

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Industri Kecil dan Menengah (IKM)

4.1.1 Gambaran Umum Industri X

Industri X merupakan industri yang bergerak di bidang pelapisan logam dan terletak di daerah Banguntapan, Bantul, Yogyakarta. Industri X adalah jenis industri rumahan yang berdiri pada tahun 1996 yang sempat berhenti produksi akibat adanya gempa bumi dan kemudian bangkit lagi pada tahun 2010. Industri X menerima pesanan pelapisan aksesoris pernikahan seperti mahkota, tusuk konde, siger, dan lain-lain. Proses pelapisan logam yang dilakukan dengan tiga macam warna yaitu *rosegold*, *silver* (perak), dan *gold* (emas).

Industri X berdiri di atas lahan yang bersebelahan dengan kos-kosan dan dekat dengan rumah pemilik. Kegiatan pelapisan logam dilakukan setiap hari Senin hingga Sabtu dengan jumlah barang yang berbeda tergantung dengan pesanan yang diterima. Para pemesan mayoritas merupakan masyarakat sekitar dan pemasaran juga dilakukan di daerah Banguntapan. Saat ini, industri X beroperasi pukul 08.00 WIB hingga 16.00 WIB. Jumlah pekerja yang bekerja di industri X sebanyak 4 orang.

Proses pelapisan logam banyak menggunakan bahan-bahan kimia yang berbahaya namun para pekerja masih belum memiliki kesadaran untuk menggunakan APD (Alat Pelindung Diri). Mayoritas pekerja mengenakan kaos, celana pendek, dan sandal. Tata letak wadah-wadah yang digunakan sudah pada penempatan yang baik sehingga masih adanya ruang gerak yang leluasa bagi pekerja.

Limbah cair yang dihasilkan berasal dari proses pembilasan pencucian, pembilasan pernekel, dan pembilasan pelapisan warna. Limbah cair tersebut dibuang setiap harinya setelah selesai melakukan kegiatan. Industri X belum melakukan pengolahan pada limbah cair yang dihasilkan dan langsung membuangnya ke saluran pembuangan. Industri X juga tidak membuat peraturan secara khusus mengenai kebersihan lingkungan.

4.1.2 Gambaran Umum Industri Y

Industri Y merupakan industri yang bergerak di bidang pelapisan logam dan terletak di daerah Banguntapan, Bantul, Yogyakarta. Industri Y adalah jenis industri rumahan yang baru berdiri dua tahun, sejak 2017. Industri Y menerima pesanan pelapisan aksesoris pernikahan seperti mahkota, tusuk konde, jurai, siger, dan lain-lain. Proses pelapisan logam yang dilakukan hanya pelapisan warna *silver* (perak).

Kegiatan pelapisan logam dilakukan setiap hari Senin hingga Sabtu dengan jumlah barang yang berbeda tergantung dengan pesanan yang diterima. Para pemesan mayoritas merupakan masyarakat sekitar dan pemasaran juga dilakukan di daerah Banguntapan. Industri Y beroperasi pukul 08.00 WIB hingga 17.00 WIB. Kegiatan pelapisan dilakukan seorang diri oleh pemilik industri, namun apabila pesanan sedang membludak dan dirasa tidak mampu dikerjakan sendiri akan dibantu oleh seorang pekerja.

Industri Y berdiri di lantai atas rumah pemilik industri dan berjajar dengan pemukiman. Proses pelapisan logam banyak menggunakan bahan-bahan kimia yang berbahaya dan pekerja sudah memiliki sedikit kesadaran akan APD (Alat Pelindung Diri) berupa sepatu boots namun belum disertai masker dan sarung tangan karet. Tata letak wadah-wadah yang digunakan sudah pada penempatan yang baik sehingga masih adanya ruang gerak yang leluasa bagi pekerja.

Limbah cair yang dihasilkan berasal dari proses pembilasan pencucian, pembilasan pernekel, dan pembilasan pelapisan warna. Limbah cair tersebut dibuang setiap harinya setelah selesai melakukan kegiatan. Industri Y belum melakukan pengolahan pada limbah cair yang dihasilkan dan langsung membuangnya ke saluran pembuangan. Industri Y juga tidak membuat peraturan secara khusus mengenai kebersihan lingkungan. Tabel 4.1 menunjukkan perbandingan kedua industri elektroplating berdasarkan beberapa kategori:

Tabel 4. 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

4.2 Gambaran Umum Proses Produksi Elektroplating

Secara garis besar, tahapan kegiatan elektroplating di kedua industri hampir sama. 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. Gambar 4.1 menunjukkan aksesoris-aksesoris sebelum dilakukan pelapisan:



Gambar 4. 1 Aksesoris yang Biasa Disepuh

Sebelum dilakukan penyepuhan, aksesoris diikat dengan kawat bekas terlebih dahulu untuk menghindari terjadinya interaksi langsung tangan dengan bahan-bahan kimia yang berbahaya. Gambar 4.2 menunjukkan proses pengikatan aksesoris dengan kawat.



Gambar 4. 2 Pengikatan Dengan Kawat Bekas

Berikut merupakan tahapan elektroplating yang dilakukan setelah diikat dengan kawat bekas

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. Pencucian asam pertama dilakukan dengan H_2SO_4 dan air selama kurang lebih 2 jam, kemudian dicuci ulang dengan H_2SO_4 , NH_4 , HCl , dan air selama hitungan detik. Pencucian dengan asam kadang diikuti dengan penyikatan untuk membersihkan bagian-bagian yang sulit dibersihkan. Gambar 4.3 menunjukkan proses pencucian asam pada industri X dan Y.



Gambar 4. 3 Proses Pencucian Asam Pada Industri X dan Y

b. Pembilasan Pencucian

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. Ketika logam dirasa sudah bersih, kemudian dikaitkan pada paku yang menancap pada kayu untuk dilakukan proses selanjutnya. Gambar 4.4 menunjukkan proses pembilasan pencucian pada industri X dan Y, dan gambar 4.5 menunjukkan proses pengikatan dengan kawat.



Gambar 4. 4 Proses Pembilasan Pencucian Pada Industri X dan Y



Gambar 4. 5 Proses Pengikatan Logam Dengan Kawat Bekas Pada Industri X dan Y

c. Pelapisan Dengan Nikel atau Pernekel

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 85 liter dan durasi pengerjaan pernekel adalah 1 jam. Pada pernekel menggunakan sistem *batch* yaitu melakukan penambahan ketika diperlukan. Bahan dalam drum tersebut mampu digunakan untuk 30kali proses produksi. Gambar 4.6 dan gambar 4.7 menunjukkan proses pernekel pada masing-masing industri.



Gambar 4. 6 Proses Pernekel Pada Industri X



Gambar 4. 7 Proses Pernekel Pada Industri Y

d. Pembilasan Pernekel

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. Gambar 4.8 menunjukkan logam hasil dari kegiatan pernekel.



Gambar 4. 8 Logam Hasil Pernekel

e. Pelapisan Warna

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. Berikut merupakan rincian tahapan pelapisan warna yang dilakukan di industri X dan Y:

(i) Pelapisan Warna Perak

Pelapisan warna perak dilakukan dengan menggunakan bahan cairan perak murni, 5 keping potassium, dan air. Cairan perak diperoleh dari pembakaran logam perak murni ditambah dengan cairan NH_4 , lalu ditunggu hingga cairan berubah dari berwarna kuning menjadi berwarna putih. Agar warna perak dapat melapisi logam dengan mengkilap dan sempurna, proses pelapisan warna dilakukan di dalam air panas. Daya

tahan warna perak pada logam kurang lebih 3 bulan. Gambar 4.9, gambar 4.10. dan gambar 4.11 menunjukkan proses pelapisan perak.



Gambar 4. 9 Biji Perak Murni dan Proses Pembuatan Larutan Perak



Gambar 4. 10 Proses Pelapisan Warna Perak di Industri X



Gambar 4. 11 Proses Pelapisan Warna Perak di Industri Y

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. Gambar 4.12 menunjukkan proses pembilasan pelapisan warna perak.



Gambar 4. 12 Proses Pembilasan Pelapisan Warna Perak
(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. Gambar 4.13 menunjukkan proses pelapisan warna emas.



Gambar 4. 13 Proses Pelapisan Warna Emas di Industri X

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. Gambar 4.14 menunjukkan proses pembilasan pelapisan emas.



Gambar 4. 14 Proses Pembilasan Emas di Industri X

(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 menunjukkan proses pelapisan warna *rosegold*.



Gambar 4. 15 Proses Pelapisan Warna *Rosegold* di Industri X

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. Gambar 4.16 menunjukkan proses pembilasan *rosegold*.



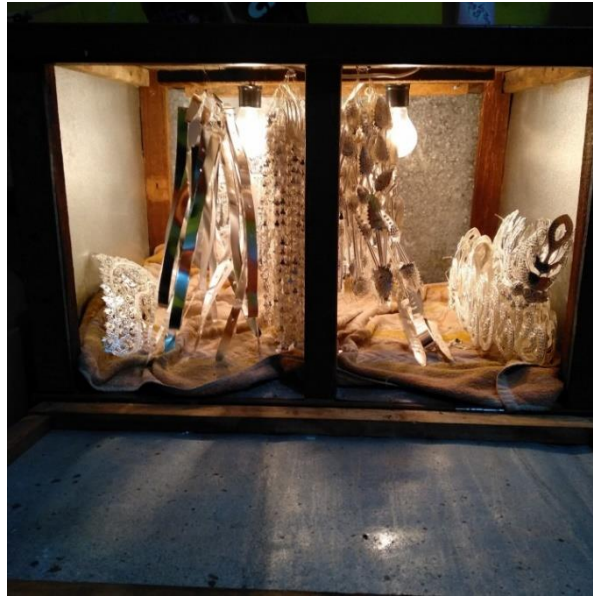
Gambar 4. 16 Proses Pembilasan *Rosegold* di Industri X

f. Pengerinan

Kedua industri menggunakan metode yang berbeda dalam melakukan tahap pengerinan. 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. Gambar 4.17 dan gambar 4.18 menunjukkan proses pengerinan.

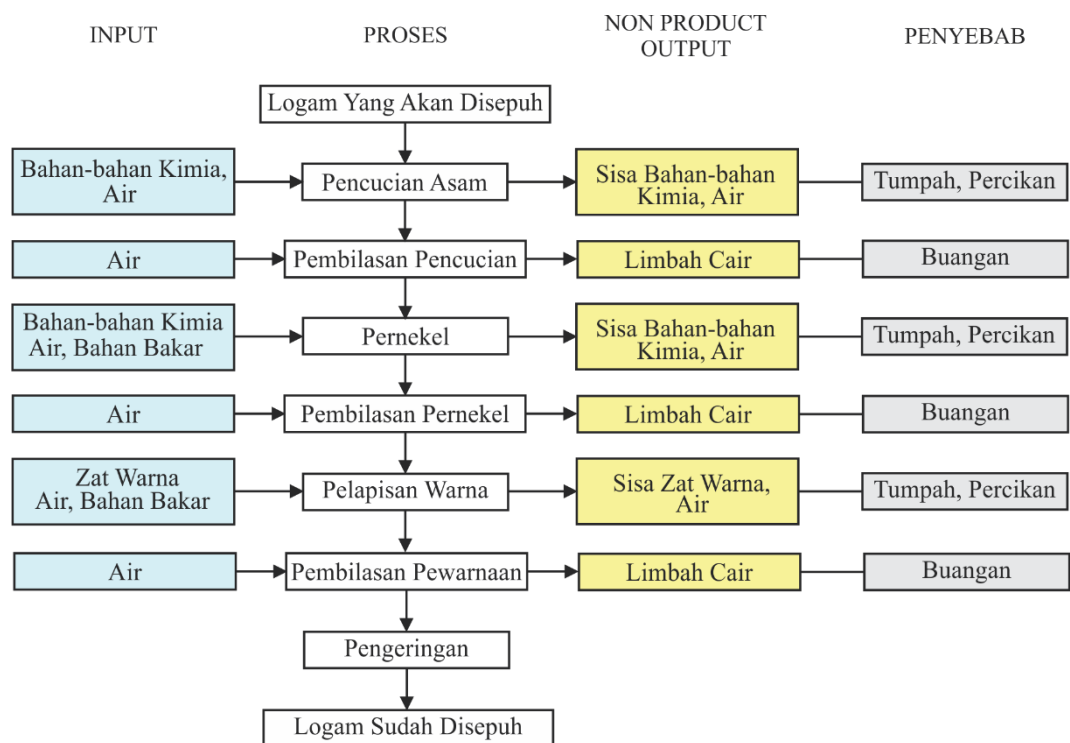


Gambar 4. 17 Proses Pengerinan di Industri X



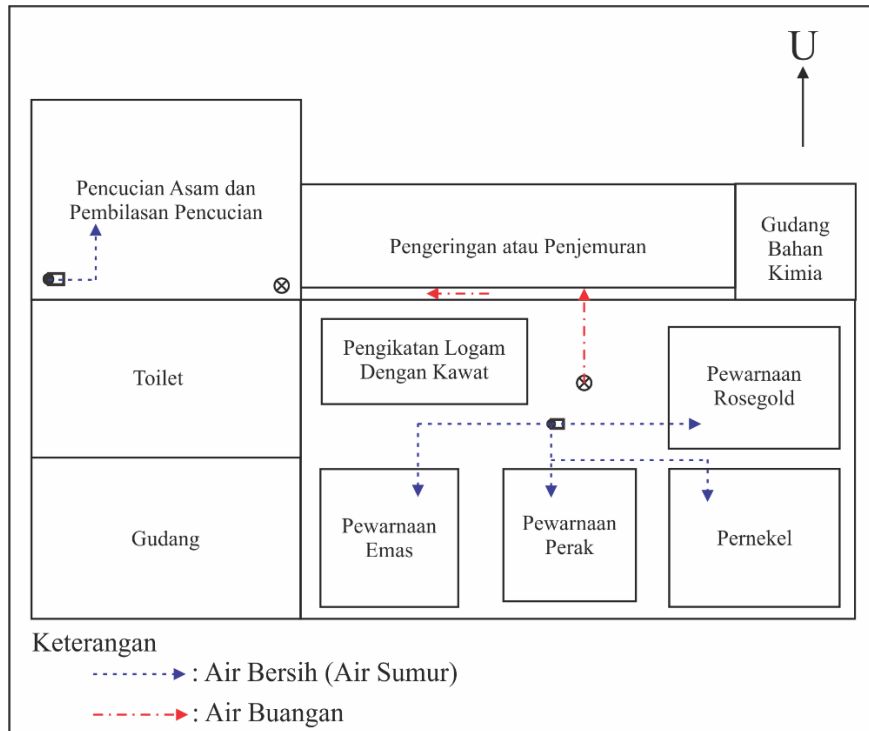
Gambar 4. 18 Proses Pengeringan di Industri Y

Gambar 4.19 menunjukkan diagram alir proses produksi di industri X dan Y:

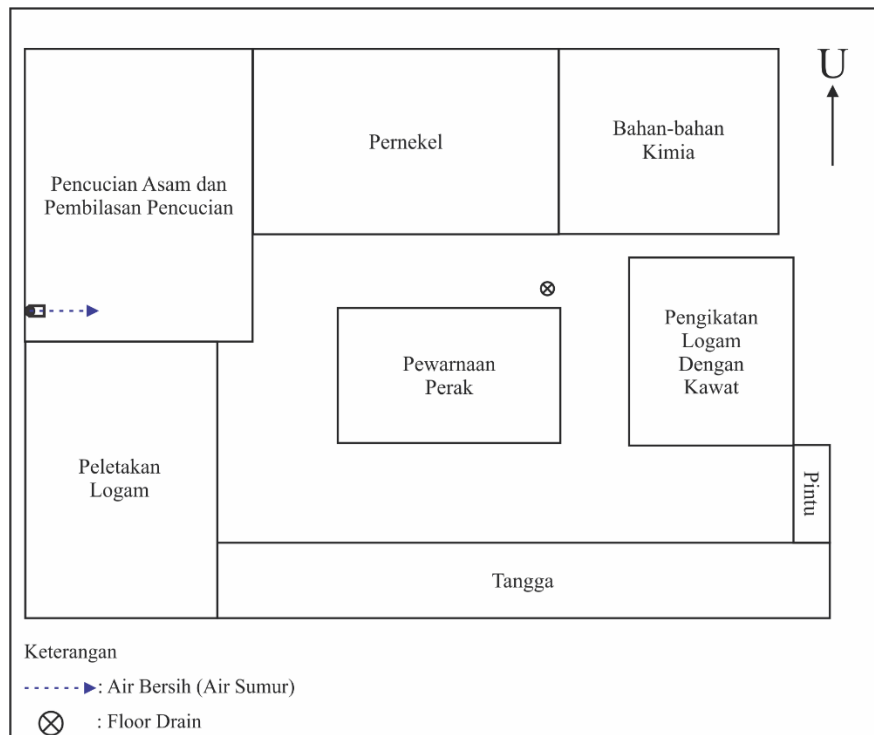


Gambar 4. 19 Diagram Alir Proses Produksi Industri X dan Y

Gambar 4.20 dan gambar 4.21 menunjukkan layout sederhana produksi Industri X dan Y :



Gambar 4. 20 Layout Produksi Industri X



Gambar 4. 21 Layout Produksi Industri Y

4.3 Analisis Tahapan Produksi Industri X

Tahapan produksi di industri X diantaranya adalah pencucian dengan asam, pembilasan dengan air, pelapisan dengan nikel atau biasa disebut pernekel, pelapisan warna perak, emas, dan *rosegold*. Pengamatan dilakukan selama empat kali. Tabel 4.2 dan tabel 4.3 menunjukkan data produksi total pada industri X selama empat kali pengamatan dan data produksi berdasarkan jenis warna.

