

Sintesis Nanopartikel SiO₂ Dicampur Hcl Menggunakan Metode Sol-Gel dengan Variasi Waktu Furnace

Asfiyani Ningsih^{1,*}, Gerald Adityo Pohan¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang, Jawa Timur, Indonesia

Kata kunci

SiO₂
Metode Sol-Gel
SEM dan FTIR

ABSTRAK

Silika atau SiO₂ adalah salah satu material yang menjadi perhatian para peneliti. Selain itu juga merupakan material yang banyak disintesis menjadi berukuran nano. Hal ini dikarenakan nanopartikel SiO₂ amorf, memiliki sifat optik yang sangat penting untuk aplikasi. Sintesis silika gel menggunakan metode Sol-Gel merupakan suatu proses sintesis yang cukup sederhana dan dilakukan pada temperatur rendah. Dengan metode Sol-Gel didapatkan hasil sintesis silika gel yang memiliki kemurnian yang tinggi dibandingkan dengan metode-metode lainnya (Budiharti et al., 2015). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik nanopartikel sintesis SiO₂ menggunakan metode Sol-Gel dengan pengaruh perbedaan variasi waktu kalsinasi yang menghasilkan struktur nanopartikel dengan menggunakan pengujian FTIR dan SEM. Hasil dengan pengujian SEM menunjukkan bahwa semakin lama waktu kalsinasi dapat mempengaruhi butir nanopartikel. Sedangkan pengujian SiO₂ menggunakan FTIR menunjukkan hasil pada peak 3228.84 – 2845 vibrasi ulur Si-OH, 1614.42 vibrasi tekuk C=C, 1180.44 – 810.1 vibrasi ulur C-O, 516.92 vibrasi tekuk Si-CH.

* **Corresponding author:**
Asfiyani Ningsih (email: asfiyaniningsih@gmail.com)

Diterima: 13 Januari 2026

Disetujui: 24 Maret 2026

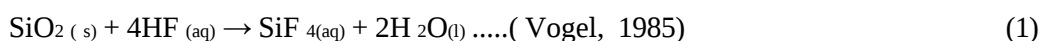
Dipublikasikan: 31 Maret 2026

1 Pendahuluan

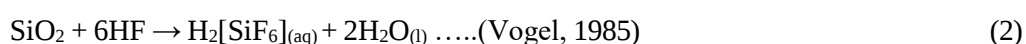
Penelitian mengenai silika sangat meningkat karena mudahnya proses pembuatan dan luasnya penggunaan silika dalam berbagai aplikasi di industri seperti katalis, pigmen, farmasi, elektronik, thin film, insulator panas, dan sensor kelembaban [3]. Salah satu material yang banyak disintesis menjadi berukuran nano adalah SiO₂. Silika adalah suatu mineral yang penyusun utamanya yakni silikon dioksida (SiO₂). Silika tersusun dari 2 unsur yang terdiri dari Silikon (Si) dan Oksigen (O₂) dimana keduanya merupakan unsur yang paling banyak di alam [1]. Mineral silika mempunyai berbagai sifat kimia, berikut reaksi kimia dan jenis sifatnya [4]:

a. Reaksi Asam

Silika relatif tidak reaktif terhadap asam kecuali terhadap asam hidroflluorida dan asam fospat.

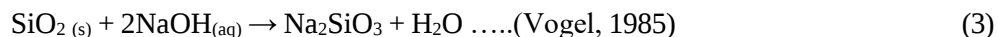


Dalam asam berlebih reaksinya adalah:



b. Reaksi Basa

Silika dapat bereaksi dengan basa, terutama dengan basa kuat, seperti dengan hidroksil alkali.



Sintesis silika gel yang menggunakan metode Sol-Gel merupakan suatu proses sintesis yang cukup sederhana dan dilakukan pada temperatur rendah. Dengan metode Sol-Gel didapatkan hasil sintesis silika gel yang memiliki kemurnian yang tinggi dibandingkan dengan metode-metode lainnya [2]. Metode yang menjadi bahan penyelidikan yang luas pada sintesis silika adalah metode Sol-Gel. Metode Sol-Gel memiliki beberapa keunggulan, antara lain: proses berlangsung pada suhu rendah, prosesnya relatif lebih mudah, dapat diaplikasikan dalam segala kondisi, menghasilkan produk dengan kemurnian tinggi dan kehomogenan yang tinggi. Apabila parameternya divariasikan maka ukuran dan distribusi pori dapat dikontrol.

