



**TUGAS AKHIR – MO 141326**

**ANALISIS UJI KETAHANAN *COATING* NANOSILIKA  
DAN GEOPOLIMER SEBAGAI KETAHANAN PANAS  
DAN KOROSI PADA BAJA ASTM A36**

**Fendy Arga Discara Bataviandi**

**NRP. 04311440000027**

**Dosen Pembimbing**

**Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D**

**Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D**

**Departemen Teknik Kelautan**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**2018**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – MO 141326**

**ANALYSIS OF RESISTANCE TEST OF  
GEOPOLYMER NANOSILICA COATING AS HEAT  
RESISTANT AND CORROSION RESISTANT OF  
ASTM STEEL A36**

**Fendy Arga Discara Bataviandi**

**NRP. 04311440000027**

**Supervisor**

**Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D**

**Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D**

**Ocean Engineering Department**

**Faculty of Marine Technology**

**Sepuluh Nopember of Institute Technology**

**Surabaya**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS UJI KETAHANAN COATING NANOSILIKA DAN  
GEOPOLIMER SEBAGAI KETAHANAN PANAS DAN KOROSI PADA  
BAJA ASTM A36**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi  
Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Fendy Arga Discara Bataviandi

0431144000027

Disetujui oleh:

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

(Pembimbing 1)

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

(Pembimbing 2)

Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc.

(Penguji 1)

Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T.

(Penguji 2)

Surabaya, Juli 2018

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

**ANALISIS UJI KETAHANAN COATING NANOSILIKA DAN  
GEOPOLIMER SEBAGAI KETAHANAN PANAS DAN KOROSI PADA  
BAJA ASTM A36**

Nama : Fendy Arga Discara Bataviandi  
NRP : 04311440000027  
Departemen : Teknik Kelautan  
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.  
Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

**ABSTRAK**

Kapal merupakan salah satu alat transportasi penting sebagai penghubung komoditas industri antar pulau. Masalah yang banyak terjadi pada kapal adalah korosi dan kebakaran. Korosi terjadi pada logam yang bereaksi dengan udara dan air. Sedangkan kebakaran kapal merupakan salah satu resiko yang dapat terjadi kapan saja dan dimana saja. Untuk mengantisipasi korosi dan kebakaran yang terjadi pada kapal diperlukan bahan yang tahan terhadap korosi, panas dan tahan api. Dalam penelitian ini digunakan nanosilika dan geopolimer sebagai bahan dasar pelapisan (coating). Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui komposisi terbaik, kemampuan *heat resistant* dan laju korosi pada coating nanosilika dan geopolimer. Pembuatan nanosilika menggunakan metode sol-gel karena prosesnya lebih mudah, kemurnian produk sangat tinggi dan berlangsung pada suhu rendah. Geopolimer memiliki sifat keras, tahan terhadap cuaca dan bahan kimia. Pembuatan coating nanosilika dan geopolimer dengan variasi 1%, 2%, dan 3% nanosilika dari berat abu terbang. Dilakukan karakterisasi nanosilika menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Thermogravimetry Analysis* (TGA) dan laju korosi. Dari hasil karakterisasi coating nanosilika dan geopolimer menghasilkan komposisi terbaik yaitu pada 3% nanosilika dengan ketahanan panas mencapai suhu 560°C, penurunan berat sebesar 15,2%, dan laju korosi sebesar 0,2185 mm/year.

***Kata kunci : Coating, Geopolimer, Metode Sol-Gel, Nanosilika***

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**ANALYSIS OF RESISTANCE TEST OF GEOPOLYMER NANOSILICA  
COATING AS HEAT RESISTANT AND CORROSION RESISTANT OF  
ASTM STEEL A36**

Name : Fendy Arga Discara Bataviandi  
NRP : 04311440000027  
Department : Ocean Engineering  
Supervisors : Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.  
Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

**ABSTRACT**

The vessel is an important transportation to connect inter-island industrial commodities. The most common problems that to be found at ship are corrosion and to be caught on fire. Corrosion occurs in metal that get chemical reaction with air and water. While the fire of the ship is one of the risks that can occur anytime and anywhere. In order to anticipate corrosion and fire on ship, needed materials that are resistant to corrosion, heat, and fire. Nanosilica and geopolymer as material coating is used on this study. The purpose of this research is to know the best composition, heat resistant capability, and corrosion rate on nanosilica and geopolymer coating. Nanosilica is made by Sol-gel method that has easier process, very high purity of the product, and it occurs at low temperature. Geopolymer has a solid properties, resistant to weather and chemicals. Nanosilica and geopolymer coating is made from variations of 1%, 2%, and 3% nanosilica of geopolymer weight. The nanosilica is characterized using Scanning Electron Microscopy (SEM), Thermogravimetry Analysis (TGA), and corrosion rate. The result of nanosilica and geopolymer coating characterization shows value of best composition on 3% of nanosilica with heat resistant capability reach 560°C, weight loss of 15,2%, and corrosion rate of 0,2185 mm/year.

***Keyword : Coating, Geopolymer, Method Sol-Gel, Nanosilica***

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta kekuatan hingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Uji Ketahanan Coating Nanosilika Dan Geopolimer Sebagai Ketahanan Panas dan Korosi Pada Baja ASTM A36**”.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas tentang coating nanosilika dan geopolimer sebagai *heat resistant* dengan variasi campuran 1%, 2%, dan 3% nanosilika dari berat geopolimer. Penulis sangat mengharapkan agar karya tulis ini dapat memberikan ilmu pengetahuan dalam lingkup rekayasa material serta dapat dikembangkan kedalam penelitian yang lebih intensif dan ekstensif. Penulis sangat bangga bisa menyelesaikan sebuah karya penelitian coating nanosilika dan geopolimer ini, dan telah dilaporkan dalam bentuk tulisan dalam buku tugas akhir ini. Namun, penulis minta maaf apabila ada kesalahan penulisan maupun pada penelitian di dalam buku tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya saran atau masukan untuk perbaikan/penyusunan dalam pengembangan karya tulis ini di masa mendatang. Akhir kata penulis hanya dapat berharap penelitian ini terus berkembang agar bermanfaat bagi kemajuan dunia kelautan khususnya bidang rekayasa material.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis tidak terlepas dari bantuan serta dorongan moral maupun material dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Sutrisno dan Ibu Kasmiyati sebagai orang tua kandung saya, Febry Dika Pratama Bataviandi sebagai kakak kandung saya dan keluarga besar di kampung halaman, atas bantuan material dan perhatiannya yang selalu bisa menghidupkan semangat saya untuk mengerjakan tugas akhir ini.
3. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing I atas segala bimbingan, motivasi dan fasilitas yang dimudahkan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan waktunya dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Herman Pratikno, S.T., MT.,Ph.D selaku koordinator tugas akhir yang selalu mengerti dan memberikan toleransi ketika mendaftar sidang sehingga dimudahkan dalam prosesnya.
6. Bapak Joko yang telah mengizinkan untuk menggunakan Laboratorium Kimia Material dan Energi untuk melakukan pembuatan coating dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Ibu Dirta Marina C, S.T., M.T., Ibu Wimala Lalitya Dhanistha, S.T., M.T., dan Bapak Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan perbaikan yang membuat penulis lebih giat dan tekun untuk belajar dan memperbaiki penelitian pada tugas akhir ini.
8. Bapak Luki yang telah membantu selama proses berjalannya pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) di Departemen Teknik Mesin ITS.
9. Bapak Sholikin yang telah membantu selama proses berjalannya pengujian Thermo Gravimetry Analysis (TGA) di Teknik Mesin UNS.

10. Bapak Lukman yang telah membantu selama proses berjalannya pengujian Laju Korosi di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.
11. Bapak Khanan yang telah membantu selama proses berjalannya pengujian Foto Mikro di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.
12. Lembaga Beasiswa Bidikmisi yang telah memberikan bantuan finansial hingga saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu.
13. Dewi Kurnia dan teman-teman Racana Putra Putri Sepuluh Nopember Gugusdepan Surabaya 610 Surabaya 611 sebagai wadah mengembangkan minat dan bakat, rumah sekaligus keluarga di tanah rantau.

Surabaya, Juli 2018

Fendy Arga Discara Bataviandi

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
UCAPAN TERIMAKASIH .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
1.7 Hipotesa Awal Penelitian .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	7
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Landasan Teori .....	8
2.2.1 Pasir Silika .....	8
2.2.2 Metode Sol-Gel .....	10
2.2.3 Nanosilika .....	11
2.2.4 Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ) .....	12
2.2.5 Geopolimer .....	14
2.2.6 Larutan Aktivator .....	16
2.2.7 Pelapisan (Coating) .....	17
2.2.8 Baja .....	18
2.2.9 Karakterisasi .....	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	27
3.1 Diagram Alir (Flow Chart) .....	27
3.2 Penjelasan Diagram Alir .....	28

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	37
4.1 Sintesis Nanosilika .....	37
4.2 Karakterisasi Nanosilika .....	39
4.2.1 Preparasi Nanosilika .....	39
4.2.2 Kesimpulan Karakterisasi Nanosilika .....	40
4.3 Pembuatan Larutan Aktivator .....	41
4.4 Pencampuran Coating .....	42
4.5 Karakterisasi TGA .....	45
4.5.1 Preparasi Nanosilika .....	45
4.5.2 Kesimpulan Karakterisasi Nanosilika .....	46
4.6 Karakterisasi Foto Struktur Mikro .....	48
4.6.1 Preparasi Sampel .....	48
4.6.2 Kesimpulan Foto Struktur Mikro Lapisan Sebelum Korosi .....	50
4.6.3 Kesimpulan Foto Struktur Mikro Lapisan Sesudah Korosi .....	52
4.6.4 Kesimpulan Foto Struktur Mikro Permukaan Sebelum Korosi .....	53
4.6.5 Kesimpulan Foto Struktur Mikro Permukaan Sesudah Korosi .....	55
4.7 Karakterisasi Laju Korosi .....	56
4.7.1 Metode Tafel .....	56
4.7.2 Analisis Laju Korosi .....	59
4.7.3 Kesimpulan Laju Korosi .....	61
BAB 5 PENUTUP .....	63
5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran .....	63
DAFTAR PUSTAKA .....	65
BIODATA PENULIS	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pasir Silika .....	8
Gambar 2.2 Struktur Silika Tetrahedral .....	9
Gambar 2.3 Grafik Konsumsi Domestik Batubara .....	12
Gambar 2.4 <i>Fly Ash</i> .....	13
Gambar 2.5 Struktur Jenis-Jenis Polysicate .....	15
Gambar 2.6 Skema Prinsip Kerja SEM .....	21
Gambar 2.7 Skema Pengamatan Struktur Mikro Dengan Mikroskop Optic .....	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Penulisan .....	28
Gambar 3.2 Proses Pembuatan Nanosilika, (a) Penimbangan Pasir Silika, (b) Penggerusan Pasir Silika, (c) Pengadukan dengan Magnetic Stirrer, (d) Hasil Nanosilika .....	30
Gambar 3.3 Larutan Aktivator, (a) Sodium Silikat, (b) Sodium Hidroksida, (c) Aquades, (d) Hasil Larutan Aktivator.....	31
Gambar 3.4 Pencampuran Nanosilika dan Geopolimer, (a) 1% Nanosilika, (b) 2% Nanosilika, (c) 3% Nanosilika .....	32
Gambar 3.5 Hasil Pelapisan, (a) 1% Nanosilika, (b) 2% Nanosilika, (c) 3% Nanosilika .....	33
Gambar 3.6 Pengujian SEM, (a) Preparasi Sampel, (b) Alat SEM .....	34
Gambar 3.7 Pengujian TGA, (a) Preparasi Sampel, (b) Alat TGA .....	34
Gambar 3.8 Pengujian Foto Struktur Mikro, (a) Preparasi Sampel, (b) Alat Foto Struktur Mikro .....	35
Gambar 3.9 Pengujian Laju Korosi, (a) Preparasi Sampel, (b) Alat Laju Korosi	36
Gambar 4.1 Hasil Sintesis Nanosilika, (a) Berat Hasil Nanosilika, (b) Hasil Nanosilika .....	38
Gambar 4.2 Nanosilika Sebelum Di Coating .....	39
Gambar 4.3 Nanosilika Sesudah Di Coating .....	40
Gambar 4.4 Hasil SEM Nanosilika Perbesaran 35.000 X .....	40
Gambar 4.5 Hasil SEM Nanosilika Perbesaran 16.000 X .....	41
Gambar 4.6 Larutan Aktivator .....	42
Gambar 4.7 Campuran Geopolimer Dan 1% Nanosilika .....	42

Gambar 4.8 Campuran Geopolimer Dan 2% Nanosilika .....	42
Gambar 4.9 Campuran Geopolimer Dan 3% Nanosilika .....	43
Gambar 4.10 Hasil Pelapisan Geopolimer Dan Nanosilika Dengan Variasi 1% Nanosilika .....	43
Gambar 4.11 Hasil Pelapisan Geopolimer Dan Nanosilika Dengan Variasi 2% Nanosilika .....	44
Gambar 4.12 Hasil Pelapisan Geopolimer Dan Nanosilika Dengan Variasi 3% Nanosilika .....	44
Gambar 4.13 Serbuk Coating 1% Nanosilika .....	45
Gambar 4.14 Serbuk Coating 2% Nanosilika .....	46
Gambar 4.15 Serbuk Coating 3% Nanosilika .....	46
Gambar 4.16 Grafik TGA Coating 1% Nanosilika .....	47
Gambar 4.17 Grafik TGA Coating 2% Nanosilika .....	47
Gambar 4.18 Grafik TGA Coating 3% Nanosilika .....	48
Gambar 4.19 Hasil Potongan Sampel 1% Nanosilika .....	49
Gambar 4.20 Hasil Potongan Sampel 2% Nanosilika .....	49
Gambar 4.21 Hasil Potongan Sampel 3% Nanosilika .....	50
Gambar 4.22 Foto Mikro Lapisan Sampel 1% Nanosilika Sebelum Korosi .....	50
Gambar 4.23 Foto Mikro Lapisan Sampel 2% Nanosilika Sebelum Korosi .....	51
Gambar 4.24 Foto Mikro Lapisan Sampel 3% Nanosilika Sebelum Korosi .....	51
Gambar 4.25 Foto Mikro Lapisan Sampel 1% Nanosilika Sesudah Korosi .....	52
Gambar 4.26 Foto Mikro Lapisan Sampel 2% Nanosilika Sesudah Korosi .....	52
Gambar 4.27 Foto Mikro Lapisan Sampel 3% Nanosilika Sesudah Korosi .....	53
Gambar 4.28 Foto Mikro Permukaan Sampel 1% Nanosilika Sebelum Korosi .	54
Gambar 4.29 Foto Mikro Permukaan Sampel 2% Nanosilika Sebelum Korosi .	54
Gambar 4.30 Foto Mikro Permukaan Sampel 3% Nanosilika Sebelum Korosi .	54
Gambar 4.31 Foto Mikro Permukaan Sampel 1% Nanosilika Sesudah Korosi ..	55
Gambar 4.32 Foto Mikro Permukaan Sampel 2% Nanosilika Sesudah Korosi ..	55
Gambar 4.33 Foto Mikro Permukaan Sampel 3% Nanosilika Sesudah Korosi ..	56
Gambar 4.34 Foto Sampel 1% Nanosilika Setelah Di Tafel .....	57
Gambar 4.35 Foto Sampel 2% Nanosilika Setelah Di Tafel .....	58
Gambar 4.36 Foto Sampel 3% Nanosilika Setelah Di Tafel .....	58

Gambar 4.37 Kurva Tafel Variasi 1% Nanosilika .....	59
Gambar 4.38 Kurva Tafel Variasi 2% Nanosilika .....	59
Gambar 4.39 Kurva Tafel Variasi 3% Nanosilika .....	60
Gambar 4.40 Grafik Perbedaan Laju Korosi Pada Setiap Variasi .....	61

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Table 2.1 Karakteristik Silika Amorf .....	8
Table 2.2. Sifat Fisik Abu Terbang Batubara .....	13
Table 2.3. Komposisi Kimia Abu Terbang Dari Berbagai Jenis Batuan (dalam % berat) .....	14
Tabel 2.4. Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi .....	24
Tabel 3.1 Bahan Dan Peralatan .....	28
Tabel 4.1 Pengaruh Variasi Nanosilika Terhadap Laju Korosi Dengan Pengukuran Ekstrapolasi Tafel .....	60
Table 4.5 Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi .....	62

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terbentang dari Sabang sampai Merauke dengan dipisahkan oleh lautan luas dan kapal menjadi salah satu alat transportasi penghubung antar pulau (Motik, 2003). Kapal tak hanya berfungsi sebagai alat transportasi bagi manusia tapi juga berperan dalam perjalanan komoditas industri baik bahan pangan, peralatan elektronik, bahan bangunan, serta peternakan dari satu pulau ke pulau lain tak bisa luput dari adanya peran kapal sebagai alat transportasi utama. Disamping itu, dengan adanya program tol laut yang sedang dijalankan oleh pemerintah untuk memudahkan distribusi kebutuhan pokok dari satu pulau ke pulau lain membuat industri kapal semakin pesat. Perkembangan industri kapal harus diimbangi dengan peningkatan kualitas kapal itu sendiri baik dalam pembuatan, perawatan dan perbaikan kapal.

Bahan utama penyusun suatu kapal umumnya ialah logam seperti besi, baja dan aluminium. Melihat kondisi Indonesia dengan cuaca tak menentu dimana cuaca panas dapat langsung berganti hujan dapat mempengaruhi kekuatan dari masing-masing bahan penyusun tersebut. Misalnya kayu pada musim kemarau akan mudah terbakar. Sedangkan pada logam, misalnya besi yang mudah bereaksi dengan lingkungan khususnya oksigen di udara dan air dapat menyebabkan korosi (Djaprie, 1995).

Korosi merupakan kerusakan yang terjadi pada logam karena berinteraksi dengan lingkungan khususnya oksigen pada udara dan air. Korosi terjadi melalui proses elektrokimia yang terjadi secara spontan dengan adanya elektron yang mengalir pada logam yang berfungsi sebagai anode ke bagian lain yang bertindak sebagai katode sehingga menyebabkan reaksi reduksi oksidasi dan menghasilkan suatu senyawa yang tidak dikehendaki. Korosi dapat menurunkan kekuatan fisik, mekanik dan perubahan bentuk permukaan. Korosi biasa terjadi pada peralatan yang menggunakan material dasar logam seperti mobil, jembatan, mesin, pipa, kapal dan lain sebagainya (Rieger, 1992). Kerusakan akibat korosi mengakibatkan kerugian proses produksi. Korosi tidak dapat dihindari namun dapat dicegah dan

dikendalikan untuk mengurangi kerugian dan mencegah dampak negatif yang diakibatkannya dengan dilakukan tindakan khusus dalam pembuatan, perawatan dan perbaikan. Salah satu cara ialah dengan mengganti material anti korosi dan pengecatan (*coating*).

Masalah lain yang banyak terjadi pada kapal ialah kebakaran. kebakaran merupakan salah satu resiko yang disebabkan oleh nyala api baik kecil maupun besar pada tempat, situasi dan waktu yang tidak dapat diprediksi dan merugikan serta biasanya sulit dikendalikan dalam kegiatan pelayaran kapal laut. Untuk mengantisipasi kebakaran yang terjadi pada kapal di perlukan bahan yang tahan panas dan api. Dalam penelitian kali ini menggunakan silika dan geopolimer yang tahan terhadap panas dan api digunakan sebagai bahan dasar pelapisan (*coating*).

Penelitian mengenai terbang material yang tahan terhadap panas, korosi, dan tahan api sudah banyak dilakukan. Salah satu bahan yang dijadikan sebagai objek penelitian adalah pasir silika dan abu (*fly ash*). Ukuran pasir silika sangat mempengaruhi dalam daya tahan panas dan api. Daya tahan panas pasir silika diperoleh dengan cara mengubah ukuran pasir silika mendekati ukuran atomnya yaitu berukuran nanometer. Untuk mengubah ukuran pasir silika menjadi nano diperlukan metode penghalusan. Penghalusan pasir silika menjadi nanosilika menggunakan metode sol-gel. Metode sol-gel merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk pembuatan nanopartikel salah satunya menggunakan ammonia sebagai larutannya. Nanosilika membutuhkan material campuran agar dapat merekat kuat sebagai pelapis. Material campuran tersebut dapat menggunakan geopolimer.

