

Karakterisasi *Conducted Emission Noise* pada *Inverter* di Sistem *Photovoltaic Off-Grid*

(*Characterization of Conducted Emission Noise on Inverter in Off-Grid Photovoltaic System*)

Yudhistira¹, Dwi Mandaris², Yoppy³, Hutomo Wahyu Nugroho⁴, Prayoga Bakti⁵, Bayu Utomo⁶, Tyas Ari Wahyu⁷, Siddiq Wahyu Hidayat⁸, Ferdaus Ario Nurman⁹, Tri Desmana Rachmilda¹⁰, Deny Hamdani¹¹

Abstract—The conducted emission noise caused by the inverter in the off-grid photovoltaic (PV) system has been characterized. Noise that propagates in the conduction path was generated from the phenomenon of inverter switching for the power conversion process from direct current (DC) to alternating current (AC). The IEC 62920: 2017 and CISPR 25: 2016 standards were used to measure the noise generated by the inverter on the DC side. The conducted emission noise measurements for the inverter were carried out in three conditions, namely no-load condition, connected to a 60 W incandescent lamp load, and connected to the incandescent lamp load and dimmer for power variation. Measurements were made on five inverters with different power capacities and output types. The 200 W, 300 W, and 700 W outputs were for the modified sine wave output voltage, while the 500 W and 1,000 W were for pure sine wave output voltage. The measurement results show that when the inverter is connected to the load of the incandescent lamp and the dimmer, the 500 W and 1,000 W pure sine wave inverters have a low peak noise level and less potential to cause electromagnetic interference on the DC side.

Intisari—Gangguan elektromagnetik berupa *conducted emission noise* yang ditimbulkan oleh *inverter* pada sistem *photovoltaic (PV) off-grid* telah berhasil dikarakterisasi. *Noise* yang merambat pada jalur konduksi dihasilkan dari fenomena *switching inverter* untuk proses konversi daya dari listrik searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Standar IEC 62920:2017 dan CISPR 25:2016 digunakan untuk mengukur *noise* yang dihasilkan oleh *inverter* di sisi DC. Pengukuran *conducted emission noise* pada *inverter* dilakukan dalam tiga kondisi, yakni kondisi tanpa beban, terhubung dengan beban lampu pijar 60 W, dan terhubung dengan beban lampu pijar beserta *dimmer* untuk variasi daya. Pengukuran dilakukan pada lima buah *inverter* dengan kapasitas daya dan jenis keluaran (*output*) yang berbeda-beda, yaitu 200 W, 300 W, dan 700 W untuk tegangan keluaran *modified sine wave* serta 500 W dan 1.000 W untuk tegangan keluaran *pure sine wave*. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada kondisi *inverter* terhubung dengan beban lampu pijar beserta *dimmer*, *inverter* model *pure sine wave* 500 W dan 1.000 W

memiliki *peak noise level* yang cukup rendah dan berpotensi lebih sedikit untuk menimbulkan gangguan elektromagnetik di sisi DC.

Kata Kunci—*Inverter, Conducted Emission Noise, DC-LISN, Photovoltaic Off-Grid.*

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan listrik rumah tangga, Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi solusi yang cukup diminati. Penggunaan *photovoltaic (PV)* sebagai bagian dari EBT mampu memaksimalkan penggunaan energi matahari untuk menghasilkan listrik, terutama untuk daerah-daerah pesisir dan pedalaman yang kurang mendapatkan akses listrik. Beberapa tahun terakhir, pemerintah tengah gencar melakukan gerakan untuk pemasangan sistem PV di atap perumahan supaya penetrasi EBT meningkat hingga 23% di tahun 2025 [1]. Sistem PV tersebut ada yang sifatnya hanya terhubung ke beban listrik (*off-grid*), terhubung langsung ke jaringan PLN (*grid-tied*), maupun yang dapat bergabung (*hybrid*) dengan sumber EBT lainnya, seperti pembangkit listrik tenaga angin [2]. Pada makalah ini, tinjauan sistem PV dititikberatkan pada sistem PV *off-grid* guna memperoleh hasil yang komprehensif terhadap kondisi lingkungan yang kesulitan mendapat akses listrik dari PLN.

