, bebas dari kandungan lumpur, minyak, garam, maupun zat-zat lain yang berpotensi merusak mutu dan kinerja mortar atau beton (Nugraheni, 2017). Pada penelitian ini, air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan dan Konstruksi Universitas Lampung.

4. Serat *Polypropylene*

Serat *polypropylene* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Sika Fibre. serat *polypropylene* memerlukan waktu sekitar 3 sampai 5 menit untuk memastikan agar serat tercampur dengan merata. Spesifikasi dari serat *polypropylene* ini antara lain memiliki berat jenis 900 kg/m^3 , panjang serat 12 mm, diameter serat 18 mikron, daya tarik 300-440 MPa, modulus elastisitas 6000-9000 MPa, dan titik leleh 160°C . Serat *polypropylene* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Serat *polypropylene*.

5. *Superplasticizer*

Superplasticizer termasuk dalam tipe F (*water reducing high range admixtures*) yang berfungsi untuk mengurangi jumlah kebutuhan air dalam campuran mortar agar menghasilkan spesifikasi mortar yang sesuai rencana. Pada penelitian ini digunakan *superplasticizer* dengan merek Sika Viscocrete 3115N, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. *Superplasticizer*.

3.3. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut ;

1. Cetakan Benda Uji

Cetakan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cetakan berbentuk kubus dengan dimensi 50 x 50 x 50 mm, dan cetakan balok berukuran 40 x 40 x 160 mm. Cetakan benda uji dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Cetakan benda uji.

2. Timbangan

Timbangan berfungsi untuk mengukur berat dari masing masing material atau bahan yang sudah direncanakan serta digunakan untuk mengukur berat benda uji. Timbangan yang digunakan yaitu timbangan dengan ketelitian pembacaan 0,1 gram dan 0,01 gram. Timbangan dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Timbangan.

3. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan bahan bahan yang akan di uji. Oven yang digunakan dalam penelitian ini yaitu oven yang mempunyai

kapasitas suhu maksimum 110°C dengan daya sebesar 2800 Watt. Oven dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.7. Oven.

4. Piknometer

Piknometer digunakan untuk mengetahui berat jenis *Saturated Surface Dry* (SSD), berat jenis kering, berat jenis semu, dan penyerapan agregat halus, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.8. Piknometer.

5. Cetakan Kerucut Pasir

Cetakan kerucut pasir digunakan untuk melihat kondisi pasir dalam keadaan SSD (*Saturated Surface Dry*). Dengan menggunakan cetakan

kerucut pasir, dapat diamati apakah pasir berada pada kondisi SSD melalui bentuk dan kestabilan kerucut yang dihasilkan setelah cetakan diangkat. Cetakan kerucut pasir dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Cetakan kerucut pasir.

6. Satu set saringan

Saringan digunakan untuk pengujian gradasi agregat halus atau pasir agar dapat ditentukan nilai modulus kehalusannya. Pada penelitian ini, ukuran saringan yang digunakan untuk pengujian yaitu 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, dan pan, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Satu set saringan.

7. Mesin pengaduk mortar

Mesin pengaduk mortar digunakan untuk mencampur bahan-bahan penyusun mortar, seperti semen, pasir, air, dan bahan tambahan, agar tercampur merata dan homogen. Pada penelitian ini, mesin pengaduk mortar yang digunakan bermerek MAILTANK SH326 dengan spesifikasi daya 1.050 watt, *voltage* 220-230V, frekuensi 50-60 Hz, diameter pengaduk 12 cm, panjang total tangkai 47 cm, dan *no load speed* 0-800 rpm/min, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11. Mesin pengaduk mortar.

8. *Slump flow test*

Slump Flow Test adalah uji untuk mengukur kemampuan alir mortar atau beton segar, berupa kerucut abrams dan pelat besi dengan permukaan yang halus. Kerucut abrams memiliki diameter bawah 100 mm, tinggi 60 mm, dan diameter atas 70 mm. Alat *slump flow test* dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12. Alat *slump flow test*.

9. *Compression Testing Machine (CTM)*

CTM merupakan alat uji yang digunakan untuk mengukur kuat tekan dan kuat lentur benda uji mortar. Mesin ini bekerja dengan memberikan beban tekan secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan. Pada penelitian ini CTM memiliki kapasitas beban maksimum 3000 kN dan berasal dari merek dagang CONTROLS, dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. *Compression testing machine (CTM)*.

