

PEMANFAATAN SILIKA DARI *POZZOLAN* SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN LARUTAN *HYDROPHOBIC AGENT*

Erda R. Desfitri¹, Endah Mustikaningtias¹, Fajri A. Rizaldi¹, Ellyta Sari¹, Reni Desmiarti¹

¹Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta

²Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta

telp: +62-812-6104-0115, email: rahmilaila@bunghatta.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan sumber daya *pozzolan* di Kabupaten Padang Pariaman sudah waktunya untuk dilakukan. *Pozzolan* adalah bahan yang mengandung senyawa silika serta alumina. Silika dapat bersifat *hydrofilik* maupun *hydrophobic*. Untuk mengetahui potensi pemanfaatan silika dari *pozzolan* dilakukan analisis berdasarkan modifikasi kimia menambahkan gugus pada silika. Komposit yang digunakan berbasis *Polymer Matrix Composite* (PMC), dengan *Polydimethylsiloxane* (PDMS) sebagai matrik dan SiO_2 sebagai *filler*. Dengan menganalisis komposisi SiO_2 dan PDMS menggunakan variasi metode pelapisan, serta jenis silika untuk mendapatkan sifat *hydrophobic* dan membentuk sudut kontak $>90^\circ$, dilakukan analisis menggunakan *Spektroskopi inframerah transformasi Fourier* (FTIR) untuk mengetahui gugus maupun komponen organik silika yang menunjukkan sifat *hydrophobic* dengan adanya vibrasi *alkene*, *alkena*, *alkyl aryl ether*, dan *halo compound*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa silika dapat dijadikan bahan pembuatan larutan *hydrophobic*.

Kata Kunci : *Pozzolan*, Silika, FTIR, *Hydrophobic*

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki banyak daerah kaya akan batuan dan mineral yang menarik untuk diteliti, salah satunya adalah bahan galian *pozzolan*. Di provinsi Sumatera Barat khususnya Kabupaten Padang Pariaman terdapat daerah pegunungan yang dijadikan sumber *pozzolan* dengan kapasitas potensi 5.940.000 ton [1]. Melihat potensi ini, sudah selayaknya dilakukan pemanfaatan sumber daya *pozzolan*, sehingga apabila dikelola dan dimanfaatkan secara baik dan tepat mampu meningkatkan perekonomian masyarakat [2] (Fajri, 2020).

Komponen utama penyusun *pozzolan* adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan besi (Fe_2O_3) [3,4,5,1]. Saat ini pemanfaatan *pozzolan* di wilayah Kabupaten Padang Pariaman belum begitu maksimal dimanfaatkan. Penggunaannya masih terbatas sebagai pasir timbunan, bahan pengganti semen, dan bahan pembuatan batako. Sedangkan jika dimurnikan, kandungan silika dari *pozzolan* dapat digunakan sebagai bahan baku utama dalam industri gelas, keramik, sebagai katalis, bahan tambahan pada industri pertanian, sebagai bahan penyegel sel bahan bakar dan bahan pengolahan limbah [6,7,8,9].

Telah dilakukan penelitian untuk mendapatkan kadar silika dengan kondisi optimum [5]. untuk pengembangan pemanfaatan silika dari *pozzolan* yang ada di daerah tersebut. Pada penelitian ini

dilakukan pemanfaatan pembuatan larutan *hydrophobic* berbahan dasar silika yang bertujuan untuk mengetahui komposisi pembuatan larutan *hydrophobic* dengan memanfaatkan tanah silika dari tanah *pozzolan* Kabupaten Padang Pariaman.

BAGIAN EKSPERIMENTAL

Pozzolan yang dimanfaatkan pada penelitian ini berasal dari bukit yang berada di Nagari Koto Mambang Kabupaten Padang Pariaman Sumatera Barat. Pengambilan sampel dilakukan dengan teknik penyamplingan pada lima titik yang representative. Karakterisasi sampel *pozzolan* dilakukan dengan menyimpulkan hasil analisis *instrument X-Ray Diffraction (XRD)* dan *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Proses pemisahan silika pada *pozzolan* dilakukan melalui beberapa tahap pemisahan yaitu preparasi, ekstraksi dan pemurnian [1,10,11].

Bahan

Sampel yang melalui beberapa tahap pemisahan, pada proses preparasi menggunakan *Aquadest*. pada proses ekstraksi menggunakan pelarut NaOH 3M (99% merk KGaA, Germany) dan HCl 3M (99% merk KGaA, Germany), pada proses pemurnian menggunakan pelarut HCl (37% merk KGaA, Germany) [10,11]. pada proses pembuatan larutan *hydrophobic* menggunakan PDMS (1000 CPS, China) dan TEOS (99% merk KGaA, Germany).

Instrumentasi

Instrumen yang digunakan untuk mengetahui karakterisasi pada tanah *pozzolan* menggunakan metode analisa secara kualitatif dengan menggunakan alat instrumen *X-ray Fluoresence (XRF)*, selanjutnya secara kuantitatif untuk mengetahui jenis sililka yang terbentuk menggunakan alat instrumen *X-ray Diffraction (XRD)*, setelah didapatkan kadar silika yang tinggi dari pemurnian silika, silika dijadikan bahan baku pembuatan larutan *hydrophobic* dan dilakukan analisa untuk mengetahui gugus yang terbentuk dari larutan *hydrophobic* menggunakan alat instrumen *Fourier transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*. lalu untuk menentukan apakah larutan tersebut termasuk kedalam *hydrophobic*, dilakukan pengujian dengan mengukur *Water Contact Angle (WCA)* yang terbentuk pada larutan *hydrophobic*.

