

Analisis Emisi Konduksi Perangkat Kompor Induksi di Frekuensi 150 kHz-30 MHz

Budi Sudiarto¹, Henny Tri Kurniawati¹

¹ Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat 16424, Indonesia

[Diserahkan: 12 Januari 2024, Direvisi: 26 Februari 2024, Diterima: 5 Juli 2024]

Penulis Korespondensi: Henny Tri Kurniawati (email: henny.tri@ui.ac.id)

INTISARI — Penggunaan kompor induksi di masa yang akan datang diprediksikan akan dapat menggantikan kompor jenis konvensional karena faktor keuntungan dari sisi efisiensi dan ketahanan energinya. Usaha konservasi energi tersebut juga merupakan upaya pemerintah dalam mengurangi krisis energi terkait penyediaan pasokan *liquified petroleum gas* (LPG). Namun, perangkat rumah tangga termasuk kompor induksi yang menggunakan teknologi inverter berpotensi menimbulkan gangguan elektromagnetik (*electromagnetic interference*, EMI) berupa emisi konduksi yang dapat diinterpretasikan sebagai arus derau yang merambat pada jalur konduksi dan berpotensi mengganggu peralatan elektronik lainnya melalui sumber tegangan. Penelitian yang dilakukan memiliki tujuan untuk mengidentifikasi sebaran perangkat kompor induksi sebagai salah satu jenis perangkat rumah tangga yang beredar di masyarakat terkait persyaratan gangguan elektromagnetik, yaitu emisi konduksi sesuai Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR) 14-1:2020. Pengukuran emisi konduksi dilakukan terhadap empat merek kompor induksi yang beredar di masyarakat, yaitu merek A, C, M, dan P, dalam berbagai mode memasak dan level daya di rentang frekuensi 150 kHz-30 MHz, tegangan listrik PLN sebesar 220 V dan frekuensi 50 Hz. Pengukuran dilakukan sejumlah sepuluh kali untuk masing-masing tahap dan diambil enam nilai emisi konduksi tertinggi. Berdasarkan pengukuran, diperoleh hasil bahwa tingkat emisi konduksi pada sebagian besar kompor induksi yang dipergunakan dalam penelitian ini melampaui nilai yang dipersyaratkan dalam standar CISPR 14-1:2020. Komponen kompor induksi ke depannya harus lebih memperhatikan peraturan terkait emisi konduksi agar perangkat rumah tangga ini semakin aman serta nyaman bagi lingkungan elektromagnetik.

KATA KUNCI — Kompor Induksi, Emisi Konduksi, *Electromagnetic Interferences* (EMI), Standar CISPR 14-1:2020.

I. PENDAHULUAN

Dalam periode mendatang, diperkirakan bahwa kompor induksi akan menjadi salah satu perangkat masak yang dapat menggantikan kompor konvensional sebelumnya karena efisiensi dan ketahanan energinya yang menguntungkan [1], [2]. Langkah ini termasuk dari usaha pemerintah untuk konservasi energi dengan mengganti penggunaan kompor gas dan kompor konvensional lainnya dengan kompor induksi, yang dapat membantu mengatasi krisis energi di Indonesia, termasuk subsidi negara terkait penyediaan pasokan *liquified petroleum gas* (LPG) [1], [3], [4]. Oleh karena itu, banyak penelitian dilakukan untuk mendukung upaya konservasi energi ini. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa penggunaan kompor induksi dapat menjadi kontribusi untuk mengurangi emisi karbon yang dilepaskan ke atmosfer [5].

Di sisi lain, ada kekhawatiran timbulnya risiko penggunaan kompor induksi. Selain disebabkan oleh harga kompor induksi yang masih mahal, daya listrik yang digunakan tinggi, dan alat masak yang digunakan harus berbahan khusus, penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa hadirnya perangkat rumah tangga berteknologi inverter ini juga berisiko menimbulkan gangguan dalam rentang frekuensi 9-150 kHz [6]. Penelitian lain menyebutkan bahwa teknologi inverter pada perangkat rumah tangga menimbulkan gangguan elektromagnetik atau *electromagnetic interference* (EMI) yang dapat mengganggu fungsi dan kinerja perangkat itu sendiri serta kinerja perangkat elektronik lain di sekitarnya [7], [8]. EMI yang dimaksud berupa emisi konduksi (*conducted emission*). Nilai emisi konduksi yang dihasilkan harus sangat kecil karena meskipun tidak dapat menimbulkan masalah EMI secara langsung, emisi tersebut dapat menyebabkan emisi radiasi yang jauh lebih

signifikan yang dapat mengganggu pengoperasian perangkat, seperti sistem radio AM dan telekomunikasi [9]. Dalam jaringan listrik yang sama, emisi konduksi yang ditimbulkan kompor induksi juga dapat mengganggu sinyal data yang menggunakan *power line carrier* (PLC) pada frekuensi 30-500 kHz [10]-[12]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian terkait nilai emisi konduksi dari kompor induksi agar perangkat rumah tangga ini memiliki desain dan sistem kerja yang optimal, sehingga makin aman serta nyaman digunakan.

Penelitian ini mengidentifikasi sebaran perangkat kompor induksi yang beredar di masyarakat terkait persyaratan gangguan elektromagnetik, yaitu emisi konduksi sesuai Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR) 14.1:2020 di rentang frekuensi 150 kHz-30 MHz. Pengujian dilakukan pada empat merek kompor induksi yang beredar di masyarakat. Parameter yang digunakan adalah nilai *quasi-peak* untuk mendeteksi *spike* atau puncak sementara dalam derau. Makin tinggi nilai *quasi-peak* yang dihasilkan, makin tinggi emisi konduksi yang dihasilkan oleh kompor induksi [13].

II. EMISI KONDUKSI KOMPOR INDUKSI

A. KOMPOR INDUKSI

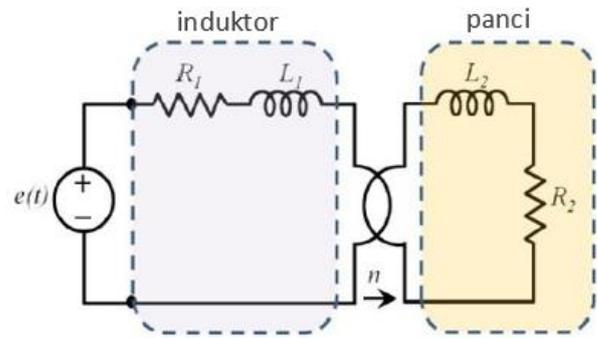
Kompor induksi terdiri atas kumparan yang terletak di bawah alat masaknya. Komponen utama dari kompor induksi ditunjukkan pada Gambar 1 [14].

1) INDUKTOR

Kumparan atau koil beroperasi pada frekuensi tinggi dan mengalami distribusi kepadatan arus yang tidak merata akibat efek kulit (*skin effect*) dan efek kedekatan (*proximity effect*).



Gambar 1. Komponen kompor induksi.



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen kompor induksi.

Efek kulit pada penghantar terjadi karena arus eksitasi sinusoidal yang mengalir di dalamnya. Sesuai dengan aturan tangan kanan, arus ini menciptakan fluks magnetik. Sesuai dengan hukum Lenz, fluks magnetik ini memunculkan arus belitan (arus Eddy) yang berlawanan arah melalui penghantar. Akibatnya, kepadatan arus menjadi lebih rendah di bagian tengah penghantar dan arus cenderung mengalir lebih dekat ke permukaan penghantar, yang dikenal sebagai efek kulit [14].