10. *Loading frame*

Loading Frame merupakan alat yang berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan benda uji balok mortar saat pengujian kuat lentur. Alat ini

terbuat dari baja berupa frame yang cukup kuat dan kaku, dan dilengkapi dengan tumpuan rol. *Loading frame* dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14. *Loading frame*.

11. Bak perendam

Bak perendam adalah wadah yang digunakan untuk merendam benda uji mortar dalam air guna proses *curing*. Perendaman dilakukan agar kelembaban benda uji tetap terjaga sehingga reaksi hidrasi semen berlangsung optimal. Bak perendam dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15. Bak perendam.

12. Alat Bantu

Alat bantu digunakan untuk mempermudah pada saat pelaksanaan penelitian. Alat bantu tersebut antara lain palu karet, sekop, gelas ukur,

stopwatch, alat pemotong serat, mistar, *trolley* dorong, ember, alat tulis, dan *container*.

3.4. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan pelaksanaan, yaitu persiapan bahan dan alat, pemeriksaan bahan, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, pemeliharaan benda uji (*curing*), pelaksanaan pengujian, dan analisis hasil penelitian.

1. Persiapan Bahan dan Alat

Menyiapkan semua bahan utama serta alat yang diperlukan selama proses penelitian agar pada saat pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan lancar.

2. Pemeriksaan Bahan

Pada tahapan ini pemeriksaan bahan dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan kualitas bahan yang digunakan, mengetahui apakah bahan tersebut memenuhi persyaratan atau tidak, dan sebagai data untuk merencanakan campuran mortar.

3. Perencanaan Campuran

Pada tahap ini dilakukan perencanaan untuk campuran mortar berupa semen, air, dan agregat halus untuk mendapatkan mutu sesuai rencana. Pada penelitian ini perbandingan antara semen dan pasir yaitu 1:2,5 dan faktor air semen (FAS) yang digunakan yaitu 0,30, 0,35, 0,40, dan 0,45. Selain itu juga ditambahkan serat *polypropylene* dan *superplasticizer* ke dalam campuran mortar sesuai dengan volume fraksi yang sudah direncanakan, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Komposisi campuran mortar per 1 m³

FAS	PPF	Material (kg)				
		Semen	Pasir	Air	PPF	SP
0,3	0,00%	628,6	1571,4	188,6	0,00	12,57
	0,02%	628,6	1571,4	188,6	0,18	12,57
	0,04%	628,6	1571,4	188,6	0,36	12,57
	0,06%	628,6	1571,4	188,6	0,55	12,57
	0,08%	628,6	1571,4	188,6	0,73	12,57
0,35	0,00%	628,6	1571,4	220,0	0,00	12,57
	0,02%	628,6	1571,4	220,0	0,18	12,57
	0,04%	628,6	1571,4	220,0	0,36	12,57
	0,06%	628,6	1571,4	220,0	0,55	12,57
	0,08%	628,6	1571,4	220,0	0,73	12,57
0,4	0,00%	628,6	1571,4	251,4	0,00	12,57
	0,02%	628,6	1571,4	251,4	0,18	12,57
	0,04%	628,6	1571,4	251,4	0,36	12,57
	0,06%	628,6	1571,4	251,4	0,55	12,57
	0,08%	628,6	1571,4	251,4	0,73	12,57
0,45	0,00%	628,6	1571,4	282,9	0,00	12,57
	0,02%	628,6	1571,4	282,9	0,18	12,57
	0,04%	628,6	1571,4	282,9	0,36	12,57
	0,06%	628,6	1571,4	282,9	0,55	12,57
	0,08%	628,6	1571,4	282,9	0,73	12,57

Perhitungan perencanaan komposisi campuran mortar secara lebih lengkap dapat dilihat di Lampiran B Komposisi Campuran Mortar.

4. Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini, benda uji yang akan dibuat yaitu benda uji berbentuk kubus dengan dimensi 50 x 50 x 50 mm dan balok dengan dimensi 40 x 40 x 160 mm. Masing-masing variasi campuran mortar terdiri dari 15 benda uji yang terdiri atas 9 benda uji kubus dan 6 benda uji balok. Dari 9 benda uji kubus tersebut, 6 benda uji digunakan untuk pengujian kuat tekan, sedangkan 3 benda uji lainnya digunakan untuk pengujian kepadatan (*density*), penyerapan air (*absorption*), volume rongga (*voids*). Sementara itu, 6 benda uji balok diperuntukkan bagi pengujian kuat lentur. Semua benda uji akan dilakukan pengujian pada umur 28 hari.

