

Analisis Pengaruh Komposisi *Coating* Geopolimer terhadap Adhesivitas *Coating*

Gusma Hamdana Putra¹, Firman Bakti Prasetyo², Wiwik Dwi Pratiwi^{2*}, Moch. Karim Al Amin², Dika Anggara²

¹ Program Studi Teknik Bangunan Kapal, ² Program Studi Teknik Pengelasan,
Jurusan Teknik Bangunan Kapal,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, 6011
Email: wiwik.pratiwi@ppns.ac.id

Abstrak

Cerobong asap yang ada dalam industri banyak terbuat dari baja. Namun, cerobong asap dengan menggunakan material baja rentan terhadap korosi karena terpapar temperatur tinggi secara terus menerus. Korosi ini diakibatkan adhesivitas coating pada substrat kurang baik karena temperatur panas. Oleh karena itu, memerlukan jenis coating alternatif untuk menggantikan coating. Alternatif coating yang digunakan yaitu coating geopolimer. Coating geopolimer yaitu jenis coating anorganik padat yang dihasilkan dari proses reaksi kimia antara larutan basa dan aluminosilikat proses ini dinamakan dengan geopolimerisasi. Geopolimer merupakan material yang baik untuk pelapisan perlindungan berbagai permukaan termasuk pada logam karena memiliki sifat mekanis dan ketahanan api yang baik. Penelitian ini menggunakan coating geopolimer base fly ash. Pada proses coating komposisi coating sangat berpengaruh terhadap daya rekat coating. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan variasi komposisi dengan kandungan Si/Al 3,3 mol, 3,9 mol, dan 4,8 mol. Dari hasil penelitian didapatkan daya rekat coating paling tinggi dengan menggunakan kandungan Si/Al yaitu 4,84 MPa. Sedangkan pada kandungan Si/Al 3,3 mol memiliki daya rekat yang paling rendah yaitu 3,12 MPa. Daya rekat coating geopolimer dipengaruhi oleh Si/Al dan kadar air dalam coating.

Kata Kunci: *Coating Geopolimer, Si/Al, Fly Ash*

Abstract

Many industrial chimneys are made of steel. However, chimneys using steel material are susceptible to corrosion because they are exposed to high temperatures continuously. This corrosion is caused by poor coating adhesion to the substrate due to hot temperatures. Therefore, it requires an alternative type of coating to replace the coating. The alternative coating used is geopolymer coating. Geopolymer coating is a type of solid inorganic coating produced from a chemical reaction process between a base solution and aluminosilicate. This process is called geopolymerization. Geopolymer is a good material for protective coating of various surfaces including metal because it has good mechanical properties and fire resistance. This study used fly ash base geopolymer coating. In the coating process, the composition of the coating greatly affects the adhesion of the coating. Therefore, this study used variations in composition with Si/Al content of 3.3 mol, 3.9 mol, and 4.8 mol. From the results of the study, the highest coating adhesion was obtained using Si/Al content of 4.84 MPa. Meanwhile, the Si/Al content of 3.3 mol has the lowest adhesive power of 3.12 MPa. The adhesive power of geopolymer coating is influenced by Si/Al and water content in the coating.

Keywords: *Geopolymer Coating, Si/Al, Fly Ash*

1. Pendahuluan

Dalam dunia fabrikasi dan konstruksi baja karbon adalah bahan baku utama dalam pembuatan struktur bangunan konstruksi. Baja karbon memiliki sifat kuat, lunak, ulet dan mudah dilas. Dalam dunia fabrikasi dan konstruksi baja produk yang dihasilkan harus terus ditingkatkan guna menjaga kualitas. Selain merupakan dari standar kelayakan produksi, peningkatan mutu juga menjadi cara sebuah perusahaan untuk menaikkan daya tarik pada dunia fabrikasi dan konstruksi. Dalam menjaga sebuah kualitas produk sebuah perusahaan harus mengacu sesuai pada *standart* dan prosedur. Untuk menghasilkan produk yang berkualitas tinggi perusahaan juga memperhatikan langkah-langkah seperti *material control*, *dimension fit up*, pengelasan, dan proses *finishing/painting (coating)*.