Prosedur

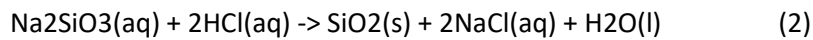
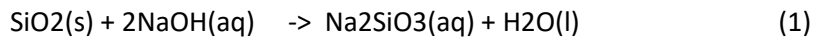
a. Preparasi

sampel ditimbang sebanyak 50 gram lalu dilakukan pencucian menggunakan *aquadest* 300 ml diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama 2 jam, dilakukan pencucian sebanyak 6 kali. Kemudian dipisahkan antara filtrat berupa pengotor menggunakan kertas saring *whatman*. Residu dikeringkan menggunakan *Universal oven memmert un* pada suhu 105°C selama 3 jam. difilter sampel menggunakan ayakan 200 mesh.

b. Ekstraksi

sampel hasil preparasi di timbang sebanyak 25 gram, diatas hotplate dengan suhu 65-70°C, sampel ditambahkan NaOH 3M dengan perbandingan 1 : 5, diaduk dengan kecepatan 200 rpm selama 1 jam. kemudian disaring menggunakan kertas saring *whatman* lalu dilakukan pencucian menggunakan *aquadest*. Filtrat dinetralkan dengan penambahan HCl 3M hingga pH 7 agar terbentuk endapan silika, lalu dilakukan penyaringan serta pencucian menggunakan *aquadest*. Residu dikeringkan menggunakan

Universal oven memmert un pada suhu 105°C selama 3 jam. Reaksi yang terjadi selama proses ekstraksi adalah sebagai berikut :



c. Pemurnian

sampel hasil pemurnian ditimbang sebanyak 2 gram, didalam erlenmeyer ditambahkan 10 ml HCl 37%, dipanaskan diatas hotplate pada suhu 90°C selama 3 jam dengan pengadukan berkala. kemudian disaring menggunakan kertas saring *whatman* lalu dilakukan pencucian menggunakan *aquadest* hingga pH netral, lalu dikeringkan menggunakan *Universal oven memmert un* pada suhu 105°C selama 2 jam.

d. Pembuatan *Hydrophobic Agent*

ditimbang (0,2;0,4;0,6;0,8;1,0) gram PDMS, ditimbang 0,1 gram SiO₂ hasil ekstraksi dan pemurnian, lalu ditambahkan 0,1 gram TEOS dan diaduk selama 15 menit dengan kecepatan 150 rpm.

e. Pelapisan Larutan *Hydrophobic Agent* dengan Metode Oles

dilakukan preparasi media kaca, dengan bantuan kuas dilakukan pengolesan larutan *hydrophobic* sebanyak 2x pada media kaca, dikeringkan pada suhu ruang, dilakukan uji dengan meneteskan air pada permukaan media kaca.

f. Pelapisan Larutan *Hydrophobic Agent* dengan Metode *Dip-Coating*

dilakukan preparasi media kaca, dilakukan pelapisan larutan *hydrophobic* dengan mencelupkan media pada larutan *hydrophobic* selama 1-5 detik, dikeringkan pada suhu ruang, dilakukan uji dengan meneteskan air pada permukaan media kaca.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakterisasi Silika Menggunakan XRF

Berikut adalah karakterisasi silika hasil uji *X-ray Fluorescence* (XRF) untuk mendapatkan informasi jumlah elemen dan oksida logam yang terkandung pada tanah pozzolan yang telah melewati tahanan preparasi, ekstraksi, dan pemurnian.

Tabel 1. Data Hasil Uji XRF

No	Komposisi	Preparasi (%)	Ekstraksi (%)	Pemurnian (%)
1	SiO ₃	65,315	50,385	93,863
2	Al ₂ O ₃	10,46	8,129	0,765
3	K ₂ O	7,538	1,21	0,142
4	CaO	6,283	1,606	0,735
5	Fe ₂ O ₃	4,833	0,338	0,035
6	P ₂ O ₅	3,522	4,129	3,348
7	TiO ₂	0,71	0,034	0
8	Ag ₂ O	0,554	0	0,054
9	BaO	0,221	0	0,136
10	MnO	0,156	0	0
11	Cl	0	33,55	0,828

sebelum dilakukannya proses preparasi, kandungan silika pada tanah *pozzolan* sebesar 62,56% [11], karakterisasi *pozzolan* sesudah dilakukan preparasi memiliki kandungan senyawa silika 65,3% hal ini menandakan tahapan preparasi sangat penting dilakukan agar *impurities* pada silika seperti Al_2O_3 , K_2O , CaO , Fe_2O_3 , P_2O_5 , TiO_2 , Ag_2O , BaO , dan MnO dapat berkurang.

konsentrasi pelarut adalah salah satu faktor yang berpengaruh terhadap % silika yang dihasilkan [12]. hal ini menandakan kadar Cl larut sebesar 33,55% setelah melalui proses ekstraksi.

