

SHIELDING ELEKTROMAGNETIK TEMBAGA DARI PROSES ELEKTROLISIS AIR LIMBAH INDUSTRI PRINTED CIRCUIT BOARD

ELECTROMAGNETIC SHIELDING OF COPPER FROM THE ELECTROLYSIS PROCESS OF PRINTED CIRCUIT BOARD INDUSTRIAL WASTEWATER

Agung Yanuar Wirapraja*, Handaru Bowo Cahyono, Mohamad Marhaendra Ali

Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya
Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

Diterima: 28 Februari 2020

Direvisi: 5 Mei 2020

Disetujui: 11 Juni 2020

ABSTRAK

Sebagian produk elektronika memiliki gangguan interferensi elektromagnetik yang tinggi, sehingga berdampak kurang baik terhadap perangkat elektronika di sekitarnya. Pemanfaatan *shielding* elektromagnetik menjadi solusi untuk mengurangi nilai gangguan radiasi elektromagnetik yang dimiliki oleh produk elektronika. Penelitian yang dilakukan meliputi pembuatan *shielding* elektromagnetik dari bahan tembaga hasil dari proses elektrolisis limbah industri PCB (Printed Circuit Board) dan melakukan analisa pengaruh *shielding* elektromagnetik dari limbah tembaga terhadap nilai emisi radiasi. *Shielding* elektromagnetik terbuat dari bahan vinyl yang dilapisi dengan tembaga hasil elektrolisis limbah cair industri PCB. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa *shielding* elektromagnetik dari limbah tembaga dapat menurunkan emisi radiasi. Penggunaan *shielding* elektromagnetik dari limbah tembaga efektif di frekuensi 250 – 350 MHz dengan penurunan nilai *quasi-peak* sebesar 38,02 dB. Pada pengukuran dengan polarisasi antena horisontal, margin nilai emisi radiasi lebih tinggi jika dibandingkan dengan polarisasi antena vertikal.

Kata kunci: *shielding* elektromagnetik, emisi radiasi, tembaga, PCB

ABSTRACT

Some electronic products have high electromagnetic interference so that it gives a negative impact on the electronic devices around it. The use of electromagnetic shielding is a solution to reduce the value of electromagnetic radiation interference from electronic products. The research conducted includes the manufacture of electromagnetic shielding from copper material resulting from the electrolysis process of PCB (Printed Circuit Board) industrial wastewater and analyzing the effect of electromagnetic shielding from copper waste on the value of radiation emission. Electromagnetic shielding is made of vinyl which is coated with copper as a result of the electrolysis of PCB industrial wastewater. The measurement results show that electromagnetic shielding from copper waste can reduce radiation emissions. The use of electromagnetic shielding from copper waste is effective at frequencies from 250 to 350 MHz with a decrease in the quasi-peak value of 38.02 dB. The measurements with horizontal antenna polarization show that the margin of radiation emission value is higher compared to vertical antenna polarization.

Keywords: *electromagnetic shielding, emission of radiation, copper, PCB*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang begitu cepat, mengakibatkan produk elektronika memiliki gangguan elektronik seperti kebisingan elektronik, gangguan elektromagnetik (EMI) dan gangguan frekuensi radio, yang makin sulit

dihindari [1,2]. Salah satu solusi terhadap gangguan interferensi elektromagnetik adalah kegiatan rekayasa pembuatan *shielding* elektromagnetik. Pembuatan *shielding* interferensi elektromagnetik diharapkan mampu meminimalkan gelombang elektromagnetik yang dihasilkan dari produk elektronika [3]. *Shielding*

*Corresponding author :

Email: agungyanuar1945@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v10i1.162>

interferensi elektromagnetik (EMI *shielding*) mengacu pada proses pemantulan (*reflection*) dan atau penyerapan (*absorption*) dari radiasi elektromagnetik oleh suatu material, yang bertindak sebagai perisai atau penghalang terhadap penetrasi radiasi melalui suatu *shielding* [4]. Material *shielding* elektromagnetik yang direncanakan pada penelitian ini berasal dari limbah logam tembaga dari proses elektrolisis limbah cair industri Printed Circuit Board (PCB). Perkembangan produk elektronik yang semakin cepat, menghasilkan lebih banyak limbah elektronik. Telepon genggam (*handphone*) merupakan salah satu produk elektronika dengan periode singkat karena perkembangan produknya yang begitu cepat, dan memiliki komponen utama berupa PCB [5]. Limbah elektronik, terutama limbah Printed Circuit Board (PCB) mengandung material tembaga, yang tidak hanya membawa ancaman ekologis, tetapi juga menyebabkan pemborosan sumber daya alam [6]. Selain sangat berbahaya, limbah elektronik khususnya Printed Circuit Board (PCB), mengandung logam konsentrasi tinggi antara lain tembaga, kromium, timah, nikel, seng, dsb [7]. Limbah industri khususnya tembaga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti atau alternatif dalam industri pembuatan beton untuk menyediakan beton yang ramah lingkungan [8].