2) BATANG FERIT (FERRITE BARS)

Beberapa batang ferit ditempatkan di bawah kumparan. Mika diletakkan terlebih dahulu di bawah kumparan, lalu batang ferit ditumpuk di atasnya. Fungsi mika berfungsi sebagai bahan isolasi, sedangkan batang ferit berfungsi untuk mengurangi keengganan (*reluctance*) induktor atau resistansi magnetik. Secara prinsip, batang ferit memiliki dua peran utama, yaitu meningkatkan fluks magnetik dan sebagai pelindung. Untuk mencapai keengganan yang lebih rendah, batang ferit harus selebar mungkin.

3) PELAT ALUMINIUM

Bagian paling bawah adalah aluminium. Pelat ini memiliki fungsi sebagai pelindung serta menahan kumparan dan batang ferit.

4) PANCI FEROMAGNETIK

Wajan dengan bahan feromagnetik adalah jenis wajan yang paling sesuai untuk memasak dengan metode induksi. Karena memiliki resistansi permukaan yang tinggi, wajan-wajan ini dipanaskan dengan lebih efisien oleh medan magnetik. Setiap wajan memiliki karakteristik yang berbeda karena sifat-sifatnya. Permukaan masak yang terbuat dari kaca *vitroceramic* berfungsi sebagai lapisan isolasi antara kumparan dan wajan. Kaca keramik ini membentuk celah udara antara wajan dan kumparan pemanas. Karakteristik ini memengaruhi induktansi kumparan dan resistansi wajan. Bahan nonferomagnetik menurunkan nilai induktansi kumparan dengan lebih cepat jika dibandingkan dengan bahan feromagnetik.

Kompor induksi bekerja berdasarkan prinsip hukum Faraday. Hukum Faraday menyatakan bahwa medan magnetik bolak-balik menginduksi arus Eddy. Karena sumber daya bersifat bolak-balik, medan magnetik bolak-balik terjadi dan menginduksi arus Eddy di dalam panci berbahan feromagnetik yang menghasilkan *magnetic hysteresis*. Kedua efek inilah yang berfungsi untuk memanaskan panci [5].

Gambar 2 menunjukkan topologi kompor induksi yang menyerupai topologi transformator. Sisi primer dari transformator adalah induktor dari kompor induksi dan sisi sekunder dari transformator adalah panci (*vessel*) dari kompor induksi [14]. Pada kompor induksi, sebagian besar fluks magnetik melewati gulungan, tetapi pada transformator sebagian besar fluks melewati inti. Induksi elektromagnetik

terjadi ketika rangkaian primer dengan arus bolak-balik (*alternating current, ac*) mengalir melalui rangkaian tersebut, sehingga di rangkaian sekunder timbul arus sebagai akibat dari fluks medan magnet bolak-balik [15].

B. GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang dapat merambat tanpa membutuhkan perantara atau media, sehingga dapat merambat dalam ruang hampa. Gelombang elektromagnetik terbentuk dari medan listrik dan medan magnet sebagai akibat adanya percepatan gerak muatan listrik [16]. Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa parameter yang dapat diukur, yaitu amplitudo, frekuensi, kecepatan rambat gelombang, dan panjang gelombang. Amplitudo merupakan tinggi gelombang; frekuensi adalah jumlah gelombang yang melalui suatu titik dalam satu satuan waktu, yang ditentukan dari kecepatan merambatnya gelombang; dan panjang gelombang merupakan jarak antara dua puncak. Energi elektromagnetik memiliki kecepatan yang konstan. Panjang gelombang berbanding terbalik dengan frekuensi. Makin panjang suatu gelombang, makin rendah frekuensinya; makin pendek suatu gelombang, makin tinggi frekuensinya. Energi elektromagnetik dipancarkan atau dilepaskan dengan level yang berbeda. Makin tinggi level energi dalam suatu sumber energi, makin rendah panjang gelombang dari energi yang dihasilkan, tetapi makin tinggi frekuensinya. Medan magnet dan medan listrik sebagai pembentuk gelombang elektromagnetik memiliki nilai bervariasi, tergantung pada sumbernya [17]. Ketika suatu perangkat elektronik menerima gelombang elektromagnetik yang tidak diinginkan dari lingkungan sekitarnya, perangkat tersebut akan terinduksi dengan mendapat arus atau tegangan listrik. Perangkat elektronik yang terinduksi akan mengalami gangguan, sehingga tidak dapat beroperasi dengan benar. Jika energi gelombang elektromagnetik yang mengganggu perangkat terlalu besar, akan timbul kerusakan pada perangkat [16].

Suatu benda yang masuk ke dalam medan magnet menimbulkan perubahan kecepatan gerak magnet [18]. Kecepatan gerak magnet dapat dihitung menggunakan hukum Ampere seperti pada (1).

$$\oint H \cdot dl = \sum i \tag{1}$$

Ketika jarak objek dari permukaan makin dekat menuju pusat, kerapatan medan magnet akan berkurang. Induksi elektromagnetik sesuai dengan prinsip-prinsip Faraday, yang menyatakan bahwa gaya gerak listrik yang dihasilkan dalam suatu rangkaian tertutup setara dengan nilai negatif dari perubahan laju fluks magnet yang melintasinya seiring waktu [1]. Induksi elektromagnetik terjadi ketika rangkaian primer

dengan arus bolak-balik mengalir melalui rangkaian tersebut. Maka, di rangkaian sekunder akan dihasilkan arus sebagai akibat dari fluks medan magnet bolak-balik [15]. Arus yang terdapat pada permukaan objek akan menghasilkan arus Eddy sesuai (2) sampai (5).

$$\Phi = \iint_A B \cdot dA \quad (2)$$

$$B = \mu \cdot H \quad (3)$$

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad (4)$$

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (5)$$

Kemudian, energi listrik yang timbul karena arus induksi dan arus Eddy akan berubah menjadi energi panas sesuai (6).

$$P = \frac{E^2}{R} = i^2 \cdot R \quad (6)$$

dengan e adalah gaya gerak listrik (GGL) induksi, H adalah medan listrik, A adalah luas penampang, i adalah arus yang mengalir, dan Φ adalah fluks listrik.

C. ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC)

Kompatibilitas elektromagnetik (*electromagnetic compatibility*, EMC) merujuk pada kemampuan suatu perangkat elektronik untuk beroperasi tanpa menghasilkan gangguan elektromagnetik yang tidak diinginkan dan tanpa menjadi rentan terhadap gangguan dari lingkungan sekitarnya [19]. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI), batas ambang kadar EMC di Indonesia berdasarkan SNI yang mengacu pada International Electrotechnical Commission (IEC) dan tingkat kompatibilitas elektromagnetiknya adalah tingkat gangguan elektromagnetik maksimum yang akan diterima pada peralatan atau sistem yang dioperasikan dalam kondisi tertentu. Pengujian EMC perangkat elektronik, termasuk perangkat rumah tangga, saat ini merupakan salah satu syarat yang terdapat dalam SNI. EMC berkaitan dengan kualitas dan mutu suatu produk serta tingkat keselamatan dan keamanan bagi pemakainya.