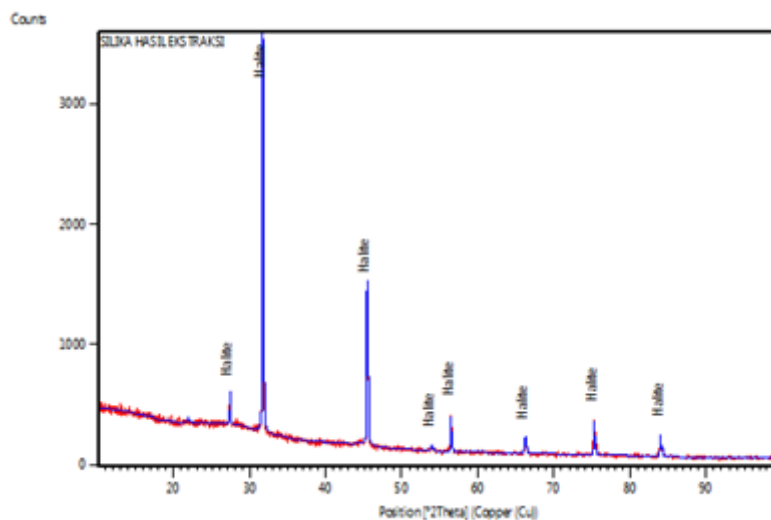
pada pemurnian menggunakan HCl 37% menunjukkan peningkatan % silika menjadi 93,86%, dalam hal ini senyawa *impurities* yang terlarut akan membentuk koloid dan koloid tersebut dibuang bersama dengan pembilasan silika.

2. Karakterisasi Silika Menggunakan XRD

karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa silika yang terbentuk dengan cara membandingkan pola difraksi XRD sampel dengan pola difraksi standar dari berbagai jenis kristal silika. Pola difraksi XRD dari berbagai kristal silika akan memiliki puncak-puncak yang berbeda pada sudut difraksi yang berbeda, setelah melalui tahap ekstraksi dan pemurnian didapatkan hasil pola difraksi berikut :

a. Karakterisasi Silika Menggunakan XRD Tahap Ekstraksi

grafik pola difraksi XRD pada silika hasil proses ekstraksi seperti pada gambar berikut :

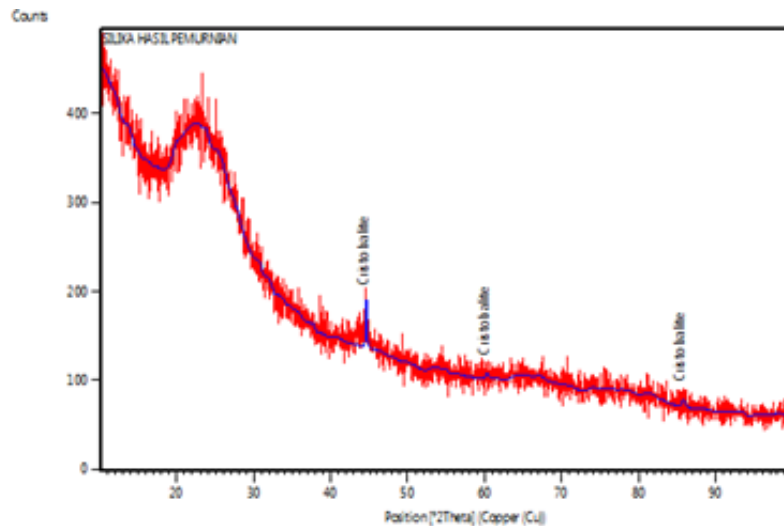


Gambar 1. Karakterisasi Silika Menggunakan XRD Tahap Ekstraksi

dari analisa karakterisasi silika menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) didapatkan hasil proses ekstraksi berbentuk *halite* atau garam batu. *Halite* adalah mineral yang terdiri dari natrium klorida ($NaCl$), dilihat dari reaksi yang terjadi pada proses ekstraksi terdapat $NaCl$ sebagai produk samping, hal ini menandakan bahwa fasa silika pada proses ekstraksi berbentuk *halite*.

b. Karakterisasi Silika Menggunakan XRD Tahap Pemurnian

grafik pola difraksi XRD pada silika hasil proses pemurnian seperti pada gambar berikut :



Gambar 2. Karakterisasi Silika Menggunakan XRD Tahap Pemurnian

dari analisa karakterisasi silika menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) didapatkan hasil proses pemurnian menunjukkan fasa *cristobalite*, terlihat pada kurva memiliki puncak gelombang berwarna merah ini mengidentifikasi fasa dan distribusi ukuran yang terbentuk, pada kurva ditunjukkan adanya reaksi endotermik yang ditandai dengan adanya puncak yang mengarah kebawah, reaksi endotermik terjadi ketika tidak ada pengurangan masa partikel SiO_2 ditandai sebagai daerah-daerah terjadinya transformasi fasa SiO_2 yang dikaitkan dengan pembentukan fasa *cristobalite* [13].

3. Pengaruh Fasa Silika Terhadap *Water Contact Angle* (WCA)

Analisa pengaruh fasa silika *halite* dan *cristobalite* pada pengukuran *Water Contact Angle* (WCA) sebagai berikut :

a. Pengaruh Fasa Silika Berbentuk *Halite* Terhadap *Water Contact Angle* (WCA)

dapat dilihat pada gambar berikut :

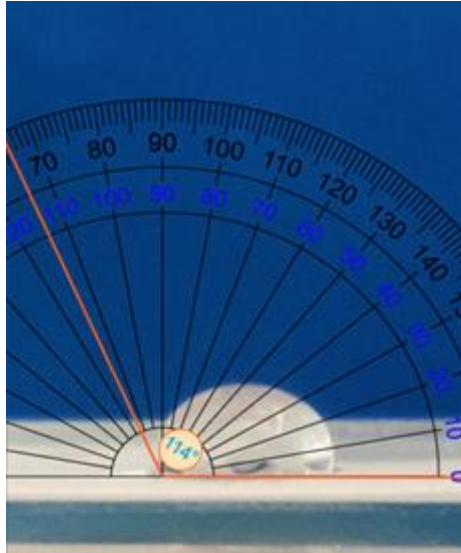


Gambar 3. Hasil Uji *Water Contact Angle* (WCA) Silika Fasa Halite

dilihat pada gambar diatas, menunjukkan sudut kontak yang terbentuk sebesar 57° nilai WCA yang terbentuk belum dapat dikatakan *hydrophobic* karena membentuk sudut $>90^\circ$, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa silika fasa *halite* tidak bisa dikatakan *hydrophobic* tetapi termasuk kedalam sifat *hydrophilic*, sifat ini ditunjukkan dengan terbentuknya sudut $<90^\circ$.

