

Pra-Desain Pabrik Pupuk NPK dari DAP, ZA, dan KCL dengan Metode *Mixed Acid Route* Berkapasitas 500.000 Ton/Tahun

Fadhil Kusumah Atmadja, Wirantia Hanan Febrilla, dan Tri Widjaja
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: hananfebrilla@gmail.com

Abstrak—Dalam usaha untuk mewujudkan swasembada pangan di Indonesia yang merupakan negara agraris, industri pupuk merupakan salah satu sektor penunjang pertanian. Pupuk NPK sangat banyak digunakan dalam sektor perkebunan karena memiliki banyak kelebihan dibanding pupuk lainnya, antara lain harga murah, praktis, dan komposisi yang bisa disesuaikan. Pada pra-desain pabrik ini kami akan mendesain pabrik pupuk NPK baru yang mempunyai kapasitas cukup besar untuk menutupi defisit yang terjadi. Dipilih metode *Mixed Acid Route* karena memiliki banyak keuntungan, yaitu kapasitas produksi jumlah besar dengan berbagai macam *grade* pupuk, produk lebih seragam, dan dapat terus beroperasi secara kontinyu. Konfigurasi proses pembuatan pupuk NPK terdiri dari tahap persiapan bahan baku, netralisasi, granulasi, pengeringan, pengayakan, pendinginan dan pelapisan produk. Target kapasitas produksi pupuk NPK kami adalah 500.000 ton/tahun. Sumber dana investasi pabrik ini berasal dari modal sendiri sebesar 30% biaya investasi dan pinjaman jangka pendek sebesar 70% biaya investasi dengan bunga sebesar 9,95% per tahun. Dari analisis perhitungan ekonomi didapat hasil-hasil sebagai berikut, dimana nilai Investasi: 446.251.197.675 IDR, *Internal Rate of Return*: 27,5 %, *Pay Out Time*: 3,59 Tahun, *Break Even Point*: 49,69%, dan NPV: 610.932.852.290,76 IDR. Secara keseluruhan pabrik ini layak untuk didirikan.

Kata Kunci—Pupuk, NPK, Investasi, Granulasi, Pabrik.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan negara agraris dengan ketersediaan lahan pertanian yang sangat luas dan akan terus bertambah. Dalam usaha untuk mewujudkan swasembada pangan, salah satu sektor pendukungnya ialah industri pupuk. Pupuk adalah bahan yang diumpukan ke tanaman untuk mengisi unsur-unsur yang dibutuhkan tanaman untuk menyuplai nutrisi mereka. Selain unsur utama (C, H, O) yang dibutuhkan untuk fotosintesis, terdapat beberapa unsur yang harus dipenuhi yaitu N, P, K, Ca, Mg, S. Tiga unsur pertama (N, P, K) merupakan unsur tambahan yang persentasenya paling tinggi di antara unsur lainnya namun tidak tersedia di dalam tanah [1]. Pupuk nitrogen, fosfor, dan kalium merupakan pupuk anorganik yang diformulasikan dengan konsentrasi yang sesuai, dapat memberikan tiga unsur hara utama untuk berbagai tanaman dan kondisi pertumbuhan yaitu N (nitrogen) dapat mendorong pertumbuhan daun dan pembentukan protein, klorofil. P (fosfor) untuk membentuk akar, bunga dan buah. Dan K (potassium) yang membantu pertumbuhan batang, akar dan sintesis protein [2].

Pemakaian pupuk NPK saat ini banyak diminati masyarakat, walaupun dari segi harga biasanya lebih mahal,

namun secara teknis mampu memberikan hasil produk yang lebih baik, sehingga biaya produksi lebih rendah. Saat ini permintaan pupuk NPK meningkat tajam sebesar 5,67% dari 4.801.567 ton menjadi 5.078.544 ton, sedangkan produksi pupuk di Indonesia sebagian besar ditopang oleh perusahaan pupuk milik negara yaitu PT. Petrokimia Gresik, PT. Pupuk Kalimantan Timur, dan PT. Pupuk Kujang Cikampek dengan total kapasitas produksi 3,1 juta ton pada tahun 2018 [3]. Perhatikan Tabel 1.

