

# LAMPIRAN



Lampiran 1. Data hasil elektrolisis variasi potensial listrik eksternal

Potensial Listrik (V)	Massa Endapan (g)	Ciri Fisik Endapan
1,0	0,7845	Merah bata, melekat kuat pada katoda.
1,5	0,8448	Merah bata, melekat kuat pada katoda.
2,0	1,1150	Merah bata, melekat kuat pada katoda.
2,5	1,2128	Merah bata, melekat rapuh pada katoda.
3,0	1,2669	Merah bata, melekat rapuh pada katoda.



Lampiran 2. Data hasil elektrolisis variasi waktu elektrolisis

Waktu Elektrolisis (menit)	Massa Endapan (g)	Ciri Fisik Endapan
40	0,0074	Merah bata, melekat kuat pada katoda.
60	0,0581	Merah bata, melekat kuat pada katoda.
80	1,4643	Merah bata, melekat agak kuat pada katoda.
100	1,8987	Merah bata, melekat rapuh pada katoda.
120	2,1178	Merah bata, melekat rapuh pada katoda.



Lampiran 3. Perhitungan dan data hasil perhitungan massa endapan variasi potensial listrik eksternal

Cara perhitungan:

$$\begin{aligned} M_{\text{endapan}} &= \text{Massa endapan} \\ &= (\text{Massa endapan-katoda}) - (\text{Massa katoda awal}) \\ &= M_{\text{total}} - M_{\text{katoda}} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan:

Massa katoda dan endapan,  $M_{\text{total}}$ , pada elektrolisis 1,0 V adalah 5,8190 g dan massa katoda awal,  $M_{\text{katoda}}$ , adalah 5,0345 g. Maka, massa endapan yang diperoleh:

$$\begin{aligned} M_{\text{endapan}} &= M_{\text{total}} - M_{\text{katoda}} \\ &= 5,8190 - 5,0345 \text{ g} \\ &= 0,7845 \text{ g} \end{aligned}$$

Cara perhitungan yang sama dilakukan untuk hasil elektrolisis selanjutnya, seperti tercantum pada Tabel berikut:

Data perhitungan massa endapan hasil elektrolisis variasi potensial listrik eksternal

Potensial listrik Eksternal (V)	Massa Total (g)	Massa Katoda (g)	Massa Endapan (g)
1,0	5,8190	5,0345	0,7845
1,5	5,8301	4,9853	0,8448
2,0	6,0865	4,9715	1,1150
2,5	6,1172	4,9044	1,2128
3,0	6,2880	5,0211	1,2669

Lampiran 4. Perhitungan dan data hasil perhitungan massa endapan  
variasi waktu elektrolisis

Cara perhitungan:

$$\begin{aligned} M_{\text{endapan}} &= \text{Massa endapan} \\ &= (\text{Massa endapan-katoda}) - (\text{Massa katoda awal}) \\ &= M_{\text{total}} - M_{\text{katoda}} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan:

Massa katoda dan endapan,  $M_{\text{total}}$ , pada elektrolisis selama 40 menit adalah 4,9273 g dan massa katoda awal,  $M_{\text{katoda}}$ , adalah 4,9199 g. Maka, massa endapan yang diperoleh:

$$\begin{aligned} M_{\text{endapan}} &= M_{\text{total}} - M_{\text{katoda}} \\ &= 4,9273 - 4,9199 \text{ g} \\ &= 0,0074 \text{ g} \end{aligned}$$

Cara perhitungan yang sama dilakukan untuk hasil elektrolisis selanjutnya, seperti tercantum pada Tabel berikut:

Data perhitungan massa endapan hasil elektrolisis  
variasi waktu elektrolisis

Waktu Elektrolisis (menit)	Massa Total (g)	Massa katoda (g)	Massa Oksida (g)
40	4,9273	4,9199	0,0074
60	5,0102	4,9521	0,0581
80	6,4854	5,0211	1,4643
100	6,9958	5,0971	1,8987
120	7,0770	4,9592	2,1178