Secara umum, pada sistem PV *off-grid* terdapat beberapa komponen elektronik yang berfungsi untuk mendukung proses konversi energi dan konversi daya, yakni panel PV dan *inverter*. Panel PV dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik dengan sifat aliran arus searah (DC), sedangkan *inverter* merupakan peralatan elektronik yang digunakan untuk mengonversi tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel PV sehingga dapat digunakan oleh beban peralatan listrik, yakni beban listrik arus bolak-balik (AC).

Dengan hadirnya peralatan elektronik tersebut, timbulnya gangguan elektromagnetik atau *electromagnetic interference (EMI)* tidak dapat dihindari, terutama pada *inverter* yang bertugas untuk melakukan *switching* saat mengonversi daya listrik dari DC ke AC [3]–[5]. Proses konversi daya listrik inilah yang dapat menghasilkan sinyal-sinyal yang tidak diinginkan dan berfrekuensi tinggi, baik secara konduksi maupun radiasi, karena adanya aktivitas penyakelaran cepat (*fast switching*). Proses *fast switching* berpotensi menghasilkan arus *noise* yang merambat di jalur DC sehingga dapat memengaruhi umur pakai pada perangkat yang ada di sisi DC dan dapat pula mengganggu frekuensi radio [6].

¹⁻⁸ Pusat Penelitian Teknologi Pengujian - LIPI, Gd. 417, Kawasan PUSPIPEK, Tangerang Selatan. 15314. INDONESIA (tlp:021-7560227, 021-75871137; fax:021-7560227; e-mail: yudh002@lipi.go.id)

⁹ PT. LEN Industri (Persero), Jl. Soekarno Hatta 442, Bandung. 40254, INDONESIA (tlp: +62-22-5202682; e-mail: ferdaus.ario@len.co.id)

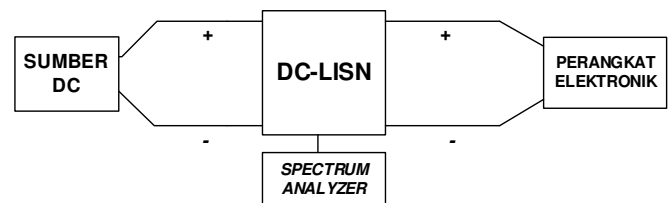
^{10,11} Sekolah Teknik Elektro dan Informatika – ITB, Jl. Ganesha No. 10, Bandung. 40132. INDONESIA (tlp:022-2502260; e-mail: deny.hamdani@gmail.com)

Selain itu, proses *switching* yang terjadi pada *inverter* biasanya menggunakan komponen-komponen seperti transistor *Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor* (MOSFET) sebagai saklar, *crystal oscillator* sebagai pengontrol buka tutup saklar (frekuensi), dan *transformator* sebagai penguat tegangan. Faktor induktans dan kapasitans parasitik pada frekuensi tinggi menjadi pelengkap timbulnya gangguan elektromagnetik berupa *noise* pada *inverter* sehingga *noise* tersebut dapat terkopel pada jalur masukan (*input*) dan keluaran (*output*) PV *inverter* secara konduksi [7]–[10].

Terkait gangguan elektromagnetik yang terjadi pada jalur konduksi akibat penggunaan *inverter*, beberapa penelitian telah berhasil mendeskripsikan adanya perambatan gangguan emisi konduksi (*conducted emission noise*) yang terjadi di sisi sumber dan panel PV akibat adanya variasi impedans pada sisi AC *inverter* yang terhubung langsung ke jaringan (*on-grid*) [11]. Ada pula penelitian yang memberikan analisis *conducted emission* akibat adanya *common mode noise* dan *differential mode noise* pada penggunaan *Switch Mode Power Supply* (SMPS) secara simulasi maupun eksperimen yang berdampak langsung pada *conducted emission noise* [12], [13]. Dilaporkan pula bahwa kenaikan *noise* dari *conducted emission* sangat mungkin dipengaruhi oleh kondisi pentanahan, yakni *single point*, *multipoints*, dan *hybrid grounding* pada sistem PV [14]. Namun, penelitian yang berfokus pada gangguan konduksi yang timbul akibat penggunaan *inverter* pada sistem PV *off-grid* belum banyak dilakukan karena sebagian besar fokus penelitian tentang sistem PV lebih kepada topik yang berkaitan dengan efisiensi konversi energi. Padahal, gangguan yang ditimbulkan pada sisi DC *inverter* tidak kalah penting untuk dianalisis karena dapat memengaruhi kondisi lingkungan elektromagnetik di sekitarnya.