Variasi benda uji kubus dan balok dengan kandungan *superplasticizer* 2% dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Variasi benda uji kubus dan balok

FAS	PPF	Kubus	Balok	Jumlah Benda Uji	Total
0,3	0%	K 3.0	B 3.0	15	300
	0,02%	K 3.2	B 3.2	15	
	0,04%	K 3.4	B 3.4	15	
	0,06%	K 3.6	B 3.6	15	
	0,08%	K 3.8	B 3.8	15	
0,35	0%	K 35.0	B 35.0	15	
	0,02%	K 35.2	B 35.2	15	
	0,04%	K 35.4	B 35.4	15	
	0,06%	K 35.6	B 35.6	15	
	0,08%	K 35.8	B 35.8	15	
0,4	0%	K 4.0	B 4.0	15	
	0,02%	K 4.2	B 4.2	15	
	0,04%	K 4.4	B 4.4	15	
	0,06%	K 4.6	B 4.6	15	
	0,08%	K 4.8	B 4.8	15	
0,45	0%	K 45.0	B 45.0	15	
	0,02%	K 45.2	B 45.2	15	
	0,04%	K 45.4	B 45.4	15	
	0,06%	K 45.6	B 45.6	15	
	0,08%	K 45.8	B 45.8	15	

Adapun tahapan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

a. Persiapan bahan campuran adukan mortar

Pada tahap ini, bahan-bahan campuran mortar ditimbang sesuai dengan rencana, seperti semen, air, dan agregat halus dalam kondisi *surface saturated dry* (SSD), dan juga menimbang bahan tambahan atau *admixture* seperti *superplasticizer* dan serat *polypropylene*. Tahap persiapan bahan campuran adukan mortar harus dilakukan dengan cermat dan teliti agar mendapatkan hasil sesuai rencana.



Gambar 3.16. Persiapan bahan.

b. Pencampuran bahan

Setelah menimbang semua bahan sesuai rencana, selanjutnya yaitu melakukan pencampuran bahan. Adapun langkah-langkah untuk melakukan pencampuran bahan yaitu :

- 1) Pasir dan semen dimasukkan ke dalam wadah, kemudian dilakukan proses pencampuran menggunakan *mixer* selama 1 menit..



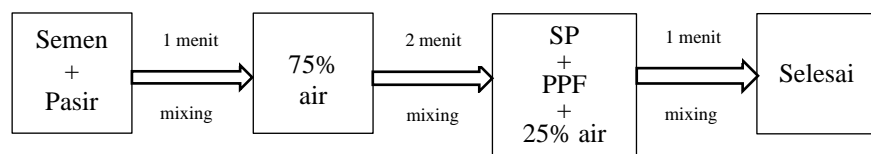
Gambar 3.17. Mencampurkan semen dan pasir.

- 2) Air sebanyak 75% dari total kebutuhan dimasukkan ke dalam campuran, kemudian dilakukan proses pencampuran kembali menggunakan *mixer* selama 2 menit.

- 3) Bahan tambahan berupa *superplasticizer* dan serat *polypropylene* dimasukkan ke dalam campuran, kemudian sisa air sekitar 25% ditambahkan dengan kondisi *mixer* tetap menyala selama 1 menit hingga proses pencampuran selesai. Penambahan serat *polypropylene* harus dilakukan secara merata agar tidak terjadi penggumpalan (*balling effect*) yang akan mempengaruhi sifat mekanis mortar. Prosedur pembuatan campuran mortar dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.18. Menambahkan serat *polypropylene*, air, dan *superplasticizer*.



Gambar 3.19. Prosedur pembuatan campuran mortar.

c. Pemeriksaan nilai konsistensi *flow* mortar (*flow test*)

Adapun tahapan dalam pemeriksaan nilai konsistensi *flow* mortar sebagai berikut :

- 1) Alat uji *slump flow* disiapkan, yaitu kerucut Abrams dan pelat besi dengan permukaan yang halus.
- 2) Kerucut Abrams diletakkan di atas pelat besi, kemudian diisi dengan campuran mortar hingga penuh.



Gambar 3.20. Memasukkan campuran mortar.