Tabel 4. 2 Data Produksi Industri X Selama Empat Kali Pengamatan

Pengamatan	Jumlah Produksi	
	(buah)	(kg)
1	151	10,48
2	146	20,82
3	116	8,70
4	114	13,08
Total	527	53,09
Rata-Rata Produksi	131,75	13,3

Tabel 4. 3 Data Produksi Industri X Selama Empat Kali Pengamatan Berdasarkan Pelapisan Warna

Pengamatan	Perak	Emas	<i>Rosegold</i>	Jumlah Produksi
	(buah)	(buah)	(buah)	(buah)
1	34	43	74	151
2	28	56	62	146
3	25	23	68	116
4	29	40	45	114

Analisis tiap tahapan produksi terdiri dari penggunaan bahan baku, air, energi, neraca massa dan neraca air, minimisasi yang sudah dilakukan, dan identifikasi permasalahan yang terdapat di industri tersebut.

4.3.1 Penggunaan Bahan Baku Setiap Proses Produksi

Penggunaan bahan baku di industri X menggunakan sistem penambahan secara terus menerus sehingga tidak melakukan proses pembuangan limbah. Berikut merupakan jumlah bahan baku yang digunakan untuk satu kali proses elektroplating:

Tabel 4. 4 Jumlah Bahan Baku Yang Digunakan Untuk Satu Kali Proses Elektroplating

NO	Kegiatan	Bahan Baku	Jumlah	
			(liter)	(gram)
1	Pencucian Asam	H ₂ SO ₄	1,5	
		NH ₄	0,5	
		HCl	0,025	

NO	Kegiatan	Bahan Baku	Jumlah	
			(liter)	(gram)
2	Pernekel	NiSO ₄		800
		NiCl ₂		200
		NiBr ₂		120
3	Pelapisan Perak	Perak Murni		5
		Potassium	0,5	
		NH ₄	0,025	
4	Pelapisan Emas	Emas Murni		5
		HCl	0,0015	
5	Pelapisan <i>Rosegold</i>	H ₂ SO ₄ pekat	2	
		H ₂ CrO ₄	16	
		CuSO ₄	5	
6	Pengawetan <i>Rosegold</i>	Coating Material	7	
TOTAL			11,55	1130

4.3.2 Kebutuhan Air Setiap Proses Produksi

Setiap tahapan elektroplating menggunakan air dengan jumlah yang tidak sedikit. Tahapan yang membutuhkan banyak air adalah tahapan pembilasan karena dilakukan berkali-kali untuk memastikan logam sudah bersih dari bahan-bahan kimia. Pada industri X sumber air berasal dari air sumur.

Berikut merupakan kebutuhan air berdasarkan tiap tahapan elektroplating:

a. Pencucian Asam

Pada industri X, pencucian asam dilakukan pada dua buah ember hitam dengan masing-masing diameter ember 40cm dan 50cm. Air yang digunakan pada tahapan pencucian tidak dibuang namun disimpan untuk proses elektroplating selanjutnya dengan penambahan air dan bahan-bahan kimia pendukung sehingga pengukuran dilakukan pada kuantitas air yang ditambahkan.

Tabel 4.5 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pencucian asam selama empat kali pengamatan:

Tabel 4.5 Kebutuhan Air Pada Tahap Pencucian Asam

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air
	(buah)	(liter)
1	151	10,21
2	146	12,76
3	116	12,17
4	114	11,19
Total	517	46,33
Rata-Rata	131,75	11,5

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pencucian asam untuk rata-rata produksi 132 buah logam adalah 11,5 liter air.

b. Pembilasan Pencucian Asam

Pada industri X, pembilasan pencucian asam dilakukan pada lima buah ember hitam dengan rincian satu buah ember berdiameter 40cm dan empat buah ember berdiameter 50cm. Tabel 4.6 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pembilasan pencucian asam selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 6 Kebutuhan Air pada Tahap Pembilasan Pencucian Asam

Pengamatan	Jumlah Produksi (buah)	Kebutuhan Air (liter)	Air yang Dibuang (liter)
1	151	184	175
2	146	188	172
3	116	184	177
4	114	192.5	176
Total	527	748.5	700
Rata-Rata	131.75	187.13	175

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pembilasan pencucian asam untuk rata-rata produksi 132 buah logam adalah 187,13 liter air. Sedangkan air yang dibuang rata-rata setiap harinya adalah 175 liter/hari. Adanya penurunan kuantitas dari kebutuhan air yang digunakan dengan air yang dibuang karena adanya tumpahan saat melakukan pembilasan dan ada sebagian air yang masuk ke tahapan selanjutnya. Untuk menghitung kuantitas kehilangan air dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = \text{jumlah kebutuhan air rata-rata} - \text{jumlah air yang dibuang rata-rata}$$

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = 187,13 \text{ liter} - 175 \text{ liter}$$

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = 12,13 \text{ liter}$$

c. Pelapisan Nikel atau Pernekel

Pada industri X, pelapisan nikel atau pernekel dilakukan pada dua buah drum dengan kapasitas 85 liter. Air dan bahan-bahan yang digunakan pada tahapan pernekel di dalam drum dapat digunakan untuk 30 kali produksi. Tabel 4.7

menunjukkan kebutuhan air pada tahap pelapisan nikel atau pernekel selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 7 Kebutuhan Air Pada Tahap Pernekel

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air
	(buah)	(liter)
1	151	5,34
2	146	5,34
3	116	5,34
4	114	5,34
Total	517	21,36
Rata-Rata	131,75	5,34

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pernekel untuk rata-rata produksi 132 buah logam adalah 5,34 liter air.

d. Pembilasan Pernekel

Pada industri X, pembilasan pernekel dilakukan pada tiga buah ember hitam berdiameter 50cm. Tabel 4.8 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pembilasan pernekel selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 8 Kebutuhan Air Pada Tahap Pembilasan Pernekel

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air	Air yang Dibuang
	(buah)	(liter)	(liter)
1	151	123	117,5
2	146	126	121
3	116	121,5	116,4
4	114	123	118,7
Total	527	493,5	473,6
Rata-Rata	131,75	123,4	118,4

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pembilasan pernekel untuk rata-rata produksi 132 buah logam adalah 123,38 liter air. Sedangkan air yang dibuang rata-rata setiap harinya adalah 118,4 liter/hari.

Adanya penurunan kuantitas dari kebutuhan air yang digunakan dengan air yang dibuang karena adanya tumpahan saat melakukan pembilasan dan ada sebagian air yang masuk ke tahapan selanjutnya. Untuk menghitung kuantitas kehilangan air dengan rumus sebagai berikut:

Kehilangan air rata-rata = jumlah kebutuhan air rata-rata – jumlah air yang
dibuang rata-rata

Kehilangan air rata-rata = 123,38 liter – 118,4 liter

Kehilangan air rata-rata = 5 liter

e. Pelapisan Warna Perak

Pada industri X, pelapisan warna perak dilakukan pada satu buah baskom dengan diameter 36cm. Air yang digunakan pada tahapan pelapisan warna perak tidak dibuang namun disimpan untuk proses elektroplating selanjutnya dengan penambahan bahan-bahan kimia pendukung. Pelapisan warna perak pada industri X dibutuhkan untuk pelapisan warna perak sendiri dan juga pelapisan warna emas. Rata-rata produksi pelapisan warna perak pada industri X sebanyak 70 buah logam dimana 29 buah untuk pelapisan warna perak dan 41 buah untuk pelapisan warna emas.

Tabel 4.9 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pelapisan warna perak selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 9 Kebutuhan Air Pada Tahap Pelapisan Warna Perak

Pengamatan	Jumlah Produksi (buah)	Kebutuhan Air (liter)
1	77	5,5
2	84	7,85
3	48	5,89
4	69	6,48
Total	278	25,72
Rata-Rata	69,5	6,43

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pelapisan warna perak untuk rata-rata produksi 70 buah logam adalah 6,43 liter air.

f. Pembilasan Pelapisan Warna Perak

Pada industri X, pembilasan pelapisan warna perak dilakukan pada tiga buah ember hitam berdiameter 40cm dan baskom dengan diameter 36cm. Tabel 4.10 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pembilasan pelapisan pelapisan warna perak selama empat kali pengamatan

Tabel 4. 10 Kebutuhan Air Pada Tahap Pembilasan Pelapisan Warna Perak

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air	Air yang Dibuang
	(buah)	(liter)	(liter)
1	77	69	66
2	84	69,9	66,7
3	48	72	69
4	69	69	66,2
Total	278	279,9	267,9
Rata-Rata	69,5	69,8	67

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pembilasan pelapisan warna perak untuk rata-rata produksi 70 buah logam adalah 69,975 liter air. Sedangkan air yang dibuang rata-rata setiap harinya adalah 67 liter/hari.

Adanya penurunan kuantitas dari kebutuhan air yang digunakan dengan air yang dibuang karena adanya tumpahan saat melakukan pembilasan dan ada sebagian air yang masuk ke tahapan selanjutnya. Untuk menghitung kuantitas kehilangan air dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = \text{jumlah kebutuhan air rata-rata} - \text{jumlah air yang dibuang rata-rata}$$

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = 69,975 \text{ liter} - 67 \text{ liter}$$

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = 2,975 \text{ liter}$$

g. Pelapisan Warna Emas

Pada industri X, pelapisan warna emas dilakukan pada satu buah ember dengan diameter ember 40cm. Sebelum melakukan pelapisan warna emas, terlebih dahulu logam diberi warna perak. Air yang digunakan pada tahapan pencucian tidak dibuang namun disimpan untuk proses elektroplating selanjutnya dengan penambahan bahan-bahan kimia pendukung. Tabel 4.11 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pelapisan warna emas selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 11 Kebutuhan Air Pada Tahap Pelapisan Warna Emas

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air
	(buah)	(liter)
1	43	5,89
2	56	7,85

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air
	(buah)	(liter)
3	23	4,91
4	40	6,87
Total	162	25,52
Rata-Rata	40,5	6,38

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pelapisan warna emas untuk rata-rata produksi 41 buah logam adalah 6,38 liter air.

h. Pembilasan Pelapisan Warna Emas

Pada industri X, pembilasan pelapisan warna emas dilakukan pada empat buah ember hitam dengan rincian tiga buah ember berdiameter 40cm dan satu buah ember berdiameter 50cm. Tabel 4.12 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pembilasan pelapisan warna emas selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 12 Kebutuhan Air Pada Tahap Pembilasan Pelapisan Warna Emas

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air	Air yang Dibuang
	(buah)	(liter)	(liter)
1	43	100,5	94,4
2	56	101	99
3	23	103,4	98,8
4	40	100	96,6
Total	162	404,9	388,8
Rata-Rata	40,5	101,225	97,2

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pembilasan pelapisan warna emas untuk rata-rata produksi 41 buah logam adalah 101,225 liter air. Sedangkan air yang dibuang rata-rata setiap harinya adalah 97,2 liter/hari.

Adanya penurunan kuantitas dari kebutuhan air yang digunakan dengan air yang dibuang karena adanya tumpahan saat melakukan pembilasan dan ada sebagian air yang masuk ke tahapan selanjutnya. Untuk menghitung kuantitas kehilangan air dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = \text{jumlah kebutuhan air rata-rata} - \text{jumlah air yang dibuang rata-rata}$$

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = 101,225 \text{ liter} - 97,2 \text{ liter}$$

Kehilangan air rata-rata = 4,025 liter

i. Pelapisan Warna *Rosegold*

Pada industri X, pelapisan warna *rosegold* dilakukan pada satu buah drum dengan kapasitas 85 liter. Air dan bahan-bahan yang digunakan pada tahapan *rosegold* di dalam drum dapat digunakan untuk 30 kali produksi. Berikut merupakan kebutuhan air pada tahap pelapisan warna *rosegold* selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 13 Kebutuhan Air Pada Tahap Pelapisan Warna *Rosegold*

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air
	(buah)	(liter)
1	74	2,67
2	62	2,67
3	68	2,67
4	45	2,67
Total	249	10,68
Rata-Rata	62,25	2,67

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pelapisan warna *rosegold* untuk rata-rata produksi 62 buah logam adalah 2,67 liter air.

j. Pembilasan Pelapisan Warna *Rosegold*

Pada industri X, pembilasan pelapisan warna *rosegold* dilakukan pada empat buah ember hitam berdiameter 40cm. Tabel 4.14 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pembilasan pelapisan warna *rosegold* selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 14 Kebutuhan Air Pada Tahap Pembilasan Pelapisan Warna *Rosegold*

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air	Air yang Dibuang
	(buah)	(liter)	(liter)
1	74	76	74
2	62	72	69,6
3	68	80	75
4	45	82,4	79,3
Total	249	310,4	298
Rata-Rata	62,25	77,6	74,5

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pembilasan pelapisan warna *rosegold* untuk rata-rata produksi 62 buah logam adalah 77,6 liter air. Sedangkan air yang dibuang rata-rata setiap harinya adalah 74,5 liter/hari.

Adanya penurunan kuantitas dari kebutuhan air yang digunakan dengan air yang dibuang karena adanya tumpahan saat melakukan pembilasan dan ada sebagian air yang masuk ke tahapan selanjutnya. Untuk menghitung kuantitas kehilangan air dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = \text{jumlah kebutuhan air rata-rata} - \text{jumlah air yang dibuang rata-rata}$$

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = 77,6 \text{ liter} - 74,5 \text{ liter}$$

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = 3,1 \text{ liter}$$

4.3.3 Penggunaan Energi

Industri X menggunakan dua jenis energi yaitu energi listrik dan energi dari tabung gas. Energi listrik total yang digunakan adalah 750 watt selama jam kerja (8 jam) dengan rincian 300 watt untuk kegiatan pernekel, 150 watt untuk pelapisan warna emas, 150 watt untuk pelapisan warna perak, dan 150 watt untuk pelapisan warna *rosegold*. Tabung gas yang digunakan selama tahapan proses elektroplating sebanyak 4 buah gas LPG 3kg dengan rincian 1 buah gas LPG setiap harinya untuk setiap kegiatan pernekel, pelapisan warna emas, perak, dan *rosegold*. Ringkasan singkat penggunaan energi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 15 Jumlah Energi Yang Dibutuhkan Industri X

NO	Kegiatan	Energi Listrik	Jumlah Gas 3kg
		(watt)	(buah)
1	Pernekel	300	1
2	Pelapisan Perak	150	1
3	Pelapisan Emas	150	1
4	Pelapisan <i>Rosegold</i>	150	1
TOTAL		750	4

4.3.4 Neraca Massa

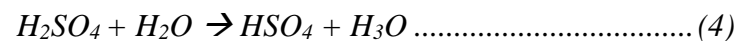
Analisis neraca massa dilakukan pada keseluruhan tahap produksi selama empat kali pengamatan dalam waktu empat hari. Neraca massa berisi bahan-bahan yang digunakan pada satu kali proses elektroplating. Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh rata-rata produksi elektroplating sebanyak 132 buah dengan berat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

Banyaknya penggunaan bahan-bahan kimia pada tahapan elektroplating menyebabkan munculnya berbagai reaksi yang terjadi pada setiap tahapan. Berikut merupakan beberapa reaksi yang terjadi pada setiap tahapan:

a. Pencucian Asam

Bahan-bahan yang digunakan : H_2SO_4 , HCl , NH_4 , dan air.

