



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK ALUMINIUM SULFAT DARI KAOLIN DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES DORR

BAB II

URAIAN DAN SELEKSI PROSES

II.1 Macam-macam Proses

Alumunium Sulfat dengan rumus senyawa $Al_2(SO_4)_3$ atau sering disebut juga dengan alum (tawas) merupakan senyawa yang bersifat larut dalam air dan sering digunakan dalam pengolahan air. Umumnya Aluminium Sulfat digunakan sebagai bahan penunjang berbagai industri diantaranya dalam bidang farmasi sebagai antiseptic, industri kertas, industry pewarna modern, dan industry sabun atau deterjen. Produksi Aluminium Sulfat dapat dilakukan melalui beberapa metode. Pada dasarnya Alumunium Sulfat dibuat dengan mereaksikan dengan bahan kimia (asam atau basa), namun pembuatan Aluminium Sulfat juga bergantung pada bahan baku yang akan digunakan yaitu dapat berupa bijih bauksit (*alumina ore*) atau Kaolin. Proses pembuatan Aluminiu Sulfat pada dasarnya melibatkan reaksi antara bahan yang mengandung Alumina (Al_2O_3) dengan Asam Sulfat. Proses ini dapat dilakukan melalui beberapa metode, di antaranya:

1. Proses Guilini
2. Proses Dorr

I.1.1 Proses Guilini

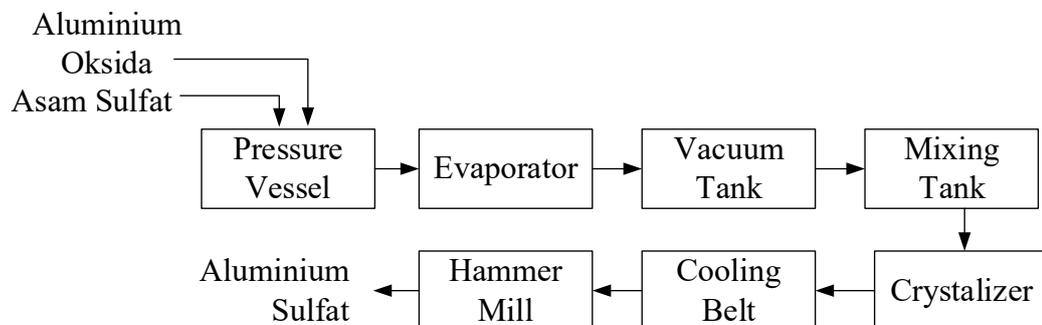
Proses Guilini merupakan salah satu metode awal untuk memproduksi Aluminium Sulfat, pada abad ke-19 sampai ke-20. Proses ini menggunakan bahan baku berupa Aluminium Hidroksida $Al(OH)_3$. Aluminium hidroksida dimasukkan ke dalam reaktor bertekanan yang dilengkapi pengaduk, kemudian asam sulfat pekat dengan konsentrasi sekitar 55% ($1,6 \text{ g/cm}^3$) ditambahkan. Reaksi eksotermis berlangsung pada suhu sekitar 170°C dan tekanan 5–6 bar, dengan waktu reaksi sekitar 10–12 menit dan dilanjutkan pengadukan selama 1 jam. Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah:





PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK ALUMINIUM SULFAT DARI KAOLIN DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES DORR

Proses ini menghasilkan aluminium sulfat cair dengan konversi 98%. Larutan hasil reaksi kemudian dipindahkan ke wadah tembaga untuk evaporasi kilat dan selanjutnya ke tangki vakum, di mana pendinginan dilakukan tanpa menimbulkan kerak pada permukaan penukar panas. Setelah pendinginan hingga suhu 85 °C, larutan dicampur dengan 1–2% serbuk aluminium sulfat sebagai inti kristalisasi. Produk berbentuk bubuk ini kemudian dipindahkan ke sabuk konveyor tahan panas untuk kristalisasi. Aluminium sulfat yang telah mengkristal didinginkan menggunakan Conveyor berpendingin udara hingga mencapai suhu 40 °C, kemudian digiling dan diayak untuk mencapai ukuran yang diinginkan (Ullmann's, 2002).



