PEMANFAATAN METAKAOLIN SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN UNTUK PEMBUATAN BETON *SELF COMPACTING CONCRETE* (SCC)

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Sipil

Jurusan Teknik Sipil

Oleh:

LISTY ANGGREANI

NIM D1011201009



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TANJUNGPURA

PONTIANAK

2025

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Listy Anggreani

NIM : D1011201009

Menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul "Pemanfaatan Metakaolin sebagai Substitusi Parsial Semen untuk Pembuatan Beton *Self Compacting Concrete* (SCC)" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi manapun. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Saya sanggup menerima konsekuensi akademis dan hukum di kemudian hari apabila dinyatakan yang dibuat ini tidak benar.

Pontianak, 31 Juli 2025



Listy Anggreani

NIM. D1011201009

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon (0561) 740186, WA: +6282152280907
Email : ft@untan.ac.id Website : http://teknik.untan.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

PEMANFAATAN METAKAOLIN SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL SEMEN UNTUK PEMBUATAN BETON *SELF COMPACTING CONCRETE* (SCC)

Jurusan Teknik Sipil
Program Studi Sarjana Teknik Sipil

Oleh:
Listy Anggreani
NIM. D1011201009

Telah dipertahankan di depan Penguji Skripsi pada tanggal 31 Juli 2025 dan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana teknik

Susunan Penguji Skripsi

Dosen Pembimbing Utama	: Ir. Erwin Sutandar, S.T., M.T., IPM., CRMP
	NIP. 197209301997021002
Dosen Pembimbing Kedua	: Ir. Gatot Setya Budi, S.T., M.T., IPM
	NIP. 197211242000121002
Dosen Penguji Utama	: Asep Supriyadi, S.T., M.T.
	NIP. 197503011999031002
Dosen Penguji Kedua	: Aryanto, S.T., M.T.
	NIP. 197301082000121002

Pontianak, 31 Juli 2025

Dekan,

Dr. Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM
NIP. 196712231992031002

Pembimbing Utama,

Ir. Erwin Sutandar, S.T., M.T., IPM., CRMP
NIP. 197209301997021002

Skripsi ini didedikasikan untuk diri sendiri. Yang pernah ragu, pernah takut, namun tak pernah benar-benar berhenti. Sebab percaya bahwa Allah tak pernah membiarkan hamba-Nya tersesat tanpa arah. Bahkan dalam gelap sekalipun, selalu ada cahaya yang menuntun pulang.

"Dunia pasti ada akhirnya. Bintang-bintang pun ada umurnya."
Nadhif Basalamah

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur senantiasa penulis panjatkan atas kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat Rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Pemanfaatan Metakaolin Sebagai Substitusi Parsial Semen Untuk Pembuatan Beton *Self Compacting Concrete* (SCC)". Laporan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mengerjakan skripsi pada program Strata-1 di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.

Keberhasilan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan serta dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Bapak Dr. Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
2. Bapak Dr. Herwani, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura
3. Ibu Dr. Elsa Tri Mukti, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura
4. Bapak Ir. Erwin Sutandar, S.T., M.T., IPM., CRMP, selaku Dosen Pembimbing Utama atas bimbingan dan arahan yang diberikan.
5. Bapak Ir Gatot Setya Budi, S.T., M.T., IPM, selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, kritik dan saran.
6. Bapak Asep Supriyadi, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Aryanto, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji Kedua atas masukan dan saran yang sangat berarti dalam penyempurnaan skripsi ini.
7. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Tanjungpura yang tidak kenal lelah memberikan ilmu dan pengetahuan selama masa studi.
8. Segenap Staf Program Studi Teknik Sipil Univeristas Tanjungpura atas segala bantuan dan kemudahan administrasi selama perkuliahan.
9. Kedua orang tua tercinta, Bapak Sunarta dan Ibu Ratna Ningsih atas doa, kasih sayang dan dukungan moral maupun materi yang tiada henti.

10. Ketiga kakak perempuan tersayang, Ririn Andriyani, Wulan Kusuma Wardhani dan Reni Puspa Sari, yang telah banyak memberikan saran membangun serta dukungan moral selama proses penyusunan tugas akhir ini.
11. Rekan seperjuangan skripsi bahan yaitu Alma Ananda Ristya, Christy Andhika Tanjaya dan Oktorio Saputra atas saran dan bantuan selama proses penelitian ini.
12. Teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2021 yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian.
13. Staf Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Tanjungpura atas bantuan teknis selama penelitian berlangsung.
14. Teman-teman yang bersama menempuh perjalanan akademis, yaitu Nisa, Selvi, Disa, Sani, dan Muthia, serta teman-teman mahasiswa lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas motivasi dan semangat yang telah diberikan selama penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih memiliki berbagai keterbatasan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun guna penyempurnaan dan pengembangan di masa mendatang sehingga skripsi ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi bidang pendidikan maupun penerapannya di lapangan.