Reaksi yang mungkin terjadi :



Terbentuknya H_3O atau yang biasa disebut ion hidronium karena adanya proses ionisasi di dalam air.

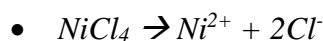
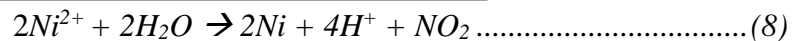
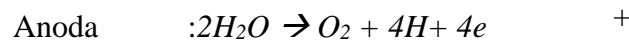
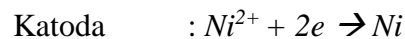
b. Pelapisan Nikel atau Pernekel

Bahan-bahan yang digunakan : $NiSO_4$, $NiCl_2$, $NiBr_2$, dan air.

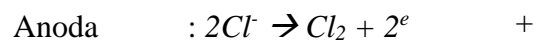
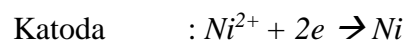
Reaksi yang mungkin terjadi :

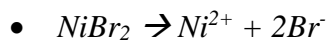


Reaksi yang terjadi pada katoda dan anoda:

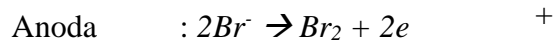
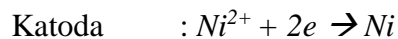


Reaksi yang terjadi pada katoda dan anoda:





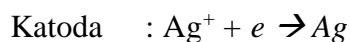
Reaksi yang terjadi pada katoda dan anoda:



c. Pelapisan Perak

Bahan-bahan yang digunakan : Ag, K, NH₄, dan air

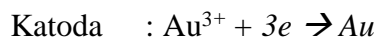
Reaksi yang mungkin terjadi :



d. Pelapisan Emas

Bahan-bahan yang digunakan : Au, HCl, dan air.

Reaksi yang mungkin terjadi :

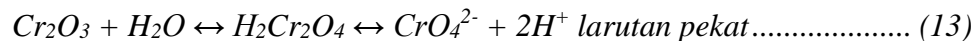


e. Pelapisan Krom

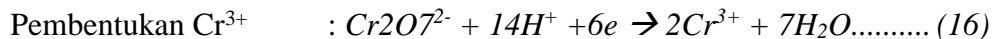
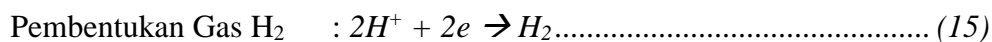
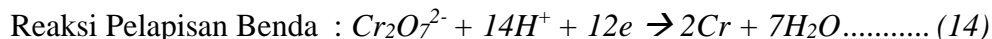
Cr₂O₃ dilarutkan dalam air dengan menggunakan katalis H₂SO₄ sehingga terbentuk larutan H₂CrO₄ (asam kromat).

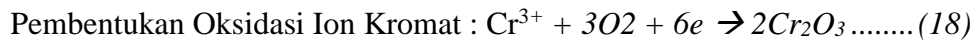
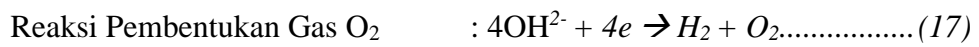
Bahan-bahan yang digunakan : H₂CrO₄, H₂SO₄, CuSO₄, dan air.

Reaksi yang mungkin terjadi:

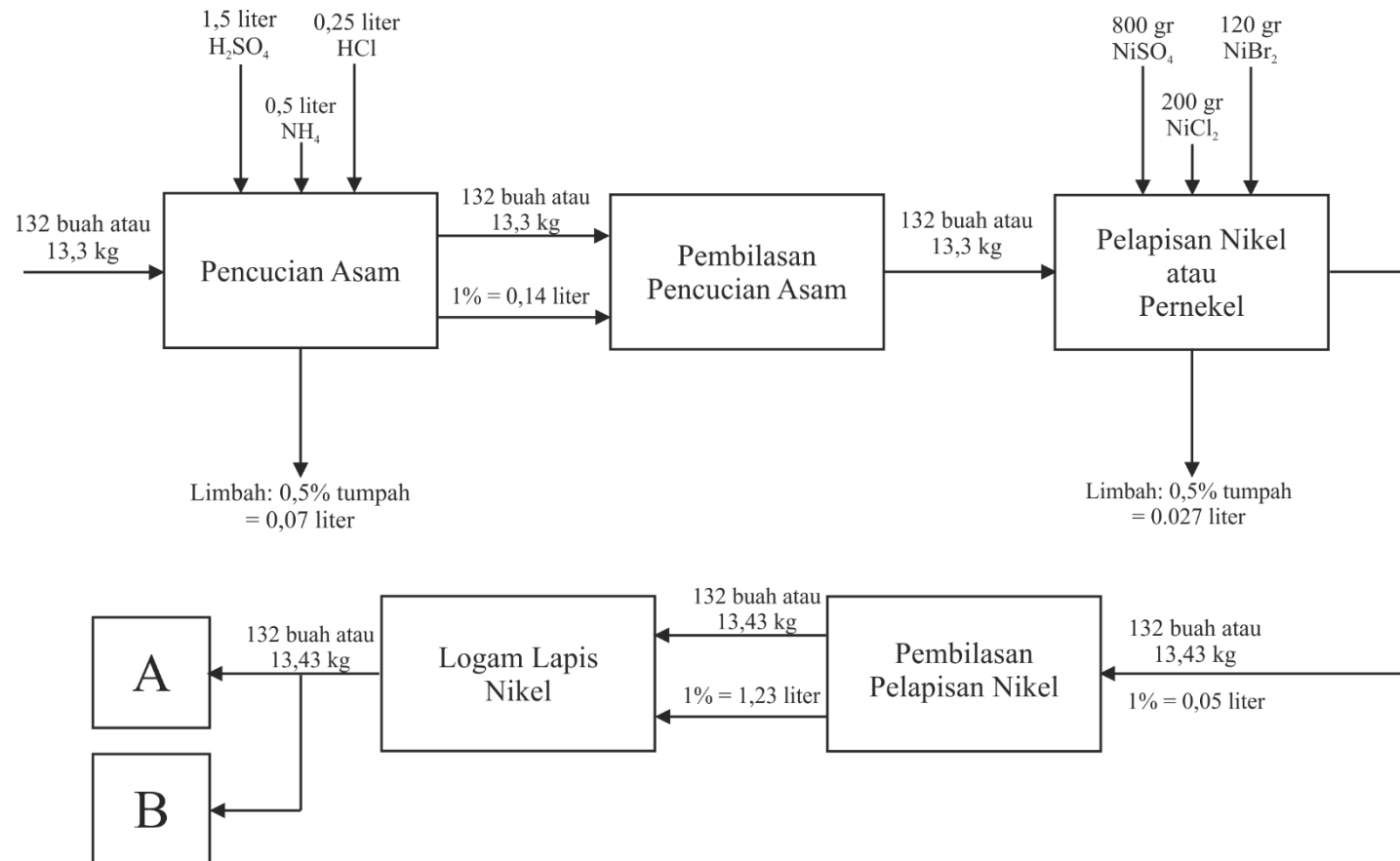


Katoda

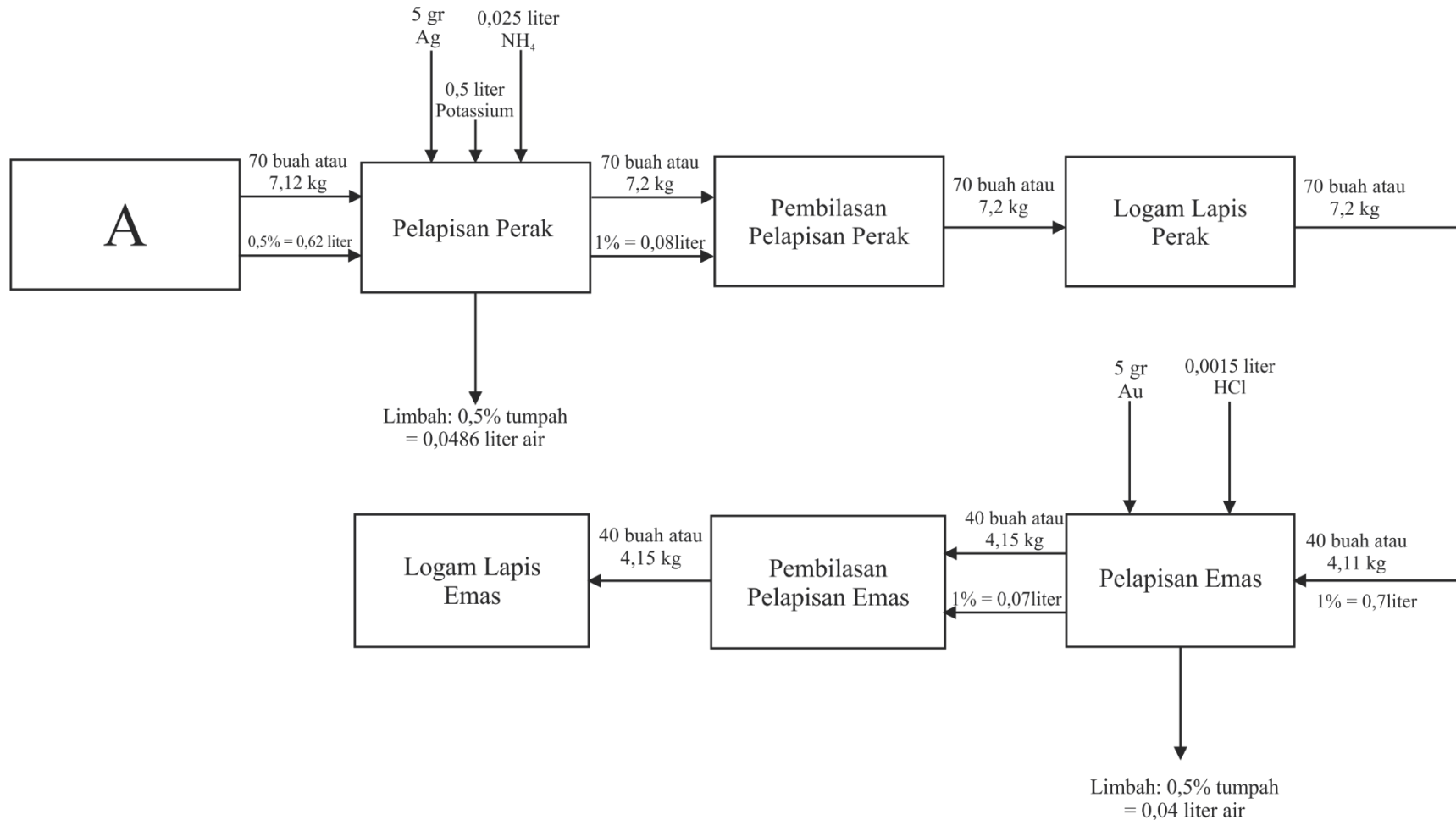


Anoda

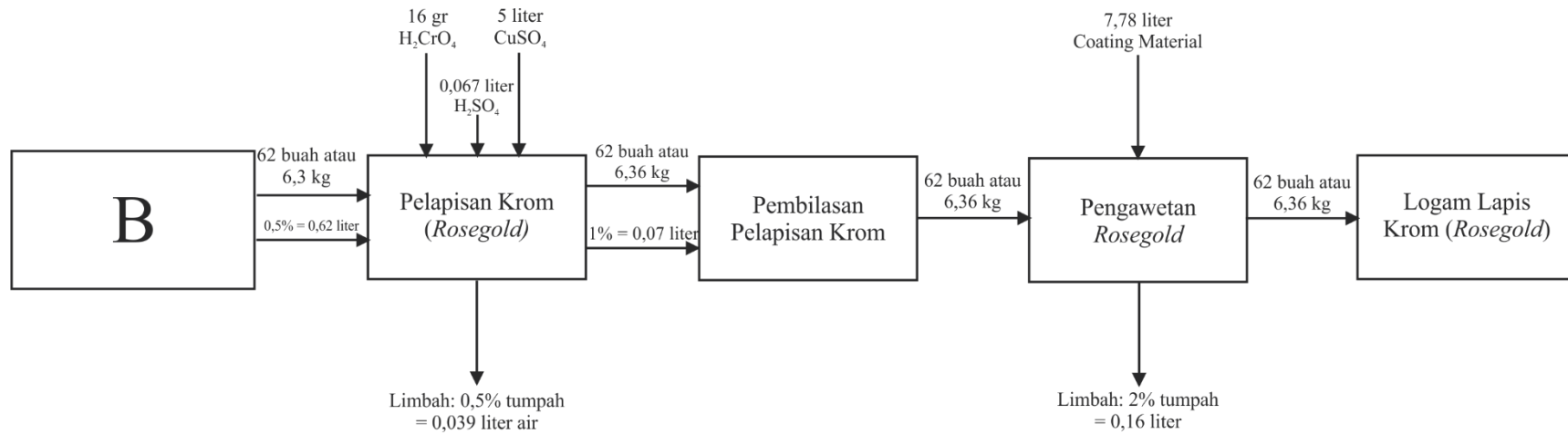
Neraca massa pada tahapan elektroplating X dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian awal berupa pencucian hingga pelapisan nikel dan bagian kedua merupakan pelapisan warna. Gambar 4.22, gambar 4.23, dan gambar 4.24 menunjukkan gambaran neraca massa pada industri X:



Gambar 4. 22 Flowchart Neraca Massa Tahap Pencucian Asam Sampai Pelapisan Nikel
(Keterangan: Tahap Selanjutnya ditampilkan pada **gambar 4.23** dan **4.24**)



Gambar 4. 23 Flowchart Neraca Massa Tahap Pelapisan Warna Perak dan Emas
(Keterangan: Tahap Sebelumnya ditampilkan pada **gambar 4.22**)



Gambar 4. 24 Flowchart Neraca Massa Tahap Pelapisan Warna Rosegold
(Keterangan: Tahap Sebelumnya ditampilkan pada **gambar 4.22**)

Tabel 4.16 menunjukkan data bahan-bahan yang masuk dan output yang keluar untuk satu kali tahapan elektroplating:

Tabel 4. 16 Data Kuantitas Bahan, dan Output Pada Tahap Elektroplating

No	Kegiatan	Input			Output		Tumpah (liter)	Tahap Selanjutnya (liter)	Air dan Bahan Tersimpan (liter)
		Bahan Baku	Jumlah		Produk (buah)				
			(liter)	(gram)					
1	Pencucian Asam	132 Logam Kotor H ₂ SO ₄ NH ₄ HCl Air	1.5 0.5 0.025 11.5		132 Logam Bersih	0.07	0.14	13.32	
2	Pelapisan Nikel	132 Logam Bersih NiSO ₄ NiCl ₂ NiBr ₂ Air		800 200 120 5.3	132 Logam Lapis Nikel	0.027	0.05	5.22	
3	Pelapisan Warna Perak	70 Logam Lapis Nikel Perak Murni Potasium NH ₄ Air	0.5 0.025 7.6	5	70 Logam Lapis Perak	0.0486	0.08	8.00	
4	Pelapisan Warna Emas	40 Logam Lapis Perak Emas Murni HCl Air	0.0015 7.08	5	40 Logam Lapis Emas	0.04	0.07	6.97	
5	Pelapisan Warna Rosegold	62 Logam Lapis Nikel H ₂ CrO ₄ H ₂ SO ₄ CuSO ₄ Air	0.067 5 2.67	16	62 Logam Lapis Krom	0.039	0.077	7.62	
6	Pengawetan Warna Rosegold	62 Logam Lapis Krom <i>Coating Material</i>	7.78		62 Logam Lapis Krom	0.16		7.62	
Jumlah			49.55		132 Logam Disepuh	0.38	0.42	48.75	
			49.55			0.8	48.75		
						49.55			

Berdasarkan tabel di atas, kuantitas *input* sebenarnya tidak sama dengan *output* yang dihasilkan karena adanya bahan yang disimpan untuk tahapan selanjutnya.