Cukup banyaknya potensi gangguan elektromagnetik yang berasal dari *inverter* menunjukkan perlunya dilakukan karakterisasi *conducted emission noise inverter* pada sistem PV *off-grid*, baik dalam kondisi tanpa beban maupun saat diberi beban pada sisi AC *inverter*. Dengan demikian, karakteristik *noise* yang timbul dapat diamati perubahannya terhadap ada atau tidaknya beban di sisi AC *inverter*. Pada akhirnya, hasil pada makalah ini diharapkan dapat memberikan gambaran tinggi atau tidaknya *noise level* yang dihasilkan oleh beberapa *inverter* yang dijual bebas di pasaran.

Kebaruan yang ada pada makalah ini terletak pada karakterisasi *conducted emission noise inverter* di jalur DC, baik dalam kondisi *standalone* maupun dalam kondisi terhubung dengan beban di sisi AC. Sampel *inverter* yang hendak diukur dipilih berdasarkan kapasitas daya yang biasa digunakan pada sistem PV *off-grid*, yakni dalam rentang 200 W hingga 1.000 W [15], [16]. Selain itu, teknik pengukuran yang digunakan mengacu pada standar IEC 62920:2017 dan CISPR 25:2016. Standar IEC 62920:2017 digunakan terkait *set-up* pengukuran dan batasan emisi *conducted emission noise* dari *inverter*, sedangkan kriteria alat ukur bantu yang berfungsi untuk memperoleh karakteristik *noise* tersebut terdapat pada standar CISPR 25:2016, yakni *DC Line Impedance Stabilization Network* (DC-LISN) [17], [18]. Adapun standar CISPR 25:2016 digunakan sebagai acuan penggunaan DC-



Gbr. 1 Skema pengukuran *conducted emission noise* pada perangkat elektronik.

LISN sebagai penangkap *noise* konduksi yang berasal dari *inverter* yang selanjutnya dibaca oleh alat ukur.

Makalah ini terdiri atas beberapa bagian. Bagian II menjabarkan teori singkat mengenai *conducted emission noise* dan DC-LISN sebagai alat bantu untuk mengukur *noise level* dari *inverter*. Di bagian III terdapat alur kerja dari penelitian dan *set-up* pengukuran berdasarkan standar serta alat ukur dan komponen elektronik yang digunakan. Selanjutnya, di bagian IV, seluruh hasil pengukuran dari berbagai kondisi ditampilkan dan dibahas secara menyeluruh. Pada akhirnya, kesimpulan dari hasil penelitian disampaikan pada bagian V.