Pontianak, Juli 2025
Penulis,

Listy Anggreani
NIM. D1011201009

ABSTRAK

Kebutuhan tulangan yang tinggi dan bentuk geometri yang kompleks menyulitkan aliran beton segar, sehingga udara mudah terperangkap dan pemadatan menjadi tidak sempurna. Kondisi ini berdampak pada penurunan mutu beton. Self Compacting Concrete (SCC) menjadi solusi beton yang memiliki tingkat fluiditas yang tinggi tanpa bantuan pemadatan. Perkembangan SCC terus diarahkan untuk mengoptimalkan komposisi material dan meningkatkan performa beton, salah satunya melalui penggunaan metakaolin. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan metakaolin sebagai substitusi parsial semen pada Self Compacting Concrete (SCC). Fokus penelitian mencakup potensi metakaolin sebagai bahan pengganti semen, penentuan komposisi optimum, serta analisis pengaruh terhadap sifat fisis dan mekanis beton SCC. Campuran beton divariasikan dengan kadar metakaolin yaitu 0%, 12,5%, 15%, 17,5%, 20%, dan 22,5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar metakaolin berpengaruh terhadap penurunan workability beton. Namun, kuat tekan semakin meningkat hingga mencapai nilai maksimum pada kadar metakaolin 20% sebesar 34,590 MPa, sebelum menurun pada kadar metakaolin 22,5%. Pola peningkatan yang sama terjadi pada kuat tarik belah dengan nilai tertinggi 3,065 MPa, serta pada nilai modulus elastisitas (secant, chord, initial tangent dan tangent modulus) yang juga meningkat hingga kadar metakaolin 20% lalu menurun pada kadar metakaolin 22,5%. Komposisi metakaolin yang tepat efektif digunakan sebagai substitusi parsial semen dengan menghasilkan keseimbangan optimal antara sifat fisis dan mekanis SCC. Penggunaan metakaolin yang berlebihan cenderung menurunkan performa beton.

Kata kunci: Self Compacting Concrete (SCC), metakaolin, workability, kuat tekan, tarik belah, modulus elastisitas.

ABSTRACT

High reinforcement requirements and complex geometric shapes make it difficult for fresh concrete to flow, causing air to become trapped and resulting in incomplete compaction. This condition has an impact on the quality of the concrete. Self-Compacting Concrete (SCC) is a concrete solution that has a high degree of fluidity without the need for compaction. The development of SCC continues to focus on optimizing material composition and improving concrete performance, one of which is through the use of metakaolin. This study aims to evaluate the use of metakaolin as a partial cement substitute in Self-Compacting Concrete (SCC). The research focuses on the potential of metakaolin as a cement substitute, determining the optimal composition, and analyzing its influence on the physical and mechanical properties of SCC concrete. Concrete mixtures were varied with metakaolin content levels of 0%, 12.5%, 15%, 17.5%, 20%, and 22.5%. The results showed that increasing the metakaolin content affected the workability of the concrete. However, the compressive strength increased up to a maximum value of 34,590 MPa at a metakaolin content of 20%, before decreasing at a metakaolin content of 22.5%. The same increase pattern occurred in the splitting tensile strength with the highest value of 3.065 MPa, as well as in the elastic modulus values (secant, chord, initial tangent, and tangent modulus), which also increased up to a metakaolin content of 20% and then decreased at a metakaolin content of 22.5%. The appropriate metakaolin composition is effectively used as a partial cement substitute, achieving an optimal balance between the physical and mechanical properties of SCC. Excessive use of metakaolin tends to reduce concrete performance.

Keywords: Self-Compacting Concrete (SCC), metakaolin, workability, compressive strength, tensile strength, elastic modulus.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ..... **i**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **iv**
ABSTRAK ..... **vi**
ABSTRACT ..... **vii**
DAFTAR ISI ..... **viii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xi**
DAFTAR TABEL ..... **xvi**
DAFTAR GRAFIK ..... **xix**
DAFTAR DIAGRAM ..... **xxi**
DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL ..... **xxii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan dan Sasaran Penelitian 4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian 4
1.5 Pembatasan Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **6**
2.1 *Self Compacting Concrete* 6
2.2 Kelebihan *Self Compacting Concrete* 11
2.3 Kelemahan *Self Compacting Concrete* 12
2.4 Karakteristik *Self Compacting Concrete* 12
2.5 Material Penyusun *Self Compacting Concrete* 14
2.5.1 Agregat 14
2.5.2 Semen 19
2.5.3 Bahan Tambah (*Admixture*) 21
2.6 Standarisasi Metode Pembuatan *Self Compacting Concrete* 28
2.7 Pengujian SCC 35

2.7.1 Slump-Flow Test 35
2.7.2 L-Shape Box 36
2.8 Kuat Tekan Beton (*Compressive Strength Concrete*) 37
2.9 Umur Rencana 39
2.10 Tegangan dan Regangan Beton 39
2.11 Modulus Elastisitas 43
2.12 Kuat Tarik Belah 46
2.13 Berat Volume Beton 48
2.14 Penelitian Terdahulu 49
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 50
3.1 Umum 50
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian 50
3.2.1 Tempat 50
3.2.2 Waktu 50
3.3 Diagram Alir Penelitian 51
3.4 Studi Literatur 52
3.5 Hipotesis Penelitian 52
3.6 Populasi dan Sampel 52
3.7 Peralatan Penelitian 53
3.8 Analisis Bahan 59
3.7.1 Semen 60
3.7.2 Agregat Halus 69
3.7.3 Agregat Kasar 86
3.7.4 Air 105
3.7.5 Bahan Tambah Mineral (*Additive*) 108
3.9 Rencana Komposisi Campuran 108
3.10 Pembuatan Benda Uji 110
3.11 Perawatan Benda Uji 111
3.12 Pengujian Benda Uji 112
3.12.1 Pengujian Beton Segar 112
3.12.2 Pengujian Beton Keras 113
3.13 Luaran Penelitian 117