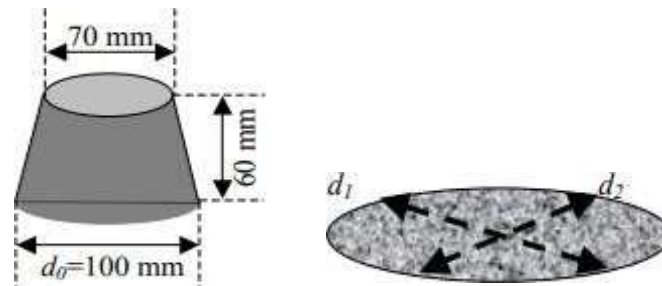
- 3) Permukaan atas campuran mortar diratakan, dan sisa-sisa mortar yang jatuh di atas pelat besi dibersihkan.
- 4) Kerucut Abrams diangkat secara perlahan sehingga campuran mortar menyebar merata di atas pelat besi.



Gambar 3.21. Mengangkat kerucut abrams.

- 5) Diameter sebaran mortar diukur pada dua arah yang saling tegak lurus, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk memperoleh

diameter aliran mortar. SCM dirancang untuk memberikan diameter aliran mortar dari 240 mm – 260 mm (EFNARC, 2002).



Gambar 3.22. *Mini slump cone*.
Sumber: EFNARC 2002

d. Pencetakan benda uji

Adapun tahapan dalam pencetakan benda uji adalah sebagai berikut.

- 1) Bagian dalam cetakan benda uji diolesi dengan oli agar mortar tidak melekat pada cetakan saat proses pelepasan.
- 2) Mortar dimasukkan ke dalam cetakan hingga penuh, kemudian dilakukan pepadatan untuk mencegah terjadinya segregasi pada campuran mortar.



Gambar 3.23. Memasukkan campuran mortar.

- 3) Permukaan mortar pada cetakan kemudian diratakan hingga halus dan sejajar dengan tepi cetakan.

- 4) Benda uji dilepaskan dari cetakan setelah berumur 24 jam.
- 5) Setiap benda uji diberi kode sesuai dengan variasi campuran mortar yang digunakan.



Gambar 3.24. Pemberian kode pada benda uji.

5. Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Curing adalah proses pemeliharaan benda uji mortar setelah pencetakan agar reaksi hidrasi semen berlangsung optimal. Tujuannya menjaga kelembaban dan suhu yang sesuai sehingga kekuatan, keawetan, dan durabilitas mortar dapat tercapai. Umumnya *curing* dilakukan dengan cara perendaman benda uji ke dalam air, penyiraman, atau menutup permukaan dengan bahan lembab. Pada penelitian mortar, benda uji biasanya direndam dalam bak perendam hingga umur pengujian misalnya 28 hari. Setelah proses perendaman selesai, benda uji diangkat lalu dibiarkan selama ± 24 jam atau hingga kondisinya benar-benar kering dan tidak lembab lagi. Hal ini dilakukan agar saat pelaksanaan pengujian diperoleh hasil yang lebih akurat dan optimal.



Gambar 3.25. Perawatan benda uji (*curing*).

6. Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan pengujian pada benda uji mortar meliputi uji sifat fisik yaitu kepadatan (*density*), penyerapan air (*absorption*) dan volume rongga (*voids*), serta uji sifat mekanik yaitu kuat tekan dan kuat lentur. Adapun tahapannya adalah sebagai berikut.

a. Uji kepadatan (*density*), penyerapan air (*absorption*) dan volume rongga (*voids*)

Pengujian kepadatan (*density*), penyerapan air (*absorption*) dan volume rongga (*voids*) pada mortar dilakukan untuk mengetahui sifat fisik mortar yang berhubungan dengan tingkat porositas, kepadatan, serta kemampuan mortar dalam menyerap air. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan seberapa besar kemampuan mortar dalam menyerap air dan seberapa padat struktur internalnya, yang keduanya sangat memengaruhi durabilitas atau ketahanan beton terhadap lingkungan. Semakin rendah nilai penyerapan air dan volume rongga yang diperoleh, maka semakin tinggi tingkat kepadatan beton dan semakin baik daya tahannya terhadap penetrasi air, ion klorida, serta bahan kimia agresif lainnya.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan benda uji kubus berukuran 50 x 50 x 50 mm pada umur 28 hari dan mengacu pada ASTM C642-21 *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*, dengan membandingkan berat benda uji dalam tiga kondisi, yaitu berat kering (A), berat jenuh permukaan kering (B), dan berat terendam (C). Pertama, benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hingga mencapai massa konstan, kemudian didinginkan dan ditimbang untuk memperoleh berat kering (A). Setelah itu, benda uji direndam dalam air bersih selama 48 jam pada suhu kamar hingga pori-porinya jenuh, kemudian diangkat, dilap hingga tidak ada air bebas di permukaan, dan ditimbang untuk mendapatkan berat jenuh permukaan kering (B). Langkah terakhir adalah menimbang benda uji dalam keadaan terendam air untuk mendapatkan berat terendam (C).