Setiap tahun, permintaan pupuk NPK meningkat, namun produksi pupuk NPK biasanya mandek. Hal ini harus dihindari karena jika kondisi ini terus berlanjut maka akan terjadi kekurangan pasokan pupuk sehingga dipastikan produktivitas pertanian akan turun. Oleh karena itu, sangat penting untuk membangun pabrik pupuk NPK baru dengan daya yang cukup untuk menutupi kekurangan yang ada. Selain itu, pembangunan pabrik pupuk NPK juga mendukung program pangan pemerintah untuk swasembada, karena diharapkan produktivitas pertanian meningkat seiring dengan peningkatan pasokan pupuk.

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku dan Produk

Bahan baku utama yang digunakan untuk memproduksi pupuk NPK adalah urea, asam fosfat, asam sulfat, ammonia, KCl, dan ZA yang didapatkan dari PT. Petrokimia Gresik. Data kapasitas produksi PT. Petrokimia Gresik mengenai bahan baku yang akan digunakan untuk proses pembuatan pupuk NPK ditampilkan pada Tabel 2 [4].

Di pasaran, produk pupuk ini dikenal dengan nama Pupuk NPK 15-15-15. Pupuk NPK jenis ini paling umum digunakan di Indonesia karena cocok untuk menanam padi, jagung, dan tebu.

B. Kapasitas

Salah satu faktor yang harus diperhatikan dalam pendirian pabrik NPK adalah kapasitas pabrik. Pabrik pupuk NPK ini direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2023, dengan mengacu pada pemenuhan kebutuhan domestik dan peningkatan nilai. Dengan menggunakan rumus $P = F(1+i)^n$ maka dapat diperkirakan jumlah ekspor, impor, produksi dan konsumsi pada tahun 2023 dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari data Tabel 3 dapat diperkirakan konsumsi, produksi, ekspor, dan impor pada tahun 2023 sehingga kapasitas produksi pabrik baru yang diinginkan untuk menutupi 15% dari total kebutuhan adalah 500.000 ton/tahun.

Tabel 1.
Kapasitas Produksi Pupuk NPK

| Pabrik | | Jumlah Pabrik | Kapasitas Produksi (ton/tahun) |
|----------------------------|--------------------|---------------|--------------------------------|
| PT. Petrokimia Gresik | Pupuk NPK Phonska | 4 | 2.250.000 |
| | Pupuk NPK | 4 | 450.000 |
| PT. Pupuk Kujang Cikampek | Pupuk NPK | 1 | 176.863 |
| | Pupuk NPK Blending | 1 | 150.000 |
| PT. Pupuk Kalimantan Timur | Pupuk NPK Fusion | 1 | 200.000 |

Tabel 2.
Kapasitas Produksi Bahan Baku (PT. Petrokimia Gresik)

| Bahan Baku | Kapasitas Produksi (ton) |
|----------------------|--------------------------|
| Asam Sulfat | 698.796 |
| Asam Fosfat | 248.714 |
| Ammonia | 693.001 |
| Urea | 658.519 |
| Ammonium Sulfat (ZA) | 589.341 |

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

| Tahun | Impor (ton) | Ekspor (ton) | Produksi (ton) |
|-------|-------------|--------------|----------------|
| 2014 | 495.950 | 2.420 | 2.716.098 |
| 2015 | 650.000 | 9.309 | 3.001.087 |
| 2016 | 804.050 | 35.803 | 2.764.687 |
| 2017 | 994.610 | 137.702 | 3.282.957 |
| 2018 | 495.950 | 2.420 | 3.159.966 |