Geopolimer adalah material baru yang tahan terhadap panas dan api. Pembuatan geopolimer menggunakan bahan dasar abu terbang (*fly ash*) yang digunakan karena material tersebut memiliki sifat perekat yang kuat. Pemakaian *fly ash* juga memiliki keuntungan lain terhadap lingkungan, sebagai contoh adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang menggunakan batu bara. *Fly ash* adalah material yang sangat halus seperti debu yang berasal dari sisa peleburan besi baja dan batu bara. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 18 tahun 1999 dan Peraturan Pemerintah Nomor 85 tahun 1999, *fly ash* diklasifikasikan sebagai limbah B-3 (bahan berbahaya dan beracun). Sehingga pemanfaatan abu terbang



(*fly ash*) adalah upaya untuk mengurangi volume, konsentrasi, dan tingkat bahaya limbah yang keluar lingkungan. Pemanfaatan tersebut dilakukan dengan cara-cara penggunaan kembali (*reuse*), daur ulang (*recycle*), serta *recovery*.

Hasil dari geopolimer bersifat keras, tahan terhadap cuaca, serangan bahan kimia dan suhu tinggi. Fungsi geopolimer bergantung pada komposisi material campurannya. Pelapisan campuran nanosilika geopolimer sebagai *heat resistant* digunakan untuk melapisi baja karbon pada super struktur dan geladak atas kapal maupun bangunan atas lepas pantai dan atau bagian yang terkena sinar matahari secara langsung.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka permasalahan yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana komposisi terbaik dari *coating* nanosilika geopolimer?
2. Seberapa besar kemampuan *heat resistant* dari *coating* nanosilika geopolimer?
3. Seberapa besar laju korosi yang terjadi pada *coating* nanosilika geopolimer?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah:

1. Untuk mendapatkan komposisi terbaik dari *coating* nanosilika geopolimer
2. Untuk mendapatkan kemampuan *heat resistant* terbesar dari *coating* nanosilika geopolimer
3. Untuk mendapatkan kecepatan laju korosi yang terjadi pada *coating* nanosilika geopolimer

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian tentang *coating* nanosilika geopolimer ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menjadi material *heat resistant* sehingga dapat menjaga suhu ruangan
2. Memperpanjang masa pakai baja ASTM A36 sebagai atap geladak sehingga menguntungkan secara ekonomi

3. Memberikan nilai tambah terhadap produk limbah seperti abu terbang (*fly ash*)

### **1.5 Batasan Masalah**

Untuk membatasi ruang lingkup penelitian ini, maka diperlukan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Material baja yang digunakan adalah baja ASTM A36
2. Abu terbang yang digunakan adalah abu terbang ASTM kelas F
3. Larutan aktivator yang digunakan adalah sodium hidroksida (NaOH), sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) dan aquades
4. Pasir silika yang digunakan adalah pasir silika dari Tuban
5. Pembuatan nanosilika menggunakan metode Sol-Gel
6. Variasi nanosilika yang digunakan adalah 1%, 2% dan 3%
7. Heating reat yang digunakan saat pengujian TGA adalah  $5^\circ\text{C}/\text{menit}$
8. Aplikasi coating menggunakan kuas

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan dalam tugas akhir ini adalah:

#### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Pada bagian ini penulis menjelaskan mengenai latar belakang permasalahan dari penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam percobaan, manfaat penelitian kedepannya setelah percobaan ini berhasil dilakukan, batasan masalah yang menjadi pembatas dalam melakukan penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.

#### **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

Pada bagian ini penulis menjelaskan beberapa teori dasar yang mendukung mengenai percobaan *Coating* Nanosilika dan Geopolimer pada tugas akhir ini.

#### **BAB 3. METODOLOGI PENULISAN**

Pada bagian ini penulis menggambarkan dan menjelaskan diagram alir (*flow chart*) langkah-langkah dalam melakukan penelitian tugas akhir ini yang tersusun secara sistematis.

## BAB 4. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini penulis menjelaskan hasil pengujian SEM (Scanning Electron Microscopy), TGA (Thermo Gravimetri Analysis), Foto Struktur Mikro, dan Laju Korosi

## BAB 5. PENUTUP

Pada bagian ini penulis menarik kesimpulan berdasarkan tujuan yang hendak dicapai pada tugas akhir ini, serta memberikan saran pengembangan untuk penelitian selanjutnya.

### **1.7 Hipotesa Awal Penelitian**

Penambahan nanosilika pada geopolimer menambah kemampuan geopolimer dalam menahan panas dan korosi. Komposisi terbaik terdapat pada penambahan variasi nanosilika 1% memiliki ketahanan panas yang lebih baik hingga 700°C dibandingkan variasi 2% dan 3%. Ketahanan korosi terbaik didapatkan pada variasi 3% nanosilika dengan nilai laju korosi 0,385 mm/year.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Bahan bangunan memiliki usia pakai yang menjadi sumber utama terjadinya kerusakan pada bangunan tersebut. Kerusakan bahan tersebut tidak dapat dihindari, namun dapat dihambat dan dikendalikan untuk mengurangi kerugian dan mencegah dampak negatif yang diakibatkannya. Salah satu cara menghambat kerusakan tersebut dengan menggunakan material yang dapat dijadikan sebagai pelindung bahan. Penelitian mengenai material yang tahan terhadap panas, korosi, dan tahan api sudah banyak dilakukan. Salah satu bahan yang dijadikan sebagai objek penelitian adalah pasir silika dan abu terbang (*fly ash*). Ukuran pasir silika sangat mempengaruhi daya tahan panas dan api. Sedangkan abu terbang (*fly ash*) digunakan karena material tersebut memiliki sifat perekat yang kuat.

Penelitian mengenai *coating* nanosilika dan geopolimer sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu diantaranya sebagai berikut:

Fatemeh Fallah, Manouchehr Khorasani dan Moeteza Ebrahimi (2017) melakukan penelitian berjudul “*Improving the mechanical properties of waterborne nitrocellulose coating using nano-silic particle*” dalam penelitian ini mereka menguji ketahanan thermal pada film yang terbuat dari nanosilika. Sampel dibuat dengan memotong film menjadi strip dengan panjang 1,5-2 cm dan lebar 7,5-8 cm. sampel diuji dengan dipanaskan dari 20° sampai 100° C dengan laju pemanasan 5°C/menit.

Masita Husen, Nur Akifah, Sitti Hajar, Subaer Junaedi (2015) melakukan penelitian yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Nanosilika Geopolimer Pelapis Kayu Tahan Panas dan Api”. Dalam penelitian ini geopolimer digunakan sebagai pelapis utama dan kemudian dilapisi lagi dengan nanosilika menggunakan metode *spray coating*. Kemudian diuji ketahanan panasnya dengan suhu sampai 250°C. Kelemahan dari penelitian ini adalah dalam proses pelapisan menggunakan *spray coating* yang tidak merata dan pengujian yang menggunakan oven sebagai alat pemanasnya. Sehingga tidak diketahui secara pasti sampai berapa derajat *coating* tersebut dapat menahan panas.

## 2.2.Landasan Teori

### 2.2.1. Pasir Silika

Pasir silika adalah material kuarsa yang terdiri dari kristal-kristal silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan senyawa pengotor yang tercampur selama proses pengendapan. Pasir silika atau pasir putih banyak ditemukan dalam bahan tambang atau galian yang berupa mineral seperti pasir kuarsa, granit, dan feldspar yang mengandung kristal-kristal silika ( $\text{SiO}_2$ ) (Bragmann and Goncalves, 2006). Komposisi gabungan pasir silika terdiri dari  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , dan  $\text{K}_2\text{O}$ , berwarna putih atau warna lain bergantung pada senyawa pengotornya.



**Gambar 2.1** Pasir Silika

Berdasarkan kestabilannya, silika memiliki tiga bentuk polimorf yaitu kuarsa, tridimit, dan kristobalit. Bentuk struktur kuarsa diperoleh dari pemanasan pasir silika pada suhu  $30^\circ\text{C}$  sampai  $870^\circ\text{C}$ . Struktur tridimit diperoleh dari pemanasan pasir silika pada suhu  $870^\circ\text{C}$  sampai  $1470^\circ\text{C}$ . Sedangkan struktur kristobalit diperoleh dari pemanasan pasir silika pada suhu  $1470^\circ\text{C}$  sampai titik leburnya  $1730^\circ\text{C}$ . Karakteristik silika amorf diperlihatkan dalam Tabel 3.1

**Tabel 2.1** Karakteristik Silika Amorf (Surdia *et al*, 2000)

Nama lain	Silicon Dioksida
Rumus molekul	$\text{SiO}_2$
Berat jenis ( $\text{g/cm}^3$ )	2,6
Bentuk	Padat
Daya larut dalam air	Tidak larut
Titik cair ( $^\circ\text{C}$ )	1610
Titik didih ( $^\circ\text{C}$ )	2230
Kekerasan ( $\text{kg/mm}^2$ )	650

Kekuatan tekuk (Mpa)	70
Kekuatan tarik (Mpa)	110
Modulus elastisitas (Gpa)	73 – 75
Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	$>10^{14}$
Koordinasi geometri	Tetrahedral
Struktur Kristal	Kristobalit, Tridimit, Kuarsa



**Gambar 2.2** Struktur Silika Tetrahedral (Surdia *et al*, 2000)

Scott (1993) menyatakan, karena berpori silika bersifat amorf, mempunyai daya serap tinggi, serta sebagian berada dalam bentuk terhidrat. Silika amorf memiliki densitas yang rendah, luas permukaan yang besar dan porositas yang tinggi. Silika memiliki gugus aktif pada permukaannya yaitu gugus silanol (Si-OH) dan gugus siloksan (Si-O-Si) (Fernandez, *et al.*, 2012). Pasir silika memiliki kandungan senyawa  $\text{SiO}_2$  yang sangat tinggi yaitu lebih dari 90% dengan kandungan senyawa lainnya yang rendah. Pasir silika memiliki sifat yang sangat menguntungkan seperti mampu menahan beban tertentu dalam temperature tinggi, perubahan volume yang kecil saat dipanaskan, dan tahan terhadap perubahan temperature secara tiba-tiba.

Pasir silika biasanya dimanfaatkan untuk berbagai keperluan dalam berbagai ukuran tergantung aplikasi yang dibutuhkan seperti dalam industri ban, karet, gelas, semen, beton, keramik, tekstil, elektronik, cat, film, dan lain-lain. Saat ini dengan perkembangan teknologi mulai banyak aplikasi yang menggunakan pasir silika pada industri terutama dalam ukuran partikel yang kecil sampai ukuran mikron atau bahkan nanosilika. Kondisi ukuran partikel bahan

baku yang diperkecil membuat produk memiliki sifat yang berbeda yang dapat meningkatkan kualitas (Siswanto, *et al.*, 2012).

Sintesis silika memerlukan metode khusus agar sampai pada ukuran nano dengan beberapa metode seperti metode *sol-gel process*, metode *gas phase process*, metode emulsifikasi techniques dan metode kopresipitasi serta metode plasma *spraying & fogging*. Metode sol-gel merupakan metode untuk mengubah material menjadi ukuran nano. Pada metode sol-gel, larutan mengalami perubahan fase menjadi sol atau koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutan dan gel yaitu koloid yang memiliki fraksi solid lebih besar daripada sol. (Phumying *et al.*, 200)

Pasir silika memiliki banyak kegunaan salah satunya dibidang industri. Dalam bidang industri pasir silika digunakan dalam pembuatan kaca, pengecoran logam, metalurgi, Industri kimia, konstruksi, cat dan coating dan masih banyak kegunaan lainnya.

### **2.2.2. Metode Sol-Gel**

Metode yang sering digunakan pada sintesis nanomaterial berlapis dan berpori adalah metode sol-gel, interkalasi dan inklusi. Metode sol-gel adalah metode preparasi padatan dengan teknik temperature rendah yang melibatkan transisi dari suatu sistem dengan partikel-partikel mikroskopik yang terdispersi dalam suatu cairan (sol) menjadi material mikroskopik (gel) yang mengandung cairan. Pada saat dipanaskan pada suhu tertentu cairan menguap sehingga yang tertinggal adalah material keras. Sol-gel merupakan material amorf dan tidak memiliki dimensi pori yang seragam. Sintesis sol-gel umumnya melalui tahap-tahap hidrolisis dan kondensasi (Wijaya, 2010).

Proses sol-gel mempunyai dua metode yang dikenal dengan metode alkoksida dan metode koloid. Metode alkoksida yaitu proses sol-gel dengan menggunakan logam alkoksida sebagai prekursor. Sedangkan metode koloid yaitu proses sol-gel dengan menggunakan selain alkoksida sebagai prekursor seperti nitrat, karboksilat, asetil asetonat, dan klorida (Pandiangan, *et al.*, 2013)

Teknik sol-gel banyak dimanfaatkan untuk proses sintesis material, terutama untuk memperlihatkan kemampuan, versitilitas, kemurnian,



komogenitas, dan modifikasi sifat material dengan mengubah parameter sintesisnya (Zawrah *et al*, 2009). Penelitian tentang sol-gel yang telah ada menunjukkan bahwa proses sol-gel tidak hanya menghasilkan material yang homogen, tetapi sol-gel juga dapat digunakan untuk sintesis berbagai material campuran antara organik dan anorganik.

Metode sol gel ialah metode yang paling banyak dilakukan karena beberapa keunggulan, antara lain: berlangsung pada suhu rendah, prosesnya lebih mudah, dapat diaplikasikan dalam segala kondisi, menghasilkan produk dengan kemurnian yang tinggi.

### **2.2.3. Nanosilika**

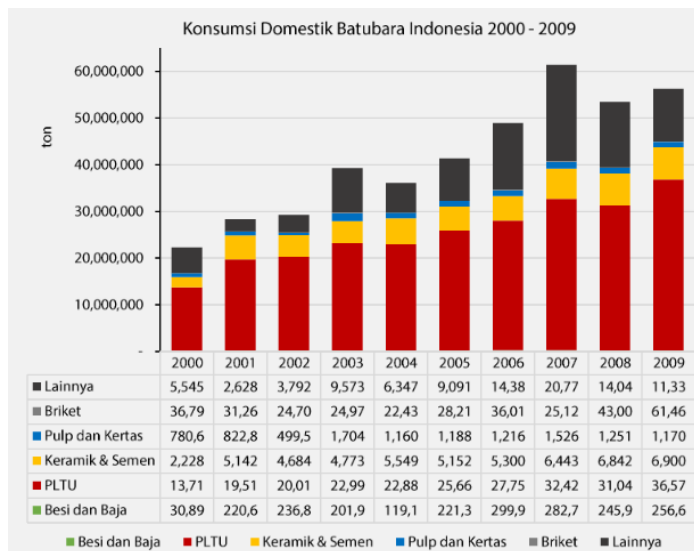
Nanosilika merupakan silika yang dibuat dalam skala nano ( $10^{-9}$ m) yang saat ini penggunaannya pada bidang industri semakin meningkat. Kondisi ukuran partikel bahan baku yang diperkecil membuat produk memiliki sifat berbeda yang dapat meningkatkan kualitas. Pemanfaatan silika yang paling banyak digunakan adalah sebagai bahan utama industri gelas dan kaca serta bahan baku pembuatan sel surya. Nanosilika digunakan sebagai filter dalam pembuatan ban kendaraan untuk meningkatkan kinerja ban pada kondisi basah dan menambah keawetan ban serta mengurangi dampak gesekan antara permukaan ban dengan jalan (Siswanto *et al*, 2012).

Sintesis nanosilika dapat dilakukan dengan 2 metode pendekatan utama, yaitu: top-down dan bottom-up. Top-down ditandai dengan mengurangi dimensi dari ukuran aslinya dengan memanfaatkan teknik reduksi (pendekatan fisik). Bottom-up atau pendekatan kimia melibatkan mekanisme umum yang digunakan untuk memproduksi nanopartikel silika dari skala atom atau molekul. Beberapa metode yang banyak digunakan untuk mensintesis nanopartikel silika diantaranya sol-gel, mikroemulsi terbalik dan sintesis api. Sol-gel secara luas digunakan untuk memproduksi silika murni karena kemampuannya untuk mengontrol ukuran partikel, distribusi ukuran dan morfologi melalui pemantauan sistematis parameter reaksi (Rahman & Padavettan, 2012). Sintesis nanopartikel silika menjadi penelitian yang sangat menarik perhatian karena potensinya dalam berbagai aplikasi di industri dan farmasi.

Nanopartikel silika digunakan dalam proses pembuatan substrat elektronik, substrat lapisan tipis, insulator listrik, dan insulator termal. Nanosilika juga dapat digunakan sebagai suatu material support yang ideal untuk nanopartikel magnetik karena sangat mudah mengalami fungsionalisasi, mencegah tarikan magnetik polar anisotropik ketika diberikan medan magnet luar, dan meningkatkan daya tahan terhadap korosi dari nanopartikel magnetik.

#### 2.2.4. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang batubara merupakan salah satu komponen limbah terbesar dari sisa pembakaran industri-industri energi yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. Pada proses pembakaran batubara, abu terbang memasuki suatu cerobong asap dan terkumpul pada alat pengontrol emisi. Pembakaran batubara menghasilkan dua jenis limbah yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (Bottom ash). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut *fly ash*, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut bottom ash. Di Indonesia, produksi limbah abu terbang dan abu dasar dari tahun ke tahun meningkat sebanding dengan konsumsi penggunaan batubara sebagai bahan bakar industri energy (Harijono D, 2006).



**Gambar 2.3** Grafik Konsumsi Domestik Batubara (Bappenas, 2015)

Abu terbang batubara umumnya ditumpuk begitu saja didalam area industri. Penumpukan abu terbang batubara ini menimbulkan masalah bagi lingkungan dan kesehatan karena *fly ash* dan *bottom ash* ini terdapat dalam jumlah

yang cukup besar, sehingga memerlukan pengelolaan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan, seperti pencemaran udara, perairan, dan penurunan kualitas ekosistem.



**Gambar 2.4** *Fly Ash* (Wardani, 2008)

Sifat fisik dari abu terbang adalah ukuran partikelnya dari 1  $\mu\text{m}$  - 100  $\mu\text{m}$ . specific gravity dari 2,2 , -2,8 dari presentasi kehalusan tertahan ayakan 0,074 mm dan 0,045 mm (ACI, 1992). Sifat fisik abu layang batubara atau *fly ash* berdasarkan bentuk, warna, ukuran, tampilan, kerapatan, dan luas area spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Sifat Fisik Abu Terbang Batubara (ACI, 1992)

Bentuk	Berbentuk bola padat atau berongga
Warna	Berwarna keabu-abuan
Ukuran	1-100 $\mu\text{m}$
Tampilan	Sangat halus
Kerapatan	2100 sampai 3000 $\text{kg}/\text{m}^3$
Luas area spesifikasi	170 sampai 1000 $\text{m}^2/\text{kg}$

Sifat kimia dari abu terbang dipengaruhi oleh teknik pembakaran batubara, penanganan dan penyimpanannya. Berdasarkan perbedaan kandungan kalsium oksida (CaO), maka abu terbang dibedakan menjadi 2 kelas (Sukandarrumidi, 2009), yaitu :

1. Kelas C

Menurut ASTM C 618, abu terbang ini mengandung CaO lebih dari 10% dari beratnya. Senyawa lain yang terkandung didalamnya adalah  $\text{SiO}_2$  sebanyak 30-50%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebanyak 17-20%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$  dan sedikit  $\text{K}_2\text{O}$ .

Memiliki specific gravity sebesar 2,31-2,86. Abu terbang kelas C biasanya didapatkan dari pembakaran lignite atau sub-bituminous batubara.

## 2. Kelas F

Menurut ASTM C 618, abu terbang ini mengandung CaO kurang dari 10% dari beratnya. Senyawa lain yang terkandung didalamnya adalah SiO<sub>2</sub> sebanyak 45-60%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebanyak 20-28%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, K<sub>2</sub>O dan sedikit Na<sub>2</sub>O. Abu terbang kelas F didapat dari pembakaran anthracite atau bituminous batubara.