Cerobong asap merupakan struktur bangunan yang penting dalam sebuah pabrik industri. Cerobong asap merupakan saluran untuk membuang gas-gas buangan hasil dari proses produksi atau pembakaran bahan bakar. Cerobong asap memiliki fungsi sebagai saluran pembuangan gas dan debu ke atas sampai lapisan atmosfer dan pembentukan aliran udara yang sesuai untuk memastikan pasokan udara ketungku atau menghilangkan gas agresif dari ventilasi ruangan. Salah satu jenis cerobong asap yang digunakan dalam pabrik industri yaitu terbuat dari baja. Penggunaan material baja memiliki keuntungan proses pengerjaannya cepat, memiliki berat yang ringan, dan proses fabrikasi yang mudah (Pisarek, 2019). Namun dengan menggunakan material baja cerobong asap rentan terhadap korosi yang disebabkan oleh temperatur tinggi dari hasil pembuangan produksi secara terus menerus dan adhesivitas *coating* kekuatannya menurun akibat terkena panas. Cerobong baja adalah benda yang sangat rentan terkena pengaruh korosif. Oleh karena itu, perhatian khusus harus diberikan pada masalah ini pada tahap desain cerobong asap serta pengoperasiannya (Pisarek, 2019). Untuk mencegah terjadinya korosi yang cepat perlu dilakukan *coating* pada cerobong asap menggunakan *coating* yang tahan pada temperatur tinggi.

Coating merupakan proses *finishing* yang penting dalam suatu fabrikasi sebelum produk di rilis. *Coating* memiliki fungsi memberi lapisan *protective* sehingga produk lebih tahan lama. *Coating* memiliki 2 jenis yaitu *liquid coating* dan *concrete coating*. *Concrete coating* merupakan pelapisan yang menggunakan beton dan salah satunya yaitu *geopolymer coating*.

Coating geopolimer yaitu jenis *coating* anorganik padat yang dihasilkan dari proses reaksi kimia antara larutan basa dan aluminosilikat proses ini dinamakan dengan geopolimerisasi. Geopolimer merupakan bahan yang terbuat dari alumina silica yang memiliki sifat dan kandungan yang luar biasa terhadap ketahanan korosi dan ketahanan api. Geopolimer juga merupakan material yang sangat baik untuk pelapisan perlindungan berbagai permukaan termasuk pada logam karena memiliki sifat ketahanan mekanis dan ketahanan api yang sangat baik (Yong *et al.*, 2007). *Fly ash*, *metakaolin*, *silica fume*, *trass*, dan bahan-bahan lainnya adalah contoh aluminosilikat. Dalam pembuatan geopolimer, perlu memperhatikan komposisi dan sifat fisik bahan baku aluminosilikat. Perbedaan perbandingan *silica fume* pada bahan baku aktivator akan menghasilkan rantai polimer dengan karakteristik yang berbeda. Oleh karena itu, sifat termal dari produk geopolimer yang dihasilkan juga akan bervariasi (Assi *et al.*, 2016).

2. Metode Penelitian

2.1 Proses Sandblasting

Sandblasting merupakan suatu proses pengerjaan logam yang mana permukaan logam tersebut dibuat menjadi kasar dan rata dengan sudut kekasaran dan laju pengikisan tertentu, pengerjaan ini dilakukan dengan menyemprotkan bahan *abrasive* ke material. Setelah dilakukan proses sandblasting selanjutnya yaitu proses inspeksi hasil *sandblasting*. Proses ini bertujuan untuk memastikan kebersihan material sesuai dengan tingkat kebersihan pada SSPC-VIS1. SSPC-VIS1 merupakan panduan *surface preparation* yang digunakan untuk menilai tingkat kebersihan material setelah dilakukan proses *sandblasting*. Hasil inspeksi kemudian dievaluasi menggunakan sistem *grading*, dan dalam kasus ini spesimen mencapai grade SP 10. Grade SP 10 menunjukkan bahwa spesimen memiliki tingkat kebersihan yang sangat tinggi, dengan warna mendekati putih dan hanya sekitar 5% kontaminasi berupa debu, *mill scale*, karat, dan bekas cat lama yang masih tersisa dari total permukaan yang dibersihkan. Kebersihan material setelah disandblasting dapat dilihat pada Gambar1.dibawah ini.



Gambar 1. Standar Visual SP 10 Pada SSPC-VIS 1

Setelah dilakukan inspeksi visual padahasil sandblasting selanjutnya proses pengukuran kekasaran pada permukaan setelah di sandblasting. Kekasaran permukaan spesimen akibat proses sandblasting memiliki tujuan utama yaitu untuk mengikat lapisan coating yang berada di atasnya. Sehingga lapisan *coating* yang diaplikasikan memiliki daya rekat yang cukup kuat terhadap soesimen material yang dilapisi *coating* tersebut. Dengan meningkatkan area kontak dan penempelan, kekasaran permukaan ini menciptakan dasar yang solid untuk ikatan mekanis yang kuat antara material pelapis dan substrat logam. Dalam pengujian ini menggunakan standart yang telah ditetapkan dalam ASTM D4417C. Berikut ini hasil pengukuran kekasaran bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan (μm)		
Komposisi 1	Komposisi 2	Komposisi 3
86	88	90

2.2 Proses Coating

Pada penelitian ini menggunakan 3 variasi komposisi yang berbeda. Bahan dasar coating geopolimer pada penelitian ini menggunakan bahan dasar *fly ash* (abu terbang) dan *silica fume*. Tiga variasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. berikut ini.