Selain itu juga proses Sol-Gel biayanya relatif murah dan produk berupa xerogel silika tidak beracun dan dapat diaplikasikan pada cat akrilik. Pada analisis pembuatan cat akrilik menggunakan SAA menunjukkan bahwa luas permukaan 250°C, 350°C, dan 450°C berturut-turut adalah 60.898, 40.458, 52.07 m²/g. [5]. Metode Sol-Gel dalam penelitian ini menggunakan variasi waktu kalsinasi sebagai menghilangkan kotoran yang ada dalam bubuk SiO₂. Proses kalsinasi biasanya untuk menghilangkan kotoran yang terkandung di dalam bubuk SiO₂. Variasi waktu kalsinasi yaitu 1 jam 1,5 jam 2 jam dengan suhu 600°C. Pengaruh kalsinasi pada benda uji tergantung pada lama waktu yang dilakukan. Kenaikan lama waktu penahanan pada proses kalsinasi dapat mengakibatkan peningkatan pada konsentrasi fase konduktif dengan variasi waktu 2, 4, 6, dan 8 jam [6]. Lama waktu kalsinasi juga dapat mempengaruhi derajat kristalinitas dan ukuran kristal [7].

Penggunaan variasi waktu kalsinasi digunakan untuk menghilangkan pelarut dan mengubah gel menjadi struktur yang padat. Analisis karakterisasi untuk mengetahui gugus fungsi komposit SiO₂ dilakukan menggunakan *Fourier Transformed Infrared* (FTIR). Sedangkan karakterisasi untuk mengetahui struktur mikro dari partikel komposit SiO₂ dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Penelitian Riezka [8] karakterisasi DTA pada Keramik Silika (SiO₂) Sekam Padi Dengan Suhu KALSINASI 800°C - 1000°C” menunjukkan sifat termal silika terjadi peristiwa penyerapan panas (endoterm) yang mengindikasikan adanya polisakarida dipolimerisasi dan dehidrasi. Sedangkan karakterisasi XRD menunjukkan bentuk amorf.

Pada penelitian sintesis dan karakteristik Nanopartikel Silika (SiO₂) dari Limbah Geothermal (Ningrum, 2018) analisis FTIR silika geothermal, nanopartikel silika dan nanopartikel silika *fluorescent* mengandung gugus fungsi silanol, dan siloksan, analisis XRD silika geothermal, nanopartikel silika dan nanopartikel *fluorescent* berfasa amorf, kristal dan amorf. Sedangkan analisis TEM silika geothermal, nanopartikel silika dan nanopartikel *fluorescent* memiliki morfologi berbentuk *spherical*.

Pada proses pembuatan cat akrilik dengan menambahkan nanopartikel silikon dioksida (SiO₂) ke dalam komposisinya sehingga cat cepat kering. Penambahan nanopartikel SiO₂ ini memiliki banyak keuntungan yang tidak dimiliki cat akrilik tradisional, dari sudut pandang mekanik, optik, dan fungsional. Material nano diaplikasikan sebagai bahan tambahan dalam cat akrilik untuk memberikan sifat swa-bersih pada cat [5]. Selain itu, lapisan Cat Poliuretan yang mengandung nanopartikel akan melindungi dari korosi dan mengurangi kecenderungan lapisan melepuh atau delaminasi [9].

Nanopartikel didefinisikan sebagai partikulat yang terdispersi atau partikel-partikel padatan dengan ukuran partikel berkisar 1100 nm [10]. Berkurangnya dimensi nanopartikel mempengaruhi karakter fisik yang signifikan dibandingkan dengan material besar. Karakter fisik ini, diantaranya luas permukaan atom yang besar [11]. Luas permukaan menentukan ukuran, struktur, dan ukuran agregasi partikel [12]. Menurut Abdullah [13], dua hal utama yang membuat partikel berukuran nano berbeda dengan partikel dalam ukuran besar (bulk) yaitu: Pertama, ukurannya yang kecil. Kedua, ketika ukuran partikel menuju orde nanometer, maka hukum fisika yang berlaku lebih didominasi oleh hukum fisika kuantum.