Disamping itu abu terbang kelas C mempunyai kandungan alkali dan sulfat yang lebih tinggi dibandingkan abu terbang kelas F. Tabel 2.3 menunjukkan komposisi kimia abu terbang dari berbagai jenis batubara.

**Tabel 2.3** Komposisi Kimia Abu Terbang Dari Berbagai Jenis Batuan  
(dalam % berat) (Sukandarrumiddi, 2009)

Komponen	Bituminus	Sub-bituminus	Lignit
SiO <sub>2</sub>	20-60	40-60	15-45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-35	20-30	10-25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO <sub>3</sub>	0-4	0-2	0-10
Na <sub>2</sub> O	0-4	0-2	0-10
K <sub>2</sub> O	0-3	0-4	0-4

### 2.2.5. Geopolimer

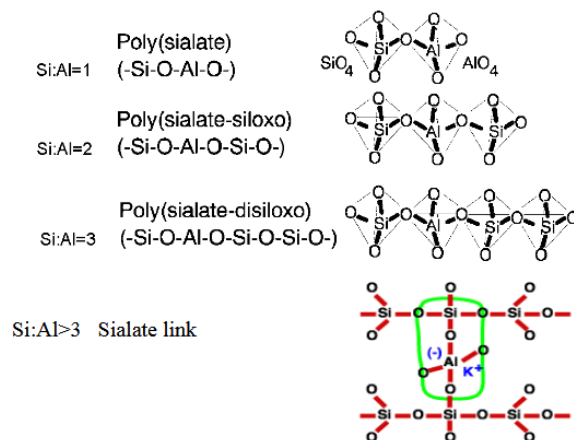
Geopolimer adalah material baru tahan api dan panas. Sifat dan penggunaan geopolimer banyak dieksplorasi dalam studi ilmiah dan industri berbagai disiplin ilmu seperti kimia modern anorganik, kimia fisik, koloid kimia, mineralogi, geologi, dan jenis lain dari teknologi proses rekayasa. Geopolimer merupakan bagian dari ilmu polimer, kimia dan teknologi yang membentuk salah satu bidang utama ilmu material. Polimer organik terdiri dari polimer alam (karet, selulosa), polimer organik sintetis (serat tekstil, plastik, film, elastomer, dll) dan biopolimer alam (biologi, kedokteran, farmasi). Bahan baku yang digunakan dalam sintesis polimer berbasis silikon terutama mineral batuan geologi.

Geopolimer diperkenalkan pertama kali oleh Joseph Davidovits pada tahun 1979, namun penelitian awal mengenai material ini telah dilakukan di Ukraina pada tahun 1950-an oleh Glukhovskiy (Duxson, 2008). Sejak geopolimer mulai dikenal dunia, material ini telah menarik banyak minat ilmiah para peneliti. Hal ini selain karena keunggulan sifat yang dimiliki oleh material ini, disebabkan juga karena terdapat banyaknya variasi aluminosilikat padat sebagai material dasar yang dapat digunakan untuk sintesis geopolimer. Bahan dasar aluminosilikat padat ini dapat diperoleh dari mineral seperti kaolin, feldspar, bentonit, perlit, dan lain-lain. Selain dari mineral, bahan dasar aluminosilikat padat dapat juga diperoleh dari hasil sampingan industri seperti abu terbang (sisa pembakaran batubara), alumina red mud, tailings dari eksplotasi bentonit dan perlit, slag, dan lain-lain.

Geopolimer dihasilkan melalui material aluminosilikat, terdiri atas silicon dan aluminum (polysialate) yang mudah dan akan terlarut dalam larutan alkali aktivator. Polysialate adalah rantai dan cincin polimer dari  $\text{Si}^{4+}$  dan  $\text{Al}^{3+}$  dengan 4-fold coordination with oxygen yang memiliki struktur mulai dari amorf hingga semi-kristalin. Sialat sendiri merupakan singkatan dari silicon-okso-aluminat dengan rumus sebagai berikut:



- Dimana: M = elemen alkali kationovalen seperti kalium atau natrium  
n = derajat polikondensasi atau polimerisasi  
z = bilangan 1, 2, 3, ..... 32  
- = symbol ikatan



**Gambar 2.5** Struktur Jenis-Jenis Pollysicate (Davidovits, 2002)

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya melaporkan bahwa geopolimer memiliki kekuatan awal yang tinggi, penyusutan yang rendah, ketahanan terhadap korosi, asam dan api. Geopolimer dapat diaplikasikan pada berbagai lapangan industri seperti automobile, metalurgi, teknik sipil, dan industri plastik. Tipe aplikasi dari geopolimer ditentukan oleh rasio atom Si:Al. Rasio Si:Al yang rendah akan menghasilkan jaringan 3D yang sangat kaku. Sementara rasio Si:Al yang tinggi akan menghasilkan karakter polimer.

#### **2.2.6. Larutan Alkali Aktivator**

Larutan aktivator merupakan larutan yang dapat menyebabkan zat atau unsur lain bereaksi. Larutan aktivator sendiri merupakan elemen penting yang harus diperhatikan dalam pembuatan pasta geopolimer. Rasio komposisi antara bahan dasar geopolimer dengan larutan alkali aktivator berperan dalam menentukan kekuatan dari pasta geopolimer. Aktivator yang digunakan adalah unsur alkali yaitu sodium hidroksida (NaOH) dan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ). Sodium hidroksida berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam *fly ash* sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Sedangkan sodium silikat berfungsi untuk mempercepat reaksi polimerisasi.

Berdasarkan penelitian A. Palomo (1999), larutan alkali aktivator yang menghasilkan kekuatan optimum adalah campuran antara sodium hidroksida (NaOH) dengan sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ).

##### **a. Sodium Hidroksida**

Sodium hidroksida (NaOH) berfungsi untuk mereaksikan unsur-unsur Al dan Si yang terkandung dalam abu terbang (*fly ash*) sehingga dapat menghasilkan ikatan polimer yang kuat. Umumnya sodium hidroksida yang tersedia berupa serpihan dengan kadar 98%. Sebagai aktivator, sodium hidroksida harus dilarutkan dengan air dan didiamkan setidaknya selama satu malam sebelum digunakan.

##### **b. Sodium Silikat**

Sodium silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) merupakan salah satu bahan tertua dan paling aman yang sering digunakan dalam industri kimia. Karena proses produksinya lebih sederhana maka sejak 1818, sodium silikat berkembang

dengan cepat. Sodium silikat terdapat dalam 2 bentuk, yaitu padatan dan larutan. Sodium silikat pada mulanya digunakan sebagai campuran dalam pembuatan sabun. Tetapi dalam perkembangannya, sodium silikat dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, antara lain untuk bahan campuran semen, pengikat keramik, *coating*, campuran cat serta dalam beberapa keperluan industri, seperti kertas, tekstil dan serat.

### **2.2.7. Pelapisan (*Coating*)**

Proses pelapisan material merupakan salah satu proses yang sangat dibutuhkan dalam dunia industri. Pelapisan (*coating*) adalah proses untuk melapisi permukaan suatu bahan dasar (*substrate*). Tujuan dari *coating* sendiri adalah untuk memberikan perlindungan pada material yang dilapisinya. Perlindungan tersebut memiliki kemampuan untuk menahan panas, korosi, asam, dan tahan terhadap goresan atau keausan. Dengan tujuan tersebut, proses *coating* pun dapat menambah daya tahan terhadap peralatan pada dunia industri dan dapat membantu proses industri agar dapat bekerja dengan baik. Penerapan *coating* dapat diaplikasikan dengan 2 cara yaitu dengan metode *rolling coating* dan metode *spray coating*. Metode *rolling coating* adalah metode pengecatan dengan menggunakan roll atau alat pengecatan pada umumnya untuk melapisi material dasarnya. Sedangkan untuk metode *spray coating* adalah metode pengecatan dengan menggunakan media penyemprotan sebagai alatnya.

*Coating* memiliki 3 macam yaitu pelapisan dekoratif, pelapisan protektif dan pelapisan untuk sifat khusus permukaan. Pelapisan dekoratif bertujuan untuk menambah keindahan tampak luar suatu benda atau produk. Sekarang ini pelapisan dengan bahan krom sedang digemari karena warnanya yang cemerlang, tidak mudah terkorosi dan tahan lama. . Logam-logam yang umum digunakan untuk pelapisan dekoratif adalah emas, perak, nikel dan krom. Pelapisan Protektif, adalah pelapisan yang bertujuan untuk melindungi logam yang dilapisi dari serangan korosi karena logam pelapis tersebut akan memutus interaksi dengan lingkungan sehingga terhindar dari proses oksidasi. Pelapisan ini bertujuan untuk mendapatkan sifat khusus permukaan seperti sifat keras, sifat tahan aus dan sifat tahan suhu tinggi atau gabungan dari beberapa tujuan diatas secara bersama-sama.

Misalnya dengan melapisi bantalan dengan logam nikel agar bantalan lebih keras dan tidak mudah aus akibat gesekan pada saat berputar.

### 2.2.8. Baja

Baja adalah salah satu logam ferro yang banyak digunakan dalam dunia teknik dan industri. Baja terdiri dari kandungan besi dan karbon, dimana kandungan besi (Fe) pada baja sekitar 97% dan karbon (C) sekitar 0,2% hingga 2,1% berat sesuai *gradenya*. Kandungan karbon pada baja umumnya tidak lebih dari 1 % karbon (C). Disamping unsur besi (Fe) dan karbon (C), baja juga mengandung unsur campuran lain seperti mangan (Mn) dengan kadar maksimal 1,65%, silikon (Si) dengan kadar maksimal 0,6%, tembaga (Cu) dengan kadar maksimal 0,6%, sulfur (S), fosfor (P) dan lainnya dengan jumlah yang dibatasi dan berbeda-beda (Wulandari, 2011).

Untuk mempelajari baja pada ilmu logam akan lebih mudah bila baja diklasifikasikan menurut komposisi kimianya, struktur, jumlah komponen dan keperluannya. Menurut komposisi kimianya, baja dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu: Baja karbon dan baja paduan.

#### a. Baja karbon

Baja karbon terdiri dari besi dan karbon. Baja karbon merupakan baja yang mengandung karbon antara 0,3% sampai 1,7%. Pada umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya. Baja karbon disebut juga baja mesin karena mengandung sejumlah elemen atau unsur seperti mangan, fosfor, silikon dan lain sebagainya (Zainuri, 2007). Berdasarkan kandungan karbon, baja dibagi ke dalam tiga macam yaitu:

- Baja karbon rendah (*low carbon steel*)

Baja karbon rendah merupakan baja yang mengandung karbon kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah mudah *dimachining* dan dilas, serta memiliki keuletan dan ketangguhan sangat tinggi tetapi kekerasannya rendah dan tahan aus. Baja karbon rendah sering digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kaleng, pagar dan lain-lain.



- Baja karbon sedang (*medium carbon steel*)

Baja karbon sedang merupakan baja yang mengandung karbon 0,3 %-0,6% karbon. Baja karbon sedang memiliki kekerasan lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Kekuatan tarik dan batas regang yang tinggi, tidak mudah dibentuk oleh mesin. Baja karbon sedang banyak digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut dan lain-lain.

- Baja karbon tinggi (*high carbon steel*)

Baja karbon tinggi merupakan baja yang mengandung 0,6%-1,7% C. Baja karbon tinggi memiliki kekerasan tinggi, tetapi keuletannya lebih rendah. Baja karbon tinggi mempunyai kuat tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas dan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji, atau pahat potong dan lainnya (*ASM handbook* , 1993).

b. Baja paduan

Baja paduan merupakan suatu baja karbon yang telah ditambahkan satu atau lebih unsur-unsur tambahan ke dalamnya untuk menghasilkan sifat-sifat yang dikehendaki, yang tidak dimiliki oleh baja karbon. Logam paduan yang umumnya digunakan adalah nikel, mangan dan *chrom*. Berdasarkan kadar paduannya, baja paduan dibagi menjadi tiga macam yaitu:

- Baja paduan rendah (*low alloy steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah. Biasanya baja jenis ini memiliki paduan kurang dari 10%. Baja ini biasanya digunakan untuk perkakas seperti pahat kayu, poros, dan gergaji.

- Baja paduan menengah (*medium alloy steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja dengan paduan elemen 2,5 %-10 %. Adapun unsur-unsur yang terdapat pada baja tersebut misalnya seperti unsure Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.

- *Baja paduan tinggi (high alloy steel)*

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan lebih dari 10% wt. Adapun unsur-unsur yang terdapat pada baja tersebut misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P (Mulyanti, 1996).

### **2.2.9. Karakterisasi**

Karakterisasi merupakan uji analisis yang dilakukan terhadap suatu bahan sampel baik dengan tujuan untuk mengetahui senyawa pembentuk bahan maupun untuk mengetahui sifat fisis bahan yang dihasilkan. Pada pembuatan coating nanosilika dan geopolimer, pengamatan mikrostruktur dianalisis menggunakan (SEM) Scanning Electron Microscopy, analisis termalnya dianalisis menggunakan (TGA) Thermogravimetry Analysis, foto lapisan dianalisis menggunakan Foto struktur mikro, dan laju korosi dianalisis menggunakan Elektrokimia.

#### *1. Scanning Electron Microscopy (SEM)*

##### 1.1 Pengertian SEM

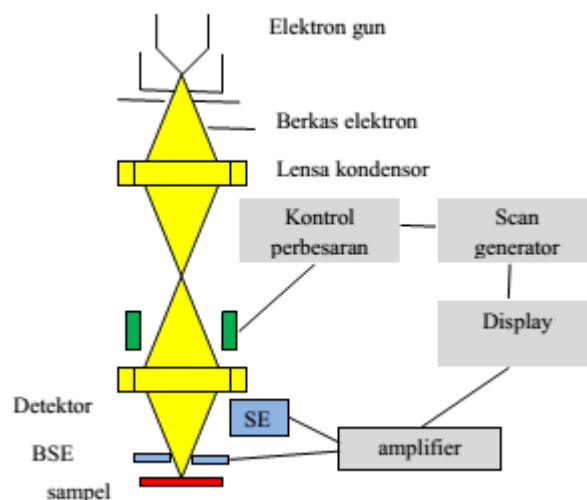
SEM adalah suatu tipe mikroskop yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses scan dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari electron dalam suatu pola scan raster. Electron berinteraksi dengan atom-atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang memberi informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas listrik.

Tipe sinyal yang dihasilkan oleh SEM dapat meliputi electron sekunder, sinar-X karakteristik dan cahaya. SEM dapat menghasilkan gambar dengan resolusi yang sangat tinggi dari suatu permukaan sampel, menampakkan secara lengkap dengan ukuran sekitar 1-5 nm. Agar menghasilkan gambar yang diinginkan, maka SEM mempunyai sebuah focus yang sangat besar (biasanya 25-250.000 kali pembesaran). SEM dapat menghasilkan karakteristik bentuk 3-dimensi yang berguna untuk memahami struktur permukaan dari suatu sampel. Karakteristik sinar-X merupakan bentuk gambar kedua yang paling sering dalam SEM.

## 1.2 Prinsip Kerja SEM

SEM mempunyai keunggulan dalam proses pengoprasian yaitu pengoprasian berawal dari kemudahan dalam penyiapan sampel sehingga dapat menghasilkan beragam sinyal karena adanya interaksi antara berkas elektron dengan sampel, dimana dari proses tersebut menghasilkan beragam tampilan data dari permukaan lapisan. Informasi yang akan diberikan dari hasil SEM ini yaitu berupa topologi, morfologi, komposisi, dan informasi mengenai kekristalan suatu bahan (Goldstein *et al.*, 1981).

Elektron yang dihasilkan oleh SEM ini berasal dari *electron gun*, yang bersifat monokromatik, dimana pancaran dari elektron tersebut diteruskan ke anoda. Pada proses ini elektron mengalami penyerahan menuju titik fokus. Anoda berfungsi membatasi pancaran elektron yang memiliki sudut hambur yang terlalu besar. Berkas elektron yang telah melewati anoda diteruskan menuju lensa magnetik, *scanning coils*, dan akhirnya menembak sampel (Sampson, 1996). Gambar 2.6 dibawah ini menunjukkan prinsip kerja SEM yaitu sumber elektron yang berasal dari filamen katoda ditembakkan menuju sampel. Berkas elektron tersebut kemudian difokuskan oleh lensa magnetik sebelum sampai pada permukaan sampel. Lensa magnetik memiliki lensa kondenser yang berfungsi memfokuskan sinar elektron. Berkas elektron kemudian menghasilkan *backscattered Electron* (BSE) dan *Secondary Electron* (SE) menuju sampel, dimana SE akan terhubung dengan *amplifier* yang kemudian dihasilkan gambar pada monitor (Reed, 1993).



**Gambar 2.6** Skema Prinsip Kerja SEM (Sampson, 1996)

### 1.3 Aplikasi SEM

SEM digunakan untuk menghasilkan gambar dengan resolusi yang tinggi sehingga dapat mengidentifikasi logam-logam dan material, mengklasifikasi material. Selain itu SEM umumnya digunakan untuk aplikasi yang cukup bervariasi pada permasalahan eksplorasi dan produksi migas, termasuk didalamnya: evaluasi kualitas batuan reservoir melalui studi diagnosa yang meliputi identifikasi dan interpretasi keadaan mineral dan distribusinya pada sistem porositas batuan (Mifta, 2011)

## 2. *Thermogravimetry Analysis* (TGA)

### 2.1 Pengertian TGA

Termogravimetri (TGA) adalah teknik yang mengukur perubahan berat sampel ketika dipanaskan, didinginkan atau diadakan pada suhu konstan. Kegunaan utamanya adalah untuk mengkarakterisasi bahan yang berkaitan dengan komposisi mereka (Vispute, T. 2011).

Thermogravimetri analisis (TGA) adalah jenis pengujian yang dilakukan pada sampel untuk menentukan perubahan berat-susut (weight-loss) dalam kaitannya dengan perubahan suhu. Analisa tersebut bergantung pada tingkat presisi yang tinggi dalam tiga pengukuran: berat, suhu, dan perubahan suhu. Seperti jumlah kehilangan berat-susut (weight-loss) terlihat pada kurva, kurva berat-susut (weight-loss) mungkin memerlukan transformasi sebelum hasilnya dapat ditafsirkan.

TGA umumnya digunakan dalam penelitian dan pengujian untuk menentukan karakteristik bahan seperti polimer, untuk menentukan suhu degradasi, bahan menyerap kadar air, tingkat komponen anorganik dan bahan organik, titik dekomposisi bahan peledak, dan residu pelarut. Hal ini juga sering digunakan untuk memperkirakan kinetika korosi dalam oksidasi suhu tinggi (Sumbono, 2010).

Biasanya pengukuran dilakukan dalam atmosfer udara atau inert atmosfer seperti helium atau argon, massa dicatat sebagai fungsi dari kenaikan temperatur. Temperatur akhir ditentukan hingga massa bahan stabil yang secara tidak langsung menunjukkan bahwa reaksi sudah selesai

secara keseluruhan (dalam hal pembakaran dapat diprediksi bahwa seluruh karbon telah terbakar).

Metode ini dapat mengkarakterisasi suatu bahan atau cuplikan yang dilihat dari kehilangan massa atau terjadinya dekomposisi, oksidasi atau dehidrasi. Mekanisme perubahan massa pada TGA ialah bahan akan mengalami kehilangan maupun kenaikan massa. Proses kehilangan massa terjadi karena adanya proses dekomposisi yaitu pemutusan ikatan kimia, evaporasi yaitu kehilangan atsmi pada peningkatan suhu, reduksi yaitu interaksi bahan dengan pereduksi, dan desorpsi. Sedangkan kenaikan massa disebabkan oleh proses oksidasi yaitu interaksi bahan dengan suasana pengoksidasi, dan absorpsi.