EMC dibagi menjadi *electromagnetic interference* (EMI) dan *electromagnetic susceptibility* (EMS). EMI merupakan pelepasan sinyal listrik atau magnetik dari suatu perangkat atau sistem yang dapat mengganggu kinerja perangkat atau sistem lainnya [20]. Sementara itu, EMS merupakan kemampuan peralatan beroperasi normal jika terkena gangguan elektromagnetik dari lingkungan. Dengan kata lain, EMC adalah upaya untuk mengendalikan EMI [20]. Terdapat tiga kategori faktor yang memiliki pengaruh terhadap gangguan EMI, yaitu karakteristik perangkat elektronik yang menghasilkan gangguan, jarak antarperangkat elektronik tersebut, dan tingkat kerentanan perangkat yang terpapar oleh sinyal elektromagnetik [19]. EMI dapat terjadi akibat hal-hal yang terjadi secara alami maupun buatan [21]. Penyebab alami berasal dari peristiwa alam, seperti pelepasan muatan kosmik, petir, dan pelepasan muatan listrik statis (*electrostatic discharge*, ESD). Penyebab buatan berasal dari gangguan buatan yang timbul dari perangkat listrik saat digunakan untuk catu daya industri dan rumah tangga, aplikasi komunikasi, dan kontrol. EMI terdiri atas beberapa kelompok, yaitu gangguan frekuensi rendah (*low frequency*) yang dihantarkan (hingga 10 kHz) dan gangguan frekuensi tinggi (*high frequency*) yang dihantarkan (dari 10 kHz-1 GHz). Terdapat tiga elemen yang harus ada dalam setiap masalah interferensi, yaitu harus ada sumber yang menjadi interferensi, harus ada *receptor* atau

korban (*victim*) yang terganggu akibat interferensi, dan harus ada jalur pengganggu (*coupling path*) antara sumber dan penerima interferensi. Objek yang umumnya terkena gangguan EMC adalah penerima *radio frequency* (RF), *integrated circuit* (IC), telepon, *high speed data trace*, penampil video, perangkat audio video, dan kendali elektronik. EMC menjadi sangat penting karena memaksa suatu sistem atau alat agar dapat mengatasi gangguan elektromagnetik yang dapat mengganggu kinerja dan fungsi sistem atau alat tersebut. Peningkatan penggunaan alat elektronik juga berpotensi meningkatkan emisi elektromagnetik yang dapat mengganggu sistem lain di sekitarnya. Untuk mengurangi dampak emisi elektromagnetik yang dihasilkan oleh perangkat elektronik, diperlukan regulasi atau kebijakan untuk membatasi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan atau dipancarkan oleh perangkat tersebut. Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques (CISPR) atau International Special Committee on Radio Interference adalah badan standar untuk EMC yang menjadi rujukan masyarakat internasional.

Perubahan tegangan dan arus yang cepat dalam sebuah proses *switching* pada peralatan elektronika daya merupakan sumber EMI bagi perangkat itu sendiri maupun perangkat elektronik lain di sekitarnya. EMI dapat ditransmisikan dengan dua cara [21], yaitu melalui radiasi, yakni dipancarkan sebagai medan listrik atau medan magnet dari satu sirkuit yang merupakan sumber gangguan dan digabungkan ke sirkuit lain sebagai korban; dan melalui konduksi, yang merupakan gangguan elektromagnetik yang ditimbulkan oleh perangkat elektronik melalui penghantar (konduktor) yang dapat diinterpretasikan sebagai arus derau yang dapat merambat di jalur konduksi (melalui kabel daya atau kabel sinyal) dan berpotensi mengganggu peralatan elektronik lainnya melalui sumber tegangan [22].

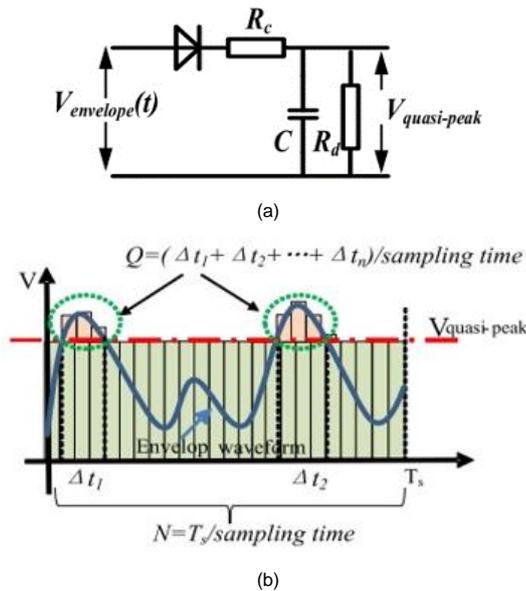
D. EMISI KONDUKSI

Emisi konduksi terjadi melalui kabel daya atau kabel sinyal. Gangguan terkonduksi terdiri atas dua kategori yang umumnya dikenal sebagai *differential mode* dan *common mode*. Gangguan *differential mode* adalah arus atau tegangan yang diukur antara jalur sumber, yaitu tegangan jalur ke jalur atau arus jalur (i_{dm}). Gangguan *common mode* adalah tegangan atau arus yang diukur antara jalur listrik dan *ground* (i_{cm}). Kedua jenis gangguan tersebut umumnya ada pada jalur masukan dan jalur keluaran. Setiap desain filter harus mempertimbangkan kedua mode gangguan ini [23].

Interferensi atau arus gangguan *common mode* bergerak pada arah yang sama melalui konduktor daya dan kemudian kembali melalui konduktor *ground*. Untuk mengendalikannya, dapat digunakan induktor dalam filter EMI yang ditempatkan secara seri atau berurutan dengan setiap saluran listrik dan juga dengan menghubungkan kapasitor dari kedua konduktor saluran listrik ke *ground*. Arus gangguan *differential mode* mengalir melalui satu konduktor bolak-balik dan kembali melalui konduktor yang lain. Untuk menguranginya, dapat digunakan filter yang di dalamnya terdapat komponen induktor dan terhubung secara seri atau berurutan dan kapasitor yang terhubung secara paralel antara dua konduktor penghantar arus [24].

E. PARAMETER PENGUKURAN

EMI dapat merusak keandalan sistem elektronika daya dan mempersingkat umur komponen [25]. Untuk mengukur besarnya EMI, dapat digunakan *fast Fourier transform* (FFT), yaitu sebuah algoritma komputasional yang digunakan untuk



Gambar 3. Gambar (a) rangkaian quasi-peak detector (b) nilai quasi-peak berbasis capacitor charge balance.

mengonversi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi, menghasilkan bentuk gelombang tegangan pada jaringan line impedance stabilization network (LISN) untuk mengekstrak spektrum EMI dalam memprediksi, menganalisis, dan mereduksi EMI. Selain algoritma FFT, pengukuran EMC dapat dilakukan menggunakan EMC spectrum analyzer. Perhitungan pada EMC spectrum analyzer berbeda dari perhitungan FFT karena standar EMI memiliki persyaratan khusus pada resolution bandwidth (RBW), envelope detector, peak detector, quasi-peak detector, dan average detector untuk menganalisis spektrum. Pada Gambar 3 dijelaskan prinsip operasi pengukuran peak, quasi-peak, dan average pada spectrum analyzer (150 kHz–30 MHz). Berdasarkan bentuk gelombang envelope, nilai peak, quasi-peak, dan average dapat ditentukan oleh rangkaian detektor dengan konstanta waktu pengisian (charging) dan pelepasan (discharging) yang berbeda, seperti perhitungan FFT.