Tabel 4.
Hasil Perhitungan Analisa Ekonomi

| No. | Keterangan | Jumlah |
|-----|--------------------------------|-------------------|
| 1. | Biaya Tetap (FC) | 338.584.793.168 |
| 2. | Biaya Variabel (VC) | |
| | - Bahan Baku | 2.589.003.257.869 |
| | - Utilitas | 356.802.110.187 |
| | - Royalty | 107.040.633.056 |
| | Total Biaya Variabel (VC) | 3.052.846.001.112 |
| 3. | Biaya Semivariabel (SVC) | |
| | - Gaji Karyawan | 40.194.000.000 |
| | - Pengawasan | 6.029.100.000 |
| | - Pemeliharaan dan Perbaikan | 6.771.695.863 |
| | - Operating Supplies | 1.015.754.380 |
| | - Laboratorium | 4.019.400.000 |
| | - Pengeluaran Umum | 362.831.210.187 |
| | - Plant Overhead Cost | 23.111.550.000 |
| | Total Biaya Semivariabel (SVC) | 443.972.710.430 |
| 4. | Total Penjualan (S) | 3.775.000.000.000 |

C. Lokasi dan Ketersediaan Utilitas

1) Lokasi

Pemilihan lokasi pabrik dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berbeda penerapannya bagi satu pabrik dengan pabrik yang lain, sesuai dengan produk yang dihasilkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik seperti letak konsumen atau pasar, sumber bahan baku, sumber tenaga kerja, air, suhu udara, listrik, transportasi, lingkungan, masyarakat, dan sikap yang muncul, peraturan pemerintah, pembuangan limbah industri, fasilitas untuk pabrik dan fasilitas untuk karyawan [5].

Wilayah Gresik berada di Tengah Provinsi Jawa Timur, memungkinkan untuk memasarkan ke seluruh wilayah Jawa Timur dengan lebih mudah dan biaya distribusi produk yang diperlukan juga lebih sedikit. Melihat jarak dan ketersediaan lahan perkebunan yang ada, maka wilayah yang berpotensi untuk menjadi lokasi pemasaran utama adalah: Kabupaten Malang, Blitar, dan Kediri.

2) Ketersediaan Utilitas

Untuk memenuhi kebutuhan air, kami dapatkan dari

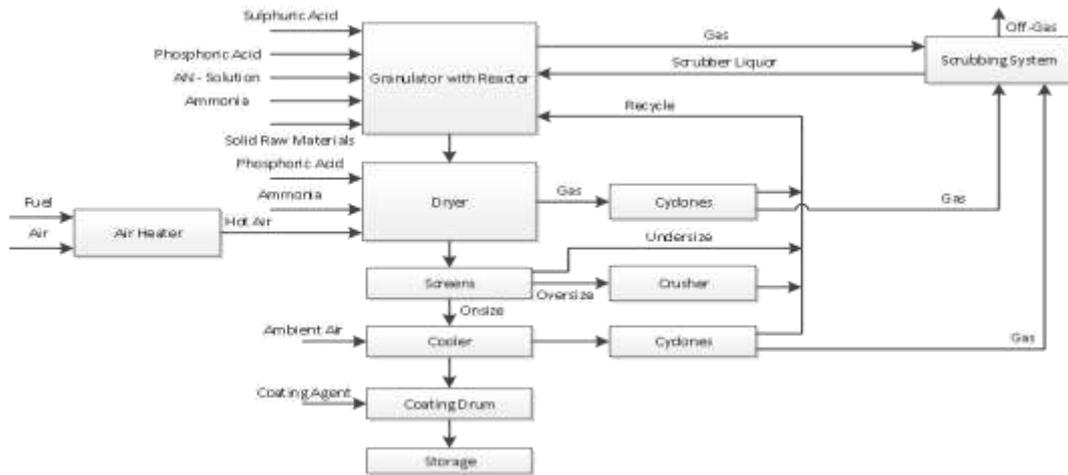
Sungai Brantas Lamongan dan Sungai Gunungsari Surabaya yang memiliki kapasitas air dalam jumlah banyak dan lokasinya yang tidak terlalu jauh dari Gresik. Sementara untuk ketersediaan sumber energi yang menunjang kegiatan produksi berasal dari PLTU Gresik.

