

KAJIAN MINIMISASI LIMBAH CAIR PADA KEGIATAN ELEKTROPLATING (STUDI KASUS INDUSTRI KECIL X DAN Y DI YOGYAKARTA)

FADHILAH PRABARANI

15513217

ABSTRACT

The large amount of clean water quantity and the use of hazardous chemicals become the main problems in electroplating industry. The unavailability of electroplating wastewater treatment for small scale industries is a challenge to offer some alternatives that can be done as efforts to minimize waste. The aims of this research are to identify the electroplating process that produce waste, identify input and output to determine the mass, water, and energy balance, also to analyze the probability of clean production through waste minimization alternatives based on hierarchy of waste management obtained by literature method. The result is electroplating processes that produce waste are the rinsing of acid wash process, rinsing of nickel coating process, and rinsing of color coating. Meanwhile, the measure flow from industry X is 0,531 m³/day with an average production is 132 metals per day. While the measure flow for industry Y is 0,325 m³/day with an average production is 50 metals per day. The offered wastewater minimization alternatives are providing a tub or storage to store the dragout, nickel deposition using lime to reduce nickel concentration, and reuse of electrolyte solutions. This research can be used as reference for management of electroplating waste.

Keywords: Electroplating, Mass balance, Small scale industry, Wastewater minimization

ABSTRAK

Kuantitas air bersih yang tidak sedikit dan penggunaan bahan-bahan kimia yang berbahaya menjadi titik permasalahan bagi industri elektroplating. Belum adanya pengolahan air limbah elektroplating pada industri skala kecil menjadi tantangan untuk menawarkan alternatif-alternatif yang dapat dilakukan sebagai upaya minimisasi limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tahapan elektroplating yang menghasilkan limbah, mengidentifikasi *input* dan *output* untuk menentukan neraca massa, air, dan energi, serta menganalisa probabilitas penerapan produksi bersih melalui alternatif minimisasi limbah berdasarkan hirarki manajemen limbah dengan menggunakan metode studi literatur. Hasilnya diperoleh, tahapan elektroplating yang menghasilkan buangan limbah cair adalah pembilasan pencucian asam, pembilasan

pelapisan nikel, dan pembilasan pewarnaan. Sementara debit terukur untuk industri X sebesar 0,531 m³/hari dengan rata-rata produksi 132 logam setiap harinya. Sedangkan untuk industri Y diperoleh 0,325 m³/hari dengan rata-rata produksi 50 logam. Alternatif minimisasi yang ditawarkan diantaranya, menyediakan bak atau wadah untuk menampung tetesan air logam, mengendapkan nikel dengan kapur untuk menurunkan nilai konsentrasi nikel, dan menggunakan kembali larutan elektrolit perak. Penelitian ini mampu menjadi referensi untuk manajemen pengelolaan limbah industri elektroplating.

Kata kunci: Elektroplating, Industri skala kecil, Minimisasi air limbah, Neraca massa

1. PENDAHULUAN

Kecamatan Banguntapan merupakan salah satu daerah di Yogyakarta yang dikenal sebagai sentra industri kerajinan logam. Kegiatan yang dilakukan industri logam diantaranya adalah pekerjaan pelapisan, imitasi, penyedia aksesoris pernikahan, pajangan, dan lain-lain. Pekerjaan pelapisan atau biasa disebut dengan elektroplating termasuk yang masih sangat banyak ditemukan dilihat dari manfaat kegiatan elektroplating itu sendiri. Beberapa unsur logam yang digunakan dalam industri elektroplating diantaranya adalah krom, nikel, mangan, dan tembaga (Soemantojo & Wulan, 2012). Selain unsur-unsur tersebut, kegiatan elektroplating juga menggunakan larutan-larutan kimia untuk mendukung kegiatan pelapisan logam. Unsur-unsur dan larutan-larutan kimia yang digunakan tentu akan terdapat pada limbah yang dikeluarkan dari industri elektroplating dan memberikan dampak yang berbahaya bagi lingkungan baik berupa pencemaran air, tanah, maupun udara. Mengingat penting dan besarnya dampak yang ditimbulkan bagi lingkungan maka perlu dilakukan penanganan untuk mereduksi atau meminimisasi hasil samping dari kegiatan elektroplating, salah satunya adalah dengan menerapkan konsep produksi bersih. Dengan menerapkan konsep produksi bersih pada kegiatan industri, diharapkan mampu memberikan keuntungan baik berupa peningkatan efisiensi bahan dan air, pencegahan terjadinya timbulnya limbah, dan keuntungan lainnya.