Untuk memperoleh nilai peak dan average dari envelope waveform dalam satu periode, dilakukan pengambilan sampel digital seperti pada Gambar 3. Jika terdapat N data yang diambil secara merata dalam satu periode, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, nilai puncak (V_{peak}) envelope waveform adalah nilai maksimum dari data yang diambil tersebut pada sampel data V_i [25]. Satu periode gelombang digunakan untuk mendeteksi pengukuran peak, quasi-peak dan average. Untuk deteksi nilai quasi-peak, standar CISPR 16-1-1 menentukan konstanta waktu pengisian dan pelepasan yang dapat dijelaskan pada Gambar 3(a) dan Gambar 3(b) untuk sirkuit quasi-peak detector R_c (resistansi pengisian), R_d (resistansi pelepasan), C (kapasitor pengisian), $V_{envelope}$ (tegangan envelope masukan), dan $V_{quasi-peak}$ (tegangan quasi-peak keluaran) dari quasi-peak detector [25].

$$V_{peak} = \max(V_i) \quad (7)$$

$$V_{average} = \frac{\sum_{i=1}^N V_i}{N} \quad (8)$$

Dengan mengabaikan riak kecil, nilai steady state quasi-peak, $V_{quasi-peak}$, dapat dihasilkan berdasarkan keseimbangan muatan pada kapasitor C . Berdasarkan data sampel pada Gambar 3, persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai

TABEL I
BATAS PENGUJIAN

Rentang Frekuensi (MHz)	Limit (dBμV)	
	Quasi-Peak	Average
0,15 ke 0,50	66 ke 56	56 ke 46
0,50 ke 5	56	46
5 ke 30	60	50

Catatan:

1. Batas bawah berlaku pada frekuensi transisi
2. Batas menurun secara linier dengan logaritmik frekuensi antara 0,15 MHz ke 0,50 MHz.

quasi-peak diuraikan pada (9). Parameter Δt_i adalah interval waktu ke- i ketika bentuk envelope waveform, $V_{envelope}$ lebih besar dari $V_{quasi-peak}$. Notasi Q adalah jumlah data sampel yang lebih besar dari $V_{quasi-peak}$.

$$\frac{\sum_{i=1}^Q (V_i - V_{quasi-peak})}{R_c} = \frac{V_{quasi-peak} \times N}{R_d} \quad (9)$$

Dari (7) hingga (9) dapat disimpulkan bahwa nilai $V_{peak} \geq V_{quasi-peak} \geq V_{average}$.

Peak detector mengukur amplitudo puncak sinyal (derau). Peak dapat dicapai dengan konstanta waktu yang singkat untuk pengisian daya dan konstanta waktu yang sangat lama untuk pengosongan. Quasi-peak detector (QPK) mengukur sinyal berdasarkan tingkat pengulangannya (pulse repetition frequency, PRF) dan memiliki konstanta waktu pengisian yang singkat (45 ms di band A, dan 1 ms di band B/C/D) serta konstanta waktu pengosongan yang relatif lama (500 ms di band A, 160 ms di band B, dan 550 ms di band C/D). Average detector (AVG) menunjukkan frekuensi pengulangan sinyal (pulse) [26].

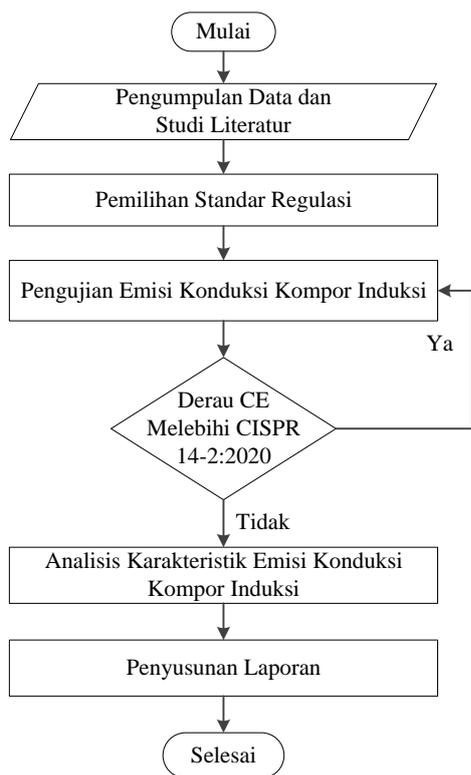
Regulasi terkait besarnya nilai quasi-peak dan average emisi konduksi pada perangkat rumah tangga dihitung berdasarkan standar CISPR 14.1:2020 seperti pada Tabel I. Sesuai dengan standar CISPR 14.1:2020 klausa 4.3, frekuensi pengukuran berada di rentang frekuensi 150 kHz hingga 30 MHz. Untuk masing-masing rentang frekuensi terdapat batas maksimal tingkatan quasi-peak dan average seperti yang disebutkan pada Tabel I.

F. SATUAN DESIBEL (dB) DALAM PENGUKURAN

Satuan desibel atau disingkat dB merupakan satuan relatif yang umumnya digunakan dalam proses pengukuran komunikasi elektronik untuk menggambarkan penguatan atau kehilangan daya. Satuan dB digunakan untuk menentukan ukuran dan nilai yang dihitung dalam sistem audio, perhitungan penguatan sistem gelombang mikro, analisis link budget sistem satelit, penguatan daya antena, dan pengukuran sistem komunikasi lainnya. Nilai dB dihitung berdasarkan referensi atau standar tertentu. Nilai dB dihitung dengan cara mengambil log rasio daya yang diukur (P_2) atau dihitung terhadap suatu acuan daya (P_1). Hasil yang diperoleh akan dikalikan 10 untuk mendapatkan nilai dalam dB. Rumus perhitungan nilai dB sebagai bentuk rasio daya ditunjukkan pada (10).

$$dB = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \quad (10)$$

Modifikasi dilakukan terhadap (10) untuk memberikan nilai dB berdasarkan perbandingan dua tegangan. Dengan menggunakan hubungan rumus $P = \frac{V^2}{R}$, diperoleh hubungan antara (11) dan (12).



Gambar 4. Diagram alir penelitian.

$$dB = 10 \log_{10} \frac{V_2^2/R_2}{V_1^2/R_1}; (R_1 = R_2) \tag{11}$$

$$\therefore dB = 10 \log_{10} \frac{V_2^2}{V_1^2} \tag{12}$$

Dari hasil penyederhanaan, diperoleh perhitungan penguatan tegangan dalam satuan dB seperti pada (13).

$$dB = 10 \log_{10} \frac{V_2}{V_1} \tag{13}$$

Satuan dB sering digunakan dalam menentukan persyaratan level sinyal masukan dan keluaran sistem komunikasi yang berbeda. Sebagai contoh, level audio tertentu dapat ditemukan di pemancar gelombang mikro, dengan level masukan +8 dBm ditentukan. Dapat dilihat bahwa terdapat huruf kecil “m” telah dilampirkan pada nilai dB, yang artinya bahwa tingkat dB yang ditentukan adalah relatif terhadap referensi 1 mW. Parameter dengan menggunakan satuan dB juga umum digunakan untuk menyatakan tegangan pengukuran, seperti dBμV sesuai (14) dengan menentukan 1 μV sebagai referensi (V_1):

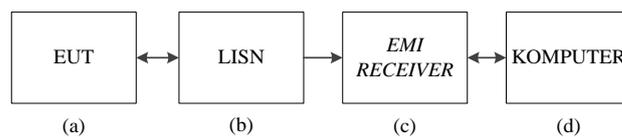
$$dB\mu V = \pi r^2 = 20 \log \frac{V_2}{1 \mu V} \tag{14}$$

Terdapat banyak penggunaan satuan dB untuk perhitungan yang melibatkan nilai relatif. Parameter dBuV ini adalah bentuk umum untuk menentukan level masukan frekuensi radio (*radio frequency*, RF) ke penerima komunikasi [27].