Dari hasil ketiga penimbangan tersebut, nilai penyerapan air (*absorption*), kepadatan (*density*), dan volume rongga (*voids*) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Absorption} = \frac{B-A}{A} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Density (Dry)} = \frac{A}{B-C} \times \rho_{\text{air}} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Density (SSD)} = \frac{B}{B-C} \times \rho_{\text{air}} \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Voids} = \frac{B-A}{B-C} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

A = Berat kering (gram)

B = Berat jenuh permukaan kering (gram)

C = Berat terendam (gram)

ρ_{air} = 1000 kg/m³

b. Uji kuat tekan

Kuat tekan didefinisikan sebagai besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton mengalami keruntuhan ketika dikenai gaya tekan dari mesin uji. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan menggunakan benda uji kubus berukuran 50 mm × 50 mm × 50 mm pada umur 28 hari, dengan menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM) berkapasitas 3000 kN. Prosedurnya diawali dengan mengeluarkan benda uji dari proses perendaman (*curing*), kemudian ditimbang, diberi tanda, dan dicatat identitasnya. Sebelum pengujian, permukaan benda uji dipastikan dalam kondisi rata agar distribusi tegangan pada penampang dapat merata. Selanjutnya, benda uji mortar ditempatkan pada ruang CTM dengan posisi tegak lurus, serta memastikan jarum indikator mesin berada pada titik nol. Mesin kemudian dijalankan sehingga memberikan beban tekan secara perlahan dan konstan hingga benda uji mengalami kerusakan atau hancur. Selama pembebanan, diamati peningkatan beban pada indikator mesin. Setelah benda uji hancur, CTM dihentikan. Angka yang terbaca pada indikator merupakan beban maksimum yang diterima benda uji, yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai kuat tekan dengan persamaan standar sesuai SNI 6825:2002.

$$\sigma_m = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

σ_m = Kuat tekan mortar (MPa)

P = Gaya tekan maksimum (N)

A = Luas Penampang benda uji mortar (mm²)



Gambar 3.26. Uji kuat tekan mortar.

c. Uji kuat lentur

Kuat lentur merupakan pengujian benda uji, yang diletakkan pada dua tumpuan, untuk menahan gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu balok hingga balok tersebut mengalami patah. Besarnya kuat lentur dinyatakan dalam satuan Mega Pascal (MPa), yaitu gaya per satuan luas. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM) pada sampel mortar berumur 28 hari, dengan metode pemberian beban terpusat di tengah bentang. Pada pengujian, balok mortar ditempatkan di atas *loading frame*, kemudian diberikan beban di tengah bentang hingga mengalami keruntuhan akibat lentur. Selanjutnya, beban maksimum yang tercapai dicatat dan dianalisis menggunakan persamaan sesuai SNI 4154:2014.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

- σ = Kuat lentur atau modulus keruntuhan (MPa)
- P = Beban maksimum (N)
- L = Panjang bentang (mm)
- b = Lebar rata-rata spesimen pada daerah runtuh (mm)
- h = Tinggi rata-rata spesimen pada daerah runtuh (mm)



Gambar 3.27. Pengujian kuat lentur mortar.

7. Analisis dan seleksi data menggunakan metode *dixon criteria*

Data hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur *Self Compacting Mortar* (SCM) dikelompokkan berdasarkan variasi faktor air semen (FAS) dan kadar serat *polypropylene*. Setiap variasi campuran terdiri dari 6 benda uji ($n = 6$), sehingga termasuk dalam kategori 3–7 data sesuai klasifikasi uji *Dixon* yang telah dijelaskan pada Bab II. Sebelum dilakukan perhitungan nilai rata-rata dan analisis pengaruh variasi campuran, seluruh data diuji menggunakan metode *Dixon Criteria* untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya data pencilan (*outlier*). Proses seleksi dilakukan dengan mengurutkan data dari nilai terkecil hingga terbesar, kemudian menghitung nilai rasio *Dixon* (Q hitung) pada data ekstrem, baik nilai terendah maupun tertinggi. Karena jumlah data $n = 6$, maka berdasarkan *ASTM E178 Standard Practice for Dealing With Outlying Observations* persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$Q \text{ terkecil} = \frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1} \dots \dots \dots (7)$$