## 2.2 Prinsip Kerja TGA

Adapun prinsip kerja TGA yaitu sebagai berikut:

- Analisis TGA yaitu mengukur perbedaan temperatur antara sampel dan referensi yang dihubungkan secara berlawanan dengan termokopel (Harsanti, 2010).
- Dalam pengujian TGA material dipanaskan dengan suhu tinggi dan mengalami reaksi dekomposisi dimana reaksi ini dipengaruhi oleh efek spesi lain, rasio ukuran, dan volum serta komposisi materi (Hamdila, 2012).
- Prinsip analisis dari TGA ini yaitu mengukur perbedaan suhu sampel dengan suhu acuan, dimana jika dalam pengamatan suhu acuan lebih besar dari pada suhu sampel maka  $\Delta T$  negatif, sedangkan jika suhu acuan lebih kecil dari pada suhu sampel maka  $\Delta T$  positif, dan jika suhu acuan sama dengan suhu sampel suhu sampel berarti tidak terjadi perubahan dan ditunjukkan berupa garis lurus (Suherman, 2009).

Adapun komponen utama yang terdapat pada TGA yaitu pemegang sampel yang terdiri dari termokopel, wadah sampel, furnace, program temperatur, dan sistem perekam. Termokopel yang terdapat pada sampel uji dan pembanding berfungsi untuk menjamin sebuah distribusi panas yang rata (Suherman, 2009).

## 2.3 Aplikasi TGA

Analisis TGA biasanya digunakan riset dan pengujian untuk menentukan karakteristik material seperti polymer, untuk menentukan penurunan temperatur, kandungan material yang diserap, komponen anorganik dan organik di dalam material, dekomposisi bahan yang mudah meledak, dan residu bahan pelarut. TGA juga sering digunakan untuk kinetika korosi pada oksidasi temperatur tinggi (Subama, 2010).

## 3. Laju Korosi

### 3.1 Pengertian Laju Korosi

Laju Korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Dalam perhitungan laju korosi, satuan yang biasa digunakan adalah mm/th (standar internasional) atau mill/year (mpy, standar British). Tingkat ketahanan suatu material terhadap korosi umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1 – 200 mpy. Tabel di bawah ini adalah penggolongan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya

**Tabel 2.4** Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi  
(Fontana, 1987)

Relative Corrosion Resistantance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	$\mu\text{m}/\text{year}$	nm/year	pm/year
Outstanding	<1	<0.02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0.5-1	500-1000	50-150	20-50
Poor	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Unacceptable	>200	>5	>5000	>500	>200

### 3.2 Prinsip Kerja Laju Korosi

Metode elektrokimia adalah metode mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi, metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang. Kelebihan metode

ini adalah kita langsung dapat mengetahui laju korosi pada saat di ukur, hingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama. Pengujian laju korosi dengan metode elektrokimia dengan polarisasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang didasari pada Hukum Faraday seperti di bawah ini:

$$CPR = K \frac{a.i}{n.D} mmpy \quad (2)$$

Dimana : K = Konstanta ( 0,129 untuk mpy, 0,00327 untuk mmpy )

a = Berat atom logam terkorosi (gram)

i = Kerapatan arus (  $\mu A/cm^2$  )

n = Jumlah elektron valensi logam terkoros

D = Densitas logam terkorosi (gram/cm<sup>3</sup> )

#### 4. Foto Struktur Mikro

##### 4.1 Pengertian Foto Struktur Mikro

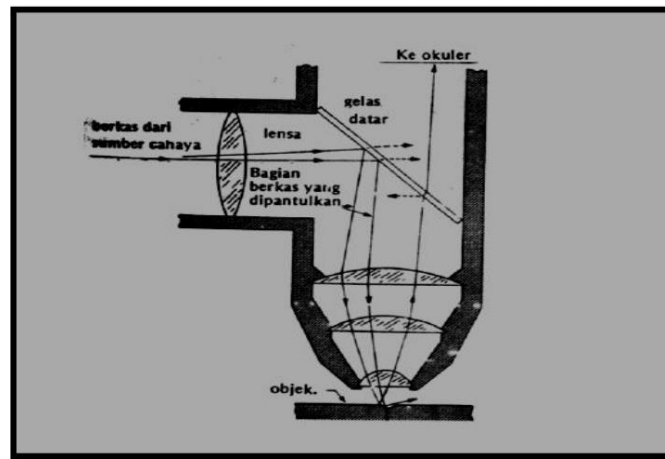
Analisa Struktur Mikro Struktur Mikro ialah sebuah ketentuan yang sangat umum (general) dimana ini digunakan untuk meliputi suatu jangkauan yang luas dari macam-macam struktural, dari jangkauan yang luas dari macam-macam struktur bahan itu yang dapat dilihat dari mata telanjang yang menuju pada jarak antar atomdi dalam kisi kristal bahan itu. Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksikan dengan reagen kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini dinamakan *etching*.

Untuk mengetahui sifat dari suatu logam, kita dapat melihat struktur mikronya. Setiap logam dengan jenis berbeda memiliki struktur mikro yang berbeda. Dengan melalui diagram fasa, kita dapat meramalkan struktur mikronya dan dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu. Dan dari struktur mikro kita dapat melihat :

- a. Ukuran dan bentuk butir
- b. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam
- c. Pengotor yang terdapat dalam material

#### 4.2 Prinsip Kerja Foto Struktur Mikro

Gambar 2.7 menunjukkan prinsip kerja dari alat uji struktur mikro (mikroskop optik) yaitu berkas horizontal cahaya dari sumber cahaya dipantulkan dengan memakai reflektor kemudian melalui lensa objektif sinar diteruskan ke atas permukaan sampel. Beberapa cahaya dipantulkan dari permukaan sampel akan diperbesar melalui lensa objektif dan okuler yang biasanya digambarkan pada puncak lensa yang terhubung dengan komputer ketika mengambil foto struktur mikro didapat hasil yang presisi (Fitri, 2012).

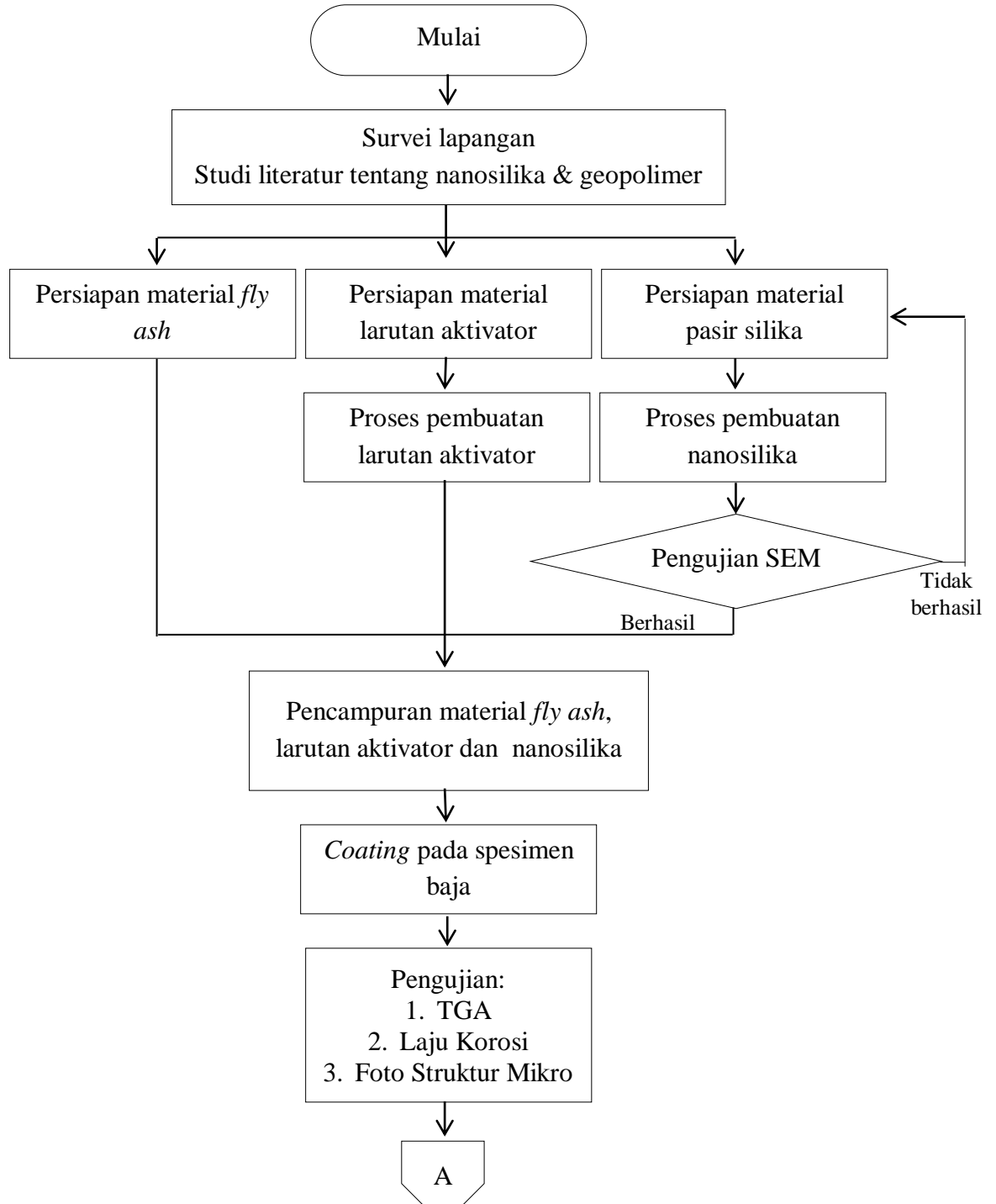


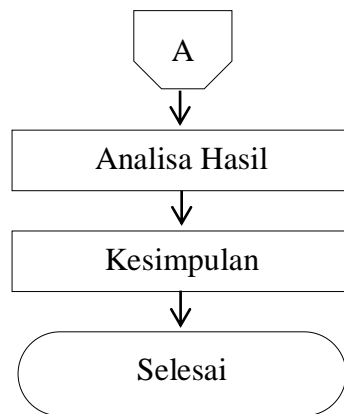
**Gambar 2.7** Skema Pengamatan Struktur Mikro Dengan Mikroskop Optik (Van Vlack, 1992).



**BAB 3**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Diagram Alir (Flow Chart)**





**Gambar 3.1** Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

Berdasarkan diagram alir di atas, dapat dijelaskan langkah-langkah dalam penelitian pada tugas akhir di bawah ini:

#### 1. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis melakukan pencarian sumber informasi dan referensi. Hal ini dilakukan sebagai bahan pendukung pada tugas akhir ini. Adapun sumber referensi dan informasi yang penulis dapatkan dari berbagai jurnal nasional maupun internasional, buku dan berbagai referensi dari internet.

#### 2. Pengumpulan Bahan dan Peralatan

Pada tahap ini penulis akan mengumpulkan bahan dan peralatan yang dibutuhkan untuk membuat *Coating* Nanosilika dan Geopolimer. Adapun bahan dan peralatan yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Bahan dan Peralatan

No	Bahan	Peralatan
1	Pasir Silika	Seperangkat Alat Gelas
2	HCl	Termometer
3	Aquades	<i>Hot Plate Stirrer</i>
4	Amoniak	Oven
5	<i>Fly ash</i>	Mortar

No	Bahan	Peralatan
6	Sodium Hidroksida	Gunting
7	Sodium Silikat	Timbangan
8	Baja ASTM A36	Kuas

### 3. Proses Pembuatan

Pembuatan material dan campuran baru yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Nanosilika

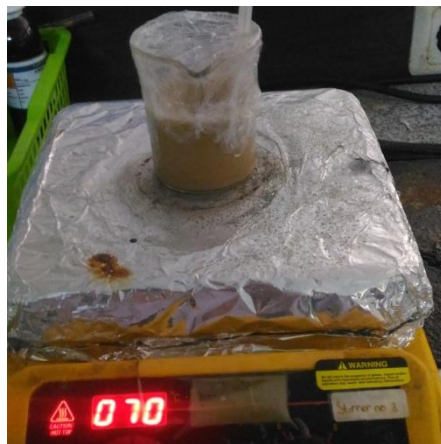
Nanosilika dibuat dengan mencampurkan pasir silika, larutan amoniak dan aquades dengan komposisi tertentu. Pasir silika seberat 1 kg dibersihkan terlebih dahulu dari pengotornya dengan cara direndam menggunakan HCl 0,1 mol selama 4 jam. Kemudian KCl dibuang, lalu pasir silika dicuci dengan aquades sebanyak 3 kali untuk menghilangkan sisa larutan HCl. Kemudian pasir silika dioven dengan suhu 150<sup>0</sup>C untuk menghilangkan kadar airnya. Pasir silika yang telah kering kemudian dihaluskan dengan menggunakan mortar agar terbentuk serbuk pasir silika. Selanjutnya, serbuk tersebut disintesis menggunakan metode sol-gel dengan larutan amoniak sebanyak 50 mL dan serbuk silika sebanyak 25 gram menjadi suatu campuran. Campuran tersebut kemudian di stirrer selama 3 jam dengan suhu konstan 70<sup>0</sup>C. Campuran yang telah di stirrer tersebut didiamkan selama 24 jam kemudian ditambahkan aquades dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 150<sup>0</sup>C. Dilakukan tiga kali pencucian hingga tersisa endapan nanosilika. Endapan nanosilika yang tersisa dicampurkan aquades, diaduk, lalu didiamkan hingga larutan mengendap. Larutan dipisahkan dari endapannya, dengan mengambil larutan bening (tembus cahaya) yang berada di atas endapan, larutan bening selanjutnya dituang ke dalam gelas ukur kemudian dikeringkan dengan suhu 150<sup>0</sup>C hingga menghasilkan endapan. Hasil endapan tersebut adalah nanosilika.



(a)



(b)



(c)

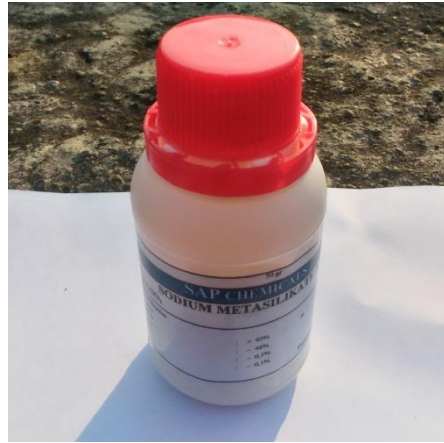


(d)

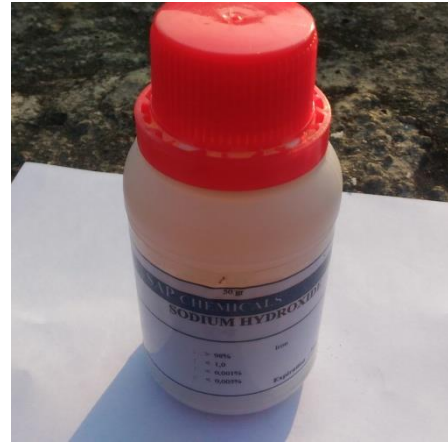
**Gambar 3.2** Proses Pembuatan Nanosilika, (a) Penimbangan Pasir Silika, (b) Penggerusan Pasir Silika, (c) Pengadukan dengan Magnetic Stirrer, (d) Hasil Nanosilika

## 2. Larutan aktivator

Larutan aktivator dibuat dengan mencampurkan 1,5 mL NaOH, 3,5 mL sodium silikat dan 5 mL aquades dalam setiap 10 gram abu terbang yang dicampurkan. Kemudian NaOH, sodium silikat dan aquades dicampur menjadi satu sampai membentuk suatu larutan bening.



(a)



(b)



(c)

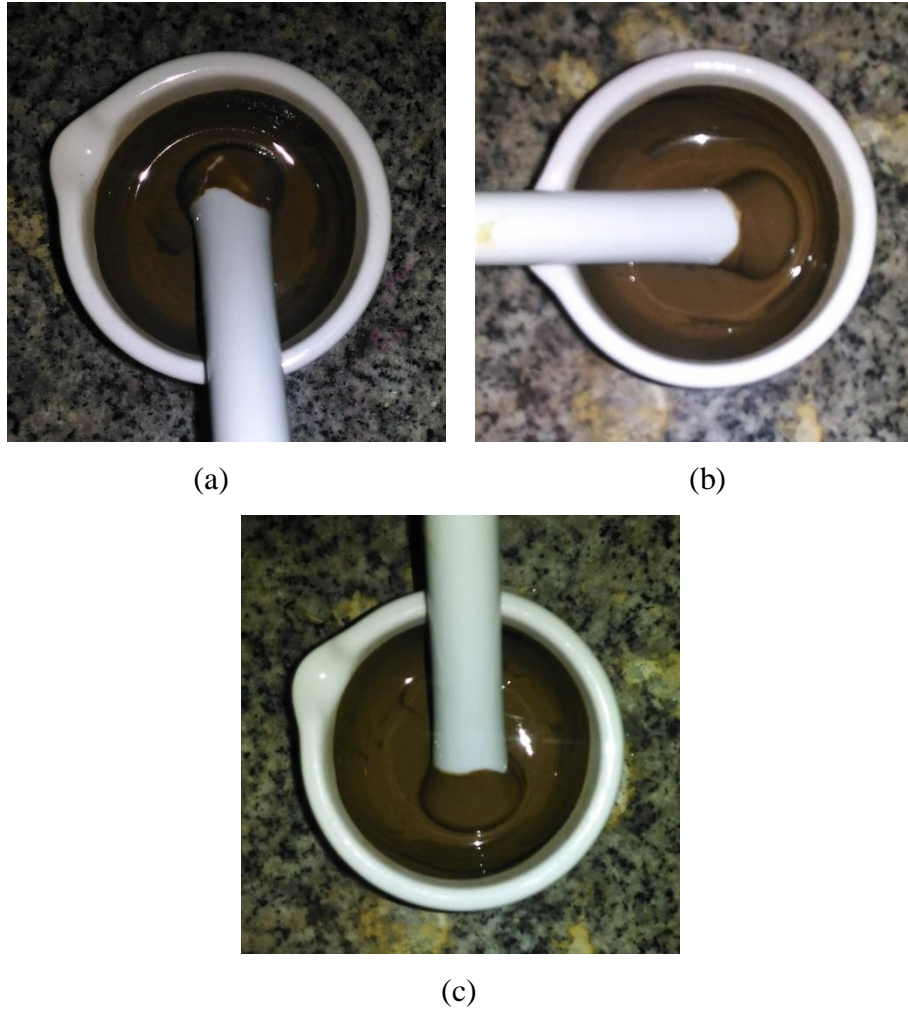


(d)

**Gambar 3.3** Larutan Aktivator, (a) Sodium Silikat, (b) Sodium Hidroksida, (c) Aquades, (d) Hasil Larutan Aktivator

#### 4. Proses Pencampuran

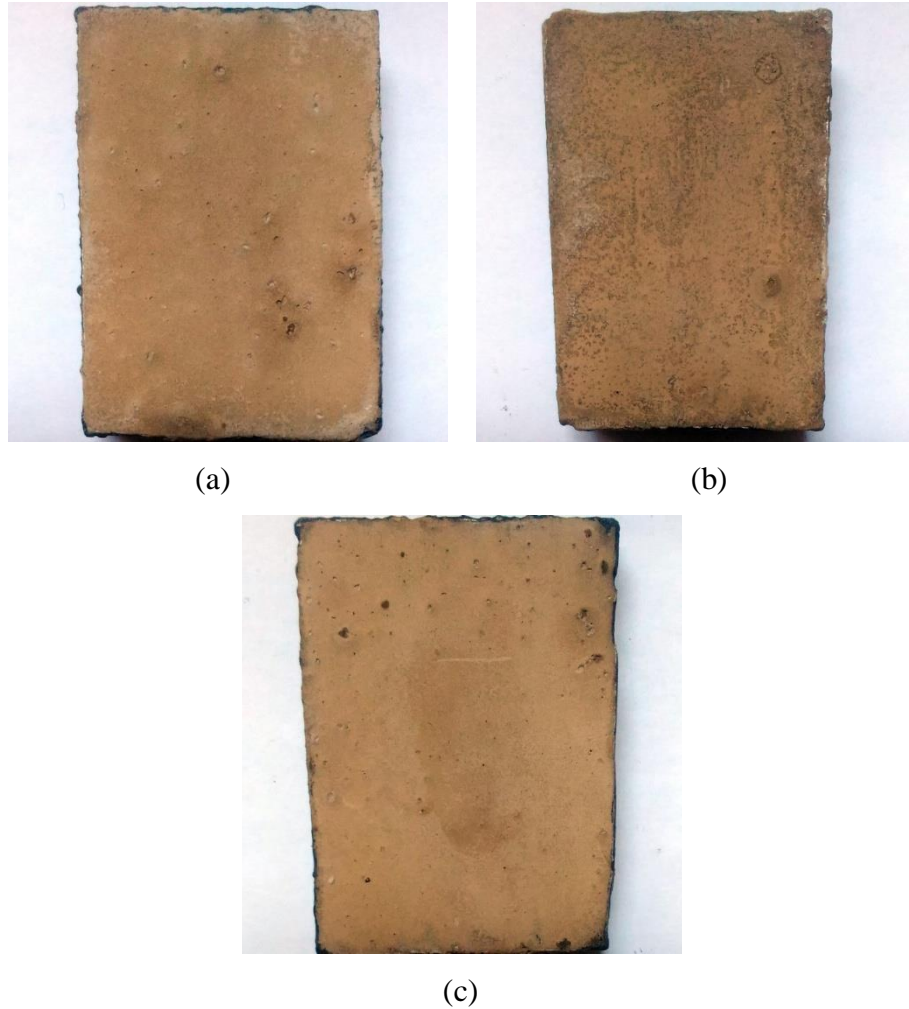
Proses pencampuran dilakukan dengan mencampurkan nanosilika, abu terbang dan larutan aktivator. Abu terbang tidak perlu digerus menggunakan mortar karena ukurannya yang kecil dan teksturnya yang halus. Pencampuran pertama ialah nanosilika dan abu terbang dengan variasi dari nanosilika sebanyak 1%, 2%, dan 3% (Assaedi H. *et al*, 2015) dari berat abu terbang. Lalu diaduk agar homogen. Kemudian ditambahkan larutan aktivator menghasilkan campuran nanosilika dan abu terbang dengan dituangkan sedikit demi sedikit lalu diaduk sampai terbentuk campuran pasta nanosilika geopolimer yang homogen.



