

**STUDI PEMBUATAN MORTAR GEOPOLIMER MAMPU
CETAK UNTUK APLIKASI MESIN 3DCP PADA BANGUNAN
SIPIL**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
Menyelesaikan Pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Immanuel Sianipar

221411918



PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR

JURUSAN TEKNIK MANUFAKTUR

POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG

2023

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

STUDI PEMBUATAN MORTAR GEOPOLIMER MAMPU CETAK UNTUK APLIKASI MESIN 3DCP PADA BANGUNAN SIPIL

Oleh:

Immanuel Sanipar

221411918

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

Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 7 Agustus 2024

Disetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Heri Setiawan, ST., MT.

196707011992031001

Adi Surya Pradipta, ST., MT.

199107252022031004

Disahkan,

Penguji I,

Penguji I,

Pembimbing III,

**Dr.Herman Budi
Harja, ST., MT.**

197902022008101001

Pandoe, ST., MT.

196903031995121002

**Rani Nopriyanti, S.Pd.,
M.Sc.**

199011032022032008

PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Immanuel Sianipar
NIM : 221411918
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma IV
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : STUDI PEMBUATAN MORTAR GEOPOLIMER MAMPU
CETAK UNTUK APLIKASI MESIN 3DCP PADA
BANGUNAN SIPIL

Menyatakan Bahwa :

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada Tanggal : Tanggal
Yang Menyatakan,

(Immanuel Sianipar)
221411918

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

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

Nama : Immanuel Sianipar
NIM : 221411918
Jurusan : Teknik Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma IV
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : STUDI PEMBUATAN MORTAR GEOPOLIMER MAMPU CETAK UNTUK APLIKASI MESIN 3DCP PADA BANGUNAN SIPIL

Menyatakan/Menyetujui bahwa :

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung

Pada Tanggal : Tanggal

Yang Menyatakan,

(Immanuel Sianipar)

221411918

MOTO PRIBADI

Takut akan Tuhan menjadi dasar mengetahui hikmat dan didikan, untuk mengerti kata-kata yang bermakna, untuk menerima didikan yang menjadi pandai, serta kebenaran, keadilan dan kejujuran, untuk memberikan kecerdasan kepada orang yang tak berpengalaman, dan pengetahuan kebijaksanaan kepada orang muda.

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya tercinta, kakak saya, teman – teman saya dan semua pihak yang telah membantu saya.

KATA PENGANTAR

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

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: **“STUDI PEMBUATAN MORTAR GEOPOLIMER MAMPU CETAK UNTUK APLIKASI MESIN 3DCP PADA BANGUNAN SIPIL”**.

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

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

1. Tuhan YME, yang masih memberikan kesempatan dan Kesehatan sehingga penulis masih bisa diberikan kemampuan oleh Nya
2. Ketua Jurusan Teknik Manufaktur, Bapak Jata Budiman ST., MT.
3. Ketua Program Studi, Bapak Haris Setiawan, SST., MT.
4. Para Pembimbing tugas akhir Bapak Heri Setiawan, ST., MT. dan Bapak Adi Surya Pradipta ST., MT
5. Para Penguji siding tugas akhir Bapak Dr.Herman Budi Harja, ST., MT, Bapak Pandoe, ST., MT, dan Ibu Rani Nopriyanti, S.Pd., M.Sc
6. Panitia tugas akhir Risky Ayu Febriani, S.Tr., M.Sc

7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril, materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Sahabat – sahabat perpanjangan D4 saya

