UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Prarancangan Pabrik Nanosilika dari Silika Produk Samping Aluminium Fluorida dengan Kapasitas 4.200 Ton/Tahun
Karisma Aprilia, Ir. Ade Kurniawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Nanosilica is a silica (SiO_2) nanomaterial with a high specific surface area and favorable physicochemical properties, making it suitable for a wide range of industrial applications. Various silica sources, including industrial by-products, have been investigated as raw materials for nanosilica synthesis through various synthesis methods. PT Petrokimia Gresik's Aluminum Fluoride (AlF_3) plant generates up to 21 tons of bulk silica as a byproduct, which is currently underutilized. This silica can be processed into nanosilica, thereby creating significant added value and supporting Indonesia's circular economy. According to a Grand View Research report (2025), the global nanosilica market is projected to grow at a Compound Annual Growth Rate (CAGR) of 15.4% during the forecast period of 2026–2033. Driven by the projected market growth, a nanosilica plant utilizing silica byproduct from AlF_3 has been designed with a total capacity of 4,200 tons per year. The plant will be located in Gresik Regency, East Java, due to its proximity to the raw material source and the availabitlity of adequate infrastructure, workforce, and distribution networks.

The plant design to produce nanosilica (99.9% purity) as the primary product and 10 wt% hydrochloric acid solution as the byproduct. Nanosilica is produced using flame hydrolysis method, beginning with the pre-treatment of silica material using HCl solution, followed by the synthesis of a silicon tetrachloride ($SiCl_4$) precursor via chlorination reaction involving chlorine gas and carbon. The resulting $SiCl_4$ is then reacted with H_2 gas and air, generating a flame that reaches a temperature of 1,727°C under atmospheric pressure. The resulting gas stream rapidly cooled (quenched) with air to suppress particle growth. The gas mixture is subsequently processed to reduce the HCl content from the nanosilica particle surfaces. The nanosilica product is separated from the gas stream, while the residual gas containing HCl is processed into a 10 wt% hydrochloric acid solution. The resulting nanosilica forms agglomerates with a size of 250–300 μm.

Based on the plant's design capacity, the required raw materials are 6,930 tons/year of silica, 1,906.14 tons/year of carbon, 6,670.71 tons/year of nitrogen, 11,253.7 tons/year of chlorine, 295.74 tons/year of hydrogen, 38,776.53 tons/year of NaOH, and 1,413.8 tons/year of natural gas. The plant is supported by 246 employees working in both shift and non-shift systems. Utility requirements include a total water demand of 185,570.47 kg/h, steam demand of 1,393.2796 kg/h, air demand of 26,876.91 kg/h, electricity demand of 895.11 kWh, and 30.89 tons/year of fuel for the diesel generator. The plant is planned to be bluid on a 8.16-hectare site.

The plant requires a fixed capital investment of $117.791.305,76 and a working capital of $19.803.097,91. Projected profits are $26.158.965,42/year before tax and $20.403.993,02/year after tax. Economic evaluation indicates an after-tax ROI of 17,32%, an after-tax POT of 3,66 years, a BEP of 51,68%, an SDP of 23,40%, and a DCFRR of 25.48%. Based on these results, the proposed nanosilica plant utilizing silica byproduct from AlF_3 is economically feasible and recommended for further study.

Keywords: *Nanosilica, flame hydrolysis, silicon tetrachloride, silica, hydrochloric acid*