Gambar II. 1 Blok Diagram Proses Guillini

I.1.2 Proses Dorr

Proses Dorr adalah metode yang dikembangkan dalam pengolahan bijih mineral. Proses ini di temukan oleh Jhon Van Nostrand Dorr pada abad ke-20. Dorr dikenal sebagai seorang insinyur kimia yang inovatif, dan kontribusinya dalam mengembangkan alat dan metode sedimentasi menjadi tonggak penting dalam pengolahan mineral (Taggart, 1927). Proses Dorr menggunakan kaolin ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) sebagai bahan baku utama, yang lebih ekonomis dibandingkan aluminium hidroksida. Dalam proses ini, kaolin direaksikan dengan asam sulfat pekat pada suhu 100–133°C dan tekanan 1 atm, dengan waktu reaksi sekitar 30-60 menit dalam reaktor berpengaduk. Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah :

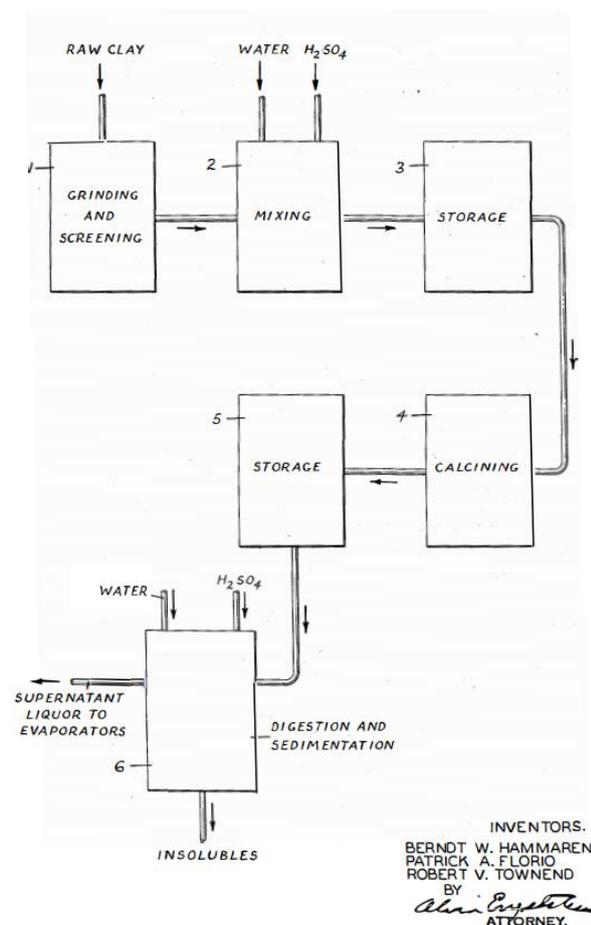


Reaksi ini menghasilkan aluminium sulfat larut dalam air, serta residu silika (SiO_2) yang harus dipisahkan melalui proses filtrasi. Konversi reaksi dalam proses



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK ALUMINIUM SULFAT DARI KAOLIN DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES DORR

dorr mencapai 95%. Larutan aluminium sulfat yang diperoleh kemudian difiltrasi dan pengendapan untuk dilakukan proses pemurnian produk. Selanjutnya dikristalisasi untuk menghasilkan produk kristal aluminium sulfat. Proses ini cocok untuk skala besar karena kaolin sebagai bahan baku tersedia melimpah dengan biaya lebih rendah, tetapi residu silika memerlukan pengelolaan lebih lanjut. Meskipun demikian, proses Dorr dapat mencapai efisiensi tinggi dalam konversi alumina menjadi aluminium sulfat (US Patent 2,531,978)



Gambar II. 2 Blok Diagram Proses Aluminium Sulfat

(US Patent 2,531,978)



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK ALUMINIUM SULFAT DARI KAOLIN DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES DORR

II.2 Seleksi Proses

Untuk mengoptimalkan proses yang digunakan, berbagai aspek perlu diperhatikan. Proses terbaik dipilih berdasarkan hasil analisis perbandingan yang ditampilkan pada tabel berikut

Tabel II. 1 Seleksi Proses

Parameter	Macam Proses	
	Proses Guillini	Proses Dorr
Bahan Baku	Aluminium Hidroksida murni	Kaolin
Konversi	90-98%	95%
Waktu Reaksi	10-12 menit	1-4 jam
Suhu	170°C	110°C
Tekanan	5-6 bar	1 bar
Investasi Awal	Relatif tinggi karena menggunakan bahan baku murni	Lebih rendah, bahan baku ekonomis dan melimpah
Skala Produksi	Hanya cocok untuk skala kecil hingga menengah	Ideal untuk skala besar dengan bahan baku murah
Biaya Operasional	Tinggi, bahan baku aluminium hidroksida mahal.	Lebih rendah, kaolin lebih murah.

