

Menghitung Banyaknya Jumlah H_2SO_4 Untuk Satu Kali Proses Regenerasi *Kation Exchange* di *Water Treatment Plant*

RISKA MIRANDA GULTOM

Institut Teknologi Nasional Bandung

Email: riskamirandagultom@gmail.com

Received | Revised | Accepted DD MM YYYY

ABSTRAK

Demin plant adalah salah satu unit di suatu water treatment plant yang bekerja untuk mendapatkan demineralized water. Demineralized water (demin water) adalah air yang terbebas dari kandungan mineral berupa garam-garam. Garam-garam yang terlarut dalam air berikatan dalam bentuk ion positif (kation) dan negatif (anion). Ion-ion tersebut dihilangkan dengan cara pertukaran ion di alat penukar ion (ion exchanger) yang terdiri dari cation exchanger, dan anion exchanger, dimana masing-masing exchanger berisi resin penukar ion. Resin penukar ion memiliki keterbatasan kemampuan daya penukar ion, maka setelah sekian lama memproses, resin akan mengalami kejenuhan dan harus diregenerasi. Optimasi dilakukan agar proses regenerasi resin anion semakin efisien. Proses regenerasi kation exchanger dilakukan untuk mengikat ion positif yang terdapat pada resin. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar penggunaan H_2SO_4 dalam satu kali proses regenerasi kation exchange, apakah sesuai dengan keadaan actual atau tidak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setidaknya dalam satu kali proses regenerasi kation exchanger dibutuhkan H_2SO_4 sebesar 356,098 kg. Hasil penelitian juga mengungkapkan bahwa penggunaan H_2SO_4 pada keadaan actual tidak sesuai dengan perhitungan dan menyebabkan regenerasi secara actual tidak dilakukan secara optimum.

Kata kunci: demin plant; regenerasi; resin

ABSTRACT

Demin plant is one of the units in a water treatment plant that works to get demineralized water. Demineralized water is water that is free from mineral content in the form of salts. Salts dissolved in water bind in the form of positive ions (cations) and negatives (anions). The ions are removed by exchanging ions in an ion exchanger consisting of a cation exchanger, and anion exchanger, each of which contains an ion exchanger resin. Ion exchange resin has limited ion exchange capabilities, so after a long processing, the resin will experience saturation and must be regenerated. Optimization is done so that the process of regeneration of anion resin is more efficient. The process of regeneration of the exchanger cation is carried out to bind to the positive ions contained in the resin. The purpose of this study is to find out how much use of H_2SO_4 in one process of regeneration of cation exchange, whether in accordance with actual circumstances or not. The results showed that at least once the process of regeneration of cation exchanger required H_2SO_4 amounting to 356,098 kg. The results also revealed that the use of H_2SO_4 in actual circumstances did not match the calculation and caused actual regeneration not to be performed optimally.

Keywords: demin plant; regeneration; resin

1. PENDAHULUAN

Demin plant adalah salah satu unit di *water treatment plant* yang bekerja untuk mendapatkan demineralized water. *Demineralized water* (demin water) adalah air yang tidak terkandung mineral berupa garam-garam. Mineral-mineral pengotor dapat menyebabkan kerusakan dan korosi pada jalur pipa dan peralatan proses karena menimbulkan endapan dan kerak. Air yang dipakai untuk air proses atau untuk kebutuhan boiler tidak cukup hanya memanfaatkan air bersih saja. Di dalam Raw water bisa saja terdapat *suspended solid* (impurities tidak larut) dan *dissolved solid* (impurities terlarut). *Suspended solid* bisa dihilangkan dengan proses klarifikasi (penjernihan) dengan menggunakan clarifier. *Dissolved solid* bisa dihilangkan melalui proses demineralisasi (penghilangan mineral-mineral dalam air).

Air bersih perlu diproses secara berkala agar menghilangkan garam yang terlarut sebagai kandungan mineral.

Mineral-mineral yang terkandung pada air berkumpul menjadi satu dengan dua bentuk yang berbeda yakni ion positif (kation) serta negatif (anion). Untuk menghilangkan partikel-partikel yang ada dalam kandungan mineral dilakukan suatu aktivitas penukaran ion dengan bantuan penukar ion (ion exchanger) terdiri dari cation exchanger, dan anion exchanger, yang mana di dalam setiap exchanger terdapat resin penukar ion. Pertukaran ion merupakan proses fisika-kimia. Resin pada dasarnya akan memperoleh jumlah ion positif atau negatif yang berasal dari cairan A dan kemudian mengeluarkan ion lain ke dalam cairan itu dengan total yang sepadan. Jika ion yang ditukar adalah kation, resin disebut resin penukar kation, dan jika ion yang ditukar adalah anion, resin disebut resin penukar anion. (Sutopo, 2019).