III. URAIAN PROSES TERPILIH

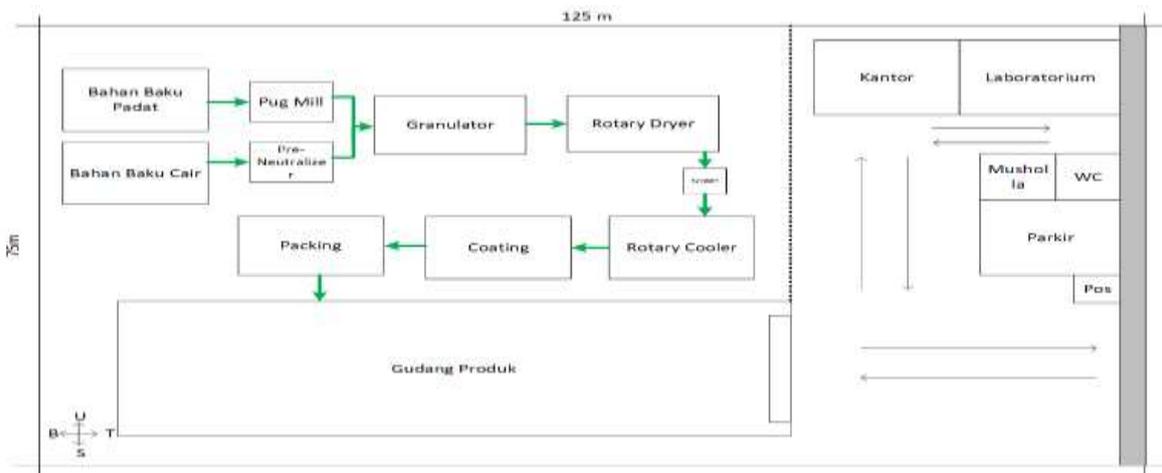
Pembuatan pupuk NPK ini terdiri dari beberapa unit proses yang akan digunakan. Secara garis besar tahapan unit yang akan digunakan adalah, persiapan bahan baku, netralisasi dan granulasi, pengeringan, pengayakan, pendinginan dan pelapisan produk dapat dilihat pada Gambar 1 untuk diagram alir proses, dan Gambar 5 untuk proses *flow diagram*.

1) Persiapan dan Pencampuran Bahan Baku Padat

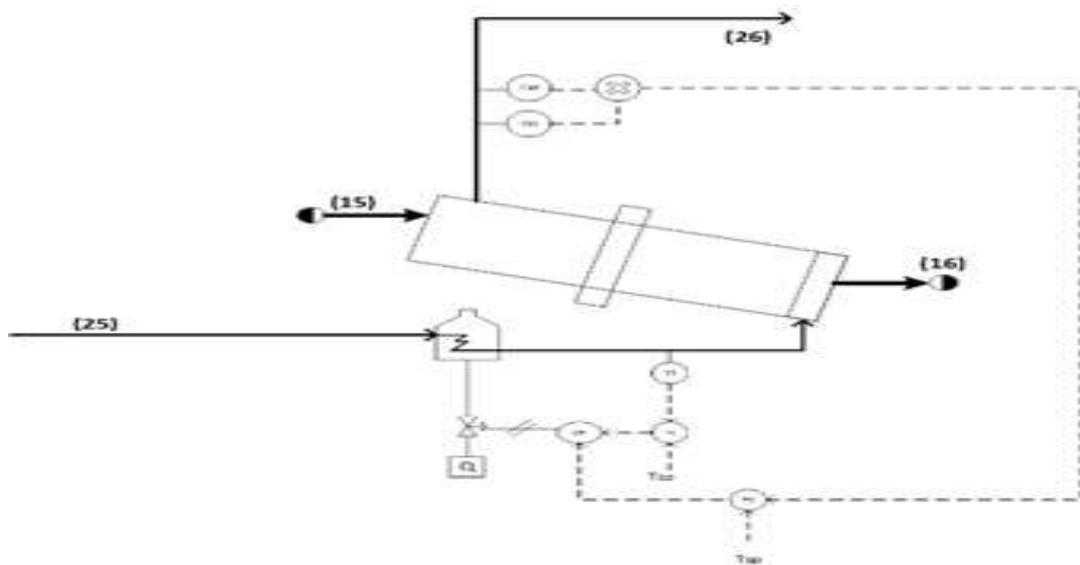
Bahan baku utama pupuk NPK disimpan dalam *container clay* (F-121), potasium klorida (F-122) dan urea (F-123) yang dilengkapi timbangan, kemudian diangkut ke *bucket elevator* (J-126) menggunakan *belt conveyor* (J-126) kemudian dibawa ke *pugmill* (C-221). Tugas *pugmill* adalah mengontak dan mencampur semua bahan baku padat agar diperoleh