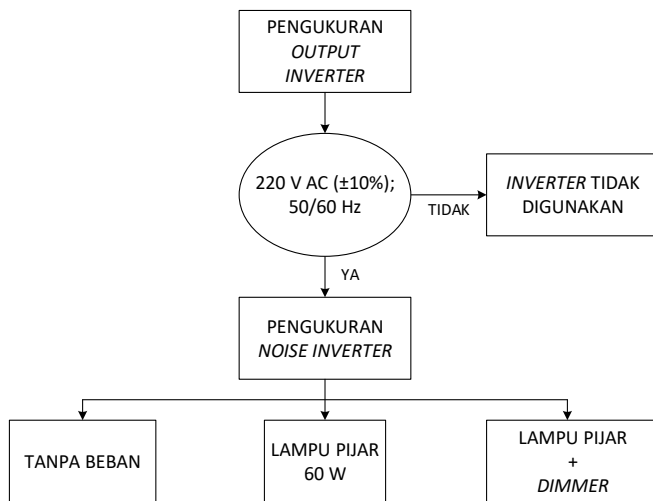
II. CONDUCTED EMISSION NOISE

Secara umum, gangguan elektromagnetik yang ditimbulkan oleh perangkat elektronik melalui penghantar (konduktor) dapat diinterpretasikan sebagai arus *noise* yang merambat pada jalur konduksi sehingga sangat berpotensi mengganggu peralatan elektronik lainnya melalui sumber tegangan. Hal ini disebut juga sebagai emisi gangguan elektromagnetik di jalur konduksi atau *conducted emission noise*.

Beberapa teknik untuk mengidentifikasi *noise* pada kasus *conducted emission* telah banyak dilakukan, salah satunya adalah dengan menggunakan alat bantu pengukuran berupa *Line Impedance Stabilization Network* (LISN) yang dapat berfungsi sebagai penyedia impedans yang stabil dan pemisahan *noise* yang berasal dari sumber gangguan agar tidak diteruskan ke sumber tegangan. Selanjutnya, *noise* yang ditangkap oleh LISN akan diteruskan ke alat ukur, yakni *spectrum analyzer*, guna mendapat gambaran terkait tinggi atau tidaknya *noise level* yang ditimbulkan oleh sumber gangguan [19], [20]. Skema diagram untuk sistem pengukuran *conducted emission noise* pada jalur DC secara umum ditampilkan pada Gbr. 1 [21], [22].

Pada gambar tersebut, pengukuran *noise* pada perangkat elektronik (beban) yang terhubung dengan sumber tegangan AC dilakukan oleh DC-LISN dan *spectrum analyzer*. Adapun rentang frekuensi pengukuran *conducted emission noise*, mengacu pada standar IEC 62920:2017, adalah 150 kHz sampai 30 MHz, yakni masuk dalam kategori frekuensi tinggi. Dengan adanya DC-LISN, impedans di kedua sisi tetap stabil (50Ω) sehingga perangkat elektronik tetap dapat beroperasi dengan normal.

Fungsi lain dari DC-LISN adalah sebagai media peredam *noise* dari sumber tegangan sehingga hasil pengukuran *noise* oleh alat ukur hanya *noise* yang berasal dari *inverter*. Oleh karena itu, sumber tegangan harus dibuat sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan *noise* tambahan yang dapat mengganggu hasil pengukuran. Untuk skala laboratorium,

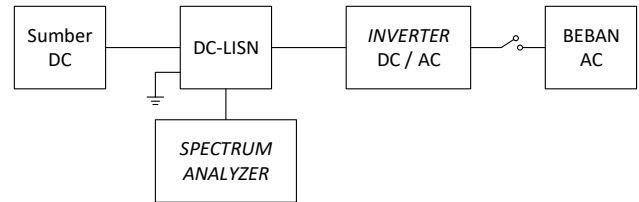
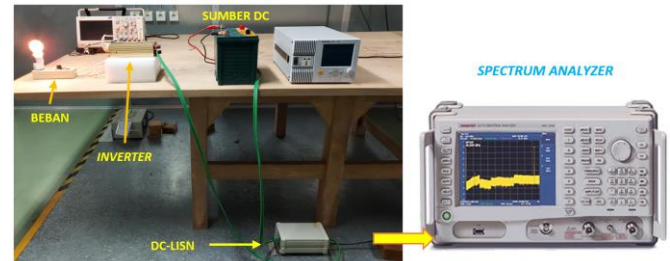
Gbr. 2 Diagram alir pengukuran *conducted emission noise inverter* PV.Gbr. 3 Lampu pijar 60 W beserta *dimmer*.

sumber tegangan DC dapat berupa baterai yang berperan sebagai pengganti sumber DC dari panel PV [18].