Beberapa penelitian yang membahas mengenai peluang produksi bersih pada kegiatan elektroplating sudah ditemukan, namun belum ada yang melakukan pengukuran debit serta analisa dengan menggunakan neraca massa, neraca air, dan neraca energi untuk mengetahui besaran *input* dan *output* yang dihasilkan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mengidentifikasi proses kerja elektroplating yang menghasilkan limbah
- b. Mengidentifikasi *input* yang digunakan dan *output* yang dihasilkan dari tiap tahapan elektroplating

- c. Menganalisa neraca massa, neraca air, dan neraca energi serta *layout* produksi kegiatan elektroplating
- d. Menganalisis opsi penerapan produksi bersih pada industri elektroplating melalui alternatif-alternatif minimisasi limbah yang ditawarkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Teknik Pengumpulan Data

Data yang diperlukan berupa data primer dan data sekunder yang diperoleh dari lokasi penelitian. Pengumpulan data primer dilakukan melalui observasi lapangan dan pengukuran langsung di lapangan. Sedangkan pengumpulan data sekunder dilakukan melalui wawancara langsung dengan narasumber. Pengumpulan data dilakukan berdasarkan kurang lebih empat kali pengamatan.

2.2 Analisa Data

Analisa data meliputi perhitungan debit dan kuantitas bahan baku dan air bersih yang digunakan, studi literatur, dan skoring *compatibility* untuk menentukan prioritas opsi minimisasi limbah. Studi literatur dilakukan dengan mencari sumber tertulis baik berupa buku, jurnal, artikel, ataupun dokumen-dokumen yang relevan dengan elektroplating. Beberapa sumber tersebut akan dijadikan referensi ataupun rujukan untuk pembahasan masalah mengenai peluang minimisasi limbah cair industri elektroplating.

Penentuan prioritas opsi minimisasi limbah dilakukan dengan menggunakan metode skoring *compatibility*. Kriteria skoring tersebut dibagi menjadi tiga opsi yaitu:

*) Alternatif yang ditawarkan membutuhkan biaya yang besar dan teknologi masih belum siap untuk digunakan berdasarkan kondisi lapangan. Biaya dianggap besar dengan rentang Rp5.000.000,- sampai Rp10.000.000 dan atau lebih.

***) Alternatif yang ditawarkan dapat diterapkan dengan biaya yang terjangkau namun masih banyak kerugian dibandingkan dengan keuntungan. Biaya yang terjangkau adalah di bawah Rp.5.000.000,-.

****) Alternatif yang ditawarkan dapat diterapkan dengan biaya yang terjangkau serta keuntungan yang banyak. Biaya yang terjangkau adalah di bawah Rp.5.000.000,-.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum Industri

Industri yang dijadikan sebagai lokasi penelitian adalah industri X dan Y yang terletak di Dusun Bodon, Jagalan, Banguntapan, Bantul Yogyakarta. Tabel 4.1 menunjukkan perbandingan antara kedua industri tersebut.

Tabel 3. 1 Perbandingan Industri X dan Y

No	Kategori	Industri X	Industri Y
1	Tahun Berdiri	1996 / 2010	2017
2	Jam Operasi	08.00 - 16.00	08.00 - 17.00
3	Jenis Warna	Emas, perak, <i>rosegold</i>	Perak
4	Jumlah Pekerja	4 orang	2 orang

3.2 Gambaran Umum Proses Produksi

Tahapan-tahapan elektroplating terdiri dari pencucian dengan asam, pembilasan, pelapisan dengan nikel, dan pelapisan warna baik warna emas, perak, dan *rosegold*. Jenis pesanan yang biasa diterima kedua industri biasanya berupa aksesoris, seperti mahkota, siger, dan lain-lain.

a. Pencucian Dengan Asam

Pencucian dengan asam menggunakan bahan-bahan H_2SO_4 , NH_4 , HCl , dan air. Pencucian dengan asam bertujuan untuk membersihkan logam yang akan disepuh dari kotoran, karat, dan lain-lain.