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

ABSTRAK

3D *Concrete Printing* (3DCP) adalah mesin yang digunakan untuk membuat suatu bangunan dengan cara dicetak *layer by layer*. 3DCP memiliki beberapa keunggulan dibandingkan pembuatan bangunan dengan manual, seperti waktu pembuatan lebih cepat, harga bahan baku (mortar) yang lebih terjangkau, dan jumlah pekerja yang lebih sedikit. Menurut KBBI, mortar adalah campuran semen, pasir, dan kapur mati untuk menempelkan batu bata. Namun pada mesin 3DCP mortar digunakan sebagai bahan baku pembentuk bangunan yang akan dicetak *layer by layer*. Maka dari itu diperlukan mortar yang dapat diaplikasikan pada mesin 3DCP agar mesin dapat berjalan dengan lancar. Mortar geopolimer merupakan salah satu mortar yang dapat diaplikasikan pada mesin 3DCP karena pengerasan mortar lebih cepat, Kuat tekan lebih kuat dari semen portland, serta memiliki kemampuan dalam membentuk permukaan bangunan yang akan dialirkan melalui *nozzle*. Mortar geopolimer merupakan mortar yang tidak menggunakan semen portland sebagai pembangunnya. Mortar geopolimer berbahan baku Abu terbang (*fly ash*), dengan pengikat campuran dari NaOH dengan Na_2SiO_3 yang nantinya akan dicampurkan agregat menjadi beton geopolimer. Hasil dari penelitian ini diharapkan akan menghasilkan beton geopolimer yang dapat diaplikasikan pada mesin 3DCP. Maka dari itu dilakukan beberapa pengujian, seperti : Pengujian slump untuk mendapatkan standar mampu alir dari beton geopolimer, Pengujian tekan untuk mendapat hasil kekuatan mortar, dan pengujian pengaplikasian mortar untuk melihat mampu bentuk dan kemampuan ekstruksi dari beton geopolimer. Dari beberapa pengujian yang dilakukan akan mendapat komposisi yang tepat dari mortar geopolimer untuk diaplikasikan pada mesin 3DCP.

Kata Kunci : 3D Concrete Printing, Mortar Geopolimer, *Fly ash*

ABSTRAC

3D Concrete Printing (3DCP) is a machine used to create a building by printing layer by layer. 3DCP has several advantages over manual building, such as faster manufacturing time, more affordable raw materials (mortar), and fewer workers. According to KBBI, mortar is a mixture of cement, sand, and slaked lime to attach bricks. However, in the 3DCP machine, mortar is used as a raw material for forming buildings that will be printed layer by layer. Therefore, a mortar that can be applied to the 3DCP machine is needed so that the machine can run smoothly. Geopolymer mortar is one of the mortars that can be applied to 3DCP machines because the hardening of the mortar is faster, the compressive strength is stronger than portland cement, and has the ability to form a building surface that will be flowed through the nozzle. Geopolymer mortar is a mortar that does not use Portland cement as a builder. Geopolymer mortar is made from fly ash, with a binder mixture of NaOH with Na₂SiO₃ which will be mixed with aggregate into geopolymer concrete. The results of this research are expected to produce geopolymer concrete that can be applied to 3DCP machines. Therefore, several tests were carried out, such as: Slump testing to obtain flowability standards of geopolymer concrete, compressive testing to obtain mortar strength results, and mortar application testing to see the formability and extrudability of geopolymer concrete. From the several tests carried out, the right composition of geopolymer mortar will be obtained to be applied.

Keywords: 3D Concrete Printing, Geopolymer Mortar, Fly ash

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTO PRIBADI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRAC.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
I BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah.....	I-2
I.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah	I-2
I.4 Tujuan Masalah.....	I-3
I.5 Sistematika Penulisan	I-3
II BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Mortar Geopolimer	II-1
II.1.1 ASTM C618	II-2
II.1.2 Alkali aktifator	II-3
II.1.3 Agregat [4]	II-4
II.1.4 Mortar (secara umum)	II-5
II.2 Proses Polimerisasi [5]	II-5
II.3 Proses Curing [7]	II-7
II.4 Fungsi dan tuntutan mortar geopolimer pada mesin 3DCP	II-8
II.5 Pengujian mortar [10]	II-9
II.5.1 Uji pengaplikasian mortar	II-9
II.5.2 Uji slump	II-10
II.5.3 Uji Tekan	II-11
III BAB III METODOLOGI PENELITIAN	III-1
III.1 Diagram Alir	III-1
III.2 Identifikasi Masalah	III-2
III.2.1 Efisiensi waktu dan tenaga kerja.....	III-2

