
PENGEMBANGAN METODE PENGUKURAN PAPARAN MEDAN ELEKTROMAGNETIK PADA INKUBATOR BAYI

Development of Electromagnetic Exposure Measurement Method in Infant Incubators

Muhammad Imam Sudrajat¹, Haryo Dwi Prananto¹, Priyo Wibowo¹ dan Dias Orchita Adianingrum²

¹Pusat Penelitian Teknologi Pengujian-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Gedung 417 Kawasan Puspiptek Tangerang Selatan, Indonesia

²Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Yogyakarta Jurusan Kebidanan
Mangkuyudan MJ III/304 Yogyakarta, Indonesia
e-mail: muhammad.imam.sudrajat@lipi.go.id

Diterima: 1 Maret 2019, Direvisi: 22 Juli 2019, Disetujui: 6 Maret 2020

Abstrak

Pengujian kompatibilitas elektromagnetik pada inkubator bayi berdasarkan standar CISPR 11 merupakan pengukuran medan elektromagnetik secara *Far Field*. Metode pengukuran berdasar CISPR 11 tersebut belum menggambarkan besaran paparan elektromagnetik yang diterima oleh bayi pada jarak dekat. Penelitian ini dilakukan sebagai pengembangan metode CISPR 11 pada pengukuran medan elektrik dengan melakukan pemetaan sebaran medan elektrik. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan menggunakan teknik *purposive sampling* dalam pemilihan inkubator bayi. Radiasi elektromagnetik inkubator diukur berdasarkan standar pengujian CISPR 11 dan dilakukan pengembangan metode pengukuran dengan melakukan pengukuran *near field planar system* untuk pemetaan medan elektromagnetik. Pemetaan tersebut digabungkan dengan gambar simulasi posisi bayi saat diletakkan di inkubator kemudian dianalisis perkiraan intensitas medan yang sampai pada bagian otak bayi. Dari sampel yang dipakai terdapat paparan medan elektromagnetik tertinggi di 3 frekuensi yaitu 121, 132, 221 MHz. Pola sebaran medan elektrik yang dihasilkan dari setiap frekuensi berbeda-beda dan masing-masing frekuensi memiliki area yang memiliki medan elektrik tertinggi yang berpotensi mempengaruhi bayi terutama organ vital yang berada pada area tersebut. Metode pemetaan ini dapat digunakan sebagai pengembangan metode pengukuran radiasi elektromagnetik pada inkubator bayi, terutama untuk mengetahui sebaran medan elektrik diatas permukaan matras inkubator.

Kata kunci : inkubator bayi, *near field*, pemetaan medan elektromagnetik

Abstract

Electromagnetic compatibility testing of infant incubators based on the CISPR 11 standard is a Far Field electromagnetic field measurement. Measurement method based on CISPR 11 has not yet described the magnitude of electromagnetic exposure received by the baby at close range. This research is carried out as a method development for measuring electric fields by mapping electric field propagation. The research method used is the experimental method using purposive sampling technique in the selection of infant incubator. Electromagnetic radiation incubators were measured according to the CISPR 11 testing standard and the measurement method was developed by measuring near field planar systems for mapping electromagnetic fields. The mapping is combined with the baby's position image simulation when placed in an incubator then estimation of electric field intensity at baby's brain is analyzed. As a result there are mapping exposure to electromagnetic fields in 3 the frequencies 121, 132 and 221 MHz. The electric fields distribution pattern that produced from each frequency varies and each frequency has an area that has the highest electric field which have possibility to influence the baby especially vital organs at that area. This mapping electromagnetic fields can be used as method development of radiated emission measurement for infant incubator, especially to detect electric field propagation at the incubator mattress surface.

Keyword: *electromagnetic field mapping, infant incubator, near field*

1. PENDAHULUAN

Inkubator bayi merupakan peralatan kesehatan yang sangat penting untuk menjaga kondisi lingkungan bayi tetap hangat dan aman. Kondisi suhu dan kelembaban di dalam ruang bayi inkubator diatur dengan sistem yang terdiri dari

sensor, mikrokontrol, kipas, pemanas dan beberapa peralatan elektronik lainnya. Komponen-komponen elektronik, atau elektromekanik pada sistem kontrol tersebut merupakan sumber-sumber penghasil medan elektromagnetik yang berpotensi mengganggu kinerja peralatan elektromedik lain disekitarnya

yang dapat memicu kesalahan diagnosa. Selain itu bayi dan petugas kesehatan disekitar inkubator juga berpotensi terkena dampak paparan medan elektromagnetik yang efeknya walaupun belum diketahui secara pasti, telah dibuktikan oleh beberapa penelitian dapat mempengaruhi sistem metabolisme tubuh. Berdasarkan standar IEC 60601-1-2 dan IEC 60601-2-19, acuan yang digunakan sebagai standar uji terkait kompatibilitas elektromagnetik /*electromagnetic compatibility* (EMC) khususnya batasan emisi elektromagnetik yang diperbolehkan untuk inkubator bayi harus mengacu pada standar CISPR 11 (IEC 60601-1-2,2014). Pada CISPR 11 dengan jarak pengukuran 3 meter batasan tertinggi medan elektromagnetik yang diperbolehkan adalah 40 dB μ V/m untuk frekuensi 30-230MHz dan 47 dB μ V/m untuk frekuensi 230-1000Mhz. (CISPR 11, 2015).