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 118
4.1 Pemeriksaan Bahan 118
4.1.1 Agregat Kasar 118
4.1.2 Agregat Halus 122
4.1.3 Semen 126
4.1.4 Metakaolin 128
4.1.5 Air 130
4.2 *Mix Design* 132
4.3 Pembuatan Benda Uji 133
4.4 Perawatan Benda Uji 133
4.5 Pemeriksaan Benda Uji 134
4.5.1 *Slump Flow* 134
4.5.2 *L-Box* 135
4.5.3 Berat Volume 137
4.5.4 Kuat Tekan 138
4.5.5 Tarik Belah 142
4.5.6 Modulus Elastisitas 143
4.5.7 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah .. 181
4.5.8 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas 182
4.5.9 Rekapitulasi Pemeriksaan Benda Uji 184
BAB V PENUTUP 185
5.1 Kesimpulan 185
5.2 Saran 186
DAFTAR PUSTAKA 187

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan Proporsi Campuran SCC dengan Beton Konvensional 7
Gambar 2.2 Alat Uji Slump Flow Beton SCC 35
Gambar 2.3 L-Shape Box Test 37
Gambar 2.4 Tegangan Tekan (Compressive Stress) pada Beton Silinder 39
Gambar 2.5 Regangan (Strain) 40
Gambar 2.6 Pengujian Kuat Tarik Belah 46
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 51
Gambar 3.2 Botol Le Chatelier 53
Gambar 3.3 Timbangan dengan Ketelitian 0,1 gram 54
Gambar 3.4 Wadah 54
Gambar 3.5 Termometer 54
Gambar 3.6 Corong Kaca 54
Gambar 3.7 Batang Penusuk 55
Gambar 3.8 Alat Penakar Volume 2 Liter 55
Gambar 3.9 Alat Penakar Volume 3 Liter 55
Gambar 3.10 Sekop 55
Gambar 3.11 Gelas Ukur 56
Gambar 3.12 Organic Plate 56
Gambar 3.13 Oven 56
Gambar 3.14 Piknometer 56
Gambar 3.15 Kerucut Terpancung 57
Gambar 3.16 Batang Penumbuk 57
Gambar 3.17 Mesin Ketuk 57
Gambar 3.18 Saringan Agregat 57
Gambar 3.19 Shieve Shaker 58
Gambar 3.20 Timbangan dengan Ketelitian 0,1 Kilogram 58
Gambar 3.21 Mesin Abrasi Los Angeles 58
Gambar 3.22 Bola-Bola Baja 58
Gambar 3.23 Gelas Kimia 59

Gambar 3.24 TDS Meter 59
Gambar 3.25 Keranjang Besi dan Penggantung 59
Gambar 3.26 Penuangan Kerosin ke Dalam Botol Le Chatelier 61
Gambar 3.27 Perendaman Botol Le Chatelier Berisi Kerosin 61
Gambar 3.28 Pembacaan Skala pada Botol Le Chatelier (V1) 61
Gambar 3.29 Semen yang Digunakan Untuk Analisis Berat Jenis 61
Gambar 3.30 Pengisian Semen ke dalam Botol Le Chatelier 62
Gambar 3.31 Pemutaran Botol Le Chatelier Berisi Kerosin dan Semen 62
Gambar 3.32 Perendaman Botol Le Chatelier Berisi Kerosin dan Semen 62
Gambar 3.33 Pembacaan Skala pada Botol Le Chatelier (V2) 63
Gambar 3.34 Berat Penakar Silinder 64
Gambar 3.35 Penusukan Semen Sebanyak 25 Kali 64
Gambar 3.36 Pemerataan Permukaan Semen pada Penakar Silinder 64
Gambar 3.37 Berat Penakar dan Semen Dalam Kondisi Padat 65
Gambar 3.38 Pengisian Penakar Silinder Dengan Semen 65
Gambar 3.39 Berat Penakar dan Semen dalam Kondisi Gembur 65
Gambar 3.40 Saringan No.16 dan No. 20 Serta Pan 67
Gambar 3.41 Penuangan Semen ke Dalam Saringan 67
Gambar 3. 42 Pengguncangan Saringan Berisi Semen 67
Gambar 3.43 Pemutaran Saringan 90 Derajat 68
Gambar 3.44 Pembersihan Semen Tertahan pada Saringan No.16 68
Gambar 3.45 Pembersihan Semen Tertahan pada Saringan No.20 68
Gambar 3.46 Berat Semen Tertahan pada Saringan No.20 68
Gambar 3.47 Pengisian Gelas Ukur Dengan Pasir 70
Gambar 3.48 Penuangan Larutan NaOH ke Dalam Gelas Ukur 70
Gambar 3.49 Pengocokan Pasir dan Larutan NaOH 70
Gambar 3.50 Hasil Pemeriksaan Kadar Organik Agregat Halus 71
Gambar 3.51 Berat Wadah Untuk Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus .. 72
Gambar 3.52 Berat Agregat Halus Untuk Pemeriksaan Kadar Lumpur 72
Gambar 3.53 Penuangan Air ke Dalam Wadah Berisi Agregat Halus 72
Gambar 3.54 Pengadukan Agregat Halus Dengan Air Pencuci 73
Gambar 3.55 Penuangan Air Pencuci pada Saringan 73