**Gambar 3.4** Pencampuran Nanosilika dan Geopolimer,  
(a) 1% Nanosilika, (b) 2% Nanosilika, (c) 3% Nanosilika

## 5. Proses Pelapisan

Proses pelapisan bahan menggunakan pasta nanosilika geopolimer dengan pembuatan sampel dengan ukuran skala laboratorium. Disiapkan material, yaitu baja ASTM A36. Pasta nanosilika geopolimer dilapiskan secara merata pada baja dengan ketebalan lapisan 2 mm atau setara dengan 2 kali pelapisan menggunakan kuas. Kemudian material yang telah dilapisi pasta nanosilika geopolimer dikeringkan pada suhu kamar.



**Gambar 3.5** Hasil Pelapisan, (a) 1% Nanosilika, (b) 2% Nanosilika, (c) 3% Nanosilika

## 6. Pengujian Material

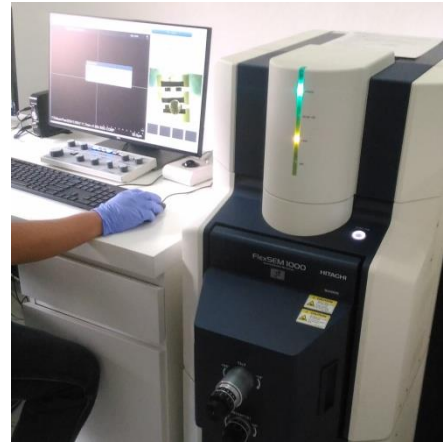
Beberapa tahap pengujian material yang dilakukan adalah sebagai berikut :

### 1. SEM (Scanning Electron Microcopy)

SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan dari bahan. Manfaat dari SEM adalah untuk melihat struktur permukaan, ukuran butir, dan cacat structural. Hasil yang diperoleh dari SEM berupa penyajian bentuk tiga dimensi berupa gambar atau foto. Mikroskop ini digunakan untuk mempelajari struktur permukaan obyek yang diperbesar antara 25-250.000 kali.



(a)



(b)

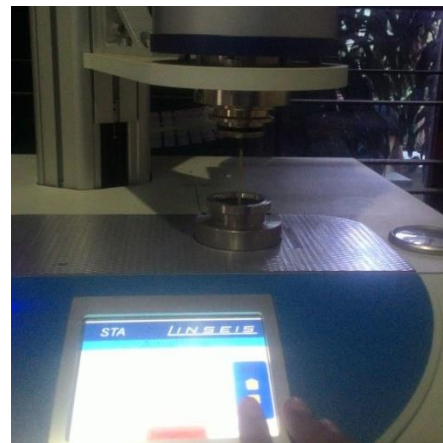
**Gambar 3.6** Pengujian SEM, (a) Preparasi Sampel, (b) Alat SEM

## 2. TGA (Thermo Gravimetri Analysis)

TGA merupakan jenis pengujian yang dilakukan pada sampel untuk menentukan berat susut dalam perubahan suhu. Analisa tersebut bergantung pada tiga pengukuran yaitu berat, suhu, dan perubahan suhu. Hasil dari analisa ini berupa rekaman diagram yang menghubungkan antara berat dan temperatur. Analisis dilakukan dengan menaikkan suhu secara bertahap dan merencanakan persentase berat terhadap suhu. Dalam beberapa penelitian suhu uji yang digunakan mencapai  $1000^{\circ}\text{C}$  atau lebih. Setelah data kurva operasi diperoleh, dapat menentukan titik-titik belok yang tepat.



(a)



(b)

**Gambar 3.7** Pengujian TGA, (a) Preparasi Sampel, (b) Alat TGA



### 3. Foto Struktur Mikro

Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksikan dengan reagen kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini dinamakan *etching*.



(a)

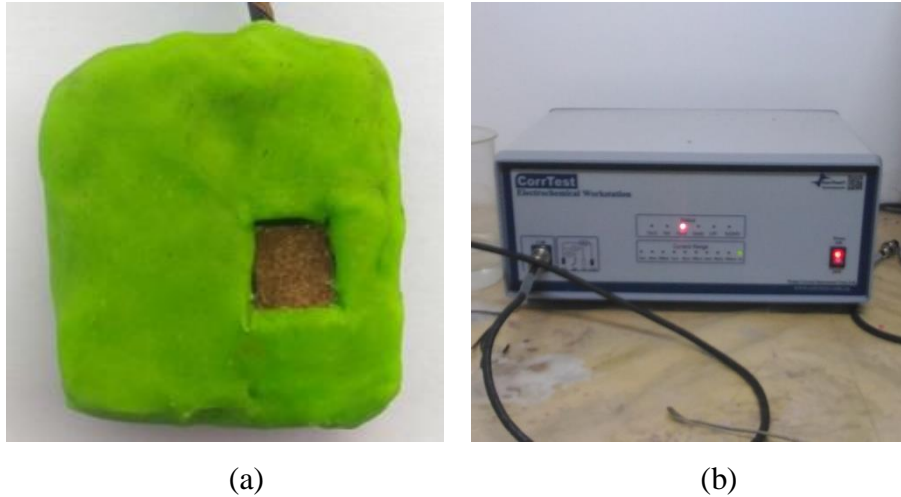


(b)

**Gambar 3.8** Pengujian FotoStruktur Mikro, (a) Preparasi Sampel, (b) Alat Foto Struktur Mikro

### 4. Laju Korosi

Korosi dapat didefinisikan sebagai perusakan suatu material (terutama logam) karena bereaksi dengan lingkungannya. Untuk memperkirakan laju korosi suatu material dalam lingkungan korosif, dapat dipergunakan beberapa metode pengukuran. Proses pengujian dilakukan dengan cara menempatkan sampel pada lingkungan dengan kondisi yang diinginkan dalam kurun waktu tertentu. Nilai laju korosi ini dapat menunjukkan ketahanan korosi relatif (mampu korosi).



**Gambar 3.9** Pengujian Laju Korosi, (a) Preparasi Sampel,  
(b) Alat Laju Korosi

#### **7. Plot Hasil Data**

Setelah hasil percobaan selesai dilakukan, selanjutnya adalah dilakukan pengolahan data untuk mengetahui komposisi terbaik, kemampuan *heat resistant* tertinggi dan besarnya laju korosi pada Coating Nanosilika dan Geopolimer.

#### **8. Analisa Hasil dan Kesimpulan**

Pada tahap ini dilakukan analisa terhadap data yang telah diolah dalam bentuk grafik dan tabel. Setelah itu, ditarik kesimpulan berdasarkan permasalahan dan tujuan dari penelitian tugas akhir ini.

#### **9. Penyusunan Laporan Akhir**

Tahap ini merupakan tahap penyusunan laporan tugas akhir dari hasil penelitian Coating Nanosilika dan Geopolimer.

## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

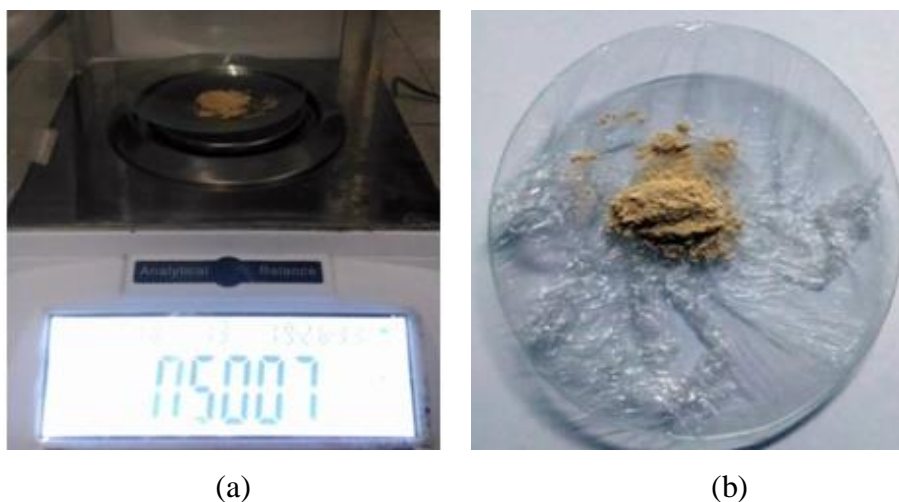
Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini diulas dalam 7 subbab. Karakterisasi yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari 4 macam, yaitu SEM (Scanning Electron Microscopy), TGA (Thermogravimetric Analysis), Foto struktur mikro dan Laju korosi

Karakterisasi SEM akan digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan dari bahan. Fungsi dari SEM adalah untuk melihat struktur permukaan, ukuran butir, dan cacat structural. Karakterisasi TGA merupakan jenis pengujian yang dilakukan pada sampel untuk menentukan berat susut terhadap perubahan suhu. Analisa tersebut bergantung pada tiga pengukuran yaitu berat, suhu, dan perubahan suhu. Hasil dari analisa ini berupa rekaman diagram yang menghubungkan antara berat dan temperatur. Karakterisasi foto struktur mikro dilakukan untuk mengetahui kondisi mikro dari suatu logam. Pengamatan ini biasanya melibatkan batas butir dan fasa-fasa yang ada dalam logam atau paduan tersebut. Karakterisasi Laju Korosi dilakukan untuk mengetahui kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Tingkat ketahanan suatu material terhadap korosi umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1 – 200 mpy.

#### **4.1. Sintesis Nanosilika**

Sintesis nanosilika dengan komposisi pasir silika, larutan amonik dan aquades menggunakan metode sol-gel. Metode sol-gel merupakan metode yang sering digunakan dalam pembuatan nanopartikel. Karena metode sol-gel termasuk dalam metode yang sederhana, prosesnya berlangsung pada temperature rendah, dapat diaplikasikan dalam segala kondisi, dan menghasilkan produk dengan kemurnian yang tinggi. Berikut adalah penjelasan proses sintesis nanosilika. Pasir silica dibersihkan terlebih dahulu dari pengotornya dengan cara direndamnya di dalam larutan HCl selama 4 jam. Perendaman pasir silika menggunakan HCl dilakukan karena HCl memiliki sifat asam, salah satu sifat asam adalah korosif

sehingga dapat mengikis pengotor yang melekat pada permukaan pasir silica. Setelah dilakukan perendaman selama 4 jam, larutan HCl dibuang kemudian pasir silica dicuci menggunakan aquades. Pencucian pasir silica menggunakan aquades dilakukan beberapa kali hingga larutan HCl hilang. Kemudian dioven dengan suhu 150°C untuk menghilangkan kadar air didalam pasir silica. Pasir silika yang telah dibersihkan digerus menggunakan mortar hingga teksturnya halus. Pasir silika yang halus disintesis menggunakan metode sol-gel yang ditambahkan amoniak dengan perbandingan 2000 ml amoniak dan 1000 gram pasir silica dibagi ke dalam 20 wadah yang masing-masing berisi 100ml amoniak dan 50 gram pasir silica. Setiap wadah campuran di *stirrer* dengan waktu konstan 3 jam pada suhu 70°C. Campuran yang telah di *stirrer* tersebut didiamkan selama 24 jam agar larutan mengendap. Larutan amoniak dibuang kemudian pasir silika ditambahkan aquades dan didiamkan selama 24 jam. Larutan yang sudah didiamkan kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 150°C yang dilakukan sebanyak tiga kali pencucian hingga tersisa endapan pasir silika. Tiga kali pencucian yang dimaksud adalah direndam 24 jam lalu dioven yang diulang sebanyak tiga kali. Endapan pasir silika dicampurkan aquades dan diaduk hingga terbentuk larutan yang homogen dan kemudian larutan tersebut didiamkan sampai mengendap. Larutan dipisahkan dari endapannya, dan yang akan diambil adalah larutan bening (tembus cahaya) dituang ke dalam gelas ukur dikeringkan hingga menghasilkan endapan. Hasil endapan tersebut adalah nanosilika.

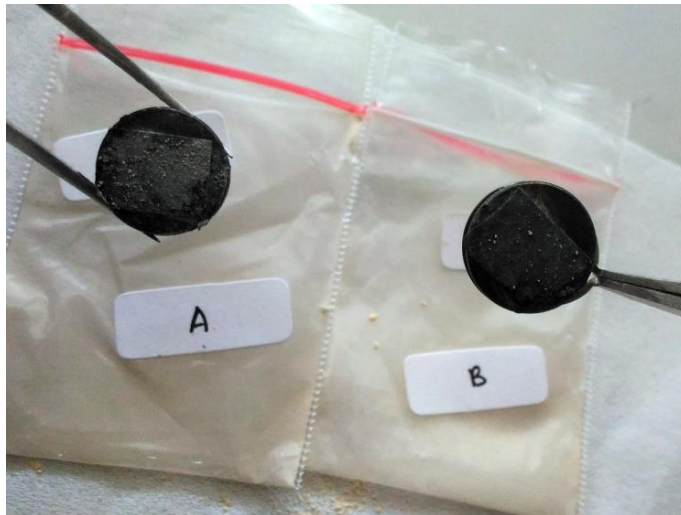


**Gambar 4.1** Hasil Sintesis Nanosilika : (a) Berat Hasil Nanosilika, (b) Hasil Nanosilika

## 4.2. Karakterisasi Nanosilika

### 4.2.1. Preparasi Nanosilika

Sebelum dilakukan pengujian SEM sampel harus melewati serangkaian proses pemurnian dan oksidasi pada sampel. Karena SEM menggunakan kondisi vakum dan menggunakan electron untuk menghasilkan gambar, maka harus dilakukan proses preparasi khusus. Kandungan air yang terdapat pada sampel harus dihilangkan dari sampel karena air akan menguap pada kondisi vakum. Sampel yang berupa metal tidak membutuhkan preparasi khusus. Namun, jika sampel adalah non-logam harus dilakukan coating terlebih dahulu. Karena nanosilika merupakan material non-logam, maka harus dilakukan coating sebelum melakukan pengujian SEM. Sampel yang akan dianalisis ditempelkan dengan menggunakan conduction glue pada bahan. Hand blower digunakan pada sampel agar sampel dapat menempel dengan baik pada conduction glue yang ada ditempat bahan. Lalu dilakukan coating, proses coating ini untuk melapisi sampel dengan Pt dan Au. Sampel disimpan di ruang vakum dan kemudian siap untuk dianalisis. Coating ini bertujuan untuk membungkus sampel dengan material yang bisa menghantarkan listrik, prosesnya dimanakan sputter coating.



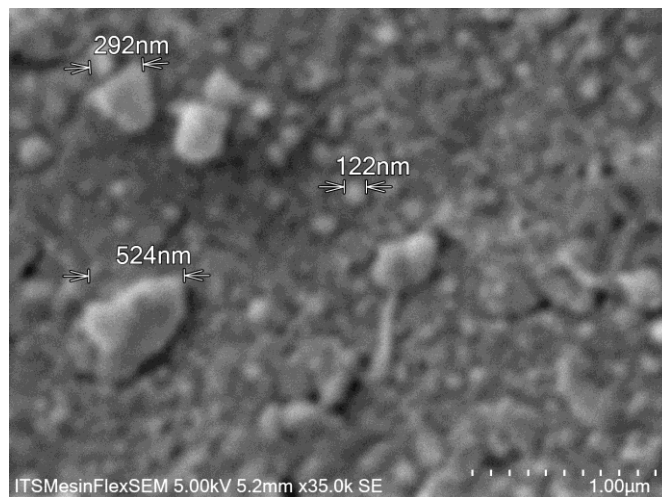
**Gambar 4.2** Nanosilika Sebelum Di Coating



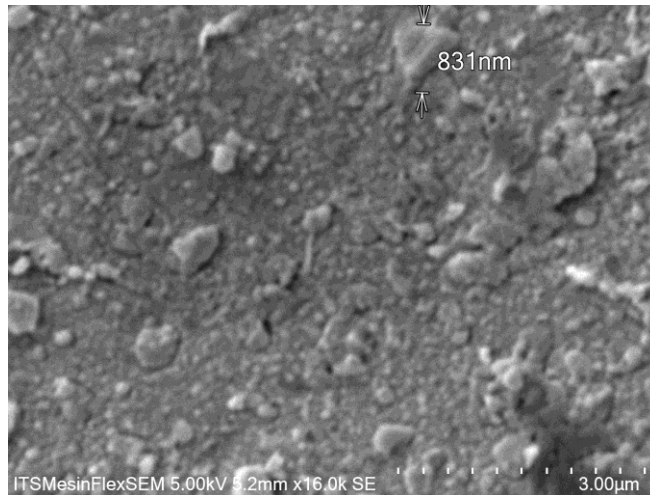
**Gambar 4.3** Nanosilika Sesudah Di Coating

#### **4.2.2. Kesimpulan Karakterisasi Nanosilika**

Karakterisasi dengan menggunakan SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi padatan hasil sintesis. Pada penelitian ini material yang digunakan adalah endapan silica yang dikarakterisasi dengan SEM. Hasil analisis morfologi endapan silica menggunakan SEM dilakukan pada perbesaran 35.000 kali dan 16.000 kali ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan 4.5.



**Gambar 4.4** Hasil SEM Nanosilika Perbesaran 35.000X



**Gambar 4.5** Hasil SEM Nanosilika Perbesaran 16.000X

Gambar 4.4 dan gambar 4.5 menunjukkan morfologi nanosilika. Morfologi nanosilika memiliki ukuran yang bervariasi, dari yang berukuran kecil sampai berukuran besar. Ukuran nanosilika terkecil adalah 122 nm sedangkan ukuran terbesarnya mencapai 831 nm. Silica yang berukuran besar terbentuk karena dipengaruhi oleh proses pengeringan. Pada proses pengeringan menggunakan oven, molekul air dilepaskan secara konstan. Pelepasan air tersebut menyebabkan konsentrasi sol meningkat dan terjadi penarikan fluida sehingga partikel saling berdekatan. Dengan berdekatnya partikel maka akan membentuk ukuran yang besar.

