

# Pra Desain Pabrik Pigmen Besi Oksida dari Pasir Besi limbah PT. X

Ronaldo Pangidoan Sitingjak<sup>1</sup>, Giga Husnil Azizi Khissoga<sup>1</sup>, Widiyastuti<sup>1\*</sup>, dan Ni Made Intan Putri Suari<sup>1</sup>

**Abstrak**— Pengembangan industri kimia sangat penting dikarenakan dapat mengurangi pengeluaran devisa negara untuk mengimpor bahan-bahan yang dibutuhkan oleh penduduk Indonesia. Dengan adanya pengembangan di dunia industri kimia, diharapkan Indonesia dapat menjadi negara yang mandiri karena tidak lagi bergantung pada industri-industri diluar negeri. Salah satu industri yang perlu dikembangkan di Indonesia adalah pigmen besi oksida. Permintaan pigmen besi oksida secara global di industri konstruksi, cat, dan plastik mengalami peningkatan, sehingga diperkirakan akan mendorong pertumbuhan pasar selama delapan tahun ke depan. Dimana, pasar pigmen besi oksida global didominasi oleh Asia Pasifik dan menyumbang 40,7% dari industri pada tahun 2015 karena infrastruktur yang tumbuh dan industrialisasi yang pesat, terutama di negara-negara seperti China dan India. Pabrik Pigmen Besi Oksida dari Besi Oksida yang berasal dari limbah direncanakan mulai dibangun pada tahun 2022 dengan kapasitas 5060,33 ton/tahun. Dikarenakan pabrik pigmen menggunakan bahan baku yang berasal dari produk samping PT. X, maka lokasi yang dipilih adalah di dekat PT. X yaitu di Tayan, Kalimantan Barat. Pabrik pigmen besi oksida yang didirikan akan dioperasikan selama 330 hari selama satu tahun. Proses produksi akan dibagi menjadi beberapa tahap yaitu *pre-treatment*, *presipitasi*, *filtrasi*, *drying*, *milling*. Dari perhitungan analisa ekonomi didapatkan IRR sebesar 37,04%, POT selama 4,2 tahun.

**Kata Kunci**— pigmen, pasir besi, besi oksida.

## I. PENDAHULUAN

Pigmen besi oksida semakin diminati dibanding pigmen oksida lainnya karena bahan tidak beracun, struktur kimia yang stabil, dan warna yang lebih bervariasi dari kuning, oranye, merah, coklat, hingga hitam (Buxbaum, 2005). Pigmen digunakan sebagai pewarna di banyak keperluan industri yang meliputi konstruksi, plastik, pelapis, cat, kertas, dan lainnya dengan industri konstruksi dan cat memegang sepertiga dari permintaan global pada tahun 2015. Pigmen besi oksida dalam aplikasi cat diperlukan untuk mengoptimalkan efek pewarnaan dan mempertahankan kekuatan cat yang memiliki lapisan tipis. Pigmen oksida besi adalah salah satu pigmen anorganik yang paling banyak digunakan dan dikenal karena reaktivitasnya yang rendah, stabilitas suhu yang lebih tinggi, kekuatan pewarnaan yang superior, dan toksisitas yang rendah. [2]

Pigmen oksida besi dalam coating diperkirakan menyumbang 26,6% dari pangsa volume pasar global pada tahun 2024 dengan pendapatan revenue mencapai 2,67 miliar AS. Ini juga karena meningkatnya produksi pada segmen otomotif yang menggunakan pigmen besi oksida sebagai coating pada produk mereka.

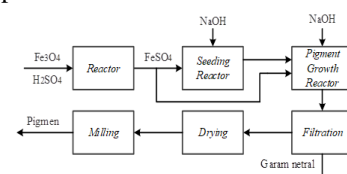
Produksi pigmen besi oksida di Indonesia saat ini masih sangat sedikit, sehingga sebagian besar kebutuhan akan pigmen besi oksida didominasi impor dari berbagai negara. Berikut merupakan data impor dan ekspor pigmen besi oksida di Indonesia selama 5 tahun terakhir:

Data impor dan ekspor pigmen besi oksida di Indonesia		
Tahun	Impor (kg)	Ekspor (kg)
2017	5,748,364	127,018
2018	6,021,315	643,325
2019	6,627,591	0

Sumber: Comtrade.un.org

Dari data Tabel I.1 dapat diamati bahwa banyaknya impor yang dilakukan Indonesia menunjukkan jumlah minimal konsumsi akan pigmen besi oksida, sementara produksi pigmen besi oksida di Indonesia masih sangat sedikit. Oleh karena itu, potensi untuk membangun pabrik pigmen besi oksida di Indonesia sangat tinggi guna mengurangi nilai impor dan juga dapat memenuhi kebutuhan domestic. [3]. Oleh karena itu, untuk memproduksi pigmen besi oksida yang diinginkan, dibutuhkan proses pengolahan lebih lanjut. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam pembuatan pigmen besi oksida yaitu copperas process, presipitasi, pennimen, dan Laux process.

Penentuan proses yang akan digunakan menggunakan metode perbandingan dengan mempertimbangkan beberapa parameter seperti aspek proses, ekonomi, kondisi operasi, dan lingkungan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan metode yang digunakan dalam pembuatan pigmen besi oksida adalah proses presipitasi dikarenakan paling menguntungkan dibandingkan proses lain.