b. Pengaruh Fasa Silika Berbentuk *Cristobalite* Pada *Water Contact Angle* (WCA)

dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4. Hasil Uji *Water Contact Angle* (WCA) Silika Fasa *Cristobalite*

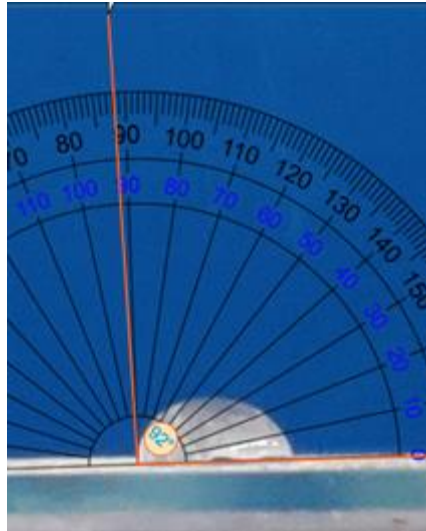
dilihat pada gambar diatas, menunjukkan sudut kontak yang terbentuk sebesar 114° nilai WCA yang terbentuk dapat dikatakan *hydrophobic* karena membentuk sudut $>90^\circ$, Sifat *hydrophobic* silika fasa *cristobalite* memiliki kerapatan permukaan yang mempengaruhi luas permukaan dan interaksinya dengan air, dimana hubungan sudut kontak pada permukaan kasar homogen besar area kontak akan semakin berkurang seiring dengan bertambah kasarnya permukaan [1]

4. Pengaruh Perbedaan Metode Pelapisan Pada Pembuatan Larutan *Hydrophobic*

analisa pengaruh metode pelapisan terhadap pengukuran *Water Contact Angle* (WCA) pembuatan larutan *hydrophobic* dilihat pada point pembahasan berikut :

a. Pengaruh Metode Pelapisan Oles pada Pembuatan Larutan *Hydrophobic Agent*

dapat dilihat pada gambar berikut :

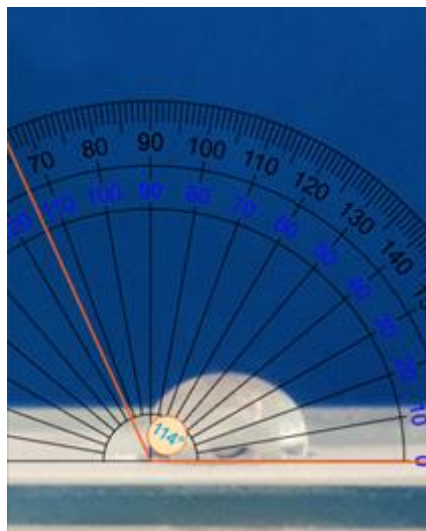


Gambar 5. Hasil Uji Water Contact Angle (WCA) Teknik Pelapisan Metode Oles

menunjukkan hasil pengukuran *Water Contact Angle* (WCA) pada pelapisan metode oles didapatkan sudut kontak sebesar 92° . Lapisan yang membentuk sudut 92° termasuk kedalam lapisan yang bersifat *hydrophobic*. walaupun sudut kontak yang dihasilkan tidak menunjukkan *superhydrophobic*, akan tetapi masih memasuki klasifikasi dari sifat *hydrophobic*, metode oles lebih mudah dan murah dalam pengaplikasian, akan tetapi memiliki kelemahan yaitu tekstur yang dihasilkan tidak merata. yang berpengaruh terhadap penurunan kemampuan lapisan dalam menolak air [14].

b. Pengaruh Metode Pelapisan *Dip-Coating* pada Pembuatan Larutan *Hydrophobic Agent*

dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 6. Hasil Uji Water Contact Angle (WCA) Teknik Pelapisan Metode Dip-Coating

menunjukkan hasil pengukuran *Water Contact Angle* (WCA) pada pelapisan metode *Dip-Coating* didapatkan sudut kontak sebesar 114° . Lapisan yang membentuk sudut 114° termasuk kedalam lapisan yang bersifat *hydrophobic*, *Water Contact Angle* (WCA) hasil dari metode *dip-coating* lebih baik dibandingkan dengan metode oles, dengan perbedaan nilai sudut kontak yang cukup jauh antara 114° pada *dip-coating* dan 92° pada oles, sehingga dapat disimpulkan metode *dip-coating* lebih tepat

digunakan dalam pelapisan larutan *hydrophobic agent*. Metode pelapisan *dip-coating* memberikan perlindungan yang lebih baik dan melibatkan proses pelapisan yang lebih dalam pada permukaan kaca, sehingga memberikan perlindungan yang lebih kuat [15].