III. METODOLOGI

A. DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Analisis emisi konduksi pada kompor induksi memiliki diagram alir penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Penelitian dilakukan dengan berbagai langkah pengujian sebagai berikut. Pada tahapan pertama dilakukan studi literatur dan identifikasi permasalahan, persiapan alat dan ruangan dengan menyiapkan empat unit kompor induksi yang akan diuji,



Gambar 5. Rangkaian pengujian emisi konduksi.

TABEL II
SPESIFIKASI KOMPOR INDUKSI SEBAGAI BARANG UJI

Spesifikasi	Merek A	Merek C	Merek M	Merek P
Tegangan masukan	200-240 V	200 V	200-240 V	220-240 V
Frekuensi	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50/60 Hz
Daya keluaran	200 W, 800 W, 1.200 W	200 W, 400 W, 800 W	200 W, 800 W, 1.000 W	400 W, 800 W, 2.000 W
Dimensi kompor	36 cm × 29 cm × 6,5 cm	34 cm × 28 cm × 6,0 cm	28 cm × 36 cm × 3,6 cm	28 cm × 35 cm × 6,5 cm
Diameter panci	10-23 cm	12-20 cm	12-20 cm	12-20 cm
Bobot	5.000 g	2.250 g	2.100 g	4.000 g

dan memastikan semuanya dalam kondisi operasional yang normal dengan notasi A, C, M, dan P. Kemudian, alat pengukuran emisi konduksi disiapkan, seperti *spectrum analyzer* atau perangkat pemantauan emisi konduksi. Alat tersebut dipastikan telah dikalibrasi dengan benar. Lalu, dipilih lokasi pengujian dengan gangguan elektromagnetik minimal, misalnya di ruang tertutup yang terisolasi dengan baik dari perangkat lain yang dapat mengganggu pengukuran. Pengaturan pengujian dilakukan dengan memosisikan masing-masing empat unit kompor induksi sesuai standar CISPR 14-1:2020. Semua komponen serta kabel dipastikan terpasang dengan benar pada masing-masing kompor dan beroperasi pada pengaturan daya sesuai dengan kemampuan masing-masing kompor induksi. Selanjutnya, dilakukan pengukuran emisi konduksi dengan menggunakan alat pengukuran EMI untuk mengukur emisi elektromagnetik yang dihasilkan oleh masing-masing kompor induksi. Pengolahan data dilakukan dengan menganalisis data yang dihasilkan oleh alat pengukuran dan tingkat emisi elektromagnetik pada frekuensi yang relevan untuk masing-masing kompor dan menganalisis hasil pengukuran kompor induksi dengan nilai emisi konduksi terendah. Kemudian, kompor induksi dioperasikan secara simultan untuk melihat tingkat emisi konduksi yang dihasilkan dan menyesuaikannya dengan standar. Pelaporan hasil dilakukan dengan menyusun laporan yang mencakup hasil pengukuran dan analisis data.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur besarnya tingkat emisi konduksi yang dihasilkan oleh kompor induksi dalam setiap level dayanya dari berbagai merek kompor induksi yang umum beredar di pasaran. Pengujian emisi konduksi pada peralatan elektronik mengacu kepada standar CISPR 14-1:2020. Standar ini mengatur batasan emisi konduksi dari peralatan rumah tangga dan peralatan serupa.

B. RANGKAIAN PENGUJIAN

Penelitian dilakukan dengan mengamati nilai emisi konduksi yang dihasilkan oleh keempat kompor induksi. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan perangkat yang disesuaikan dengan standar pengujian EMC yang terdapat pada standar CISPR 14.1:2020 sebagai berikut.

Gambar 5 menunjukkan tentang rangkaian pengujian EMC, yaitu emisi konduksi, yang dilakukan dengan menghubungkan

TABEL III
TINGKAT EMISI KONDUKSI KOMPOR INDUKSI A, C, M, DAN P (QP-N DAN QP-L1) DI RENTANG FREKUENSI 150 KHz-30 MHz

Merek Kompor	Frekuensi	Daya Operasi (W)	QP-N		QP-L1		Limit		Margin
			Frekuensi (kHz)	Rata-Rata Mag [dBμV]	Frekuensi (kHz)	Rata-Rata Mag [dBμV]	Quasi-Peak (dBμV)	QP-N (dBμV)	
Merek A	150 kHz-30 MHz	Standby	188,35	64,69	188,35	66,49	66,00	1,31	-0,49
		200	197,89	89,33	197,89	83,21	66,00	-23,33	-17,21
		800	164,51	101,31	164,51	101,23	66,00	-35,31	-35,23
		1.200	158,18	101,89	158,18	101,83	66,00	-35,89	-35,83
Merek C	150 kHz-30 MHz	Standby	150,00	61,81	150,00	61,74	66,00	4,20	4,26
		200	1.140,00	96,24	197,89	88,76	66,00	-30,24	-22,76
		400	1.150,00	91,62	159,74	87,51	66,00	-25,62	-21,51
		800	1.160,00	97,36	150,00	91,30	66,00	-31,36	-25,30
Merek M	150 kHz-30 MHz	Standby	3.100,00	39,33	3.100,00	39,38	66,00	26,67	26,62
		200	159,74	58,36	154,97	59,22	66,00	7,64	6,78
		800	150,00	63,42	150,00	65,25	66,00	2,58	0,75
		1.000	166,36	61,59	166,36	58,58	66,00	4,41	7,43
Merek P	150 kHz-30 MHz	Standby	331,40	62,55	331,40	62,48	66,00	3,46	3,53
		400	288,49	91,45	288,49	88,76	66,00	-25,45	-22,76
		800	154,97	98,72	154,97	98,56	66,00	-32,72	-32,56
		2.000	150,00	102,96	150,00	103,11	66,00	-36,96	-37,11

TABEL IV
EMISI KONDUKSI KOMPOR INDUKSI KONDISI M *STANDBY* DAN C *STANDBY* (QP-N DAN QP-L1) BEROPERASI SIMULTAN PADA FREKUENSI 150 KHz-30 MHz

Frekuensi (kHz)	QP-N Mag (dBμV)	Limit QP (dBμV)	Margin (dBμV)	QP-L1 Mag (dBμV)	Limit QP (dBμV)	Margin (dBμV)
2,58	36,62	56	19,38	36,58	56	19,42
2,68	36,12	56	19,88	36,12	56	19,88
2,76	36,31	56	19,69	36,27	56	19,73
2,86	36,34	56	19,66	36,06	56	19,94
2,92	36,35	56	19,66	36,31	56	19,69
2,98	36,35	56	19,65	36,28	56	19,72

TABEL V
EMISI KONDUKSI KOMPOR INDUKSI KONDISI M 800 W DAN C *STANDBY* (QP-N DAN QP-L1) BEROPERASI SIMULTAN PADA FREKUENSI 150 KHz-30 MHz

Frekuensi (kHz)	QP-N Mag (dBμV)	Limit QP (dBμV)	Margin (dBμV)	QP-L1 Mag (dBμV)	Limit QP (dBμV)	Margin (dBμV)
150,00	66,17	66	-0,17	67,72	66	-1,72
154,09	59,20	66	6,80	59,36	66	6,64
180,68	65,96	66	0,04	65,73	66	0,27
211,35	67,67	66	-1,67	66,33	66	-0,33
239,98	66,54	66	-0,54	65,81	66	0,19
270,66	66,31	66	-0,31	67,16	66	-1,16

barang uji (*equipment under test*) dengan perangkat LISN menggunakan kabel power dari barang uji. Perangkat LISN terhubung dengan *EMI receiver* menggunakan kabel BNC. Komputer atau laptop dihubungkan ke *EMI receiver* menggunakan kabel USB untuk menampilkan hasil pengukuran [28], [29]. Kompor induksi diuji secara individual dan dioperasikan secara simultan untuk memperoleh tingkat emisi konduksi di masing-masing merek kompor induksi dengan mengacu pada standar CISPR 14.1:2020.