Tabel I. 1

<sup>1</sup> Departemen Teknik Kimia, FTIRS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, 60111, Indonesia. \*E-mail: widi@chem-eng.its.ac.id.

Gambar I.2 Diagram Blok Proses Presipitasi

Diagram blok proses presipitasi ditunjukkan pada Gambar I.2, proses menghasilkan produk samping berupa garam netral seperti  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{NaCl}$  dimana jika dibuang secara langsung daratan akan berdampak negatif bagi lingkungan. Akan tetapi, hal tersebut dapat diantisipasi dengan membuangnya di lautan, karena garam yang bersifat netral tidak akan mengganggu ekosistem laut. Selain itu, proses ini 3. Tidak menggunakan alat yang terlalu banyak, sehingga tidak memerlukan tempat yang cukup luas, dan memperkecil biaya maintenance.

Penentuan Kapasitas produksi pabrik yang direncanakan akan mulai beroperasi pada tahun 2024 mengacu pada kebutuhan nasional terhadap pigmen besi oksida di Indonesia dengan mempertimbangkan data impor, ekspor, konsumsi dan produksi pada tahun 2017 hingga 2019. Diperoleh kapasitas produksi sebesar 5.060,33 ton/tahun untuk memenuhi kebutuhan pigmen besi oksida di Indonesia, dengan basis waktu operasi selama 330 hari kerja/tahun dan waktu kerja pabrik selama 24 jam/hari.

Bahan baku yang digunakan dalam produksi pigmen besi oksida adalah pasir besi yang berasal dari hasil produk samping PT. X dengan spesifikasi seperti yang tertera pada Tabel I.2. Pasir besi hasil produk samping pabrik alumina berasal dari bauksit dengan kadar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  43,64%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  9,63%. Hal ini dikarenakan kapasitas produksi PT. X sebesar 100.000 ton/tahun, maka  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang dihasilkan (produk samping) adalah 6.991,38 ton/tahun [4]. Berdasarkan jumlah minimum besi yang terkandung, seperti Besi (III) oksida, karakteristik pigmen besi oksida mengikuti standar ISO 1248 : 2006, yaitu kemurnian

pigmen minimum 95 %, tidak ada zat yang menguap, dan residu kurang dari 0,01% massa.

Tabel I.2  
Karakteristik Pasir Besi

Karakteristik	Keterangan
Warna	Abu-abu hingga kehitaman
Ukuran butiran	75-150 mikron
Densitas	2-5 gr/cm <sup>3</sup>
Bobot isi (Specific Gravity)	2,99-4,23 g/cm <sup>3</sup>
Derajat kemagnitan	6,4-27,16 %

Letak suatu pabrik mempunyai pengaruh besar terhadap kelangsungan atau keberhasilan pabrik tersebut. Karena penentuan lokasi pabrik yang akan didirikan sangat penting dalam perencanaannya. Lokasi pabrik yang tepat, ekonomis dan menguntungkan, harga produk yang semurah mungkin dengan keuntungan yang sebesar mungkin. Idealnya lokasi yang akan dipilih harus dapat memberikan keuntungan jangka panjang baik untuk perusahaan maupun warga sekitar, serta dapat memberikan kemungkinan untuk memperluas atau menambah kapasitas pabrik tersebut. Pemilihan lokasi pabrik mempertimbangkan faktor ketersediaan bahan baku, lokasi pemasaran, aksesibilitas dan fasilitas transportasi, tenaga kerja dan utilitas. Berdasarkan beberapa pertimbangan tersebut, Pabrik Pigmen Besi Oksida dari Pasir Besi direncanakan akan dibangun di dekat PT. X yaitu di Tayan, Kalimantan Barat.

## II. PEMILIHAN PROSES

Proses yang diuraikan mengacu pada buku berjudul Industrial Inorganic Pigment edisi ketiga yang ditulis oleh Buxbaum (2015) yang membahas berbagai macam proses untuk memproduksi pigmen besi oksida.

### 1. Copperas Process

Proses Copperas merupakan proses dekomposisi termal yang sering digunakan untuk memproduksi pigmen copperas red dengan kualitas tinggi. Proses ini dilakukan dengan rotary kiln bertingkat. Bahan baku yang digunakan pada proses adalah garam besi hidrat, dimana pada tahap pertama dan kedua dilakukan pemanasan pada suhu 500 – 700°C menggunakan rotary kiln sehingga kadar air berkurang atau hilang. Kemudian, pada tahap ketiga pemanasan menggunakan rotary kiln, akan mereaksikan garam besi  $\text{FeSO}_4$  yang tersisa menjadi pigmen merah hermatit dan menghasilkan gas  $\text{SO}_3$  yang dapat dioksidasi untuk menghasilkan asam sulfat. Hasil slurry pigmen merah akan di encerkan menggunakan air, untuk memudahkan proses pemisahan pengotor sehingga didapat padatan pigmen dengan kemurnian tinggi yang nantinya

akan dikeringkan dengan dryer dan dilakukan proses milling untuk mendapatkan ukuran pigmen yang sama.

