

# Pra Rancangan Pabrik Pigmen Merah dengan Metode Presipitasi

Fidhiyah Anas Novia<sup>1</sup>, Balqis Wahidatin Rukmananda<sup>1</sup>, Juwari<sup>1\*</sup>, dan Rendra Panca Anugraha<sup>1</sup>

**Abstrak** — Di Indonesia, industri cat dan bangunan merupakan segmentasi pasar terbesar dari pigmen merah. Bahan baku yang akan digunakan dalam pembuatan pigmen merah adalah pasir besi sebagai bahan utama, HCl, NaOH dan air sebagai bahan pendukung. Pabrik Pigmen Merah yang direncanakan ini mulai beroperasi tahun 2023 dengan kapasitas produksi sebesar 5000 ton/tahun. Lokasi pendirian pabrik ini direncanakan di Bangun Cipto Kecamatan Sentolo Kabupaten Kulon Progo Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Dipilih karena dekat dengan sumber tambang pasir besi di pesisir. Untuk target pasar dari pabrik ini ialah industry garmen dan cat yang cukup banyak ditemukan di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta maupun Jawa Tengah. Dalam pemenuhan kapasitas tahunan, pabrik akan beroperasi kontinyu 24 jam perhari selama 300 hari. Dengan bahan baku 1.710.710 ton pasir besi per tahun, 1.377.500 ton HCl per tahun, 2.639.000 ton NaOH per tahun. Proses produksi pigmen merah dapat diuraikan menjadi 3 tahapan proses. Tahap Pertama adalah proses *leaching* bertujuan untuk melarutkan kandungan besi dalam pasir agar dapat dipisahkan dari komponen pengotor lainnya. Sedangkan komponen lain dalam pasir besi yang tidak bereaksi dengan HCl tetap dalam keadaan padat yaitu berupa *slurry* akan dilakukan proses *filtrasi*. Tahap kedua adalah tahap Pemurnian dan Presipitasi. Proses Presipitasi menggunakan larutan NaOH yang berfungsi untuk pembentukan inti kristal  $Fe_2O_3$ . Proses berikutnya ialah penyaringan dan pencucian pigmen  $Fe_2O_3$ . Tahap ketiga adalah tahap pembentukan pigmen merah. Pembentukan pigmen merah dilakukan dengan proses kalsinasi, dengan suhu  $650^{\circ}C$  dengan gas alam sebagai pemanasnya. Pra Rancangan Pabrik Pigmen Merah dengan Metode Presipitasi ini dirancang sebagai perusahaan yang berbadan hukum Perseroan Terbatas dengan system organisasi garis dan staf. Untuk dapat mendirikan pabrik dengan kapasitas produksi sebesar 5000 ton/tahun, maka diperlukan total modal investasi sebesar Rp 218.749.601.339 dan total biaya produksi sebesar Rp 158.046.783.770 dengan estimasi hasil penjualan sebesar Rp. Rp 250.000.000.000,-. Estimasi umur pabrik ini adalah 10 tahun dengan *Internal Rate of Return (IRR)* 29,21% dan *Pay Out Time (POT)* 3,9 Tahun.

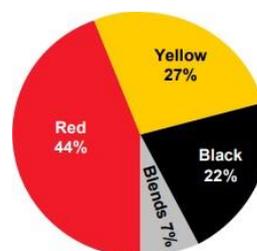
**Kata kunci** — Besi Oksida, HCL, NaOH, Pasir Besi, Pigmen Merah, Presipitasi

## I. PENDAHULUAN

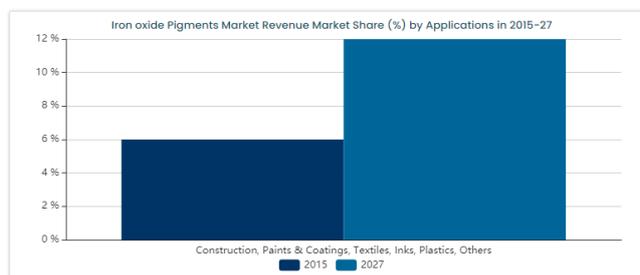
**P**IGMEN merupakan salah satu zat yang berfungsi sebagai pewarna. Pigmen terbagi menjadi dua yaitu pigmen organik (larut dalam air) yang mengandung pigmen organik mengandung unsur C, H, O dan N dan pigmen anorganik (larut dalam solvent) yang terbentuk dari mineral atau garam logam [1].