Tabel 2. Komposisi Coating Geopolimer

<i>Fly ash</i> (g)	<i>Silica fume</i> (g)	<i>Water Solid</i>	Si/Al (molar)
90	10	0,28	3,3
80	20	0,28	3,9
70	30	0,28	4,8

Sebelum dilakukan proses coating terlebih dahulu membuat larutan alkali aktivator sebagai bahan perekat coating. Pada penelitian ini alkali activator terbuat dari natrium hidroksida (NaOH) dan juga *silica fume*. Berikut ini komposisi activator dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Bahan Aktivator

NaOH (g)	<i>Silica fume</i> Aktivator (g)	<i>Aquades</i> (g)
10,2	7,6	28
10,2	7,6	28
10,2	7,6	28

Pembuatan cairan alkali activator base *silica fume* ini yaitu dengan cara mencampurkan *aquades* dengan natrium hidroksida terlebih dahulu. Setelah larutan tersebut kurang lebih 2 menit untuk memastikan NaOH benar-benar larut. Setelah itu masukan *silica fume* dan aduk lagi hingga benar-benar tercampur. Selanjutnya larutan alkali activator tersebut dipanaskan pada temperatur 70°C selama 12 jam yang bertujuan larutan aktivator menjadi homogen.

Setelah aktivator selesai dibuat maka bisa dilanjutkan dengan proses pengaplikasian *coating* pada substrat. Proses coating dilakukan dengan mencampurkan *fly ash*, *silica fume*, dan alkali aktivator menjadi satu yang kemudian di aduk sampai rata. Proses coating ini dilakukan dengan cara dikuas. Berikut dokumentasi proses coating dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Coating

Setelah dilakukan proses coating, selanjutnya coating dikeringkan selama 7 hari. Tujuan curing time ini untuk memastikan coating benar-benar kering dan daya rekat bisa maksimal.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Hasil Pengujian Dry Film Thickness pada Coating

Setelah dilakukan proses coating pada substrat dan curing time coating minimal 7 hari yang bertujuan untuk memastikan coating benar-benar kering. Selanjutnya dilakukan pengujian dry film thickness untuk mengetahui ketebalan coatingnya. Proses pengujian dry film Thickness dapat dilihat pada Gambar 3 Berikut ini.



Gambar 3. Pengujian Dry Film Thickness

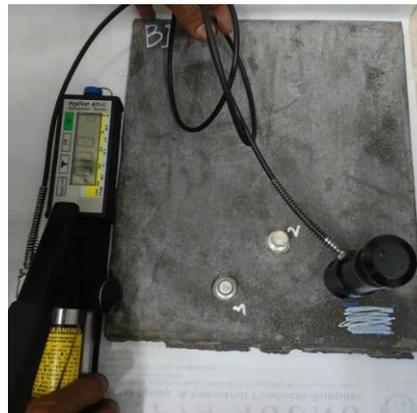
Pengujian *dry film thickness* setiap spesimen diambil 3 titik yang kemudian dirata-rata. Pada penelitian ini ketebalan *coating* yang diinginkan yaitu $1700\mu\text{m}$ - $2000\mu\text{m}$. Berikut merupakan hasil pengujian *dry film thickness* dapat dilihat Tabel 4. Dibawah ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian Dry Film Thickness

Kode Spesimen	Ketebalan 1 (μm)	Ketebalan 2 (μm)	Ketebalan 3 (μm)	Rata-rata DFT (μm)
A1	1892	1850	1882	1875
A2	1982	1932	1934	1949
A3	1934	2012	1918	1955

3.2. Pengujian Adhesivitas Coating

Setelah dilakukan pengujian DFT selanjutnya dilakukan pengujian daya rekat pada *coating*. Metode yang digunakan yaitu *Pull off Test Adhesion*. Pengujian pull off test tiap spesimen diambil 3 titik dengan menggunakan *dolly* diameter 20mm. Berikut proses pengujian *pull off test* dapat dilihat pada Gambar 4. Dibawah ini.