### 2. Precipitation Process

Metode presipitasi adalah metode pengendapan masing-masing material dasar dengan suatu reaktan yang dilakukan dengan cara zat aktif dilarutkan ke dalam pelarut, lalu ditambahkan larutan lain yang bukan pelarut.  $\text{FeSO}_4$  digunakan sebagai bahan baku direaksikan dengan  $\text{NaOH}$  pada seeding reactor untuk membentuk inti pigmen atau nuclei pada suhu 20–50 °C dengan  $\text{pH} < 7$  untuk pigmen warna kuning,  $\text{pH}$  mendekati 7 untuk menghasilkan pigmen orange,  $\text{pH} = 7$  untuk menghasilkan pigmen merah, dan  $\text{pH} > 7$  untuk menghasilkan pigmen hitam. Kemudian, nuclei yang telah terbentuk akan di tumbuhkan dengan penambahan  $\text{FeSO}_4$  dan  $\text{NaOH}$  pada suhu 10-90 °C selama 10–100 jam. Untuk pigmen hitam, proses dapat dipercepat dengan pemanasan suhu 150°C dan tekanan rendah. Pigmen yang telah dihasilkan akan difiltrasi sehingga didapat padatan pigmen, sementara hasil larutan garam netral akan masuk ke waste water. Pigmen yang telah di filtrasi akan di keringkan menggunakan band atau spray dryers untuk mengurangi

kadar air dan dilanjutkan proses milling pada jet mills atau disintegrator untuk menghasilkan pigmen sesuai ukuran yang diinginkan.

### 3. Pennimen Process

Proses pennimen merupakan metode yang memiliki tahapan sama dengan presipitasi, yaitu tahap pembuatannuclei atau inti dan tahap penumbuhan pigmen, yang membedakan adalah pada proses penumbuhan pigmen menggunakan scrap iron. Proses ini hanya membutuhkan alkali hidroksida yang lebih sedikit dari pada proses presipitasi, dan mengurangi jumlah produk samping garam netral yang terbentuk.  $\text{FeSO}_4$  dan  $\text{NaOH}$  direaksikan untuk membentuk inti pigmen atau nuclei pada suhu  $20\text{--}50^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH}<7$  untuk menghasilkan pigmen kuning,  $\text{pH}$  mendekati 7 untuk menghasilkan pigmen oranye, dan  $\text{pH}=7$  untuk menghasilkan pigmen merah. Untuk warna merah, dibutuhkan sedikit basis pigmen merah untuk menghasilkan produk yang baik. Nuclei yang telah terbentuk akan di tumbuhkan menggunakan scrap iron sehingga menghasilkan sedikit produk samping. Proses menggunakan peledakan udara pada suhu  $75 - 90^\circ\text{C}$  dan waktu beberapa hari sampai seminggu bergantung pada hasil pigmen yang diinginkan. Pigmen akan difiltrasi menggunakan sieves / hydrocyclones sehingga diperoleh padatan pigmen, sementara hasil larutan garam netral akan masuk ke waste water. Pigmen yang telah di filtrasi akan di keringkan menggunakan band atau spray dryers untuk mengurangi kadar air dan dilakukan proses milling.

### 4. Laux Process

Proses diawali dengan besi dan senyawa nitro ditambahkan secara bertahap melalui alat pengukur ke tangki yang diaduk yang berisi reaktan lainnya (misalnya besi (II) klorida, aluminium klorida, asam sulfat, dan asam fosfat). Sistem dengan cepat memanaskan hingga  $100^\circ\text{C}$  dan tetap seperti ini suhu untuk periode reaksi. Senyawa nitro direduksi menjadi amina (misalnya, anilin dari nitrobenzene), yang dikeluarkan dengan distilasi uap. Besi yang tidak bereaksi juga dihilangkan. Slurry pigmen diencerkan dengan air dalam tangki pengendapan dan pigmen dicuci untuk menghilangkan garam, dan disaring pada filter putar. Ini kemudian dapat dikeringkan pada pita, konveyor pneumatik, atau pengering semprot untuk membentuk pigmen kuning atau hitam. Jika senyawa nitro direduksi dengan adanya aluminium klorida, pigmen kuning berkualitas tinggi diperoleh. Untuk menghasilkan pigmen warna dapat dilakukan dengan pencampuran pigmen hitam dan kuning yang sudah didapat sebelumnya kemudian dikalsinasi dalam tanur putar pada atmosfer pengoksidasi. Kalsinasi dalam nanoksidasi atmosfer pada  $500\text{--}700^\circ\text{C}$  dapat meningkatkan kekuatan warna. Pigmen yang diperoleh kemudian digiling hingga kehalusan yang diinginkan di pabrik pendular, pabrik pin, atau pabrik jet, tergantung pada kekerasan dan aplikasinya.

### 5. Seleksi Proses

Proses dipilih berdasarkan perbandingan dari beberapa aspek, yaitu aspek proses, ekonomi, kondisi operasi, dan lingkungan.