Pigmen adalah salah satu komponen dasar dalam pembuatan cat yang fungsinya sebagai pewarna dan daya penutup pada cat. Dalam industri cat dan *coating*, pigmen besi oksida dapat digunakan untuk melapisi banyak benda. Alasan dari pengaplikasian pigmen merah adalah kemurnian warna, daya lapis (*hiding power*) dan kemampuan menahan abrasi yang baik. Pigmen merah memiliki keunggulan antara lain memiliki stabilitas kimia yang tinggi. Memiliki intensitas pewarnaan yang baik dan ramah lingkungan [1].

Pigmen merah banyak diaplikasikan sehingga banyak dikonsumsi untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Segmentasi pasar untuk produk pigmen merah adalah pada industri bahan bangunan, *coating*, plastik, kertas dan industri lainnya yang tersebar di Pulau Jawa. Kebutuhan terbanyak dari pigmen besi oksida adalah pigmen merah hingga 44%. Sehingga pabrik yang dibangun akan memproduksi pigmen besi oksida berwarna merah ( $Fe_2O_3$ ).<sup>1</sup>



**Gambar 1.** Presentasi Kebutuhan Pigmen Merah Berdasarkan Warna [2]



**Gambar 2.** Analisa industri pertumbuhan pasar secara global untuk pengaplikasi dari pigmen besi oksida

Menurut laporan [cognitivemarketresearch.com](https://www.cognitivemarketresearch.com) analisa industri pertumbuhan pasar secara global maupun wilayah untuk pengaplikasi dari pigmen besi oksida dari 2015 hingga 2027 ialah sebagai berikut [10].

Menurut laporan [cognitivemarketresearch.com](https://www.cognitivemarketresearch.com) analisa kebutuhan industri pertumbuhan pasar secara global berdasarkan wilayah dari 2015 hingga 2027 ialah sebagai berikut:

<sup>1</sup> Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, 60111, Indonesia.

\*Email: juwari@chem-eng.its.ac.id



Gambar 3. Analisa kebutuhan industri pertumbuhan pasar secara global untuk pengaplikasi dari pigmen besi oksida

Di Indonesia industri cat dan bangunan merupakan segmentasi pasar terbesar dari pigmen merah. Kebutuhan pigmen di Indonesia sebagian besar dipenuhi dengan impor dari negara Jerman, China dan India. Di Indonesia hanya terdapat satu perusahaan yang memproduksi pigmen besi oksida yaitu pada PT. Langgar Nanotek Indonesia (Lanox) yang baru memulai kegiatan produksi pada tahun 2016 [11].

TABEL 1. DATA KEBUTUHAN PRODUKSI DAN IMPOR PIGMEN MERAH DI INDONESIA 2017-2020

Tahun	Kebutuhan (kg)	Produksi (kg)	Impor (kg)
2017	17.430,99	2500000	13.270,56
2018	21.890,79	2500000	15.718,61
2019	25.959,24	3000000	17.586,19
2020	30.834,57	3000000	23.678,91