Secara umum efek medan elektromagnetik terhadap kesehatan akhir-akhir ini masih merupakan polemik, karena efeknya yang bervariasi. Di satu sisi, aplikasi EMF telah berhasil digunakan untuk terapi kesehatan dan tindakan medis, seperti terapi penyembuhan patah tulang (Boopalan *et al.*, 2009), anti-tumor *electroporation* (Mali *et al.*, 2008) dan beberapa aplikasi medis lain (Lai & Sigh, 2010),. Namun di sisi lain muncul kekhawatiran noise EMF yang berkembang sangat pesat akibat pemakaian berbagai macam peralatan kesehatan elektronik akhir-akhir ini dapat menimbulkan efek samping (Calvente, Vázquez-Pérez, Fernández, Núñez, & Muñoz-Hoyos, 2017). Meskipun dari beberapa penelitian menunjukkan tidak adanya pengaruh signifikan EMF terhadap kesehatan (Choi *et al.*, 2016) (Koyama, Narita, Shinohara & Miyakoshi, 2014) (Shi, Zhu, Lu, Mao, & Qi, 2014), beberapa penelitian lain menunjukkan EMF terbukti memiliki dampak medis yang signifikan bahkan beberapa diantaranya merupakan dampak yang negatif (Morgan, Kesari, & Davis, 2014) (Jooyan *et al.*, 2019). *International Agency for Research on Cancer* juga menyatakan medan elektromagnetik pada frekuensi radio berpotensi sebagai karsinogen (IARC,2013).

Hasil penelitian terdahulu yang telah dirangkum Bellini *et. al* terhadap 15 makalah ilmiah terkait EMF dari inkubator disimpulkan bahwa besarnya EMF dari inkubator sangat ditentukan oleh jarak pengukuran dengan sumber, khususnya pengukuran kuat medan magnet, dengan perubahan jarak pengukuran 10 cm dari permukaan matras saja emisi EMFnya dapat berkurang sebesar 55% (Bellieni *et al.*, 2019; Valerio *et al.*, 2002).

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis paparan dan pola sebaran medan elektrik di tempat bayi diletakkan di dalam inkubator khususnya di atas matras. Kajian ini sangat diperlukan karena umumnya pengujian EMC sesuai standar CISPR 11 merupakan pengukuran medan elektromagnetik secara *far field* (FF) yang dilakukan pada jarak 3 meter atau 10 meter sehingga hanya merepresentasikan paparan pada jarak jauh, sedangkan bayi sebagai pasien yang menggunakan inkubator akan berada sangat dekat dengan sumber medan EMF dan dengan masa paparan yang relatif lama. Sehingga hasil pengukuran yang didapatkan dengan metode uji sesuai standar CISPR 11 belum menggambarkan besarnya paparan EMF yang diterima bayi.

Pengembangan metode pengukuran berdasarkan metode uji dari standar CISPR 11 yang kemudian dikaitkan dengan pemetaan atau pembuatan plot paparan medan elektrik di atas matras dengan metode *near field planar system* merupakan keterbaruan dari penelitian ini dan belum pernah dilakukan oleh peneliti lain. Pemetaan dan penentuan frekuensi dominan sangat penting untuk mengetahui intensitas paparan dan sebaran medan elektromagnetik yang langsung menyentuh bayi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Efek medan elektromagnetik terhadap kesehatan

Beberapa penelitian terkait efek negatif EMF terhadap kesehatan diantara adalah adanya efek perlambatan pertumbuhan fetus saat diberi paparan medan EMF (Kheifets *et al.*, 2005). Hasil dari penelitian lain juga menunjukkan efek negative paparan EMF dalam frekuensi radio (RF) terhadap stem sell manusia (Czyz *et al.*, 2004; Markovà, Malmgren, & Belyaev, 2010). Penelitian yang dilakukan Lustenberger juga menunjukkan pengaruh medan elektromagnetik pada frekuensi radio terhadap aktivitas kortikal otak manusia selama fase tidur (Lustenberger *et al*, 2013). Beberapa penelitian terkait efek medan elektromagnetik terhadap kesehatan menunjukkan keterkaitan antara besarnya efek yang ditimbulkan akan dipengaruhi oleh kuat medan, frekuensi, jarak terhadap sumber, material (Markovà, Malmgren, & Belyaev 2010) dan durasi paparan.

Efek medan elektromagnetik dikategorikan sebagai gangguan kesehatan apabila efek yang ditimbulkan merugikan kesehatan secara nyata. Perasaan cemas, gelisah yang tidak terkait langsung secara fisik dengan paparan medan

elektromagnetik tidak termasuk sebagai gangguan kesehatan akibat medan elektromagnetik. Efek sakit atau terbakar akibat paparan medan elektromagnetik dianggap sebagai gangguan kesehatan. Pembatasan paparan medan elektromagnetik harus dilakukan untuk menghindari gangguan-gangguan kesehatan. (ICNIRP, 1998; *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 1992). Pembatasan paparan dirumuskan dalam bentuk batasan dasar dan batas maksimum yang dianjurkan untuk menghindari efek yang merugikan kesehatan. Batas paparan dinyatakan dalam istilah *Maximum Permissible Exposure* (MPE).