Pada umumnya limbah industri terdiri dari tiga fasa yaitu padat, gas dan cair [9]. Limbah cair industri Printed Circuit Board (PCB) bersifat asam dengan kandungan tembaga yang sangat tinggi, umumnya adalah senyawaan tembaga chloride (CuCl_2) [10]. PCB memiliki komposisi 74,6% berat non-magnetik material dan 25,4% berat magnet. Komposisi logam berat sebesar 44,0%, polimer sebesar 28,5% dan keramik sebesar 27,5%. Logam utama pada PCB adalah tembaga dengan kandungan awalnya sebesar 32,5% [11,12]. Limbah tembaga merupakan salah satu jenis limbah B3 (bahan berbahaya dan beracun). Dalam Peraturan Pemerintah No 18 tahun 1999 disebutkan bahwa limbah B3 adalah sisa suatu usaha yang mengandung bahan berbahaya dan atau beracun yang karena sifat atau konsentrasinya dapat mencemari lingkungan hidup [13]. Bentuk tembaga yang paling beracun adalah debu-debu Cu yang dapat mengakibatkan keracunan pada dosis 3,5 mg/kg. Pada manusia akan mengakibatkan gangguan saluran pernapasan jika terpapar oleh debu atau

uap CuO . Hewan perairan laut sangat peka terhadap limbah CuO . Jika konsentrasi CuO terlarut mencapai 0,01 ppm maka akan mengakibatkan kematian fitoplankton. Kematian fitoplankton disebabkan oleh daya racun CuO yang menghambat aktivitas enzim dari fitoplankton dalam melakukan pembelahan sel. Konsentrasi tembaga (Cu) yang tinggi, sekitar 2,5 sampai 3 ppm dalam perairan air laut akan membunuh ikan-ikan [14].

Proses pengendapan logam tembaga dalam limbah cair industri PCB dapat dilakukan dengan cara presipitasi. Proses presipitasi menggunakan larutan NaOH atau sulfida sehingga akan terbentuk endapan tembaga hidroksida atau tembaga sulfida [15]. Dari hasil pengujian laboratorium terhadap limbah cair sisa proses *etching* PCB menunjukkan karakteristik yang sangat ekstrim dengan angka keasaman pada kisaran 0–1, konsentrasi tembaga yang dikandungnya sekitar 10% - 14% (140.000 mg/liter). Sehingga jika dihitung jumlah tembaga yang terlarut dalam limbah cair minimal 4.000 gram atau 4 kg dalam sehari. Proses elektrolisis dilakukan dengan menggunakan pelat besi atau baja (tanpa lapisan seng) dengan ketebalan 1 mm. Penggunaan pelat besi mampu menyisihkan 66,21 % atau sekitar 92 gram tembaga pada jarak 2 cm dengan durasi sekitar 80 menit [16]. Limbah tembaga ini yang nantinya akan diproses sebagai salah satu bahan pembuatan *shielding* elektromagnetik.

Kemajuan teknologi yang begitu cepat, membuat beberapa produk elektronika dapat menghasilkan radiasi elektromagnetik yang dapat memberikan gangguan fungsi kerja perangkat elektronik lain yang ada disekitarnya, sebagai contoh meletakkan telepon genggam berdekatan dengan pesawat televisi [17,18]. Selain memberikan dampak buruk bagi perangkat elektronik di sekitarnya, radiasi elektromagnetik juga dapat memberikan dampak bagi makhluk hidup dan dapat menimbulkan pencemaran radiasi elektromagnetik di sekitarnya [19]. Penggunaan produk elektronika secara terus menerus dalam waktu yang lama dapat memberikan dampak terhadap kesehatan penggunanya [20,21].