Kebutuhan pigmen merah di Indonesia setiap tahunnya terus mengalami kenaikan sehingga Indonesia masih mengimpor pigmen merah dari negara asing. Sehingga, dibutuhkan pendirian pabrik pigmen merah baru. Pendirian pabrik pigmen besi oksida untuk mencukupi kebutuhan pigmen di Indonesia dan mengurangi impor pigmen besi oksida dari negara asing serta memanfaatkan sumber daya alam di Indonesia yang mana memiliki kandungan biji besi yang tersebar di Indonesia. Dengan adanya sumber daya alam sendiri dapat mengurangi biaya produksi. Harga pigmen merah di pasar Indonesia saat ini mencarapi Rp.40.000 - 100.000 per kilogram. Diharapkan dengan pendirian pigmen merah di Indonesia ini, harga jual lebih murah. Hal ini didukung dengan ketersediaan bahan baku berupa pasir besi yang melimpah di Indonesia. Lokasi perusahaan yang dekat dengan konsumen, juga semakin menekan harga jual produk pigmen ini [12].

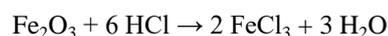
## A. Teknologi Produksi

### 1. Proses Presipitasi

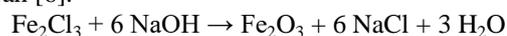
Proses yang digunakan dalam produksi pigmen merah dengan metode presipitasi, bahan baku utama yang dapat digunakan adalah pasir besi, biji besi, atau scrap iron. Sedangkan bahan baku tambahan yang digunakan merupakan HCl dan NaOH dengan produk pigmen besi oksida berwarna merah. Metode presipitasi adalah metode pengendapan masing-masing material dasar dengan suatu reaktan. Hasil pengendapan tersebut kemudian digabungkan untuk pembentukan senyawa yang diharapkan secara stoikiometris [3].

Metode presipitasi dilakukan dengan cara zat aktif

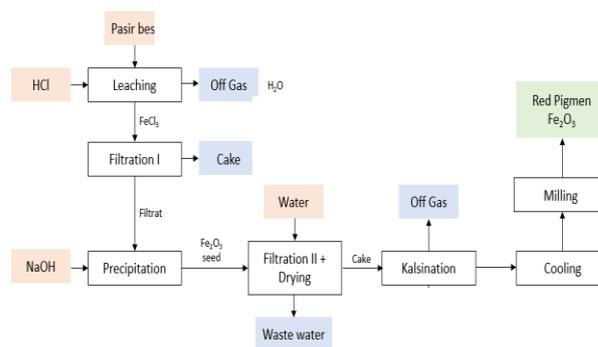
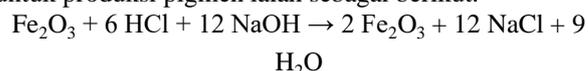
dilarutkan ke dalam pelarut, lalu ditambahkan larutan lain yang bukan pelarut. Hal ini menyebabkan larutan menjadi jenuh dan terjadi nukleasi yang cepat sehingga membentuk nanopartikel. Metode presipitasi menjadi metode yang paling banyak digunakan karena prosesnya yang sederhana, mudah dan biaya yang lebih murah [4]. Selain itu, dengan proses yang sederhana ini dapat menghasilkan partikel yang lebih kecil dari hingga menjadi ukuran nano, pemakaian energi sangat rendah dan biaya yang rendah dibandingkan dengan metode penggilangan dan homogenisasi [5]. Proses presipitasi dilakukan dengan metode *leaching* untuk membersihkan komponen pengotor. Pada proses *leaching* HCl digunakan untuk melarutkan kandungan  $Fe_2O_3$  dengan reaksi:



Pada proses *leaching* komponen yang dapat bereaksi merupakan filtrat dan komponen yang tidak bereaksi dilakukan pemisahan menggunakan *filter press*. Proses presipitasi selain ditambahkan dengan HCl sebagai pelarut, juga dilakukan penambahan NaOH pada larutan yang sudah terpisahkan sehingga membentuk endapan  $Fe_2O_3$ . Yang mana endapan dicuci dan dikeringkan untuk menghilangkan komponen pengotor dari penambahan HCl dan NaOH yaitu NaCl. Setelah dilakukan pencucian dilakukan proses kalsinasi sehingga diperoleh pigmen merah [6].