Namun apabila kuantitas *output* yang dihasilkan dijumlahkan dengan kuantitas air yang disimpan maka akan diperoleh hasil yang seimbang.

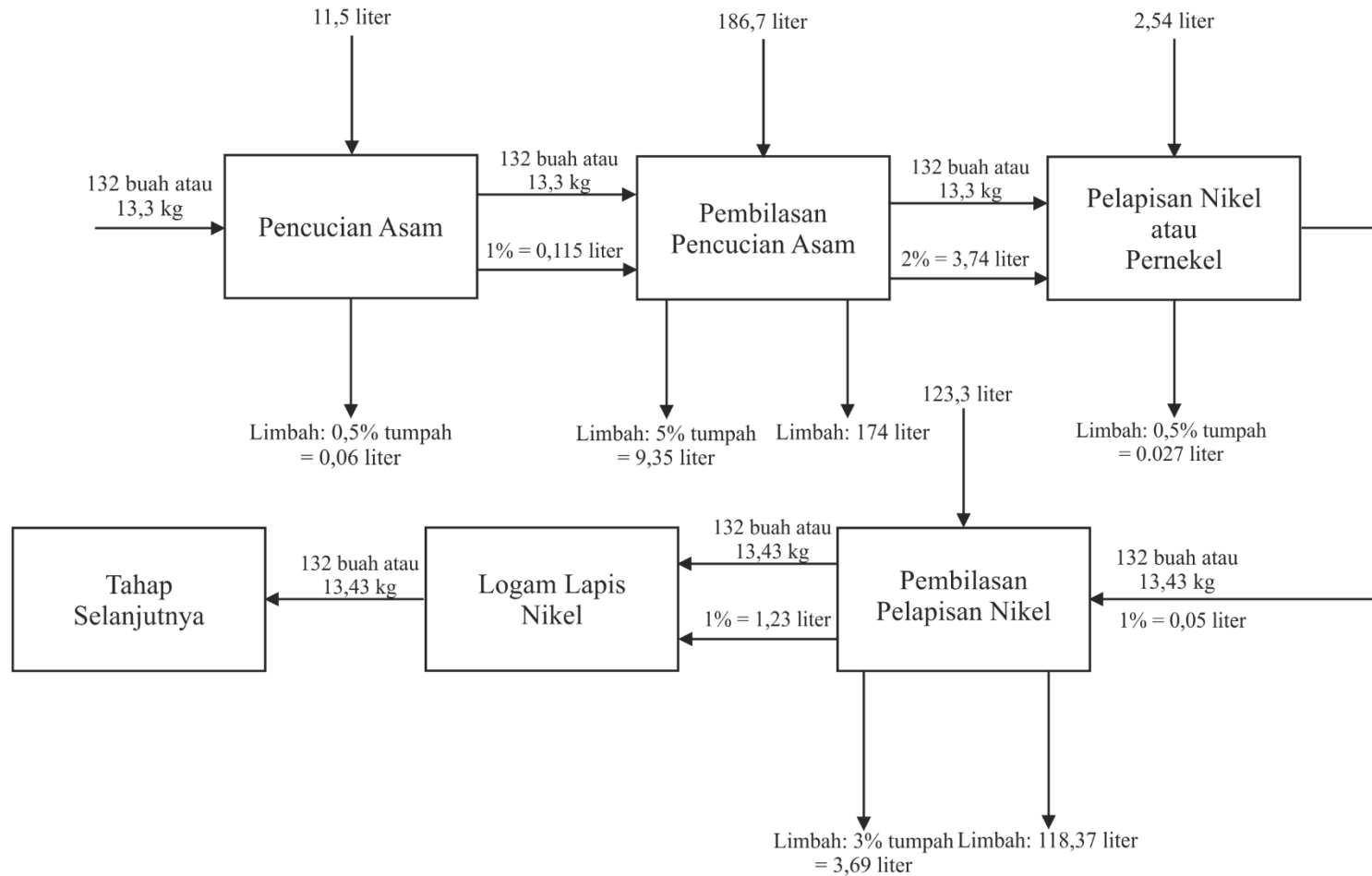
4.3.5 Neraca Air

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. Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh rata-rata produksi elektroplating sebanyak 132 buah dengan berat 13,3 kg.

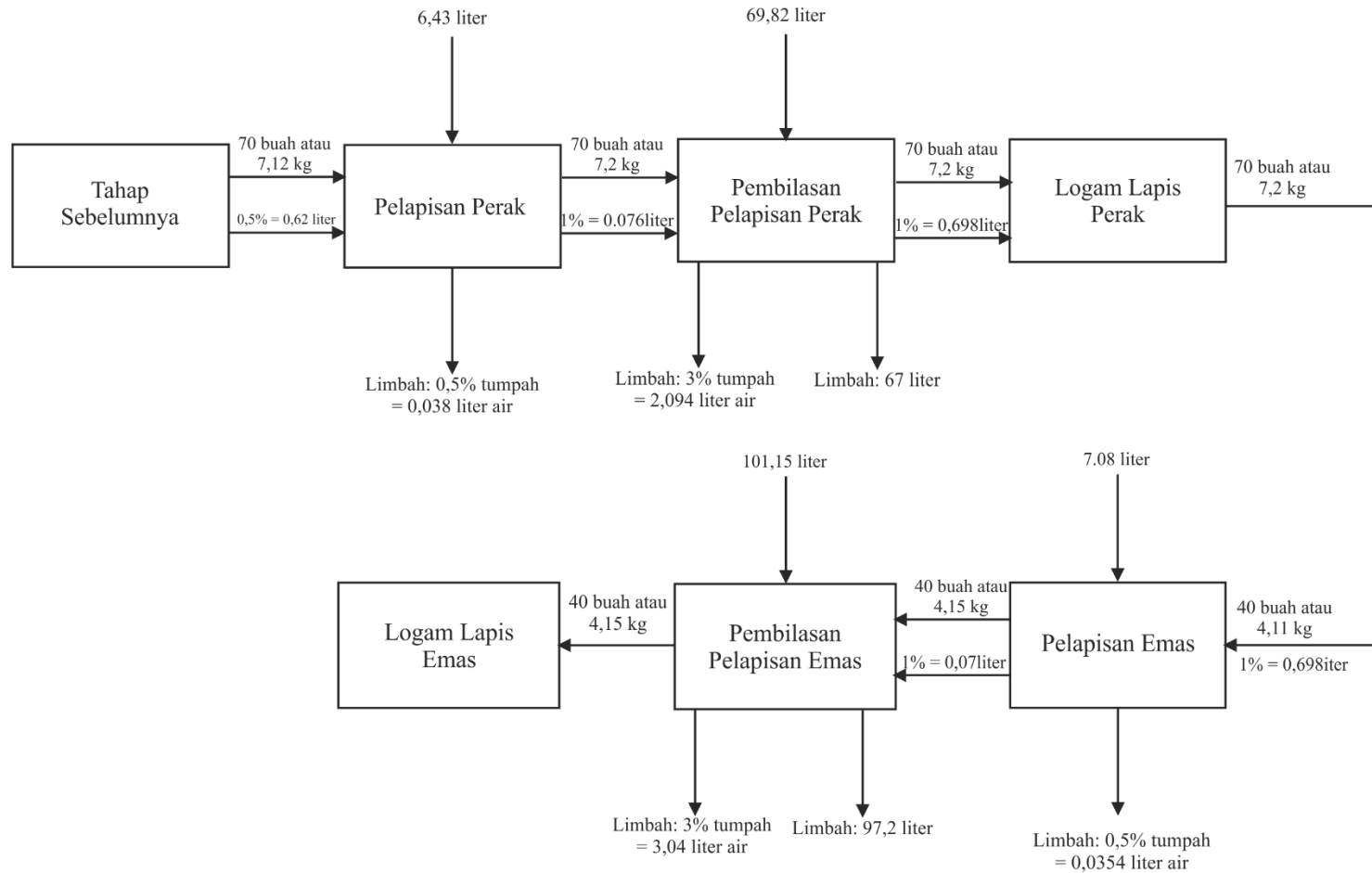
Limbah cair pada kegiatan elektroplating hanya dihasilkan dari tahapan pembilasan, baik pembilasan pencucian asam, pembilasan pernekel, dan pembilasan pelapisan warna. Adanya tumpahan air atau *loss* diakibatkan karena tata cara pekerja yang kurang teratur. Banyaknya ceceran air atau inefisiensi terjadi akibat pemindahan dari wadah pembilasan satu ke yang lain tanpa ditiriskan terlebih dahulu. Tata letak antar tahapan juga tidak teratur sehingga mengakibatkan banyaknya ceceran air pada proses pemindahan.

Asumsi persentase yang digunakan untuk menghitung persentase kuantitas air yang tumpah dan ikut ke tahap selanjutnya berdasarkan pengamatan langsung di lapangan.

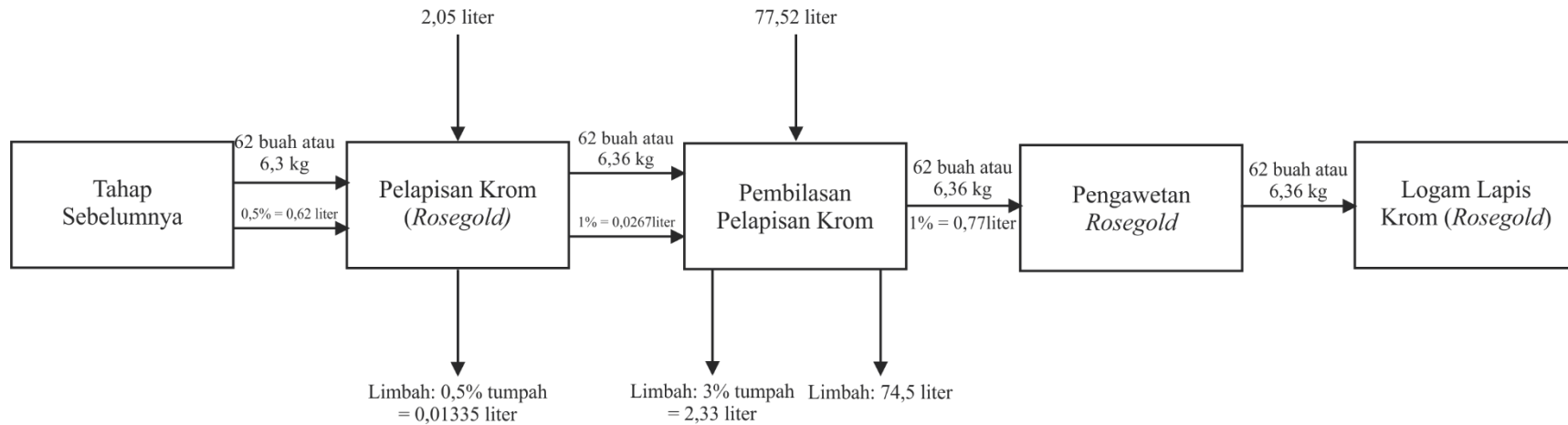
Gambar 4.25, gambar 4.26, dan gambar 4.27 menunjukkan flowchart neraca air pada industri X:



Gambar 4. 25 Flowchart Neraca Air Tahap Pencucian Asam Sampai Pelapisan Nikel
(Keterangan: Tahap Selanjutnya ditampilkan pada **gambar 4.26** dan **4.27**)



Gambar 4. 26 Flowchart Neraca Air Tahap Pelapisan Warna Perak dan Emas
(Keterangan: Tahap Sebelumnya ditampilkan pada **gambar 4.25**)



Gambar 4. 27 Flowchart Neraca Air Tahap Pelapisan Warna Rosegold
(Keterangan: Tahap Sebelumnya ditampilkan pada **gambar 4.25**)

Tabel 4.17 menunjukkan data kuantitas *input* dan *output* untuk satu kali pengamatan proses elektroplating:

Tabel 4. 17 Data Kuantitas Bahan, Input, dan Output Pada Tahap Elektroplating

No	Kegiatan	Input		Output				Disimpan (liter)
		Bahan Baku	Jumlah	Produk (buah)	Tumpah (liter)	Tahap Selanjutnya (liter)	Dibuang (liter)	
			(liter)					
1	Pencucian Asam	132 Logam Kotor Air	11.5	132 Logam Bersih	0.06	0.115		11.33
2	Pembilasan Pencucian Asam	132 Logam Bersih Air	187	132 Logam Bersih	9.35	3.740	174	
3	Pelapisan Nikel	132 Logam Bersih Air	5.3	132 Logam Lapis Nikel	0.027	0.05		5.22
4	Pembilasan Pelapisan Nikel	132 Logam Lapis Nikel Air	123.3	132 Logam Lapis Nikel	3.699	1.233	118.37	
5	Pelapisan Warna Perak	70 Logam Lapis Nikel Air	7.6	70 Logam Lapis Perak	0.038	0.076		7.49
6	Pembilasan Pelapisan Perak	70 Logam Lapis Perak Air	69.8	70 Logam Lapis Perak	2.094	0.698	67.0	
7	Pelapisan Warna Emas	40 Logam Lapis Perak Air	7.08	40 Logam Lapis Emas	0.0354	0.0708		6.97
8	Pembilasan Pelapisan Emas	40 Logam Lapis Emas Air	101.12	40 Logam Lapis Emas	3.0336		98.1	
9	Pelapisan Warna Rosegold	62 Logam Lapis Nikel Air	2.67	62 Logam Lapis Krom	0.01335	0.0267		2.63
10	Pembilasan Warna Rosegold	62 Logam Lapis Krom Air	77.6	62 Logam Lapis Krom	2.328	0.776	74.50	
Jumlah			592.97	132 Logam Disepuh	20.68	6.79	531.87	33.64
			592.97		559.33			33.64
			592.97					

Berdasarkan tabel di atas, kuantitas *input* sebenarnya tidak sama dengan *output* yang dihasilkan karena adanya beberapa tahapan yang tidak melakukan pembuangan air. Namun apabila kuantitas *output* yang dihasilkan dijumlahkan dengan kuantitas air yang disimpan maka akan diperoleh hasil yang seimbang.

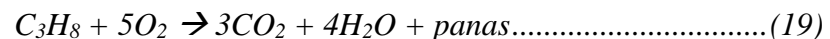
4.3.6 Neraca Energi

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 0,75kW per 8 jam.

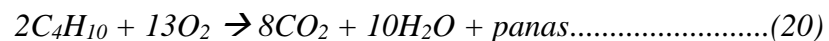
Gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*) terdiri dari senyawa hidrokarbon dimana unsur dari senyawa tersebut adalah unsur hidrogen dan karbon dengan nilai kalor sebesar 21.000 BTU/lb. Komponen yang terdapat dalam LPG adalah senyawa propana C₃H₈, propana C₃H₆, butana C₄H₁₀, dan butena C₄H₈. Untuk LPG yang beredar di masyarakat adalah LPG dengan komponen utama berupa gas propana (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀) atau biasa disebut *Mix* LPG dengan perbandingan propana : butana sebesar 30 : 70 (Syukur, 1968).

Apabila propana dan butana mengalami reaksi pembakaran sempurna, maka akan terjadi reaksi sebagai berikut:

Reaksi Pembakaran Propana:



Reaksi Pembakaran Butana:



Rapat jenis energi propana adalah sebesar 46,44 megajoule/kilogram dengan massa jenis propana pada suhu 25°C adalah 0,493 gram/cm³. Sedangkan untuk rapat jenis energi butana adalah 27,7 megajoule/liter dengan massa jenis butana pada suhu 25°C adalah 0,00248 gram/cm³. Apabila jumlah oksigen kurang mencukupi untuk pembakaran sempurna, maka pembakaran propana dan butana akan menghasilkan air, karbon monoksida, dan karbon dioksida (Haswoto et al., 2017).

