

Pra Desain Pabrik Pupuk NPK dari Amonia, Asam Fosfat, dan Kalium Klorida dengan Metode *Mixed Acid Route*

Iswaar Farroosa Alqoffan, Mohd Azmi Fadhi Siregar, Sumarno, dan Bramantyo Airlangga
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: onramus@chem-eng.its.ac.id

Abstrak—Pupuk NPK merupakan pupuk majemuk yang terdiri dari beberapa unsur yaitu nitrogen, fosfor dan kalium. Proses produksi pupuk NPK dilakukan dengan metode *mixed acid route*. Pada pra desain pabrik ini dilakukan perancangan pabrik pupuk NPK dengan kapasitas 510.000 ton/tahun yang akan didirikan di Paciran, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur pada tahun 2028 dengan pertimbangan akses bahan baku dan distribusi produk. Proses pembuatan pupuk NPK terdiri dari persiapan bahan baku, netralisasi, granulasi, pengeringan, pemisahan, pendinginan, dan pelapisan produk. Pabrik ini dirancang beroperasi secara kontinu selama 300 hari/tahun dengan basis waktu kerja 24 jam/hari. Dari analisis perhitungan ekonomi untuk mendirikan pabrik pupuk NPK ini membutuhkan modal tetap (*Fixed Capital*) sebesar Rp1.334.914.138.191,45 dan modal kerja (*Working Capital*) sebesar Rp235.573.083.210,26. Waktu pengembalian modal (*Pay Out Time*) yaitu selama 3,4 tahun dengan titik impas (*Break Even Point*) sebesar 42,7%, laju pengembalian modal (*Internal Rate of Return*) sebesar 34,95%, dan nilai *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp1.294.142.666.358,61. Berdasarkan segi teknis dan ekonomi, secara keseluruhan pabrik pupuk NPK ini layak untuk didirikan.

Kata Kunci—*Mixed Acid Route*, NPK, Pabrik, Pupuk.

I. PENDAHULUAN

KEBUTUHAN pupuk di Indonesia setiap tahun terus meningkat selaras dengan semakin intensifnya peningkatan hasil pertanian dengan cara memperluas lahan pertanian pertanian. Sebagai negara agraris Indonesia diharapkan mampu memenuhi kebutuhan pangan pokok domestik. Pupuk NPK merupakan salah satu jenis pupuk anorganik yang dapat digunakan dan sangat efektif dalam meningkatkan pemanfaatan sejumlah besar unsur hara (N, P dan K), serta dapat menggantikan pupuk tunggal. Unsur N (nitrogen) berfungsi untuk pembentukan karbohidrat, protein, lemak dan persenyawaan organik lain, unsur P (fosfor) berfungsi untuk pembentukan bagian generatif tanaman, dan unsur K (kalium) berfungsi dalam memacu translokasi karbohidrat dari daun ke organ tanaman [1]. Pupuk yang memiliki kandungan nitrogen, fosfat, dan kalium memberikan pengaruh yang sangat besar bagi pertumbuhan dan hasil tanaman.

NPK sangat banyak digunakan dalam sektor perkebunan dan pertanian, namun produksi pupuk NPK cenderung stagnan beberapa tahun kebelakang dan jika terus berlanjut Indonesia akan mengalami defisit pasokan pupuk yang akan mengakibatkan jumlah pupuk yang diaplikasikan ke areal pertanian akan menurun, sehingga dapat dipastikan produktivitas pertanian pun akan menurun. Pembangunan pabrik pupuk NPK dengan kapasitas cukup besar merupakan solusi untuk meningkatkan produksi pupuk di Indonesia dan

Tabel 1.
Kapasitas Produksi Bahan Baku PT. Petrokimia Gresik Tahun 2022

Bahan Baku	Kapasitas (ton/tahun)
Asam Sulfat	1.170.000
Asam Fosfat	400.000
Ammonia	1.105.000
Urea	1.030.000
Amonium Sulfat (ZA)	750.000

Tabel 2.
Kapasitas Produksi Pabrik Pupuk NPK di Indonesia

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton)
PT Petrokimia Gresik	Gresik, Jawa Timur	2.620.000
PT Pupuk Kujang	Cikampek, Jawa Barat	200.000
PT Pupuk Kalimantan Timur	Bontang, Kalimantan Timur	200.000
PT Pupuk Sriwidjaja Palembang	Palembang, Sumatera Selatan	100.000
TOTAL		3.120.000

Tabel 3.
Data Impor, Ekspor, Produksi, dan Konsumsi Pupuk NPK di Indonesia

Tahun	Impor (ton)	Ekspor (ton)	Produksi (ton)	Konsumsi (ton)
2017	588.114	7.080	3.282.957	2.597.586
2018	421.408	2.432	3.159.966	2.802.246
2019	277.536	6.886	2.923.452	3.088.176
2020	368.133	3.814	3.023.235	3.159.311
2021	425.413	6.534	3.169.211	3.301.209

menghindari terjadinya defisit tersebut.