b. Pembilasan

Logam hasil pencucian asam biasanya sudah terlihat lebih berkilau karena kotoran yang menempel pada logam tersebut sudah hilang. Pembilasan pencucian dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan cairan-cairan asam yang menempel pada logam yang akan disepuh. Pembilasan pencucian biasa dilakukan kurang lebih 5 kali agar zat asam yang menempel pada logam sudah luruh dengan sempurna.

c. Pelapisan Nikel

Tahap pernekel adalah melapisi logam yang akan disepuh dengan nikel. Tujuan dilakukan pernekel adalah untuk meningkatkan sifat tahan karat dan memberikan efek kilau. Bahan-bahan yang digunakan pada tahap pernekel adalah $NiSO_4$, $NiCl_2$, $NiBr_2$, dan air. Kegiatan pernekel dilakukan pada drum berkapasitas 85liter dan durasi pengerjaan pernekel adalah 1 jam.

d. Pembilasan

Pembilasan pernekel dilakukan untuk meluruhkan cairan-cairan yang menempel pada logam. Pembilasan biasa dilakukan tiga kali untuk memastikan logam sudah benar-benar terbebas dari bahan-bahan kimia.

e. Pewarnaan

Proses pelapisan warna yang dilakukan di industri X dan Y berbeda. Pada industri X melakukan pelapisan warna dengan 3 jenis warna yaitu warna emas, perak, dan *rosegold*. Sedangkan pada industri Y hanya melakukan pelapisan warna dengan warna perak saja.

(i) Pelapisan Warna Perak

Pelapisan warna perak dilakukan dengan menggunakan bahan cairan perak murni, 5 keping potassium, dan air. Daya tahan warna perak pada logam kurang lebih 3 bulan. Setelah pelapisan warna dirasa sudah cukup merata dan sesuai dengan yang diinginkan, dilakukan pembilasan sebanyak dua sampai 4 kali. Pembilasan perak dilakukan untuk menghilangkan bahan-bahan kimia yang menempel pada logam.

(ii) Pelapisan Warna Emas

Pelapisan warna emas dilakukan dengan menggunakan logam emas murni, perak murni, dan larutan HCl. Terlebih dahulu dilapisi dengan warna perak agar warna emas lebih keluar. Daya tahan warna emas pada logam kurang lebih 3 bulan. Setelah pelapisan warna dirasa sudah cukup merata dan sesuai dengan yang diinginkan, dilakukan pembilasan sebanyak 4 kali. Pembilasan emas dilakukan untuk menghilangkan bahan-bahan kimia yang menempel pada logam.

(iii) Pelapisan Warna *Rosegold*

Pelapisan warna *rosegold* dilakukan dengan menggunakan H_2CrO_4 dan H_2SO_4 . Selain menggunakan bahan-bahan tersebut terdapat juga larutan pelapis yang digunakan untuk meningkatkan daya tahan dan keawetan warna *rosegold*, biasa disebut dengan *coating material*. Pelapisan warna krom menggunakan drum berkapasitas 85 liter. Daya tahan warna *rosegold* lebih lama dibanding warna emas dan perak. Gambar 4.15 Setelah pelapisan warna dirasa sudah cukup merata dan sesuai dengan yang diinginkan, dilakukan pembilasan sebanyak 4 sampai 5 kali. Pembilasan *rosegold* dilakukan untuk menghilangkan bahan-bahan kimia yang menempel pada logam.

f. Pengeringan

Kedua industri menggunakan metode yang berbeda dalam melakukan tahap pengeringan. Industri X melakukan di bawah langsung sinar matahari sedangkan industri Y membuat inkubator yang bisa diletakkan di dalam rumah. Inkubator tersebut berukuran 50cm x 30cm dengan menggunakan lampu 80 watt.

3.3 Analisis Neraca Massa

Analisis neraca massa dilakukan pada keseluruhan tahap produksi selama empat kali pengamatan dalam waktu empat hari. Neraca massa berisi bahan-bahan yang digunakan pada satu kali proses elektroplating. Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh rata-rata produksi elektroplating industri X sebanyak 132 buah dengan berat 13,3 kg dan pada industri Y diperoleh 50 buah dengan berat 3,76 kg.