Gambar 1. Block Flow Diagram.



Gambar 2. Tata Letak Pabrik Secara Garis Besar.



Gambar 3. P&ID Rotary Dryer (B-230).

campuran yang seragam dan memperkecil ukuran bahan baku padat sebelum masuk ke *granulator*. Aliran *recycle* diarahkan kembali ke *granulator* (C-221).

2) *Neutralizer*

Bahan baku cair berasal dari tangki penampung F-111 untuk NH₃, F-112 untuk H₃PO₄, F-113 untuk H₂SO₄,

dipompa ke *neutralizer tank* (R-210). H₃PO₄ dan H₂SO₄ dinetralisasi dengan NH₃ cair bersuhu 5°C dan tekanan 1 atm untuk mengurangi volume yang digunakan. Kondisi operasi di *neutralizer tank* adalah: suhu 120-130°C, tekanan 1 atm, kecepatan pengadukan 56 rpm dan pH 1-2. Sebagai hasil reaksi, zat yang terbentuk adalah ammonium sulfat (ZA cair), mono ammonium phosphate (MAP), dengan perbandingan

$N/P = 0.8-0.9$ dan $N/S = 1.6-1.8$. Reaksinya adalah sebagai berikut [6]:

1. $2\text{NH}_3(\text{l}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{l}) \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4(\text{l})$ (ZA cair)
2. $\text{NH}_3(\text{l}) + \text{H}_3\text{PO}_4(\text{l}) \rightarrow \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4(\text{l})$ (MAP)
3. $\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (DAP)

3) Granulasi

Dalam *granulator* (C-220), terjadi dua proses yaitu granulasi (pembentukan butiran-butiran) dan aglomerasi (partikel-partikel yang halus saling menempel membentuk butiran yang lebih besar). Di dalam *granulator* juga disemprotkan amoniak melalui *ploughshare* dan juga diumpankan asam sulfat, dengan tujuan untuk menangkap amoniak yang lolos tidak bereaksi dengan MAP. Gas yang mengandung amoniak dialirkan kedalam *scrubber* (D222) mengandung amoniak dialirkan ke dalam *scrubber* (D-222) digunakan asam sulfat untuk menyerap ammoniak sehingga membentuk ammonium sulfat agar mengurangi limbah gas dan mengurangi pembelian bahan baku ammonium sulfat.

4) Pengeringan Produk

Produk yang keluar dari *granulator* (C-220) selanjutnya masuk ke dalam *dryer* (B-230) untuk menurunkan kadar airnya hingga maksimal 1,5%. *Dryer* berbentuk *rotary drum*. Pengeringan pada *dryer* (B-230) menggunakan udara panas dengan suhu 100-120°C yang disupply oleh *fan* (G-233) hasil dari pembakaran didalam *furnace*. Produk keluaran bersuhu 105°C.

5) Pengayakan Produk

Produk kering dari *rotary dryer* (B-230) dikirim ke *screen* (H-310) melalui *bucket elevator* (J-237) untuk dipisahkan menjadi 3 jenis, yaitu *onsize*, *undersize* dan *oversize*. Produk *oversize* tertahan di *screen* (H-310) secara gravitasi masuk ke *crusher* (C-311) terlebih dulu sebelum masuk ke dalam *belt conveyor* (J-223) bersama dengan produk *undersize* yang jatuh dari sisi bawah *screen* untuk direcycle lagi ke *granulator* (C-220). Produk *onsize* akan langsung masuk ke *rotary cooler* (B-320) melalui *belt conveyor* (J-312) dan selanjutnya akan didinginkan. Ukuran produk *onsize* yaitu 2-4 mm. Ukuran *screen* pertama adalah 2mm dan ukuran *screen* kedua adalah 4 mm. Bahan *screener* adalah stainless steel wire mesh.