Tulisan ini bertujuan menguji karakteristik nanopartikel sintesis SiO₂ menggunakan Sol-Gel, melihat pengaruh perbedaan variasi waktu kalsinasi terhadap karakteristik nanopartikel SiO₂ dan mendapatkan struktur nanopartikel dengan menggunakan pengujian FTIR dan SEM.

2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan Teknik penelitian eksperimen, yaitu observasi langsung dan eksperimen untuk mencari data sebab akibat dan data empiris. Penelitian ini dilakukan pada waktu bulan Agustus 2024 di laboratorium Material dan laboratorium Kimia Institut Teknologi Nasional Malang. 1) Pengujian SEM dilakukan di laboratorium Mineral & Material Maju Universitas Negeri Malang. 2) Pengujian FTIR dilakukan di laboratorium Mineral & Material Maju Universitas Negeri Malang.

Rancangan atau tahapan pada metode penelitian ini yaitu metode Sol-Gel sebagai berikut 1) melakukan hidrolisis pada SiO_2 dengan prekursor TEOS, 2) Kodensasi penguapan yang menghasilkan transformasi dari fasa Sol menjadi Gel, 3) Dilakukan Penguapan Larutan dan cairan yang tidak diinginkan untuk mendapatkan partikel dengan luas permukaan yang tinggi yang disebut Drying, 4) Pematangan ukuran pori, volume pori dan juga luas permukaan SiO_2 . Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Prekursor TEOS, Aquades, Asam Hidroklorida (HCl) dan Etahnol 96%. Sedangkan alat yang digunakan diantaranya adalah Gelas ukur 250 ml, Cawan krusibel 50 ml, Spatula, Pipet ukur 10 ml, Mortar dan Alu, Sarung tangan, Capit oven, hotplate, Magnetic Stirrer, Oven Listrik, Timbangan Digital, Mesh 100 dan Furnace. Adapun alat penguji spesimen sebagai berikut :

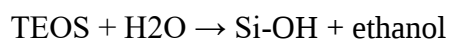


Gambar 1 Alat *Scanning Electron Microscope* (SEM)



Gambar 2 Mesin *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Prosedur pada penelitian ini yaitu: Prekursor TEOS dapat menjadi SiO_2 , dikarenakan adanya proses hidrolisis dan juga proses kondensasi. TEOS yang ditambahkan air atau aquades akan membentuk reaksi kimia sebagai berikut :



kondensasi



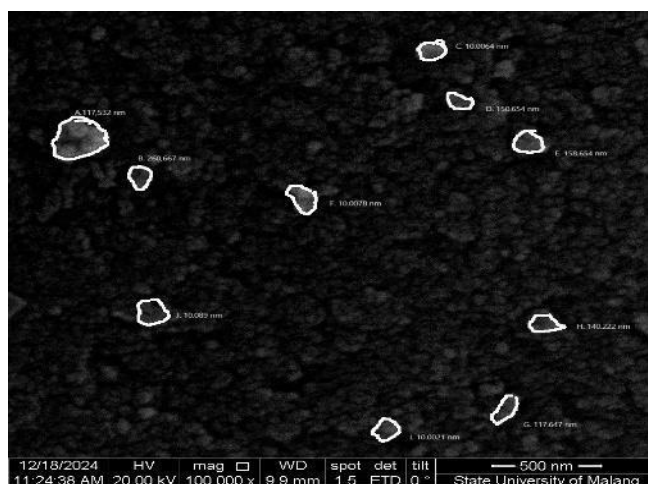
Reaksi kimia diatas diperoleh melalui metode Sol-Gel, dimana metode ini adalah metode yang umum untuk digunakan. Agar bisa mendapatkan data yang dibutuhkan, maka ada beberapa tahapan yang harus dilakukan: 1) Persiapan alat dan bahan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tetraetil Ortosilikat (TEOS) sebagai perekursor dan Aquades sebagai pelarut, 2) Proses pencampuran bahan (Hidrolisis), Pencampuran antara prekursor Tetraetil Ortosilikat (TEOS) sebanyak 4.5 ml, aquades 1.5 ml, asam hidroklorida (HCl) 9 ml, dan ethanol 96% 5 ml. Dicampur dan di aduk didalam gelas ukur menggunakan spatula selama 10 menit supaya semua bahan tercampur rata. 3) Proses stiring menggunakan hot plate dan menggunakan magnetic stirrer dengan suhu 60°C dan kecepatan putaran 6 (350 Rpm) selama 120 menit, 4) Penuaan sol selama semalam/1 hari, 5) dikeringkan menggunakan oven Listrik dengan suhu 110°C selama 6 jam. 6) Penggerusan menggunakan mortar dan alu sampai membentuk serbuk SiO_2 . 7) Kalsinasi (Aging) dimana serbuk nanopartikel dimasukan kedalam furnace dan dipanaskan dengan suhu 600°C dengan waktu 60 menit / 90 menit / 120 menit.