III. PENGUKURAN *CONDUCTED EMISSION NOISE INVERTER*

Alur kerja pengukuran *conducted emission noise* ditampilkan pada Gbr. 2. Beberapa *inverter* yang dipersiapkan untuk dilakukan pengukuran *conducted emission noise* adalah *inverter* 200 W, 300 W, 500 W, 700 W, dan 1.000 W. Spesifikasi ini dipilih karena mempertimbangkan penggunaan daya rata-rata sehari-hari di masyarakat perumahan serta mengikuti mayoritas klasifikasi listrik perumahan pada saat ini, yakni 450 W dan 900 W [23], [24]. *Inverter* yang digunakan memiliki spesifikasi keluaran gelombang yang berbeda, yakni *pure sine wave* dan *modified sine wave*. *Inverter* model *pure sine wave* memiliki tegangan keluaran yang lebih sinusoidal dibandingkan dengan model *modified sine wave* sehingga mendekati bentuk tegangan keluaran dari PLN. Namun, dari segi harga, *inverter* model *modified sine wave* lebih terjangkau sehingga banyak pula digunakan untuk penerangan maupun pengisian daya baterai gawai. Dengan mempertimbangkan beban yang terhubung ke *inverter*, spesifikasi keluaran *inverter* diharapkan menghasilkan keluaran tegangan RMS 220 V ($\pm 10\%$) dan frekuensi 50/60 Hz.

Selanjutnya, pengukuran *conducted emission noise* dilakukan dalam tiga kondisi, yakni dalam kondisi tanpa beban, kondisi pembebanan lampu pijar 60 W, dan kondisi variasi

Gbr. 4 Set-up pengukuran *conducted emission noise inverter* PV.Gbr. 5 Perancangan sistem pengukuran *conducted emission noise inverter* PV.

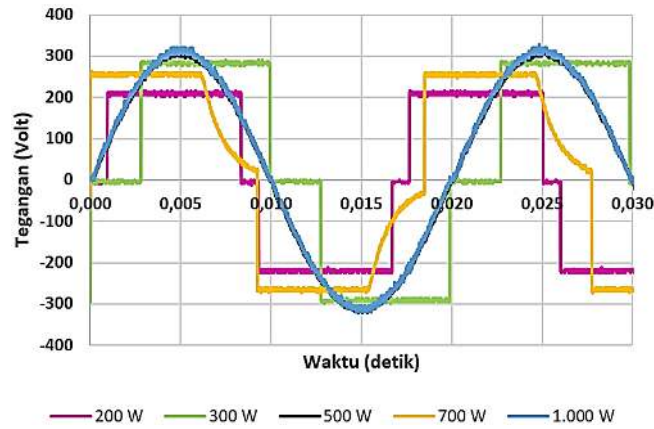
daya lampu pijar menggunakan *dimmer* guna memperoleh karakteristik *conducted emission noise* bila dilakukan variasi daya lampu. Lampu pijar 60 W dipilih dengan mempertimbangkan daya rata-rata yang biasa digunakan untuk penerangan di kawasan perumahan, sedangkan *dimmer* berfungsi sebagai pengendali besarnya daya yang diteruskan ke lampu pijar. Gbr. 3 menampilkan *set-up* lampu beserta *dimmer*. Adapun *set-up* dan perancangan sistem pengukuran *conducted emission noise* berdasarkan standar IEC 62920:2017 dan CISPR 25:2016 ditampilkan pada Gbr. 4 dan Gbr. 5 [17], [18].

Sumber DC yang digunakan sebagai pemasok daya untuk *inverter* adalah baterai 12 V. Pada saat *inverter* bekerja, baik tanpa beban maupun diberi beban di sisi AC, *noise* pada jalur konduksi diukur melalui DC-LISN dan diteruskan ke *spectrum analyzer* untuk dilakukan pengolahan data *peak noise level*. Data yang ditampilkan adalah spektrum frekuensi dari 150 kHz sampai 30 MHz dengan *conducted emission peak noise level* dalam satuan $\text{dB}\mu\text{V}$.