Pembangunan pabrik pupuk NPK juga mendukung program pemerintah untuk berswasembada pangan, karena dengan meningkatnya pasokan pupuk, maka diharapkan produktivitas pertanian juga akan meningkat. Menurut data Badan Pusat Statistik mulai dari tahun 2017-2021, impor tertinggi pupuk NPK di Indonesia mencapai 588.114 ton/tahun. Dengan angka atau jumlah tersebut bisa dikatakan Indonesia masih mengandalkan impor untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Pastinya, kebutuhan dari pupuk NPK akan meningkat dan akan memperbesar jumlah impor. Namun, selain mengimpor ternyata Indonesia juga melakukan kegiatan ekspor dari pupuk NPK. Rata-rata jumlah ekspor yang dilakukan Indonesia 5349,2 ton/tahun. Nilai ekspor NPK cenderung tidak stabil dan impor NPK cenderung meningkat untuk tiga tahun kebelakang. Hal ini dikarenakan produksi NPK dalam negeri belum bisa memenuhi permintaan pasar. Sehingga, dilakukan pengurangan jumlah ekspor dan penambahan jumlah impor untuk memenuhi kebutuhan pasar. Selain itu, pertumbuhan kebutuhan pupuk NPK semakin meningkat seiring bertambahnya tahun. Namun pertumbuhan produksi cenderung stabil yang mana jumlah produksi ini masih belum

Tabel 4.
Proyeksi Data Pupuk NPK pada Tahun 2028

Tahun	Impor (ton)	Ekspor (ton)	Produksi (ton)	Konsumsi (ton)
2028	329.813	56.370	3.007.088	5.036.144

Tabel 5.
Spesifikasi Produk Pupuk NPK

Paramater	Spesifikasi
Bau	Tanpa Bau
Penampilan	Butiran merah muda
Kelarutan	Mudah larut dalam air
Densitas Relatif	<1
pH	5-8
%N	15% ± 1,2%
%P	15% ± 1,2%
%K	15% ± 1,2%
%Sulfur	10%
%H ₂ O	1,5% max
Ukuran Butiran	4-10 mesh, 80% min

setara dengan jumlah kebutuhan NPK.

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan Bahan Baku dan Produk

Bahan baku yang digunakan untuk produksi pupuk NPK terdiri dari bahan cairan dan bahan padatan. Bahan cairan terdiri dari amonia, asam sulfat dan asam fosfat. Bahan padatan terdiri dari urea, amonium sulfat, dan kalium klorida. Dalam perancangan pabrik pupuk NPK ini hampir semua bahan baku disediakan oleh PT. Petrokimia Gresik kecuali kalium klorida yang akan diimpor dari Kanada. Data kapasitas produksi di PT. Petrokimia Gresik untuk bahan baku pembuatan pupuk NPK ditampilkan pada Tabel 1.

Menurut data tahun 2020, Pupuk Indonesia memproduksi pupuk NPK sebesar 3.120.000 ton/tahun. Dengan masih terbukanya lapangan pekerjaan di sektor pertanian dan perkebunan juga berdasarkan proyeksi kebutuhan pupuk NPK di Indonesia, pembangunan pabrik pupuk NPK yang direncanakan dinilai cukup baik. Hal ini berbanding lurus dengan pertumbuhan nilai konsumsi pupuk NPK. Pupuk yang akan diproduksi ini dikenal dipasaran sebagai pupuk NPK 15-15-15. Data kapasitas produksi pupuk NPK di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.

B. Kapasitas Produksi

Dalam perancangan pabrik pupuk NPK ini perlu memperhatikan kapasitas produksi dari pabrik pupuk NPK. Penentuan kapasitas pabrik didasarkan pada kebutuhan nasional pupuk NPK di Indonesia dengan didukung data-data berupa jumlah impor, ekspor, produksi dan konsumsi pupuk NPK di Indonesia selama 5 tahun terakhir dapat dilihat pada Tabel 3.