3 Hasil dan Pembahasan

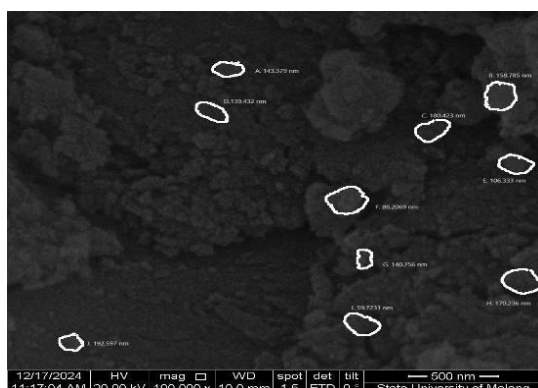
Bagian ini menyajikan hasil penelitian. Hasil penelitian dapat dilengkapi dengan tabel, grafik (gambar), dan/atau bagan. Bagian pembahasan memaparkan hasil pengolahan data, menginterpretasikan penemuan secara logis, mengaitkan dengan sumber rujukan yang relevan (sitasi). Bagian hasil dan pembahasan ini ditulis secara full text dan dihindari menggunakan sub bab jika memungkinkan.

3.1 Hasil Penelitian

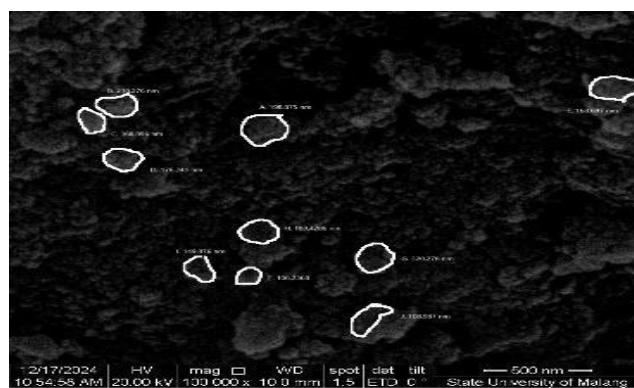
Gambar Morfologi dari Nanopartikel SiO_2 setelah Pengujian SEM



Gambar 3 Waktu 60 menit 200.000x.



Gambar 4 Waktu 90 menit 200.000x



Gambar 5 Waktu 120 menit 200.000x

Berdasarkan Gambar 3, 4, dan 5 merupakan hasil pengujian SEM dengan variasi waktu furnace 60 menit, 90 menit, 120 menit. Pada gambar 3 dengan waktu 60 menit menunjukkan permukaan yang tidak beraturan dan memiliki gumpangan yang tidak teratur. Dan selanjutnya pada gambar 4 dengan waktu 90 menit menunjukkan permukaan yang lebih merata dibandingkan dengan gambar 3, dan memiliki gumpalan yang lebih sedikit. Dan selanjutnya pada gambar 5 dengan waktu 120 menit memiliki permukaan yang lebih merata dibandingkan dengan gambar 3 dan gambar 4, dan juga memiliki gumpalan yang lebih sedikit dikarenakan mengalami penyusutan pada saat dilakukan furnace/kalsinasi.