Tabel II.1 Data Perbandingan keempat Proses Sintesis Pigmen Besi Oksida

Aspek yang dibandingkan		Copper	Presipitasi	Laux	Pennimen
Aspek Proses	Variasi Pigmen	Merah	Kuning, Merah, Hitam, Orange	Kuning, Hitam, Merah, Coklat	Merah, Kuning, Orange
	Kualitas Produksi	Grade A			
	Produk Samping	Gas ( $\text{SO}_2$ , $\text{SO}_3$ , $\text{N}_2$ , $\text{CO}_2$ ) - > Bisa Dijual Kembali	Garam Netral ( $\text{Na}_2\text{S}$ , $\text{O}_4$ , $\text{NaCl}$ )	Anilin (Ramah Lingkungan) -> Bisa Dijual Kembali	Sedikit Garam Netral
Aspek Ekonomi	Biaya Bahan Baku	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	Nitrobenzene ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{-NO}_2$ )	$\text{H}_2\text{SO}_4$
			$\text{FeCl}_2$		$\text{NaOH}$
			$\text{AlCl}_3$		Scrap Iron
	Jumlah Alat	8	5	6	5
Aspek Kondisi Operasi	Suhu	500 - 700	20 - 50 (Seeding)	100 (Kuning, Hitam)	20 - 50 (Seeding)
			10 - 90 C (Pigment Growth)	500 - 1000 (Merah)	75 - 90 C (Pigment Growth)
	PH	7	<7, 7, >7	7	<= 7
Aspek Lingkungan	Dampak Terhadap Lingkungan	Unreacted $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{NaOH}$ , $\text{FeSO}_4$	Unreacted $\text{H}_2\text{SO}_4$	Unreacted $\text{C}_6\text{H}_5\text{-NO}_2$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$	Unreacted $\text{H}_2\text{SO}_4$ , $\text{NaOH}$ , $\text{FeSO}_4$

Pada Tabel II.1, disajikan data perbandingan keempat proses yang dapat digunakan untuk memproduksi pigmen besi oksida. Dilihat dari bahan bakunya, proses Laux membutuhkan potongan-potongan besi (scrap iron) sedangkan bahan yang digunakan adalah pasir besi, maka perlu dilakukan proses smelting yang mengonsumsi energi tinggi untuk mengubahnya menjadi besi dan menggunakan nitrobenzene yang bersifat mudah meledak dalam keadaan uap, oleh karena itu proses ini tidak dipertimbangkan lebih lanjut. Sementara, pada proses Copperas hanya mampu memproduksi pigmen merah dan menggunakan lebih banyak alat sehingga membutuhkan biaya lebih besar dan tidak dipertimbangkan lebih lanjut.

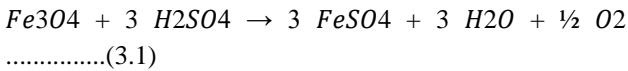
Dengan demikian, proses yang memungkinkan untuk digunakan yaitu penmiman dan presipitasi. Karena proses penmiman membutuhkan waktu yang lebih lama dan bahan baku tambahan berupa scrap iron dalam prosesnya, maka kami memilih untuk menggunakan proses presipitasi dengan beberapa alasan :

1. Produk samping yang dihasilkan adalah garam netral seperti Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaCl dimana jika dibuang secara langsung daratan akan berdampak negatif bagi lingkungan. Akan tetapi, hal tersebut dapat diantisipasi dengan membuangnya di lautan, karena garam yang bersifat netral tidak akan mengganggu ekosistem laut.
2. Bahan baku yang digunakan mudah didapat dan tidak mudah meledak.
3. Tidak menggunakan alat yang terlalu banyak, sehingga tidak memerlukan tempat yang cukup luas, dan memperkecil biaya maintenance.

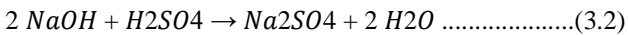
### III. URAIAN PROSES TERPILIH

#### A. Pre-Treatment

Sebelum dilakukan proses presipitasi untuk menghasilkan pigmen besi oksida, terlebih dahulu melewati tahap pre-treatment untuk membentuk FeSO<sub>4</sub> dari pasir besi (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) yang digunakan sebagai bahan baku pada proses presipitasi.

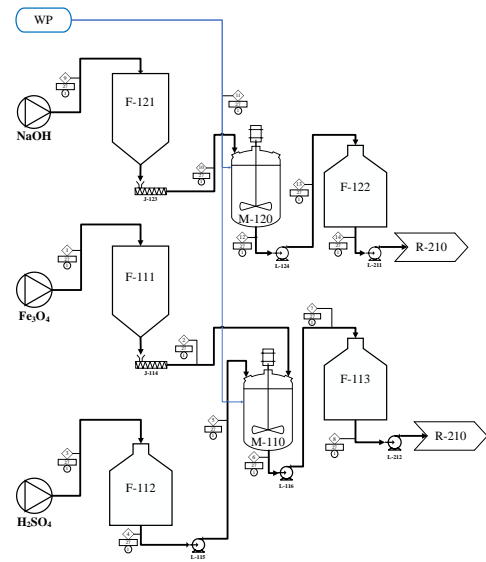


Tahap pertama, pasir besi (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) yang ditampung pada tangki (F-111) dan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada tangki (F-112) direaksikan pada tangki digestion (M-110) sehingga menghasilkan larutan ion FeSO<sub>4</sub> sesuai persamaan (3.1). Proses reaksi tersebut dilakukan pada suhu ruangan sehingga tidak memerlukan panas dari luar. Kemudian, larutan ion FeSO<sub>4</sub> dipompa menuju reaktor – reaktor yang digunakan untuk proses presipitasi. Pencampuran H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dilakukan sebelum direaksikan pada reactor dikarenakan untuk menghindari terbentuknya garam karena reaksi antara basa kuat dan asam kuat seperti pada persamaan (3.2)



Pada tangki digestion (M-110) ditambahkan H<sub>2</sub>O untuk mencegah terjadinya pengendapan dari FeSO<sub>4</sub> dan tetap berada dalam fase aqueous.