5. Pengaruh Variasi Komposisi PDMS dalam Formulasi Larutan *Hydrophobic Agent*

Analisa pengaruh metode pelapisan terhadap pengukuran *Water Contact Angle* (WCA) pembuatan larutan *hydrophobic* dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 2. Pengaruh Variasi komposisi PDMS terhadap *Water Contact Angle* (WCA)

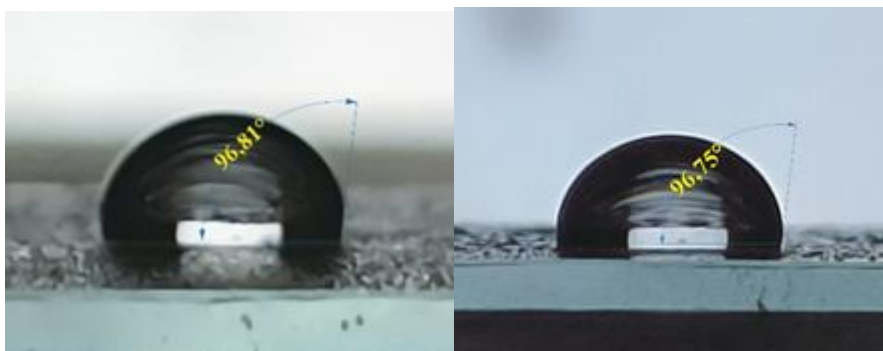
Komposisi	WCA (°)
0,2 gram PDMS	101,89°
0,4 gram PDMS	105,31°
0,6 gram PDMS	96,81°
0,8 gram PDMS	96,75°
1,0 gram PDMS	93,40°

melalui gambar berikut dapat dilihat perbedaan WCA pada variasi komposisi PDMS dalam formulasi larutan *hydrophobic agent*.



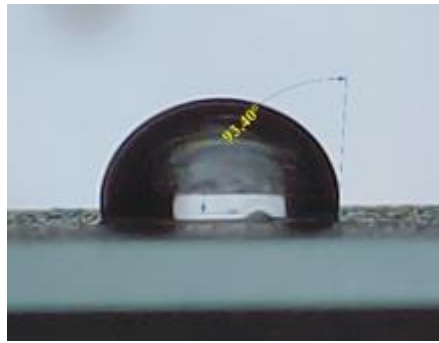
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

Gambar 7. Besar WCA Pada Lapisan Hydrophobic Silika Berfasa Cristobalite dengan Metode Dip-Coating, (a) 0,2 gram PDMS; (b) 0,4 gram PDMS; (c) 0,6 gram PDMS; (d) 0,8 gram PDMS; (e) 1 gram PDMS

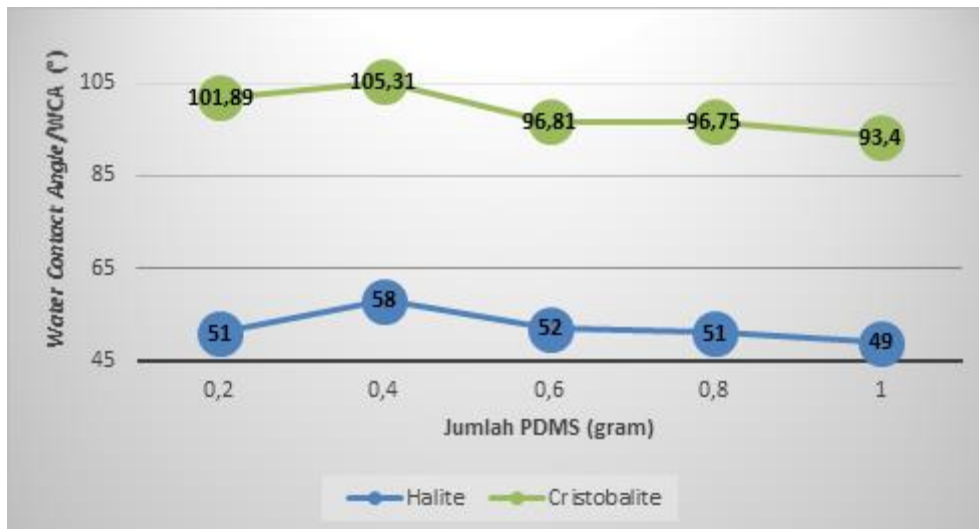
dari kelima variasi gram PDMS tersebut, didapatkan *Water Contact Angle* (WCA) tertinggi yaitu pada komposisi 0,4 gram PDMS dengan *Water Contact Angle* (WCA) 105,31°. semakin tinggi kandungan PDMS maka sifat *Hydrophobisitasnya* juga semakin tinggi, tetapi dapat dilihat pada sudut kontak yang diperoleh mengalami kenaikan dan penurunan, hal ini dipengaruhi terjadinya penjuanan terhadap pelarutan PDMS pada pelarut yaitu *hexane*, hal ini terjadi karena PDMS yang digunakan memiliki standar pelarutan terhadap jumlah pelarut yang digunakan [16].