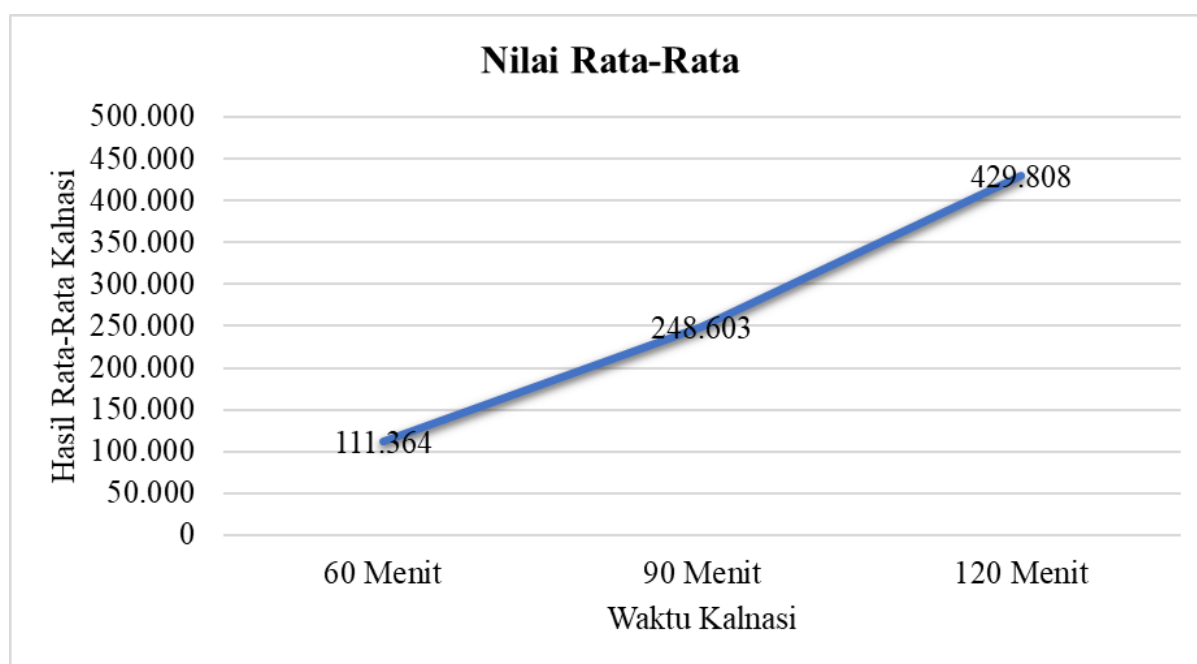
Dari hasil yang ditunjukkan pada gambar oleh ketiga gambar dapat dilihat bahwa semakin lama waktu furnace/kalsinasi akan mengalami penyusutan nanopartikel. Pengujian nanopartikel tersebut dapat dirincikan pada ukuran butir Nanopartikel SiO_2 setelah Pengujian SEM sebagai berikut:

Tabel 1 Ukuran Butir Nanopartikel SiO₂

Partikel	Ukuran Partikel dalam Waktu		
	60 Menit	90 Menit	120 Menit
A	117.53	143.379	198.875
B	260.667	158.785	218.276
C	10.0064	180.423	168.896
D	150.654	139.432	176.241
E	158.654	106.333	168.697
F	10.0078	88.2069	106.2368
G	117.647	140.256	320.278
H	140.222	170.236	189.4286
I	10.0021	59.7231	149.876
J	10.0089	192.597	108.987
Rata-rata	111.364	248.603	429.808

Sumber : Olahan penulis

Berikut grafik ukuran partikel dari terkecil hingga terbesar dan data butir nanopartikel,



Gambar 6 Grafik Ukuran Partikel

Berikut pada gambar 6 berdasarkan grafik nanopartikel terkecil, menengah, dan terbesar, nanopartikel terkecil pada waktu 60 menit dengan ukuran 111.364, dan partikel tertinggi terletak pada waktu 120 menit dengan ukuran 429.808.