III.2.2	Menurunkan potensi terjadinya kecelakaan kerja.....	III-2
III.2.3	Efisiensi biaya	III-2
III.3	Studi Literatur	III-3
III.4	Penentuan Komposisi Mortar Geopolimer	III-4
III.4.1	<i>Fly ash</i>	III-4
III.4.2	Alkali Aktivator (binder).....	III-4
III.4.3	Agregat	III-4
III.5	Mix design pembuatan mortar	III-6
III.6	Proses Curing	III-6
a.	Pengujian Slump	III-7
III.7	Pengujian Pengaplikasian Mortar	III-8
IV	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
IV.1	Hasil	IV-1
IV.1.1	Pemeriksaan Ukuran Butiran Pasir	IV-1
IV.1.2	Pembuatan binder	IV-1
IV.1.3	Mix design mortar geopolimer.....	IV-2
IV.1.4	Hasil Pengujian Slump	IV-3
IV.1.5	Hasil Pengujian Tekan.....	IV-5
IV.1.6	Hasil Pengujian Pengaplikasian Mortar	IV-6
IV.2	Pembahasan.....	IV-7
IV.2.1	Pengujian Slump	IV-7
IV.2.2	Pengujian Tekan	IV-7
IV.2.3	Uji Pengaplikasian Mortar	IV-7
V	BAB V	V-1
	KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
V.1	Kesimpulan	V-1
V.2	Saran.....	V-2
VI	DAFTAR PUSTAKA	xiii

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Material Pembentuk Beton Geopolimer	II-1
Gambar II. 2 ASTM C1329-03	II-5
Gambar II. 3 Reaksi polimerisasi	II-5
Gambar II. 4 Model konseptual proses geopolimerisasi	II-6
Gambar II. 5 Pengaruh suhu terhadap setting time [8]	II-8
Gambar II. 6 Contoh Pengaplikasian mortar geopolimer pada 3DCP	II-8
Gambar II. 7 Contoh Pengujian Slump	II-10
Gambar III. 1 Proses pengujian mortar	III-2
Gambar III. 2 <i>Fly ash</i> kelas C dan F	III-4
Gambar III. 3 Alat uji tingkat butiran	III-5
Gambar III. 4 Proses uji coba komposisi mortar	III-6
Gambar III. 5 Proses curing membran	III-6
Gambar III. 6 Dimensi Cetakan slump	III-7
Gambar IV. 1 Hasil Pengujian Slump Sampel 1	IV-3
Gambar IV. 2 Hasil Pengujian slump sampel 2	IV-4
Gambar IV. 3 Hasil pengujian Slump sampel 3	IV-5
Gambar IV. 4 Hasil uji simulasi perhitungan kecepatan nozzle	IV-6
Gambar IV. 5 Hasil Uji pengaplikasian pembentukan dimensi tembok pada sampel 2	IV-6

DAFTAR TABEL

Tabel III. 1 Tingkat butiran pada pengujian tingkat butiran	III-5
Tabel III. 2 Komposisi mortar geopolimer (Elitha, 2010)	III-6
Tabel IV. 1 Hasil Pengujian ukuran butiran pasir kuarsa	IV-1
Tabel IV. 2 Komposisi Pengujian mortar geopolimer	IV-2

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di bidang manufaktur aditif (*additive manufacturing*) terus berkembang pesat dimana hal ini berimplikasi dengan semakin beragamnya serta kompleksnya kebutuhan manusia yang pada akhirnya akan menciptakan produk yang juga beragam serta kompleks. Selain itu, teknologi yang harus menjadi lebih umum, ekonomis, dan dapat diandalkan, akan segera mungkin untuk memproduksi semuanya secara aditif mulai dari kebutuhan sandang, pangan, dan papan. Tempat tinggal menjadi salah satu kebutuhan yang manufaktur aditif tengah alami melalui salah satu teknologinya yaitu mesin 3D *printing*. [1]