Pabrik pupuk NPK ini direncanakan akan beroperasi pada tahun 2028. Untuk memprediksi data jumlah impor, ekspor, produksi dan konsumsi pupuk NPK di Indonesia pada tahun 2028 dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F = F_0(1 + i)^n \tag{1}$$

Dimana F_0 adalah data tahun terakhir, i adalah perkembangan rata-rata, dan n adalah selisih tahun. Dengan menggunakan (1), dapat dihitung data proyeksi impor, ekspor, produksi dan konsumsi pada tahun 2028 dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan data pada Tabel 4 dapat diperoleh kebutuhan

nasional pupuk NPK di Indonesia pada tahun 2028 yang belum terpenuhi sebesar 1.755.613 ton. Pabrik pupuk NPK ini direncanakan akan menutupi kebutuhan nasional pupuk NPK sebesar 29% yaitu sebesar 510.000 ton/tahun. Pabrik direncanakan beroperasi secara kontinu dalam 1 tahun selama 300 hari, sehingga kapasitas produksi dalam 1 hari sebesar 1.700 ton/hari.

C. Lokasi dan Ketersediaan Utilitas

Dalam menentukan lokasi pabrik harus mempertimbangkan beberapa faktor penentu agar pabrik yang dirancang bisa mendatangkan keuntungan yang besar. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik diantaranya yaitu ketersediaan sumber bahan baku, target pemasaran produk, sumber tenaga kerja, sarana transportasi, ketersediaan lahan dan utilitas. Lokasi pabrik pupuk NPK ini direncanakan berdiri di daerah Paciran, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur dengan pertimbangan berikut:

1) Ketersediaan Sumber Bahan Baku

Kota Lamongan masih berdekatan dengan lokasi pabrik penyedia bahan baku yaitu PT Petrokimia Gresik sebagai penyedia bahan baku untuk urea, amonia, asam sulfat, asam fosfat dan amonium sulfat atau dikenal di pasaran sebagai ZA (Zwavelzure Amonium). Sedangkan untuk kalium klorida akan diimpor dari Kanada.

2) Target Pemasaran Produk

Pulau Jawa memiliki banyak lahan pertanian dan perkebunan sehingga menjadikan daerah ini sebagai pasar yang baik untuk pendirian pabrik pupuk NPK. Pemasaran dari Pulau Jawa ke pulau lainnya juga tidak sulit karena sudah tersedianya fasilitas pelabuhan yang sudah memadai di Paciran.

3) Sumber Tenaga Kerja

Untuk perancangan pabrik pupuk NPK ini akan merekrut tenaga kerja dari daerah setempat dan luar daerah. Untuk tenaga kerja ahli dapat diperoleh dari lulusan institusi pendidikan atau universitas seperti ITS, UNAIR dan lain-lain.

4) Sarana Transportasi

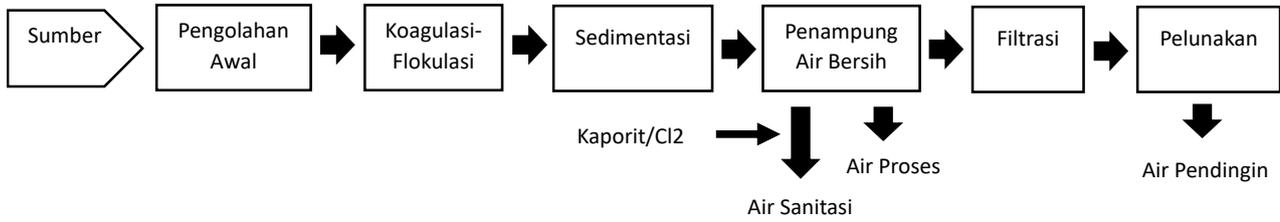
Sarana transportasi darat dan laut tidak menjadi masalah, karena sudah tersedianya fasilitas jalan raya dan pelabuhan yang sudah memadai di Paciran. Selain itu, Paciran berada pada jalur Pantura yang merupakan jalur transportasi utama di Pulau Jawa.