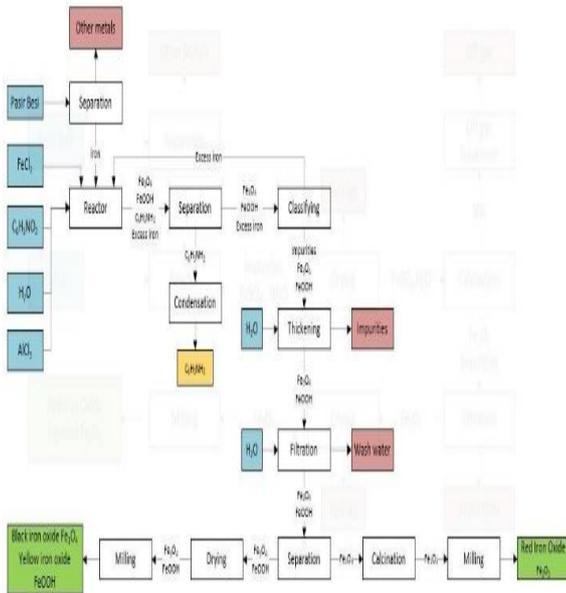
Dari kedua reaksi pada proses presipitasi maka reaksi untuk produksi pigmen ialah sebagai berikut.



Gambar 4. Blok Diagram Proses Presipitasi

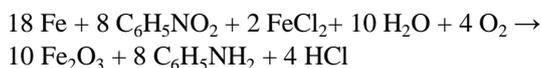
### 2. Proses Laux

Proses Laux bahan baku yang digunakan merupakan pasir besi, nitrobenzene,  $FeCl_2$  dan  $AlCl_3$ . Proses laux, produk yang dihasilkan merupakan pigmen besi oksida hitam, merah dan kuning [12]. Pigmen hitam diperoleh dengan mereaksikan nitrobenzene dan metalloidic iron pada larutan  $FeCl_2$ . Sedangkan untuk memperoleh pigmen merah, pigmen hitam dilakukan pemisahan kemudian dilakukan proses kalsinasi dan drying dilakukan untuk memperoleh pigmen kuning. Pada proses laux, produk samping yang dihasilkan adalah anilin.



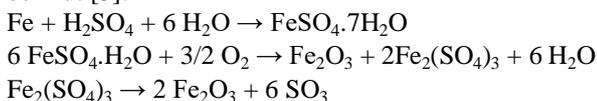
Gambar 5. Blok Diagram Proses Laux

Proses *laux* bahan baku yang digunakan adalah pasir besi dan bahan tambahan yaitu *nitrobenzene*. *Nitrobenzene* di Indonesia belum diproduksi sehingga di impor dari negara asing yang mana harganya mahal, hal ini akan mempengaruhi biaya yang dikeluarkan untuk distribusi impor bahan baku. Pada proses *Laux* energi yang digunakan cukup tinggi sehingga biaya operasi yang dikeluarkan akan tinggi juga. Sedangkan limbah yang dihasilkan dari produksi pigmen merah dengan menggunakan proses *Laux* yaitu sisa  $\text{FeCl}_2$  dan  $\text{AlCl}_3$  yang mana merupakan limbah jenis B3, sehingga perlu proses treatment lebih lanjut. Proses treatment dilakukan untuk memastikan bahwa limbah aman dilakukan pembuangan ke lingkungan. Pada proses *laux*, untuk menghasilkan pigmen merah membutuhkan proses yang panjang, sehingga peralatan yang dibutuhkan juga akan lebih banyak dan biaya produksi yang dikeluarkan juga lebih tinggi [10]. Dari kedua reaksi pada proses presipitasi maka reaksi untuk produksi pigmen ialah sebagai berikut [3].