6. Pengaruh Jenis Silika terhadap Variasi PDMS pada Pengukuran *Water Contact Angle* (WCA) Pembuatan Larutan *Hydrophobic Agent*

pengaruh jenis silika terhadap variasi PDMS berbentuk *halite* dan *cristobalite* pada pengukuran *Water Contact Angle* (WCA), pembuatan larutan *hydrophobic* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel.3 Sudut Kontak Silika Fasa Halite dan Cristobalite

Komposisi	<i>Halite</i>	<i>Cristobalite</i>
	Sudut Kontak (°)	
0,2 gram PDMS	51	101,98
0,4 gram PDMS	58	105,31
0,6 gram PDMS	52	96,81
0,8 gram PDMS	51	96,75
1,0 gram PDMS	49	93,40

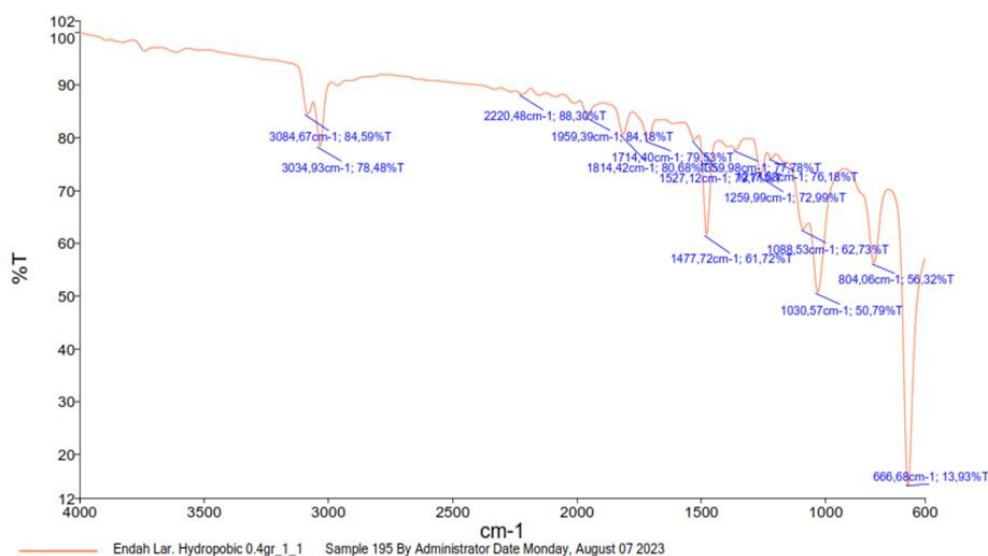


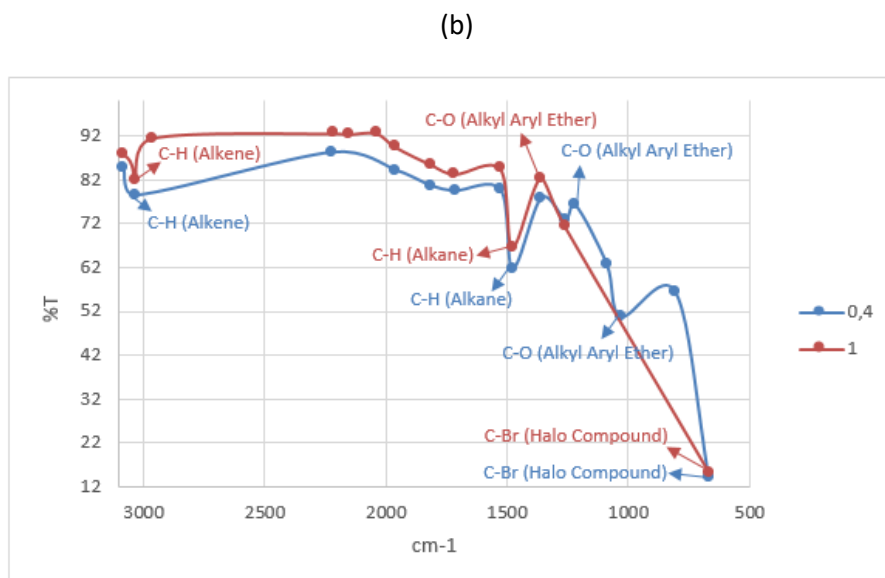
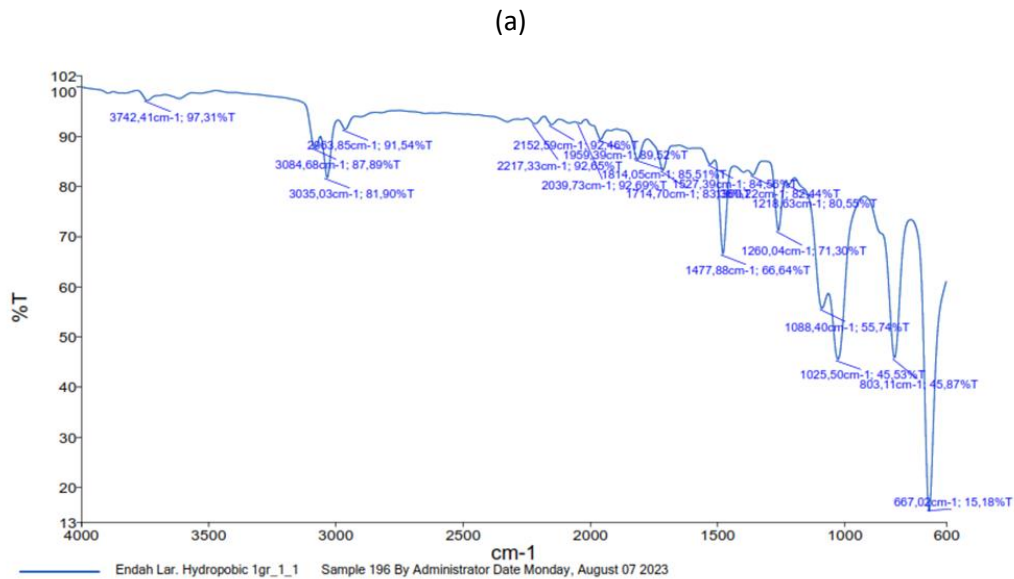
Gambar 8. Pengaruh Jenis Silika Terhadap Variasi PDMS Pada Pengukuran Water Contact Angle (WCA) Pembuatan Larutan Hydrophobic Agent