Untuk menghitung emisi CO₂ menggunakan pendekatan melalui faktor emisi dan *Net Calorific Volume* (NCV) bahan bakar LPG, sebagaimana tabel 4.18 berikut:

Tabel 4. 18 Faktor Emisi dan NCV Bahan Bakar LPG

Bahan Bakar	Faktor Emisi	NCV
LPG	63,1	47,3

dengan rumus perhitungan yang digunakan yaitu;

$$\text{Emisi CO}_2 = a \times \text{EF} \times \text{NCV}$$

dimana,

- Emisi CO₂ : total emisi CO₂ (gram karbon)
 a : konsumsi LPG (kg)
 EF : faktor emisi (gram karbon/MJ)
 NCV : Berat bersih LPG (MJ/kg)

(Afiuddin & Priastuti, 2016).

Berikut merupakan perhitungan emisi CO₂ dan energi panas yang dihasilkan dari pembakaran propana dan butana:

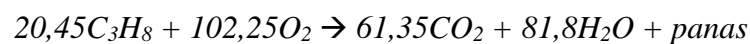
a. Pembakaran Propana

- Massa propana $= \frac{30}{100} \times 3\text{kg}$
 $= 0,9 \text{ kg} = 900\text{gram}$

- $\rho = 0,493 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3}$

- $\text{mol} = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} = \frac{900}{44} = 20,45 \text{ mol}$

- perhitungan energi panas:



Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran propana adalah:

$$0,9 \text{ kg} \times 46,44 \frac{\text{megajoule}}{\text{kg}} = 41,8 \text{ megajoule.}$$

- Perhitungan emisi CO₂ :

Nilai mol CO₂ berdasarkan reaksi adalah 61,35 mol.

$$\begin{aligned} \text{massa} &= \text{mol} \times \text{Mr} = 61,35\text{mol} \times 44 \\ &= 2699,4\text{gr CO}_2 \\ &= 2,7\text{kg CO}_2 \end{aligned}$$

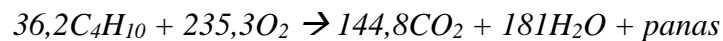
$$\text{Emisi CO}_2 = 2,7\text{kg} \times 63,1 \frac{\text{grCO}_2}{\text{MJ}} \times 47,3 \frac{\text{MJ.}}{\text{kg}}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 8058 \text{ gr CO}_2$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 8,058 \text{ kg CO}_2$$

b. Pembakaran Butana

- Massa propana = $\frac{70}{100} \times 3\text{kg} = 2,1 \text{ kg} = 2100\text{gram}$
- $\rho = 0,00248 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3}$
- $\text{mol} = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} = \frac{2100}{58} = 36,2 \text{ mol}$
- Perhitungan energi panas:



Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran butana adalah:

$$\begin{aligned} \text{Volume butane} &= \frac{\text{massa}}{\text{massa jenis}} = \frac{2100 \text{ gram}}{0,00248 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3}} \\ &= 80645,2 \text{ cm}^3 = 80,64 \text{ liter} \end{aligned}$$

$$80,64 \text{ liter} \times 27,7 \frac{\text{megajoule}}{\text{liter}} = 2233,73 \text{ megajoule.}$$

- Perhitungan emisi CO₂:

Nilai mol CO₂ berdasarkan reaksi adalah 144,8 mol.

$$\begin{aligned} \text{massa} &= \text{mol} \times \text{Mr} = 144,8\text{mol} \times 58 \\ &= 8398,4\text{gr CO}_2 \\ &= 8,4\text{kg CO}_2 \end{aligned}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 8,4\text{kg} \times 63,1 \frac{\text{grCO}_2}{\text{MJ}} \times 47,3 \frac{\text{megajoule}}{\text{kg}}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 25070,9 \text{ gr CO}_2$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 25,0709 \text{ gr CO}_{2M}$$

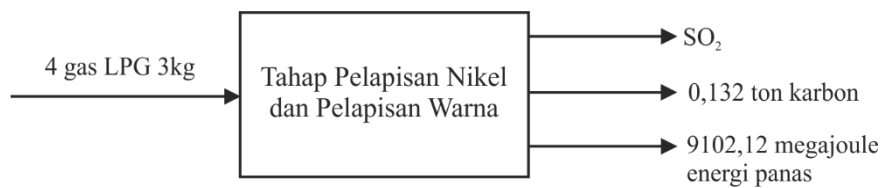
Berdasarkan uraian hitungan di atas diperoleh hasil bahwa total emisi CO₂ yang dihasilkan dari 1 buah LPG 3kg sebesar total jumlah emisi CO₂ propana dan butana yaitu sebesar 33128,9 gram karbon dengan energi panas yang dihasilkan sebesar 2275,53 megajoule. Untuk industri X menggunakan 4 buah gas LPG setiap harinya maka,

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= 4 \times 33128,9 \text{ gram karbon} \\ &= 132515,6 \text{ gram karbon} \\ &= 0,132 \text{ ton karbon} \end{aligned}$$

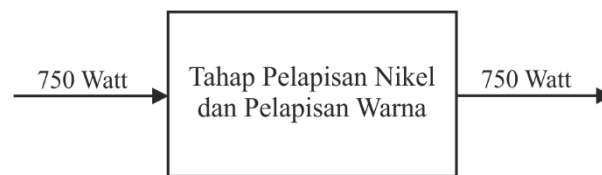
$$\begin{aligned} \text{Energi 4 gas LPG} &= 4 \times 2275,53 \text{ megajoule} \\ &= 9102,12 \text{ megajoule} \end{aligned}$$

Menurut penelitian yang dilakukan oleh "Haryanto & Triyono, 2012" diperoleh bahwa tidak ada emisi CO dan NO₂ pada gas LPG yang diujikan pada kompor gas, maka terindikasi bahwa telah terjadinya pembakaran sempurna. Namun emisi SO₂ teramati akibat LPG yang dipasarkan di Indonesia mengandung merkaptan dimana merkaptan memang sengaja ditambahkan untuk menciptakan bau busuk guna mengetahui bila adanya kebocoran (Haryanto & Triyono, 2012).

Gambar 4.28 dan gambar 4.29 menunjukkan neraca energi pada industri X:



Gambar 4. 28 Flowchart Neraca Energi Gas LPG Pada Industri X



Gambar 4. 29 Flowchart Neraca Energi Listrik Pada Industri X

4.3.7 Identifikasi Permasalahan dari Berbagai Aspek

Permasalahan yang diidentifikasi mencakup aspek bahan baku, limbah, dan tata laksana kegiatan produksi. Pada industri X, permasalahan yang sangat terlihat adalah dari segi manajemen dan tata laksana produksi yang dilakukan. Industri X tidak melakukan pendataan setiap harinya mengenai jumlah pesanan yang masuk, pekerjaan yang dikerjakan, termasuk juga kuantitas bahan-bahan yang digunakan. Tidak dilakukannya pendataan akibat pelanggan yang menggunakan jasa elektroplating industri X merupakan masyarakat sekitar dan pelanggan tetap yang sudah dikenal dan dihafal. Pendataan kuantitas bahan juga sudah tidak lagi dilakukan karena pekerjaan ini sudah dilakukan bertahun-tahun sehingga dirasa sudah hafal setiap kadar dari masing-masing bahan. Seharusnya pendataan pesanan yang masuk dan juga kuantitas bahan-bahan yang digunakan tetap dilakukan, selain

untuk arsip data industri X juga sebagai tindakan preventif agar tidak terjadi pemborosan bahan.

Kegiatan elektroplating yang menggunakan air dengan kuantitas tidak sedikit juga tidak diimbangi dengan pengolahan ataupun upaya minimisasi agar air yang terbuang bisa digunakan kembali. Bahan-bahan pendukung untuk kegiatan elektroplating merupakan bahan-bahan kimia yang berbahaya namun para pekerja tidak diberi arahan mengenai pentingnya penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) agar tidak terjadi kecelakaan kerja. Tabel 4.19 menunjukkan permasalahan-permasalahan yang teridentifikasi:

Tabel 4. 19 Identifikasi Permasalahan di Industri X

No	Aspek	Permasalahan
1	Bahan Baku	Tidak adanya pendataan kuantitas bahan-bahan yang digunakan untuk kegiatan elektroplating
2	Kuantitas Air	Tidak adanya ketentuan dan pendataan mengenai kuantitas air bersih yang digunakan pada setiap tahapan elektroplating
3	Limbah	Belum adanya upaya pengolahan limbah cair hasil proses produksi
4	Tata Laksana	Tidak adanya pendataan proses kegiatan elektroplating yang dilakukan setiap harinya
		Tidak adanya upaya penggunaan air seminimal mungkin, dibuktikan dengan banyaknya air yang bercecer di lantai
		Pekerja mengabaikan tata cara bekerja yang hati-hati sehingga mengakibatkan banyak ceceran air
		Pekerja mengabaikan penggunaan APD

4.4 Analisis Tahapan Produksi Industri Y

Tahapan produksi di industri Y diantaranya adalah pencucian dengan asam, pembilasan dengan air, pelapisan dengan nikel atau biasa disebut pernekel, dan pewarnaan perak. Tabel 4.20 menunjukkan data produksi yang dilakukan empat kali.

Tabel 4. 20 Data Produksi Industri Y

Pengamatan	Jumlah Produksi	
	(buah)	(kg)
1	32	3,68
2	60	3,5
3	38	3,71
4	67	4,15
Total	197	15,03
Rata-Rata	49,25	3,76

Analisis tiap tahapan produksi terdiri dari penggunaan bahan baku, air, energi, neraca massa dan neraca air, minimisasi yang sudah dilakukan, dan identifikasi permasalahan yang terdapat di industri tersebut

4.4.1 Penggunaan Bahan Baku Setiap Proses Produksi

Penggunaan bahan baku di industri Y menggunakan sistem penambahan secara terus menerus sehingga tidak melakukan proses pembuangan limbah. Tabel 4.21 menunjukkan jumlah bahan baku yang digunakan untuk satu kali proses elektroplating:

Tabel 4. 21 Jumlah Bahan Baku Yang Digunakan Untuk Satu Kali Proses Elektroplating

NO	Kegiatan	Bahan Baku	Jumlah	
			(liter)	(gram)
1	Pencucian Asam	H ₂ SO ₄	0,75	
		NH ₄	0,25	
		HCl	0,0125	
2	Pernekel	NiSO ₄		800
		NiCl ₂		200
		NiBr ₂		120
3	Pelapisan Perak	Perak Murni		2,5
		Potassium		0,25
		NH ₄		0,0125
TOTAL			1,275	1122,5

4.4.2 Kebutuhan Air Setiap Proses Produksi

Setiap tahapan elektroplating menggunakan air dengan jumlah yang tidak sedikit. Tahapan yang membutuhkan banyak air adalah tahapan pembilasan karena dilakukan berkali-kali untuk memastikan logam sudah bersih dari bahan-bahan kimia. Berikut merupakan kebutuhan air berdasarkan tiap tahapan elektroplating:

a. Pencucian Asam

Pada industri Y, pencucian asam dilakukan pada dua buah ember hitam dengan masing-masing diameter ember 40cm dan 50cm. Air yang digunakan pada tahapan pencucian tidak dibuang namun disimpan untuk proses elektroplating selanjutnya dengan penambahan bahan-bahan kimia pendukung. Tabel 4.22 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pencucian asam selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 22 Kebutuhan Air Pada Tahap Pencucian Asam

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air
	(buah)	(liter)
1	32	10,79
2	60	14,13
3	38	10,79
4	67	17,66
Total	197	53,37
Rata-Rata	49,25	13,34

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pencucian asam untuk rata-rata produksi 50 buah logam adalah 13,34 liter air.

b. Pembilasan Pencucian Asam

Pada industri Y, pembilasan pencucian asam dilakukan pada lima buah ember hitam dengan rincian 3 buah ember berdiameter 40cm dan 2 buah ember berdiameter 50cm. Tabel 4.23 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pembilasan pencucian asam selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 23 Kebutuhan Air pada Tahap Pembilasan

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air	Air yang Dibuang
	(buah)	(liter)	(liter)
1	32	140	133
2	60	144	138
3	38	143	139,2
4	67	142	134
Total	197	569	544,2
Rata-Rata	49,25	142,25	136,05

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pencucian asam untuk rata-rata produksi 50 buah logam adalah 142,25 liter air.

Sedangkan air yang dibuang rata-rata setiap harinya adalah 136,05 liter/hari.

Adanya penurunan kuantitas dari kebutuhan air yang digunakan dengan air yang dibuang diperkirakan karena adanya tumpahan saat melakukan pembilasan. Untuk menghitung kuantitas kehilangan air dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = \text{jumlah kebutuhan air rata-rata} - \text{jumlah air yang dibuang rata-rata}$$

$$\text{Kehilangan air} = 142,25 \text{ liter} - 136,05 \text{ liter}$$

$$\text{Kehilangan air} = 6,2 \text{ liter}$$

c. Pelapisan Nikel atau Pernekel

Pada industri Y, pelapisan nikel atau pernekel dilakukan pada satu buah drum dengan kapasitas 85 liter. Air dan bahan-bahan yang digunakan pada tahapan pernekel di dalam drum dapat digunakan untuk 30 kali produksi.

Tabel 4.24 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pelapisan nikel atau pernekel selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 24 Kebutuhan Air Pada Tahap Pernekel

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air
	(buah)	(liter)
1	32	2,67
2	60	2,67
3	38	2,67
4	67	2,67
Total	197	10,68
Rata-Rata	49,25	2,67

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pernekel untuk rata-rata produksi 50 buah logam atau 3,75 kg adalah 2,67 liter air.

d. Pembilasan Pernekel

Pada industri Y, pembilasan pernekel dilakukan pada empat buah ember dengan rincian satu buah ember berdiameter 40cm dan tiga buah ember berdiameter 50cm. Tabel 4.25 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pembilasan pernekel selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 25 Kebutuhan Air Pada Tahap Pembilasan Pernekel

Pengamatan	Jumlah Produksi (buah)	Kebutuhan Air (liter)	Air yang Dibuang (liter)
1	32	139,1	133,5
2	60	144	141,5
3	38	141,6	140
4	67	140	136
Total	197	564,7	551
Rata-Rata	49,25	141,175	137,6

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pencucian asam untuk rata-rata produksi 50 buah logam adalah 141,175 liter air. Sedangkan air yang dibuang rata-rata setiap harinya adalah 137,75 liter/hari.

Adanya penurunan kuantitas dari kebutuhan air yang digunakan dengan air yang dibuang diperkirakan karena adanya tumpahan saat melakukan pembilasan. Untuk menghitung kuantitas kehilangan air dengan rumus sebagai berikut:

Kehilangan air rata-rata = jumlah kebutuhan air rata-rata – jumlah air yang
dibuang rata-rata

Kehilangan air = 141,175 liter – 137,75 liter

Kehilangan air = 3,4 liter

e. Pewarnaan Perak

Pada industri Y, pewarnaan perak dilakukan pada satu buah baskom dengan diameter 36cm. Air yang digunakan pada tahapan pewarnaan tidak dibuang namun disimpan untuk proses elektroplating selanjutnya dengan penambahan bahan-bahan

kimia pendukung. Tabel 4.26 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pewarnaan perak selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 26 Kebutuhan Air Pada Tahap Pewarnaan Perak

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air
	(buah)	(liter)
1	32	3,93
2	60	5,89
3	38	4,12
4	67	4,91
Total	197	18,85
Rata-Rata	49,25	4,71

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pencucian asam untuk rata-rata produksi 50 buah logam adalah 4,71 liter air

f. Pembilasan Pewarnaan Perak

Pada industri Y, pembilasan pewarnaan perak dilakukan pada dua sampai empat ember berdiameter 40cm. Tabel 4.27 menunjukkan kebutuhan air pada tahap pembilasan pewarnaan perak selama empat kali pengamatan:

Tabel 4. 27 Kebutuhan Air Pada Tahap Pembilasan Pewarnaan

Pengamatan	Jumlah Produksi	Kebutuhan Air	Air yang Dibuang
	(buah)	(liter)	(liter)
1	32	41,2	40
2	60	41	40
3	38	57	54
4	67	76	72
Total	197	215,2	206
Rata-Rata	49,25	53,8	51,5

Berdasarkan tabel di atas, diperoleh kesimpulan bahwa kebutuhan air pada tahap pencucian asam untuk rata-rata produksi 50 buah logam adalah 53,8 liter air. Sedangkan air yang dibuang rata-rata setiap harinya adalah 51,5 liter/hari.