Lampiran 5. Data penurunan kuat arus variasi potensial listrik eksternal

Waktu Observasi (menit ke-)	Kuat Arus Observasi (A)				
	1,0 V	1,5 V	2,0 V	2,5 V	3,0 V
10	0,200	0,220	0,240	0,145	0,165
20	0,100	0,150	0,225	0,125	0,155
30	0,080	0,100	0,130	0,120	0,185
40	0,075	0,095	0,100	0,090	0,180
50	0,065	0,090	0,060	0,080	0,175
60	0,060	0,080	0,060	0,070	0,170
70	0,060	0,060	0,060	0,060	0,105



Lampiran 6. Data penurunan kuat arus variasi waktu elektrolisis

Waktu Observasi (menit ke-)	Kuat Arus Observasi (A)				
	40 menit	60 menit	80 menit	100 menit	120 menit
10	0,225	0,225	0,225	0,235	0,225
20	0,100	0,150	0,150	0,115	0,150
30	0,090	0,100	0,150	0,110	0,150
40	-	0,110	0,190	0,094	0,095
50	-	0,075	0,185	0,090	0,095
60	-	-	0,175	0,080	0,090
70	-	-	0,090	0,065	0,065
80	-	-	-	0,060	0,060
90	-	-	-	0,060	0,060
100	-	-	-	-	0,060
110	-	-	-	-	0,060

Lampiran 7. Data perbandingan nilai d difraktogram standar dan endapan hasil elektrolisis 2,0 V

d (Å) Endapan	Data Powder Diffraction Standar <sup>17,81</sup>			
	d (Å) Cu <sub>2</sub> O	d (Å) CuO	d (Å) Cu	d (Å) Cu(OH) <sub>2</sub>
3,09	-	-	-	-
3,04	3,01	-	-	-
2,98	3,01	-	-	-
2,94	-	-	-	-
2,88	-	-	-	-
2,82	-	-	-	-
2,75	-	-	-	-
2,67	-	-	-	-
2,61	-	-	-	2,63
2,55	-	-	-	-
2,49	-	2,48	-	-
2,42	-	-	-	-
2,37	-	-	-	2,36
2,34	-	2,32	-	-
2,31	-	2,32	-	-
2,28	-	-	-	2,27
2,26	-	-	-	2,27
2,23	-	-	-	-
2,21	-	-	-	-
2,17	-	-	-	-
2,15	2,13	-	-	-
2,12	2,13	-	-	-
2,10	-	-	2,09	-
2,06	-	-	2,09	-
2,03	-	-	-	-
1,99	-	-	-	-
1,97	-	-	-	-
1,95	-	-	-	1,93



1,94	-	-	-	1,93
1,92	-	-	-	1,93
1,88	-	1,87	-	-
1,86	-	1,87	-	-
1,83	-	-	1,81	-
1,81	-	-	1,81	-
1,78	-	-	1,81	-
1,76	1,74	-	-	-
1,74	1,74	-	-	-
1,69	-	1,71	-	-
1,67	-	-	-	-
1,65	-	-	-	1,63
1,63	-	-	-	1,63
1,61	-	1,58	-	-
1,58	-	1,58	-	-
1,56	-	1,58	-	-
1,55	-	1,58	-	-
1,54	1,51	-	-	-
1,52	1,51	-	-	-
1,50	1,51	-	-	-
1,49	1,51	-	-	-
1,47	-	-	-	1,46
1,45	1,42	-	-	-
1,44	1,42	-	-	-
1,34	1,35	-	-	-
1,33	1,35	-	-	-
1,23	1,23	-	-	-
1,17	1,14	-	-	-
1,14	1,14	-	-	-
1,11	-	-	1,09	-
1,10	-	-	1,09	-

Lampiran 8. Data perbandingan nilai d difraktogram standar dan endapan hasil elektrolisis 2,5 V

d (Å) Endapan	Data Powder Diffraction Standar <sup>[7,8]</sup>			
	d (Å) Cu <sub>2</sub> O	d (Å) CuO	d (Å) Cu	d (Å) Cu(OH) <sub>2</sub>
3,02	3,01	-	-	-
2,73	-	-	-	-
2,47	2,46	-	-	-
2,31	-	2,31	-	-
2,14	2,13	-	-	-
2,09	-	-	2,09	-
2,07	-	-	2,09	-
2,00	-	-	-	-
1,81	-	-	1,81	-
1,51	1,51	-	-	-
1,42	1,42	-	-	-
1,29	1,29	-	-	-
1,28	-	-	1,28	-
1,21	1,23	-	-	-
1,09	-	-	1,09	-