Demin water biasanya diperoleh dengan penggunaan *sand filter*, *cation exchanger* dan *anion exchanger*. Air memasuki sand filter untuk menghilangkan partikel padatan, selanjutnya menuju ke cation exchanger untuk menghilangkan kandungan mineral seperti Fe, Cu, Ca, Mg dan lain-lain. Kemudian air melalui anion *exchanger* untuk menghilangkan mineral anion seperti SiO_2 , HCO_3^{2-} , SO_4^{2-} dan lain-lain. Resin penukar ion memiliki batas kemampuan penukar ion, maka jika sering digunakan, resin akan mengalami kejenuhan dan harus diregenerasi.

Ditinjau dari sistem aliran yang digunakan, regenerasi dapat dilakukan dengan dua cara yakni paralel (*co-current*) dan berlawanan arah (*countercurrent*). Demin plant pada unit Utilitas Cold Rolling Mill menggunakan proses regenerasi dengan aliran berlawanan arah (counter current). Terdapat empat jenis resin yang dapat digunakan dalam proses pengolahan air yakni resin kation asam kuat, resin kation asam lemah, resin anion basa kuat, dan resin anion basa lemah. Resin penukar ion adalah hidrokarbon yang sangat terpolimerisasi yang mengandung gugus ion yang saling terkait dan dapat dipertukarkan. Ketika kontak dengan resin penukar ion, ion yang larut dalam air akan diserap oleh resin penukar ion dan resin akan melepaskan ion lain dalam jumlah yang setara. Penukar ion biasanya banyak berupa bahan organik, yang juga biasanya dibuat secara sintetik (Luthfi *et al.*, 2019).

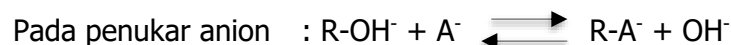
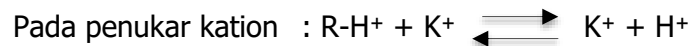
Suatu reaksi pertukaran ion hanya bisa berlangsung apabila bahan penukar bisa menyediakan hidrogen atau hidroksida untuk menggantikan kation dan anion dari air mentah. Apabila suatu resin kation dan anion tidak dapat lagi menukar, maka kation dan anion tersebut harus diregenerasi agar kondisinya kembali kepada keadaan awal. Penggantian resin sebaiknya dilaksanakan pada jangka waktu optimal empat tahun sekali. Tetapi apabila dikaji lebih spesifik, penggantian resin akan optimal jika digunakan hanya selama dua tahun atau dengan kata lain diganti setiap dua tahun sekali karena faktor lingkungan turut mempengaruhi (Arthapersada *et al.*, 2020).

Proses regenerasi kation exchanger dilakukan dengan H_2SO_4 . Proses itu dilakukan menggunakan resin kationik R-SO₃H (tipe Dowex Upcore Mono A-500) untuk menghilangkan unsur logam seperti kation. Proses ini dilakukan dengan membiarkan air melewati bagian

bawah, di mana logam akan diikat resin. Resin jenis R-SO₃H tergolong sebagai asam kuat, sehingga disebut resin penukar kation asam kuat. Proses ini menghasilkan asam, seperti HCl, H₂SO₄ dan asam lainnya sehingga memiliki nilai pH antara 2,8 - 3,5 (Jahulu, 2019).

Dengan menambahkan H₂SO₄ maka resin akan aktif kembali, dan mulai melakukan aktivitas regenerasi. Hal ini dikarenakan H₂SO₄ akan menghilangkan kandungan ion positif pada air. Oleh karena itu, perlu adanya optimalisasi pemakaian H₂SO₄ pada saat proses regenerasi kation exchanger untuk menghasilkan proses regenerasi yang baik sehingga didapatkan kondisi resin seperti semula.