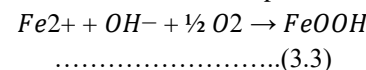
Pengenceran NaOH dilakukan pada dilution tank (M-120) dengan penambahan H<sub>2</sub>O sebelum direaksikan didalam reaktor presipitasi (R-210), karena NaOH dibeli dalam bentuk padatan. Pengenceran NaOH dilakukan untuk memudahkan pengaturan pH pada reaktor presipitasi (R-210). pH sangat berpengaruh dikarenakan merupakan faktor pembentukan pigmen dengan warna yang diinginkan. Kemudian produk dari dilution tank (M-120) dan digestion tank (M-110) akan disimpan pada tangki penampung (F-122) dan (F-113)



Gambar II.1 Unit proses pre-treatment bahan baku terdiri dari Tangki Bahan Baku NaOH (F-121), Tangki Bahan Baku Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (F-111), Tangki Bahan Baku H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (F-112) Screw Conveyor I (J-123), Screw Conveyor II (J-114), Pompa I (L-115), Digestion Tank (M-110), Dilution Tank (M-120), Tangki Penampung NaOH (F-122), Tangki Penampung Larutan FeSO<sub>4</sub> (F-113), Pompa II (L-211), dan Pompa III (L-212).

#### B. Precipitation

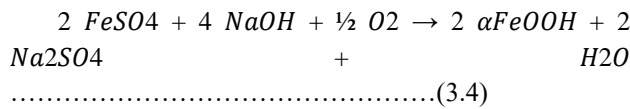
Proses presipitasi merupakan tahap pembentukan inti yang terjadi pada reaktor terbuka berpengaduk R-210 secara batch. Tahap ini dilakukan dengan menambahkan larutan alkali (NaOH) dan oksidasi menggunakan udara. Dipilih proses batch karena produk yang dihasilkan bervariasi yaitu pigmen kuning, hitam, dan orange dimana yang membedakan pada masing – masing pigmen adalah beroperasi pada pH yang berbeda – beda yaitu pH asam untuk pigmen kuning, netral untuk pigmen orange, dan basa untuk pigmen hitam. Penentuan reaksi bergantung pada pH dan suhu. pH akan mempengaruhi bentuk kristal, karena pH berhubungan dengan H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> dan pada reaksi ini mempengaruhi OH<sup>-</sup>. Reaksi yang terlibat hanya pada reaksi (3.3). SO<sub>4</sub> dan Na<sup>+</sup> tidak ikut bereaksi, namun tetap ikut dalam larutan



Hasil presipitasi dialirkan menggunakan pompa IV (L-213) menuju Tangki Penampung Pigmen (F-220). Kemudian akan dialirkan dengan pompa V (L-231) menuju ke filter press (H-230) untuk dipisahkan dari produk sampingnya larutan ion FeSO<sub>4</sub> dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

##### 1) Pigmen Kuning

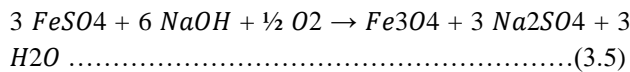
Larutan FeSO<sub>4</sub> kemudian dialirkan menggunakan Pompa III (L-212) menuju reaktor presipitasi berpengaduk (R-210) untuk menjalankan proses presipitasi secara batch dengan menambahkan larutan alkali (NaOH) dan dioksidasi menggunakan udara. Kuantitas alkali / larutan NaOH yang digunakan pada proses ini adalah hingga kondisi reaksi masih dalam keadaan asam. Pembentukan inti berlangsung selama kurang lebih 2 hari.



Hasil yang didapatkan dari tahap ini adalah pigmen berwarna kuning ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ) sesuai dengan persamaan (3.4)

### 2) Pigmen Hitam

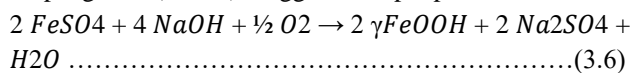
Proses presipitasi untuk pigmen hitam sama seperti pada pigmen kuning, yang membedakan adalah pada pembentukan inti di dalam reaktor presipitasi berpengaduk (R-210) terjadi pada suasana basa, sehingga membutuhkan NaOH berlebih.



Pembentukan inti berlangsung selama kurang lebih 2 hari hingga terbentuk pigmen hitam ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) sesuai persamaan (3.5) dengan struktur magnetit dan kekuatan warna yang bagus.

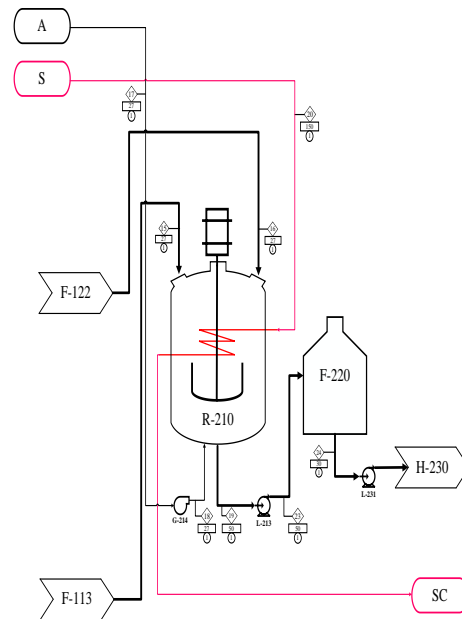
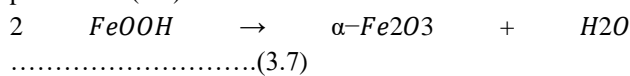
### 3) Pigmen Oranye

Pembentukan inti pigmen orange dengan struktur lepidocrocite ( $\gamma\text{-FeOOH}$ ) sesuai persamaan (3.6) diperoleh dengan mencampurkan larutan ion  $\text{FeSO}_4$  dari digestion tank (M-110) dengan NaOH pada reaktor presipitasi berpengaduk (R-210) hingga mencapai pH netral.