Gambar 3.56 Tampak Air Pencuci Telah Terlihat Jernih 73
Gambar 3.57 Pengembalian Agregat Halus Tertahan pada Saringan No.16 74
Gambar 3.58 Berat Wadah dan Pasir Setelah Dioven Untuk Pemeriksaan Kadar Lumpur 74
Gambar 3.59 Berat Wadah Untuk Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus 75
Gambar 3.60 Berat Wadah dan Pasir Untuk Pemeriksaan Kadar Air 76
Gambar 3.61 Pengeringan Pasir Dengan Oven 76
Gambar 3.62 Berat Wadah dan Pasir Setelah Dioven Untuk Pemeriksaan Kadar Air 76
Gambar 3.63 Pengisian Kerucut Terpancung Dengan Pasir 78
Gambar 3.64 Hasil Pengujian Saturated Surface Dry Agregat Halus 78
Gambar 3.65 Berat Piknometer 79
Gambar 3.66 Pengisian Piknometer dengan Pasir 79
Gambar 3.67 Pengguncangan Piknometer 79
Gambar 3.68 Berat Piknometer Berisi Pasir dan Air 80
Gambar 3.69 Berat Wadah dan Pasir Setelah Dioven Untuk Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air 80
Gambar 3.70 Berat Piknometer Berisi Air 80
Gambar 3.71 Berat Penakar Silinder Untuk Pemeriksaan Berat Volume Agregat Halus 82
Gambar 3.72 Pengisian Penakar Silinder dengan Agregat Halus 82
Gambar 3.73 Pemadatan Agregat Halus Menggunakan Mesin Ketuk 82
Gambar 3.74 Pemerataan Permukaan Agregat Halus pada Penakar Silinder 83
Gambar 3.75 Berat Penakar dan Agregat Halus Kondisi Padat 83
Gambar 3.76 Berat Penakar dan Agregat Halus Kondisi Gembur 83
Gambar 3.77 Berat Saringan No.16 (1,18 mm) 85
Gambar 3.78 Penyusunan Saringan dari Ukuran Besar ke Kecil 85
Gambar 3.79 Penuangan Pasir ke dalam Susunan Saringan 85
Gambar 3.80 Pengayakan dengan Alat Shieve Shaker 86
Gambar 3.81 Berat Saringan No.16 (1,18 mm) dan Pasir yang Tertahan 86
Gambar 3.82 Berat Wadah Untuk Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar 87
Gambar 3.83 Berat Wadah dan Kerikil Untuk Pemeriksaan Kadar Air 88

Gambar 3.84 Pengeringan Kerikil dengan Oven 88
Gambar 3.85 Berat Wadah dan Kerikil Setelah Dioven Untuk Pemeriksaan Kadar Air 88
Gambar 3.86 Pencucian Agregat Kasar 90
Gambar 3.87 Pengelapan Agregat Kasar 90
Gambar 3.88 Berat Keranjang 90
Gambar 3.89 Berat Agregat Kasar Untuk Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air 91
Gambar 3.90 Berat Keranjang dalam Air 91
Gambar 3.91 Penempatan Keranjang dan Agregat Kasar ke dalam Tangki Air.. 91
Gambar 3.92 Berat Keranjang dan Agregat Kasar dalam Air 92
Gambar 3.93 Berat Keranjang dan Agregat Kasar Setelah Dioven Untuk Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air 92
Gambar 3.94 Berat Wadah Untuk Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar.. 93
Gambar 3.95 Berat Wadah dan Agregat Kasar Untuk Pemeriksaan Kadar Lumpur 94
Gambar 3.96 Pencucian Agregat Kasar Untuk Pemeriksaan Kadar Lumpur..... 94
Gambar 3.97 Pengeringan Agregat Kasar dengan Oven 94
Gambar 3.98 Berat Wadah dan Agregat Kasar Setelah Dioven Untuk Pemeriksaan Kadar Lumpur 95
Gambar 3.99 Berat Agregat Kasar Untuk Pemeriksaan Gradasi 96
Gambar 3.100 Berat Saringan 9,52 mm 97
Gambar 3.101 Penyusunan Saringan Dari Ukuran Besar ke Kecil 97
Gambar 3.102 Penuangan Agregat Kasar ke dalam Susunan Saringan 97
Gambar 3.103 Pengayakan Menggunakan Shieve Shaker 97
Gambar 3.104 Berat Saringan 4,75 mm dan Agregat Kasar yang Tertahan..... 98
Gambar 3.105 Berat Penakar Silinder Untuk Pemeriksaan Berat Volume Agregat Kasar 99
Gambar 3.106 Pengisian Agregat Kasar ke dalam Penakar Silinder..... 99
Gambar 3.107 Pemerataan Permukaan Agregat Kasar pada Penakar Silinder.... 99
Gambar 3.108 Berat Penakar dan Agregat Kasar dalam Keadaan Padat 100
Gambar 3.109 Berat Penakar dan Agregat Kasar dalam Keadaan Gembur 100