Adanya penurunan kuantitas dari kebutuhan air yang digunakan dengan air yang dibuang diperkirakan karena adanya tumpahan saat melakukan pembilasan. Untuk menghitung kuantitas kehilangan air dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kehilangan air rata-rata} = \text{jumlah kebutuhan air rata-rata} - \text{jumlah air yang dibuang rata-rata}$$

Kehilangan air = 53,8 liter – 51,5 liter

Kehilangan air = 2,7 liter

4.4.3 Penggunaan Energi

Industri Y menggunakan dua jenis energi yaitu energi listrik dan energi dari tabung gas. Energi listrik total yang digunakan adalah 530 watt dengan rincian 300 watt untuk kegiatan pernekel, 150 watt untuk pelapisan warna perak, dan 80 watt untuk pengeringan. Tabung gas yang digunakan selama tahapan proses elektroplating sebanyak 2 buah gas LPG 3kg untuk 3 hari dengan rincian 1 buah gas LPG untuk setiap kegiatan pernekel dan pewarnaan perak. Ringkasan singkat penggunaan energi dapat dilihat pada tabel 4.28 berikut:

Tabel 4. 28 Jumlah Energi Yang Dibutuhkan Industri Y

NO	Kegiatan	Energi Listrik	Jumlah Gas 3kg
		(watt)	(buah)
1	Pernekel	300	1 untuk 3 hari
2	Pelapisan Perak	150	1 untuk 3 hari
3	Pengeringan	80	
TOTAL		530	

4.4.4 Neraca Massa

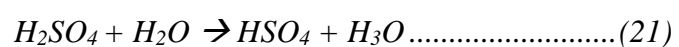
Analisis neraca massa dilakukan pada keseluruhan tahap produksi selama empat kali pengamatan dalam waktu empat hari. Neraca massa berisi bahan-bahan yang digunakan pada satu kali proses elektroplating. Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh rata-rata produksi elektroplating sebanyak 50 buah dengan berat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

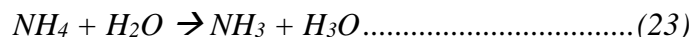
Banyaknya penggunaan bahan-bahan kimia pada tahapan elektroplating menyebabkan munculnya berbagai reaksi yang terjadi pada setiap tahapan. Berikut merupakan beberapa reaksi yang terjadi pada setiap tahapan:

a. Pencucian Asam

Bahan-bahan yang digunakan : H_2SO_4 , HCl , NH_4 , dan air.

Reaksi yang mungkin terjadi :





Terbentuknya H₃O atau yang biasa disebut ion hidronium karena adanya proses ionisasi di dalam air.

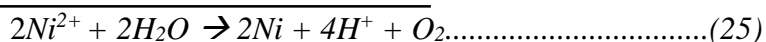
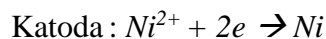
b. Pelapisan Nikel atau Pernekel

Bahan-bahan yang digunakan : NiSO₄, NiCl₂, NiBr₂, dan air.

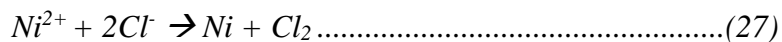
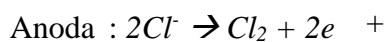
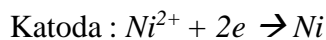
Reaksi yang mungkin terjadi :



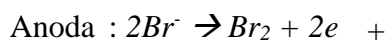
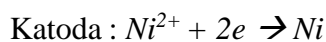
Reaksi yang terjadi pada katoda dan anoda:



Reaksi yang terjadi pada katoda dan anoda:



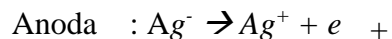
Reaksi yang terjadi pada katoda dan anoda:



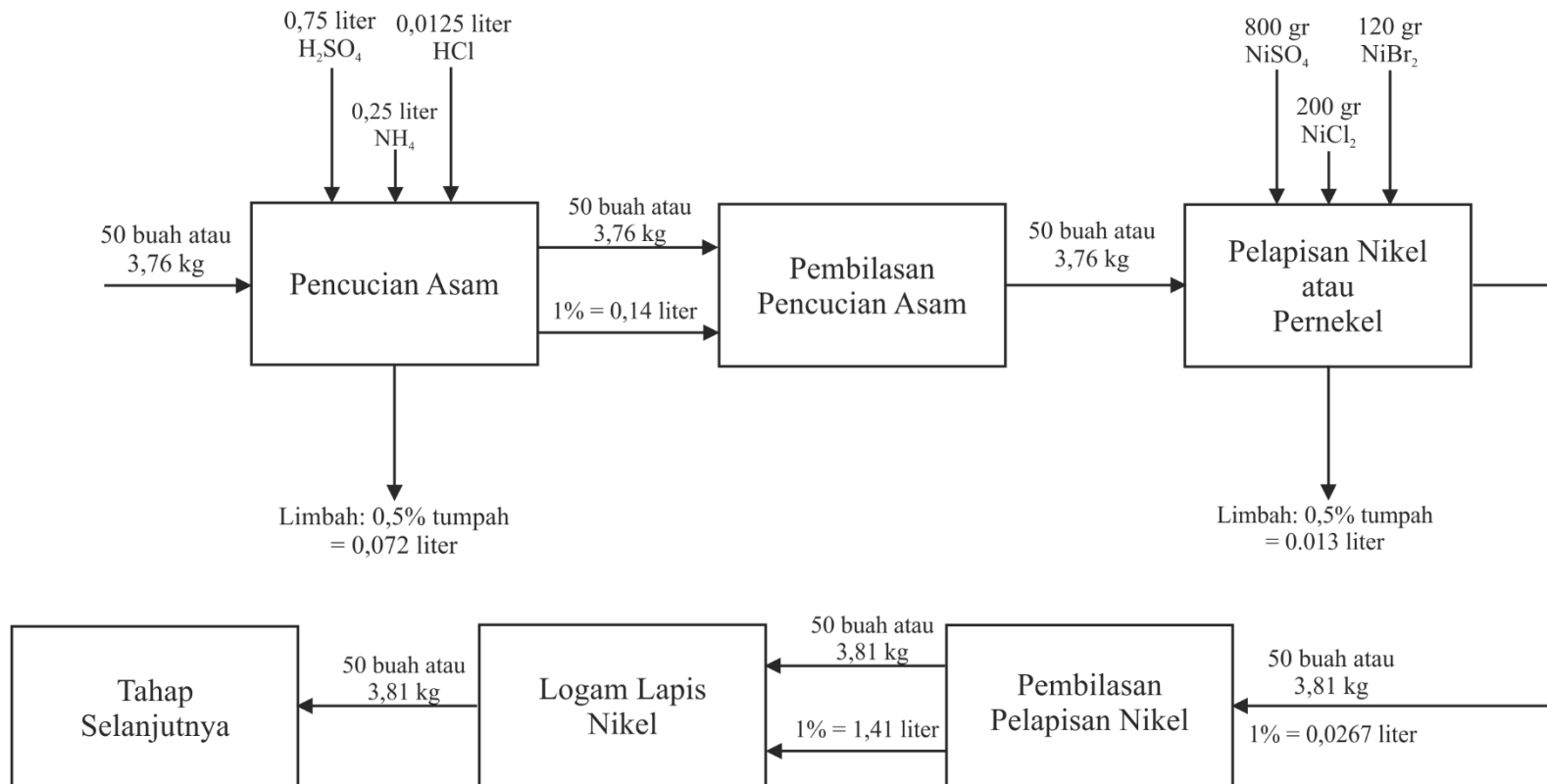
c. Pelapisan Perak

Bahan-bahan yang digunakan : Ag, K, NH₄, dan air

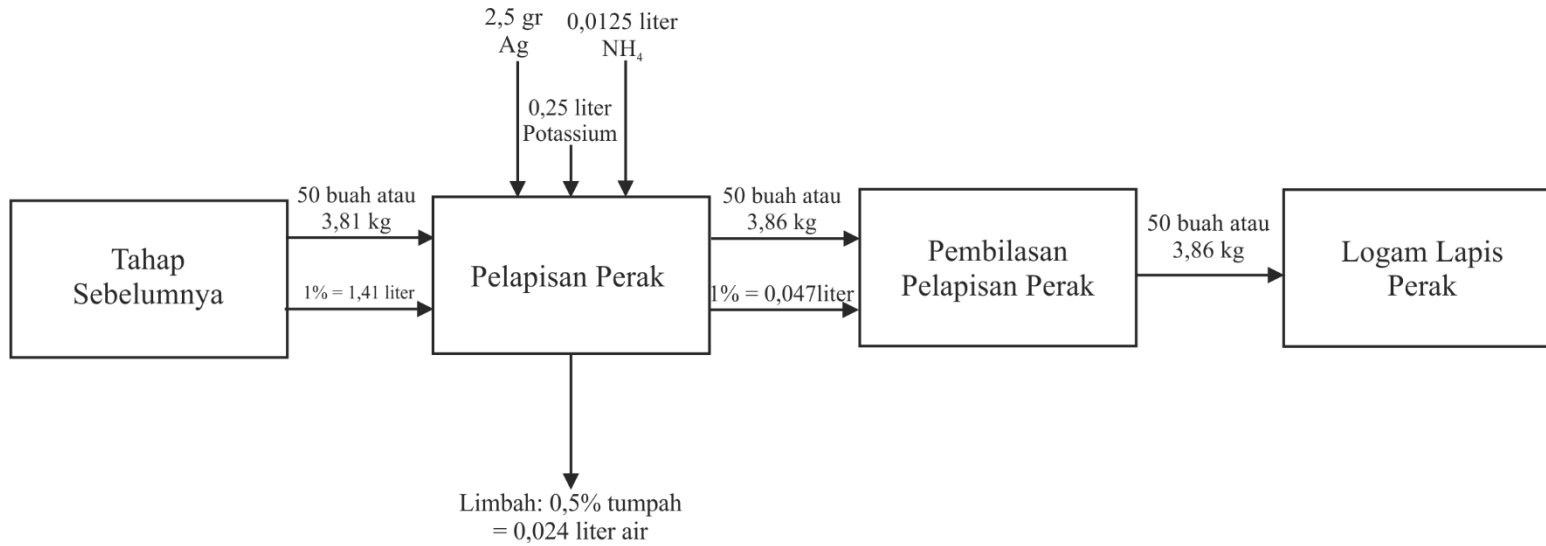
Reaksi yang mungkin terjadi :



Neraca massa pada tahapan elektroplating Y dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian awal berupa pencucian hingga pelapisan nikel dan bagian kedua merupakan pelapisan warna. Gambar 4.30 dan gambar 4.31 menunjukkan flowchart neraca massa pada industri Y:



Gambar 4. 30 Flowchart Neraca Massa Tahap Pencucian Asam Sampai Pelapisan Nikel
(Keterangan: Tahap Selanjutnya ditampilkan pada **gambar 4.31**)



Gambar 4. 31 Flowchart Neraca Massa Tahap Pencucian Asam Sampai Pelapisan Nikel
(Keterangan: Tahap Sebelumnya ditampilkan pada **gambar 4.30**)

Tabel 4.29 menunjukkan data bahan-bahan yang masuk dan output yang keluar untuk satu kali tahapan elektroplating:

Tabel 4. 29 Data Kuantitas Bahan, dan Output Pada Tahap Elektroplating

No	Kegiatan	Input			Output	Tumpah (liter)	Tahap Selanjutnya (liter)	Air dan Bahan Tersimpan (liter)
		Bahan Baku	Jumlah		Produk			
			(liter)	(gram)	(buah)			
1	Pencucian Asam	50 Logam Kotor H ₂ SO ₄ NH ₄ HCl Air	0.75 0.25 0.0125 13.34		50 Logam Bersih	0.072	0.14	14.1
2	Pelapisan Nikel	50 Logam Bersih NiSO ₄ NiCl ₂ NiBr ₂ Air		800 200 120	50 Logam Lapis Nikel	0.013	0.0267	2.63
3	Pelapisan Warna Perak	50 Logam Lapis Nikel Perak Murni Potassium NH ₄ Air	2.5 0.25 0.00125 4.71		50 Logam Lapis Perak	0.024	0.0471	4.90
Jumlah		21.995		50 Logam Lapis Perak	0.109	0.217	21.669	
					0.326		21.669	
					21.995			

Berdasarkan tabel di atas, kuantitas *input* sebenarnya tidak sama dengan *output* yang dihasilkan karena adanya bahan yang disimpan untuk tahapan selanjutnya. Namun apabila kuantitas *output* yang dihasilkan dijumlahkan dengan kuantitas air yang disimpan maka akan diperoleh hasil yang seimbang.

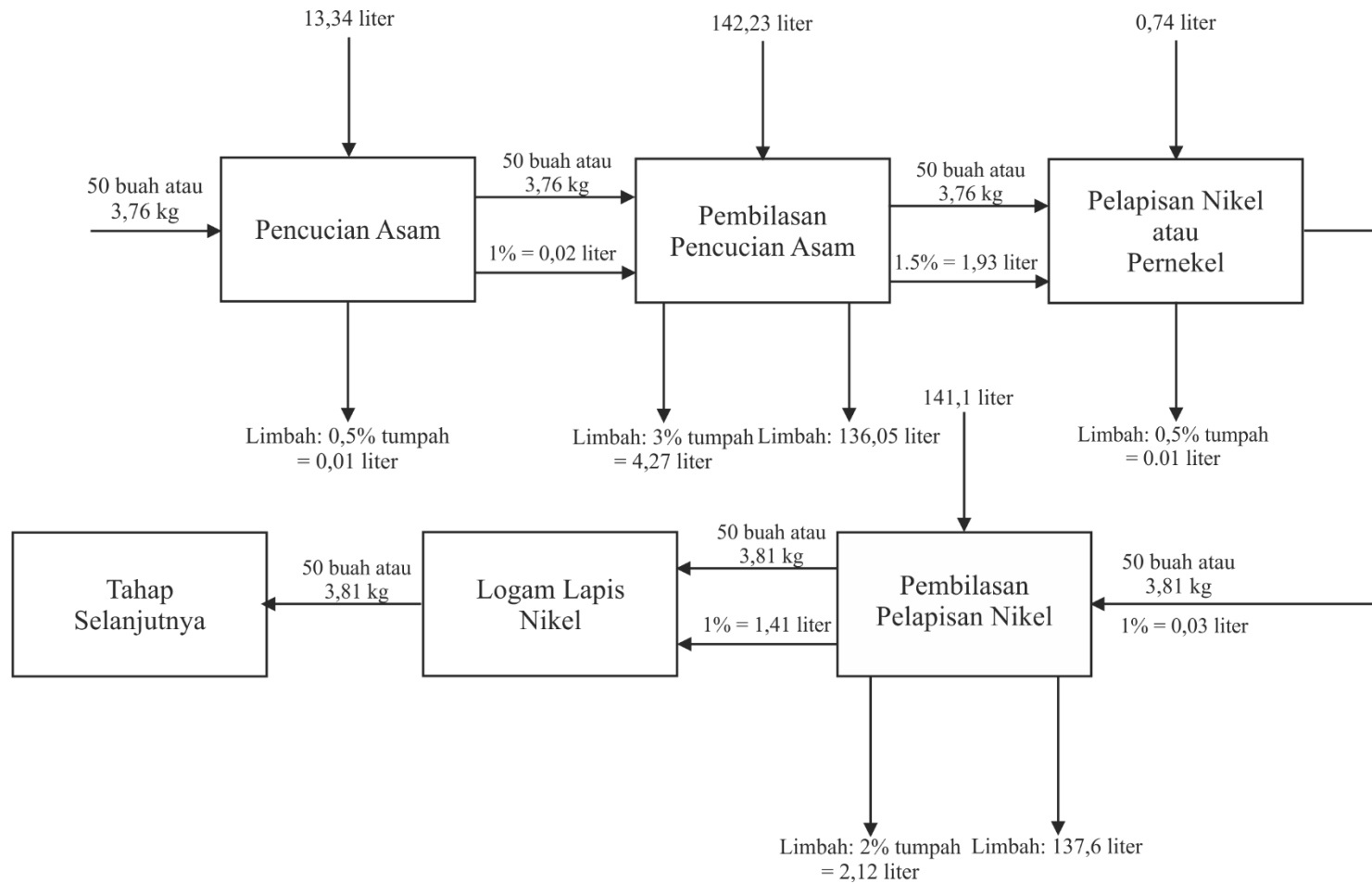
4.4.5 Neraca Air

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. Berdasarkan hasil pengamatan diperoleh rata-rata produksi elektroplating sebanyak 50 buah dengan berat 3,76 kg.