### 4) Pigmen Merah

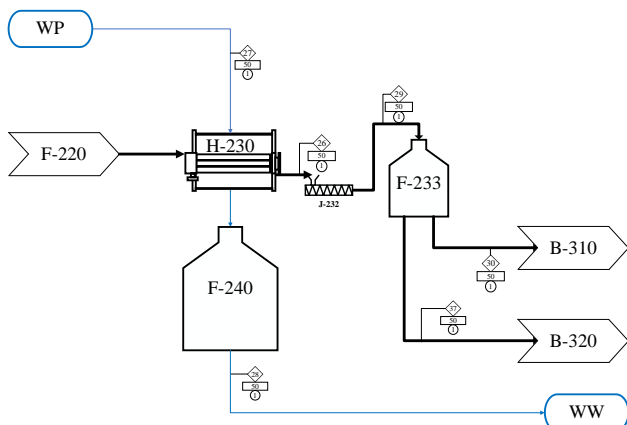
Pigmen merah dapat diperoleh dari pigmen yang telah melalui proses pembentukan inti baik pigmen kuning, hitam, maupun orange. Pigmen tersebut kemudian dikalsinasi hingga suhu  $700^\circ\text{C}$  dengan bantuan burner. Kekuatan warna pigmen merah yang dihasilkan akan berbeda – beda berdasarkan bahan pigmen yang digunakan, yaitu dari pigmen kuning akan memperoleh pigmen merah cerah. Adanya perlakuan kalsinasi ini dapat merubah fasa  $\text{FeOOH}$  menjadi  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  sesuai dengan persamaan (3.7) dibawah ini



Gambar II.2 Unit proses precipitation terdiri dari Reaktor Presipitasi (R-210), Blower I (G-214), Pompa IV (L-213), Tangki Penampung Pigmen (F-220), dan Pompa V (L-231).

### C. Filtrasi

Setelah dilakukan proses presipitasi pada reaktor berpengaduk (R-210). Maka selanjutnya akan dilakukan proses filtrasi pada filter press (H-230) untuk mengurangi kadar air, menghilangkan pengotor garam netral dan bahan baku yang tidak bereaksi. Pigmen slurry dipompakan (L-231) masuk ke dalam setiap chamber filter, jumlah chamber disesuaikan dengan jumlah debit lumpur yang hendak diolah. Mesin akan memberikan tekanan pada setiap chamber-chamber ini sehingga air yang terkandung pada lumpur akan keluar dari pori-pori pada cloth. Setelah diberi cukup tekanan, chamber dibuka, dan didapatkan sludge cake solid dengan kandungan air yang sudah jauh berkurang. Untuk meminimalisir adanya lumpur yang menempel pada cloth, dapat disemprotkan air dengan tekanan cukup dari sisi luar chamber. Setelah dilakukan filtrasi, cake akan dibawa menggunakan Screw Conveyor III (J-232) dan disimpan pada Tangki Penampung Cake (F-233) karena proses dilakukan secara batch. Proses washing dilakukan melalui lubang kecil diujung plate yang akan masuk kedalam plat dan membasahi produk yang ada di dalam plat. Selanjutnya dari Tangki Penampung Cake akan dialirkan menuju Vacuum Tray Dryer (B-310) untuk proses pengeringan pigmen berwarna kuning, hitam dan oranye. Sedangkan untuk pembentukan pigmen berwarna merah akan dialirkan menuju Rotary Kiln (B-320) untuk proses kalsinasi.



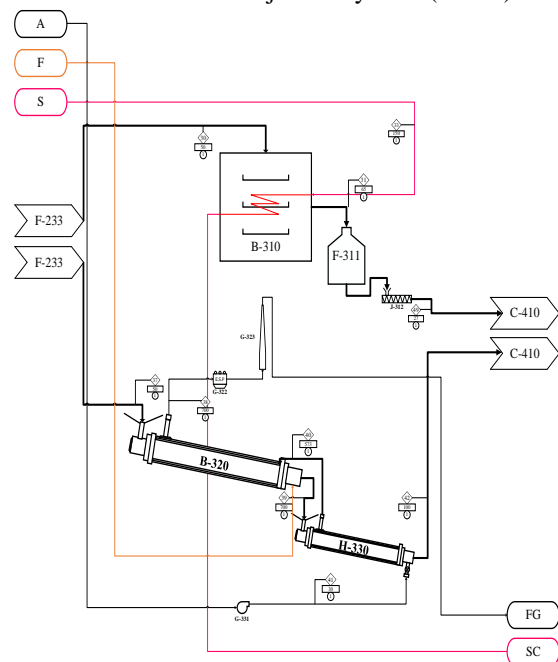
Gambar II.3 Unit proses filtrasi terdiri dari Filter Press (H-230), Screw Conveyor III (J-232), Tangki Penampung Wastewater (F-240), Tangki Penampung Cake (F-233).