3.2 Hasil Morfologi Nanopartikel SiO₂ setelah Pengujian SEM

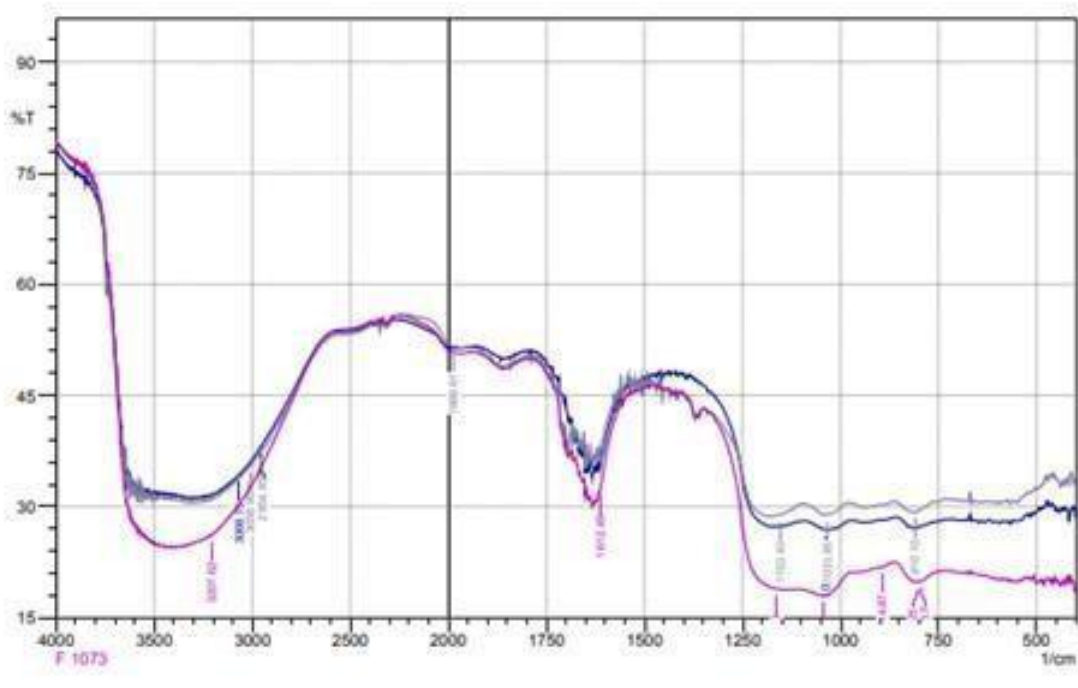
Hasil morfologi nanopartikel Hasil morfologi nanopartikel SiO₂ dicampur HCl menggunakan pengujian SEM dari proses sintesis metode sol-gel memiliki beberapa perbedaan. Tahapan proses sol-gel meliputi hidrolisis, kondensasi, pengeringan (drying), pematangan (aging). Tahap pertama, prekursor TEOS dilarutkan dalam alkohol dan ditambahkan air. Pada tahap kedua yaitu tahap kondensasi terjadi perubahan dari sol menjadi gel dengan menambahkan asam klorida (HCl). Tujuan penambahan HCl pada Nanopartikel SiO₂ mempercepat proses kondensasi dari cair ke padat. Dalam proses string 2 jam penggabungan TEOS dan HCl, pembentukan gel sudah mulai terlihat pada 60 menit pertama. Setelah reaksi hidrolisis dan kondensasi akan terbentuk gel. Sedangkan pada tahap ketiga yaitu pengeringan (Drying) air dan alkohol dengan tujuan agar terjadi penguapan larutan dan cairan yang tidak diinginkan untuk mendapatkan struktur partikel dengan luas permukaan yang tinggi. Selanjutnya tahap terakhir dilakukan pematangan (Aging) yang terjadi adanya reaksi pembentukan jaringan gel yang lebih kaku, kuat dan penyusutan partikel dalam nanopartikel atau disebut dengan kalsinasi.

Hasil pada pengujian SEM berbentuk gambar yang dapat digunakan untuk menganalisa perbedaan hasil morfologi, struktur dan ukuran nanopartikel SiO₂ setiap variasi waktu kalsinasi dari 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Bentuk morfologi nanopartikel SiO₂ dengan variasi ini berbentuk kasar, memiliki ukuran butir yang beragam, menggumpal, dan mempunyai ukuran partikel yang bervariasi. Pada waktu kalsinasi 60/90/120 menit fenomena yang terjadi adalah semakin lama waktu kalsinasi butiran semakin merata akibat adanya penyusutan pada partikel saat melakukan furnace sehingga ukuran partikel semakin besar. Pada tabel 1 ukuran butir nanopartikel SiO₂ menunjukkan lama waktu kalsinasi dapat mempengaruhi ukuran butir nanopartikel. Pada waktu 120 menit butir nanopartikel mengalami penyusutan pada saat melewati proses furnace sehingga ukuran partikel semakin besar dan merata yaitu ukuran rata-rata 429.808 nm. Hal itu disebabkan durasi waktu yang panjang pada proses kalsinasi. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi imageJ. Hal yang sama juga terjadi pada hasil morfologi nanopartikel gambar 3 struktur partikel lebih kasar sehingga terlihat tidak merata. Sedangkan pada gambar 4 dan 5 terlihat lebih merata pada pengujian SEM dengan perbesaran 200.000x.