Gambar 3.110 Pengayakan Agregat Kasar Untuk Pemeriksaan Keausan 102
Gambar 3.111 Pencampuran Agregat Kasar Sesuai Gradasi yang Diinginkan . 102
Gambar 3.112 Berat Agregat Kasar yang Lolos Saringan 6,35 mm(1/4") dan Tertahan Saringan 4,75 mm (No.4)..... 103
Gambar 3.113 Pengisian Agregat Kasar dan Bola Baja ke dalam Mesin Los Angeles..... 103
Gambar 3.114 Pengoperasian Mesin Los Angeles 104
Gambar 3.115 Pengayakan Agregat Kasar dengan Saringan No.12..... 104
Gambar 3.116 Berat Agregat Kasar yang Tertahan pada Saringan No.12..... 104
Gambar 3.117 Hasil Pembacaan Suhu Air pada TDS Meter..... 106
Gambar 3.118 Hasil Pembacaan Kadar Organik pada TDS Meter 107
Gambar 3.119 Hasil Pembacaan pH Air pada Kertas Lakmus..... 108
Gambar 4.1 Hasil Pemeriksaan Kadar Organik Agregat Halus..... 123
Gambar 4.2 Proses Pemanasan Metakaolin..... 128
Gambar 4.3 Perawatan Benda Uji 133

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batas-batas Gradasi Untuk Agregat Halus (Pasir) 17
Tabel 2.2 Gradasi Agregat Kasar 18
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Semen Portland Komposit 20
Tabel 2.4 Komposisi Kimia Metakaolin 27
Tabel 2.5 Rekomendasi Nilai Slump untuk Berbagai Pekerjaan Konstruksi 29
Tabel 2.6 Perkiraan Kebutuhan Air Pencampur dan Kadar Udara 31
Tabel 2.7 Hubungan antara Rasio Air-Semen (w/c) atau Rasio Air-Bahan Bersifat Semen (w/(c+p)) dan Kekuatan Beton 32
Tabel 2.8 Volume Agregat Kasar per Satuan Volume Beton 33
Tabel 2.9 Perkiraan Awal Berat Beton Segar 33
Tabel 2.10 Daftar Konveksi Benda Uji 38
Tabel 2.11 Klasifikasi Beton Berdasarkan Berat Volume Beton 48
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian 51
Tabel 3.2 Daftar Sampel Benda Uji 53
Tabel 3.3 Daftar Gradasi dan Berat Benda Uji 103
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Rata-rata Agregat Kasar 118
Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Rata-rata Agregat Kasar 119
Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Rata-rata Agregat Kasar 120
Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar 120
Tabel 4.5 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Rata-rata Agregat Kasar 121
Tabel 4.6 Hasil Pemeriksaan Keausan Rata-rata Agregat Kasar 122
Tabel 4.7 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Rata-rata Agregat Halus 123
Tabel 4.8 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Rata-rata Agregat Halus 124
Tabel 4.9 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Rata-rata Agregat Halus 124
Tabel 4.10 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Rata-rata Agregat Halus 125
Tabel 4.11 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Halus 125
Tabel 4.12 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Rata-rata Semen 127
Tabel 4.13 Hasil Pemeriksaan Berat Rata-rata Volume Semen 127

Tabel 4.14 Hasil Pemeriksaan Kehalusan Rata-rata Semen 128
Tabel 4.15 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Metakaolin..... 129
Tabel 4.16 Hasil Pemeriksaan Berat Volume Rata-rata Metakaolin..... 129
Tabel 4.17 Hasil Pemeriksaan Kehalusan Rata-rata Metakaolin..... 130
Tabel 4.18 Hasil Pemeriksaan Kadar Organik Rata-rata Air..... 130
Tabel 4.19 Hasil Pemeriksaan Suhu Rata-rata Air 131
Tabel 4.20 Hasil Pemeriksaan pH Rata-rata Air..... 131
Tabel 4.21 Proporsi Campuran Self Compacting Concrete per 1 m^3 132
Tabel 4.22 Hasil Pengujian Slump Flow 134
Tabel 4.23 Hasil Pengujian L-Box 136
Tabel 4.24 Hasil Pengujian Berat Volume 137
Tabel 4.25 Hasil Pengujian Kuat Tekan 139
Tabel 4.26 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah 142
Tabel 4.27 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 1 Benda Uji 1 147
Tabel 4.28 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 1 Benda Uji 2 148
Tabel 4.29 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 1 Benda Uji 3 149
Tabel 4.30 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 2 Benda Uji 1 153
Tabel 4.31 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 2 Benda Uji 2 154
Tabel 4.32 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 2 Benda Uji 3 155
Tabel 4.33 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 3 Benda Uji 1 159
Tabel 4.34 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 3 Benda Uji 2 160
Tabel 4.35 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 3 Benda Uji 3 161
Tabel 4.36 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 4 Benda Uji 1 165
Tabel 4.37 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 4 Benda Uji 2 166
Tabel 4.38 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 4 Benda Uji 3 167
Tabel 4.39 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 5 Benda Uji 1 171
Tabel 4.40 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 5 Benda Uji 2 172
Tabel 4.41 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 5 Benda Uji 3 173
Tabel 4.42 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 6 Benda Uji 1 177
Tabel 4.43 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 6 Benda Uji 2 178
Tabel 4.44 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas pada Variasi 6 Benda Uji 3 179
Tabel 4.45 Rekapitulasi Perhitungan Modulus Elastisitas..... 179