Sampel uji pada penelitian ini menggunakan empat merek kompor induksi yang umumnya beredar di masyarakat, baik melalui penjualan *e-commerce* maupun hasil subsidi pemerintah, yang dinotasikan dengan inisial huruf A, C, M, dan P. Kompor induksi merek A dipilih karena memiliki harga yang relatif rendah di pasaran, kompor induksi merek C dipilih karena harganya yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan harga kompor merek A, sedangkan kompor induksi merek P dipilih karena memiliki harga yang paling tinggi dibandingkan

merek C dan A. Di sisi lain, kompor induksi merek M dipilih menjadi sampel uji karena merupakan salah satu merek kompor induksi dalam program subsidi konversi LPG menuju kompor induksi yang dicanangkan pemerintah [30]. Kompor induksi yang diuji memiliki spesifikasi seperti disajikan dalam Tabel II.

Pengukuran emisi konduksi dilakukan dalam ruangan Laboratorium Electromagnetic Compatibility (EMC) dengan suhu ruangan 21,8 °C, kelembapan udara 55,8% RH, dan tekanan udara 1.003,2 mbar, yang mengacu pada standar IEC. Pengukuran emisi konduksi dilakukan dengan konfigurasi pengujian di atas meja menggunakan *ground plane* vertikal, mengacu pada standar CISPR 14.1:2020 yang serupa dengan standar CISPR 32:2015 tentang kompatibilitas elektromagnetik perangkat multimedia dan persyaratan emisi, yaitu sebagai berikut.

- a. Barang uji berada di atas meja dengan tinggi 80 cm.
- b. Meja dengan *ground plane* berjarak 40 cm.

TABEL VI

EMISI KONDUKSI KOMPOR INDUKSI KONDISI M *STANDBY* DAN C 800 W (QP-N DAN QP-L1) BEROPERASI SIMULTAN PADA FREKUENSI 150 KHz-30 MHz

Frekuensi (kHz)	QP-N Mag (dB μ V)	Limit QP (dB μ V)	Margin (dB μ V)	QP-L1 Mag (dB μ V)	Limit QP (dB μ V)	Margin (dB μ V)
152,05	65,50	66	0,50	65,26	66	0,74
160,23	70,77	66	-4,77	70,23	66	-4,23
182,72	73,09	66	-7,09	73,61	66	-7,61
205,22	71,07	66	-5,07	70,65	66	-4,65
229,76	72,64	66	-6,64	72,95	66	-6,95
252,25	71,32	66	-5,32	70,34	66	-4,34

TABEL VII

EMISI KONDUKSI KOMPOR INDUKSI KONDISI M 800 W DAN C 800 W (QP-N DAN QP-L1) BEROPERASI SIMULTAN PADA FREKUENSI 150 KHz-30 MHz

Frekuensi (kHz)	QP-N Mag (dB μ V)	Limit QP (dB μ V)	Margin (dB μ V)	QP-L1 Mag (dB μ V)	Limit QP (dB μ V)	Margin (dB μ V)
152,05	75,52	66	-9,52	78,74	66	-12,74
158,18	74,98	66	-8,98	80,49	66	-14,49
180,68	79,80	66	-13,80	85,13	66	-19,13
203,17	74,22	66	-8,22	77,73	66	-11,73
227,71	75,63	66	-9,63	80,97	66	-14,97
250,21	71,95	66	-5,95	74,94	66	-8,94

- c. Meja dengan objek berbahan metal lain harus berjarak lebih dari 80 cm.
- d. Jarak antar barang uji adalah 10 cm.
- e. LISN berada di lantai disambungkan dengan barang uji dengan jarak 80 cm.
- f. Kabel penghubung antarbarang uji atau barang uji-LISN tidak boleh menyentuh lantai (*ground*).

Pengukuran emisi konduksi dilakukan dengan sepuluh kali pengukuran untuk masing-masing tahap dan diambil enam nilai emisi konduksi pada rentang frekuensi 150 kHz-30 MHz, dengan tegangan listrik PLN 220 V dan frekuensi 50 Hz. Karakteristik impedansi dan frekuensi perangkat LISN pada proses pengukuran telah memenuhi standar yang diacu. Jalur L1 dan N dari LISN dipantau nilai interferensi konduksinya menggunakan *EMI test receiver* melalui kabel antarmuka tipe *coaxial* dengan impedansi terminasi 50 Ω . Parameter yang digunakan dalam pengukuran emisi konduksi kompor induksi adalah nilai *quasi-peak* dan *average*. Makin tinggi nilai *quasi-peak* dan *average* yang dihasilkan, makin tinggi emisi konduksi yang dihasilkan oleh kompor induksi tersebut.

Ketika pengujian, kompor induksi diberi beban yaitu panci berbahan feromagnetik yang diisi air hingga sekitar 50% dari kapasitas maksimumnya. Kompor induksi adalah jenis kompor yang memanfaatkan prinsip induksi untuk menghasilkan panas. Hal tersebut dicapai dengan meletakkan gulungan kawat tembaga di bawah panci yang terbuat dari bahan logam feromagnetik yang memiliki permeabilitas magnet yang tinggi. Ketika arus listrik bolak-balik mengalir melalui gulungan, akan timbul medan magnet yang berfluktuasi. Medan magnet tersebut menginduksi arus listrik dalam panci feromagnetik, yang kemudian mengalir dengan nilai yang tinggi dan menyebabkan pemanasan resistif. Proses pemanasan resistif ini digunakan untuk memanaskan makanan. Dengan demikian, kompor induksi bekerja dengan cara yang efisien dan efektif untuk memasak. Arus Eddy pada lapisan bawah panci dan *hysteresis loss* dari bahan magnetik di dalam panci menyebabkan panas pada kompor induksi [31]. Wadah atau panci untuk memasak yang standar (dimensi permukaan kontak) adalah 110 mm, 145 mm, 180 mm, 210 mm, dan 300 mm [28].

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. ANALISIS EMISI KONDUKSI KOMPOR A, C, M, DAN P

Analisis emisi konduksi dilakukan pada empat merek kompor induksi, yaitu merek A, C, M, dan P, dalam berbagai mode memasak dan level daya di rentang frekuensi 150 kHz-30 MHz. Penelitian tidak hanya terkait merek kompor, tetapi juga tentang perbedaan dalam penggunaan daya pada masing-masing kompor. Perbedaan penggunaan daya mencerminkan variasi penggunaan kompor di masyarakat, bergantung pada kebutuhan memasak dan jenis hidangan yang dimasak. Pengujian dengan variasi daya memberikan gambaran yang lebih akurat tentang emisi konduksi dalam berbagai situasi penggunaan. Dengan menguji pada berbagai tingkat daya, penelitian dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang pengaruh berbagai faktor terhadap emisi konduksi, sehingga memungkinkan dilakukannya evaluasi kinerja kompor dalam berbagai skenario penggunaan.