5) Faktor Penunjang Lainnya

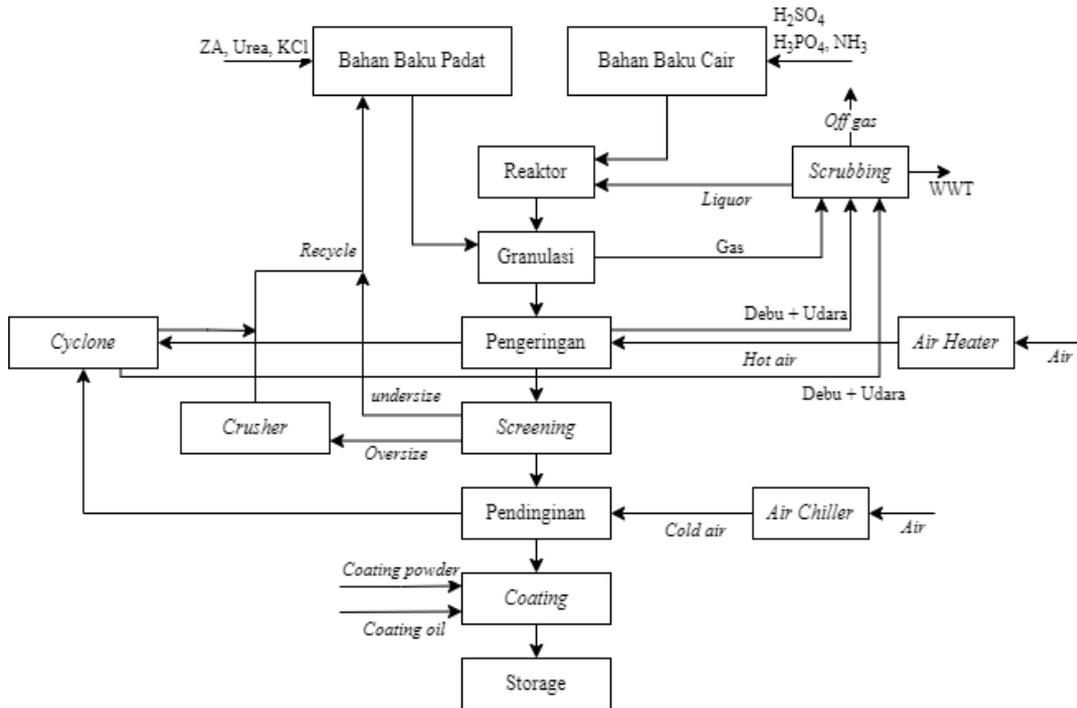
Paciran, Kabupaten Lamongan sebagian terdiri dari perbukitan kapur dan sebagian berupa dataran agak rendah sehingga dapat digunakan untuk lahan industri. Lamongan juga dilalui oleh sungai Bengawan Solo yang dapat digunakan airnya untuk kebutuhan sarana utilitas. Kebutuhan listrik yang diperlukan untuk pabrik ini diambil dari PLN dan generator. Kebutuhan air pada pabrik ini bersumber dari air sungai yang terlebih dahulu dilakukan pengolahan. Air ini digunakan sebagai air pendingin dan air proses. Secara umum proses pengolahan air yaitu koagulasi, flokulasi, pengendapan dan penyaringan seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.

D. Spesifikasi Produk

Di pasaran, terdapat banyak merek dagang untuk pupuk



Gambar 1. Proses Pengolahan Air di Industri.



Gambar 2. Diagram blok proses pembuatan pupuk npk dengan metode *mixed acid route*.

majemuk NPK, baik yang bersubsidi maupun tidak. Pupuk NPK bersubsidi bermerek dagang NPK Phonska, biasanya dikenal di pasaran sebagai pupuk phonska 15-15-15 atau pupuk NPK 15-15-15 saja. Pupuk NPK lain yang tidak bersubsidi juga tersedia di toko-toko pertanian seperti NPK BASF, NPK Holland, NPK Mutiara, NPK Kebomas, NPK Pak Tani, NPK Sawit, dan masih banyak lagi. Spesifikasi produk pupuk NPK dapat dilihat pada Tabel 5.