Tabel 4.46 Hubungan antara Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah 181
Tabel 4.47 Hubungan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas 183
Tabel 4.48 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Benda Uji 184

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Hubungan Tegangan – Regangan Beton..... 41
Grafik 2.2 Perilaku Grafik Tegangan-Regangan Beton 42
Grafik 4.1 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar 121
Grafik 4.2 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Halus 126
Grafik 4.3 Hubungan antara Variasi Metakaolin dan Slump Flow 135
Grafik 4.4 Hubungan antara Variasi Metakaolin dan L-box 136
Grafik 4.5 Hubungan antara Variasi Metakaolin dan Berat Volume 138
Grafik 4.6 Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan pada Variasi 1 139
Grafik 4.7 Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan pada Variasi 2 139
Grafik 4.8 Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan pada Variasi 3 140
Grafik 4.9 Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan pada Variasi 4 140
Grafik 4.10 Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan pada Variasi 5 140
Grafik 4.11 Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan pada Variasi 6 141
Grafik 4.12 Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan untuk Tiap Variasi 141
Grafik 4.13 Hubungan antara Variasi Metakaolin dan Kuat Tarik belah 142
Grafik 4.14 Regangan-Tegangan pada Variasi 1 Benda Uji 1 144
Grafik 4.15 Regangan-Tegangan pada Variasi 1 Benda Uji 2 148
Grafik 4.16 Regangan-Tegangan pada Variasi 1 Benda Uji 3 148
Grafik 4.17 Regangan-Tegangan pada Variasi 2 Benda Uji 1 149
Grafik 4.18 Regangan-Tegangan pada Variasi 2 Benda Uji 2 154
Grafik 4.19 Regangan-Tegangan pada Variasi 2 Benda Uji 3 154
Grafik 4.20 Regangan-Tegangan pada Variasi 3 Benda Uji 1 155
Grafik 4.21 Regangan-Tegangan pada Variasi 3 Benda Uji 2 160
Grafik 4.22 Regangan-Tegangan pada Variasi 3 Benda Uji 3 160
Grafik 4.23 Regangan-Tegangan pada Variasi 4 Benda Uji 1 161
Grafik 4.24 Regangan-Tegangan pada Variasi 4 Benda Uji 2 166
Grafik 4.25 Regangan-Tegangan pada Variasi 4 Benda Uji 3 166
Grafik 4.26 Regangan-Tegangan pada Variasi 5 Benda Uji 1 167
Grafik 4.27 Regangan-Tegangan pada Variasi 5 Benda Uji 2 172
Grafik 4.28 Regangan-Tegangan pada Variasi 5 Benda Uji 3 172
Grafik 4.29 Regangan-Tegangan pada Variasi 6 Benda Uji 1 173

Grafik 4.30 Regangan-Tegangan pada Variasi 6 Benda Uji 2 178
Grafik 4.31 Regangan-Tegangan pada Variasi 6 Benda Uji 3 178
Grafik 4.32 Hubungan antara Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah 182
Grafik 4.33 Hubungan Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas..... 183

DAFTAR DIAGRAM

Diagram 4.1 Hubungan antara Variasi Metakaolin dan Slump Flow 134
Diagram 4.2 Hubungan antara Variasi Metakaolin dan L-box 136
Diagram 4.3 Hubungan antara Variasi Metakaolin dan Berat Volume 137
Diagram 4.4 Hubungan antara Variasi Metakaolin dan Kuat Tarik Belah..... 142
Diagram 4.5 Hubungan antara Variasi Metakaolin dan Modulus Elastisitas..... 180

DAFTAR ISTILAH DAN SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
w/c	Perbandingan air terhadap semen	
w/(c+p)	Perbandingan air terhadap campuran semen dan pozzolan	
P	Beban tekan maksimum saat pengujian benda uji	N
A	Luas penampang melintang benda uji	mm^2
f_c'	Kuat tekan karakteristik beton pada umur 28 hari	MPa
f_{ct}	Kuat tarik belah beton pada umur 28 hari	MPa
π	Perbandingan keliling dengan diameter lingkaran (konstanta 3,1416)	
D	Diameter benda uji silinder	mm
L	Panjang benda uji	mm
ΔL	Perubahan panjang benda uji akibat pembebanan	mm
ε	Regangan (*strain*)	
σ	Tegangan (*stress*)	MPa
d_1	jarak diameter terbesar lingkaran slump flow	mm
d_2	jarak diameter yang tegak lurus dari d_1	mm
H_1	Tinggi beton segar dalam L-Box yang tidak melewati tulangan	cm
H_2	Tinggi beton segar dalam L-Box setelah melewati tulangan	cm
ΔH	Selisih tinggi beton segar pada L-Box sebelum dan sesudah melewati tulangan	cm
W	Berat benda uji	kg
V	Volume benda uji	mm^3
Ec	Modulus elastisitas	MPa
Ec sec	Secant modulus	MPa
Ec chord	Chord modulus	MPa
Ec int	Initial tangent modulus	MPa
S_1	Tegangan beton pada regangan longitudinal sebesar 0,00005	MPa
S_2	Tegangan beton saat mencapai 40% dari tegangan maksimum	MPa
ε_2	Regangan longitudinal beton akibat S_2	

