



## Utilization of Iron (Stainless Steel) Waste for Making Prussian Blue Pigment

### Pemanfaatan Limbah Besi (*Stainless Steel*) untuk Pembuatan Pigmen *Prussian Blue*

Esa Nur Shohih<sup>1\*</sup>, Cornelius Satria Yudha<sup>1</sup>, Himmah Sekar Eka Ayu Gustiana<sup>1</sup>, Dian Rama Pradifta<sup>1</sup>, Ilmi Utari Simatupang<sup>1</sup>, Kristina Dewi Maharani<sup>1</sup>, dan Muftiyasfu Tahshilus Sa'adah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) Program Studi Diploma Tiga Teknik Kimia, Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret  
Jebres, Surakarta, Jawa Tengah, 57126

\* Corresponding author: [enshohih@staff.uns.ac.id](mailto:enshohih@staff.uns.ac.id)

Received: December 28, 2023 Accepted: August 22, 2024 Published: October 31, 2024

#### ABSTRACT

The increasing use of household materials made of stainless steel also causes more metal waste to be produced. Stainless waste is considered dangerous because it contains several heavy metal compounds such as  $\text{Cu}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Fe}$ , and others, so it is necessary to treat stainless waste. Stainless slag and stainless dust can be processed into products with high selling value such as pigments or dyes. In this research, Prussian Blue pigment was synthesized from  $\text{Fe}$  waste obtained from iron fiber waste. Apart from knowing the yield of the Prussian Blue synthesis, the effect of adding  $\text{TiO}_2$  on the intensity of the resulting color was observed. This study used a hydrometallurgical method using acid leaching to produce Prussian blue color pigments. The Prussian blue pigment conversion value produced in experiment 1 was 79.63%, experiment 2 was 80.36%, experiment 3 was 83.63%, and experiment 4 was 82.40%. The yield value of Prussian blue pigment in experiment 1 was 1.230 gram Prussian blue/gram iron, experiment 2 was 1.142 gram Prussian blue/gram iron, experiment 3 was 1.305 gram Prussian blue/gram iron, and experiment 4 was 1.807 gram Prussian blue/gram iron. Overall this method can process waste iron (stainless steel) into Prussian blue color pigment.

**Keywords:** leaching, stainless steel, pigment, Prussian blue

#### PENDAHULUAN

Salah satu industri yang berkembang cukup pesat yaitu industri logam. Indonesia mengalami peningkatan sebesar 10,6% dalam sektor industri logam dasar dan sejenisnya. Hal tersebut membuat industri logam dijuluki sebagai "*mother of industry*" karena dari industri logam dapat diturunkan ke beberapa sektor industri lainnya seperti industri otomotif, elektronik, bahkan permesinan

(Yohanes, 2020). Dari tahun ke tahun, limbah tersebut mengalami peningkatan akibat dari pertumbuhan penduduk yang juga mengalami peningkatan (Ilham dkk, 2022). Perkembangan industri di Indonesia mengakibatkan limbah yang dihasilkan juga besar dan berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan adalah dampak dari pelepasan bahan-bahan yang dapat mencemari lingkungan yang menimbulkan berbagai dampak seperti tidak seimbangnnya daur materi,

yang mengakibatkan lingkungan terganggu baik secara fungsi maupun struktur, biasanya efek ini dapat dirasakan secara bertahap (Mindasari, 2022).

Tingginya tingkat pencemaran limbah logam di Indonesia berasal dari proses industri yang berhubungan dengan mesin, metalurgi, pelapisan logam, cat, kulit, serta pertambangan akan berakibat buruk terhadap tubuh manusia dan lingkungan (Said, 2010). Di antara industri logam yang berkembang, industri *stainless steel* juga mengalami peningkatan pertumbuhan karena penggunaan *stainless steel* yang kian hari kian populer baik dalam kalangan rumah tangga maupun industri. Kebutuhannya di Indonesia hingga tahun 2025 diproyeksi mencapai 30 juta ton (Sitorus, 2017). Limbah *stainless* dinilai berbahaya karena di dalamnya terdapat beberapa kandungan senyawa logam berat seperti  $\text{Cr}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Fe}$  dan sebagainya, maka jika tidak ditangani sebagaimana mestinya limbah tersebut akan merusak lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan (Banurea, 2020). Padahal limbah *stainless steel* seperti terak *stainless* dan *stainless* debu dapat diolah menjadi produk yang bernilai jual tinggi.