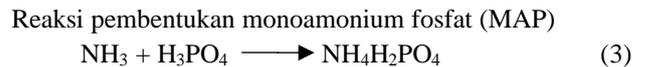
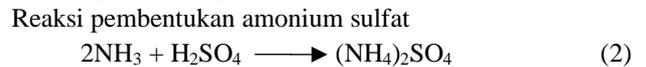
III. URAIAN PROSES

Proses pembuatan pupuk NPK dengan metode *mixed acid route* adalah proses kompleks yang menggabungkan proses pencampuran (*mixing*) dan pereaksian (*reaction*). Dapat dilihat pada Gambar 2. Secara umum proses pembuatan pupuk NPK terdiri atas pemrosesan bahan padat dan bahan cair. Unit ini juga dilengkapi dengan proses penyerapan (*scrubbing*) yang tujuan utamanya adalah untuk mengurangi kadar unsur hara dan zat-zat berbahaya dari gas buang. Berikut urutan proses pembuatan pupuk NPK dengan metode *Mixed Acid Route*.

A. Pencampuran Bahan Baku Cair di Pre-Neutralizer Reactor

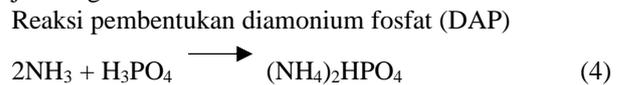
Bahan baku cair direaksikan dalam *pre-neutralizer* yang berupa Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Suhu *slurry* dari *pre-neutralizer* berkisar antara 110 – 115°C dengan kadar air *slurry* antara 8 -17%. Mol ratio N/P dijaga

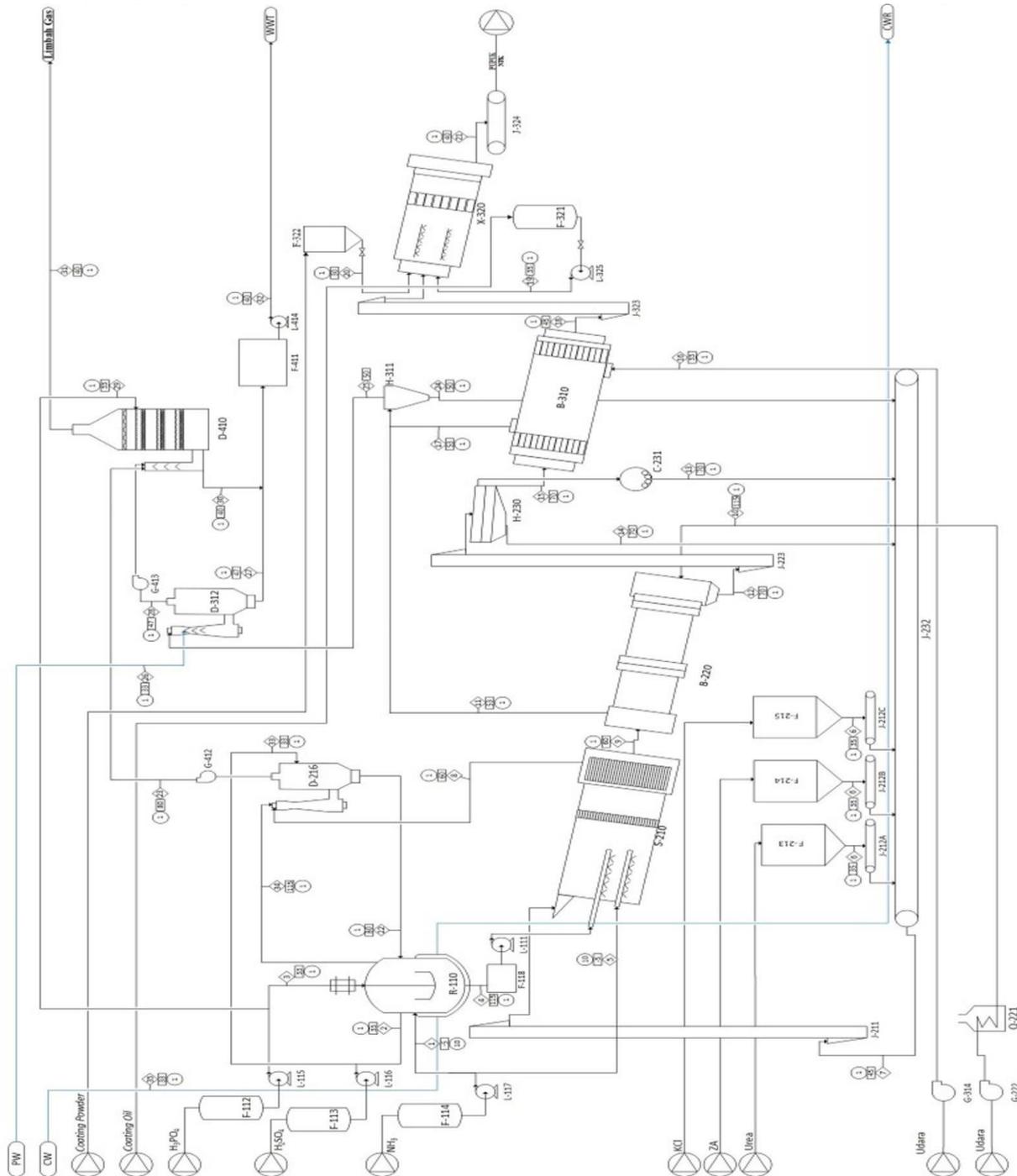
antara 0,65 – 0,9 dengan tujuan agar *slurry* tidak membubur karena semakin tinggi N/P maka *slurry* akan mengental/membubur sehingga menghambat pemompaan *slurry* ke granulator. Serta pH di jaga 2 – 3,5 agar *slurry* tidak mudah kering. Dalam PN reaktor terdapat reaksi netralisasi dilakukan dengan mereaksikan PA (H₃PO₄) dan SA (H₂SO₄) dengan Amonia (NH₃), reaksi ini bersifat eksotermis. Berikut reaksi yang terjadi di pre-neutralizer reaktor :