Pada industri X diperoleh jumlah bahan baku yang digunakan untuk satu kali proses elektroplating adalah 49,55 liter dengan output yang dihasilkan berupa 132 logam yang sudah disepuh, 0,38 liter berupa tumpahan, 0,42 liter berupa larutan yang masuk ke tahap selanjutnya, dan 45,75 merupakan air dan bahan tersimpan. Pada industri Y diperoleh jumlah bahan baku yang digunakan untuk satu kali proses elektroplating adalah 21,995 liter dengan output yang dihasilkan berupa 50 logam yang sudah disepuh, 0,109 liter tumpahan, 0,217 liter yang masuk ke tahap selanjutnya, dan 21,7 liter merupakan air dan bahan yang terseimpan.

3.4 Analisis Neraca Air

Analisis neraca air dilakukan pada keseluruhan tahap produksi selama empat kali pengamatan dalam waktu empat hari. Neraca air berisi kuantitas air yang digunakan pada satu kali proses elektroplating. Pada industri X diperoleh jumlah air yang digunakan untuk satu kali proses elektroplating adalah 592,97 liter dengan output yang dihasilkan berupa 132 logam yang sudah disepuh, 20,68 liter berupa tumpahan, 6,79 liter berupa larutan yang masuk ke tahap selanjutnya, 531,87 liter terbuang dan 33,64 merupakan air tersimpan. Pada industri Y diperoleh jumlah bahan baku yang digunakan untuk satu kali proses elektroplating adalah 358,34 liter dengan output yang dihasilkan berupa 50 logam yang sudah disepuh, 10,77 liter tumpahan, 4,29 liter yang masuk ke tahap selanjutnya, 322,68 liter yang terbuang, dan 20,6 liter merupakan air yang terseimpan.

3.5 Analisis Neraca Energi

Neraca energi adalah persamaan matematis yang menggambarkan hubungan antara energi yang masuk dan energi yang keluar suatu sistem berdasarkan satuan waktu operasi. Pada industri X dan Y menggunakan dua macam energi yaitu gas LPG dan juga energi listrik. Pada industri X menggunakan dua macam energi yaitu gas LPG dan juga energi listrik. Jumlah LPG yang digunakan sebanyak 4 buah gas LPG 3kg setiap harinya dan listrik dengan daya 750 watt atau 0,75kWper 8 jam. Pada industri Y menggunakan 2 buah gas LPG 3kg untuk 3 hari dan listrik dengan daya 530 watt atau 0,53kWper 9 jam.

3.6 Identifikasi Masalah

Permasalahan tersebut dilihat dari aspek bahan baku, kuantitas air, limbah, dan juga tata laksana. Tabel 3.2 menunjukkan perbandingan permasalahan yang teridentifikasi pada industri X dan Y:

Tabel 3.2 Permasalahan Yang Teridentifikasi Pada Industri X dan Y

No	Aspek	Industri X	Industri Y
1	Bahan Baku	Tidak dilakukannya pengukuran bahan baku yang digunakan	Tidak dilakukannya pengukuran bahan baku yang digunakan
2	Kuantitas Air	Tidak adanya ketentuan dan pendataan mengenai kuantitas air bersih yang digunakan	Tidak adanya ketentuan dan pendataan mengenai kuantitas air bersih yang digunakan
2	Limbah	Belum adanya upaya pengolahan limbah cair hasil proses produksi	Belum adanya upaya pengolahan limbah cair hasil proses produksi
3	Tata Laksana	Tidak adanya pendataan jumlah logam yang disepuh setiap harinya	Sudah ada pendataan jumlah logam yang disepuh setiap harinya namun belum rutin
		Tidak adanya upaya meminimisasi air yang digunakan	Tidak adanya upaya meminimisasi air yang digunakan
		Pekerja mengabaikan tata cara bekerja yang hati-hati sehingga mengakibatkan banyak ceceran air	Pekerja mengabaikan tata cara bekerja yang hati-hati sehingga mengakibatkan banyak ceceran air
		Pekerja mengabaikan penggunaan APD	Pekerja sudah paham akan APD sepatu dan sarung tangan namun masih menggunakan kaos pendek dan celana pendek dalam melakukan pekerjaan

Berdasarkan rincian dari tabel di atas, permasalahan yang terjadi di kedua industri tidak boleh diabaikan. Perlu adanya upaya atau alternatif-alternatif yang ditawarkan untuk mencegah terjadinya dampak akibat permasalahan-permasalahan yang ada.