Berikut adalah reaksi yang terjadi ketika terjadi kontak antara air dengan resin penukar ion:



Sumber: analisis kemampuan resin penukar ion pada sistem air bebas mineral (gca 01) rsg-gas (diyah erlina lestari dan setyo budi utomo , 2012)

di mana

R : resin penukar ion

H⁺ : kation dari resin penukar ion

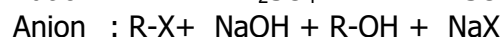
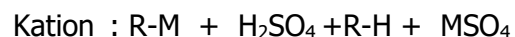
OH⁻ : anion dari resin penukar ion

K⁺ : kation dari larutan

A : anion dari larutan

Proses pertukaran ion dilakukan dalam 4 tahap, yakni tahap layanan, tahap pencucian balik, tahap regenerasi, dan tahap pembilasan. Apabila kondisi resin bisa setara dengan ion yang ditukar maka harus terjadi pengembalian ke posisi pertukaran semula dengan ion yang dihilangkan dalam tahap layanan.

Berikut merupakan reaksi pada saat proses regenerasi :



Dalam proses regenerasi, larutan regeneran diinjeksikan dari atas. Proses regenerasi diawali dengan backwash, slow rinse dan fast rinse. Backwash ialah proses dimana air bersih dialirkan ke arah berlawanan melalui tangki kation atau anion hingga air keluarannya bersih. Tahap pembilasan bertujuan menghilangkan sisa larutan regeneran yang terperangkap oleh resin. Pembilasan ini memakai air produk dengan aliran down flow dan dilakukan dalam dua tingkat. Slow rinse ialah proses dimana air dialirkan secara perlahan ketika penghapusan regeneran dalam resin dan *fast rinse* adalah kegiatan menyiram unit pada kecepatan yang lebih cepat untuk menghilangkan regeneran yang tersisa sebelum operasi. (Putra & Panggabean, 2020). Limbah pencucian aliran rendah dicampur dengan air garam dan dibuang, dan limbah pencucian aliran tinggi disimpan dan digunakan sebagai pelarut campuran untuk didaur ulang (Setyo, 2009). Hasil yang didapat setidaknya mengindikasikan bahwa berkisar 20-50% dari penggunaan H₂SO₄, untuk melakukan pengefisienan regenerasi resin penukar kation. Sehingga penggunaan cairan regenerasi biasanya 2-5 kali lebih besar dari kebutuhan teoretik. Limbah air yang didapatkan selama proses regenerasi dimasukkan ke bak penampung (neutral basin) dan akan dinetralkan terlebih dahulu sebelum masuk ke sungai (Nugroho *et*

al., 2020). Indikasi keberhasilan regenerasi resin penukar ion ditunjukkan dengan batasan harga konduktivitas air keluaran kolom resin penukar anion $\leq 20 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Apabila harga konduktivitas air keluaran kolom resin penukar ion $\leq 20 \mu\text{S}/\text{cm}$ pembilasan terus dilanjutkan dan apabila harga konduktivitas tidak mengalami penurunan hal ini menunjukkan bahwa regenerasi resin penukar ion belum berhasil dan perlu dilakukan regenerasi ulang. Setelah regenerasi dianggap berhasil (harga konduktivitas air keluaran kolom resin penukar anion $\leq 20 \mu\text{S}/\text{cm}$) kemudian sistem dimatikan. Dan sistem siap untuk dioperasikan guna produksi air bebas mineral.

Tujuan dari adanya penelitian kali ini adalah untuk menghitung besaran atau jumlah H_2SO_4 untuk satu kali proses regenerasi *kation exchange* pada *water treatment plant*. Selain itu penelitian ini diadakan untuk melihat sejauh mana kesesuaian pemakaian H_2SO_4 untuk regenerasi kation exchanger pada keadaan aktual dengan perhitungan yang direncanakan.