B. Pengumpulan dan Pencampuran Bahan Baku Padat (*Proses Granulasi*)

Amonia diinjeksikan ke dalam granulator melalui *sparyer* yang terletak di tengah poros granulator. Penambahan amonia bertujuan agar terbentuk padatan diamonium fosfat (DAP) oleh reaksi antara amonia dengan asam fosfat yang tersisa dari reaksi di *pre-neutralizer* reaktor [2]. Mol rasio N/P dijaga dalam kisaran 1,3 - 1,6. Suhu di dalam granulator berkisar antara 70 – 80°C dengan pH 6 – 7. Reaksi yang terjadi di granulator :





Gambar 3. Diagram alir proses.

C. Pengeringan Produk

Rotary dryer memiliki fungsi untuk mengeringkan padatan (granul) yang keluar dari granulator. Dryer yang digunakan berupa rotary dryer dan terdapat sekat (*flight*) yang dipasang tidak sejajar dengan tujuan memperluas bidang kontak antara granul dan udara panas sehingga terjadi transfer panas hingga kadar air turun menjadi 1,5% maks.

Pengeringan dilakukan dengan menggunakan udara panas yang dikontakkan secara langsung terhadap padatan dengan aliran berlawanan arah (*counter-current*). Udara yang keluar dari *dryer* mengandung amonia, debu, dan air kemudian dimasukkan ke *cyclone*. Hal ini bertujuan untuk memisahkan partikel-partikel padatan yang terbawa oleh udara. Kemudian

partikel padatan sebesar 85% akan digunakan kembali sebagai *recycle*.

D. Pengayakan Produk

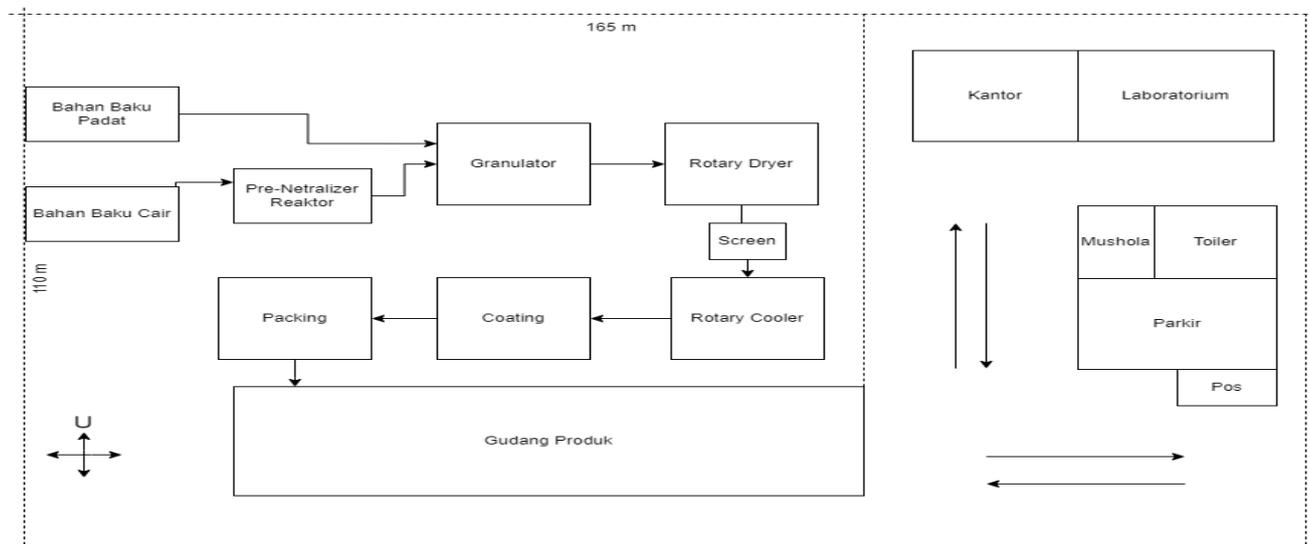
Produk kering yang keluar dari *dryer* dimasukkan ke dalam screen untuk dipisahkan antara produk *undersize*, *onsize* (4-10 mesh), dan *oversize*. Produk dengan ukuran *onsize* kemudian diumpunkan ke *cooler drum* untuk menurunkan temperatur dengan menggunakan udara kering pendingin. Sedangkan produk *oversize* dan *undersize* akan di *recycle* dengan *recycle conveyor*.