Electromagnetic Compability (EMC) adalah kemampuan perangkat atau produk elektronika dalam melindungi diri dari lingkungan elektromagnetik dan kemampuan perangkat tersebut agar tidak menghasilkan emisi

elektromagnetik yang dapat mengganggu perangkat lainnya [22]. Electromagnetic Interference (EMI) merupakan emisi elektromagnetik yang diakibatkan oleh sumber-sumber *noise* melalui gelombang radiasi maupun konduksi elektromagnetik [23]. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi besar atau tingginya nilai gangguan interferensi elektromagnetik dapat digolongkan menjadi sifat dari perangkat elektronik yang memancarkan *noise*, jarak antara perangkat elektronik, dan kerentanan perangkat yang terkena radiasi elektromagnetik [24]. *Radiated Emission* (emisi radiasi) adalah energi elektromagnetik yang dipancarkan oleh suatu perangkat atau produk elektronika dalam bentuk gelombang dan tidak memiliki massa [25]. Penelitian ini bertujuan untuk perancangan pembuatan *shielding* elektromagnetik dari bahan tembaga hasil dari proses elektrolisis limbah industri PCB (Printed Circuit Board) dan melakukan analisa pengaruh penggunaan *shielding* elektromagnetik tembaga terhadap emisi radiasi elektromagnetik dengan menggunakan *signal generator* dan antena (Biconical Antenna) sebagai alat bantu. Parameter yang digunakan dalam pengukuran emisi radiasi adalah nilai maksimum *peak* dan batas *quasi-peak* pada setiap frekuensi pengujian. Makin besar margin antara maksimum *peak* dan batas *quasi-peak* maka makin rendah emisi yang dipancarkan oleh produk yang diuji.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan alat yang akan digunakan pada proses pembuatan *shielding* elektromagnetik adalah sebagai berikut :

Bahan

- Limbah tembaga CuO
- Kertas *wallpaper* (vinyl)
- Aquades
- Tepung tapioka

Alat

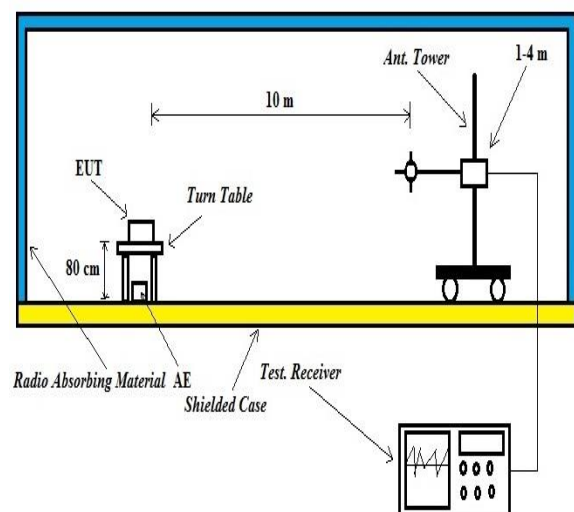
- Oven listrik
- *Beaker glass* dan gelas ukur
- Kompor listrik
- *Stopwatch*
- Neraca analitik
- Kuas cat

Pengujian dilakukan pada ruangan semi *anechoic chamber*. Benda uji (*Equipment Under Test* atau EUT) diletakkan di atas meja di *round area* (berdiameter 3 meter). Meja yang digunakan bersifat non konduktif, dengan bahan dasar styrofoam dan memiliki ketinggian 80 cm. Pada saat pengukuran, *round area* tidak akan berputar. Antena ditempatkan pada antena *mast* yang berjarak 10 meter dan 3 meter dari benda uji. Pada saat pengujian emisi radiasi 1 – 6 GHz, kondisi ruangan diubah dari semi *anechoic chamber* menjadi *full anechoic chamber* dengan penambahan absorber pada lantai, seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2. Pengukuran dilakukan pada ketinggian antena dengan variasi 1 meter, 2 meter, 3 meter dan 4 meter dengan posisi antena vertikal dan horisontal. Nilai emisi yang dihasilkan benda uji ditangkap oleh antena yang tersambung ke *test receiver*, hasil pengukuran berupa nilai *quasi-peak*.

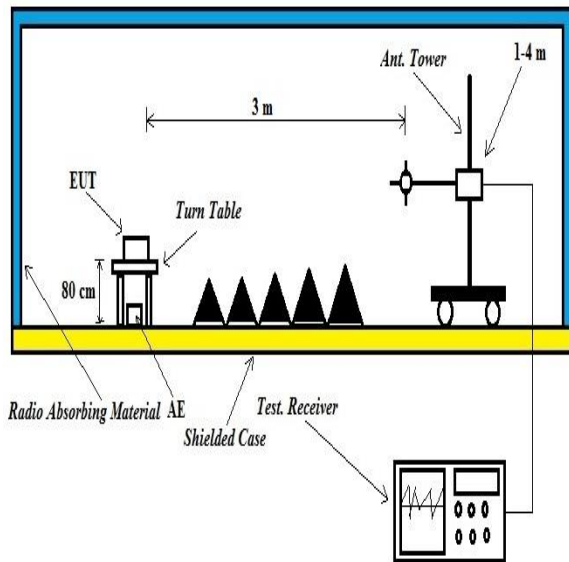
Alat yang akan digunakan pada proses pengukuran *shielding* elektromagnetik tembaga adalah sebagai berikut :