Dalam penelitian limbah logam  $\text{Fe}$  baik dari industri maupun rumah tangga dapat diolah menjadi produk yang memiliki nilai jual tinggi seperti pigmen jenis *Prussian Blue*. *Prussian Blue* (PB) pertama kali ditemukan pada abad ke-18 dengan rumus kimia  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ , dan strukturnya terdiri dari campuran valensi heksasianoferat  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$  (Kraft, 2018; Lu, Zhu, Li, & Gu, 2023). Pigmen *Prussian Blue* dapat diperoleh dari pengolahan limbah logam  $\text{Fe}$  dengan metode hidrometalurgi yang merupakan proses pengolahan metalurgi ekstraksi di mana partikel tertentu dilarutkan dengan menggunakan pelarut berair (*aqueous solution*) atau zat kimia cair (Agustina, Nurhakim, & Mustofa, 2016). Metode ini dipilih karena selama proses memerlukan waktu sedikit dan menggunakan suhu yang tidak terlalu tinggi selama proses berlangsung, Pada penelitian,  $\text{Fe}$  digunakan sebagai bahan baku untuk direaksikan dengan hidroksida yang berfungsi untuk membentuk inti pigmen (Wanta et al., 2019).

Material yang bisa dijadikan sebagai sumber  $\text{Fe}$  adalah pasir besi alam. *Prussian Blue* disintesis dari  $\text{Fe}$  yang berasal dari pasir besi alam dengan metode kopresipitasi pada temperatur ruang dengan variasi massa  $\text{FeCl}_3$  dan pigmen yang terbentuk (Wahyuni, 2021). Pada penelitian ini,  $\text{Fe}$  diperoleh dari limbah

sabut besi yang berpotensi disintesis menjadi pigmen warna *Prussian Blue*. Selain mengetahui rendemen sintesis *Prussian Blue*, ingin dilihat pula pengaruh penambahan  $\text{TiO}_2$  terhadap intensitas warna yang dihasilkan.

## METODOLOGI

### Bahan

Bahan yang digunakan adalah Sabut Besi, Asam Klorida ( $\text{HCl}$ ), Kalium Ferisianida ( $(\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_3)$ ), Hidrogen Peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), *Carboxymethyl Cellulose* (CMC), Titanium Dioxide ( $\text{TiO}_2$ ), *Stainless Steel*.

### Alat

Alat yang digunakan dalam pembuatan pigmen dari limbah besi di antaranya gelas *beaker*, labu ukur, termometer, *magnetic stirrer*, klem, statif, kompor listrik, erlenmeyer, corong kaca, pipet ukur, gelas ukur, oven, desikator, neraca analitik, cawan porselen, dan pengaduk kaca, serta alat untuk mendispersi zat warna seperti spatula, kuas, kaca arloji, dan kertas saring.

### Prosedur

Pada penelitian ini menggunakan metode hidrometalurgi yang terbagi menjadi tiga tahap. Kemudian dilakukan pengaplikasian pigmen untuk melihat warna yang dihasilkan.

#### (i) Tahap Leaching

Penelitian dimulai dengan mengeringkan 2,75 gram limbah besi dalam oven selama 30 menit pada temperature  $80^\circ\text{C}$ . Limbah besi kemudian dilarutkan ke dalam 50 mL  $\text{HCl}$  3M. Besi yang sudah terlarut disaring menggunakan kertas saring, lalu mencuci *retentate* dengan 100 mL air.

#### (ii) Tahap Oksidasi

Filtrat direaksikan dengan larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% v/v tetes demi tetes hingga warna berubah dari hijau menjadi kuning.

#### (iii) Tahap Presipitasi dan Sintesis

Setelah terjaid perubahan warna,  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_3$  ditambahkan ke dalam filtrat hingga terbentuk endapan biru. Kemudian endapan disaring dan dicuci dengan air sebanyak 100 mL. Kemudian endapan dikeringkan dalam oven hingga diperoleh bubuk.

Bubuk yang diperoleh kemudian dihitung konversi dengan persamaan berikut.

$$\text{Konversi} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100\%$$

dengan  $m_i$  adalah massa besi sebelum *leaching* dan  $m_f$  adalah massa besi setelah *leaching*. Massa *Prussian Blue* yang terbentuk juga ditimbang untuk mengetahui rendemen yang dihasilkan untuk tiap 1 gram besi yang digunakan.

#### (iv) Tahap Pengaplikasian Pigmen

Proses pengaplikasian pigmen dimulai dengan menimbang 0,5 gram pigmen lalu dicampur dengan 3 gram pelarut CMC 3% b/b. Kemudian, campuran didispersikan dengan spatula hingga terbentuk pasta pigmen. Pasta pigmen dioleskan di atas kertas saring dan dikeringkan. Setelah itu, pigmen divariasikan dengan penambahan  $\text{TiO}_2$  dengan perbandingan 2:1 dan 1:2.