E. Pendinginan Produk

Produk yang dihasilkan memiliki sifat higroskopis sehingga jika setelah dikemas suhu produk masih dalam

Tabel 6.
Daftar dan Harga Peralatan Proses

No	Kode	Nama Alat	Jumlah	Harga Satuan (US\$, 2024)	Harga Total (US\$)
1	R-110	Pre-Netralizer Reaktor	1	\$ 177.713	\$ 177.713
2	L-111	Pompa Pre-Netralizer Reaktor	1	\$ 12.328	\$ 12.328
3	S-210	Granulator	1	\$ 543.026	\$ 543.026
4	J-211	Bucket Elevator	1	\$ 18.027	\$ 18.027
5	J-212A/B/C	Conveyor	3	\$ 11.863	\$ 35.589
6	F-213	Bin Urea	1	\$ 29.541	\$ 29.541
7	F-214	Bin ZA	1	\$ 119.910	\$ 119.910
8	F-215	Bin KCL	1	\$ 80.715	\$ 80.715
9	D-216	Granulator Scrubber	1	\$ 13.142	\$ 13.142
10	B-220	Rotary Dryer	1	\$ 197.834	\$ 197.834
11	Q-221	Furnace	1	\$ 907.293	\$ 907.293
12	G-222	Blower	1	\$ 311.696	\$ 311.696
13	J-223	Bucker Elevator	1	\$ 19.074	\$ 19.074
14	H-230	Screen	1	\$ 21.167	\$ 21.167
15	C-231	Crusher	1	\$ 462.195	\$ 462.195
16	J-232	Recycle Conveyor	1	\$ 70.364	\$ 70.364
17	B-310	Rotary Cooler	1	\$ 167.595	\$ 167.595
18	E-311	Cyclone	1	\$ 295.995	\$ 295.995
19	D-312	Dedusting Scrubber	1	\$ 60.944	\$ 60.944
20	G-314	Blower	1	\$ 103.395	\$ 103.395
21	X-320	Coater	1	\$ 142.473	\$ 142.473
22	F-321	Coating Oil Tank	1	\$ 45.359	\$ 45.359
23	F-322	Coating Powder Bin	1	\$ 22.214	\$ 22.214
24	J-323	Bucker Elevator	1	\$ 18.027	\$ 18.027
25	J-324	Conveyor	1	\$ 11.863	\$ 11.863
26	L-325	Pompa Coating Oil	1	\$ 8.025	\$ 8.025
27	D-10	Final Tail Gas Scrubber	1	\$ 237.610	\$ 237.610
28	F-411	Seal Tank	1	\$ 60.944	\$ 60.944
29	G-412	Blower	1	\$ 10.477	\$ 10.477
30	G-413	Blower	1	\$ 421.721	\$ 421.721
31	G-414	Pompa Seal Tank	1	\$ 19.190	\$ 19.190



Gambar 4. Tata letak pabrik.

keadaan panas, produk akan menyerap air dan granul-granul produk akan menjadi menggumpal. Untuk mencegah hal tersebut, maka dibutuhkan proses pendinginan pada *rotary cooler* untuk menurunkan suhu pada granul. Pada tahap ini, granul yang awalnya bersuhu sekitar 70 - 80°C didinginkan menjadi max 50°C.