Alat

- EMI Test Receiver ESU 26
- *Ultralog Antenna*
- *Double Ridged Waveguide Horn Antenna*
- *Comb Generator*
- *Biconical Antenna*
- Meja 80 cm



Gambar 1. Pengujian Emisi Radiasi pada Frekuensi 30 MHz – 1 GHz



Gambar 2. Pengujian Emisi Radiasi pada Frekuensi 1–6 GHz

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan *shielding* elektromagnetik dengan menggunakan limbah tembaga yaitu CuO. Pada pembuatan *shielding* elektromagnetik dengan menggunakan limbah CuO, proses diawali dengan pengeringan larutan tembaga hasil proses elektrolisis limbah cair Printed Circuit Board (PCB). Pengeringan larutan tembaga CuO bertujuan untuk mengurangi kadar air pada larutan limbah tembaga. Proses pengeringan menggunakan oven listrik dengan suhu $\pm 45^{\circ}\text{C}$ selama 90 menit. Setelah tembaga dikeringkan, kemudian dihaluskan dengan cara ditumbuk untuk mendapatkan partikel-partikel kecil tembaga. Proses ini dilakukan untuk mempermudah proses pelapisan pada bahan dasar *shielding* elektromagnetik. Setelah proses penghalusan tembaga selesai dilakukan, proses selanjutnya yaitu membuat larutan perekat antara tembaga dan kertas *wallpaper* (vinyl) sebagai bahan dasarnya. Larutan perekat dibuat dari campuran antara tepung tapioka dan air yang dipanaskan. Tepung tapioka yang digunakan ± 24 gram, yang dilarutkan dengan 250 ml aquades. Pembuatan larutan perekat dengan cara mencampur tepung tapioka dan air, kemudian dipanaskan pada suhu 90°C dan diaduk-aduk secara terus menerus hingga merata. Proses pemanasan larutan perekat dilakukan

sampai larutan mengental. Proses selanjutnya mencampur larutan perekat dengan tembaga (CuO) yang telah ditumbuk halus. Proses dilakukan ketika suhu dari larutan perekat sudah pada suhu ruang. Masukkan bubuk tembaga CuO sebanyak 150 g secara perlahan-lahan pada larutan perekat sambil diaduk sampai merata. Setelah proses pencampuran antara larutan perekat dan tembaga selesai dilakukan, proses selanjutnya adalah pelapisan larutan tembaga pada lembaran vinyl dengan menggunakan kuas cat. Dimensi lembaran vinyl yang digunakan adalah 100 x 100 cm. Pelapisan dilakukan pada salah satu sisi bagian hingga merata. Proses pelapisan *shielding* dilakukan sebanyak dua (2) kali untuk mendapatkan hasil lapisan *shielding* yang merata. Setelah proses pelapisan selesai dilakukan, keringkan lembaran vinyl yang telah dilapisi dengan larutan tembaga selama 1–2 hari di ruang terbuka. Setelah lembaran vinyl kering, *shielding* elektromagnetik dari lapisan limbah tembaga dapat digunakan. Pengambilan data pengaruh penggunaan *shielding* elektromagnetik terhadap pengukuran emisi radiasi dilakukan dalam kondisi suhu ruang yang dikontrol. Ada dua (2) jenis pengukuran yang dilakukan yaitu, pengukuran jarak 10 meter pada frekuensi 30 MHz – 1 GHz dan jarak 3 meter pada frekuensi 1–6 GHz [26]. Pada setiap pengukuran akan diambil 5 nilai *quasi-peak* tertinggi untuk dianalisa. Antena penerima (*receiver*) menggunakan jenis antena *ultralog*. Antena akan membaca atau mengukur nilai *quasi-peak* pada posisi horizontal dan vertikal serta pada ketinggian 1 meter, 2 meter, 3 meter dan 4 meter. Frekuensi yang akan dianalisa pada setiap pengukuran tercantum pada tabel 1, 2, 3 dan 4.