Berdasarkan penjelasan mengenai proses pembuatan aluminium sulfat yang telah diuraikan sebelumnya, metode yang paling efisien dan efektif adalah pembuatan aluminium sulfat dari kaolin dan asam sulfat melalui proses Dorr. Proses ini memiliki beberapa keunggulan, di antaranya:

1. Bahan baku yang murah dan melimpah sehingga mengurangi biaya produksi.
2. Efisien untuk produksi skala besar dengan konversi bahan baku yang tinggi.
3. Menghasilkan silika (SiO_2) yang dapat dimanfaatkan untuk aplikasi lain, meningkatkan nilai tambah
4. Biaya operasional rendah, dengan suhu operasi rendah (110°C) dan tekanan atmosfer mengurangi kebutuhan energi.



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK ALUMINIUM SULFAT DARI KAOLIN DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES DORR

II.3 Uraian Proses

Proses Dorr dalam produksi aluminium sulfat terdiri dari tiga tahap utama, yaitu tahap persiapan bahan baku, proses mixing, proses kalsinasi, reaksi proses, proses sedimentasi dan proses pengemasan produk.

II.3.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Proses preparasi kaolin untuk produksi aluminium sulfat diawali dengan operasi penggilingan menggunakan Ball Mill (C-120). Material Kaolin yang di dapatkan dari PT. Kaolin Indonesia digiling hingga mencapai ukuran target. Proses grinding ini dirancang untuk mengoptimalkan karakteristik kaolin yang secara alami memiliki sifat sedimentasi lambat. Partikel yang belum mencapai ukuran target (20 mesh) akan melewati proses penyaringan dan penggilingan ulang untuk menjamin keseragaman ukuran partikel. Material yang telah memenuhi spesifikasi ukuran kemudian di proses melalui tahap pencampuran (*mixing*) dengan larutan asam sulfat dan air untuk membentuk campuran yang homogen.

II.3.2 Pencampuran (Mixing)

Proses pencampuran (*mixing*) merupakan tahap setelah preparasi kaolin, dimana material yang telah digiling dicampur secara bertahap dengan larutan asam sulfat dan air dalam mixer paddle (M-210). Pencampuran dilakukan dengan menambahkan 15-25% air dan 1-5% asam sulfat (20%). Proses mixing dirancang untuk memastikan distribusi yang merata antara fase padat (kaolin) dan cair (larutan asam sulfat 20%) dengan menggunakan *paddle Mixer*. Pencampuran dilakukan selama 1 menit hingga bahan tercampur secara homogen.

II.3.3 Proses Kalsinasi

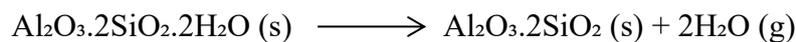
Tahap kalsinasi dilakukan setelah proses pencampuran (*mixing*), dimana campuran kaolin yang telah diberi perlakuan dipanaskan dalam rotary kiln (B-220) pada suhu 1000-1600°F (540-870°C) selama 1 jam. Proses ini bertujuan untuk mengubah struktur kaolin menjadi alumina yang lebih reaktif. Proses kalsinasi kaolin ini berlangsung melalui tiga tahap transformasi termal yang terdefinisi dengan baik. Tahap pertama terjadi pada 100-200°C dimana air bebas diuapkan. Tahap kedua berlangsung pada rentang suhu 500-800°C, dimana kaolin $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ terurai menjadi alumina [Al_2O_3] dan Silika [SiO_2] yang bersifat reaktif



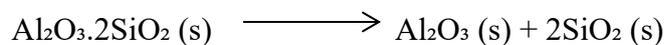
PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK ALUMINIUM SULFAT DARI KAOLIN DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES DORR

terhadap asam sulfat. Adapun tujuan dari kalsinasi ini diantaranya Mengubah struktur alumina dalam tanah liat menjadi bentuk yang lebih reaktif terhadap asam sulfat, Meningkatkan kekuatan mekanik partikel, Mempercepat waktu sedimentasi dari >24 jam menjadi <1 jam untuk *soft bond* atau Kaolin. Reaksi yang terjadi dalam Rotary Klin diantaranya :

a) Reaksi tahap 1



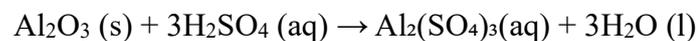
b) Reaksi tahap 2



II.3.4 Tahap Reaksi Proses

Pada tahap ini, kaolin yang telah dipersiapkan akan direaksikan dengan asam sulfat (48%) dalam reaktor CSTR (R-410). Reaksi berlangsung pada suhu 110°C tekanan 1 atm dengan konversi 95% selama 60 menit. Reaksi kedua bahan tersebut bersifat eksotermis dan hasil reaksi akan mengandung larutan aluminium sulfat serta residu silika yang tidak bereaksi.