Mesin 3D *printing* mempunyai peranan penting dalam perkembangan teknologi pada permesinan di dunia industri terutama teknologi manufaktur aditif. Mesin 3D *printing* pertama kali dikembangkan oleh Charles W. Hull pada tahun 1980-an yang diperuntukan sebagai alat *stereolithography* (SL) untuk pembuatan benda berbahan dasar polimer dasar. Produk yang dihasilkan pada akhirnya menjadi hal yang diterima positif oleh produsen terutama produsen otomotif dan kedirgantaraan. 3D *printer* sendiri dewasa ini telah digunakan untuk kebutuhan bangunan sipil, dimana salah satunya adalah rumah. Pada tahun 2014, Dr. Behrokh Khoshnevis dari Universitas South Carolina berhasil membangun dinding menggunakan metode 3D *printing* pertama. Inovasi inilah yang akhirnya menarik perhatian produsen sipil dan terus dilakukannya perbaikan guna mencapai kualitas yang diinginkan. Istilah 3D *printing* ini akhirnya dikenal dengan istilah 3DCP (3D *Concrete Printing*). Penggunaan teknologi tersebut dinilai mampu melakukan pekerjaan bangunan sipil lebih cepat dibandingkan menggunakan metode konvensional. Namun di Indonesia sendiri penulis belum menemukan adanya penggunaan mesin 3D *printing* ini. [2]

Bahan semen yang digunakan dalam pengolahan *tailing* (limbah industri pertambangan) menjadi material infrastruktur adalah semen geopolimer. Penggunaan semen geopolimer pada 3DCP dikarenakan pengeringan pada semen geopolimer yang cepat sehingga penggunaannya sangat cocok untuk digunakan pada mesin 3DCP. Mesin 3DCP memerlukan material yang pengeringannya cepat karena material yang dicetak akan diproduksi *layer by layer*.

Geopolimer merupakan material polimer anorganik yang tersusun atas atom Si dan Al yang tersusun dalam jaringan 3 dimensi. Material ini memiliki sifat gabungan antara polimer anorganik (plastik) dan keramik. Berikut beberapa alasan penggunaan semen geopolimer pada mesin 3DCP:

1. Material ini dapat disebut *green energy* karena ramah lingkungan. Hal ini disebabkan dalam proses pengolahannya tidak banyak membuang gas karbon dioksida sehingga dapat meminimalisir efek rumah kaca dibandingkan dengan semen Portland. Pengurangan emisi karbon dioksida hingga 90%.
2. Bahan dasarnya material ini menggunakan limbah hasil produksi (*recycle*) yang apabila ditimbun begitu saja akan menyebabkan polusi udara bahkan pencemaran air.
3. Kekuatan tekan lebih tinggi dibandingkan dengan semen portland.
4. *Initial setting time* semen geopolimer lebih cepat dibandingkan dengan semen portland.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan, maka rumusan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana cara membuat mortar geopolimer?
2. Bagaimana kemampuan mortar geopolimer sebagai mortar pembentuk dinding pada mesin 3DCP?
3. Apa komposisi *fly ash*, NaOH, dan Na_2SiO_3 yang digunakan pada mesin mortar geopolimer?
4. Bagaimana kuat tekan yang dihasilkan mortar geopolimer sebagai dinding bangunan?

I.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, maka penulis dapat menuliskan ruang lingkup dan batasan masalah antara lain sebagai berikut :

1. Mortar Geopolimer yang dibuat menggunakan komposisi *fly ash* tipe F dengan pengikat (binder) NaOH dan Na_2SiO_3 serta menggunakan pasir silika sebagai agregat

2. Penelitian ini hanya membahas komposisi, hasil pengujian slump, simulasi pengaplikasian mortar geopolimer, dan hasil uji tekan mortar geopolimer
3. Komposisi mortar geopolimer menggunakan literatur yang terdapat pada Elitha, 2010

I.4 Tujuan Masalah

Tujuan utama yang ingin dicapai dalam penyusunan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui cara pembuatan mortar geopolimer.
2. Mengetahui kemampuan mortar geopolimer sebagai mortar pembentuk dinding pada mesin 3DCP.
3. Mengetahui komposisi *fly ash*, NaOH, dan Na_2SiO_3 yang digunakan pada mortar geopolimer.
4. Mengetahui kuat tekan dari mortar geopolimer dengan komposisi yang telah didapat.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika proposal Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

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

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV BIAYA DAN JADWAL KEGIATAN, berisi rancangan jadwal kegiatan TA dan rincian anggaran biaya untuk penyelesaian TA.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN, berisi kesimpulan dan saran dari tugas akhir secara menyeluruh.