### 3. Proses Roasting-Copper

Proses roasting bahan baku yang digunakan untuk memproduksi pigmen yaitu, kandungan besi dan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Pada proses ini dilakukan pemisahan dengan menambahkan asam sulfat sehingga terjadi reaksi sebagai berikut [3]:



### B. Seleksi Proses

Dari perbandingan ketiga proses, proses yang paling relevan dapat ditentukan menggunakan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*). *Analytical I-6 Hierarchy Process* (AHP) adalah suatu metode pengambilan

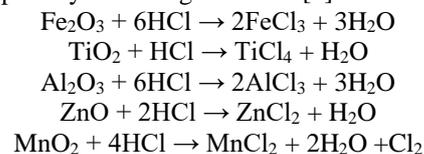
keputusan dengan melakukan perbandingan berpasangan antara kriteria pilihan dan juga perbandingan berpasangan antara pilihan yang ada. Permasalahan pengambilan keputusan dengan AHP umumnya dikomposisikan menjadi kriteria, dan alternative pilihan. Selanjutnya, menentukan parameter disetiap aspeknya, maka dilakukan pembobotan untuk menentukan proses terpilih dengan menggunakan aplikasi *Expert Choise*. Pada pemilihan proses dengan menggunakan metode AHP (*Analytic Hierarchy Process*), proses yang sesuai adalah presipitasi dengan beberapa pertimbangan, sebagai berikut [4]:

- Produk yang dihasilkan memenuhi standar pasar *Yields* yang dihasilkan cukup tinggi dari proses lainnya
- Bahan baku berupa pasir besi, HCl dan NaOH banyak di Indonesia
- Digunakan proses yang paling ekonomis

## II. URAIAN PROSES

### 1. Leaching

Proses *leaching* bertujuan untuk melarutkan kandungan besi dalam pasir agar dapat dipisahkan dari komponen pengotor lainnya. Larutan yang digunakan dalam proses *leaching* pasir [besi yaitu larutan HCl. Perbandingan berat pasir besi dengan jumlah HCl yang ditambahkan sebesar 371 mL HCl/100 gram bijin besi. Proses *leaching* berlangsung secara *batch* selama 2 jam pada reaktor dengan suhu  $80^\circ\text{C}$  bertekanan 1 atm [4]. Reaktor yang digunakan ialah reaktor berpengaduk dengan jaket pendingin. Jacket pendingin digunakan untuk menjaga suhu reaktor yang terjadi reaksi eksotermis. Menurut Alafara [5], reaksi menggunakan HCl 33% dan suhu  $80^\circ\text{C}$  ini dapat memberikan konversi reaksi mencapai 92%. Beberapa komponen logam reaktif yang terkandung dalam pasir besi juga bereaksi dengan HCl membentuk beberapa senyawa sebagai berikut [5]:

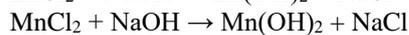
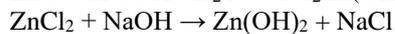
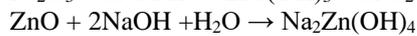
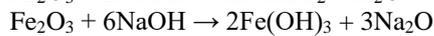
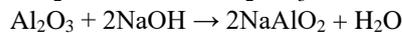
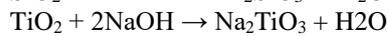
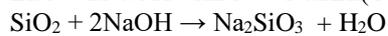
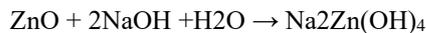
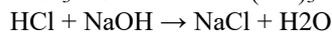
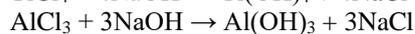
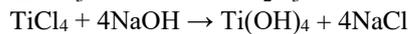


Sedangkan komponen lain dalam pasir besi yang tidak bereaksi dengan HCl ialah Au dan  $\text{SiO}_2$ . Senyawa tersebut tetap dalam keadaan padat sehingga arus keluar reaktor akan berupa *slurry*. Hasil dari proses *leaching* dalam bentuk *slurry* dipompakan menuju *plate and frame filter press* untuk menyaring komponen solid pasir besi yang tidak bereaksi yaitu  $\text{SiO}_2$  dan hasil reaksi yang berfase padat yaitu  $\text{ZnCl}_2$ , Au dan  $\text{SiO}_2$ . Selanjutnya larutan yang sudah difiltrasi akan dialirkan dengan menggunakan pompa menuju reaktor presipitasi [6].