2.2 Medan elektromagnetik pada inkubator bayi

Seperti halnya peralatan elektronika yang lain, motor pada inkubator merupakan sumber EMF yang akan meradiasikan EMF pada lingkungan sekitarnya (Bellieni *et al.*, 2019). Paparan EMF yang ditimbulkan dari inkubator bayi mendapatkan perhatian yang cukup besar, karena struktur metabolisme bayi yang masih sangat rentan, dekatnya bayi dengan sumber medan dan durasi paparan yang umumnya diterima bayi didalam inkubator yang cukup lama, bahkan dalam kondisi tertentu paparan EMF yang diterima bayi di *Neonatal Intensive Care Unit* (NICU) bisa lebih dari 1 bulan. Hal ini dikhawatirkan akan memberikan efek negatif yang tidak diinginkan terutama bagi bayi. Hasil penelitian yang dilakukan Bellieni menunjukkan EMF dari inkubator bayi berpotensi dapat mempengaruhi detak jantung bayi (Bellieni *et al.*, 2008).

Standar IEC 60601-2-19 merupakan standar syarat perlindungan keamanan bagi konsumen terutama untuk inkubator bayi. Adapun standar IEC 60601-1-2 menjabarkan secara khusus batasan emisi elektromagnetik yang diperbolehkan untuk peralatan kesehatan termasuk juga inkubator bayi dengan sistem dan metode pengukuran mengacu pada standar CISPR 11. Persyaratan dalam standar tersebut hanya berkaitan dengan performa dan keselamatan pengoperasian inkubator bayi, namun belum mencakup masalah keamanan paparan medan elektromagnetik yang diterima oleh bayi di dalam inkubator. Pembatasan paparan medan elektromagnetik yang dimuat oleh ICNIRP *Guidelines* belum menjelaskan metode pengukuran paparan medan elektromagnetik pada inkubator bayi. Selain itu, intensitas paparan dan sebaran medan elektromagnetik yang langsung menyentuh bayi tidak dapat diketahui dengan jelas bila

menggunakan metode pengukuran CISPR 11 sebab pengukuran dilakukan pada jarak 10 m atau 3 m dari inkubator pada ketinggian antenna pengukur 1 - 4 m.

Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah pemetaan radiasi elektromagnetik. Pemetaan radiasi elektromagnetik pada suatu perangkat dapat dilakukan untuk mengetahui intensitas medan, dimana sumber EMI berasal serta pola sebarannya yang sangat bermanfaat untuk mengevaluasi interaksi dengan lingkungan disekitarnya. (Wibowo, 2016; Wibowo & Sudrajat, 2017)

2.3 Medan Elektromagnetik

Medan elektromagnetik merupakan gabungan antara medan elektrik yang dihasilkan dari adanya beda muatan dan medan magnet akibat dari adanya arus listrik. Dengan r adalah jarak antara sumber dengan antenna/sensor dan λ adalah panjang gelombang terukur maka pada pengukuran *far field* ($r \gg 2\lambda$) medan elektromagnetik dapat diukur dalam satu kesatuan, namun pada pengukuran *near field* ($r \ll \lambda$) komponen medan magnetik dan medan elektrik akan terpisah. Metode pengukuran *near field* pada umumnya digunakan untuk mengetahui lokasi sumber-sumber EMF. Gangguan medan elektromagnetik dari suatu peralatan elektronik yang memancarkan interferensi elektromagnetik / *Electromagnetic Interference* (EMI) tinggi dapat mempengaruhi kinerja dan hasil pembacaan alat elektromedis disekitarnya, hal ini tentunya akan menimbulkan potensi kesalahan diagnosa, kesalahan metode perawatan pasien atau bahkan malfungsi alat.

2.4 Perambatan medan elektrik pada tubuh

Perambatan gelombang elektromagnetik dalam tubuh dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut yaitu permeabilitas medium (μ), permitivitas medium (ϵ), karakter konduktifitas (σ) dan jarak tempuh (z). Pendekatan matematis perambatan gelombang elektromagnetik pada tubuh dapat menggunakan persamaan (1), dimana E adalah amplitudo kompleks dari gelombang elektromagnetik pada arah satu dimensi (Dove, 2014).

$$E(z) = E e^{-\gamma z} \quad (1)$$

$$\gamma = j\omega\sqrt{\mu\epsilon} \quad (2)$$

Dimana:

- E = amplitudo kompleks gelombang elektromagnetik arah satu dimensi
- z = jarak tempuh gelombang
- μ = permabilitas medium

ϵ = permitivitas medium
 ω = frekuensi angular

Permeabilitas medium $\mu = \mu_r \mu_0$, pada tubuh manusia $\mu = \mu_0$ karena $\mu_r = 1$, sedangkan nilai permitivitas medium $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$. Nilai ϵ_r pada tubuh manusia memiliki nilai yang kompleks karena nilainya tergantung terhadap frekuensi.

Saat melewati berbagai lapisan material pada tubuh, sinyal akan mengalami pelemahan. Besarnya pelemahan sinyal merupakan jumlah pelemahan dari *material loss*, pantulan / *reflection* dan pantulan multi / *multiple reflection* (Dove, 2014). Besarnya pelemahan sinyal ini sangat dipengaruhi oleh jenis material dan tebal material yang dilewati.