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada masa ini pembangunan infrastruktur terus mengalami perkembangan yang pesat. Infrastruktur memainkan peran penting sebagai salah satu roda penggerak pertumbuhan ekonomi. Ketersediaan infrastruktur yang memadai memiliki dampak signifikan dalam pengembangan wilayah. Perkembangan infrastruktur suatu wilayah sejalan dengan perkembangan ekonomi. Adanya infrastruktur akan merangsang peningkatan pendapatan masyarakat akibat pertumbuhan aktivitas ekonomi yang semakin tinggi. Saat ini pemerataan pembangunan infrastruktur menjadi agenda utama yang dicanangkan oleh pemerintah. Pemerintah dengan gencar melakukan pembangunan infrastruktur di berbagai kawasan dengan harapan dapat mengurangi ketimpangan kesejahteraan antarwilayah. Berbagai macam langkah efisiensi proyek infrastruktur dilakukan agar proyek dapat diselesaikan tepat waktu. Langkah tersebut dengan memanfaatkan inovasi-inovasi terbaharui baik dari segi teknologi maupun material yang ramah lingkungan.

Keandalan beton sebagai pilihan material konstruksi infrastruktur tidak perlu diragukan lagi. Beton dipilih karena memiliki harga yang terbilang ekonomis dan bahan baku yang dibutuhkan dalam pembuatan mudah dicari (pasir, semen, kerikil, air). Tidak hanya faktor ekonomis saja, kekuatan dan mutu beton dapat dirancang sesuai dengan yang diinginkan.

Beton memiliki sifat yang kuat terhadap tekan sehingga dapat menahan beban yang berat. Di sisi lain, beton juga memiliki kelemahan dalam kuat tariknya. Adanya tambahan baja tulangan, beton bertulang dapat mengatasi permasalahan kuat tarik tersebut. Namun semakin banyak kebutuhan tulangan, beton segar akan kesulitan untuk mengalir ke seluruh bagian sehingga menyebabkan terperangkapnya banyak udara dan pemadatan yang kurang baik. Hal ini tentunya mengurangi kualitas dan mutu beton. Terlebih lagi dengan perkembangan kreativitas manusia mendorong kebebasan desain arsitektur hingga menghasilkan konstruksi dengan bentuk geometri yang rumit. Maka diperlukan adanya inovasi

baru pada beton dengan tingkat fluiditas yang tinggi sehingga tidak perlu lagi bantuan pemadatan yaitu *Self Compacting Concrete* (SCC).

Beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*) adalah beton yang mampu mengalir sendiri serta mengisi ruang dengan tingkat penggunaan alat pemadat yang sangat sedikit atau bahkan tidak dipadatkan sama sekali tanpa mengalami segregasi. Beton ini memanfaatkan ukuran agregat, porsi agregat dan bahan tambah (*admixture*) berupa *superplasticizer* untuk mencapai kekentalan khusus yang memungkinkan mengalir secara mandiri tanpa bantuan alat pemadat. Saat dituang ke dalam cetakan, beton ini akan mengalir mengisi semua celah mengikuti prinsip gravitasi dari pengaruh berat sendiri campuran beton, termasuk pada pengecoran dengan tulangan pembesian yang sangat rapat.

Pada saat ini beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*) belum terlalu populer dalam dunia konstruksi Indonesia. Sementara banyak keuntungan yang diperoleh dari beton ini antara lain menekan biaya, mutu dan waktu pengerjaan konstruksi. Tanpa adanya pemadatan, maka dapat mengurangi tenaga kerja dan peralatan yang dibutuhkan. Selain itu, dalam segi mutu beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*) dapat mengurangi permeabilitas dari beton sehingga permukaan beton menjadi lebih halus dan homogen.

Seiring dengan perkembangan teknologi, hal serupa juga terjadi pada perkembangan teknologi beton. Perkembangan teknologi beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*) masih terus dioptimalkan untuk mendapatkan komposisi material yang lebih baik lagi. Para peneliti di bidang energi juga telah memperhatikan faktor energi dalam memberikan penilaian material beton yang lebih ramah lingkungan. Semen merupakan salah satu unsur penting dalam produksi beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*). Pada semester I tahun 2023, data produksi semen sebesar 29 juta ton dan kebutuhan semen nasional tercatat mencapai 28 juta ton. Kebutuhan semen ini diperkirakan akan terus meningkat dengan adanya Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) (Kemenperin, 2023). Akan tetapi, pada proses produksi semen terjadi pelepasan gas karbon dioksida (CO_2) ke udara yang besarnya sebanding dengan jumlah semen yang diproduksi sehingga dapat merusak lingkungan hidup berupa pemanasan global.