3.7 Alternatif Minimisasi Yang Direkomendasikan

Berdasarkan rincian alternatif-alternatif minimisasi limbah yang ditawarkan, diperoleh beberapa alternatif yang dirasa mampu diterapkan dengan biaya yang terjangkau dan beberapa keuntungan. Alternatif minimisasi limbah yang direkomendasikan berdasarkan tahapan elektroplating adalah:

a. Pencucian Asam

- Membiarkan air asam pada logam menetes (Babu, Bhanu, & Meera, 2009)

Dengan membiarkan air yang terbawa pada logam menetes dan ditampung pada suatu bak atau wadah, kuantitas air yang digunakan pada tahapan selanjutnya (pembilasan) dapat berkurang. Selain itu, tingkat kontaminan bahan-bahan kimia pada tahapan selanjutnya juga dapat menurun. Alternatif ini juga tidak memerlukan biaya yang tinggi.

- Mengganti larutan asam dengan buah lerak (Fatmawati, 2013)

Dengan menggunakan buah lerak, pH yang dihasilkan berkisar antara 6 – 7 yang mana jauh lebih aman bila dibuang ke lingkungan. Selain itu harga buah lerak jauh lebih terjangkau dibandingkan dengan harga larutan asam.

Tabel 3.3 Perbandingan Sebelum dan Sesudah Penerapan Minimisasi Limbah Pada Pencucian Asam

No	Kegiatan	Minimisasi Limbah	Parameter	Sebelum Penerapan Minimisasi Limbah	Sesudah Penerapan Minimisasi Limbah
1	Pencucian Asam	Mengganti asam untuk mencuci dengan lerak	pH	1	6-7
		Menampung tetesan asam	Kuantitas Bahan Pencuci	Bahan pencuci rata-rata 1,5 liter per hari	Bahan pencuci rata-rata 1,42 liter per hari

b. Pelapisan Nikel

- Mengendapkan dengan kapur pada pH 12 atau dengan ferrosulfat pH10 (Said, 2010)
Dengan melakukan pengendapan menggunakan kapur, konsentrasi nikel mampu berkurang hingga 0,01 mg/L. Hal tersebut sangat menguntungkan agar lumpur yang dihasilkan tidak mengandung konsentrasi tinggi dan mampu dimanfaatkan kembali.

Tabel 3.4 Perbandingan Sebelum dan Sesudah Penerapan Minimisasi Limbah Pada Pelapisan Nikel

No	Kegiatan	Minimisasi Limbah	Parameter	Sebelum Penerapan Minimisasi Limbah	Sesudah Penerapan Minimisasi Limbah
1	Pelapisan Nikel	Mengendapkan dengan kapur pada pH 12 atau dengan ferrosulfat pH10.	Konsentrasi Nikel	52 mg/L	0.01 g/L

c. Pelapisan Perak

- Tetesan larutan elektrolit (*drag out*) ditampung pada bak penampung untuk kemudian digunakan kembali (Hastuti & Indriastuti, 2008)
Sama halnya dengan proses pencucian asam, tetesan larutan elektrolit yang terbawa pada logam dibiarkan menetes terlebih dahulu dan tetesan tersebut ditampung pada suatu wadah. Selain mengurangi tingkat kontaminan larutan elektrolit pada tahap pembilasan, alternatif ini menawarkan upaya penghematan larutan elektrolit agar tidak tercecer dan dapat digunakan kembali.

- Menambahkan larutan NaOH dan PAC atau allum agar terbentuk sludge dan menambahkan HNO₃ agar larutan dapat digunakan kembali (Istiyono & Aprian, 2008) Dengan melakukan pengendapan menggunakan larutan NaOH dan PAC, sludge yang dihasilkan mampu dimanfaatkan sebagai campuran bahan pembuatan batu bata dan keramik.