Pada gambar 5 menunjukkan bentuk permukaan kasar dengan ukuran rata – rata partikel sebesar 429.808 nm. Terlihat jelas bahwa gambar 5 memiliki bentuk morfologi yang lebih besar dari pada gambar 3 dan gambar 4. Ini dikarenakan waktu kalsinasi yang diberikan lebih tinggi dari pada gambar 3 dan gambar 4 yaitu selama 120 menit. Sedangkan untuk gambar 3 dan gambar 4 masing – masing diberikan waktu 60 menit dan 90 menit. Dapat diketahui bahwa semakin lama waktu kalsinasi dapat mempengaruhi butir nanopartikel. Pengaruh kalsinasi pada si pada uji tergantung pada lama waktu yang dilakukan, kenaikan lama waktu penahanan pada proses kalsinasi dapat mengakibatkan peningkatan pada konsentrasi fase konduktif lama waktu kalsinasi juga dapat mempengaruhi derajat kristalisasi, dan ukuran kristal. Lama waktu kalsinasi juga mempengaruhi struktur atau bentuk permukaan pada benda uji. Proses dimana pencampuran semua bahan dengan ukuran yang sudah ditentukan. Proses sol juga bisa disebut dengan proses hidrolisis atau dekomposisi air dimana senyawa yang kompleks berubah menjadi senyawa yang lebih sederhana proses dilakukan dengan kecepatan 350 rpm selama 120 menit dengan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ (Aditya Wahyu Prasajo). Hasil penelitian saya bahwa nanopartikel yang bagus untuk digunakan cat akrilik yaitu pada variasi waktu kalsinasi 60 menit dengan ukuran terkecil 111.364 nm dan variasi waktu kalsinasi 120 menit dengan ukuran terbesar 429.808 nm.

3.3 Hasil Data Nanopartikel SiO₂ setelah Pengujian FTIR

Analisa pengujian karakteristik FTIR bertujuan untuk mengetahui keberadaan senyawa kimia pada setiap puncak serapan dan nilai bilangan gelombang.



Gambar 7 Grafik Data FTIR.

	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	1037.7	26.857	0.528	1076.28	1014.56	34.951	0.316
2	2953.02	38.054	0.088	2954.95	2632.83	110.5	0
3	3068.75	34.197	0.069	3070.68	2956.8	49.734	0.24
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	810.1	29.249	0.277	817.82	765.74	27.373	0.138
2	1033.85	28.931	0.082	1035.77	983.7	27.553	0.142
3	1153.43	28.884	0.07	1155.36	1101.35	28.564	0.062
4	1988.61	51.607	0.126	2094.69	1984.75	29.897	0.031
5	2954.95	37.373	0.088	2956.87	2607.76	120.114	0.049
6	3008.95	35.427	0.07	3010.88	2956.87	23.661	0.002
	Peak	Intensity	Corr. Intensity	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Area
1	794.67	19.906	0.072	796.6	756.1	27.807	0.024
2	806.25	19.801	0.373	858.32	800.46	39.537	0.478
3	894.97	21.796	0.063	896.9	860.25	23.948	0.01
4	1045.42	17.984	1.194	1072.42	972.12	72.274	1.684
5	1165	18.889	0.832	1332.81	1159.22	97.843	4.86
6	1612.49	31.792	0.447	1614.42	1560.41	22.102	0.003
7	3207.62	26.131	0.092	3209.55	2607.76	254.457	1.729

Gambar 8 Data Puncak Gelombang FTIR.

Hasil pengujian FTIR pada gambar 7 ini berupa grafik spektra IR dengan menentukan hasil gugusan senyawa SiO₂. Analisis struktur senyawa silika dioksida (SiO₂) dicampur HCl dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui ikatan gugus fungsi melalui bilangan gelombang dan intensitas puncak pada gambar metode Sol-Gel.

Pada hasil pengujian FTIR pada gelombang pertama 3228.84-2845 menunjukkan tingkat serapan dan menunjukkan vibrasi ulur Si-OH, pada gelombang 1614.42 menunjukkan vibrasi tekuk C=C alkena, pada gelombang 1180.44 - 810.1 menunjukkan vibrasi ulur C-O, pada gelombang terendah 516.92 menunjukkan vibrasi tekuk Si-CH.