Tabel 1. Hasil Pengukuran pada 30 MHz – 1 GHz dengan Polarisasi Antena Horisontal pada Berbagai Ketinggian

Frekuensi (MHz) pada Ketinggian			
1 meter	2 meter	3 meter	4 meter
210	150	150	90
270	270	270	150
330	330	330	270
390	390	390	330
450	450	450	630

Tabel 2. Hasil Pengukuran pada 30 MHz – 1 GHz dengan Polarisasi Antena Vertikal pada Berbagai Ketinggian

Frekuensi (MHz) pada Ketinggian			
1 meter	2 meter	3 meter	4 meter
150	150	150	150
210	210	210	210
270	270	270	270
330	330	330	330
390	390	390	390

Tabel 3. Hasil Pengukuran pada 1–6 GHz dengan Polarisasi Antena Horizontal pada Berbagai Ketinggian

Frekuensi (GHz) pada Ketinggian			
1 meter	2 meter	3 meter	4 meter
1,049	1,049	1,020	1,020
1,109	1,109	1,049	1,049
1,169	1,169	1,109	1,109
1,229	1,229	1,169	1,169
1,290	1,290	1,290	1,290

Tabel 4. Hasil Pengukuran pada 1–6 GHz dengan Polarisasi Antena Vertikal pada Berbagai Ketinggian

Frekuensi (GHz) pada Ketinggian			
1 meter (GHz)	2 meter (GHz)	3 meter (GHz)	4 meter (GHz)
1,049	1,020	1,020	1,109
1,080	1,049	1,049	1,169
1,109	1,109	1,109	1,229
1,290	1,290	1,229	1,260
1,350	1,350	1,290	1,290

Benda uji menggunakan sebuah *signal generator* yang disambungkan dengan sebuah antena. *Signal generator* akan diset pada frekuensi 30 MHz. Antena yang akan digunakan adalah jenis antena biconical yang memiliki range frekuensi 30 MHz – 1 GHz. Antena biconical diletakkan di atas meja pada posisi horizontal. Variabel atau besaran yang diukur meliputi nilai *quasi-peak* (Qp). Hasil pengukuran nilai *quasi-peak* pada frekuensi 30 MHz – 1 GHz, ditunjukkan pada Tabel 5, 6, 7 dan 8, sedangkan hasil pengukuran pada frekuensi 1–6 GHz, ditunjukkan pada Tabel 9, 10, 11 dan 12.

Tabel 5. Emisi Radiasi pada 30 MHz – 1 GHz dengan Polarisasi Antena Horizontal

Emisi pada Ketinggian Antena 1m (dB)			Emisi pada Ketinggian Antena 2m (dB)		
Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin	Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin
71,66	41,92	29,74	71,36	44,63	26,73
70,71	31,15	39,56	74,65	33,65	41,00
69,32	30,97	38,35	73,62	47,73	25,89
70,13	41,22	28,91	73,15	27,05	27,77
68,18	41,67	26,51	69,72	45,38	24,34

Tabel 6. Emisi Radiasi pada 30 MHz – 1 GHz dengan Polarisasi Antena Horizontal

Emisi pada Ketinggian Antena 3m (dB)			Emisi pada Ketinggian Antena 4m (dB)		
Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin	Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin
73,46	51,93	21,53	64,04	39,98	24,06
76,86	21,43	55,43	75,35	55,22	20,13
73,12	44,51	28,61	75,64	26,08	49,59
70,73	43,18	27,55	70,05	46,19	23,86
64,03	41,64	22,39	64,20	33,46	30,74

Tabel 7. Emisi Radiasi pada 30 MHz – 1 GHz dengan Polarisasi Antena Vertikal

Emisi pada Ketinggian Antena 1m (dB)			Emisi pada Ketinggian Antena 2m (dB)		
Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin	Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin
51,27	54,99	-3,72	49,96	54,56	-4,60
60,48	50,95	9,53	59,18	58,50	0,68
45,88	28,92	16,96	46,72	18,17	28,55
51,82	30,09	21,73	49,20	25,38	23,82
53,94	54,84	-0,90	54,16	54,93	-0,77

Tabel 8. Emisi Radiasi pada 30 MHz – 1 GHz dengan Polarisasi Antena Vertikal

Emisi pada Ketinggian Antena 3m (dB)			Emisi pada Ketinggian Antena 4m (dB)		
Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin	Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin
51,61	52,81	-1,20	46,65	56,60	-9,95
55,98	63,08	-7,10	51,72	64,42	-12,70
49,00	30,86	18,14	50,39	34,82	15,57
45,47	28,19	17,28	44,40	33,97	10,43
53,69	55,74	-2,05	47,10	51,57	-4,47