Reaksi utama yang terjadi:



Reaksi samping:

1. $\text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{s}) + 3\text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 (\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{O} (\text{l})$
2. $\text{CaO} (\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{Ca}(\text{SO}_4) (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$
3. $\text{MgO} (\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{Mg}(\text{SO}_4) (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$
4. $\text{K}_2\text{O} (\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{K}_2(\text{SO}_4) (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$
5. $\text{Na}_2\text{O} (\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{Na}(\text{SO}_4) (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l})$
6. $\text{TiO}_2 (\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{Ti}(\text{SO}_4)_2 (\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O} (\text{l})$
7. $\text{SiO}_2 (\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{aq}) \rightarrow \text{Si}(\text{SO}_4)_2 (\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O} (\text{l})$

Reaksi tersebut berlangsung pada reaktor yang di jaga kondisi operasi yang dengan pengadukan.

II.3.5 Pengendapan (Sedimentasi)

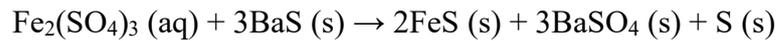
Proses sedimentasi merupakan tahap setelah reaksi, proses ini secara khusus dioptimalkan untuk menghilangkan impurities yang masih terkandung.



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK ALUMINIUM SULFAT DARI KAOLIN DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES DORR

Pengendapan atau sedimentasi terjadi dua tahap pada Thickener-1 (H-420) dan Thickener-2 (H-430). Pada thickener terjadi pemisahan filtrat dan endapan secara sedimentasi dengan penambahan flake glue dan Barium Sulfide.

Reaksi yang terjadi pada thickener pertama adalah:



Barium sulfide (BaS) dimasukkan ke dalam Thickener-1 untuk mereduksi *ferric sulfate*. Pada thickener terjadi pemisahan filtrat dan endapan secara sedimentasi dengan penambahan flake glue. Flake glue yang ditambahkan pada thickener pertama digunakan sebagai koagulan untuk mempercepat pengendapan. Keluaran underflow thickener pertama selanjutnya dialirkan menuju thickener kedua sedangkan overflow akan dialirkan menuju tangki penyimpanan sementara (F-440). Material yang tak larut tersebut akan mengendap dan dicuci secara menyeluruh secara kontinyu. Pencucian ini bertujuan untuk melarutkan aluminium sulfat yang masih terdapat dalam padatan sehingga tidak ada aluminium sulfat yang terbuang. Hasil underflow thickener kedua berupa endapan akan disimpan pada tempat penyimpanan sementara sebelum dilakukan proses pengolahan limbah, sedangkan underflow akan dialirkan menuju tangki penyimpanan sementara aluminium sulfat.

II.3.3 Tahap Pemurnian

Larutan aluminium sulfat dari tangki penyimpanan sementara selanjutnya dialirkan dengan bantuan pompa menuju ke Evaporator (V-450) untuk dilakukan pemekatan sebelum masuk ke dalam Crystallizer (S-460). Uap yang keluar dari evaporator masuk ke kondensor untuk mengkondensasi uap. Kemudian produk dari evaporator dimasukkan ke dalam crystallizer dimana akan terjadi pembentukan kristal, selanjutnya dimasukkan ke dalam Centrifuge (H-470) untuk dilakukan pemisahan antara produk dengan mother liquor. Mother liquor akan direcycle ke crystallizer sedangkan produk yang dihasilkan akan dikeringkan ke dalam Rotary Dryer (B-480). Kristal aluminium sulfat kemudian akan dikeringkan menggunakan rotary dryer pada suhu 110°C dimana proses pengeringan dilakukan dengan bantuan blower untuk menguapkan air yang masih terkandung dalam produk. Kemudian produk keluar rotary dryer didinginkan menggunakan cooling conveyor



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK ALUMINIUM SULFAT DARI KAOLIN DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES DORR

sehingga produk menjadi 30°C. Selanjutnya produk diumpankan ke dalam ball mill untuk dihaluskan hingga 200 mesh sebagai produk akhir aluminium sulfat dan simpan di silo produk aluminium sulfat.