Tabel III menyajikan tingkat emisi konduksi masing-masing kompor induksi jika dibandingkan dengan batas pengukuran sesuai standar CISPR 14.1:2020. Dalam keadaan *standby*, kompor induksi tetap menghasilkan emisi konduksi. Hal ini terjadi pada semua merek kompor induksi yang digunakan dalam penelitian ini. Berdasarkan pengukuran di rentang frekuensi 150 kHz-30 MHz, diperoleh hasil bahwa tingkat emisi konduksi kompor induksi dalam penelitian ini melampaui nilai yang dipersyaratkan dalam CISPR 14.1:2020, kecuali kompor merek M.

B. ANALISIS EMISI KONDUKSI KOMPOR INDUKSI MEREK M DAN C DIOPERASIKAN SIMULTAN

Berikutnya dilakukan pengukuran emisi konduksi pada kompor induksi merek M dan C yang dioperasikan bersamaan (simultan) untuk mengukur besarnya emisi konduksi yang ditimbulkan. Untuk kemudian dianalisis kesesuaiannya dengan nilai ambang batas yang dipersyaratkan dalam CISPR 14.1:2020. Kompor M dan C dipilih dalam pengukuran secara simultan karena memiliki tingkat emisi konduksi yang rendah jika dibandingkan dengan kompor induksi lainnya yang dipergunakan dalam penelitian ini.

1) KONDISI KOMPOR INDUKSI M DAN C *STANDBY*

Tabel IV menunjukkan hasil pengukuran emisi konduksi pada kompor induksi merek M dan C yang dioperasikan bersamaan (simultan) dengan kondisi kompor M dan C sama-sama *standby*. Berdasarkan hasil pengukuran, tingkat emisi konduksi yang dihasilkan kompor induksi masih sesuai dengan standar CISPR 14.1:2020.

2) KONDISI KOMPOR INDUKSI M 800 W DAN C *STANDBY*

Tabel V menunjukkan hasil pengukuran emisi konduksi pada kompor induksi merek M dan C yang dioperasikan bersamaan (simultan) dengan kondisi kompor M beroperasi di level daya 800 W dan C pada posisi *standby*. Berdasarkan hasil pengukuran, tingkat emisi konduksi kompor induksi pada beberapa titik frekuensi melampaui nilai yang dipersyaratkan dalam CISPR 14.1:2020 dengan nilai margin yang rendah

3) KONDISI KOMPOR INDUKSI M *STANDBY* DAN C 800 W

Tabel VI menunjukkan hasil pengukuran emisi konduksi pada kompor induksi merek M dan C yang dioperasikan bersamaan (simultan) dengan kondisi kompor M pada posisi *standby* dan C beroperasi di level daya 800 W. Berdasarkan hasil pengukuran, tingkat emisi konduksi kompor induksi pada beberapa titik frekuensi melampaui nilai yang dipersyaratkan dalam CISPR 14.1:2020 dengan nilai margin yang lebih tinggi dari kondisi kompor induksi M 800 W dan C *standby*.

4) KONDISI KOMPOR INDUKSI M 800 W DAN C 800 W

Tabel VII menunjukkan hasil pengukuran emisi konduksi pada kompor induksi merek M dan C yang dioperasikan bersamaan (simultan) dengan kondisi kompor M dan C sama-sama beroperasi di level daya 800 W. Berdasarkan hasil pengukuran, tingkat emisi konduksi kompor induksi pada beberapa titik frekuensi melampaui nilai yang dipersyaratkan dalam CISPR 14.1:2020 dengan nilai margin yang tinggi.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan data dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa tingkat emisi konduksi pada empat merek kompor induksi yang dipergunakan dalam penelitian ini melampaui nilai yang dipersyaratkan dalam CISPR 14.1:2020. Pada kondisi *standby*, kompor induksi tetap menghasilkan emisi konduksi. Kompor induksi merek M memiliki tingkat emisi konduksi yang lebih rendah dibandingkan dengan kompor merek C, P, dan A dalam kondisi individual. Namun, ketika kompor induksi M dan C dioperasikan secara simultan dengan variasi level daya, hasil pengukuran menunjukkan bahwa tingkat emisi konduksi melebihi nilai yang dipersyaratkan dalam CISPR 14.1:2020 dengan margin yang tinggi. Hal ini menimbulkan kekhawatiran karena emisi konduksi yang tinggi dapat mengganggu fungsi dan kinerja perangkat elektronik lain di sekitarnya serta dapat melanggar standar EMC yang telah ditetapkan.

Untuk ke depannya, perlu dilakukan deteksi *quasi-peak* pada beberapa merek kompor induksi yang tersedia di pasaran. Metode ini akan memberikan hasil kuantitatif dan memungkinkan penggambaran karakteristik emisi konduksi yang dihasilkan oleh kompor induksi secara lebih luas. Selanjutnya, dapat dilakukan identifikasi untuk mengatasi potensi masalah emisi konduksi secara lebih efektif, sehingga memastikan kepatuhan terhadap standar EMC dan kenyamanan pengguna dalam penggunaan kompor induksi.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian dan penyusunan laporan ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Konseptualisasi, Budi Sudiarto dan Henny Tri Kurniawati; metodologi, Henny Tri Kurniawati; perangkat lunak, Budi Sudiarto dan Henny Tri Kurniawati; validasi, Budi Sudiarto dan Henny Tri Kurniawati; analisis formal, Budi Sudiarto dan Henny Tri Kurniawati; investigasi, Budi Sudiarto dan Henny Tri Kurniawati; sumber daya, Budi Sudiarto dan Henny Tri Kurniawati; kurasi data, Budi Sudiarto dan Henny Tri Kurniawati; penulisan—penyusunan draf asli, Budi Sudiarto dan Henny Tri Kurniawati; penulisan—peninjauan dan penyuntingan, Budi Sudiarto dan Henny Tri Kurniawati; visualisasi, Budi Sudiarto dan Henny Tri Kurniawati; pengawasan, Budi Sudiarto; administrasi proyek, Budi Sudiarto dan Henny Tri Kurniawati; akuisisi pendanaan, Henny Tri Kurniawati.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Laboratorium Electromagnetic Compatibility (EMC) Balai Besar Pengujian Perangkat Telekomunikasi (BBPPT) Kementerian Komunikasi dan Informatika yang telah memberikan dukungan penuh dalam pelaksanaan kegiatan pengukuran emisi konduksi dan kepada Kementerian Komunikasi dan Informatika yang telah memberikan bantuan pendanaan melalui Program Beasiswa Internal S2 Dalam Negeri Kementerian Komunikasi dan Informatika.