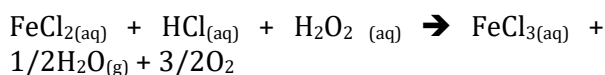
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pigmen adalah salah satu komponen utama dalam pembuatan cat yang berfungsi sebagai pewarna dan penutup (*hiding power*) pada cat (Khidin, 2019). Pigmen dapat disintesis dari limbah Fe dan dapat menghasilkan warna, salah satunya *Prussian Blue*.

Dalam pembuatan pigmen *Prussian Blue*, limbah Fe seberat 2,75 gram dicuci dan kemudian diletakkan dalam oven 80°C selama 30 menit agar limbah Fe benar-benar kering. Setelah itu dilakukan tahap *leaching* dengan mereaksikan limbah Fe dengan 50 mL HCl 3M pada suhu 80°C. Proses *leaching* dilakukan dengan pemanasan yang bertujuan agar reaksi dapat berjalan lebih cepat. Pada proses *leaching* ini terjadi perubahan warna dari *silver* menjadi hijau pekat. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Hasanah, 2019).

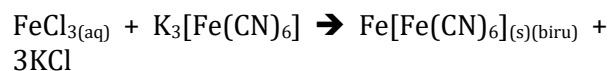


Selanjutnya tahap oksidasi dengan cara mereaksikan filtrat dengan larutan  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Pada tahap oksidasi terjadi perubahan warna dari hijau pekat menjadi kuning yang disertai reaksi sebagai berikut.



Kemudian tahap sintesis, filtrat direaksikan dengan  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  sehingga terbentuk

endapan berwarna biru. Pada tahap sintesis terjadi reaksi sebagai berikut (Wahyuni, 2021).



Berdasarkan percobaan yang dilakukan sebanyak empat kali, kemudian dilakukan perhitungan konversi dan rendemen bubuk pigmen yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Data Hasil Percobaan Pembuatan Serbuk *Prussian Blue*

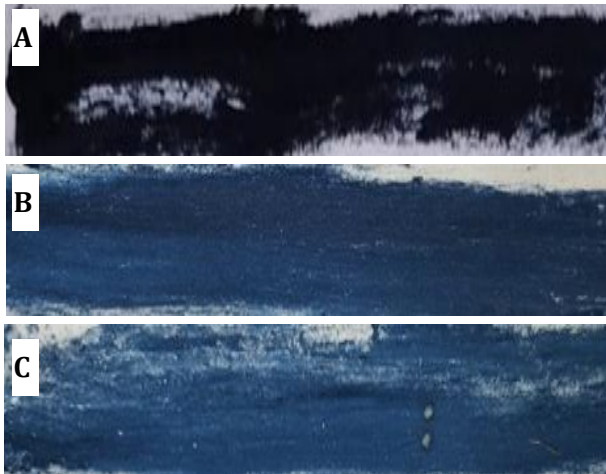
Percobaan	Konversi	Rendemen (gram pb/ gram besi)
1	79,63%	1,230
2	80,36%	1,142
3	83,63%	1,305
4	82,40%	1,807

Dari tabel tersebut didapatkan konversi rata-rata sabut besi menjadi pigmen sebesar 81,505% (deviasi 1,592%) dan rendemen rata-rata sebesar 1,371 *prussian blue*/gram sabut besi. dengan standar deviasi 1,592% dan 0,258. Selanjutnya adalah tahap pengaplikasian pigmen dengan mendispersikan bubuk pigmen dan pelarut CMC 3% b/b. Pada proses pengaplikasian, pasta pigmen dan  $\text{TiO}_2$  komposisinya divariasikan seperti yang tersaji pada **Tabel 2**. Adapun warna campuran pasta pigmen dan  $\text{TiO}_2$  dihasilkan akan dibandingkan yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.

**Tabel 2.** Variasi Massa  $\text{TiO}_2$  Pada Pengaplikasian Pigmen *Prussian Blue*

Variasi	Variasi Massa (gram)		
	<i>Prussian Blue</i>	CMC	$\text{TiO}_2$
A	0,5	3	0
B	0,5	3	0,25
C	0,5	3	1

Berdasarkan pada **Gambar 1**, pigmen yang didispersikan pada pelarut CMC menghasilkan warna biru pekat mendekati hitam. Warna biru yang dihasilkan semakin terang ketika ditambahkan dengan  $\text{TiO}_2$ . Hal ini disebabkan karena  $\text{TiO}_2$  berperan sebagai pigmen utama penyedia warna putih dan memiliki kemampuan untuk menutup permukaan (Lusiana & Cahyanto, 2014). Hal itulah yang menyebabkan semakin banyak  $\text{TiO}_2$  yang ditambahkan akan menghasilkan warna biru yang semakin terang.