menunjukkan bahwa hasil pengukuran *Water Contact Angle* (WCA) dipengaruhi oleh komposisi PDMS dan jenis silika yang digunakan. Dari percobaan ini, untuk meyakinkan pengaruh jenis silika berfase *halite* dan *cristobalite* terhadap komposisi PDMS yaitu (0,2;0,4;0,6;0,8;1,0) gram dilakukan pengukuran *Water Contact Angle* (WCA) yang terbentuk pada masing-masing permukaan substrat, sifat *hydrophobic* dipengaruhi oleh faktor kekasaran permukaan dan sudut kontak, besar area kontak akan semakin berkurang seiring dengan bertambah kasarnya permukaan dan sudut kontak akan bertambah, keadaan ini mempengaruhi tingkat *hydrophobisitas* permukaan dimana kekasaran yang rendah akan membuat sudut kontak yang kecil, sebaliknya jika tingkat kekasaran yang tinggi akan menyebabkan sudut kontak yang terbentuk semakin besar[17][18].

7. Karakterisasi Larutan *Hydrophobic* Menggunakan FT-IR

Dapat dilihat pada uji sudut kontak masing-masing lapisan perlu dilakukannya analisa gugus ataupun komponen organik silika, hal ini dilakukan pengujian pada larutan *hydrophobic* pada komposisi 0,4 gr PDMS (sudut kontak tertinggi) dan 1,0 gr PDMS (sudut kontak terendah), hasil uji FT-IR dapat dilihat pada gambar berikut :





(c)

Gambar 9. (a) 0,4 Gram PDMS, (b) 1,0 Gram PDMS, (c) Spektra FTIR pada larutan *hydrophobic agent* dengan komposisi 0,4 gr dan 1,0 gr PDMS

dilihat bahwa karakteristik FT-IR pada larutan *hydrophobic agent* dengan 0,4 gr PDMS munculnya puncak serapan pada bilangan gelombang 3034, 93 yang menunjukkan adanya vibrasi Alkene. Pada puncak serapan 1477,72 menunjukkan adanya vibrasi Alkane. Pada puncak serapan 1030,57 menunjukkan adanya vibrasi *alkyl aryl ether*. Pada puncak serapan 666,68 menunjukkan adanya vibrasi *halo compound*.

Dapat dilihat bahwa karakteristik FTIR pada larutan *hydrophobic agent* dengan 1,0 gr PDMS munculnya puncak serapan pada bilangan gelombang 3035, 03 yang menunjukkan adanya vibrasi alkene. Pada puncak serapan 1477,88 menunjukkan adanya vibrasi alkana. Pada puncak serapan 667,02 menunjukkan adanya vibrasi *halo compound* [19][20][21].

Adanya senyawa *alkene*, *alkena*, *alkyl aryl ether*, dan *halo compound* menunjukkan bahwa sampel tersebut merupakan senyawa organik yang memiliki sifat *hydrophobic*. yang berarti senyawa-senyawa tersebut cenderung tidak larut dalam air dan lebih larut dalam pelarut non-polar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada *pozzolan* di Kabupaten Padang Pariaman, maka dapat disimpulkan bahwa fasa silika yang bagus untuk membentuk *Water Contact Angle (WCA)* tertinggi pada pembuatan *hydrophobic agent* adalah fasa *crystalite* karena memiliki sudut kontak $>90^\circ$. Metode pengaplikasian yang tepat pada pembuatan larutan *hydrophobic agent* yaitu metode *dip-coating*. Formulasi optimum pada pembuatan *hydrophobic agent* yaitu menggunakan PDMS 0,4 gram. Karakteristik larutan *hydrophobic* yang terbentuk memiliki ciri-ciri struktur *hydrophobic* senyawa *alkene*, *alkena*, *alkyl aryl ether*, dan *halo compound* (tidak menyerap air).

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, karena telah memberikan kesempatan kepada kita untuk dapat menuntut ilmu, sehingga pada kesempatan ini berkat keridho'an dan bantuan-Nya penulis telah menyelesaikan penelitian yang berjudul "Pemanfaatan Silika dari *Pozzolan* Sebagai Bahan Baku Pembuatan Larutan *Hydrophobic Agent*". Pembuatan laporan akhir ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Erda Rahmilaila Desfitri, ST., M.Eng., Ph.D selaku pembimbing yang telah memberikan arahan serta membagi pengetahuannya hingga penulis dapat menyelesaikan laporan akhir penelitian ini. Seluruh dosen Teknik Kimia Universitas Bung Hatta yang telah memberikan ilmu pengetahuannya untuk penyelesaian laporan akhir penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Desfitri, E. R., Desmiarti, R., Martynis, M., & Dhani, S. R. (2022). Analisis dan Karakterisasi Potensi Pozzolan Sebagai Sumber Silika (SiO₂) Untuk Meningkatkan Nilai Sumber Daya Lokal. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 6(2), 96–105. <https://doi.org/10.26760/jrh.v6i2.96-105>
- [2] Fajri, M. (2020). Analisis Hukum Skema Kontrak Gross Split Terhadap Peningkatan Investasi Hulu Minyak Dan Gas Bumi. *Jurnal Hukum & Pembangunan*, 50(1), 54. <https://doi.org/10.21143/jhp.vol50.no1.2482>
- [3] Akabiluru, K., Lima, K., Kota, P., & Barat, P. S. (n.d.). Analisis Potensi Batuan Trass (Pozolan) Untuk Bahan Baku Pembuatan Semen di PT . Bumi Hijau Citra Andalas Site Batu. 5(1), 106–115.
- [4] Alp, I., Deveci, H., Süngün, Y. H., Yilmaz, A. O., Kesimal, A., & Yilmaz, E. (2009). Pozzolan characteristics of a natural raw material for use in blended cements. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B: Engineering*, 33(4), 291–300.
- [5] Rafia F, Dietmar S, Jean NYD, 2018, Natural pozzolan based geopolymers: A review on mechanical, microstructural and durability characteristics, *j.con.build.mat* Vol.190. Page1251-1265
- [6] Dewa, E., Musyarofah, Nurbaiti, U., Triwikantoro, Firdaus, S., & Pratapa, S. (2015). Enhancing the Value of Local Silica Sand from Bancar as a Fuel-Cell Sealing Material. *Advanced Materials Research*, 1112(May 2016), 262–265. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1112.262>