Hasil pengukuran nilai emisi radiasi pada frekuensi 30 MHz – 1 GHz, didapatkan saat polarisasi antena penerima pada posisi horisontal nilai *quasi-peak* dengan menggunakan *shielding* elektromagnetik tembaga memiliki nilai margin lebih dari 20 dB jika dibandingkan dengan pengukuran tanpa *shielding*. Pada polarisasi antena horisontal *shielding* bekerja sangat baik pada range frekuensi 270 MHz dan 330 MHz, pada frekuensi tersebut rata-rata margin yang dihasilkan adalah 38,02 dB. Margin rata-rata tertinggi terdapat pada frekuensi 270 MHz, yaitu sebesar 46,39 dB. Pada pengujian dengan

polarisasi vertikal, nilai pengukuran *quasi-peak* dengan menggunakan *shielding* menurun jika dibandingkan dengan polarisasi horisontal. Pada frekuensi 150 kHz dan 390 kHz, nilai emisi radiasi dengan menggunakan *shielding* lebih besar jika dibandingkan tanpa menggunakan *shielding*. Pada polarisasi vertikal, penggunaan *shielding* efektif pada frekuensi 270 MHz dan 330 MHz dengan rata-rata margin 19,06 dB. Nilai pengukuran *shielding* pada frekuensi 150 MHz, 210 MHz dan 390 MHz melebihi nilai pengukuran tanpa menggunakan *shielding*.

Tabel 9. Emisi Radiasi pada 1–6 GHz dengan Polarisasi Antena Horisontal

Emisi pada Ketinggian Antena 1m (dB)			Emisi pada Ketinggian Antena 2m (dB)		
Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin	Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin
65,12	31,39	33,73	64,99	41,47	23,52
70,06	35,80	34,26	67,63	46,17	21,46
65,74	30,28	35,46	64,56	37,23	27,33
66,17	42,62	23,55	65,90	42,93	22,97
70,16	48,29	21,87	70,25	46,64	23,61

Tabel 10. Emisi Radiasi pada 1–6 GHz dengan Polarisasi Antena Horisontal

Emisi pada Ketinggian Antena 3m (dB)			Emisi pada Ketinggian Antena 4m (dB)		
Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin	Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin
60,69	32,31	28,38	56,76	29,96	26,80
59,58	38,35	21,23	57,28	37,01	20,27
64,43	42,92	21,51	57,66	32,73	24,93
60,38	37,04	23,34	53,93	38,03	15,90
63,99	28,67	35,32	60,12	27,75	32,37

Tabel 11. Emisi Radiasi pada 1–6 GHz dengan Polarisasi Antena Vertikal

Emisi pada Ketinggian Antena 1m (dB)			Emisi pada Ketinggian Antena 2m (dB)		
Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin	Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin
42,82	32,96	9,86	45,01	30,66	14,35
45,53	30,50	15,03	46,61	42,71	3,90
50,35	38,44	11,91	48,80	29,49	19,31
49,60	41,27	8,33	50,73	41,39	9,34
40,78	34,22	6,56	41,87	41,65	0,22

Tabel 12. Emisi Radiasi pada 1–6 GHz dengan Polarisasi Antena Vertikal

Emisi pada Ketinggian Antena 3m (dB)			Emisi pada Ketinggian Antena 4m (dB)		
Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin	Tanpa <i>Shielding</i>	Dengan <i>Shielding</i>	Margin
41,06	26,75	14,31	35,78	30,36	5,42
40,83	30,78	10,05	34,14	30,90	3,24
40,14	30,55	9,59	34,04	27,97	6,07
40,70	31,11	9,59	33,09	27,76	5,33
43,43	38,28	5,15	42,51	39,98	2,53

Nilai emisi radiasi pada frekuensi 1–6 GHz, didapatkan saat polarisasi antena horisontal nilai margin *quasi-peak* dengan menggunakan *shielding* elektromagnetik tembaga lebih dari 15 dB, jika dibandingkan tanpa menggunakan *shielding*. Pada polarisasi antena horisontal *shielding* bekerja sangat baik pada range frekuensi kurang dari 1,5 GHz, dengan nilai rata-rata margin yang dihasilkan adalah 25,63 dB.

Margin rata-rata tertinggi terdapat pada ketinggian antena penerima 1 meter, yaitu sebesar 29,77 dB. Pada pengujian dengan polarisasi vertikal, efek penggunaan *shielding* menurun jika dibandingkan dengan polarisasi horisontal. Pada polarisasi vertikal, penggunaan *shielding* efektif pada frekuensi 1,109 GHz dengan rata-rata margin 11,55 dB.