Lampiran 9. Daftar perbandingan nilai d difraktogram standar dan endapan hasil elektrolisis 3,0 V

d (Å) Endapan	Data Powder Diffraction Standar <sup>[7,8]</sup>			
	d (Å) Cu <sub>2</sub> O	d (Å) CuO	d (Å) Cu	d (Å) Cu(OH) <sub>2</sub>
2,47	2,46	-	-	-
2,32	-	2,31	-	-
2,14	2,13	-	-	-
2,09	-	-	2,09	-
2,07	-	-	2,09	-
2,01	-	-	-	-
1,81	-	-	1,81	-
1,42	1,42	-	-	-
1,28	-	-	1,28	-
1,09	-	-	1,09	-

## Lampiran 10. Data analisa XRD endapan hasil elektrolisis 2,0 V

Sample Name : Oksida Tembaga  
 Comment : Oksida Cu batangan

Strongest 3 peaks							
no.	peak no.	2Theta (deg)	d (A)	I/II	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	27	24.1350	3.68452	100	0.61000	23	814
2	1	6.0200	14.66952	96	0.72000	22	621
3	30	26.2650	3.39035	78	0.29000	18	288

Peak Data List							
peak no.	2Theta (deg)	d (A)	I/II	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	
1	6.0200	14.66952	96	0.72000	22	621	
2	6.4000	13.79934	57	0.46000	13	272	
3	7.6600	11.53207	9	0.02000	2	4	
4	8.6400	10.22611	30	0.20000	7	82	
5	9.3933	9.40764	13	0.02670	3	7	
6	10.3750	8.51957	26	0.17000	6	54	
7	10.9650	8.06245	9	0.03000	2	3	
8	11.5600	7.64877	13	0.08000	3	42	
9	12.0050	7.36623	39	0.23000	9	146	
10	12.5000	7.07561	52	0.36000	12	227	
11	12.9350	6.83862	57	0.31000	13	182	
12	13.5000	6.55366	70	0.46000	16	377	
13	14.0700	6.28941	74	0.30000	17	260	
14	14.5540	6.08133	74	0.50800	17	363	
15	15.0746	5.87246	70	0.48270	16	371	
16	15.7900	5.60797	57	0.34000	13	228	
17	16.3710	5.41023	52	0.36200	12	204	
18	17.0900	5.18420	35	0.18000	8	123	
19	17.7980	4.97954	39	0.07600	9	88	
20	18.7200	4.73631	43	0.16000	10	176	
21	19.7900	4.48258	52	0.10000	12	153	
22	20.4400	4.34147	57	0.16000	13	263	
23	21.4600	4.13737	52	0.24000	12	272	
24	22.3900	3.96758	65	0.18000	15	258	
25	22.8700	3.88538	39	0.26000	9	293	
26	23.4200	3.79536	35	0.00000	8	0	
27	24.1350	3.68452	100	0.61000	23	814	
28	24.9725	3.56282	61	0.38500	14	311	
29	25.6933	3.46448	39	0.09330	9	92	
30	26.2650	3.39035	78	0.29000	18	288	
31	26.7350	3.33180	70	0.57000	16	387	
32	27.3650	3.25651	57	0.27000	13	199	
33	27.9866	3.18558	39	0.17330	9	106	
34	28.3941	3.14078	39	0.23830	9	108	
35	28.8250	3.09480	39	0.11000	9	90	
36	29.3766	3.03793	35	0.19330	8	89	
37	29.9400	2.98204	35	0.12000	8	87	
38	30.3750	2.94032	43	0.21000	10	173	
39	31.0600	2.87701	17	0.08000	4	23	
40	31.7125	2.81929	30	0.05500	7	42	
41	32.5400	2.74946	43	0.28000	10	198	
42	33.4950	2.67322	30	0.13000	7	115	
43	34.3550	2.60824	22	0.07000	5	47	
44	35.0900	2.55528	26	0.14000	6	60	