- [7] Musyarofah, Nurbaiti, U., Dewa, E., Triwikantoro, Mashuri, Firdaus, S., & Pratapa, S. (2015). Use of Natural Silica Sand as a Component for Prospective Fuel Cell Sealing Materials. *Advanced Materials Research*, 1123(October), 383–386. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1123.383>
- [8] Hanum, F. F., & Rahayu, A. (2022). Studi Pemanfaatan dan Metode Pemisahan Silika dari Coal Fly Ash: A Study for Silika Utilization and Its Separation Method from Coal Fly Ash. *Open Science and Technology*, 2(1), 26-32.
- [9] Rahayu, A., Fadhillah Hanum, F., Aldilla Fajri, J., Dwi Anggraini, W., & Khasanah, U. (2021). Pengolahan Limbah cair Industri dengan Menggunakan Silika: A Review: Industrial Liquid Waste Treatment Using Silica. *Opscitech.Com*, 02(01), 2776–169. <https://www.opscitech.com/journal/article/view/38>
- [10] Silaban, P. N., 2021. Ekstraksi Silika Dari Pozzolan : Pengaruh Jenis Pelarut, Temperatur Dan Waktu Preparasi.
- [11] Desfitri, E. R., Desmiarti, R., Sari, E., Silaban, P. N., Dhani, S. R., & Dalimunthe, A. YA. (2023). Pengaruh pre-treatment pada ekstraksi silika sebagai studi awal pada pemanfaatan pozzolan di Sumatera Barat. *Jurnal Teknik Kimia*, 29(1), 29–35. <https://doi.org/10.36706/jtk.v29i1.1429>
- [12] Noviyanty, A., & Anggriani Salingkat, C. (2019). Pengaruh Jenis Pelarut Terhadap Ekstraksi Dari Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) [The Effect of Solvent Type to The Quality of Red Dragon Fruit Peel (*Hylocereus polyrhizus*) Extracts]. *KOVALEN*, 5(3), 271–279.
- [13] Pomits, J., Jenis, P., Sio, F., Rahayu, F., Zainuri, M., Fisika, J., Matematika, F., Ilmu, D., Alam, P., Teknologi, I., Nopember, S., Arief, J., & Hakim, R. (n.d.). *Cristobalite Terhadap Sifat Hydrophobic pada Media Kaca*.
- [14] Semprot, D., Batik, U., & Skripsi, K. (n.d.). Perbedaan Hasil Pewarnaan Teknik Colet.
- [15] Quagliarini, E., Bondioli, F., Goffredo, G. B., Licciulli, A., & Munafò, P. (2012). Smart surfaces for architectural heritage: Preliminary results about the application of TiO₂-based coatings on travertine. *Journal of Cultural Heritage*, 13(2), 204–209. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.10.002>
- [16] Niemietz, A., Wandelt, K., Barthlott, W., & Koch, K. (2009). Thermal evaporation of multi-component waxes and thermally activated formation of nanotubules for superhydrophobic surfaces. *Progress in Organic Coatings*, 66(3), 221–227. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2009.07.009>
- [17] Bhushan, B., Jung, Y. C., & Koch, K. (2009). Micro-, nano- And hierarchical structures for superhydrophobicity, self-cleaning and low adhesion. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367(1894), 1631–1672. <https://doi.org/10.1098/rsta.2009.0014>
- [18] Adriany Putri, T., Ramli Jurusan Fisika, dan, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F., & Negeri Padang Jalan Hamka Air Tawar, U. (n.d.). Sintesis Lapisan Hydrophobic Nanokomposit Mangan Oksida/Polystyrene (MnO₂/PS) Untuk Aplikasi Self Cleaning. In *Pillar of Physics* (Vol. 11, Issue 2).
- [19] Huang, L., Zhu, X., Zhou, S., Cheng, Z., Shi, K., Zhang, C., & Shao, H. (2021). Phthalic acid esters: Natural sources and biological activities. In *Toxins* (Vol. 13, Issue 7). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/toxins13070495>
- [20] Kasmiyatun, M., & Jos, B. (2008). Ekstraksi Asam Sitrat Dan Asam Oksalat : Pengaruh Trioctylamine Sebagai Extracting Power Dalam Berbagai Solven Campuran Terhadap Koefisien Distribusi (Vol. 12, Issue 2).

[21] Cavallo, G., Metrangolo, P., Milani, R., Pilati, T., Priimagi, A., Resnati, G., & Terraneo, G. (2016). The halogen bond. In *Chemical Reviews* (Vol. 116, Issue 4, pp. 2478–2601). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00484>