Penggunaan *shielding* elektromagnetik dari limbah tembaga industri PCB dapat mengurangi nilai emisi radiasi yang dihasilkan. Pada pengukuran jarak 10 meter dengan frekuensi pengukuran 30 MHz – 1 GHz *shielding* elektromagnetik efektif pada frekuensi 250–350 MHz. pada pengukuran nilai emisi radiasi frekuensi 1–6 GHz dengan jarak 3 meter, menunjukkan bahwa *shielding* efektif bekerja pada frekuensi kurang dari 1,5 GHz. Karakteristik pengaruh penggunaan *shielding* elektromagnetik bergantung pada frekuensi yang akan diukur [27]. Pada pengukuran dengan polarisasi antenna vertikal, margin nilai emisi radiasi antara hasil pengukuran lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai margin pada polarisasi antenna horisontal. Hal ini dapat disebabkan karena pada bagian antenna *transmitter* posisi antenna hanya pada polarisasi horisontal. Luas *shielding* sebesar 1m² juga dapat menjadi penyebab kurang maksimalnya kerja *shielding* pada polarisasi antenna vertikal. Dalam perkembangan pembuatan *shielding* elektromagnetik terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan antara lain berat yang ringan, ketahanan korosi yang tinggi, sifat termal, sifat mekanis, *bandwidth* frekuensi penyerapan yang luas, dan efektivitas biaya [28].

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil pengukuran nilai emisi radiasi menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah tembaga sebagai bahan pembuatan *shielding* elektromagnetik dapat dilakukan. Penggunaan *shielding* elektromagnetik dari limbah tembaga dapat menurunkan rata-rata nilai emisi radiasi sebesar 15 dB. Pada pengukuran 30 MHz – 1 GHz *shielding* efektif digunakan pada frekuensi 250–320 MHz, dengan penurunan nilai emisi radiasi sebesar 38,02 dB. Pada pengukuran 1–6 GHz, *shielding* elektromagnetik efektif pada frekuensi kurang dari 1,5 GHz. Hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa pada saat polarisasi antenna horisontal, nilai margin emisi radiasi yang dihasilkan dengan menggunakan *shielding* lebih rendah jika dibandingkan dengan polarisasi antenna vertikal.

Saran

Penelitian ini merupakan awal pemanfaatan limbah tembaga dalam pembuatan *shielding* elektromagnetik. Penelitian serupa dapat dikembangkan dengan cara melakukan modifikasi pada proses pembuatan *shielding* yang meliputi pemilihan bahan dasar *shielding*, variasi jumlah tembaga dan proses perekatan tembaga pada bahan dasar *shielding*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diucapkan kepada Baristand Industri Surabaya khususnya Laboratorium Elektronika dan Telematika yang menyediakan seluruh fasilitas pengujian EMC, khususnya untuk pengukuran nilai emisi radiasi elektromagnetik pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sankaran, S., Deshmukh, K., Ahamed, M. B. & Khadheer Pasha, S. K., "Recent Advances in Electromagnetic Interference Shielding Properties of Metal and Carbon Filler Reinforced Flexible Polymer Composites": A review., *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2018., doi:10.1016/j.compositesa.2018.08.006
- [2] Wang, L. L. *et al.*, "Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon-Based Materials Prepared by Screen Printing"., *Carbon N. Y.* 47, 1905–1910, 2009.
- [3] Koledintseva, M. Y., Drewniak, J., DuBroff, R., Rozanov, K. & Archambeault, B., "Modeling of Shielding Composite Materials"., *Prog. Electromagn. Res. B* 15, 197–215, 2009.
- [4] Chung, D. D. L. "Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Materials"., *Carbon N. Y.* 39, 279–285, 2001.
- [5] Calgaro, C. O. *et al.*, "Fast Copper Extraction from Printed Circuit Boards Using Supercritical Carbon Dioxide"., *Waste Manag.* 2015. doi:10.1016/j.wasman.2015.05.017