### 2. Pemurnian dengan Presipitasi

Setelah melewati proses *leaching* dan filtrasi, selanjutnya  $\text{FeCl}_3$ , dipresipitasi menggunakan NaOH dengan perbandingan jumlah mol NaOH dan mol  $\text{FeCl}_3$  yang direaksikan adalah 3:1. Perbandingan tersebut bertujuan untuk mendapatkan yield sebesar 5,4 gram/Liter. Larutan NaOH ditambahkan pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 2 jam dalam reaktor berpengaduk dengan jaket pemanas. Jacket pemanas dibutuhkan untuk menjaga suhu

operasi dalam reaktor yang di dalamnya terjadi reaksi endotermis. Penambahan larutan ini berfungsi untuk pembentukan inti kristal  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dengan reaksi sebagai berikut [8].



Proses berikutnya ialah penyaringan dan pencucian pigmen  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dari garam  $\text{NaCl}$ ,  $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{AlCl}_3$ , sisa  $\text{HCl}$ ,  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  dan beberapa komponen pengotor terlarut menggunakan *rotary drum vacuum filter*. Melalui proses penyaringan di *rotary drum vacuum filter*, pigmen  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  akan tertahan pada bagian luar drum dan membentuk *cake*. *Cake* pada drum dicuci dengan air sehingga komponen pengotor akan ikut terlarut dalam air dan akan dihasilkan *cake* pigmen  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang lebih murni [11]. Pencucian *cake* pigmen  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ini berdasarkan pada kelarutan masing-masing komponen terhadap air. Senyawa yang larut ialah  $\text{ZnO}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Selanjutnya *cake* pigmen dialirkan dengan alat *screw conveyor* untuk dilakukan proses kalsinasi [7].

### 3. Pembentukan Pigmen Merah

Proses selanjutnya ialah kalsinasi. Kalsinasi merupakan proses untuk membentuk pigmen merah, endapan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang telah dicuci dalam rotary dryer pada suhu  $650^\circ\text{C}$ , dengan mengalirkan *syn gas* sebagai pemanasnya. Dalam proses kalsinasi ini kandungan air akan ter evaporasi. Proses kalsinasi ini merupakan tahap yang penting dimana suhu mempengaruhi kualitas dari pigmen yang akan dihasilkan, seperti ukuran partikel, distribusi partikel, struktur kristal, warna dan juga sifat morfologi dari pigmen. Setelah pigmen dihasilkan pada proses kalsinasi, pigmen didinginkan menggunakan grate cooler dengan menggunakan udara kering bersuhu  $30^\circ\text{C}$  yang ditiupkan melalui blower. Selanjutnya pigmen akan diperkecil ukurannya di dalam jet mill hingga berukuran  $0,3-0,8\mu\text{m}$  [9].

Produk akhir pigmen yang telah mencapai suhu ruang dan memiliki ukuran yang sesuai selanjutnya dimasukkan ke dalam tangka penyimpanan produk [5].

## III. NERACA MASSA DAN ENERGI

Berdasarkan hasil perhitungan dari *material balance* dengan kapasitas bahan baku utama yaitu pasir besi sebesar 1.710.710 ton/tahun,  $\text{HCl}$  sebesar 1.377.500 ton/tahun, dan  $\text{NaOH}$  sebesar 2.639.000 ton/tahun dapat dihasilkan produk utama yaitu pigmen merah sebesar 5000 ton/tahun.