Material loss, merupakan pelemahan sinyal yang terjadi akibat perambatan sinyal yang teredam saat melewati material tertentu. Saat sinyal melalui berbagai macam medium dalam tubuh maka setiap kali sinyal tersebut melalui tiap-tiap medium akan mengalami pelemahan yang besarnya tergantung dari nilai konstanta pelemahan / *attenuation constant* (α) dan tebal medium (z). Pelemahan daya sinyal karena penyerapan pada tiap material yang dilalui dinyatakan dengan persamaan (3).

$$L_A = e^{2\alpha z} \quad (3)$$

Dimana:

L_A = Pelemahan daya sinyal karena penyerapan
 α = konstanta pelemahan
 z = tebal medium

atau dalam desibel (dB) dapat dihitung dengan

$$L_{A_{dB}} = 20 \log_{10} e^{\alpha z} = 8.686\alpha z \quad (4)$$

Dimana:

$L_{A_{dB}}$ = pelemahan daya akibat penyerapan dalam satuan desibel

Sehingga total pelemahan akibat penyerapan material dapat dinyatakan dengan persamaan (5).

$$L_{A_{total\ dB}} = \sum_{i=1}^N 8.686\alpha_i z_i \quad (5)$$

Dimana:

$L_{A_{total\ dB}}$ = total pelemahan daya akibat penyerapan material dalam satuan desibel

Reflection loss, merupakan pelemahan yang terjadi akibat pemantulan sinyal saat sinyal melewati dua medium yang memiliki karakteristik impedansi yang berbeda. Saat sinyal melewati perbatasan kedua medium ini, sebagian sinyal

dipantulkan dan sebagian diteruskan. *Transferred power factor* G_T dari perambatan gelombang dari satu material ke material yang lain dinyatakan dengan persamaan (6).

$$G_{T_{i,(i+1)}} = \frac{P_t}{P_{in}} = 1 - |\Gamma_{i,(i+1)}|^2 \quad (6)$$

$$\Gamma_{i,(i+1)} = \frac{\eta_{(i+1)} - \eta_i}{\eta_{(i+1)} + \eta_i} \quad (7)$$

Keterangan:

$G_{T_{i,(i+1)}}$ = *transferred power factor* dari satu material ke material lain
 P_{in} = daya sinyal yang datang dari lapisan material i
 P_t = daya sinyal yang ditransmisikan ke lapisan material selanjutnya i+1
 $\Gamma_{i,(i+1)}$ = koefisien refleksi pada *boundary* lapisan material i dan material selanjutnya (i+1).
 η = *intrinsic impedance*

Sehingga total pelemahan akibat refleksi material dalam satuan desibel dapat dinyatakan dengan persamaan (8)

$$G_{T_{total\ dB}} = \sum_{i=1}^N 10 \log_{10}(1 - |\Gamma_{i,i+1}|^2) \quad (8)$$

Dimana:

$G_{T_{total\ dB}}$ = total pelemahan akibat refleksi material dalam satuan desibel

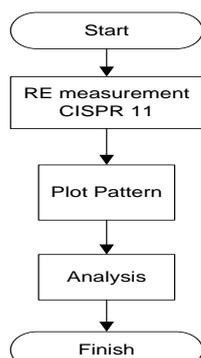
3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dengan mengukur dan memetakan medan elektrik / *electric field* (EF) yang dikeluarkan oleh inkubator bayi, terutama pada jarak dekat / *near field* (NF) berdasarkan frekuensi yang didapatkan dari pengujian berdasar CISPR 11. Inkubator bayi yang diukur berjumlah satu unit, dimana pemilihan sampel inkubator yang digunakan berdasarkan teknik *non probabling sampling* khususnya *puspositive sampling*, yaitu dengan memilih salah satu merk incubator yang sudah diperjual belikan secara luas.

Pengukuran dilakukan di ruang bebas gema elektromagnetik semi / *Semi Anechoic chamber* di P2TP LIPI untuk meniadakan faktor gangguan dari sinyal lain dari luar sistem inkubator. Sehingga murni nilai yang terukur adalah berasal dari sampel inkubator bayi.

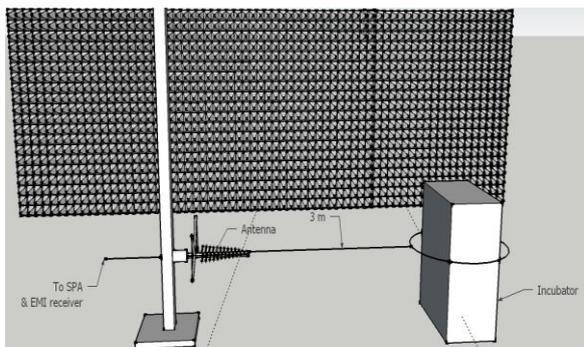
Sebelum dilakukan pengukuran NF untuk pemetaan, dilakukan pengukuran *FF Radiated Emission (RE)* sesuai standar CISPR 11 untuk menentukan spektrum frekuensi EMI dari

inkubator bayi. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan antenna Bilog di rentang frekuensi 30 MHz – 1000 MHz, dengan jarak pengukuran 3 meter dari bagian terluar inkubator bayi sampai dengan titik pusat antenna. Berdasarkan pengujian tersebut didapatkan spektrum dengan 3 frekuensi yang memiliki kuat medan elektromagnetik tertinggi yaitu di frekuensi 121, 132 dan 221 MHz.



Gambar 1 Alur penelitian.