6) Pendinginan Produk

Proses *cooling* adalah proses pendinginan butiran pupuk yang telah melalui proses pengeringan. Alat yang digunakan adalah *rotary cooler*, yang berfungsi untuk menurunkan temperatur dengan menggunakan udara kering. Produk dengan ukuran *onsize* yang keluar dari *screen* (H-310) diumpankan secara gravitasi ke *rotary cooler* (B-310) yang berfungsi untuk menurunkan temperatur menjadi 55°C dengan menggunakan dara kering dingin yang berasal dari blower *fan* (G-232). Produk yang telah mengalami pendinginan selanjutnya masuk ke dalam *coater drum* (D-330).

7) Pelapisan Produk

Produk *onsize* dikirim ke *coating rotary drum* (D-330) untuk dilapisi dengan *coating agent* karena produk bersifat higroskopis yang bisa meningkatkan proses *caking* (penggumpalan), terutama bila masih ada variasi suhu udara serta kadar air. Pelapisan pada butiran pupuk menggunakan *coating powder* berupa *silica powder* yang berasal dari

coating powder bin (F-332) diumpankan melalui *screw conveyor* (J-333) dan *coating oil* berupa SK-FERT berasal dari *coating oil tank* (F-423) yang dimasukkan menggunakan *coating oil pump* (L-335). Produk keluaran *coater drum* (D-330) dengan temperatur 35,523°C kemudian dikirim ke gudang penyimpanan akhir (F-410) menggunakan *belt conveyor* (J-331) untuk pengepakan produk.

IV. NERACA MASSA DAN ENERGI

Berdasarkan hasil perhitungan neraca massa pada Pabrik Pupuk NPK ini dibutuhkan bahan baku antara lain 9.545,20 kg/jam NH_3 , 12.841,11 kg/jam H_3PO_4 , 13.295,90 kg/jam H_2SO_4 , 444,57 kg $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, 14746.65 kg/jam KCL, dan 7675.18 kg/jam $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ untuk menghasilkan 62.500 kg/jam pupuk NPK.

Sedangkan untuk perhitungan neraca energi pada Pabrik Pupuk NPK ini memiliki kebutuhan panas sebanyak 56.157.489,32 kJ/jam untuk 11 alat dan kebutuhan *power* sebanyak 9.534,33 HP/jam untuk 20 alat.

V. DAFTAR HARGA DAN PERALATAN

A. Daftar dan Harga Peralatan

Berdasarkan neraca massa dan energi, total harga peralatan pada Pabrik Pupuk NPK ini sebesar \$4.192.362,703 untuk 47 alat.

B. Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik (*layout*) dapat didefinisikan sebagai tata cara pengaturan fasilitas-fasilitas pabrik untuk menunjang kelancaran proses produksi [7]. Secara umum, tata letak pabrik yang baik akan menambah efisiensi dan menjaga kelangsungan kerja suatu industri. Tata letak pabrik pupuk NPK akan disajikan pada Gambar 2.