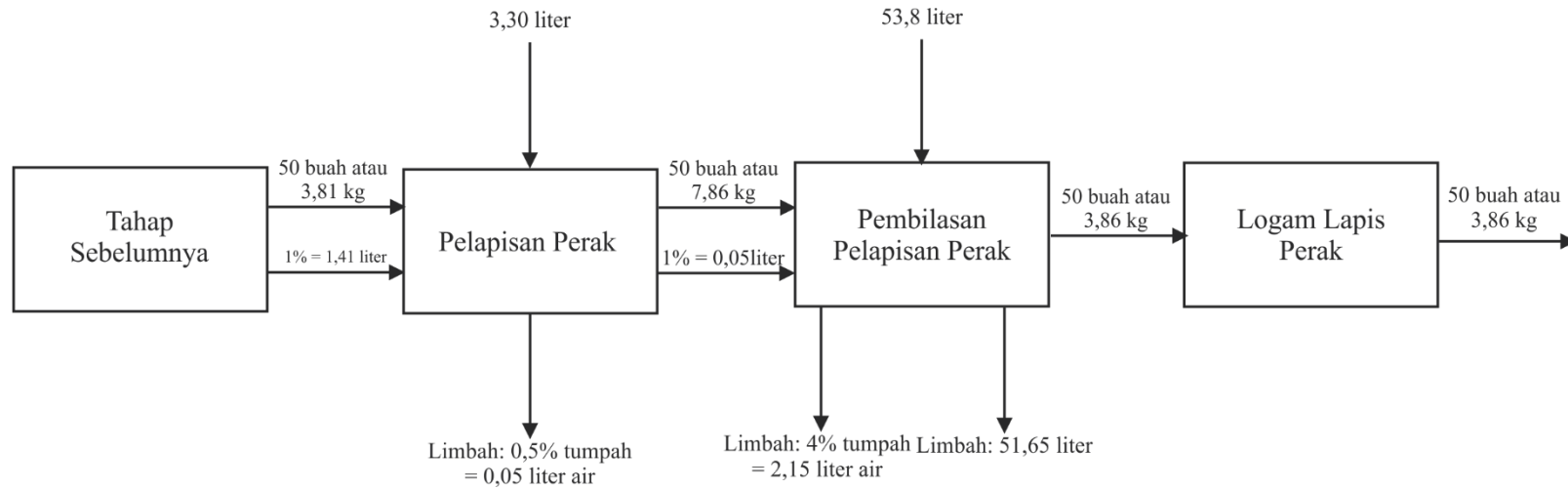
Limbah cair pada kegiatan elektroplating hanya dihasilkan dari tahapan pembilasan, baik pembilasan pencucian asam, pembilasan pernekel, dan pembilasan pelapisan warna. Adanya tumpahan air atau *loss* diakibatkan karena tata cara pekerja yang kurang teratur. Banyaknya cecean air atau inefisiensi terjadi akibat pemindahan dari wadah pembilasan satu ke yang lain tanpa ditiriskan terlebih dahulu. Tata letak antar tahapan juga tidak teratur sehingga mengakibatkan banyaknya cecean air pada proses pemindahan.

Asumsi persentase yang digunakan untuk menghitung persentase kuantitas air yang tumpah dan ikut ke tahap selanjutnya berdasarkan pengamatan langsung di lapangan.

Gambar 4.32 dan gambar 4.33 menunjukkan flowchart neraca air pada industri Y:



Gambar 4. 32 Flowchart Neraca Air Tahap Pencucian Asam Sampai Pelapisan Nikel
(Keterangan: Tahap Selanjutnya ditampilkan pada **gambar 4.33**)



Gambar 4. 33 Flowchart Neraca Air Tahap Pelapisan Warna Perak
(Keterangan: Tahap Sebelumnya ditampilkan pada **gambar 4.32**)

Tabel 4.30 menunjukkan data jumlah air yang masuk, output yang keluar, dan juga jumlah kehilangan air untuk satu kali pengamatan proses elektroplating:

Tabel 4. 30 Data Kuantitas Bahan, Input, dan Output Pada Tahap Elektroplating

No	Kegiatan	Input		Output				Disimpan
		Bahan Baku	Jumlah	Produk	Tumpah	Tahap Selanjutnya	Dibuang	
			(liter)					
1	Pencucian Asam	50 Logam Kotor Air	13.54	50 Logam Bersih	0.07	0.1354		13.34
2	Pembilasan Pencucian Asam	50 Logam Bersih Air	142.23	50 Logam Bersih	4.27	2.133	136	
3	Pelapisan Nikel	50 Logam Bersih Air	2.67	50 Logam Lapis Nikel	0.013	0.03		2.63
4	Pembilasan Pelapisan Nikel	50 Logam Lapis Nikel Air	141.4	50 Logam Lapis Nikel	4.2	1.4	135.74	
5	Pelapisan Warna Perak	50 Logam Lapis Nikel Air	4.7	50 Logam Lapis Perak	0.0235	0.047		4.63
6	Pembilasan Pelapisan Perak	50 Logam Lapis Perak Air	53.8	50 Logam Lapis Perak	2.152	0.538	51.1	
Jumlah			358.34	132 Logam Disepuh	10.77	4.29	322.68	20.60
			358.34		337.74			20.60
			358.34					

Berdasarkan tabel di atas, kuantitas *input* sebenarnya tidak sama dengan *output* yang dihasilkan karena adanya beberapa tahapan yang tidak melakukan pembuangan air. Namun apabila kuantitas *output* yang dihasilkan dijumlahkan dengan kuantitas air yang disimpan maka akan diperoleh hasil yang seimbang. Adanya tumpahan air atau *loss* diakibatkan karena tata cara pekerja yang kurang teratur. Banyaknya ceceran air atau inefisiensi terjadi akibat pemindahan dari wadah pembilasan satu ke yang lain tanpa ditiriskan terlebih dahulu. Tata letak antar tahapan juga tidak teratur sehingga mengakibatkan banyaknya ceceran air pada proses pemindahan.

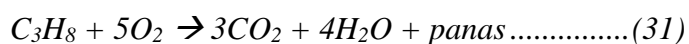
4.4.6 Neraca Energi

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

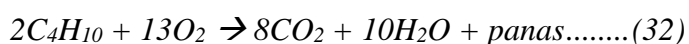
Gas LPG (*Liquified Petroleum Gas*) terdiri dari senyawa hidrokarbon dimana unsur dari senyawa tersebut adalah unsur hidrogen dan karbon dengan nilai kalor sebesar 21.000 BTU/lb. Komponen yang terdapat dalam LPG adalah senyawa propana C₃H₈, propana C₃H₆, butana C₄H₁₀, dan butena C₄H₈. Untuk LPG yang beredar di masyarakat adalah LPG dengan komponen utama berupa gas propana (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀) atau biasa disebut *Mix* LPG dengan perbandingan propana : butana sebesar 30 : 70 (Syukur, 1968).

Apabila propana dan butana mengalami reaksi pembakaran sempurna, maka akan terjadi reaksi sebagai berikut:

Reaksi Pembakaran Propana:



Reaksi Pembakaran Butana:



Rapat jenis energi propana adalah sebesar 46,44 megajoule/kilogram dengan massa jenis propana pada suhu 25°C adalah 0,493 gram/cm³. Sedangkan untuk rapat jenis energi butana adalah 27,7 megajoule/liter dengan massa jenis butana pada suhu 25°C adalah 0,00248 gram/cm³. Apabila jumlah oksigen kurang mencukupi untuk pembakaran sempurna, maka pembakaran propana dan butana akan menghasilkan air, karbon monoksida, dan karbon dioksida (Haswoto et al., 2017).

Untuk menghitung emisi CO₂ menggunakan pendekatan melalui faktor emisi dan *Net Calorific Volume* (NCV) bahan bakar LPG, sebagaimana tabel 4.31 berikut:

Tabel 4. 31Faktor Emisi dan NCV Bahan Bakar LPG

Bahan Bakar	Faktor Emisi	NCV
LPG	63,1	47,3

dengan rumus perhitungan yang digunakan yaitu;

$$\text{Emisi CO}_2 = a \times \text{EF} \times \text{NCV}$$

dimana,

Emisi CO₂ : total emisi CO₂ (gram karbon)

a : konsumsi LPG (kg)

EF : faktor emisi (gram karbon/MJ)

NCV : Berat bersih LPG (MJ/kg)

(Afiuddin & Priastuti, 2016).

Berikut merupakan perhitungan emisi CO₂ dan energi panas yang dihasilkan dari pembakaran propana dan butana:

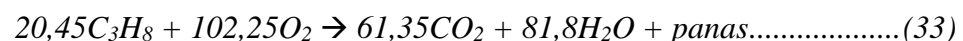
a. Pembakaran Propana

- Massa propana $= \frac{30}{100} \times 3\text{kg}$
 $= 0,9 \text{ kg} = 900\text{gram}$

- $\rho = 0,493 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3}$

- $\text{mol} = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} = \frac{900}{44} = 20,45 \text{ mol}$

- perhitungan energi panas:



Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran propana adalah:

$$0,9 \text{ kg} \times 46,44 \frac{\text{megajoule}}{\text{kg}} = 41,8 \text{ megajoule.}$$

- Perhitungan emisi CO₂:

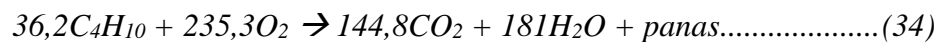
Nilai mol CO₂ berdasarkan reaksi adalah 61,35 mol.

$$\begin{aligned} \text{massa} &= \text{mol} \times \text{Mr} &&= 61,35\text{mol} \times 44 \\ &&&= 2699,4\text{gr CO}_2 \\ &&&= 2,7\text{kg CO}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= 2,7\text{kg} \times 63,1 \frac{\text{grCO}_2}{\text{MJ}} \times 47,3 \frac{\text{megajoule}}{\text{kg}} \\ \text{Emisi CO}_2 &= 8058 \text{ gr CO}_2 \\ \text{Emisi CO}_2 &= 8,058 \text{ kg CO}_2 \end{aligned}$$

b. Pembakaran Butana

- Massa propana = $\frac{70}{100} \times 3\text{kg} = 2,1 \text{ kg} = 2100\text{gram}$
- $\rho = 0,00248 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3}$
- $\text{mol} = \frac{\text{massa}}{\text{Mr}} = \frac{2100}{58} = 36,2 \text{ mol}$
- Perhitungan energi panas:



Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran butana adalah:

$$\begin{aligned} \text{Volume butane} &= \frac{\text{massa}}{\text{massa jenis}} = \frac{2100 \text{ gram}}{0,00248 \frac{\text{gram}}{\text{cm}^3}} \\ &= 80645,2 \text{ cm}^3 = 80,64 \text{ liter} \end{aligned}$$

$$80,64 \text{ liter} \times 27,7 \frac{\text{megajoule}}{\text{liter}} = 2233,73 \text{ megajoule.}$$

- Perhitungan emisi CO₂ :

Nilai mol CO₂ berdasarkan reaksi adalah 144,8 mol.

$$\begin{aligned} \text{massa} &= \text{mol} \times \text{Mr} = 144,8\text{mol} \times 58 = 8398,4\text{gr CO}_2 \\ &= 8,4\text{kg CO}_2 \end{aligned}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 8,4\text{kg} \times 63,1 \frac{\text{grCO}_2}{\text{MJ}} \times 47,3 \frac{\text{megajoule}}{\text{kg}}$$

$$\text{Emisi CO}_2 = 25070,9 \text{ gr CO}_2$$

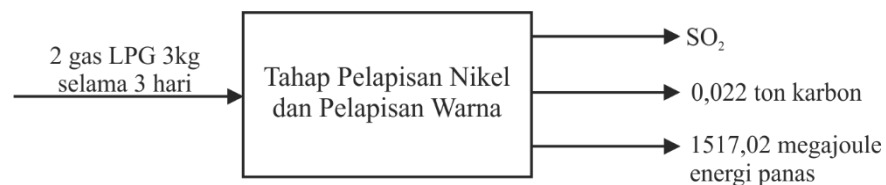
$$\text{Emisi CO}_2 = 25,0709 \text{ kg CO}_2$$

Berdasarkan uraian hitungan di atas diperoleh hasil bahwa total emisi CO₂ yang dihasilkan dari 1 buah LPG 3kg sebesar total jumlah emisi CO₂ propana dan butana yaitu sebesar 33128,9 gram karbon dengan energi panas yang dihasilkan sebesar 2275,53 megajoule. Untuk industri Y menggunakan 2 buah gas LPG untuk 3hari maka,

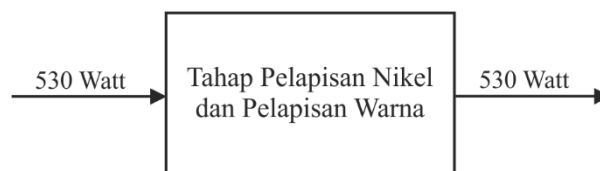
$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 &= \frac{2}{3} \times 33128,9 \text{ gram karbon} \\ &= 22085,94 \text{ gram karbon} \\ &= 0,022 \text{ ton karbon} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi } \frac{2}{3} \text{ gas LPG} &= \frac{2}{3} \times 2275,53 \text{ megajoule} \\ &= 1517,02 \text{ megajoule} \end{aligned}$$

Menurut penelitian yang dilakukan oleh "Haryanto & Triyono, 2012" diperoleh bahwa tidak ada emisi CO dan NO₂ pada gas LPG yang diujikan pada kompor gas, maka terindikasi bahwa telah terjadinya pembakaran sempurna. Namun emisi SO₂ teramati akibat LPG yang dipasarkan di Indonesia mengandung merkaptan dimana merkaptan memang sengaja ditambahkan untuk menciptakan bau busuk guna mengetahui bila adanya kebocoran (Haryanto & Triyono, 2012). Gambar 4.34 dan gambar 4.35 merupakan neraca energi pada industri X:



Gambar 4. 34 Neraca Energi Gas LPG Pada Industri Y



Gambar 4. 35 Neraca Energi Listrik Pada Industri Y

4.4.7 Identifikasi Permasalahan dari Berbagai Aspek

Permasalahan yang diidentifikasi mencakup aspek bahan baku, limbah, dan tata laksana kegiatan produksi. Industri Y tidak melakukan pendataan mengenai kuantitas bahan-bahan yang digunakan. Pendataan kuantitas bahan-bahan tidak dilakukan karena dirasa lebih cepat menggunakan prakiraan dibandingkan harus menimbang terlebih dahulu. Untuk pendataan jumlah pesanan dan pengerjaan yang dilakukan setiap harinya sudah dilakukan pencatatan namun belum dilakukan secara rutin. Seharusnya pendataan kuantitas bahan-bahan yang digunakan dilakukan pengukuran yang akurat untuk menghindari terjadinya pemborosan dalam penggunaan dan mengenai pendataan pesanan yang masuk juga rutin dilakukan.