Prarancangan Pabrik Nanosilika dari Silika Produk Samping Aluminium Fluorida dengan Kapasitas 4.200
Ton/Tahun
Karisma Aprilia, Ir. Ade Kurniawan, S.T., M.Eng., Ph.D.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Nanosilika merupakan material silika (SiO_2) berukuran nano dengan luas permukaan tinggi yang banyak diaplikasikan di berbagai industri. Berbagai sumber silika, termasuk produk samping industri, telah dikaji sebagai bahan baku sintesis nanosilika melalui beragam metode. Pabrik Aluminium Fluorida (AlF_3) milik PT Petrokimia Gresik menghasilkan produk samping berupa silika curah hingga mencapai 21 ton/hari yang pemanfaatannya masih sangat terbatas. Silika tersebut dapat diolah menjadi nanosilika sehingga memilika nilai tambah yang siginfikan serta mendukung *circular economy* di Indonesia. Berdasarkan laporan Grand View Research (2025), nilai pasar nanosilika global diproyeksikan mengalami pertumbuhan dengan laju CAGR sebesar 15,4% pada tahun 2026 hingga 2033. Berdasarkan pertimbangan tersebut, dirancang pabrik nanosilika dari silika produk samping AlF_3 dengan kapasitas 4.200 ton/tahun. Pabrik ini akan dibangun di Kabupaten Gresik, Jawa Timur karena dekat dengan sumber bahan baku silika, didukung infrastruktur, tenaga kerja, dan akses distribusi yang memadai.

Prarancangan pabrik ini mencakup produk utama berupa nanosilika dengan kemurnian 99,9% dan produk samping berupa larutan asam klorida 10%. Pembuatan nanosilika dilakukan dengan metode *flame hydrolysis* yang diawali dengan *pre-treatment* bahan silika menggunakan larutan HCl 10% yang dilanjutkan dengan pembuatan preskursor Silikon Tetraklorida ($SiCl_4$). Prekursor dibuat dengan reaksi klorinasi yang melibatkan gas klorin dan karbon. Gas $SiCl_4$ yang dihasilkan kemudian direaksikan bersama gas H_2 dan udara sehingga menghasilkan nyala api yang mencapai suhu 1727 °C pada tekanan 1 atm. Gas yang dihasilkan didinginkan secara cepat (*quenching)* menggunakan udara untuk menghentikan pertumbuhan partikel. Campuran gas selanjutnya diproses untuk mengurangi kandungan HCl pada permukaan partikel nanosilika. Produk nanosilika dipisahkan dari aliran gas, sedangkan gas sisa yang mengandung HCl diproses menjadi larutan asam klorida 10%. Nanosilika yang dihasilkan memiliki ukuran 250-300 mikron.

Berdasarkan kapasitas perancangan pabrik, dibutuhkan bahan baku silika sebanyak 6930 ton/tahun, Karbon sebanyak 1906,14 ton/tahun, Nitrogen sebanyak 6670,71 ton /tahun, Klorin sebanyak 11253,7 ton/tahun, Hidrogen sebanyak 295,74 ton/tahun, NaOH 5% sebanyak 38776,53 ton/tahun, dan gas alam sebanyak 1413,8 ton/tahun. Pabrik didukung oleh 246 karyawan yang bekerja baik secara *shift* maupun non-*shift*. Kebutuhan utilitas pabrik meliputi total kebutuhan air sebesar 185.570,47 kg/jam, kebutuhan *steam* sebesar 1393,2796 kg/jam, kebutuhan udara sebesar 26.876,91 kg/jam, kebutuhan listrik sebesar 895,11 kWh, dan bahan bakar untuk generator diesel sebanyak 30,89 ton/tahun. Pabrik ini direncanakan dibangun pada lahan seluas 8,16 ha.

Pabrik ini memerlukan *fixed capital* sebesar $117.791.305,76 dan *working capital* sebesar $19.803.097,91. Keuntungan yang diperoleh pabrik sebesar $26.158.965,42/tahun sebelum pajak dan $20.403.993,02/tahun setelah pajak. Hasil analisis menunjukkan nilai ROI setelah pajak sebesar 17,32%, POT setelah pajak selama 3,66 tahun, BEP 51,68%, SDP 23,4%, dan DCFRR 25,48%. Berdasarkan hasil tersebut, pabrik nanosilika dari silika produk samping AlF_3 layak untuk dikaji lebih lanjut.

Kata Kunci: Nanosilika, *flame hydrolysis,* silikon tetraklorida, silika, asam klorida