Berikut merupakan perbandingan beberapa parameter sebelum dan sesudah penerapan minimisasi limbah:

Tabel 3.5 Perbandingan Sebelum dan Sesudah Penerapan Minimisasi Limbah Pada Pelapisan Perak

No	Kegiatan	Minimisasi Limbah	Parameter	Sebelum Penerapan Minimisasi Limbah	Sesudah Penerapan Minimisasi Limbah
1	Pelapisan Perak	Menampung tetesan asam	Kuantitas Bahan Pencuci	Bahan pelapis perak rata-rata 0,4 liter per hari	Bahan pencuci rata-rata 0.38 liter per hari
		Mengendapkan dengan NOH dan HNO ₃ sehingga terbentuk larutan AgNO ₃ yang dapat digunakan lagi untuk proses elektroplating	Air Limbah	Limbah langsung dibuang	Diolah menjadi larutan elektrolit yang dapat digunakan kembali

4 KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis pada industri X dan Y, diperoleh simpulan sebagai berikut:

- Tahapan elektroplating yang menghasilkan limbah cair adalah tahapan pembilasan pencucian asam, pembilasan pelapisan nikel, dan pembilasan pelapisan pewarnaan.
- Debit air limbah terukur yang dihasilkan sebanyak 0,531 m³/hari dengan rata-rata produksi 132 logam setiap hari dan diperoleh 0,325 m³/hari dengan rata-rata produksi 50 logam setiap hari.
- Analisis neraca dibagi menjadi tiga macam yaitu neraca massa, neraca air, dan neraca energi. Neraca massa pada industri X menghasilkan nilai input sama dengan output yaitu 49.55 ; neraca air diperoleh nilai input juga sama dengan output yaitu 592,97. Reaksi energi diperoleh nilai karbon sebanyak 0.132 ton dan energi panas sebanyak 9102.12 megajoule. Sedangkan neraca massa pada industri Y menghasilkan nilai input

sama dengan output yaitu 21,955 ; neraca air diperoleh nilai input juga sama dengan output yaitu 359,48. Reaksi energi diperoleh nilai karbon sebanyak 0.022 ton dan energi panas sebanyak 1517,02 megajoule.

- d. Alternatif minimisasi limbah yang ditawarkan adalah:
- Mengganti larutan asam dengan buah lerak
 - Menyediakan bak atau wadah untuk menampung tetesan air logam dari keseluruhan tahapan untuk mengurangi kuantitas air dan menurunkan tingkat kontaminan bahan-bahan kimia pada tahap selanjutnya
 - Mengendapkan nikel dengan kapur untuk menurunkan nilai konsentrasi dari nikel
 - Menggunakan kembali larutan elektrolit perak dengan cara menambahkan larutan NaOH dan PAC atau allum agar terbentuk sludge dan menambahkan HNO₃ agar larutan dapat digunakan kembali

5 DAFTAR PUSTAKA

- Babu, B. R., Bhanu, S. U., & Meera, K. S. (2009). Waste minimization in electroplating industries: A review. *Journal of Environmental Science and Health - Part C Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews*, 27(3), 155–177. <https://doi.org/10.1080/10590500903124158>
- Fatmawati, I. (2013). Efektivitas Buah Lerak (*Sapindus rarak de candole*) sebagai Bahan Pembersih Logam Perak, Perunggu, dan Besi. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur*, 8(2), 24–31. Retrieved from [http://konservasiborobudur.org/wp-content/uploads/2015/01/Efektivitas Buah Lerak sebagai Pembersih Logam.pdf](http://konservasiborobudur.org/wp-content/uploads/2015/01/Efektivitas%20Buah%20Lerak%20sebagai%20Pembersih%20Logam.pdf)
- Hastuti, K., & Indriastuti, S. (2008). *Penerapan Produksi Bersih Pada Industri Elektroplating Perak*.
- Istiyono, E., & Aprian, Y. (2008). *Pengelolaan Limbah Industri Elektroplating di Lingkungan Pengrajin Perak Kecamatan Kotagede*.
- Said, N. I. (2010). *METODA PENGHILANGAN LOGAM BERAT (As , Cd , Cr , Ag , Cu , Pb , Ni dan Zn) DI DALAM AIR LIMBAH INDUSTRI*. 6(2), 136–148.
- Soemantojo, R. W., & Wulan, P. P. D. K. (2012). *Presipitasi Bertahap Logam Berat Limbah Cair Industri Pelapisan Logam Menggunakan Larutan Kaustik Soda*. 7863516, 1–7.