Gambar 4. Pengujian *Pull Off Test*

Pada pengujian *pull off test* ini didapatkan dua data yaitu data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif yaitu data berupa nilai yang didapatkan dari kekuatan daya rekat *coating* dengan satuan MPa. Sedangkan untuk data kualitatif yaitu data berupa hasil visual yang didapatkan dari bekas cabutan *dolly* pada saat pengujian. Dari data kualitatif bisa diamati *failure* apa yang terjadi setelah dilakukan pengujian. Sehingga didapatkan hasil pengujian seperti berikut.

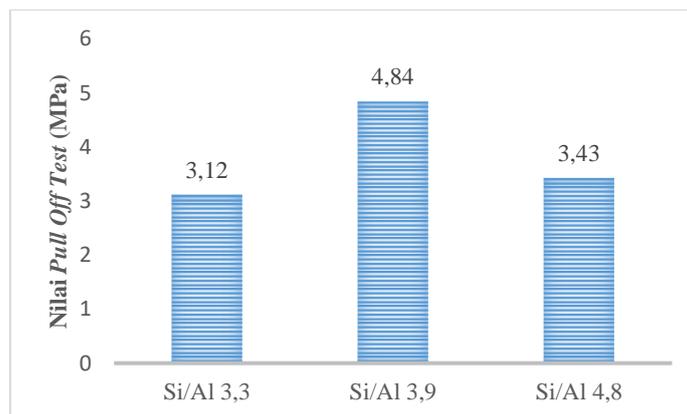
3.2.1 Hasil Kuantitatif

Hasil kuantitatif dari pengujian *pull off test* dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Hasil Kuantitatif Pengujian *Pull Off Test*

Nama Spesimen	Kode Spesimen	Pengujian <i>Pull Off Test</i> Sebelum Dipanaskan			Rata – Rata (MPa)
		<i>Pull Off Strength</i> (MPa)	<i>Pull Off Strength</i> (MPa)	<i>Pull Off Strength</i> (MPa)	
FA90SF10	A1	3,37	2,9	3,08	3,12
FA80SF20	A2	5,10	5,15	4,28	4,84
FA70SF30	A3	3,73	3,48	3,08	3,43

Dari hasil kuantitatif tersebut, dapat dijadikan menjadi diagram batang supaya lebih mudah dalam menganalisis. Diagram batang dari hasil kuantitatif pengujian *pull off test* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 5. Rata-Rata Nilai *Pull Off Test*

Dapat dilihat pada Tabel 2. dan Gambar5. diatas didapatkan rata-rata nilai adhesivitas pada komposisi dengan Si/Al 3,3 mol sebesar 3,12 MPa. Pada komposisi dengan kandungan Si/Al 3,9 sebesar 4,84 MPa. Sedangkan pada komposisi coating dengan kandungan Si/Al 4,8 memiliki nilai adhesivitas sebesar 3,43 MPa. Dengan menggunakan kandungan Si/Al yang berbeda-beda maka, didapatkan nilai adhesivitas yang berbeda juga. Meningkatnya Si/Al rata-rata nilai daya rekat *coating* meningkat dikarenakan ikatan Si/Al menyatu dengan baik pada substrat adanya perbedaan Si/Al membuat nilai adhesivitas berbeda-beda (Rong dkk., 2021).

Pada spesimen dengan kandungan Si/Al 3,3 mol cairan coating sangat encer dan pada coating ini memiliki nilai adhesivitas yang paling rendah. Menurut Rong dkk., (2021) bahwa kadar air dalam proses *coating* geopolimer

berpengaruh pada proses polimerisasi. Polimerisasi yang kurang sempurna mempengaruhi kekuatan daya rekat pada *coating*. Kemudian menurut Temuujin dkk., (2010) juga dijelaskan bahwasanya *coating* geopolimer dengan kandungan Si/Al sebesar 3,5 mol akan mendapatkan nilai adhesivitas 3,5 MPa.