Berdasarkan hasil perhitungan dari *energy balance*,

kebutuhan panas ( $Q$ ) dan power ( $W$ ) pada Pabrik Pigmen Merah Dengan Proses Presipitasi sebagai berikut:

TABEL 2. KEBUTUHAN PANAS PERALATAN

No	Nama Alat	Total	Kebutuhan Panas (KJ)
1.	Reaktor Leaching	2	15.331.245
2.	Filter Press	1	15.337.079
3.	Reaktor Presipitasi	2	124.122.052
4.	Rotary Vacuum Filter	1	130.941.505
5.	Kalsiner	2	493.929
6.	Grate Cooler	1	98.435.801
7.	Jet Mill	1	1.298.131

TABEL 3. KEBUTUHAN POWER PERALATAN

No	Nama Alat	Total	Kebutuhan Power (HP)
1.	Reaktor Leaching	2	10,239
2.	Bucket Elevator	1	57,864
3.	Filter Press	1	15.337.079
4.	Reaktor Presipitasi	2	1,341
5.	Rotary Vacuum Filter	1	5,3641
6.	Kalsiner	2	1,471
7.	Screw Conveyor	1	5,3641
8.	Blower	1	61,687
9.	Jet Mill	1	71.0742

## IV. ANALISIS EKONOMI

Dalam melakukan analisa keuangan pada kasus ini, berikut ini merupakan beberapa asumsi yang digunakan.

- Sumber dana investasi berasal dari modal sendiri sebesar 60 % biaya investasi dan modal pinjaman bank sebesar 40 % biaya investasi dengan bunga bank sebesar 8% per tahun yang akan dibayar dalam jangka waktu 3,9 tahun.
- Eskalasi harga bahan baku sebesar nilai inflasi 1,42 % per tahun.
- Masa kontraksi adalah 1 tahun
  - Tahun pertama berasal dari 50% modal sendiri (*equity*) dan 30% modal pinjaman bank.
  - Tahun kedua menggunakan modal sendiri (*equity*) dan sisa modal pinjaman bank (*loan*).
- Pembayaran kepada kontraktor dengan modal pinjaman dilakukan secara diskrit dengan cara sebagai berikut:
  - Pada masa awal konstruksi (tahun pertama (-2)) dilakukan pembayaran sebesar 30% dari modal pinjaman bank (*loan*) untuk keperluan pembelian tanah dan uang muka.
  - Pada masa akhir tahun pertama konstruksi (tahun kedua (-1)) dibayarkan sisa modal pinjaman bank (*loan*).
- Masa pengembalian modal pinjaman bank adalah 10 tahun.
- Penyusutan investasi alat & bangunan terjadi dalam waktu 10 tahun secara straight line dengan depresiasi sebesar 10 % per tahun.
- Kapasitas produksi:
  - Tahun I = 60%

- b. Tahun II = 80%
  - c. Tahun III = 100%
8. Pajak pendapatan untuk UMKM yang berbentuk Perseroan Terbatas (PT) berdasarkan UU Nomor 2 Tahun 2020 adalah sebesar 15%.

Selain itu, analisa keuangan yang digunakan adalah dengan menggunakan metode *discounted cash flow* yang terdiri dari perhitungan biaya produksi dan aliran kas/kinerja keuangan. Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi didapatkan *Internal Rate of Return* (IRR) pabrik ini adalah 29,21%, dimana angka ini lebih besar dari bunga bank yaitu 8% per-tahunnya. Modal pabrik akan kembali setelah pabrik beroperasi selama 3,9 tahun. Waktu ini relatif singkat jika dibandingkan dengan perkiraan umur pabrik 10 tahun. *Net Present Value* yang didapat sebesar Rp 393.557.068.636,- atau NPV bernilai positif karena  $NPV > 0$ .