#### **4.3. Pembuatan Larutan Activator**

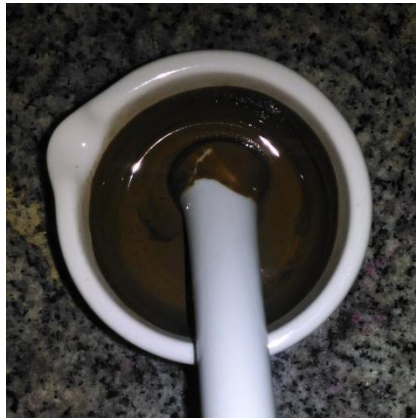
Pembuatan larutan activator terdiri dari sodium hidroksida, sodium silikat dan aquades. Sodium hidroksida digunakan untuk mempercepat reaksi dengan menghasilkan panas karena bersifat eksoterm ketika dilarutkan dalam air. Sedangkan sodium silikat digunakan untuk meningkatkan beberapa sifat dari campuran salah satunya kekuatan tekan. Dalam setiap 10 gram abu terbang membutuhkan larutan activator sebanyak 1,5 gram sodium hidroksida, 3,5 gram sodium silikat dan 5 ml aquades. Setiap pengukuran massa ditimbang menggunakan neraca analitik agar massa yang ditimbang akurat. Kemudian sodium hidroksida, sodium silikat dan aquades dicampur menjadi satu hingga terbentuk larutan homogen tidak berwarna.



**Gambar 4.6** Larutan Aktivator

#### **4.4. Pencampuran Coating**

Larutan activator yang telah jadi ditambahkan 10 gram abu terbang dan variasi massa dari nanosilika. Variasi massa nanosilika yang digunakan sebesar 1%, 2% dan 3% dari berat abu terbang kedalam tiga cawan porselin. Sehingga menghasilkan tiga variasi sampel dengan kadar nanosilika yang berbeda.



**Gambar 4.7** Campuran Geopolimer Dan 1% Nanosilika



**Gambar 4.8** Campuran Geopolimer Dan 2% Nanosilika





**Gambar 4.9** Campuran Geopolimer Dan 3% Nanosilika

Kemudian dilakukan pelapisan pada baja ASTM A36. Pelapisan ini digunakan untuk melindungi baja ASTM dari korosi yang dapat mengakibatkan berkurangnya kekuatan dan ketahanan dari baja ASTM A36. Bahan yang digunakan sebagai pelapis merupakan komposisi dari geopolimer dan variasi nanosilika 1%, 2% dan 3%. Metode yang digunakan dalam pelapisan baja ASTM A36 menggunakan kuas. Pelapisan menggunakan kuas dipilih karena penggunaan cat lebih hemat atau efisien dan bisa digunakan untuk mengecat pada tempat-tempat yang sempit sehingga lebih rata. Karena cat yang digunakan masih dalam skala laboratorium penggunaan kuas lebih efisien dibandingkan menggunakan roll dengan konsumsi cat yang lebih banyak.



**Gambar 4.10** Hasil Pelapisan Geopolimer Dan Nanosilika Dengan Variasi 1% Nanosilika

Dari gambar 4.10 dengan variasi 1% nanosilika dapat dilihat bahwa hasil yang sudah bagus, akan tetapi masih terlihat adanya lubang-lubang pada coating. Hal ini disebabkan karena pada proses pelapisan menggunakan kuas masih

menyisakan gelembung-gelembung udara diatas coating. Ketika coating mulai mengering gelembung-gelembung udara akan terpecah dan menghasilkan lubang-lubang yang dapat mempercepat terjadinya korosi.



**Gambar 4.11** Hasil Pelapisan Geopolimer Dan Nanosilika Dengan Variasi 2% Nanosilika

Dari gambar 4.11 dengan variasi 2% nanosilika dapat dilihat bahwa hasil yang cukup bagus, akan tetapi masih terlihat adanya lubang-lubang kecil yang cukup banyak pada coating. Hal ini disebabkan karena pada proses pelapisan menggunakan kuas belum merata dan terlalu cepat mengoleskannya sehingga menyisakan gelembung-gelembung udara diatas coating. Ketika coating mulai mengering gelembung-gelembung udara akan terpecah dan menghasilkan lubang-lubang kecil yang dapat mempercepat terjadinya korosi.



**Gambar 4.12** Hasil Pelapisan Geopolimer Dan Nanosilika Dengan Variasi 3% Nanosilika

Dari gambar 4.12 dengan variasi 3% nanosilika dapat dilihat bahwa hasil yang sudah bagus, akan tetapi masih terlihat adanya lubang-lubang yang cukup

besar yang terdapat pada bagian tepi dari coating. Hal ini disebabkan karena pada proses pelapisan menggunakan kuas yang tidak merata pada bagian tepi sehingga masih menyisakan gelembung-gelembung udara diatas coating. Ketika coating mulai mengering gelembung-gelembung udara akan terpecah dan menghasilkan lubang-lubang yang dapat mempercepat terjadinya korosi.

#### **4.5. Karakterisasi TGA**

##### **4.5.1. Preparasi Sampel**

Sebelum dilakukan pengujian *Thermogravimetry Analysis* (TGA) perlu dilakukan preparasi sampel dari sisa coating nanosilika dan geopolimer yang dikeringkan kemudian dihaluskan hingga berbentuk serbuk coating. Coating nanosilika dan geopolimer sisa pengecatan diletakkan dalam cetakan. Kemudian dikeringkan dalam suhu ruang dalam waktu 72 jam atau 3 hari 3 malam. Setelah coating benar-benar kering kemudian diambil dari cetakan dan dilakukan proses penghalusan. Penghalusan coating menggunakan mortar sampai berbentuk serbuk dan harus dilakukan secara hati-hati. Karena coating kering memiliki sifat keras dan sulit dihancurkan. Coating yang sudah halus kemudian dimasukkan kedalam plastic ziplock agar serbuk coating tidak terkontaminasi dengan zat-zat pengotor yang ada disekitarnya.



**Gambar 4.13** Serbuk Coating 1% Nanosilika



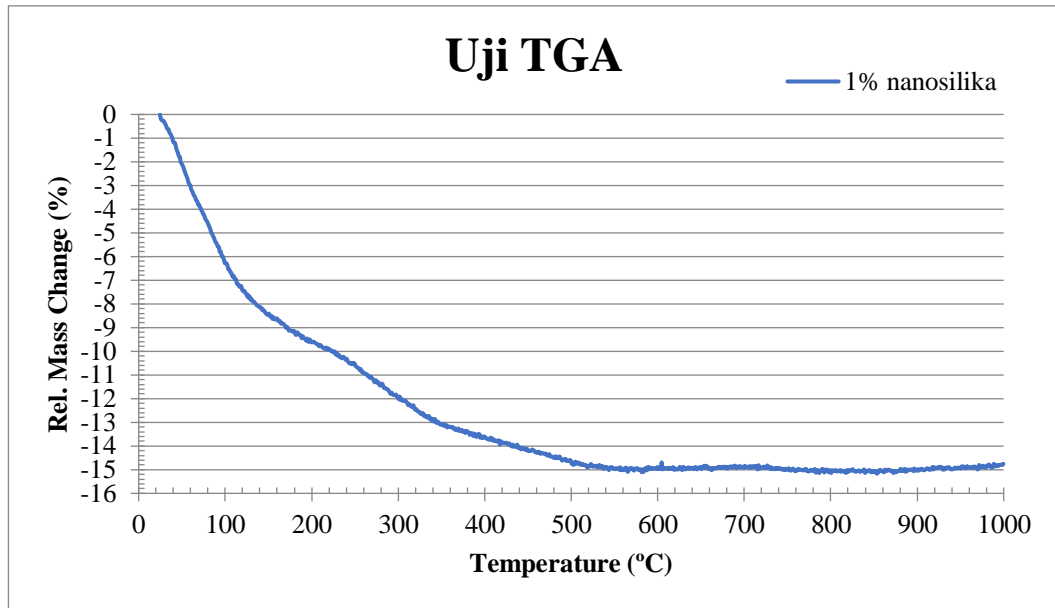
**Gambar 4.14** Serbuk Coating 2% Nanosilika



**Gambar 4.15** Serbuk Coating 3% Nanosilika

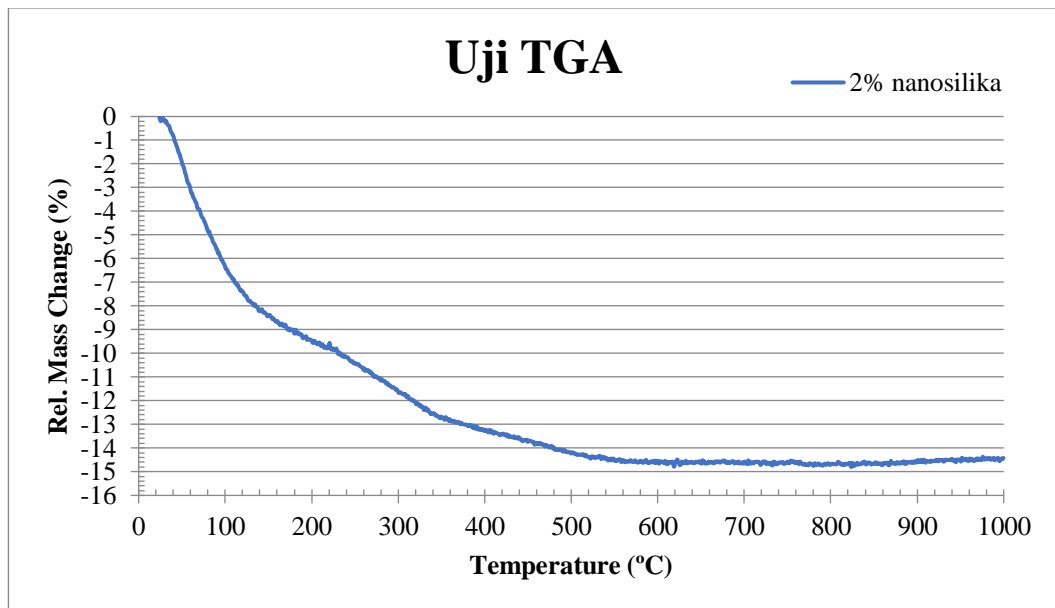
#### **4.5.2. Kesimpulan Karakterisasi TGA**

TGA merupakan suatu teknik mengukur perubahan jumlah dan laju dalam berat dari coating nanosilika dan geopolimer sebagai fungsi dari temperature atau waktu dalam atmosfer yang terkontrol. Pengukuran digunakan untuk menentukan komposisi coating dan memprediksi stabilitas termalnya pada temperature 1000°C. Teknik ini dapat mengkarakterisasi coating yang menunjukkan kehilangan atau pertambahan berat akibat dekomposisi, oksidasi, atau dehidrasi. Berikut adalah hasil karakterisasi TGA pada coating nanosilika dan geopolimer dengan variasi 1%, 2%, dan 3% nanosilika



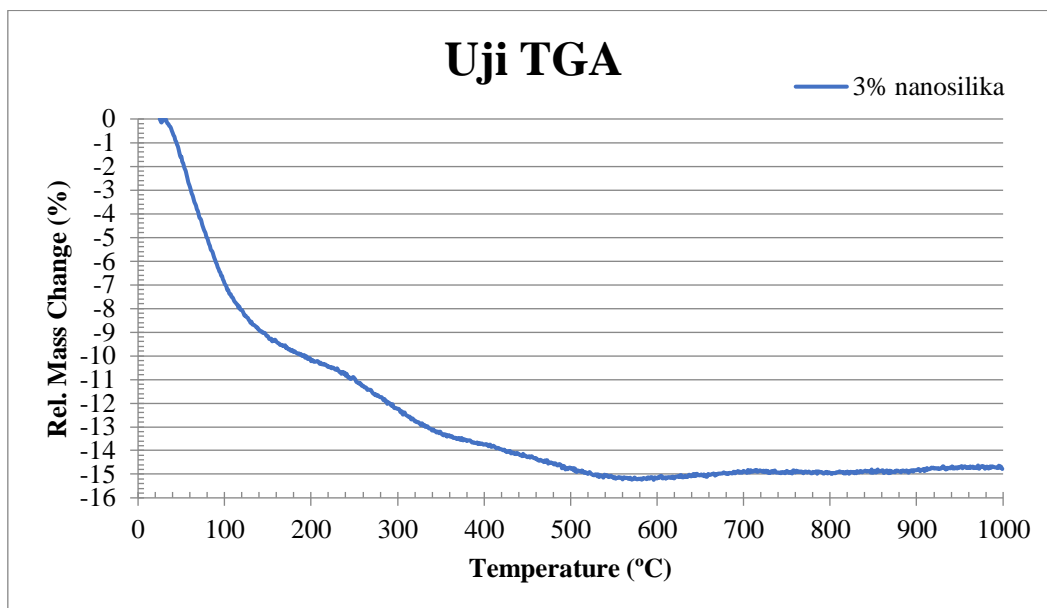
**Gambar 4.16** Grafik TGA Coating 1% Nanosilika

Dari gambar 4.16 dapat dilihat bahwa berat massa coating 1% nanosilika mengalami penurunan berat yang sangat cepat dalam kenaikan suhu dari 0°C sampai 120°C dengan nilai penurunan berat sebesar 8,4%. Kemudian penurunan berat mulai konstan dari 120°C sampai 340°C dengan penurunan berat sebesar 13,2%. Penurunan berat mulai melambat seiring dengan kenaikan suhu dari 340°C sampai 540°C dengan nilai penurunan berat sebesar 15%. Penurunan berat berhenti ketika mencapai suhu 540°C sampai suhu 1000°C.



**Gambar 4.17** Grafik TGA Coating 2% Nanosilika

Dari gambar 4.17 dapat dilihat bahwa berat massa coating 2% nanosilika mengalami penurunan berat yang sangat cepat dalam kenaikan suhu dari 0°C sampai 120°C dengan nilai penurunan berat sebesar 8,6%. Kemudian penurunan berat mulai konstan dari 120°C sampai 370°C dengan penurunan berat sebesar 13%. Penurunan berat mulai melambat seiring dengan kenaikan suhu dari 370°C sampai 600°C dengan nilai penurunan berat sebesar 14,6%. Penurunan berat berhenti ketika mencapai suhu 600°C sampai suhu 1000°C.



**Gambar 4.18** Grafik TGA Coating 3% Nanosilika

Dari gambar 4.18 dapat dilihat bahwa berat massa coating 3% nanosilika mengalami penurunan berat yang sangat cepat dalam kenaikan suhu dari 0°C sampai 120°C dengan nilai penurunan berat sebesar 9%. Kemudian penurunan berat mulai konstan dari 120°C sampai 360°C dengan penurunan berat sebesar 13,4%. Penurunan berat mulai melambat seiring dengan kenaikan suhu dari 360°C sampai 560°C dengan nilai penurunan berat sebesar 15.2%. Penurunan berat berhenti ketika mencapai suhu 560°C sampai suhu 1000°C.

## 4.6. Karakterisasi Foto Struktur Mikro

### 4.6.1. Peperasi Sampel

Sebelum dilakukan pengujian foto struktur mikro sampel harus melewati serangkaian proses preparasi. Sampel yang sudah di coating harus dipotong dengan ketebalan maksimum 2 cm. Pada preparasi ini sampel yang akan diuji foto

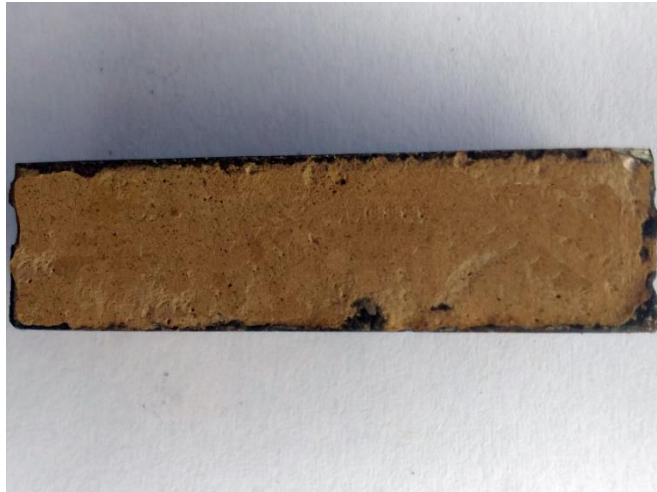
struktur mikro dipotong dengan ketebalan 1 cm. Pemotongan ini bertujuan supaya sampel tidak bertabrakan dengan lensa mikroskop dan dalam perbesaran mikroskop membutuhkan jarak dengan sampel untuk mengatur focus dari mikroskop sesuai dengan lensa perbesaran yang digunakan. Mesin gergaji baja digunakan dalam pemotongan sampel karena pemotongan mesin gergaji baja tidak menghasilkan panas berlebih dan tidak merubah struktur mikro dari sampel. Mesin gergaji baja dapat menghasilkan potongan yang rapi dan sesuai dengan ukuran sampel yang dibutuhkan. Kemudian sampel yang telah dipotong harus dilakukan pemolesan menggunakan mesin. Kemudian dilakukan pemolesan manual dengan menggunakan amplas. Pemolesan manual menggunakan amplas bertujuan untuk menghaluskan permukaan yang masih kasar.



**Gambar 4.19** Hasil Potongan Sampel 1% Nanosilika



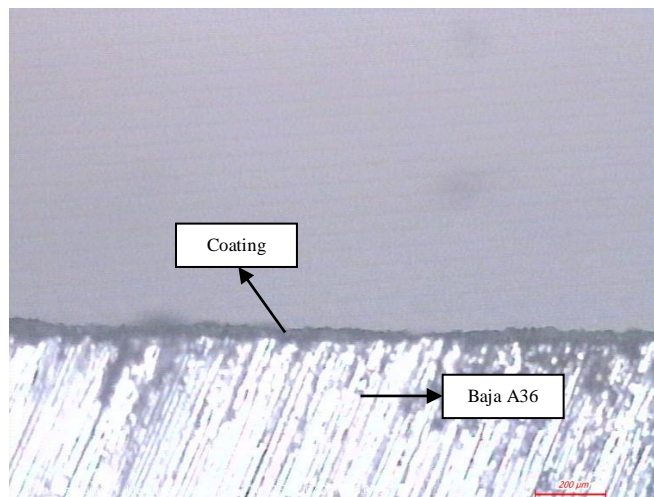
**Gambar 4.20** Hasil Potongan Sampel 2% Nanosilika



**Gambar 4.21** Hasil Potongan Sampel 3% Nanosilika

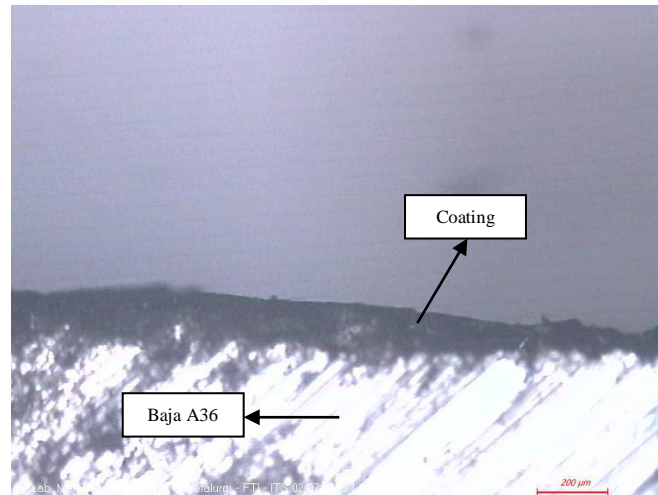
#### **4.6.2. Kesimpulan Foto Struktur Mikro Lapisan Sebelum Korosi**

Dari hasil pengamatan foto struktur mikro yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui lapisan antara baja ASTM A36 dengan coating nanosilika geopolimer sebelum dilakukan pengujian laju korosi pada 3 sampel. Foto mikro lapisan pada 3 sampel dilakukan dalam perbesaran 50 kali. Adapun hasil pengamatan lapisan antara baja dengan coating dan permukaan coating adalah sebagai berikut:

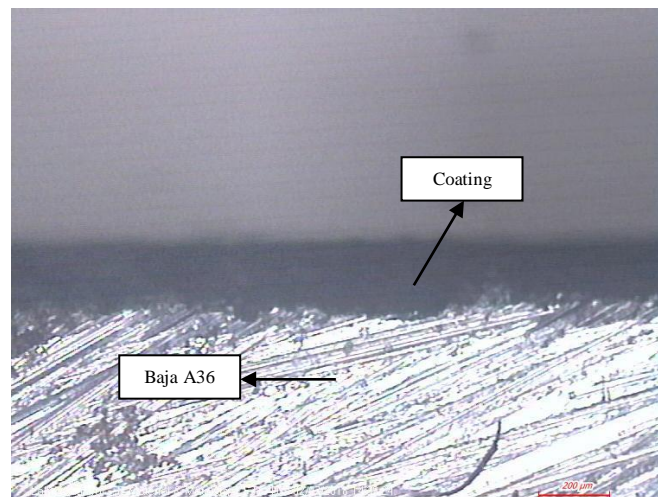


**Gambar 4.22** Foto Mikro Lapisan Sampel 1% Nanosilika Sebelum Korosi





**Gambar 4.23** Foto Mikro Lapisan Sampel 2% Nanosilika Sebelum Korosi



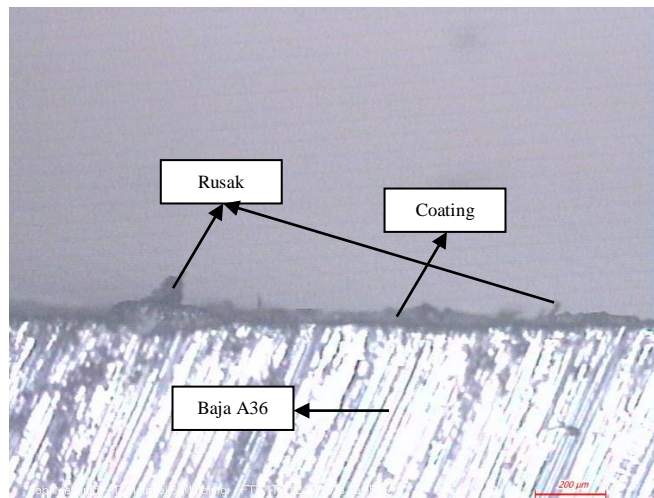
**Gambar 4.24** Foto Mikro Lapisan Sampel 3% Nanosilika Sebelum Korosi

Gambar 4.22 menunjukkan bahwa coating nanosilika dan geopolimer melekat pada baja A36. Namun ketebalan dari coating masih terlalu tipis dan belum sama rata pada setiap permukaannya. Permukaan baja A36 masih terlihat rata meskipun sudah dilakukan preparasi sebelum coating diaplikasikan. Gambar 4.23 menunjukkan coating nanosilika dan geopolimer juga sudah melekat pada baja A36. Ketebalan dari coating sudah bagus tetapi ketebalan coting masih belum sama rata dengan permukaan yang lainnya. Permukaan baja A36 terlihat ada bergelombang karena dilakukan preparasi sebelum coating diaplikasikan. Gambar 4.24 menunjukkan bahwa coating nanosilika dan geopolimer juga sudah melekat pada baja A36. Ketebalan dari coating sudah bagus dan rata disetiap permukaannya. Permukaan baja A36 terlihat ada yang bergelombang dan ada

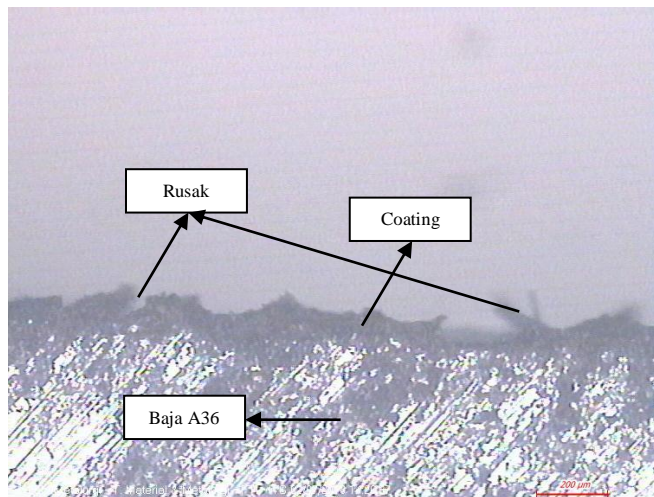
yang masih rata karena pada saat preparasi belum mencapai semua permukaan baja.

#### 4.6.3. Kesimpulan Foto Struktur Mikro Lapisan Sesudah Korosi

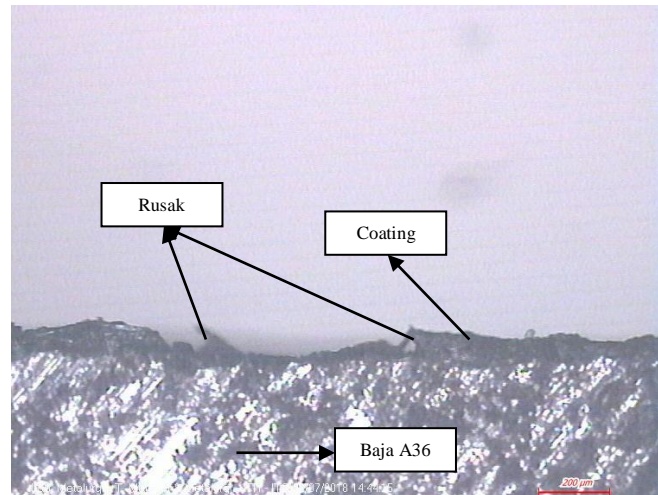
Dari hasil pengamatan foto struktur mikro yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui lapisan antara baja ASTM A36 dengan coating nanosilika geopolimer sesudah dilakukan pengujian laju korosi pada 3 sampel. Foto mikro lapisan pada 3 sampel dilakukan dalam perbesaran 50 kali. Adapun hasil pengamatan lapisan antara baja dengan coating adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.25** Foto Mikro Lapisan Sampel 1% Nanosilika Sesudah Korosi



**Gambar 4.26** Foto Mikro Lapisan Sampel 2% Nanosilika Sesudah Korosi



**Gambar 4.27** Foto Mikro Lapisan Sampel 3% Nanosilika Sesudah Korosi

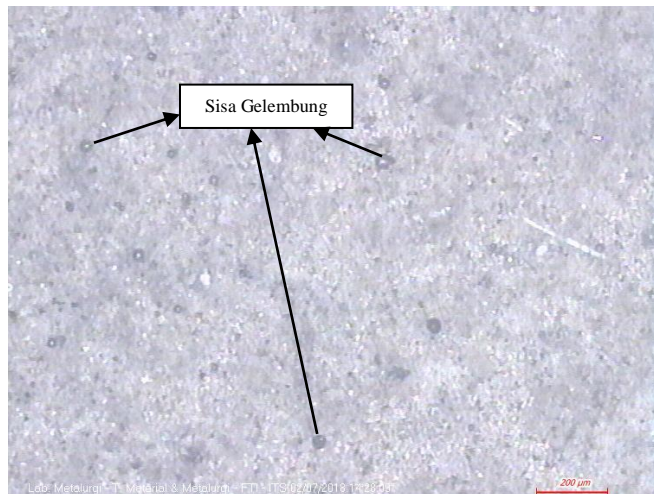
Gambar 4.25 menunjukkan bahwa coating nanosilika dan geopolimer mulai mengalami kerusakan setelah dilakukan pengujian laju korosi. Kerusakan tersebut mengakibatkan terkelupasnya coating yang melekat pada baja A36. Gambar 4.26 menunjukkan bahwa coating nanosilika dan geopolimer mengalami kerusakan setelah dilakukan pengujian laju korosi. Kerusakan tersebut mengakibatkan terkelupasnya coating dan lapisan coating menjadi bergelombang. Gambar 4.27 menunjukkan bahwa coating nanosilika dan geopolimer mulai mengalami kerusakan setelah dilakukan pengujian laju korosi. Kerusakan tersebut mengakibatkan terkelupasnya coating dan sebagian mengalami mengikisan lapisan coating.

#### **4.6.4. Kesimpulan Foto Struktur Mikro Permukaan Sebelum Korosi**

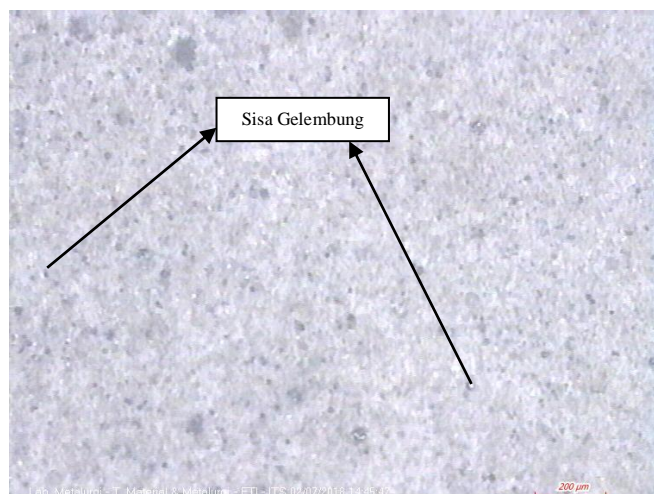
Dari hasil pengamatan foto struktur mikro yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui permukaan coating nanosilika geopolimer sebelum dilakukan pengujian laju korosi pada 3 sampel. Foto mikro lapisan pada 3 sampel dilakukan dalam perbesaran 50 kali. Adapun hasil pengamatan permukaan coating adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.28** Foto Mikro Permukaan Sampel 1% Nanosilika Sebelum Korosi



**Gambar 4.29** Foto Mikro Permukaan Sampel 2% Nanosilika Sebelum Korosi



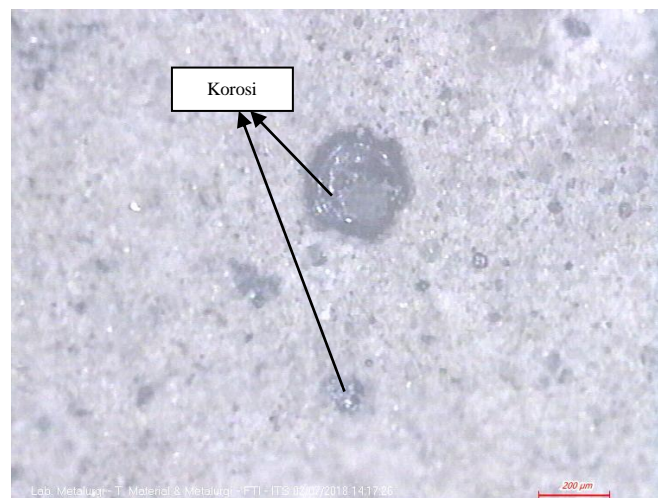
**Gambar 4.30** Foto Mikro Permukaan Sampel 3% Nanosilika Sebelum Korosi

Gambar 4.28, gambar 4.29, dan gambar 4.30 menunjukkan bahwa coating nanosilika dan geopolimer memiliki permukaan yang bagus. Dari ke tiga variasi

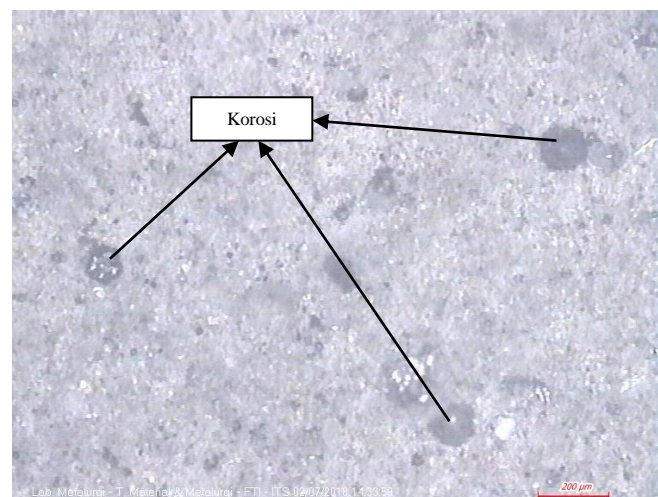
coating memperlihatkan bahwa hasil coating memiliki bentuk permukaan yang hampir sama. Yang membedakan hasilnya hanyalah gelembung-gelembung kecil yang tersisa pada saat pengecatan menggunakan kuas.

#### 4.6.5. Kesimpulan Foto Struktur Mikro Permukaan Sesudah Korosi

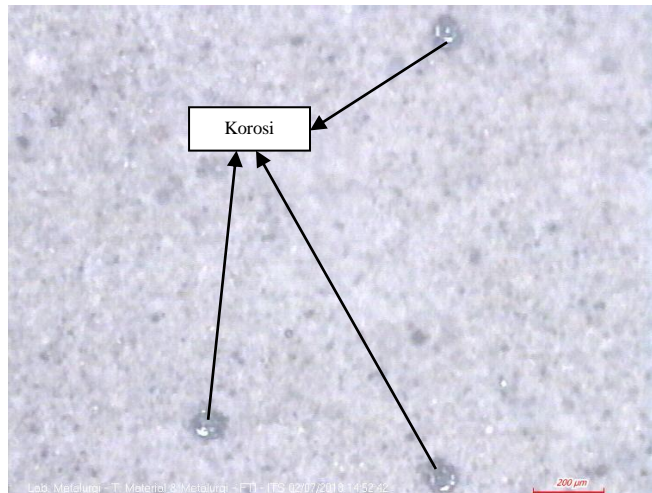
Dari hasil pengamatan foto struktur mikro yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui permukaan coating nanosilika geopolimer sesudah dilakukan pengujian laju korosi pada 3 sampel. Foto mikro lapisan pada 3 sampel dilakukan dalam perbesaran 50 kali. Adapun hasil pengamatan permukaan coating adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.31** Foto Mikro Permukaan Sampel 1% Nanosilika Sesudah Korosi



**Gambar 4.32** Foto Mikro Permukaan Sampel 2% Nanosilika Sesudah Korosi



**Gambar 4.33** Foto Mikro Permukaan Sampel 3% Nanosilika Sesudah Korosi

Gambar 4.31 menunjukkan bahwa coating nanosilika dan geopolimer mengalami korosi setelah dilakukan pengujian laju korosi. Korosi yang terjadi merupakan korosi jenis sumuran karena dilihat dari bentuk korosi yang berpusat pada satu titik dan memiliki diameter yang besar. Gambar 4.32 menunjukkan bahwa coating nanosilika dan geopolimer juga mengalami korosi setelah pengujian laju korosi. Korosi yang terjadi merupakan jenis korosi sumuran yang terjadi pada beberapa titik sekaligus dan memiliki diameter yang cukup besar. Gambar 4.33 menunjukkan bahwa coating nanosilika geopolimer juga mengalami korosi di beberapa titik sekaligus. Tetapi korosi yang terjadi memiliki diameter kecil dan merupakan jenis korosi sumuran.

## 4.7. Karakterisasi Laju Korosi

### 4.7.1. Metode Tafel

Metode tafel adalah pengujian terhadap sampel dengan cara menggunakan cairan NaCl untuk merendam sampel. Metode tafel digunakan untuk mengetahui kecepatan atau laju korosi yang terjadi pada sampel dalam lingkungan elektrolit baik tanpa atau dengan adanya inhibitor korosi. Pengukuran dengan metode tafel dilakukan dalam sel elektrokimia dengan system tiga elektroda, yaitu sampel baja karbon sebagai elektroda kerja, elektroda Pt sebagai elektroda bantu, dan elektroda kalomel sebagai elektroda pembanding. Prinsip polarisasi tafel adalah interaksi antar uka antara larutan uji dengan elektroda. Interaksi ini menimbulkan polarisasi sampel dan arus tertentu.

Dalam pengujian ini larutan yang digunakan adalah NaCl dengan konsentrasi 3,5%. Larutan NaCl yang digunakan merupakan perpaduan air dengan NaCl yang asam dimana larutan ini dapat mewakili air laut. Air laut yang asli memiliki kandungan yang lebih kompleks, namun komposisi larutan terbesar adalah NaCl. Kemudian sampel diikat menggunakan kabel serabut yang sudah dikuliti. Kabel tersebut digunakan untuk menghubungkan sampel dengan baja sebagai elektroda kerja. Ukuran sampel yang bereaksi langsung dengan larutan adalah 1x1 cm. Sampel selain ukuran 1x1 cm harus ditutup agar tidak bereaksi dengan larutan. Sampel tersebut ditutup dengan dua lapisan. Lapisan pertama adalah ditutup menggunakan isolasi listrik yang bertujuan untuk menutupi dan melindungi kabel yang melilit pada sampel dan menutupi sampel agar tidak bereaksi dengan larutan NaCl. Penutupan dengan isolasi listrik harus dilakukan secara rapat dan berulang kali. Lapisan kedua adalah ditutupi menggunakan lilin yang bertujuan untuk melindungi dan memperkuat lapisan. Pelapisan menggunakan lilin harus rapat dan kuat agar larutan tidak menembus lilin dan isolasi listrik sehingga memperluas luas permukaan sampel yang bereaksi dengan larutan NaCl. Dari hasil pengujian tafel dengan variasi nanosilika yang berbeda dapat dilihat bahwa tingkat korosi yang terjadi tidak jauh berbeda setiap variasi



**Gambar 4.34** Foto Sampel 1% Nanosilika Setelah Di Tafel



**Gambar 4.35** Foto Sampel 2% Nanosilika Setelah Di Tafel



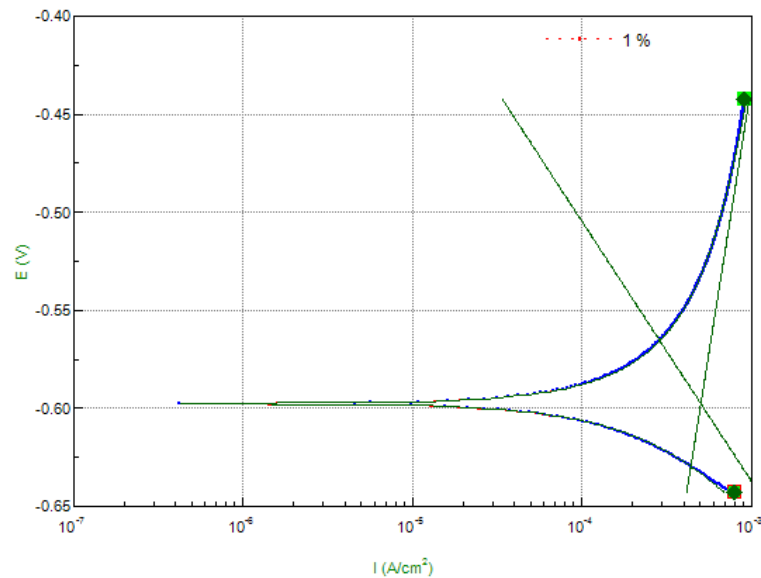
**Gambar 4.36** Foto Sampel 3% Nanosilika Setelah Di Tafel

Dari gambar 4.34, gambar 4.35, dan gambar 4.36 memperlihatkan bahwa korosi yang terjadi tidak jauh berbeda pada setiap variasi coating. Pada setiap variasi coating tidak menunjukkan kondisi korosi yang parah dan kondisi coating masih bagus. Hal ini menunjukkan bahwa coating yang baik akan sedikit berpengaruh pada korosi karena fungsi dari coating adalah sebagai pelindung agar sampel tidak langsung terkena air, zat terlarut dan udara.