- [6] Xu, Y., Li, J. & Liu, L., "Current Status and Future Perspective of Recycling Copper by Hydrometallurgy from Waste Printed Circuit Boards", *Procedia Environ. Sci.*, 2016.
doi:10.1016/j.proenv.2016.02.022
- [7] Ghosh, B., Ghosh, M. K., Parhi, P., Mukherjee, P. S. & Mishra, B. K., "Waste Printed Circuit Boards recycling: An Extensive Assessment of Current Status", *Journal of Cleaner Production.*, 2015.
doi:10.1016/j.jclepro.2015.02.024
- [8] Dash, M. K., Patro, S. K. & Rath, A. K., "Sustainable Use of Industrial-Waste as Partial Replacement of Fine Aggregate for Preparation of Concrete – A Review", *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2016.
doi:10.1016/j.ijjsbe.2016.04.006
- [9] Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia & Indonesia, P. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009*. 620–623, 680–685, 2009.
- [10] Sobri, S. & Ali, A. H. M., "Chemical Characterisation of Printed Circuit Board Wastewater", *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 17, 2011.
- [11] Silvas, F. P. C. *et al.*, "Printed Circuit Board Recycling: Physical Processing and Copper Extraction by Selective Leaching", *Waste Manag.*, 2015.
doi:10.1016/j.wasman.2015.08.030
- [12] Torres, R. & Lapidus, G. T., "Copper Leaching from Electronic Waste for the Improvement of Gold Recycling", *Waste Manag.*, 2016.
doi:10.1016/j.wasman.2016.03.010
- [13] Eskani, I. N. & Carlo, I. de., "Pengolahan Limbah Cair Industri Tembaga", *Din. Kerajinan dan Batik Maj. Ilm.* 24, 10–16, 2007.
- [14] Drs. Heryando Palar., "Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat", *Journal of Chemical Information and Modeling*, 2019.
doi:10.1017/CBO9781107415324.004
- [15] Mulyaningsih, N., "Alternatif Pengendalian Pencemaran Limbah Nikel - Krom pada Industri Kecil Pelapisan Logam", *J. Univ. Tidar* 39, 1–12., 2013.
- [16] Cahyono, H. B. & Ariani, N. M., "Reduksi Tembaga dalam Limbah Cair Proses Etching Printing Circuit Board (Pcb) dengan Proses Elektrokimia Copper Reduction in Printing Circuit Board (Pcb) Etching", *J. Ris. Ind.* 8, 113–122, 2014.
- [17] Park, H. H., Park, H. & Lee, H. S., "A Simple Method of Estimating the Radiated Emission From a Cable Attached to a Mobile Device", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.* 55, 257–264, 2013.
- [18] Djamal, H. & Krisnadi, I., "Gangguan Telepon Seluler pada Transportasi Udara Komersial", *J. Telekomun. dan Komput.*, 2017. doi:10.22441/incomtech.v4i2.1127
- [19] Balmori, A., "Electromagnetic Pollution from Phone Masts. Effects on Wildlife", *Pathophysiology* 16, 191–199, 2009.
- [20] Bawelle, C. F. N., Lintong, F. & Rumampuk, J., "Hubungan Penggunaan Smartphone dengan Fungsi Penglihatan pada Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Sam Ratulangi Manado angkatan 2016", *J. e-Biomedik*, 2016.
doi:10.35790/ebm.4.2.2016.14865
- [21] Thandung, D., "Tingkat Radiasi Elektromagnetik Beberapa Laptop dan Pengaruhnya terhadap Keluhan Kesehatan", *J. e-Biomedik*, 2014.
doi:10.35790/ebm.1.2.2013.3258
- [22] Nicolae, P. M., Stoica, C. M. & Mihai, G., "Conducted Emission Measurements for a Laptop". *2014 Int. Conf. Appl. Theor. Electr., ICATE 2014 - Proc.* 2–5., 2014.
doi:10.1109/ICATE.2014.6972659
- [23] Armstrong, K., "Guide to Testing Conducted Emissions (Based on the Methods in EN 55022 and EN 55011)", *In Compliance*, 14–27, 2011.
- [24] Lapinsky, S. E. & Easty, A. C., "Electromagnetic Interference in Critical Care", *J. Crit. Care* 21, 267–270, 2006.
- [25] Song, E., Park, H. B. & Park, H. H., "An Evaluation Method for Radiated Emissions of Components and Modules in Mobile Devices", *IEEE Trans. Electromagn. Compat.* 56, 1020–1026, 2014.
- [26] Song, E., Park, H. B. & Park, H. H., "An Electromagnetic Interference (EMI) Evaluation Method for Components in

- Mobile Devices"., *IEEE Int. Symp. Electromagn. Compat.* 783–786, 2013. doi:10.1109/ISEMC.2013.6670516
- [27] Jiang, D. *et al.*, "Electromagnetic Interference Shielding Polymers and Nanocomposites - A Review"., *Polymer Reviews*, 2019. doi:10.1080/15583724.2018.1546737
- [28] Wang, C. *et al.*, "Overview of Carbon Nanostructures and Nanocomposites for Electromagnetic Wave Shielding"., *Carbon*, 2018. doi:10.1016/j.carbon.2018.09.006