#### D. Drying dan Calcination

Setelah dilakukan proses filtrasi, aliran produk filtrasi dari filter (H-230) yang sudah ditampung pada Tangki Penampung Cake (F-233) akan dialirkan sesuai dengan pigmen warna yang akan dibentuk, masuk kedalam Vacuum Tray Dryer (B-310) atau Rotary Kiln (B-320). Vacuum Tray Dryer (B-310) dipilih dikarenakan tray dryer yang bekerja pada atmosferik ini digunakan untuk partikel yang berukuran besar, maka dari itu akan ada kemungkinan besar bagi Partikel yang berukuran mikron akan dapat dibawa keluar oleh udara saat dilakukan pemanasan. Pengeringan zat padat memerlukan waktu lama dan siklus pengeringan panjang yaitu 4-8 jam per tumpak dengan suhu 150 oC. Setelah dikeringkan pada Vacuum Tray Dryer (B-310) pigmen warna kemudian disimpan didalam Tangki Penyimpanan Pigmen (F-311) dan akan diangkut menggunakan Screw Conveyor IV (J-312) untuk menuju Jet Miller (C-410) untuk mendapatkan ukuran pigmen yang diinginkan. Pengeringan dengan penggunaan Vacuum Tray Dryer (B-310) ini digunakan untuk warna kuning, oranye, dan hitam.

Khusus untuk pembuatan pigmen warna merah harus dilakukan dengan proses kalsinasi menggunakan Rotary Kiln (B-320) dengan bahan baku untuk pembuatannya dari pigmen berwarna kuning. Pada proses kalsinasi ini membutuhkan media pembakaran, dan digunakan batubara sebagai media pembakaran tersebut lalu juga ada bantuan udara untuk mengalirkan panas hasil pembakaran batubara ke seluruh bagian dari rotary kiln, kalsinasi dilakukan pada suhu 700 oC selama 8 jam. Pada Rotary Kiln (B-320) terdapat 3 peristiwa yang terjadi selama proses kalsinasi yaitu proses pertama terjadi pelepasan air (H<sub>2</sub>O) yang berlangsung pada suhu 100-300 oC. Kemudian pelepasan gas-gas yang akan berlangsung pada suhu 600 oC dan pada tahap ini juga disertai dengan pengurangan berat dan pada suhu tinggi sekitar 700oC atau lebih akan memulai terbentuknya struktur kristal pada pigmen besi oksida. Setelah itu proses pendinginan pigmen merah dilakukan dengan Rotary Cooler (H-330) dengan pendingin udara agar suhu tidak terlalu tinggi dan

aman untuk alat Jet Miller (C-410). Udara akan dialirkan menggunakan Blower II (G-331), ketika proses pendinginan pigmen merah yang terbawa oleh udara akan dikembalikan Kembali menuju Rotary Kiln (B-320).



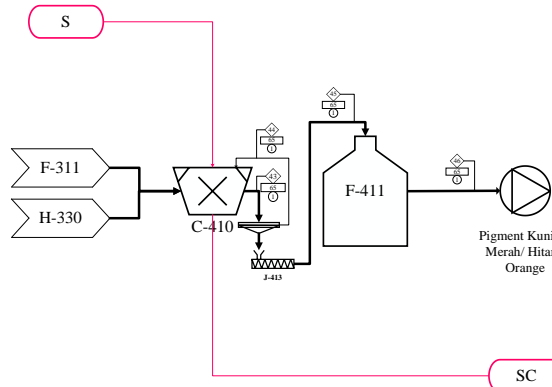
Gambar II.4 Unit proses drying dan calcination terdiri dari Vacuum Tray Dryer (B-310), Tangki Penampungan Pigmen (F-311), Screw Conveyor IV (J-312), Rotary Kiln (B-320), Electrostatic Precipitator (G-322), Blower II (G-331), dan Rotary Cooler (H-330).

#### E. Milling

Setelah mengalami proses pengeringan di dalam Vacuum Tray Dryer (B-310) atau Rotary Kiln (B-320), dilanjutkan tahap penggilingan di dalam Jet Miller (C-410) oleh masing – masing pigmen untuk dijadikan serbuk pigmen berwarna kuning, merah, hitam, dan orange. Untuk membentuk ukuran pigmen sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Material yang akan diperkecil ukurannya memasuki feeder material, pada saat bersamaan superheated steam atau udara panas yang telah terkompresi memasuki jet mill melalui jalur yang berbeda dengan jalur masuk material dengan kecepatan tinggi. Material yang semula berukuran besar akan kontak dengan superheated steam atau udara terkompresi pada suhu tinggi dan ukurannya menjadi lebih kecil. Material memasuki grinding chamber bersama dengan superheated steam atau udara panas terkompresi. Material dan superheated steam atau udara panas terkompresi keluar dari Jet Miller (C-410).