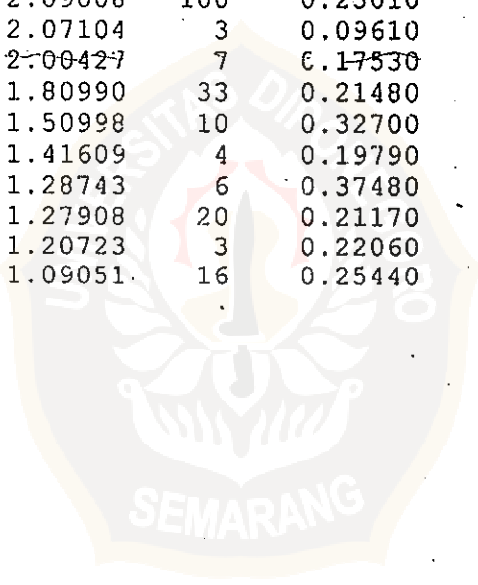
peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
45	36.0641	2.48846	65	0.29830	15	328
46	37.1300	2.41943	17	0.06000	4	21
47	37.9350	2.36992	9	0.03000	2	3
48	38.3400	2.34581	4	0.00000	1	0
49	38.9800	2.30876	13	0.04000	3	22
50	39.4300	2.28344	13	0.06000	3	29
51	39.9200	2.25654	9	0.16000	2	26
52	40.3200	2.23507	4	0.00000	1	0
53	40.7700	2.21143	22	0.18000	5	96
54	41.5350	2.17245	9	0.11000	2	19
55	42.0150	2.14873	13	0.05000	3	21
56	42.5000	2.12533	26	0.12000	6	55
57	42.9700	2.10316	57	0.30000	13	213
58	43.8400	2.06342	17	0.16000	4	60
59	44.6500	2.02785	35	0.18000	8	84
60	45.5300	1.99068	22	0.10000	5	43
61	46.0333	1.97008	17	0.17330	4	55
62	46.5650	1.94882	17	0.13000	4	44
63	46.8800	1.93646	4	0.00000	1	0
64	47.3850	1.91699	17	0.41000	4	129
65	48.2750	1.88371	13	0.17000	3	38
66	48.9200	1.86037	9	0.04000	2	11
67	49.7000	1.83298	13	0.04000	3	22
68	50.2850	1.81302	9	0.03000	2	3
69	51.2400	1.78145	13	0.04000	3	24
70	51.7400	1.76540	9	0.04000	2	7
71	52.5400	1.74039	4	0.00000	1	0
72	54.2900	1.68835	9	0.10000	2	20
73	54.9600	1.66934	9	0.04000	2	10
74	55.5800	1.65218	9	0.08000	2	27
75	56.2500	1.63408	13	0.06000	3	24
76	56.9400	1.61591	4	0.00000	1	0
77	58.4400	1.57795	9	0.04000	2	12
78	59.0200	1.56382	4	0.00000	1	0
79	59.7100	1.54739	9	0.18000	2	22
80	60.2100	1.53573	9	0.38000	2	55
81	61.0600	1.51637	17	0.20000	4	50
82	61.7600	1.50085	4	0.00000	1	0
83	62.3600	1.48785	9	0.04000	2	16
84	63.2900	1.46820	9	0.14000	2	20
85	64.0500	1.45260	9	0.10000	2	21
86	64.6600	1.44037	4	0.00000	1	0
87	70.2000	1.33964	9	0.04000	2	11
88	70.6200	1.33270	4	0.00000	1	0
89	76.9900	1.23754	9	0.26000	2	49
90	81.9400	1.17484	9	0.28000	2	50
91	82.6800	1.16619	4	0.00000	1	0
92	84.6300	1.14423	9	0.10000	2	21
93	85.1600	1.13845	4	0.00000	1	0
94	87.7400	1.11150	9	0.20000	2	33
95	88.2800	1.10609	4	0.00000	1	0
96	89.0500	1.09851	9	0.06000	2	16