3.2.2 Hasil Kualitatif

Selain hasil kuantitatif, pengujian ini juga dapat menunjukkan hasil kualitatif berupa hasil visual bekas cabutan pengujian *pull off test*. Hal ini untuk menganalisis *failure* yang terjadi. *Adhesive failure* adalah kegagalan ikatan antara *coating* dan substrat. Kegagalan kohesif terjadi ketika memungkinkan lapisan cat tetap berada di kedua permukaan yang menunjukkan daya rekat yang baik (Katze, Zhao, & Roberts, 2022). Berikut merupakan hasil visual *pull off test* sebelum diberi perlakuan panas dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 6. Hasil Kualitatif Bekas Cabutan

Dari Gambar 4. diatas didapatkan dari pengamatan visual yang bertujuan untuk mengamati presentase *adhesive failure*, *cohesive failure*, dan *glue failure*. Dapat diamati pada gambar diatas bahwa pada spesimen dengan komposisi *fly ash* 90 dan *silica fume* 10 Si/Al 3,3 mol mengalami *adhesive failure* yang tinggi dibandingkan dengan *cohesive failure*. Kemudian untuk variasi komposisi *fly ash* 80 dan *silica fume* 20 bekas cabutan Si/Al 3,8 mol mengalami 100% *cohesive failure*. Sedangkan untuk komposisi dengan *fly ash* 70 dan *silica fume* 30 Si/Al 4,8 mol dengan kondisi *coating* bekas cabutannya terdapat *glue failure* akan tetapi presentase lebih tinggi *cohesive failure*nya. *Glue failure* dalam uji tarik (*pull-off test*) dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yang berakar pada proses persiapan yang tidak memadai. Pertama, pencampuran lem yang tidak sesuai dengan rasio yang ditentukan dapat menyebabkan daya rekatnya menurun dan waktu pengeringannya menjadi lebih lama. Hal ini mengakibatkan lem tidak mampu

menempel dengan kuat pada permukaan sampel. Akibatnya, saat dilakukan uji tarik, beban yang diberikan hanya cukup untuk menarik lapisan lem itu sendiri, tanpa merekatkannya pada sampel. Kedua, permukaan sampel uji yang tidak rata sepenuhnya juga dapat menjadi faktor penyebab kegagalan lem. Ketidakrataan permukaan ini membuat lem tidak dapat menempel dengan baik, sehingga daya rekatnya berkurang dan mudah terlepas saat diuji tarik.

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa kandungan Si/Al dalam *coating* geopolimer berpengaruh terhadap daya rekat *coating*. *Coating* geopolimer dengan kandungan Si/Al 3,3mol memiliki kekuatan yang paling rendah yaitu 3,12 MPa. *Coating* dengan kandungan Si/Al 3,9mol daya rekatnya paling baik yaitu 4,84 MPa. Selain kandungan Si/Al kadar air dalam *coating* geopolimer juga mempengaruhi daya rekat *coating* karena terlalu banyak kadar air dalam *coating* geopolimer akan mempengaruhi proses polimerisasi.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyadari bahwa dalam jurnal ini tidak terlepas dari peran berbagai pihak yang telah memberikan bantuan, motivasi, dan bimbingan. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sangat besar kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya karena sudah mendukung penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

- Al Bakri Abdullah, M.M. *et al.* (2013) 'Study on fly ash based geopolymer for coating applications', in *Advanced Materials Research*, pp. 227–233. Available at: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.686.227>.
- Assi, L.N. *et al.* (2016) 'Investigation of early compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete', *Construction and Building Materials*, 112, pp. 807–815. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.008>.
- ASTM C1240 (2020) *Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures 1*. Available at: www.astm.org.
- ASTM D 4541 (2022) 'Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers 1'. Available at: <https://doi.org/10.1520/D4541-22>.
- ASTM D-4417. 2020. "Standard Test Methods for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel". Annual Book of ASTM Standards.
- Davidovits, J. (2008). *Geopolymer Chemistry and Applications*. France: Institut Geopolymere.
- Friedman, R. (1996). *Principles of Fire Protection Chemistry*. Association, New York.
- Katze, D., Zhao, Y., & Roberts, R. (2022). The Science of Adhesion Insights to Understanding Adhesive Performance. IMAPS 2022 - 55th International Symposium on Microelectronics, 99-104.
- Pisarek, Z. (2019) 'Failure of a steel boiler chimney caused by corrosion of the structural shell plate'. Available at: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928>.
- Rong, X. *et al.* (2021) 'Review on the Adhesion of Geopolymer Coatings', *ACS Omega*, 6(8), pp. 5108–5112. Available at: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c06343>.
- SSPC, 2002. *Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces Prepared by Dry Abrasive Blast Cleaning*. Pittsburgh: SSPC: The Society for Protective Coatings.
- Temuujin, J. *et al.* (2010) 'Fly ash based geopolymer thin coatings on metal substrates and its thermal evaluation', *Journal of Hazardous Materials*, 180(1–3), pp. 748–752. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.121>.
- Yong, S.L. *et al.* (2007) 'Chemical characterisation of the steel-geopolymeric gel interface', *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 302(1–3), pp. 411–423. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2007.03.004>.