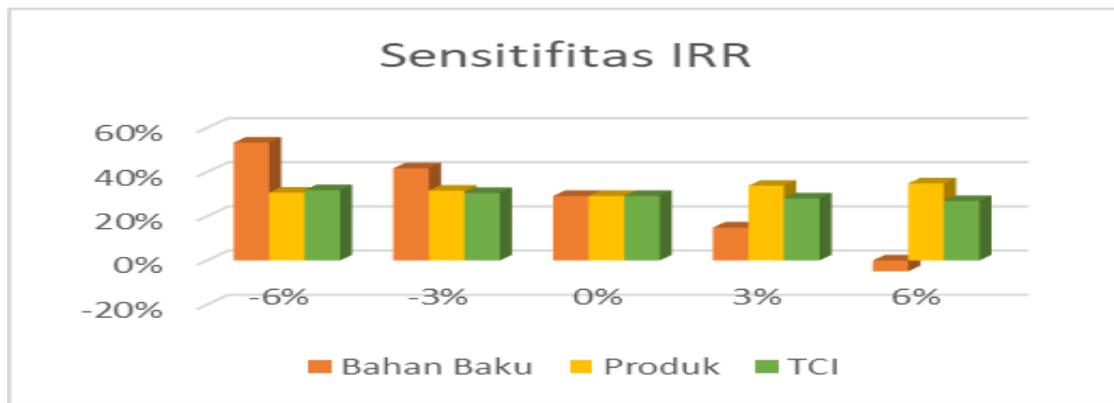
C. P&ID Alat Utama dan Preliminary HAZOP

Rotary Dryer (B-230) merupakan alat utama dalam pabrik pupuk NPK ini, yang mana kegagalan proses di dalamnya akan sangat mempengaruhi keseluruhan proses yang ada. Melalui HAZOP dapat dilakukan Pengujian untuk tiap bagian dari proses guna mengetahui kemungkinan terjadinya penyimpangan maupun kegagalan dari desain yang sudah ditentukan serta untuk mengetahui penyebab dan konsekuensi yang akan diakibatkan. Hasil dari Pengujian ini tersaji pada Gambar 3.

VI. ANALISA EKONOMI DAN DAMPAK TERHADAP LINGKUNGAN

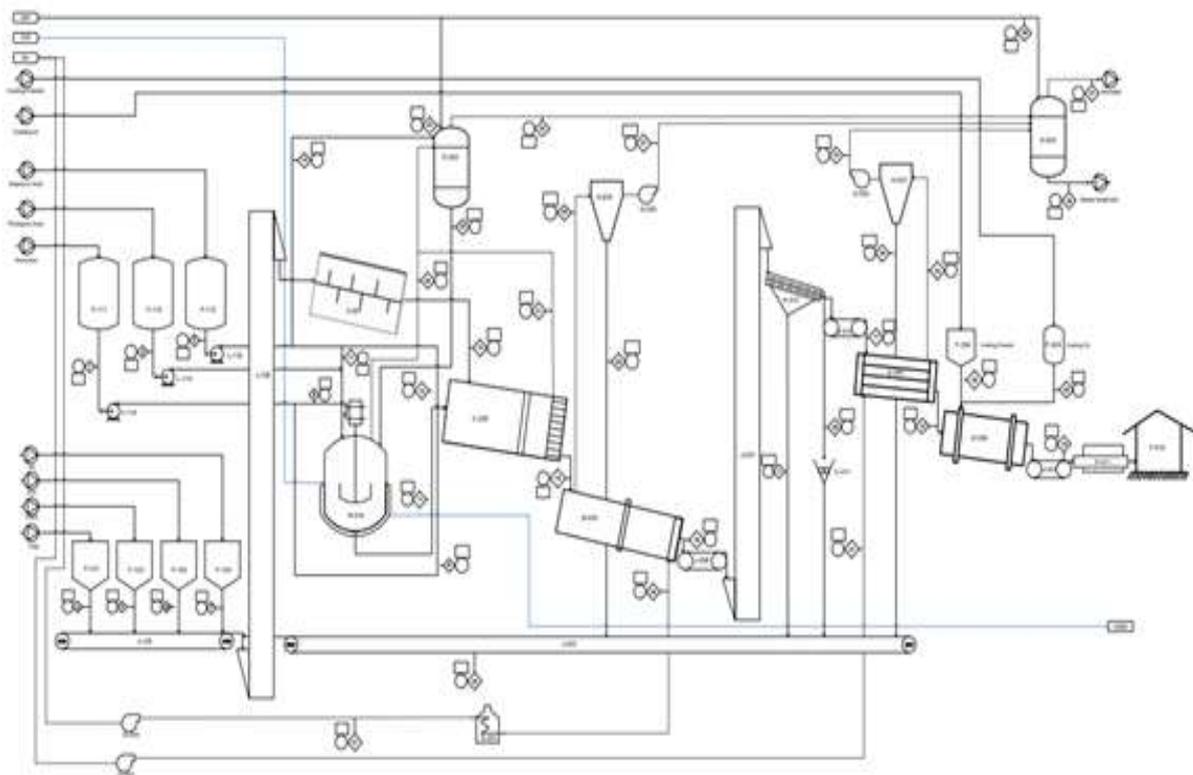
Dari perhitungan analisis ekonomi pada Tabel 4, untuk memproduksi pupuk NPK dengan Metode *Mixed Acid Route* berkapasitas 500.000 ton/tahun, didapatkan IRR sebesar 27,5 % dan BEP sebesar 49,69 % dimana POT selama 3,59 tahun, perhatikan Gambar 4. Dengan bunga 9,95% per tahun. Pabrik diperkirakan bertahan selama 10 tahun dengan lama waktu pembangunan selama 2 tahun. Operasi pabrik 330 hari/tahun sebagai berikut:

- | | |
|--------------------|-----------------------------------|
| 1. Modal Investasi | : Rp 494.906.707.630,00 / tahun |
| 2. Biaya Produksi | : Rp 3.563.787.391.380,00 / tahun |
| 3. Hasil Penjualan | : Rp 3.775.000.000.000,00 / tahun |
| 4. Hasil Penjualan | : Rp 3.775.000.000.000,00 / tahun |



Gambar 4. Grafik Pengaruh Perubahan Harga Bahan Baku, Produk, dan TCI terhadap IRR.

Pra Desain Pabrik NPK dengan Metode *Mixed Acid Route*



Gambar 5. *Process Flow Diagram*.

- 5. OPEX : Rp 3.561.426.809.688,78 / tahun
- 6. CAPEX : Rp 335.784.793.168,00 / tahun
- 7. *Net Present Value* : Rp 182.912.999.597,00 / tahun

VII. KESIMPULAN/RINGKASAN

Setelah dicermati berdasarkan segi ekonomi dan teknis yang sudah dilakukan, pabrik pupuk NPK menggunakan metode *Mixed Acid Route* berkapasitas produksi 500.000 ton/tahun ini layak untuk didirikan pada tahun 2023 menggunakan perkiraan umur pabrik selama 10 tahun. Dari analisis ekonomi didapatkan nilai IRR sebesar 27,5% yang lebih tinggi dari suku bunga bank yaitu 9,95% pertahun dengan pengembalian modalnya selama 3,59 tahun dan BEP pada 49,69%.

LAMPIRAN

Pra desain pabrik NPK dengan metode *Mixed Acid Route* dapat dilihat pada Gambar 5.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Laboratorium Teknologi Biokimia ITS atas bantuan dan saran yang telah diberikan selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. P. Gardner, *Physiology of Crop Plants*, Volume 14. Iowa City: Iowa State University Press, Ames, IA, 1986.
- [2] L. Taiz and Z. Eduardo, *Plant Physiology*. Redwood City, Calif:

- Benjamin/Cummings Pub. Co., 1991.
- [3] M. Mahfud and Z. Sabara, *Industri Kimia Indonesia*, 1st ed. Yogyakarta: Deepublish, 2018.
- [4] PT. Petrokimia Gresik (Pusat Pelayanan Pelanggan), *Pupuk Majemuk*, 1st ed. Kabupaten Gresik, Jawa Timur.: PT. Petrokimia Gresik (Pupuk Indonesia Holding Company), 2019.
- [5] A. Hindrayani, *Manajemen Operasi*, 1st ed. Daerah Istimewa Yogyakarta: Pohon Cahaya, 2010.
- [6] A. E. Van Nieuwenhuysse, "Production of NPK Fertilizers by The Mixed Acid Route." European Fertilizer Manufacturers' Association, Brussels, Belgium, 1995.
- [7] S. Wignjosoebroto, *Tata Letak Pabrik dan Pemindahan Bahan (Edisi Ketiga)*, 3rd ed. Surabaya, Jawa Timur: Penerbit Guna Widya, 2003.