$$Q \text{ terbesar} = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

X_1 = data terkecil

X_2 = data kedua terkecil

X_{n-1} = data kedua terbesar

X_n = data terbesar

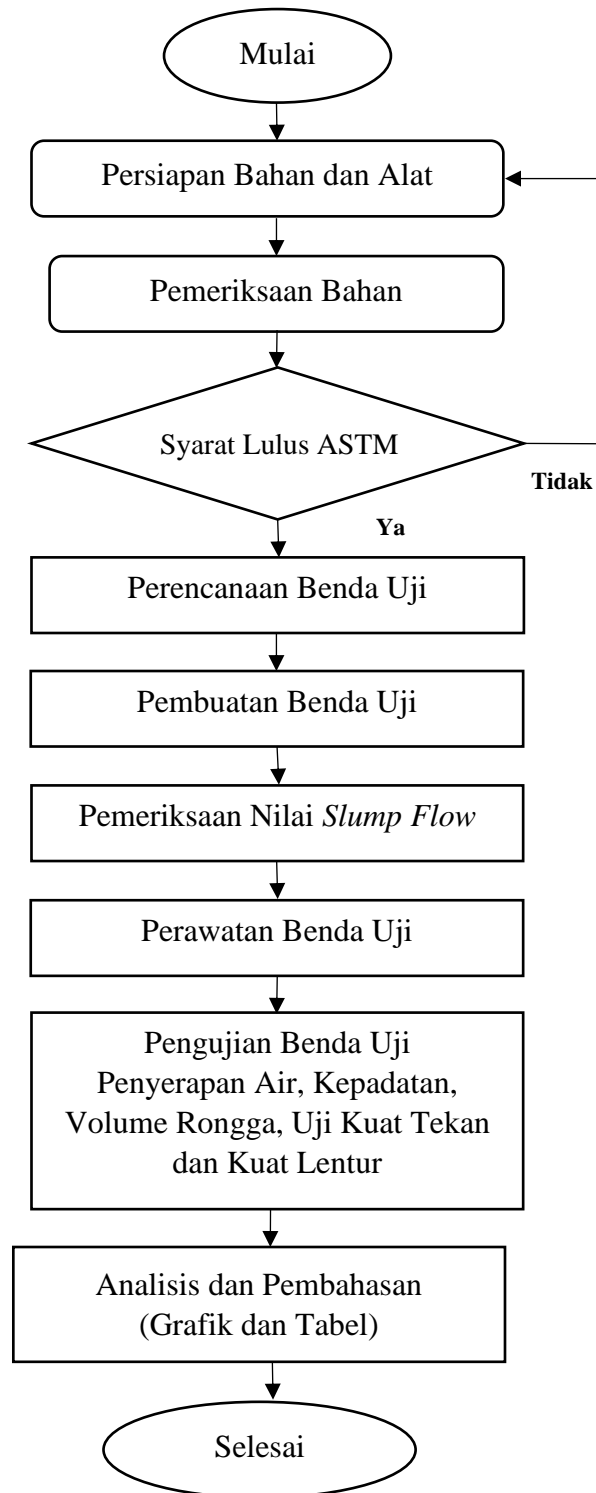
Nilai Q hitung yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai kritis (Q tabel = 0,560) pada tingkat signifikansi 5%. Apabila Q hitung lebih besar dari Q tabel, maka data dinyatakan sebagai pencilan dan dieliminasi dari analisis. Sebaliknya, apabila Q hitung lebih kecil atau sama dengan Q tabel, maka data dinyatakan valid dan digunakan dalam perhitungan rata-rata serta analisis selanjutnya.

8. Analisis Hasil

Adapun tahapan analisis hasil adalah sebagai berikut.