2. METODOLOGI

Pada studi ini dilakukan optimasi penggunaan H_2SO_4 pada proses regenerasi kation exchanger di unit water treatment Pabrik Baja X. Pabrik tersebut menghasilkan air demin sebanyak $100 \text{ m}^3/\text{jam}$, sedangkan kebutuhan air demin untuk pabrik tersebut adalah sekitar $60\text{-}100 \text{ m}^3/\text{jam}$. Air demin digunakan sebagai air umpan boiler dan campuran oli sebagai pendingin pada alat tandom cold mill. Dalam sekali operasi, unit ini dapat menghasilkan 2800 m^3 air demin pada musim hujan dan 1500 m^3 pada musim kemarau. Pada musim hujan regenerasi dilakukan setelah resin beroperasi selama 28 jam, sedangkan pada musim kemarau regenerasi dilakukan setelah resin beroperasi 15 jam. Perbedaan durasi operasi ini disebabkan karena perbedaan kandungan ion dalam air baku di kedua musim tersebut. Kandungan silika yang diizinkan adalah 10 ppm sedangkan conductivity-nya adalah $20 \mu\text{S}$. Jika batas kandungan silika dan conductivity hampir tercapai maka resin penukar perlu diregenerasi. Selama ini, regenerasi di musim kemarau dilakukan menggunakan $800\text{-}900 \text{ kg } \text{H}_2\text{SO}_4$.

Data yang dibutuhkan untuk perhitungan yaitu data spesifikasi air baku, data desain untuk penukar ion tipe fixe-bed, dan data spesifikasi resin. Spesifikasi air baku berupa analisis kandungan anion disajikan pada Tabel 1. Kandungan karbon dioksida di dalam air baku adalah $22,7 \text{ ppm } \text{CaCO}_3$.

Tabel 1. Spesifikasi Air Baku

ITEMS	UNIT	VALUE
Temperature	Degree C	28-29
Colour	Hazen	10-15
Turbidity	PPM SiO_2	1 max
Conductivity	Micro-Siemens	210
PH	-	8.0-9.0
Total Hardness	PPM CaCO_3	145
Ca Hardness	PPM CaCO_3	80
Mg Hardness	PPM CaCO_3	45
P Alkalinity	PPM CaCO_3	18
M Alkalinity	PPM CaCO_3	44
Cl_2 Free	PPM Cl_2	Less than 0.1
Chlorides	PPM Cl	20
Iron Soluble	PPM Fe	15
Ammonia	PPM NH_4	Neg
T. Dissolved solid	PPM	400 max
ITEMS	UNIT	VALUE
Sulfates	PPM SO_4	250 max
Manganese	PPM Mn	5 Max
CO_2 Free	PPM CO_2	10 max
Organik essence	PPM KMnO_4	10
Silica	PPM SiO_2	40

Sumber: PT. Krakatau Steel

Perhitungan H_2SO_4 yang Dibutuhkan

Pada perhitungan H_2SO_4 yang dibutuhkan, langkah awal yang dilakukan yaitu menghitung volume resin dengan menggunakan persamaan:

Volume resin = (total kation yang dihilangkan x debit air x waktu operasi)/(kapasitas resin)

Volume resin menyatakan banyaknya resin yang digunakan dalam satu alat kation exchanger. Kapasitas resin didapatkan dari data spesifikasi resin yang disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Data Spesifikasi Resin

	Kation
Jenis resin	Lewatit MonoPlus S 100
Total capacity	2.0 eq/l ($\pm$ 41kgr/ft ³)
Operating capacity	0,75 eq/l ($\pm$ 37,3 kgr/m ³)
pH range 0-14	0-14
Operating temperatur	35° C
Regenerant	H_2SO_4

Sumber: PT. Krakatau Steel

Untuk kapasitas regeneran dapat ditentukan dengan mengacu pada Design Data For Fixed-Bed Ion Exchanger dibawah ini (Tabel, 16-19, Perry's Handbook, 7th ed, 1997).

Tabel 3. Design Data For Fixed- Bed Ion Exchanger**16-66 ADSORPTION AND ION EXCHANGE****TABLE 16-19 Design Data for Fixed-Bed Ion Exchanger***

Type of resin	Maximum and minimum flow, m/h [gal/(min-ft ²)]	Minimum bed depth, m (in)	Maximum operating temperatures, °C (°F)	Usable capacity, g-equivalent/L†	Regenerant, g/L resin‡
Weak acid cation	20 max. (8) 3 min. (1)	0.6 (24)	120 (248)	0.5–2.0	110% theoretical (HCl or H ₂ SO ₄)
Strong acid cation	30 max. (12) 3 min. (1)	0.6 (24)	120 (248)	0.8–1.5 0.5–1.0 0.7–1.4	80–250 NaCl 35–200 66° Bé. H ₂ SO ₄ 80–500 20° Bé. HCl
Weak and intermediate base anions	17 max. (7) 3 min. (1)	0.75 (30)	40 (104)	0.8–1.4	35–70 NaOH
Strong-base anions	17 max. (7) 3 min. (1)	0.75 (30)	50 (122)	0.35–0.7	70–140 NaOH
Mixed cation and strong-base anion (chemical-equivalent mixture)	40 max. (16)	1.2 (47)	50 (122)	0.2–0.35 (based on mixture)	Same as cation and anion individually

*These figures represent the usual ranges of design for water-treatment applications. For chemical-process applications, allowable flow rates are generally somewhat lower than the maximums shown, and bed depths are usually somewhat greater.