## Lampiran 11. Data analisa XRD endapan hasil elektrolisis 2,5 V

Sample Name : Oksida Tembaga  
 Comment : Oksida tembaga 2,5

# Strongest 3 peaks							
no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	6	43.2526	2.09008	100	0.23010	13997	172562
2	3	36.3690	2.46829	49	0.26320	6827	114460
3	9	50.3778	1.80990	33	0.21480	4604	60018

# Peak Data List							
peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)	
1	29.5028	3.02523	3	0.25480	427	7073	
2	32.7249	2.73435	9	0.21840	1287	18919	
3	36.3690	2.46829	49	0.26320	6827	114460	
4	38.8709	2.31499	25	0.15740	3459	31230	
5	42.2563	2.13702	13	0.31530	1841	37423	
6	43.2526	2.09008	100	0.23010	13997	172562	
7	43.6704	2.07104	3	0.09610	475	2530	
8	45.2043	2.00427	7	0.17530	940	9631	
9	50.3778	1.80990	33	0.21480	4604	60018	
10	61.3463	1.50998	10	0.32700	1391	31348	
11	65.9077	1.41609	4	0.19790	526	7780	
12	73.5000	1.28743	6	0.37480	886	22080	
13	74.0598	1.27908	20	0.21170	2827	35038	
14	79.2966	1.20723	3	0.22060	446	5998	
15	89.8800	1.09051	16	0.25440	2288	30586	



## Lampiran 12. Data analisa XRD endapan hasil elektrolisis 3,0 V

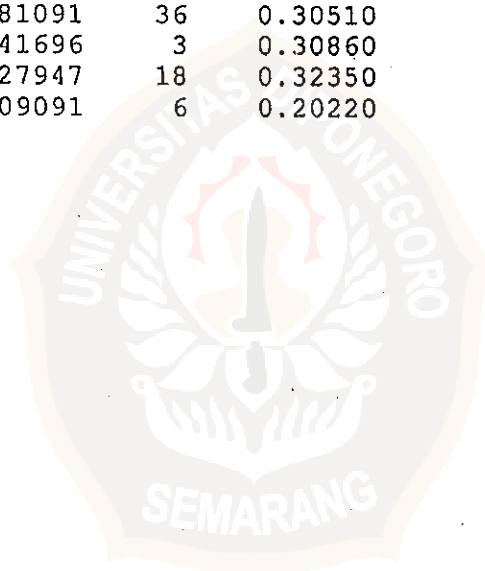
Sample Name : Oksida Tembaga  
 Element : Oksida tembaga 3,0

Strongest 3 peaks

Rank	Peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	4	43.2198	2.09159	100	0.27610	10393	155650
2	7	50.3477	1.81091	36	0.30510	3693	74722
3	2	38.8330	2.31716	19	0.25230	2025	34810

Peak Data List

Rank	Peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	1	36.3430	2.47000	13	0.32930	1302	32199
2	2	38.8330	2.31716	19	0.25230	2025	34810
3	3	42.2400	2.13781	4	0.33920	443	14299
4	4	43.2198	2.09159	100	0.27610	10393	155650
5	5	43.6600	2.07151	5	0.25140	527	16396
6	6	45.1563	2.00629	6	0.26440	639	10310
7	7	50.3477	1.81091	36	0.30510	3693	74722
8	8	65.8618	1.41696	3	0.30860	346	7965
9	9	74.0332	1.27947	18	0.32350	1873	42995
10	10	89.8384	1.09091	6	0.20220	669	6570



Lampiran 13. Daftar konstanta pembentukan ion kompleks ( $K_f$ , 25 °C)<sup>[17]</sup>

Ion Kompleks	$K_f$
$[\text{Cu}(\text{Cl})_3]^{2-}$	$5 \times 10^5$
$[\text{Cu}(\text{EDTA})]^{2-}$	$5 \times 10^{18}$
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$1,1 \times 10^{13}$
$[\text{Fe}(\text{EDTA})]^{2-}$	$2,1 \times 10^{14}$
$[\text{Fe}(\text{EDTA})]^-$	$1,7 \times 10^{24}$