Dari ketiga frekuensi tersebut, masing-masing dilakukan pengukuran secara *Near Field* untuk membuat pola sebaran medan elektriknya dengan teknik *near field planar system*. Instrumen yang digunakan adalah NF-EF probe dari Spectran Aaronia dan spectrum analyzer Advantest U3751 sebagai alat ukur medan elektrik. Pengambilan data pola sebaran paparan EF pada matras inkubator menggunakan teknik *planar system sampling* (Migliore, 2018) (Franek, Sorensen, Ebert, & Pederson, 2012) yaitu dengan membagi titik pengukuran berupa kisi-kisi persegi yang mana jarak antar kisi masih di area standar $\lambda/2$ yaitu sebesar 5 cm. Sementara itu, jarak pengukuran antara probe dengan matras di dalam kompartemen inkubator disesuaikan dengan area NF (jarak berada di area kurang dari panjang gelombang di 3 spectrum frekuensi 121, 132, dan 221 MHz) (Ferrara, Gennarelli, & Guerriero, 2016) yaitu sebesar 0.5 cm.

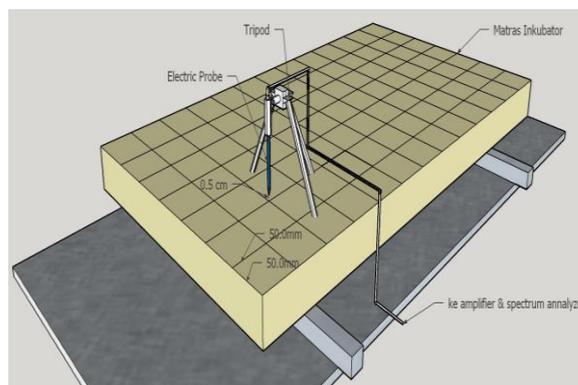


Gambar 2 Pengujian RE EMC berdasar CISPR 11.

Hasil dari pengukuran tersebut kemudian diolah dengan cara dipetakan sehingga terbentuk kontur medan elektromagnetik. Dikarenakan pengukuran ini bertujuan untuk mendapatkan nilai paparan EF yang diterima pada posisi bayi sebenarnya, maka kontur medan elektromagnetik kemudian diberikan gambar simulasi posisi bayi saat diletakkan di inkubator. Data hasil pemetaan kemudian dianalisis untuk mengetahui daerah yang memiliki paparan EF yang besar dan berpotensi memberikan pengaruh pada organ bayi yang berada di sekitar sumber tersebut.

Pelemahan sinyal yang diperhitungkan pada penelitian ini adalah pelemahan akibat absorpsi sinyal pada material dan absorpsi sinyal akibat refleksi sinyal. Sementara, pelemahan akibat *multiple reflection* dapat diabaikan karena nilainya sangat kecil (Dove, 2014).

Alur mekanisme metode penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Layout pengukuran RE EMC berdasarkan standar CISPR 11 ditunjukkan pada Gambar 2 dan layout dan mekanisme pengukuran NF ditunjukkan pada Gambar 3.

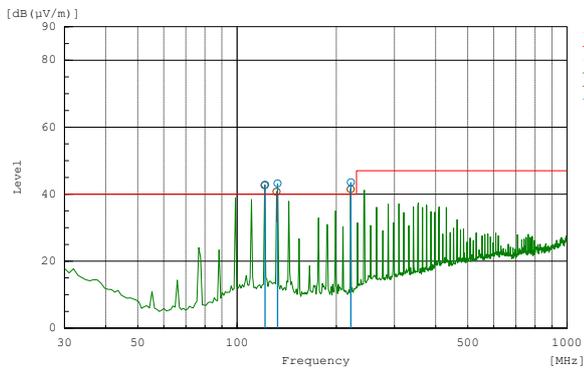


Gambar 3 Pengukuran medan elektrik NF pada area matras inkubator.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

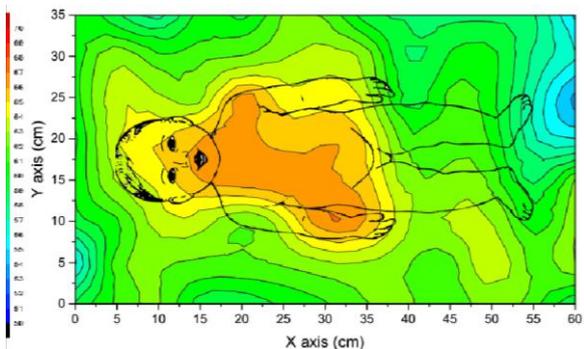
Dari pengukuran berdasar metode uji CISPR 11 di dalam ruang *semi anechoic*, didapatkan spektrum frekuensi yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4. Dari pengukuran tersebut terdapat 3 frekuensi dengan amplitudo kuat medan terbesar, yaitu di 121 MHz, 132 MHz dan 221 MHz. Nilai amplitudo dari ketiga frekuensi tersebut adalah 42,8 dB μ V/m pada frekuensi 121 MHz, 43,2 dB μ V/m pada frekuensi 132 MHz, dan 43,6 dB μ V/m pada frekuensi 221 MHz. Dengan demikian frekuensi tersebut merupakan penyumbang terbesar emisi EMF pada inkubator dan merupakan frekuensi yang paling berpotensi memberikan dampak terbesar terhadap

lingkungannya terutama pada pasien bayi yang ada di dalamnya.