†To convert to capacity in terms of kilograins of CaCO₃ per cubic foot of resin, multiply by 21.8.

‡To convert to pounds of regenerant per cubic foot of resin, multiply by 0.0625.

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.

Sumber: Perry's Handbook, 7th ed, 1997

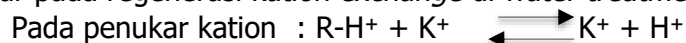
Pada tabel tersebut, untuk memperoleh nilai kapasitas regeneran, dilakukan pembacaan tipe resin yang sesuai dengan resin yang digunakan pada keadaan aktual.

2. HASIL & PEMBAHASAN

Telah dilakukan studi optimasi penggunaan H₂SO₄ untuk regenerasi resin pada kation exchanger yang menghasilkan data berdasar perhitungan yakni pada satu kali proses regenerasi kation exchanger adalah sebesar 356,098 kg. Sedangkan jika dibandingkan dengan di Industri, H₂SO₄ yang diinjeksikan sekitar 800-900 kg. Hal ini menunjukkan pemakaian H₂SO₄ untuk regenerasi kation exchanger pada keadaan actual tidak sesuai dengan perhitungan. Pada keadaan actual H₂SO₄ yang digunakan jauh lebih banyak ketika proses regenerasi. Penentuan banyaknya H₂SO₄ yang dilakukan secara perhitungan tidak berbanding lurus dengan pemakaian actual.

Resin yang digunakan adalah Lewatit MonoPlus S 100 yang merupakan jenis resin basa lemah sedangkan kapasitas regeneran, diperoleh dari Tabel 2 sebesar 2.0 eq/l (±41kg/ft³). Kebutuhan H₂SO₄ dengan kapasitas operasi 0,75 eq/l (± 37,3 kg/m³). Penggunaan H₂SO₄ pada proses regenerasi kation exchange secara actual yaitu sebesar 800-900 kg. Hal ini menunjukkan bahwa regenerasi secara actual tidak dilakukan secara optimum, atau tidak semua kation tergantikan.

Penggunaan asam kuat berstruktur anion basa kuat layaknya H₂SO₄, dalam pengefisienan regenerasi resin penukar kation berkisar sekitar 20-50%. Berikut merupakan reaksi yang terjadi setelah dilakukan observasi secara mendalam pada proses pertukaran antara air dengan resin penukar pada regenerasi *kation exchange* di *water treatment plant*.



Pemakaian larutan regenerasi biasanya 2-5 kali lebih besar dari kebutuhan teoretik sehingga dari hasil observasi yang dilakukan hal tersebut memang benar terjadi pada keadaan actual.

Jumlah kebutuhan larutan regenerasi mengalami peningkatan yang cukup drastis pada keadaan aktual. Hasil pada observasi juga menyatakan bahwa iklim turut mempengaruhi durasi pada proses regenerasi *kation exchange* pada *water treatment plant*.

Studi optimasi ini merupakan sebuah pertimbangan yang digunakan untuk mempertahankan kualitas dari resin. Semakin banyak asam yang dimasukkan, maka akan semakin sering resin kationnya terpapar asam sulfat. Jika resin kation terlalu sering tersentuh asam sulfat maka akan lebih mudah juga bagi resinnya untuk mengalami kerusakan. Hal ini diakibatkan dari adanya sifat korosif yang berasal dari asam sulfat.