(US Patent 2,531,978)



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK ALUMINIUM SULFAT DARI KAOLIN DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES DORR

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2025). “Eksport – Import Komoditi Aluminium Sulfat”.
(<http://www.bps.go.id>)
- Badger, W.L. and Banchero, J.T (1955) *Introduction to Chemical Engineering*.
New York: Mc-Graw Hill Company, Inc.
- Bhumi 2024, Aplikasi BHUMI Kementrian ATR/BPN, dilihat 20 Agustus 2024,
<<https://bhumi.atrbpn.go.id/>>
- Brownell, L.E. and Young, E.H. (1959) *Process Equipment Design*. New York:
John Wiley & Sons, Inc.
- CEPCI 2024, Cost Indices, dilihat 1 Juli 2024, < <https://toweringskills.com/>>
- Faith, W.L., Keyes, D.B., and Clark, R.L., (1957) *Industrial Chemistry*, John
Wiley and Sons, London
- Geankoplis, C.J. (1993) *Transport Processes dan Unit Operations*. America: P.T.R
Prentice-Hall Inc
- Hesse, H.C. (1945) *Process Equipment Design*. New York: D. Van Nostrand
Company, Inc.
- Himmelblau, D.M. and Riggs, J.B. (1996) *Basic Principles and Calculations in
Chemical Engineering*. America: Prentice Hall International Series.
- Jennings, George H. 1972. *Continuous Production of Aluminium Sulphate*. U.S.
Patent No. 3,667,905, 6 Juni 1972. United States Patent Office
- Kern, D.Q. (1950) *Process Heat Transfer*, New York: McGraw Hill.
- Kementrian Kesehatan 2017, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia
Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan
Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene
Sanitasi, Kolam Renang, Solus per Aqua, dan Pemandian Umum,
Direktorat Kesehatan, Jakarta.
- Kementrian Ketenagakerjaan, 1996, Peraturan Menteri Tenaga Kerja RI No.
PER/05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan
Kesehatan Kerja, Direktorat Ketenagakerjaan, Jakarta.



PRA RANCANGAN PABRIK PABRIK ALUMINIUM SULFAT DARI KAOLIN DAN ASAM SULFAT DENGAN PROSES DORR

- Kirk, R.E., and Othmer, D.F. (1998) Encyclopedia of Chemical Technology 4th Edition Vol. 2. New York: The Inter Science Encyclopedia, Inc.
- Kurs Dollar 2024, Kurs Dollar, dilihat 10 Agustus 2025, < www.kursdollar.net/>
- Kusnarjo. 2010. "Desain Alat Pemindah Panas". Jakarta : UI Press
- Othmer ,Kirk. (1965). "Encyclopedia of Chemical Technology", 3th edition vol. 23. New York : Mc Graw Hill Companies Inc
- Mc.Cabe, W. L., Smith, J. C., Harriot, P. 1993, Unit Operation of Chemical Engineering 5th edition, Mc Graw-Hill, New York.
- Pemerintah Indonesia 1970, Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Pemerintah Indonesia 2012, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia N0. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jakarta.
- Pemerintah Indonesia 2007, Undang-Undang No. 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Perry, Robert H. (1999) "Perry's Chemical Engineer's Handbook" , 7th edition. New York : McGraw-Hill Book Company Inc
- Perry, Robert H. (2008) "Perry's Chemical Engineer's Handbook" , 8th edition. New York : McGraw-Hill Book Company Inc
- Perusahaan Listrik Negara 2025, Besaran Jaminan Langgan, dilihat 2 Agustus 2025,
- Peters, M.S., Timmerhaus, K.D. & West, R.E. (1991) Plant Design and Economics For Chemical Engineers. Singapore: McGraw-Hill Book.
- Smith, J.M. and Van Ness, H. C. (2005) Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 8th Edition. New York: Mc Graw Hill.
- Ullmann's , 2002 , "Encyclopedia of Industrial Chemistry",5th edition. VCH : Completely Revised Edition
- Ulrich, G.D. (1984) A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. New York: John Wiley & Sons.
- Yaws, C.L. (1999) Chemical Properties Handbook. New York: McGraw-Hill.