Gambar 4 Spektrum frekuensi hasil pengukuran RE EMC.

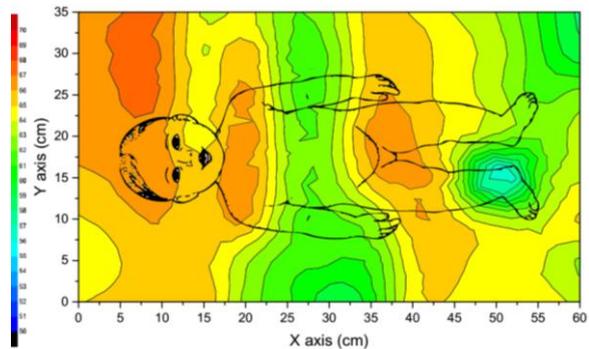
Ketiga frekuensi tersebut dipetakan dengan metode *near field planar system* untuk mendapatkan pola sebaran medan elektrik di atas matras sebagai pengembangan metode pengukuran radiasi elektromagnetik. Hasil pemetaan pola medan elektrik di atas matras di dalam kompartemen inkubator bayi pada ketiga frekuensi ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7. Area yang ditandai dengan warna oranye mendekati merah merupakan daerah dengan kuat medan elektrik yang tinggi dan daerah dengan warna biru merupakan daerah dengan kuat medan elektrik yang rendah.



Gambar 5 Pola sebaran medan elektrik di atas matras inkubator pada 121 MHz.

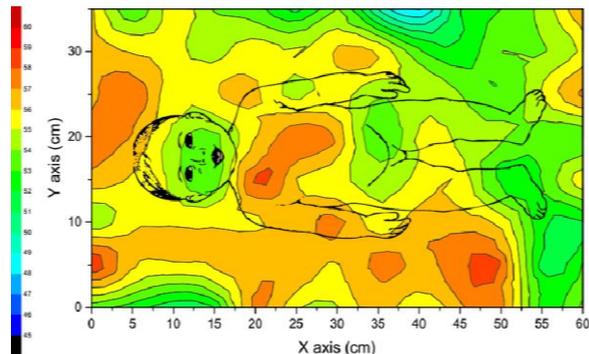
Pada profil sebaran medan elektrik di frekuensi 121 MHz terlihat daerah dengan paparan tertinggi berada di sekitar area tengah matras dengan nilai medan elektrik tertinggi adalah sebesar 67.03 dBuV. Area tersebut berada di daerah dengan rentang sumbu X antara titik 10 sampai 35 dan sumbu Y antara titik 7.5 sampai 25. Pada frekuensi 132 MHz medan elektrik yang tinggi terjadi di 2 daerah yaitu area sepertiga bagian kiri dan sepertiga area kanan matras atau berada di daerah dengan rentang titik 0 sampai 22.5 dan titik 32.5 sampai 47.5 pada sumbu X. Pada frekuensi ini kuat medan elektrik

tertinggi adalah sebesar 67.4 dBuV. Sedangkan pada frekuensi 221 MHz terjadi sebaran medan pada dua per tiga luasan matras.



Gambar 6 Pola sebaran medan elektrik di atas matras inkubator pada frekuensi 132 MHz.

Dengan peletakan bayi dengan posisi seperti gambar 5, 6 dan 7 maka beberapa daerah matras yang memiliki pola medan elektrik terbesar berada sangat dekat dengan organ-organ vital bayi dan kelenjar hormon endokrin.

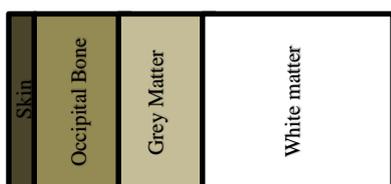


Gambar 7 Pola sebaran medan elektrik di atas matras inkubator pada frekuensi 221 MHz.

Pada frekuensi 121 MHz paparan medan elektrik tertinggi terletak pada daerah tengah atau berada disekitar dada bayi dimana sangat dekat dengan organ vital bayi seperti jantung, hati, paru-paru, kelenjar tiroid, para tiroid, kelenjar adrenal, kelenjar hipofisis dan kelenjar pankreas. Pada frekuensi 132 MHz paparan medan elektrik yang ditimbulkan inkubator berada dekat dengan kepala bayi dan dada bagian dimana terdapat beberapa organ kelenjar tiroid, para tiroid, kelenjar hipofisis dan jantung. Sedangkan pada frekuensi 221 MHz paparan medan elektrik terbesar sangat berdekatan dengan daerah dada bayi dan tubuh bagian kanan bayi. Pada frekuensi 221 MHz pola sebaran paparan seperti itu muncul karena lokasi sistem pengontrol sebagai salah satu sumber medan EM pada inkubator juga berada pada sisi kanan bayi. Di frekuensi ini paparan medan elektrik tertinggi berada dekat

dengan jantung, paru-paru, kelenjar pankreas, kelenjar tiroid dan kelenjar para tiroid.