- a. Melakukan seleksi data pada hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur menggunakan metode *Dixon Criteria* untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya data pencilan (*outlier*).
- b. Menghitung nilai penyerapan air (*absorption*), kepadatan (*density*), dan volume rongga (*voids*) dan menyajikan hasilnya dalam bentuk tabel
- c. Menghitung kuat tekan mortar dan menyajikan hasilnya dalam bentuk tabel.
- d. Menghitung kuat lentur mortar, kemudian menyajikannya dalam tabel.
- e. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, dibuat grafik hubungan yang menunjukkan pengaruh variasi serat *polypropylene* dan penggunaan *superplasticizer* terhadap kuat tekan, kemudian dilakukan analisis.
- f. Dari pengujian kuat lentur, dibuat grafik hubungan antara variasi serat *polypropylene* dan *superplasticizer* dengan kuat lentur, lalu dianalisis.
- g. Setelah seluruh analisis dilakukan, diperoleh nilai optimum dari masing-masing pengujian.

3.5. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.29. Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. FAS dan serat *polypropylene* berpengaruh terhadap sifat fisik SCM. FAS 0,30 dan 0,35 tidak memenuhi standar *slump flow* (<24 cm), sedangkan FAS 0,40 dan 0,45 memenuhi kriteria SCM yaitu berada dalam rentang 24–26 cm. Penambahan PPF efektif menurunkan *absorption* dan *voids*, dengan penurunan terbesar pada FAS 0,40 kadar 0,08% masing-masing sebesar 81,67% dan 81,53%. Nilai *density dry* tertinggi pada FAS 0,45 kadar PPF 0,06% yaitu 2,17 gr/cm³, sedangkan nilai *density SSD* tertinggi pada FAS 0,45 dengan kadar PPF 0% yaitu 2,28 gr/cm³.
2. FAS dan serat *polypropylene* mempengaruhi kuat tekan dan kuat lentur mortar. Secara umum, penambahan PPF meningkatkan kuat tekan, dengan nilai optimum pada FAS 0,4 kadar PPF 0,08% sebesar 46,25 MPa atau naik 7,91% dari mortar tanpa PPF. Pada kuat lentur, nilai optimum diperoleh pada FAS 0,45 kadar PPF 0,04% sebesar 12,54 MPa atau naik 3,85% dari mortar tanpa PPF.
3. FAS dan serat *polypropylene* saling memengaruhi kinerja *Self Compacting Mortar*. FAS menentukan *workability* dan kekuatan dasar, sedangkan PPF berperan sebagai penguat internal. Pada FAS 0,4 dan 0,45, campuran memenuhi kriteria SCM dengan kemampuan alir yang baik, meskipun nilai *slump flow* menurun seiring peningkatan kadar serat. Dari sisi mekanik, kombinasi keduanya mampu meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur hingga kadar optimum. Dengan demikian, FAS membentuk

karakter dasar campuran, sementara PPF meningkatkan integritas dan ketahanan mortar pada batas tertentu.

4. Kombinasi terbaik diperoleh pada FAS 0,4 dengan kadar PPF 0,08%. Secara fisik, variasi ini memenuhi kriteria *workability* dengan *slump flow* 24 cm, serta penurunan *absorption* dan *voids* masing-masing sebesar 81,67% dan 81,53%, dengan *density dry* 2,14 gr/cm³ dan *density SSD* 2,17 gr/cm³. Dari sisi mekanik, kuat tekan mencapai 46,25 MPa (naik 7,91%) dan kuat lentur 12,23 MPa (naik 0,32%). FAS 0,4 menyediakan air yang cukup untuk menjaga kemampuan alir mortar, sementara penambahan serat *polypropylene* 0,08% membantu mengurangi pori, meningkatkan kekompakan, serta mendistribusikan tegangan dalam material.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini, yaitu:

1. Disarankan untuk mengoptimalkan metode pencampuran, khususnya pada tahap penambahan serat *polypropylene*, agar diperoleh distribusi serat yang merata di dalam campuran.
2. Perlu dilakukan pengujian pada umur yang lebih panjang, seperti 56 hari dan 90 hari, guna mengetahui perkembangan kuat tekan dan kuat lentur mortar dengan serat *polypropylene* dalam jangka waktu yang lebih lama.
3. Perlu dilakukan analisis mikrostruktur menggunakan pengujian seperti SEM atau pengamatan pori untuk mengetahui mekanisme interaksi antara serat *polypropylene* dan matriks mortar, sehingga dapat dijelaskan lebih detail pengaruhnya terhadap peningkatan atau penurunan kekuatan.
4. Disarankan untuk mengaplikasikan campuran mortar dengan serat *polypropylene* optimum pada elemen struktur sederhana, guna mengevaluasi perilaku lentur, retak, dan pola keruntuhan secara lebih nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 318; American Concrete Institute. (2008). *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary*. American Concrete Institute.
- ACI Committee 544. 2018. *Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete*. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- Alsadey, S., & Salem, M. (2016). Influence of Polypropylene Fiber on Strength of Concrete. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 5, 223–226. www.ajer.org
- ASTM International. (2024). ASTM C33/C33M-24a: Standard specification for concrete aggregates (ASTM C33/C33M-24a). ASTM International.
- ASTM International. (2021). ASTM C642-21: Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete (ASTM C642-21). ASTM International.
- ASTM International. (2021). ASTM E178-21: Standard practice for dealing with outlying observations (ASTM E178-21). ASTM International.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (1989). SK SNI S-04-1989-F: Spesifikasi bahan bangunan bagian A (bahan bangunan bukan logam). Yayasan Lembaga Penerbit Masalah Bangunan, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2015). SNI 2049:2015 — Semen Portland. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Banthia, N., & Gupta, R. (2004). Hybrid fiber reinforced concrete (HyFRC): Fiber synergy in high strength matrices. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 37(274), 707–716. <https://doi.org/10.1617/14095>
- Bentur, A., & Mindess, S. (2007). *Fibre reinforced cementitious composites* (2nd ed.). Taylor & Francis.
- Day, K. W. (2021). Properties of concrete. In *Concrete Mix Design, Quality Control and Specification*. <https://doi.org/10.4324/9780203967874-11>
- Dixon, W. J. (1950). Analysis of extreme values. *Annals of Mathematical Statistics*, 21(4), 488–506.

- Domone, P. L. (2006). Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies. *Cement and Concrete Composites*, 28(2), 197–208.
- EFNARC. (2002). *Specification & Guidelines For Self Compacting Concrete*. Norfolk, UK: European Federation for specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
- EFNARC. (2005). *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*. *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*, May, 63. <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf>
- Gupta, B., & Singla, S. (2012). Self-compacting concrete: An overview of materials and properties. *International Journal of Civil Engineering Research*, 3(2), 45–52.
- Hasan, A. (2013). Effect of mix design on the properties of self-compacting concrete. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(6), 732–740.
- Maskur, I. (2017). Perancangan Campuran Flow Mortar Untuk Pembuatan Self Compacting Concrete Dengan Fas 0.5. *Dinamika Rekayasa*, 13(2), 89. <https://doi.org/10.20884/1.dr.2017.13.2.183>
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: microstructure, properties, and materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete technology* (2nd ed.). Prentice Hall / Pearson Education.
- Noorhidana, V. A. N., Irianti, L. I., & Junaedi, T. J. (2021). Mechanical properties improvement of Self Compacting Concrete (SCC) using polypropylene fiber. *Journal of Engineering and Scientific Research*, 3(1), 41–46. <https://doi.org/10.23960/jesr.v3i1.80>
- Okamura, Ouchi. (2003). Self Compacting Concrete - research paper. In *Journal of Advanced Concrete Technology* (Vol. 1, Issue 1, pp. 5–15).
- Rorabacher, D. B. (1991). *Statistical Treatment for Rejection of Deviant Values : Critical Values of Dixon ' s " Q " Parameter and Related Subrange Ratios at the 95 % Confidence Level*. *Ic*, 139–146.
- Roy, A., & Mitra, S. (2022). Effect Of Addition Of Polypropylene Fibre On The Physical And Mechanical Properties Of Self Compacting Concrete. 614–618.
- Suma, D. N., Noorhidana, V. A., Sebayang, S., & Isneini, M. (2023). Pengaruh komposisi penambahan serat polypropylene terhadap kuat tekan dan kuat lentur self compacting mortar (SCM). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 11(1), 43–52. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v11i1.3019>
- Test, C. C., & Concrete, C. (2009). *Standard Specification for Astm C1602*. 1–4.

- Tuaum, A., Shitote, S., & Oyawa, W. (2018). Experimental study of self-compacting mortar incorporating recycled glass aggregate. *Buildings*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/buildings8020015>
- Xu, Y., Chen, H., & Wang, P. (2020). Effect of Polypropylene Fiber on Properties of Alkali-Activated Slag Mortar. *Advances in Civil Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/4752841>
- Zulfikri, M. (2021). Effect of polypropylene fiber on the properties of self compacting mortar. *International Journal of Civil Engineering Research*, 12(3), 145–152.