4 Kesimpulan

Dari hasil pengujian sintesis nanopartikel SiO₂ dicampur HCl menggunakan metode Sol-Gel maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Waktu kalsinasi yang lebih lama memungkinkan pertumbuhan butiran yang lebih besar karena adanya difusi atom tinggi.
2. Dari variasi waktu kalsinasi 60 menit, 90 menit, 120 menit mendapatkan butiran partikel dengan ukuran rata-rata 60 menit 111.33 nm 90 menit, 248.6 nm, 120 menit 429.8 nm. Pengaruh perbedaan waktu kalsinasi berdampak pada butir partikel semakin lama waktu kalsinasi semakin besar nanopartikel SiO₂ yang dihasilkan.
3. Selama perlakuan panas seperti kalsinasi atau sintering, butiran dalam material dapat tumbuh dan mempengaruhi kekuatan mekanik, konduktivitas dan sifat optik.

5 Referensi

- [1] Y. A. dan A. L. Suprana, "Pengaruh Pengadukan Pada Pembentukan Sol-Silika dari Sodium Silikat," *Skripsi*, 2015.
- [2] G. Budiharti, D. Arifin Imam Supardi, and M. Si, "Sintesis Nanopartikel Silika Menggunakan Metode Sol-Gel Synthesis Of Silica Nanoparticles With Sol-Gel Method," 2015.
- [3] D. Rakhmawaty Eddy, A. Rostika, N. Dan, and D. Janati, "SINTESIS SILIKA METODE SOL-GEL SEBAGAI PENYANGGA FOTOKATALIS TiO₂ TERHADAP PENURUNAN KADAR KROMIUM DAN BESI ABSTRAK SINTESIS SILIKA METODE SOL-GEL SEBAGAI PENYANGGA FOTOKATALIS TiO₂," 2016.
- [4] L. Setiono, A. H. Pudjaatmaka, and E. Nugroho, *Vogel : Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro / G. SHEHLA*, Cetakan Pe. Jakarta: PT Kalman Media Pustaka, 1985.
- [5] A. Sulistyono *et al.*, "Indonesian Journal of Chemical Science Sintesis dan Karakterisasi TiO₂ (Nanorod)-SiO₂ dan Aplikasinya dalam Cat Akrilik," 2018. [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- [6] D. P. Efhana and M. Zainuri, "Pengaruh Variasi Waktu Penahanan Proses Kalsinasi Terhadap Prekursor Bahan Katoda Lithium Ferrophosphate (LFP)," *J. Sains Dan Seni Pomits*, vol. 3, no. 2, pp. 118–122, 2014.
- [7] M. N. Al Chabib, "Pengaruh Lama Kalsinasi pada Sintesis Senyawa Pigmen Hematit (α -Fe₂O₃) dari Limbah Industri Kerajinan Besi dengan Metode Rute Presipitasi-Kalsinasi.," pp. 1–23, 2017.
- [8] R. Rosalia, D. Asmi, and E. Ginting, "Preparasi dan Karakterisasi Keramik Silika (SiO₂) Sekam Padi dengan Suhu Kalsinasi 800-1000 C," *J. Teoro dan Apl. Fis.*, vol. 04, no. 01, pp. 101–106, 2016.
- [9] Le Huy Hai, "The effect of SiO₂ nanoparticles in polyurethane paint formulation on metal surfaces," *Int. J. Sci. Res. Arch.*, vol. 3, no. 1, pp. 031–036, Jul. 2021, doi: 10.30574/ijrsra.2021.3.1.0101.
- [10] V. J. Mohanraj and Y. Chen, "Nanoparticles," *Trop. J. Pharamaceutical Res.*, vol. 5, no. June, pp. 1025–1028, 2006, doi: 10.1002/9781118834015.ch97.
- [11] M. Gandhi Pragash, K. Badri Narayanan, P. Ravindra Naik, and N. Sakthivel, "Characterization of Chryseobacterium aquaticum strain PUPC1 producing a novel antifungal protease from rice rhizosphere soil," *J. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 19, no. 1, pp. 99–107, 2009, doi: 10.4014/jmb.0803.173.
- [12] K. Park, Y. Yeo, and J. Swarbrick, "Microencapsulation Technology in: Encyclopedia of Pharmaceutical Technology 3rd Edition," *New York Inf. Healthc. USA, Inc.*, pp. 2315–2325, 2007, doi: 10.1081/E-EPT120028567.
- [13] M. Abdullah, M. Si, and M. K. E. Dimensi, "NANOSAINS," 2008.