3. KESIMPULAN

Demin plant adalah salah satu unit di *water treatment plant* yang bekerja untuk mendapatkan demineralized water. Air mineral merupakan air dalam bentuk garam yang tidak mengandung mineral. Garam yang terlarut dalam air mengikat sebagai kation dan anion. Ion dihilangkan melalui proses pertukaran ion dengan penukar ion (ion exchanger) yang terdiri dari cation exchanger, dan anion exchanger. Proses regenerasi *kation exchanger* dilakukan untuk mengikat ion positif yang terdapat pada resin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan H_2SO_4 dalam satu kali proses regenerasi *kation exchange*, setidaknya dibutuhkan H_2SO_4 sebesar 356,098 kg. Hasil penelitian juga mengungkapkan bahwa penggunaan H_2SO_4 pada keadaan actual tidak sesuai dengan perhitungan dan menyebabkan regenerasi secara aktual tidak dilakukan secara optimum. Sehingga penelitian yang dilakukan telah menjawab rumusan permasalahan yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

Rujukan Buku

- Anonim. (2008). Kumpulan Laporan Prakerin: PT Krakatau Steel.Cilegon.
Anonim. (2012). Tata Tertib,Buku Panduan Praktikan: PT Krakatau Steel.Cilegon.
Erga. (2011). Laporan Prakerin.Utility: PT Krakatau Steel.Cilegon.
Fernando. (2010) .Laporan Prakerin.Utility: PT Krakatau Steel.Cilegon.
Perry, R.H. and Green, D.W. (1999). Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7 th edition. McGraw Hill Book Company. Singapore.
Rhian S. (2009). Laporan Prakerin.Utility: PT Krakatau Steel.Cilegon.

Rujukan Jurnal

- Arthapersada, R. I., Adiputra, M. K., Hakim, I. P., Putro, I. K., Zainuddin, A. P., Marbelia, L., & Yuliansyah, A. T. (2020). Optimasi Biaya dalam Proses Pemurnian Metanol untuk Mengurangi Resin sebagai Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun di PT Kaltim Methanol Industri. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(2), 148. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.59553>
Dow Chemical. (2002). *Dowex Marathon:AnEngineering Information*. The Dow Chemical Company.Arthapersada, R. I., Adiputra, M. K., Hakim, I. P., Putro, I. K., Zainuddin, A. P., Marbelia, L., & Yuliansyah, A. T. (2020). Optimasi Biaya dalam Proses Pemurnian Metanol untuk Mengurangi Resin sebagai Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun di PT Kaltim Methanol Industri. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14 (2), 148. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.59553>
Diyah Erlina Lestari, Setyo Budi Utomo, H. (2012). Analisis Kemampuan Resin Penukar Ion. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Dan Aplikasi Reaktor Nuklir PRSG Tahun 2012*.

- http://digilib.batan.go.id/ppin/katalog/file/978-979-17109-7-8-2012-21_Diyah.pdf
- Jahulu, P. (2019). Analisa Pengaruh Kualitas Air Terhadap Efisiensi Ketel Uap Di PT Perkebunan Lembah Bhakti (PLB). *Skripsi*, 1–61.
- Luthfi, J. K., Fariati, & Yuliatun, S. (2019). *Dekolorisasi Dan Demineralisasi Nira Tebu Menggunakan Resin Penukar Ion (Amberlite Ir-120 Na Dan Amberlite Ira-96 Rf)*. November, 21–29.
- Nugroho, A., Boybul, Indaryati, S., Haryati, I., Kriswarini, R., & Noerpitasari, E. (2020). *Pemisahan cesium dalam pebatuan / al densitas pengendapan chloroplatinate dan kolom penukar kation resin dowex*. 189–202.
- Putra, M. K. M. D., & Panggabean, I. E. D. (2020). Perhitungan Konseptual Potensi Ree Dalam Mineral Lempung Melalui Perbandingan Kapasitas Tukar Kation, Kaolinite, Dan Halloysite. *Jurnal Geosains Terapan, February*. <https://www.researchgate.net/profile/Mochammad-Darma-Putra/publication/351021886>
- Rizqiyanti Rika. (2016). Laporan Prakerin.Cold Rolling Mill; PT Krakatau Steel.Cilegon.
- Sutopo, E. (2019). Proses Demineralisasi Air Tanah Menjadi Air TDS 0 ppm Menggunakan Metode Resin Penukar Ion Tunggal (Single Ionic Resin Exchange Method). Universitas Pamulang.
- Toha, Muhammad dan Noehasan. (1973). Sejarah Berdirinya PT KRAKATAU STEEL. Cilegon : Humas PT KRAKATAU STEEL.

Rujukan Wawancara

- Gultom, Miranda. (2019). "Spesifikasi Air Baku". Hasil Wawancara Pribadi: 15 September 2019. Institut Teknologi Nasional Bandung.