Hasil yang diperoleh dari proses penggilingan adalah pigmen warna dengan ukuran 20 nm. Proses penggilingan ini dilakukan karena pada reaktor presipitasi akan menghasilkan partikel berukuran kecil namun belum sesuai dengan ukuran pasar, ukuran partikel yang terbentuk saat presipitasi ±350nm, setelah melalui Jet Miller (C-410) pigmen akan diayak dan jika pigmen masih oversize akan dikembalikan lagi menuju Jet Miller (C-410) kemudian pigmen yang sudah sesuai dengan ukuran

pasar akan disimpan pada Tangki Penyimpanan Produk (F-411) dibawa menggunakan Screw Conveyor V (J-413).



Gambar II.5 Unit proses milling terdiri dari Jet Miller (C-410), Screw Conveyor V (J-413), dan Tangki Penampungan Produk (F-411).

#### IV. NERACA MASSA

Proses presipitasi dipilih berdasarkan perbandingan dari beberapa aspek, yaitu aspek proses, ekonomi, kondisi operasi, dan lingkungan.

Berdasarkan hasil perhitungan *material balance* Pra Desain Pabrik Pigmen Besi Oksida dari Pasir Besi Limbah PT. X, diperoleh kapasitas bahan baku pasir besi sebesar 6.991,38 ton/tahun dengan basis operasi 1 kg/2 hari (waktu operasi 330 hari kerja/tahun dan waktu kerja pabrik 24 jam/hari) menghasilkan produk berupa pigmen besi oksida sebesar 5.060,33 ton/tahun dengan kadar 99% [9]-[11].

#### V. KESIMPULAN

Proses dipilih berdasarkan perbandingan dari beberapa aspek, yaitu aspek proses, ekonomi, kondisi operasi, dan lingkungan.

Ditinjau dari segi teknis, maka Pabrik Pigmen Besi Oksida dari Pasir Besi Limbah PT. X dapat dibuat untuk kapasitas produksi 5.060,33 ton/tahun pigmen yang berasal dari bahan baku pasir besi sebesar 6.991,38 ton/tahun.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Bilalodin, Z. Irayani, S. Sehad, S. Sugito, "Sintesis dan Karakterisasi Pigmen Warna Hitam, Merah dan Kuning Berbahan Dasar Pasir Besi," Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto, Vol. 10, No. 2, 2015.
- [2] G. Buxbaum, and G. Pfaff, "Industrial Inorganic Pigments," WILEY-VCH Verlag GmbH & C. KgaA, Germany, 2005. <http://dx.doi.org/10.1002/3527603735>
- [3] Brownell, E. Lloyd, "Process Equipment Design," New York: John Wiley and Sons, 1959.
- [4] J.M. Coulson, and J.F. Richardson, "Chemical Engineering." 1st edition, Vol. 6, New York: Pergamon Press, 1983.
- [5] C. Geankoplis, "Transport Processes and Unit Operation," 3rd Edition, New Jersey: Prentice Hall, 1993.
- [6] D.M. Himmelblau, "Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering," 5ed, Singapore: Prentice-Hall International, 1989.
- [7] Market Research Reports, Available: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/iron-oxide-pigment-market>.
- [8] Kern, "Process Heat Transfer," London: Mc. Graw-Hill, 1950.
- [9] Kusnarjo, "Desain Alat Pemindah Panas," Surabaya: ITS press, 2010.

- [10] Ludwig, "Applied Process Design for Chemical Engineering and Petrochemical Plants," Texas: Gulf Publishing Company.
- [11] Mc. Cabe, "Unit Operation of Chemical Engineering," 6th Edition, New York: Mc. Graw-Hill Book, 2001.
- [12] R.H. Perry, "Chemical Engineer's Handbook," 7th Edition International Edition, Singapore: Mc. Graw-Hill, 1997.
- [13] M.S. Peters, and K.D. Timmerhaus, "Plant Design and Economics for Chemical Engineers," 5th Edition. Singapore: Mc. Graw-Hill, 2003.
- [14] S. Cahyono, Stefanus dkk, "Peningkatan Mutu bijih Bauksit Tayan Menggunakan Pemisah Magnetik," Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, Vol. 15, No. 1, 2019.
- [15] G.D. Ulrich, "A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economic," New York: John Wiley and Sons, 1984.
- [16] S. Van Ness, "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics," 4th Edition, Singapore: Mc. Graw-Hill, 1987.
- [17] S.M. Wallas, "Chemical Process Equipment: Selection and Design," USA: Butterworth-Heinemann, 1998.
- [18] H. Zanur, A. Putra, 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," Jurnal Fisika Universitas Andalas, Vol. 06, No. 2, 2017.
- [19] <https://www.Comtrade.un.org/> diakses pada 18 November 2020, pukul 20.03 WIB
- [20] <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/iron-oxide-pigment-market> diakses pada 18 November 2020, pukul 20.18 WIB
- [21] <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-statistik-ketenagalistrikan-tahun-2016-1.pdf> diakses pada 22 November 2020, pukul 22.41 WIB
- [22] <https://www.bps.go.id/statictable/2015/09/14/1835/jumlah-sekolah-guru-dan-murid-sekolah-menengah-pertama-smp-di-bawah-kementrian-pendidikan-dan-kebudayaan-menurut-provinsi-2011-2012-2015-2016.html> diakses pada 22 November 2020, pukul 22.48
- [23] <https://www.bmkg.go.id/cuaca/prakiraan-cuaca-indonesia.bmkg> diakses pada 22 November 2020, pukul 23.04 WIB
- [24] <http://www.pt-ica.com/about-us/> diakses pada 4 Desember 2020, pukul 00:12 WIB