Kuat medan elektrik yang mencapai organ-organ tersebut sangat dipengaruhi oleh material penyusun, kombinasi material dan tebal lapisan material. Apabila diambil salah satu contoh di daerah dekat kepala bayi pada frekuensi 132 MHz, propagasi gelombang melalui lapisan material penyusun kepala bayi sampai dengan bagian otak *white matter* ditunjukkan seperti Gambar 8 dan dengan nilai karakter tiap lapisan seperti ditunjukkan Tabel 1 dan nilai transfer faktor pada tiap batas lapisan ditunjukkan pada Tabel 2 dengan asumsi material tulang *occipital* bayi adalah material *cartilage* dan kuat medan pada permukaan matras di daerah tersebut adalah sebesar 65.43dBuV arah gelombang tegak lurus permukaan kepala maka kuat medan elektrik yang sampai pada bagian otak *white matter* adalah sekitar 60.90 dBuV.



Gambar 8 Penyederhanaan lapisan pada bagian belakang kepala sampai *white matter*.

Tabel 1 Pelemahan sinyal akibat absorpsi pada daerah kepala dan frekuensi 132 MHz.

Tissue	Tebal (mm)	α (1/m)	L_{dB} (dB)
Skin	1.5	10.57	0.14
Occipital Bone (OB)	12	11.13	1.16
Grey matter (GM)	5	11.24	0.49
White matter (WM)	31.6	8.30	2.28
L_{dB} (dB) Total			4.07

Contoh perhitungan ini merupakan perhitungan spesifik pada kasus satu titik khusus di matras sampel inkubator yang berada di dekat kepala bayi pada frekuensi 132 MHz saja dengan asumsi arah medan tegak lurus tanpa interferensi dengan gelombang lain. Karena lapisan *tissue* kulit berdasarkan anatomi tubuh bayi per bagian berbeda-beda dan karakteristik dielektrik material terhadap frekuensi juga berbeda maka kuat medan elektrik yang mencapai organ dalam tubuh juga akan berbeda. Apabila menggunakan sampel inkubator dengan model yang lain, sangat dimungkinkan profil emisi dan sebaran medan elektromagnetiknya akan berbeda. Namun demikian metode pengukuran dan contoh kalkulasi ini dapat menunjukkan perkiraan kuat

medan dalam organ vital bayi akibat paparan medan elektromagnetik dari sampel inkubator bayi.

Tabel 2 *Transferred power factor* pada setiap batas lapisan in dB.

Layer Boundary	$\eta_{(i+1)} - \eta_i$	$\eta_{(i+1)} + \eta_i$	$G_{T_{dB}}$ (dB)
Skin-OB	3.68	88.46	-0.01
OB-GM	-16.11	76.03	-0.20
GM- WM	18.5	78.42	-0.25
$G_{T_{dB}}$ Total			-0.46

5. KESIMPULAN

Metode uji RE dengan *semi anechoic chamber* 3 meter berdasarkan standar CISPR 11 dapat dilakukan untuk menentukan spektrum frekuensi pada pengukuran jarak jauh atau *Far Field*, namun hal ini belum menggambarkan paparan medan sebenarnya yang diterima oleh bayi di dalamnya. Dengan mengembangkan metode pengukuran tidak hanya dengan metode pengukuran *far field* namun juga dikombinasikan dengan metode *near field planar system* dapat diketahui pola paparan medan elektrik pada permukaan matras bayi. Dengan demikian bisa di analisis kemungkinan besarnya medan elektrik yang sampai pada organ vital bayi. Dari analisis paparan dan pola medan elektrik di atas matras sampel inkubator pada tiga frekuensi, terlihat masing-masing frekuensi memiliki pola sebaran yang berbeda-beda. Khususnya pada sampel inkubator ini, paparan medan tertinggi berada pada sekitar daerah organ vital bayi dan apabila hanya dengan menggunakan metode CISPR 11 saja maka hal ini tidak akan dapat terdeteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Belliemi, C. V., Acampa, M., Maffei, M., Maffei, S., Perrone, S., Pinto, I., ... & Buonocore, G. (2008). Electromagnetic fields produced by incubators influence heart rate variability in newborns. *Archives of Disease in Childhood-Fetal and Neonatal Edition*, 93(4), F298-F301. doi:10.1136/adc.2007.132738
- Belliemi, C. V., Nardi, V., Buonocore, G., Di Fabio, S., Pinto, I., & Verrotti, A. (2019). Electromagnetic fields in neonatal incubators: the reasons for an alert. *Journal of Maternal-Fetal and Neonatal Medicine*. <https://doi.org/10.1080/14767058.2017.1390559>