**Gambar 1.** Perbandingan Warna *Prussian Blue* dengan Komposisi Pigmen B 0,5 gram + solven 3 gram (atas) Tanpa  $\text{TiO}_2$ , (tengah)  $\text{TiO}_2$  0,25 gram, dan (bawah)  $\text{TiO}_2$  1 gram.

## KESIMPULAN

Limbah *stainless steel* dari sabut besi dapat disintesis menjadi pigmen. Pigmen merupakan zat warna yang merupakan komponen utama dalam pembuatan cat dan memiliki fungsi sebagai pewarna. Dari uji coba sebanyak empat kali pengulangan, diperoleh rata-rata nilai konversi pigmen *prussian blue* yang dihasilkan sebesar 81,505%. Sedangkan rata-rata nilai rendemen pigmen *prussian blue* adalah 1,371 gram *prussian blue*/gram besi. Penambahan  $\text{TiO}_2$  mempengaruhi kecerahan (*brightness*) pada pigmen warna yang dihasilkan, yaitu semakin banyak  $\text{TiO}_2$  yang digunakan maka tingkat kecerahan pada pigmen warna akan semakin terang.

## REFERENSI

- Agustina, R., Nurhakim, N., & Mustofa, A. (2016). Karakteristik  $\alpha$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dalam Limbah Bijih Mangan. *Jurnal GEOSAPTA*, 2(1).
- Banurea, K. F. (2020). *Pemanfaatan Limbah Baja (Slag Baja) Sebagai Bahan Campuran Aspal Terhadap Karakteristik Marshall*. Universitas Medan Area.
- Hasanah, L. R. (2019). *Pengaruh Pemberian Filtrat Buah Murbei (Morus Alba L) Sebagai Pewarna Alternatif Terhadap Kualitas Preparat Gosok Tulang Femur*

- Kelinci (Oryctolagus cuniculus L)*. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Ilham, I., Ginting, S., Ritonga, S. H., & Aslam, I. N. (2022). Potensi Penerapan Urban Mining dari E-Waste Berbasis Ekonomi Sirkular dalam Pembangunan Berkelanjutan di Bukittinggi. *Jurnal Himasapta*, 7(1), 11-16.
- Khidin, F. (2019). *Sintesis nanopartikel maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dari limbah besi bubuk dengan variasi prekursor menggunakan metode sonikasi-kalsinasi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Kraft, A. (2018). What a chemistry student should know about the history of Prussian blue. *ChemTexts*, 4(4), 16.
- Lu, K., Zhu, X.-Y., Li, Y., & Gu, N. (2023). Progress in the preparation of Prussian blue-based nanomaterials for biomedical applications. *Journal of Materials Chemistry B*, 11(24), 5272-5300.
- Lusiana, U., & Cahyanto, H. A. (2014). Penggunaan kaolin Kalimantan Barat sebagai pigmen extender dalam pembuatan cat tembok emulsi. *Biopropal Industri*, 5(2), 45-51.
- Mindasari, E. (2022). *Uji Kandungan Logam Berat Besi (Fe) Pada Air Irigasi, Tanah Dan Sayuran Kangkung Di Kawasan Industri Kecamatan Margaasih Kabupaten Bandung*. FKIP UNPAS.
- Said, N. I. (2010). Metoda penghilangan logam berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni dan Zn) di dalam air limbah industri. *Jurnal Air Indonesia*, 6(2).
- Sitorus, R. S. (2017). *Kajian Peningka T An Produksi Besi Dengan Teknologi Mini Blast Furnace Untuk Efisiensi Energi Bagi Penambang Kecil Dan Menengah*. *Jurnal Energi dan Lingkungan (Enerlink)*, 13(1).
- Wahyuni, M. (2021). *Sintesis Zat Warna Prussian Blue ( $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ ) Berbahan Pasir Besi Alam*. Universitas Negeri Padang.
- Wanta, K. C., Putra, F. D., Susanti, R. F., Gemilar, G. P., Astuti, W., Virdhian, S., & Petrus, H. T. B. M. (2019). Pengaruh derajat keasaman (pH) dalam proses presipitasi hidroksida selektif ion logam dari larutan ekstrak spent catalyst. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(2), 94-105.
- Yohanes, S. (2020). *Pengaruh Harga Komoditas Minyak Mentah, Nilai Tukar, Investasi, Dan Risiko Bisnis Terhadap Nilai Perusahaan Pada Industri Manufaktur*

*Subsektor Logam Dasar Dan Sejenisnya  
Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia  
Tahun 2014–2018. Universitas Atma  
Jaya Yogyakarta.*