Dengan kebutuhan yang banyak dan efek buruk dari semen, dibutuhkan bahan alternatif lain sebagai pengganti semen seperti metakaolin.

Metakaolin merupakan pozzolan berukuran 0,5 sampai 5 mikron yang berasal dari proses pemanasan bahan kaolin pada suhu 500°C - 900°C. Kaolin ialah sumber daya mineral yang dapat ditemukan salah satunya di kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. Metakaolin memiliki beberapa reaktivitas hidrolik laten yang dapat mengatasi efek dilusi dalam berkontribusi untuk panas dan kekuatan tekan pada usia sangat dini. Efek yang diberikan metakaolin cukup besar pada hidrasi semen Portland (PC). Ketika semen Portland terhidrasi, biasanya 20-30% dari massa pasta menghasilkan kalsium hidrat (CH). Namun saat metakaolin digunakan, metakaolin bereaksi cepat dengan senyawa CH menghasilkan kalsium silikat hidrat (C-S-H) yang berperan sebagai perekat sekaligus *filler* sehingga mampu meningkatkan kuat tekan beton (Hidayat et al 2018, 502-507).

Pengujian kuat tekan sangat diperlukan untuk mengetahui kualitas dan mutu dari suatu struktur. Semakin tinggi nilai kuat tekan maka semakin bagus pula mutu dan kualitas struktur dalam menahan beban yang besar. Pada penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Dharmawan (2017), adanya penambahan metakaolin menyebabkan beton semakin menjauhi parameter SCC, dimana paramater yang diamati adalah *passingability*, *fillingability*, dan *segregation resistance*. Oleh karena itu, perlu dikaji lebih mendalam terhadap variasi substitusi metakaolin yang digunakan dalam beton agar diperoleh beton yang memenuhi parameter-parameter SCC dengan kuat tekan yang baik.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang di atas maka permasalahan yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Apakah metakaolin dapat menjadi bahan substitusi parsial semen?
2. Berapa komposisi optimum penggunaan metakaolin yang dianjurkan pada pembuatan beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*)?
3. Bagaimana hasil pengaruh metakaolin terhadap sifat fisis dan mekanis beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*)?

1.3 Tujuan dan Sasaran Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah yang telah dipaparkan maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui metakaolin dapat dimanfaatkan sebagai pengganti semen.
2. Mendapatkan komposisi optimum penggunaan bahan metakaolin yang dianjurkan pada pembuatan beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*).
3. Mengevaluasi hasil pengaruh metakaolin terhadap sifat fisis dan mekanis beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*).

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk dapat mencapai tujuan, terdapat beberapa ruang lingkup penelitian yaitu sebagai berikut :

1. Desain campuran beton yang digunakan adalah desain beton f_c' 25 berdasarkan SNI 7656-2012 dipadukan dengan konsep beton SCC.
2. Metakaolin dihasilkan dari pembakaran kaolin dengan suhu 500°C - 900°C dan lolos dari ayakan No.200.
3. Variabel bebas berupa variasi penambahan kadar metakaolin sebesar 0%, 12,5%, 15%, 17,5%, 20% dan 22,5% terhadap berat semen.
4. Semen yang digunakan adalah semen merk Gresik yang berjenis *Portland Composite Cement* (PCC).
5. Batu pecah/kerikil yang digunakan maksimum ukuran 10 mm.
6. Penambahan *superplasticizer* tipe *high range water reducer* sebesar 0,8% dari berat semen. Superplasticizer yang digunakan adalah Sika Viscocrete 5002N.

1.5 Pembatasan Penelitian

Mengingat luasnya sifat-sifat yang dimiliki beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*) serta pertimbangan waktu, tempat dan biaya yang sangat terbatas, maka penulis membatasi penelitian sebagai upaya memfokuskan ruang lingkup studi. Pada penelitian ini peneliti tidak meneliti tentang :

1. Analisis biaya yang digunakan selama penelitian

2. Reaksi kimia yang ditimbulkan dari bahan penyusun beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*) seperti semen dan metakaolin baik pada saat pencampuran maupun setelah beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*) mengeras.
3. Pengujian porositas, pengujian permeabilitas.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, agar dalam pembahasan terfokus pada pokok permasalahan dan tidak melebar ke masalah yang lain, maka penulis membuat sistematika penulisan tugas akhir sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini penulis membahas tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Ruang Lingkup Penelitian, Pembatasan Penelitian dan Sistematika Penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini penulis membahas dasar-dasar teori tentang beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete),* material pembentuk beton serta penelitian terdahulu yang relevan dari berbagai sumber referensi.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini penulis membahas tentang metode penelitian, diagram alir penelitian, analisis pada bahan yang digunakan, *mix design* serta pengujian beton memadat mandiri (*Self Compacting Concrete*).

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini penulis memaparkan dan menganalisis data-data yang diperoleh dari hasil pengujian.

BAB 5 PENUTUP

Dalam bab ini penulis menjelaskan mengenai kesimpulan akhir hasil penelitian dan saran-saran yang direkomendasikan dari peneliti yang dapat diterapkan untuk penelitian selanjutnya.