- Boopalan, P., Chittaranjan, S. B., Balamurugan, R., Nandakumar, N. S., Sabareeswaran, A., & Mohanty, M. (2009). Pulsed electromagnetic field (PEMF) treatment for fracture healing. *Current Orthopaedic Practice, 20*(4), 423-428.
doi:10.1097/BCO.0b013e318198e8b2
- Calvente, I., Vázquez-Pérez, A., Fernández, M. F., Núñez, M. I., & Muñoz-Hoyos, A. (2017). Radiofrequency exposure in the Neonatal Medium Care Unit. *Environmental Research, 152*, 66-72.
doi:10.1016/j.envres.2016.09.019
- Choi, Y. K., Urnukhsaikhan, E., Yoon, H. H., Seo, Y. K., Cho, H., Jeong, J. S., ... Park, J. K. (2016). Combined effect of pulsed electromagnetic field and sound wave on in vitro and in vivo neural differentiation of human mesenchymal stem cells. *Biotechnol. Prog. 33*, 201–211.
doi:10.1002/btpr.2389.
- CISPR 11. (2015). Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement.
- Czyz, J., Guan, K., Zeng, Q., Nikolova, T., Meister, A., Schönborn, F., ... & Wobus, A. M. (2004). High frequency electromagnetic fields (GSM signals) affect gene expression levels in tumor suppressor p53-deficient embryonic stem cells. *Bioelectromagnetics: Journal of the Bioelectromagnetics Society, The Society for Physical Regulation in Biology and Medicine, The European Bioelectromagnetics Association, 25*(4), 296-307.
doi:10.1002/bem.10199
- Dove, I. (2014). *Analysis of Radio Propagation Inside the Human Body for in-Body Localization Purposes*. University of Twente.
- Ferrara, F., Gennarelli, C., & Guerriero, R. (2016). Near-Field Antenna Measurement Techniques. In Z. N. Chen (Ed.), *Handbook of Antenna Technologies*. Singapore: Springer Reference
- Franek, O., Sorensen, M., Ebert, H., & Pederson, G. F. (2012). Sampling Criterion for EMC Near Field Measurements. In *PIERS Proceeding*. Kuala Lumpur.
- IARC. (2013) Non-ionizing Radiation, Part 2: Radiofrequency Electromagnetic Fields. vol.102.
- ICNIRP. (1998). ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics, 74*(4), 494–522.
- IEC 60601-1-2. (2014). Medical electrical equipment-general requirements for safety-collateral standard: electromagnetic-compatibility-requirements and tests Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1992). IEEE C95. 1b: IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz Amendment 2. *Inc., New York, NY, 2004*. doi:10.1109/IEEESTD.2006.99501
- Jooyan, N., Goliaei, B., Bigdeli, B., Faraji-Dana, R., Zamani, A., ... & Mortazavi, S. M. J. (2019). Direct and indirect effects of exposure to 900 MHz GSM radiofrequency electromagnetic fields on CHO cell line: Evidence of bystander effect by non-ionizing radiation. *Environmental research, 174*, 176-187.
doi: 10.1016/j.envres.2019.03.063
- Kheifets, L., Repacholi, M., Saunders, R., & Van Deventer, E. (2005). The sensitivity of children to electromagnetic fields. *Pediatrics*.
<https://doi.org/10.1542/peds.2004-2541>
- Koyama, S., Narita, E., Shinohara, N., & Miyakoshi, J. (2014). Effect of an intermediate-frequency magnetic field of 23 kHz at 2 mT on chemotaxis and phagocytosis in neutrophil-like differentiated human HL-60 cells. *International journal of environmental research and public health, 11*(9), 9649-9659. doi:10.3390/ijerph110909649
- Lai, H. C., & Singh, N. P. (2010). Medical applications of electromagnetic fields. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 10*, 012006.
doi: 10.1088/17551315/10/1/012006
- Lustenberger, C., Murbach, M., Dürr, R., Schmid, M. R., Kuster, N., ... & Huber, R. (2013). Stimulation of the Brain With Radiofrequency Electromagnetic Field Pulses Affects Sleep-Dependent Performance Improvement. *Brain Stimulation, 6* (5), 805-811.
doi:10.1016/j.brs.2013.01.017
- Mali, B., Jarm, T., Corovic, S., Paulin-Kosir, M. S., Cemazar, ... & Miklavcic, D. (2008). The effect of electroporation pulses on functioning of the heart. *Medical & Biological Engineering & Computing, 46*(8). doi:10.1007/s11517-008-0346-7

- Markovà, E., Malmgren, L. O. G., & Belyaev, I. Y. (2010). Microwaves from Mobile Phones Inhibit 53BP1 Focus Formation in Human Stem Cells More Strongly Than in Differentiated Cells: Possible Mechanistic Link to Cancer Risk. *Environmental Health Perspectives*, 118(3), 394-399.
doi:10.1289/ehp.0900781
- Migliore, M. D. (2018). Near Field Antenna Measurement Sampling Strategies: From Linear to Near Field Antenna Measurement Sampling Strategies: From Linear to Nonlinear Interpolation. *Electronics*, 7(10).
- Morgan, Ll., Kesari, S., & Davis, D. (2014). Why children absorb more microwave radiation than adults: The consequences. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 2(4), 197.
doi:10.1016/j.jmau.2014.06.005
- Shi, D., Zhu, C., Lu, R., Mao, S., & Qi, Y. (2014). Intermediate frequency magnetic field generated by a wireless power transmission device does not cause genotoxicity in vitro. *Bioelectromagnetics*, 35(7), 512-518.
doi:10.1002/bem.21872.
- Valerio, B. C., Nadia, F., Manola, G., Barbara, T., Beatrice, R., Sandra, G., ... Franco, B. (2002). Esposizione del personale infermieristico ai campi elettromagnetici in TIN. *Assistenza Infermieristica e Ricerca : AIR*.
- Wibowo, P. (2016). Menganalisis Potensi Gangguan Kesehatan dari Radiasi Medan Elektromagnetik Disekitar Gardu Listrik 20 kV-380/220V Mengacu pada IEEE Std C95.1. *11th Annual Meeting on Testing and Quality*, 262-270.
- Wibowo, P., & Sudrajat, M. I. (2017). Memetakan Sumber Interferensi dari Driver Inverter dengan Lebih Akurat Menggunakan Sniffer Probe Serta Kombinasi Contour Plot dan Foto Perangkat. *12th Annual Meeting on Testing and Quality*, 263-268.