REFERENSI

- [1] B. Sudiarto dkk., "Pengaruh perubahan tegangan masukan terhadap efisiensi energi kompor induksi," *J. Nas. Tek. Elekt. Teknol. Inf.*, vol. 12, no. 2, hal. 101–109, Mei 2023, doi: 10.22146/jntei.v12i2.6784.
- [2] E. Plumed, I. Lope, dan J. Acero, "Modeling and design of cookware for induction heating technology with balanced electromagnetic and thermal characteristics," *IEEE Access*, vol. 10, hal. 83793–83801, Agu. 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3197631.
- [3] D.F. Hakam dkk., "Mega conversion from LPG to induction stove to achieve Indonesia's clean energy transition," *Energy Strategy Rev.*, vol. 41, hal. 1–12, Mei 2022, doi: 10.1016/j.esr.2022.100856.
- [4] A. Tama, "Deployment of electric induction technologies into cooktops plates as a part of energy sustainability," *Smart Grid Renew. Energy*, vol. 13, no. 3, hal. 55–74, Mar. 2022, doi: 10.4236/sgre.2022.133004.
- [5] D.P. Chacon-Troya, J. Quezada, dan C. Espinoza, "Development and implementation of a smart induction stove," *2017 Braz. Power Electron. Conf. (COBEP)*, 2017, hal. 1–5, doi: 10.1109/COBEP.2017.8257376.
- [6] S.A. Kurniawan, "Karakteristik disturbance pada frekuensi 9–150 kHz yang dibangkitkan oleh kompor induksi pada jaringan PLN dan sistem PLTS fotovoltaik atap on-grid serta pengaruh akibat peralatan sekitar dan perbedaan titik pengukuran," Tesis M.S., Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 2021.
- [7] H.W. Nugroho, M.K. Anam, dan Yudhistira, "Implementation of CISPR 14-2 standards on electrostatic discharge (ESD) immunity test for household appliances induction cooker," *Int. J. Appl. Sci. Eng.*, vol. 15, no. 2, hal. 119–125, Okt. 2018, doi: 10.6703/IJASE.201810_15(2).119.
- [8] H. Rickli dkk., "Induction ovens and electromagnetic interference: What is the risk for patients with implanted pacemakers?," *Pacing Clin. Electrophysiol.*, vol. 26, no. 7p1, hal. 1494–1497, Jun. 2003, doi: 10.1046/j.1460-9592.2003.t01-1-00216.x.
- [9] I.L. Spano, "Electromagnetic compatibility issues of electrical and electronic devices," Disertasi Ph.D., Università degli Studi di Cagliari, Cagliari, Italia, 2014.
- [10] D.P. Apsari, "Pengaruh disturbansi frekuensi 9–150 kHz pada komunikasi data menggunakan teknologi power line carrier yang dihasilkan oleh peralatan rumah tangga," Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 2020.
- [11] *IEEE Guide for Power-Line Carrier Applications*, IEEE Standard 643-2004 (Revision of IEEE Standard 643-1980), Jun. 2005. [Online]. Tersedia: <https://standards.ieee.org/ieee/643/892/>
- [12] *IEEE Standard for Power-Line Carrier Line-Tuning Equipment (30 kHz to 500 kHz) Associated with Power Transmission Lines*, IEEE C93.4-2012, Feb. 2013. [Online]. Tersedia: <https://standards.ieee.org/ieee/C93.4/5340/>

- [13] F.A. Kharanaq, A. Emadi, dan B. Bilgin, "Modeling of conducted emissions for EMI analysis of power converters: State-of-the-art review," *IEEE Access*, vol. 8, hal. 189313–189325, Okt. 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3031693.
- [14] N.E. Topuz dkk., "Electromagnetic and thermal analysis of a domestic induction cooker oil," *2019 4th Int. Conf. Power Electron. Their Appl. (ICPEA 2019)*, 2019, hal. 1–5, doi: 10.1109/ICPEA1.2019.8911134.
- [15] J.D. Nugroho, "Analisis pengaruh variasi tegangan terhadap efisiensi energi pada kompor induksi," Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 2020.
- [16] A. Suntoro, R.N. Siregar, H. Nurcahyadi, dan L. Yuniarsari, "Kajian operasional laboratorium pengujian electromagnetic compatibility (EMC) untuk perangkat nuklir," *PRIMA, Aplikasi Rekayasa Bid. Iptek Nukl.*, vol. 18, no. 2, hal. 8–17, Nov. 2021.
- [17] Jumingin dkk., "Radiasi gelombang elektromagnetik yang ditimbulkan peralatan listrik di lingkungan Universitas PGRI Palembang," *JOP (J. Online Phys.)*, vol. 7, no. 2, hal. 48–53, Jun. 2022, doi: 10.22437/jop.v7i2.17267.
- [18] N.S. Aulia, "Analisis pengaruh setting daya terhadap efisiensi kompor induksi," Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 2021.
- [19] A.Y. Wirapraja dan M.M. Ali, "Emisi radiasi speaker aktif pada frekuensi 30 Mhz - 1 GHz dan 1 - 6 GHz," *JTPII (J. Teknol. Proses Inov. Ind.)*, vol. 4, no. 2, hal. 79–83, Nov. 2019, doi: 10.36048/jtpii.v4i2.5736.
- [20] T. Akbar, M. Ramdhani, dan E. Kurniawan, "Implementasi dan analisis insertion loss filter berbasis electromagnetic compatibility (EMC) pada light emitting diode (LED)," *Proc. Eng. (E-PROCEEDING)*, vol. 4, no. 3, hal. 3255–3262, Des. 2017.
- [21] M. Barnes, "Electromagnetic compatibility (EMC)," dalam *Practical Variable Speed Drives and Power Electronics*, 1st ed. London, Inggris: Elsevier, 2003.
- [22] Yudhistira dkk., "Karakterisasi conducted emission noise pada inverter di sistem photovoltaic off-grid," *J. Nas. Tek. Elekt. Teknol. Inf.*, vol. 10, no. 1, hal. 100–109, Feb. 2021, doi: 10.22146/jnteti.v10i1.1066.
- [23] N. Mohan, T.M. Undeland, dan W.P. Robbins, *Power Electronics: Converters Applications and Design*, 2nd ed. Quebec, Kanada: John Wiley & Sons, Inc, 1995.
- [24] H.T. Bangsawan dan I.P. Wulandari, "Pengujian CISPR 32 pada mobile phone charger," dalam *Pros. Pertem. Present. Ilm. Stand. 2020 (PPIS)*, 2020, hal. 89–96, doi: 10.31153/ppis.2020.61.
- [25] L. Yang, S. Wang, H. Zhao, dan Y. Zhi, "Prediction and analysis of EMI spectrum based on the operating principle of EMC spectrum analyzers," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 35, no. 1, hal. 263–275, Jan. 2020, doi: 10.1109/TPEL.2019.2914468.
- [26] A. Singh. "Understanding EMI detectors." LinkedIn. Tanggal akses: 3-Jan-2024. [Online]. Tersedia: <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-emi-detectors-arminder-singh>
- [27] J. Beasley, "The dB in Communications," *Technol. Int. J.*, vol. 1, no. 1, Fall 1996.
- [28] *Electromagnetic Compatibility-Requirements for Household Appliances, Electric Tools and Similar Apparatus-Part 1: Emission*, CISPR 14.1:2020, International Electrotechnical Commission, Okt. 2020. [Online]. Tersedia: <https://webstore.iec.ch/publication/60734>
- [29] *Electromagnetic Compatibility of Multimedia Equipment-Emission Requirements*, CISPR 32:2015, International Electrotechnical Commission, Mar. 2015. [Online]. Tersedia: <https://webstore.iec.ch/en/publication/22046>
- [30] T. Purwanti. "5 perusahaan ini cuan dari kompor listrik, ada konglomerat." CNBC Indonesia. Tanggal akses: 29-Des-2023. [Online]. Tersedia: <https://www.cnbcindonesia.com/market/20220922081651-17-374047/5-perusahaan-ini-cuan-dari-kompor-listrik-ada-konglomerat#:~:text=Rinciannya%20adalah%20PT%20Rinnai%20Indonesia,International%2C%20dan%20PT%20Winn%20Appliance>
- [31] L. Subekti dan M. Budiyanto, "Pengaruh perbaikan faktor daya pada kinerja kompor induksi," *Sem. Nas. Inform. 2012 (semnasIF 2012)*, 2012, hal. 59–66.