Partikel yang terbawa oleh udara pendingin selanjutnya akan dipisahkan di dalam *cyclone* dan dikembalikan ke *recycle drag conveyor* sebesar 85% dari partikel yang terbawa ke *cyclone* untuk diproses kembali di dalam granulator. Untuk meningkatkan efisiensi energi, sebagian dari udara hangat yang sudah bersih dari *cyclone* dimasukkan ke dalam *rotary dryer*.

F. Pelapisan Produk

Produk yang sudah didinginkan di *rotary cooler* akan masuk ke coater untuk proses pelapisan. *Coating powder* dan *coating oil* diinjeksikan dengan tujuan untuk melapisi butiran produk dari kelembapan udara. Karena produk bersifat higroskopis dengan *critical relative humidity* phonska 55% kurang dari *relative humidity* / kelembapan udara (70 – 90%).

Coating oil dan *coating powder* berfungsi untuk melapisi granul produk *onsize* supaya tidak mudah menggumpal karena sifat granul yang higroskopis. Setelah selesai melalui proses pelapisan maka produk pupuk NPK siap untuk di kemas.

IV. DAFTAR DAN HARGA PERALATAN

A. Daftar dan Harga Peralatan Proses

Untuk menunjang proses produksi pupuk NPK, diperlukan berbagai macam spesifikasi peralatan proses yang sesuai dengan kapasitas produksi yang dirancang. Daftar peralatan proses yang digunakan beserta harganya dapat dilihat Tabel 6.

B. Tata Letak Pabrik

Dalam perancangan pabrik, dilakukan perencanaan mengenai tata letak pabrik untuk meningkatkan keefektifan dan efisiensi kelangsungan kerja dari pabrik. Tata letak pabrik adalah tata cara penempatan fasilitas dan peralatan proses untuk menunjang kelancaran proses produksi [3]. Tata letak pabrik NPK akan dapat dilihat pada Gambar 4.

V. ANALISA EKONOMI

Berdasarkan hasil analisa ekonomi untuk mendirikan pabrik yang dapat memproduksi pupuk NPK dengan metode *mixed acid route* dan kapasitas produksi 510.000 ton/tahun, diperlukan modal total (*Total Capital*) sebesar Rp1.570.487.221.402,71 dengan modal tetap (*Fixed Capital*) sebesar Rp1.334.914.138.191,45 dan modal kerja (*Working Capital*) sebesar Rp235.573.083.210,26. Biaya total produksi (*Total Production Cost*) sebesar Rp5.654.441.645.527,23. Waktu pengembalian modal (*Pay Out Time*) yaitu selama 3,4 tahun, laju pengembalian modal (*Internal Rate of Return*) sebesar 34,95%, dengan bunga 8,2% per tahun dan nilai *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp1.294.142.666.358,61.

Break Even Point dengan nilai sebesar 42,7%. Analisa titik impas (*Break Even Point*) digunakan untuk mengetahui besarnya kapasitas produksi dimana biaya produksi total sama dengan hasil penjualan total yang artinya pabrik tidak mengalami keuntungan maupun kerugian [4]. Pabrik diperkirakan beroperasi selama 10 tahun dengan lama waktu pembangunan selama 2 tahun.

VI. KESIMPULAN

Pabrik pupuk NPK menggunakan metode *Mixed Acid Route* berkapasitas produksi 510.000 ton/tahun ini layak untuk didirikan pada tahun 2028 menggunakan perkiraan umur pabrik selama 10 tahun.

LAMPIRAN

Diagram alir proses pabrik pupuk NPK dengan metode *mixed acid route* keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Sutedjo, *Pupuk dan Cara Pemupukan*. Jakarta: Rineka Cipta, 2002. ISBN: 9795450018.
- [2] A. E. Van Nieuwenhuysse, *Production of NPK Fertilizers by The Mixed Acid Route*. Brussels, Belgium: European Fertilizer Manufacturers Association, 1995.
- [3] S. Wignosoebroto, *Tata Letak Pabrik dan Pemandangan Bahan*, 3rd ed. Surabaya, Jawa Timur: Penerbit Guna Widya, 2003. ISBN: 9795450018.
- [4] M. S. Peter and K. D. Timmerhaus, *Plant Design and Economic of Chemical Engineering*, 4th ed. New York: John Wiley and Sons Inc., 2000.