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa ekonomi Pra Rancangan Pabrik Pigmen Merah dengan Metode Presipitasi yang meliputi perhitungan *Internal Rate of Return* (IRR), *Pay Out Time* (POT), dan *Net Present Value* (NPV). *Internal Rate of Return* (IRR) pabrik ini adalah 29,21%, dimana angka ini lebih besar dari bunga bank yaitu 8% per-tahunnya. Modal pabrik akan kembali setelah pabrik beroperasi selama 3,9 tahun. Waktu ini relatif singkat jika dibandingkan dengan perkiraan umur pabrik 10 tahun. *Net Present Value* yang didapat sebesar Rp 393.557.068.636,- atau NPV bernilai positif karena  $NPV > 0$ . Hal ini menyimpulkan bahwa Pabrik Pigmen Merah dengan Metode Presipitasi ini layak untuk didirikan

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bilalodin, Z. Iryani, Sehad, B. Sugioto, "Colorimetri Koordinat," 10(2), 129–134, 2015.
- [2] G. T. Burstein, "Iron oxides in the laboratory, preparation and characterization," In *Corrosion Science*, Vol. 33, Issue 7, 1992. [https://doi.org/10.1016/0010-938x\(92\)90174-2](https://doi.org/10.1016/0010-938x(92)90174-2)
- [3] A. Fatmaliana, A. Rahwanto, "Synthesis and Characterization of Hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Extracted from Iron Ore by Precipitation Method," *Jurnal Natural*, 16(1), 15–17, 2016. <https://doi.org/10.24815/jn.v16i1.4361>
- [4] J. Jenderal, & S. No, "Pengolahan Pasir Besi Di Pantai Selatan Kulon," 1–16, 2009.
- [5] T. P. Rahman, A. Sukarto, N. T. Rochman, & A. Manaf, "Sintesis Pigmen Besi Oksida Berbahan Baku Limbah Industri Baja (Mill Scale)," *Jurnal Fisika Unnes*, 3(1), 79535, 2013. <https://doi.org/10.15294/jf.v3i1.3972>
- [6] L. Shen, Y. Qiao, Y. Guo, & J. Tan, "Preparation and formation mechanism of nano-iron oxide black pigment from blast furnace flue dust," *Ceramics International*, 39(1), 737–744, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.06.086>
- [7] M. Sizes, "The Jet Pulverizer Company Micron Master Performance Guidelines," 1900.
- [8] C. Summary, "Ferric chloride," *Reactions Weekly*, 1484(1), 18–18, 2014. <https://doi.org/10.1007/s40278-014-8279-4>
- [9] I. Suroso, "Karakteristik Pasir Besi Dari Pantai Selatan Kulonprogo Untuk Material Pesawat Terbang," *Prosiding Seminar Nasional Pakar, Prosiding Seminar Nasional Pakar 2018 Buku I*, 101–106, 2018.
- [10] B. Tambunan, C. Supriyadi, & J. Juliansyah, "Desain Dan Simulasi Tungku Bakar Untuk Pengolahan Pasir Besi Menjadi Sponge Iron Dengan Teknologi Tunnel Kiln = Design and Simulation of Furnace for Ferruginous Sand To Be Sponge Iron Process By Using Tunnel Kiln Technology," *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 10(1), 51–60, 2016.
- [11] V. B., Parker, & I. L. Khodakovskii, "Thermodynamic Properties of the Aqueous Ions (2+ and 3+) of Iron and the Key Compounds of Iron," *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 24(5), 1699–1745, 1995.
- [12] H. Zanur, A. Putra, & A. Astuti, "Sintesis Dan Karakterisasi Pigmen Hematit ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Dari Bijih Besi Di Jorong Kepalo Bukik Kabupaten Solok Selatan Menggunakan Metode Presipitasi," In *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 6, Issue 2, pp. 149–155, 2017.