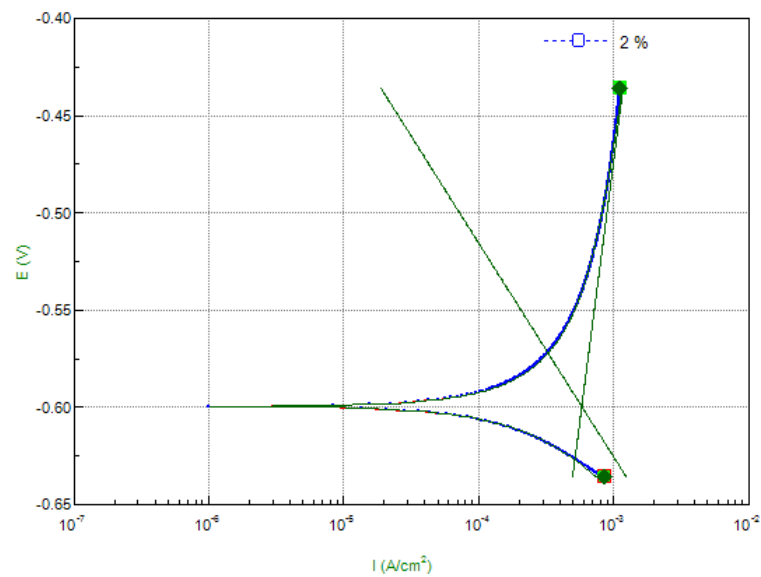


#### 4.7.2. Analisis Laju Korosi

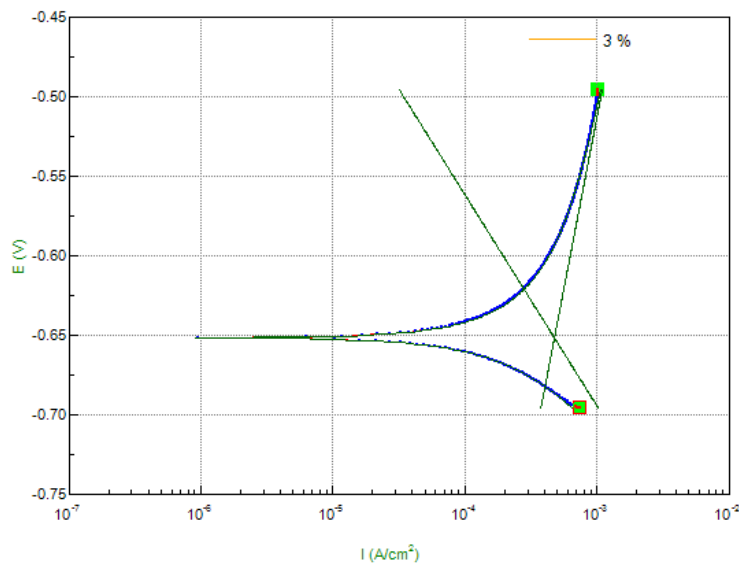
Pengujian polarisasi potensiodinamik dilakukan berdasarkan analisa tafel dapat diperoleh beberapa parameter korosi tetapi yang diambil pada penelitian ini hanya nilai laju korosinya. Nilai laju korosi sebanding dengan besarnya  $I_{corr}$  yang diperoleh dari ekstrapolasi grafik pengukuran rapat arus katoda dan anoda terhadap potensial. Berdasarkan pengukuran analisa tafel memperlihatkan bahwa sampel dengan variasi nanosilika 1%, 2%, dan 3% memiliki potensial dan current limit yang berbeda sehingga mempengaruhi laju korosinya.



**Gambar 4.37** Kurva Tafel Variasi 1% Nanosilika



**Gambar 4.38** Kurva Tafel Variasi 2% Nanosilika



**Gambar 4.39** Kurva Tafel Variasi 3% Nanosilika

Gambar 4.37, 4.38, dan 4.39 menunjukkan bahwa sampel uji nanosilika dan geopolimer mulai reaktif dengan cara bereaksi terhadap ion-ion yang melapisi permukaannya dengan lapisan-lapisan mineral. Kondisi ini terjadi saat sampel mengalami korosi pada potensial ( $E_{\text{corr}}$ ) dengan rapat arus tertentu ( $I_{\text{corr}}$ ). Pada kurva daerah potensial reaksi katodik, terjadi reaksi berupa reduksi oksigen. Pada kurva daerah potensial reduksi anodic, dimulai dari potensial korosi terjadi reaksi oksidasi yang cukup reaktif, ditandai dengan kurva polarisasi yang landai.

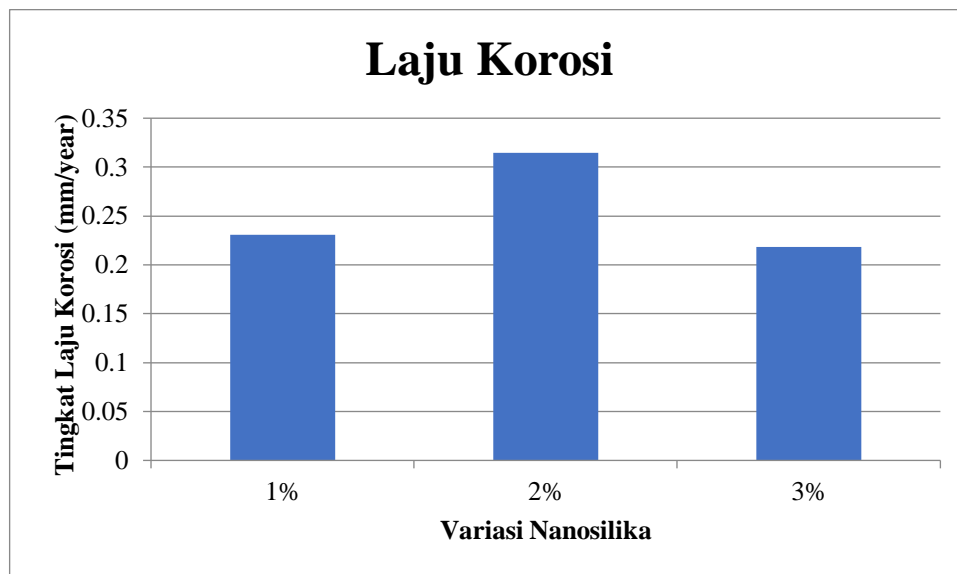
Pada potensial di atas potensial korosi ditandai dengan perpotongan garis ekstrapolasi anodic, kurva mulai menunjukkan gejala linear sehingga bergerak naik relative tegak lurus dalam daerah potensial 50 mV sampai 200 mV di atas potensial korosinya. Pada densitas arus dimana kurva relatif tegak lurus, mulai terbentuk lapisan pasif yang intensitasnya semakin tinggi seiring kenaikan potensial. Hasil pengukuran dengan teknik ekstrapolasi tafel, untuk berbagai variasi nanosilika tercantum pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Pengaruh Variasi Nanosilika Terhadap Laju Korosi Dengan Pengukuran Ekstrapolasi Tafel

Sampel	Laju korosi mm/year
1% nanosilika	0,2309
2% nanosilika	0,3148
3% nanosilika	0,2185

### 4.7.3. Kesimpulan Laju Korosi

Perbandingan hasil laju korosi pada variasi yang berbeda menunjukkan bahwa factor utama terjadinya korosi apabila kandungan air dan oksigen sama, maka larutan elektrolit ataupun zat terlarut yang dapat memicu sifat asam dan membuat sampel menjadi terkorosi. Variasi nanosilika yang berbeda-beda menjadi factor utama terjadinya perbedaan baik tampilan secara fisik korosi dan laju korosi pada sampel. Berikut adalah gambar yang menunjukkan nilai korosi pada setiap variasi nanosilika:



**Gambar 4.40** Grafik Perbedaan Laju Korosi Pada Setiap Variasi

Laju korosi yang terjadi pada variasi nanosilika 1% pada coating nanosilika dan geopolimer termasuk dalam kategori good dengan laju korosi berkisar antara 0,1 – 0,5 mm/year. Laju korosi yang terjadi pada variasi nanosilika 2% pada coating nanosilika dan geopolimer termasuk dalam kategori good dengan laju korosi berkisar antara 0,1 – 0,5 mm/year. Kenaikan laju korosi yang terjadi pada variasi 2% disebabkan oleh proses pelapisan yang kurang baik sehingga lapisan tersebut masih menyisakan gelembung-gelembung udara pada saat pelapisan. Pada saat cat mulai mengering, gelembung-gelembung udara mulai pecah dan mengakibatkan terbentuknya lubang-lubang kecil yang dapat mempercepat laju korosi. Laju korosi yang terjadi pada variasi nanosilika 3% pada coating nanosilika dan geopolimer termasuk dalam kategori good dengan laju korosi berkisar antara 0,1 – 0,5 mm/year. Berikut adalah tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi.

**Table 4.5** Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Laju Korosi (Fontana, 1987)

Relative Corrosion Resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	$\mu\text{m}/\text{year}$	nm/year	pm/year
Outstanding	<1	<0.02	<25	<2	<1
Excellent	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
Good	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	5-20
Fair	20-50	0.5-1	500-1000	50-150	20-50
Poor	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
Unacceptable	>200	>5	>5000	>500	>200

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dan hasil analisis penelitian dari ketahanan coating nanosilika dan geopolimer sebagai *heat resistant* pada ASTM A36 yang diperoleh, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Komposisi terbaik dari coating nanosilika dan geopolimer terdapat pada variasi 3% nanosilika dengan ketahanan panas mencapai suhu 560°C dengan laju korosi sebesar 0,2185 mm/year.
2. Hasil analisis coating nanosilika dan geopolimer dengan karakterisasi *Thermogravimetry Analysis* (TGA) menunjukkan kurva TGA terjadi penurunan berat seiring dengan meningkatnya suhu pemanasan. Hasil kurva TGA menunjukkan bahwa coating dengan variasi 1% nanosilika memiliki ketahanan panas mencapai suhu 540°C, sedangkan variasi 2% nanosilika memiliki ketahanan panas mencapai suhu 600°C, dan coating dengan variasi 3% memiliki ketahanan panas mencapai suhu 560°C.
3. Dari hasil analisis laju korosi yang dilakukan pada coating nanosilika dan geopolimer dengan variasi 1%, 2% dan 3% nanosilika menunjukkan ketahanan korosi terbaik terdapat pada variasi 3% nanosilika. Hal ini dibuktikan dengan laju korosi yang lebih baik dibandingkan variasi 1% dan 2% dengan nilai laju korosi 0,2185 mm/year.

#### 5.2. Saran

Berdasarkan hasil yang telah dicapai penulis dalam penelitian ini, didapatkan beberapa saran untuk pengembangan kedepannya yaitu sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan modifikasi lebih lanjut tentang sintesis nanosilika dari bahan yang berbeda dan metode yg lainnya.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi nanosilika.
3. Perlu dilakukan kajian aplikasi coating nanosilika dan geopolimer pada material yang lainnya.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 363, (1992), "State of the Art Report on High-Strength Concrete", American Concrete Institute, Detroit, USA.
- Assaedi H, Shaikh, dan Low. 2015. Characteristic of Nanosilica-Geopolymer Nanocomposites and Mixing Effect. *International Journal of Chemical and Molecular Engineering*, Vol:9, No:12.
- Bappenas. 2015. Laporan Akhir Kajian Ketercapaian Target DMO Batubara Sebesar 60% Produksi Nasional Pada Tahun 2019. Jakarta
- Bragmann, C.P and Goncalves, M.R.F. 2006. Thermal Insulators Made With Rice Husk Ashes: Production and Correlation Between Properties and Microstructure. Department of materials, school of engineering, federal university of riogrande do sul, Brasil.
- Chandra, Motik. 2003. Menyongsong Ombak Laut. Genta Sriwijaya. Jakarta. halaman. 17-18
- Davidovits, J. (2002). 30 Years of successes and failures in geopolymer applications, market trends and potential breakthroughs. Proceeding at the Geopolymer 2002 Conference, Melbourne, Australia.
- Djaprie, S., 1995, Ilmu dan Teknologi Bahan, edisi ke 5, Erlangga, Jakarta, 483-510.
- Duxson, P., & Provis, J. L. (2008). *Designing precursors for geopolymer cements* *Journal American Ceramic Society*. Vol: 91 (12), p: 3864-3869.
- Fallah, F., K. Manouchehr, E. Morteza. 2017. *Improving the mechanical properties of waterborne nitrocellulose coating using nano-silica particles*. Department of Polymer Engineering and Color Technology. Amirkabir University of Technology Tehran Polytechnic. 424 Hafez Ave. Tehran 15875-4413. Iran
- Fernandez, B. R. 2012. Sintesis Nanopartikel SiO<sub>2</sub> Menggunakan Metoda Sol-gel Dan Aplikasinya Terhadap Aktifitas Sitotoksik Sel Dalam Review Jurnal Nanoteknologi. Review Jurnal Nanoteknologi. Padang: Jurusan Kimia, Program Pascasarjana Universitas Andalas.
- Fontana, M, G, 1987, *Corosion Engineering*, McGraw-Hill book co-Singapore

- Goldstein, J. I., D. E. Nwberry., P. Echlin., D. C. Joy., C. Fiori., and E. Lifshin. 1981. *Scanning Elctron Microscopy and X-Rays Microanalysis*. A Textbook for Biologist. Materials Scientists and Biologists. New York.
- Goni, S., A. Guerrero, M.P. Luxan, A. Macias., 2003, *Activation of The Fly ash Pozzolanic Reaction by Hydrothermal Condition*, Chemistry concrete Research, Vol.II (9), Page : 1399-1405
- Hamdila, J.D. 2012. Pengaruh Variasi Massa Terhadap Karakteristik Fungsionalitas dan Termal Komposit MgO-SiO<sub>2</sub> Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Harijono, 2006. Fly ash dan Pemanfaatannya, Seminar Nasional Batubara Indonesia. Yogyakarta : UGM.
- Harsanti, D. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Boron Karbida dari Asam Borat, Asam Sitrat dan Karbon Aktif. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*. Vol. 11. No 1. Hal. 29-40.
- Husen, Masita., Akifah, Nur., Hajar, Sitti., Junaedi, Subaer., 2015, Sintesis dan Karakterisasi Nanosilika Geopolimer Pelapis Kayu Tahan Panas dan Api, Fakultas MIPA Universitas Negeri Makassar, Makassar
- Michaá, K. Kinga, M. Janus. 2016. *Thermal insulation and thermally resistant materials made of geopolimer foams*. Cracow University of Technology. Faculty of Mechanical Engineering. Institute of Materials Engineering. Warszawska 24.31-155 Cracow. Poland
- Motik, 2003, *Serba Serbi Konsultasi Hukum Maritim*, IND-HILL-CO, Jakarta.
- Nicoletta T., A. R. Boccaccini. 2017. *Fly ash-based geopolymers containing added silicate waste. A review* Institute of Biomaterials Department of Materials Science and Engineering. University of Erlangen-Nuremberg. Cauerstr 6, 91058 Erlangen. Germany
- Nikolov, A., R. Ivan, Henk N. 2017. *Geopolymer materials based on natural zeolite*. Department of Building Materials and Insulations. Faculty of Civil Engineering, University of Architecture. Civil Engineering and Geodesy. “HristoSmirnenski” 1, Sofia. Bulgaria
- Palomo, A., Grutzeck, M.W., & Blanco, M.T. (1999). Alkali-activated fly ashes: A cement for the future. *Cem. Conc. Res.* 29(8):1323-9.



- Rachman, A., E. FrankdanS. Pius. 2012. Karakterisasi Pasir Silika Cibadak Sukabumi Sebagai Bahan Baku Pembuatan Ramming Mix Silica. Bandung
- Rafael S. PeresI, Alessandra F. BaldisseraI, Elaine Armelin, Carlos Alemán, Carlos A. FerreiraI, 2014, *Marine-friendly antifouling coating based on the use of a fatty acid derivative as a pigment*, Materials Research, Departamentd 'Enginyeria Química, ETSEIB, Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Diagonal 647, 08028 Barcelona, Spain
- Rahman, I. A., & V. Padavettan. 2012. Synthesis of Silica Nanoparticles by Sol-Gel: Size-Dependent Properties, Surface Modification, And Applications In Silica-Polymer Nanocomposites In Review. Journal of Nanomaterials, Vol. 2012: 1-15.
- Reed, S.J.B. 1993. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology Second Edition*. Zone Naylor. Cambridge University Press.
- Rieger, H.P. 1992. Electrochemistry, 2nd ed. Chapman and Hall Inc. New York. 412-421.
- Sampson, A.R. 1996. *Scanning Electron Microscopy: Advanced Research System*. www.sem.com.
- Scott, R. P. W. 1993. *Silica and Bonded Phase*. Chicester UK : John Wiley and Sons Ltd.
- Shakhmenko, G., Inna Juhnevica, Aleksandrs Korjakins. 2013. *Influence of Sol-Gel Nanosilica on Hardening Processes and Physically-Mechanical Properties of Cement Paste*. Riga Technical University.Kalkust. 1, Riga, Latvia, LV-1658. Latvia
- Sidik, Umar. 2012.Sintesis Metakaolin Dan Abu Terbang Sebagai Prekursor Geopolimer. Skripsi. Departemen Teknik Metalurgi Dan Material. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok
- Siswanto, M. Hamzah, Mahendra, &Fausiah. 2012. Perencanaan Nanosilika Berbahan Baku Silika Lokal Sebagai Filler Kompon Karet Rubber Air Bag Peluncur Kapal Dari Galangan. Prosiding In SIN as 2012. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.

- Smallman, R. E. and Bishop, R. J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Edisi ke enam. Terjemahan Sriati Djaprie. Erlangga. Jakarta.
- Subama, E. 2010. *Pengaruh Penambahan 20% Berat Fly Ash Terhadap Sifat Fisis Keramik Tradisional Berbasis Mineral Lempung Dengan Suhu Penyinteran 1100°C*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Suci, Farradina Choria, 2012, *Pemanfaatan Abu Layang Batubara (Fly ash) teraktivasi sebagai adsorben ion logam Pb<sup>2+</sup>*, Skripsi, Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Surabaya
- Suherman. 2009. *Karakteristik Fungsionalitas dan Termal Bahan Keramik Cordierite (Mg<sub>2</sub>Al<sub>4</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>18</sub>) Berbasis Silika Sekam Padi Akibat Perlakuan Kalsinasi*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Sukandarrumidi. 2009. *Batubara dan Pemanfaatannya*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Sumbono, Aung. 2010. *Thermogravimetric Analysis*. Palembang: Universitas Sriwijaya
- Surdia, Tdan Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradanya Pramita. Jakarta.
- Vispute, Tushar, "Pyrolysis Oils: Characterization, Stability Analysis, and Catalytic Upgrading to Fuels and Chemicals" (2011). Open Access Dissertations. 349
- Wardani, 2008. *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang.
- Wijaya, K. 2010. *Nanomaterial Berlapis Dan Berpori: Sintesis, Karakterisasi Dan Perannya Sebagai Material Multi Fungsi*. Yogyakarta: UGM.
- Wulandari, A. 2011. *Studi Ketahanan Korosi H<sub>2</sub> Pada Baja Karbon Rendah Yang Mengalami Canai Hangat 600 oC*. (Skripsi). Jurusan Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia Depok. Jawa Barat
- Yudha K, Irfan S, dan Amiadji. 2015. *Analisa Laju Korosi pada Pelat Baja Karbon dengan Variasi Ketebalan Coating*. Jurnal Teknik. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Surabaya

Zawrah, M. F. A. A. El-Kheshen, & H. M. Abd-El-Aal. 2009. Facile and Economic Synthesis of Silica Nanoparticles. Journal of Ovonic Research, Vol. 5, No. 5: 129-133.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Fendy Arga Discara Bataviandi, anak bungsu dari dua bersaudara pasangan Ibu asal Magetan dan Ayah asal Ngawi. Lahir 22 tahun lalu tepatnya tanggal 27 November di desa Keraswetan, Ngawi. Penulis menghabiskan masa kecil di SDN Keraswetan, masa remaja di SMPN 2 Karangrejo, Magetan dan masa ABG di SMAN 2 Ngawi. Tak hanya aktif di kelas, penulis pun aktif dalam berbagai kegiatan di Pramuka SMAN 2 Ngawi yang biasa dikenal Rakasmada. Penulis pernah menjuarai berbagai perlombaan baris berbaris baik tingkat kecamatan maupun kota. Tak hanya itu, dalam mengekspresikan hobinya yaitu *activity outdoor*, penulis sering menghabiskan *weekend* dengan mendaki berbagai gunung di Jawa Timur.

Setelah tamat SMA tahun 2014, penulis melanjutkan pendidikannya di Departemen Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis tergabung ke dalam UKM Pramuka ITS dan berbagai kegiatan sosial kemanusiaan lainnya. Penulis pernah menjadi salah satu Tim PKM terdani 2015 bersama sang kakak.

Dalam mengembangkan minat dan bakat, bersama teman-temannya di Pramuka ITS, penulis menjadi salah satu yang terbaik dalam keilmuan *rapelling* dan penjelajahan. Penulis dikenal sebagai seseorang yang teliti dengan hal-hal berbau teknis dan terstruktur sehingga tak jarang ditunjuk sebagai tim perlengkapan di berbagai kegiatan Pramuka ITS dan tim *surveyor* dalam kegiatan orientasi medan yaitu kegiatan penjelajahan selama 5 hari menyusuri hutan dan pantai tiap tahunnya di Pramuka ITS.

Dalam kehidupan sosial, penulis dikenal sebagai pribadi yang introvert namun penyabar dan penyayang serta pendengar yang baik sehingga tak jarang menjadi tempat meminta saran dari rekan-rekannya.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*