Kegiatan elektroplating yang menggunakan air dengan kuantitas tidak sedikit juga tidak diimbangi dengan pengolahan dan upaya minimisasi. Tindakan yang terburu-buru kerap mengakibatkan banyaknya air yang tumpah dan berceceran di lantai. Pekerja sudah menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) berupa sarung tangan karet dan juga sepatu *boot* walaupun dalam melakukan kegiatan elektroplating hanya menggunakan kaos berlengan pendek dan juga celana di atas lutut. Tabel 4.32 menunjukkan permasalahan-permasalahan yang teridentifikasi :

Tabel 4. 32 Identifikasi Permasalahan di Industri Y

No	Aspek	Permasalahan
1	Bahan Baku	Tidak adanya pendataan kuantitas bahan-bahan yang digunakan untuk kegiatan elektroplating
2	Kuantitas Air	Tidak adanya ketentuan dan pendataan mengenai kuantitas air bersih yang digunakan pada setiap tahapan elektroplating
3	Limbah	Belum adanya upaya pengolahan limbah cair hasil proses produksi
4	Tata Laksana	Pendataan proses kegiatan elektroplating yang dilakukan setiap harinya belum dicatat secara rutin
		Pekerja sudah paham akan APD namun masih menggunakan kaos pendek dan celana pendek dalam melakukan pengerjaan elektroplating
		Tidak adanya upaya penggunaan air seminimal mungkin, dibuktikan dengan banyaknya air yang bercecer di lantai

4.5 Perbandingan Analisis Industri X dan Y

Setelah dilakukan analisis terhadap masing-masing industri, terdapat beberapa tahapan yang dapat dibandingkan. Perbandingan kedua industri dilakukan untuk menilai industri mana yang lebih hemat dalam penggunaan air dan jumlah limbah cair yang dibuang dengan jumlah pengerjaan elektroplating yang dilakukan kedua industri. Rata-rata produksi industri X adalah 132 buah dengan berat 13,27 kg sedangkan rata-rata produksi industri Y adalah 50 buah dengan berat 3,76 kg. Tahapan yang sama-sama dilakukan oleh kedua industri adalah pencucian asam, pembilasan pencucian, pernekel, pembilasan pernekel, pewarnaan perak, dan juga pembilasan pewarnaan perak.

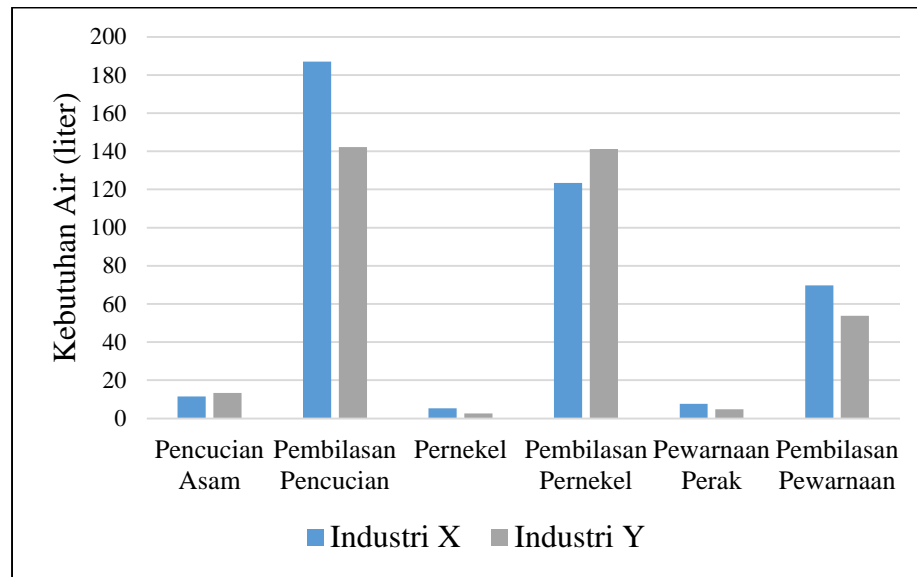
4.5.1 Perbandingan Kebutuhan Air

Tabel 4.33 menunjukkan perbandingan kebutuhan air yang digunakan dari masing-masing industri:

Tabel 4. 33 Perbandingan Kebutuhan Air Industri X dan Y

NO	Kegiatan	Industri X	Industri Y
		(liter)	(liter)
1	Pencucian Asam	11.50	13.34
2	Pembilasan Pencucian	187	142.25
3	Pernekel	5.34	2.67
4	Pembilasan Pernekel	123.375	141.175
5	Pewarnaan Perak	7.6	4.71
6	Pembilasan Pewarnaan	69.8	53.8

Apabila ditampilkan dalam bentuk grafik maka akan terlihat sebagai berikut:



Gambar 4. 36 Perbandingan Kebutuhan Air Tahapan Elektroplating Industri X dan Y

Berdasarkan gambar di atas, tahapan yang banyak menggunakan air adalah tahapan pembilasan pencucian asam yang dilakukan pada industri X. Hal tersebut dikarenakan menggunakan jumlah wadah besar lebih banyak dibandingkan pada industri Y. Selain itu kegiatan pembilasan pencucian asam juga perlu dilakukan berulang kali untuk meluruhkan zat-zat kimia dari pencucian asam. Sedangkan penggunaan air paling sedikit adalah pada tahap pelapisan nikel. Hal tersebut dikarenakan tahapan pernekel menggunakan drum besar yang biasanya digunakan untuk 30 kali produksi.

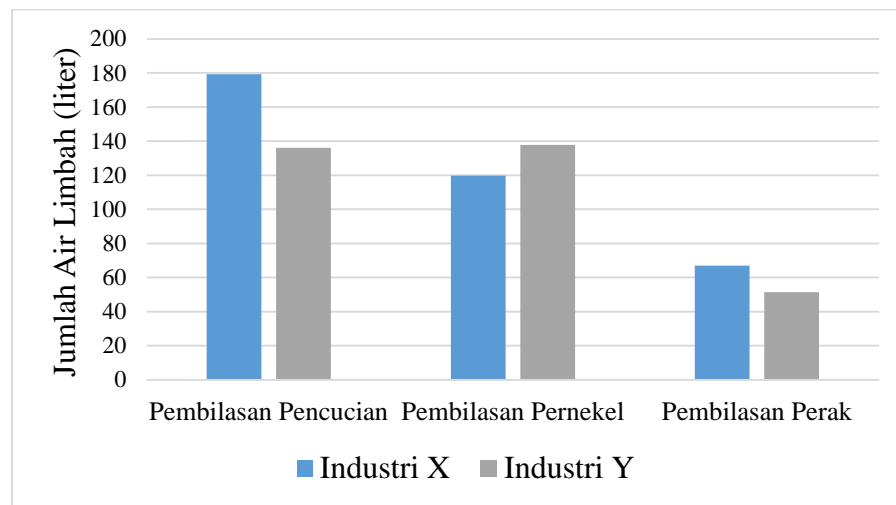
4.5.2 Perbandingan Air Limbah Yang Dibuang

Berikut merupakan perbandingan air limbah yang dibuang dari masing-masing industri:

Tabel 4. 34 Perbandingan Air Limbah Yang Dibuang Industri X dan Y

NO	Kegiatan	Industri X	Industri Y
		(liter)	(liter)
1	Pembilasan Pencucian	174,7	136.05
2	Pembilasan Pernekel	118,37	137.75
3	Pembilasan Perak	67	51.5

Apabila ditampilkan dalam bentuk grafik maka akan terlihat sebagai berikut:



Gambar 4.37 Perbandingan Pembilasan Pencucian Asam Industri X dan Y

4.5.3 Permasalahan Pada Industri X dan Y

Berdasarkan identifikasi masalah di tiap industri seperti yang dijelaskan pada poin 4.3.6 dan 4.4.6 diambil kesimpulan bahwa permasalahan yang teridentifikasi pada kedua industri hampir sama. Permasalahan tersebut dilihat dari aspek bahan baku, kuantitas air, limbah, dan juga tata laksana. Tabel 4.35 menunjukkan perbandingan permasalahan yang teridentifikasi pada industri X dan Y :

Tabel 4.35 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

No	Aspek	Industri X	Industri Y
	Tata Laksana	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.

4.6 Alternatif Minimisasi Limbah Yang Ditawarkan

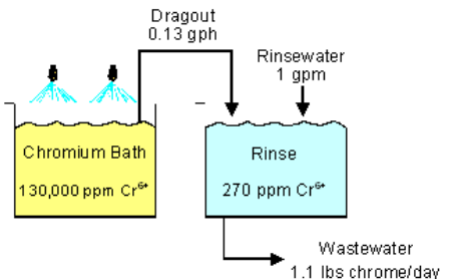
Melalui analisa dari studi literatur yang dilakukan diperoleh beberapa alternatif minimisasi yang bisa ditawarkan bagi industri elektroplating X dan Y. Alternatif tersebut kemudian diberi skor compatibility berdasarkan kriteria sebagai berikut:

- *) 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,-.

Berikut merupakan beberapa rincian alternatif yang ditawarkan:

Tabel 4. 36 Beberapa Alternatif Minimisasi Yang Ditawarkan

No	Tahapan Elektroplating	Waste Management	Rincian Minimisasi	Referensi	Pertimbangan		Skoring Kompatibilitas
					Keuntungan	Kerugian	
1	Pencucian Dengan Asam	<i>Rethink</i>	Mengganti larutan bahan pencucian asam seperti HCl dan H ₂ SO ₄ dengan asam jawa atau lerak	(Fatmawati , 2013)	pH yang dihasilkan pada hasil samping lebih aman (6 – 7) dibandingkan dengan menggunakan larutan asam.	Membutuhkan waktu yang lama yaitu 24 jam untuk memperoleh pembersihan yang maksimal (Fatmawati, 2013).	***
					Harga buah lerak lebih terjangkau dibandingkan dengan harga larutan asam sehingga dengan penggunaan buah lerak sebagai pengganti bahan pencucian asam tidak memakan biaya yang tinggi	Tingkat produktivitas industri dapat menurun akibat durasi yang cukup panjang untuk pencucian dengan buah lerak.	

No	Tahapan Elektroplating	Waste Management	Rincian Minimisasi	Referensi	Pertimbangan		Skoring Kompatibilitas
					Keuntungan	Kerugian	
	Pencucian Dengan Asam	<i>Reduce</i>	Membiarkan air logam menetes pada bak pencucian asam sebelum pindah ke bak selanjutnya	(Babu, Bhanu, & Meera, 2009)	Mencegah terjadinya kontaminasi pada proses selanjutnya Dapat mengurangi jumlah kebutuhan air sampai 5% pada tahapan selanjutnya (pembilasan) karena bahan-bahan kimia sudah luruh dan dibiarkan menetes pada bak pencucian asam	Membutuhkan waktu untuk menunggu tetesan dari logam	***
2	Pembilasan	<i>Recovery</i>	Menggunakan teknik semprot atau <i>spray rinsing</i> pada tahap pembilasan 	(Melendez & McDonald, 2015)	Kontaminasi bahan-bahan kimia pada air pembilasan akan lebih sedikit sehingga tidak membutuhkan proses pembilasan berulang-ulang	Membutuhkan biaya untuk memodifikasi atau membuat alat untuk <i>spray rinsing</i>	*

No	Tahapan Elektroplating	Waste Management	Rincian Minimisasi	Referensi	Pertimbangan		Skoring Kompatibilitas
					Keuntungan	Kerugian	
					Kuantitas air yang digunakan tidak begitu banyak sehingga mampu mengurangi limbah cair yang dihasilkan		
3	Pelapisan Nikel	<i>Recovery</i>	Mengendapkan dengan kapur pada pH 12 atau dengan ferrosulfat pH10.	(Said, 2010)	Mampu menurunkan konsentrasi nikel sampai 0,01 mg/l	Membutuhkan waktu untuk membersihkan ataupun mengolah endapan yang dihasilkan	***
		<i>Recovery</i>	Menggunakan teknologi pengolahan elektrokoagulasi dengan elektroda besi dan aluminium	(Akbal & Camcidotless, 2011) (Dwi & Prihartanti, 2012)	Mampu menghilangkan kandungan nikel dalam air limbah hingga persentase 100% Mampu menghilangkan kandungan nikel dalam air limbah hingga persentase 99%	Membutuhkan biaya pembuatan, operasional, dan perawatan. Elektroda pada elektrokoagulasi juga perlu dicek secara berkala.	*

No	Tahapan Elektroplating	Waste Management	Rincian Minimisasi	Referensi	Pertimbangan		Skoring Kompatibilitas
					Keuntungan	Kerugian	
4	Pelapisan Perak	<i>Reuse</i>	Tetes larutan elektrolit (<i>drag out</i>) ditampung pada bak penampung untuk kemudian digunakan kembali	(Menghemat larutan dan bahan kimia pendukung yang digunakan hingga 5%	Membutuhkan waktu yang tidak sebentar untuk menunggu tetesan logam	***
		<i>Reuse</i>	Menambahkan larutan NaOH agar terbentuk sludge dan menambahkan HNO ₃ agar larutan dapat digunakan kembali	(Istiyono & Aprian, 2008)	Setelah diendapkan dengan NaOH dan ditambahkan HNO ₂ maka akan terbentuk larutan elektrolit AgNO ₃ .	Membutuhkan waktu untuk membersihkan ataupun mengolah endapan yang dihasilkan	***
		<i>Recycle</i>	Menggunakan metode pengendapan dengan menambahkan PAC atau allum (tawas) agar terbentuk endapan	(Istiyono & Aprian, 2008)	Endapan yang diperoleh mampu dimanfaatkan sebagai campuran bahan pembuatan batu bata dan keramik	Membutuhkan waktu untuk membersihkan ataupun mengolah endapan yang dihasilkan	***

No	Tahapan Elektroplating	Waste Management	Rincian Minimisasi	Referensi	Pertimbangan		Skoring Kompatibilitas
					Keuntungan	Kerugian	
	Pelapisan Perak	<i>Recovery</i>	Menggunakan teknologi pengolahan elektrokoagulasi dengan elektroda besi	(V. Figueroa Martinez, R. Parga Torres, L. Valenzuela García, C. Tiburcio Munive, & González Zamarripa, 2012)	Mampu menghilangkan kandungan perak dalam air limbah hingga persentase 99,93%	Membutuhkan biaya pembuatan, operasional, dan perawatan; dan elektroda dicek secara berkala	*
5	Pelapisan Emas	<i>Recovery</i>	Menggunakan teknologi pengolahan elektrokoagulasi dengan elektroda besi	(V. Figueroa Martinez et al., 2012)	Mampu menghilangkan kandungan emas dalam air limbah hingga persentase 99,24%	Membutuhkan biaya pembuatan, operasional, dan perawatan; dan elektroda dicek secara berkala	*
6	Pelapisan Krom	<i>Recovery</i>	Menggunakan teknologi pengolahan elektrokoagulasi dengan menggunakan elektroda besi	(Tezcan Un, Onpeker, & Ozel, 2017)	Lumpur yang dihasilkan dari pengolahan dengan menggunakan elektrokoagulasi mampu digunakan sebagai bahan keramik	Membutuhkan biaya pembuatan, operasional, & perawatan; berpotensi membutuhkan penggunaan listrik; elektroda diganti berkala	*

No	Tahapan Elektroplating	Alternatif Minimisasi	Rincian Minimisasi	Referensi	Pertimbangan		Skoring Kompatibilitas
					Keuntungan	Kerugian	
	Pelapisan Krom	<i>Rethink</i>	Mengganti krom heksavalen dengan krom trivalen	(Babu et al., 2009)	Endapan yang dihasilkan mampu dimanfaatkan sebagai bahan pendukung pembuatan batu bata	Limbah yang dihasilkan walaupun sudah menggunakan krom trivalen tetap bersifat toxic. Selain itu, daya tahan aus saat menggunakan krom trivalen tidak begitu lama	**
		<i>Recycle</i>	Pengambilan senyawa krom dengan metode pengentalan. pH larutan diturunkan (mendekati 3) dengan penambahan sulfat, kemudian ditambahkan ferro sulfat agar menjadi krom trivalen. Kemudian krom trivalen diberi kapur agar terbentuk endapan	(Said, 2010)			

4.7 Alternatif Minimisasi Limbah 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

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

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 4. 37 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.

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 4. 38 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

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 kontaminasi 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. 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 4. 39 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