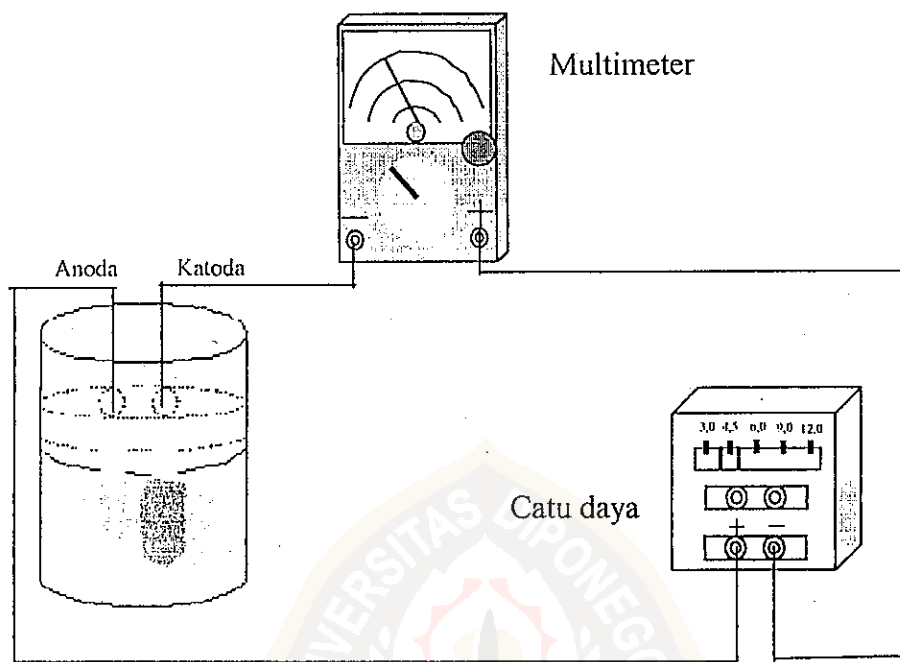




Lampiran 14. Daftar potensial reduksi standar<sup>[10,13,14]</sup>

Reaksi Setengah Sel	$E^0$ (V)
$2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{OH}^-$	-0,830
$\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{OH}^-$	-0,560
$\text{Fe}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{s})$	-0,409
$\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cu} + 2 \text{OH}^-$	-0,361
$\text{Cu}(\text{OH})_2 + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu} + 2 \text{OH}^-$	-0,224
$2 \text{Cu}(\text{OH})_2 + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + 2 \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$	-0,090
$\text{Fe}^{3+} + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{s})$	-0,036
$2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	0,000
$\text{CuCl}(\text{s}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s}) + \text{Cl}^-$	0,121
$\text{Cu}^{2+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^+$	0,158
$\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$	0,345
$\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$	0,401
$\text{Cu}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$	0,522
$\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	0,770
$\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$	1,229
$\text{Cl}_2(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Cl}^-$	1,396
$\text{FeO}_4^{2-} + 8 \text{H}^+ + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 4 \text{H}_2\text{O}$	1,900

## Lampiran 15. Desain sel elektrolisis



Lampiran 16. Daftar jenis senyawa tembaga hasil analisis XRD pada variasi potensial listrik eksternal

Potensial Listrik Eksternal (V)	Nilai d Analisis XRD (Å)	Jenis Senyawa Tembaga
1,0	-	-
1,5	-	-
2,0	3,04; 2,98; 2,15; 2,12; 1,76; 1,74; 1,54; 1,52; 1,50; 1,49; 1,45; 1,44; 1,34; 1,33; 1,23; 1,17; 1,14	Cu <sub>2</sub> O
	2,49; 2,34; 2,31; 1,88; 1,86; 1,69; 1,61; 1,58; 1,56; 1,55	CuO
	2,10; 2,06; 1,83; 1,81; 1,78; 1,11; 1,10	Cu
	2,61; 2,37; 2,28; 2,26; 1,95; 1,94; 1,92; 1,65; 1,63; 1,47	Cu(OH) <sub>2</sub>
2,5	3,02; 2,47; 2,14; 1,51; 1,42; 1,29; 1,21	Cu <sub>2</sub> O
	2,07; 2,09; 1,81; 1,28; 1,09	CuO
3,0	2,47; 2,14; 1,42	Cu <sub>2</sub> O
	2,07; 2,09; 1,81; 1,28; 1,09	CuO