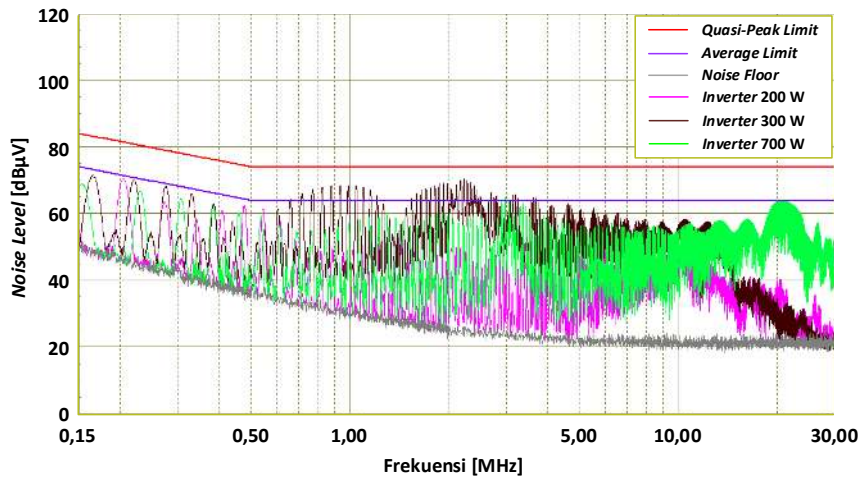
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran tegangan keluaran pada masing-masing *inverter*, yakni 200 W, 300 W, 500 W, 700 W, dan 1.000 W, diperlihatkan pada Gbr. 6. Tegangan keluaran dan frekuensi yang terukur dari masing-masing *inverter* menunjukkan nilai yang masih memenuhi kriteria, yakni tegangan RMS 220 V ($\pm 10\%$) dan frekuensi 50/60 Hz. Tampak jelas pula perbedaan profil gelombang tegangan yang dihasilkan oleh *inverter pure sine wave* (500 W dan 1.000 W) dan *modified sine wave* (200 W, 300 W, dan 700 W).

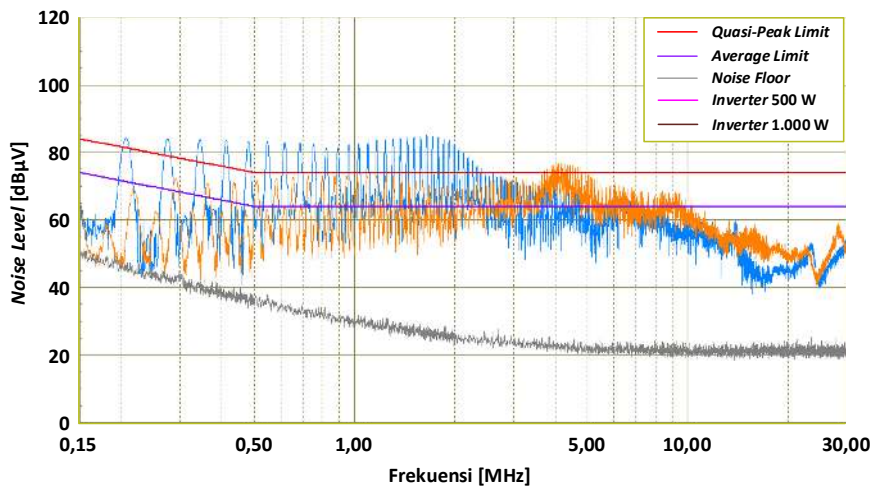
Berdasarkan hasil yang diperoleh dari bentuk tegangan keluaran masing-masing *inverter*, hasil pengukuran *conducted emission noise* pada jalur DC *inverter* dibagi menjadi dua bagian, yaitu *inverter* model *pure sine wave* dan *modified sine wave* dengan tiga kondisi pengukuran, yakni kondisi tanpa beban, kondisi beban lampu pijar 60 W, dan kondisi variasi daya beban lampu pijar yang menggunakan *dimmer*. Hasil pengukuran *conducted emission noise* pada *inverter modified*



Gbr. 6 Hasil tegangan keluaran dari masing-masing inverter.



Gbr. 7 Hasil pengukuran *conducted emission noise inverter model modified sine wave* 200 W, 300 W, dan 700 W (tanpa beban).

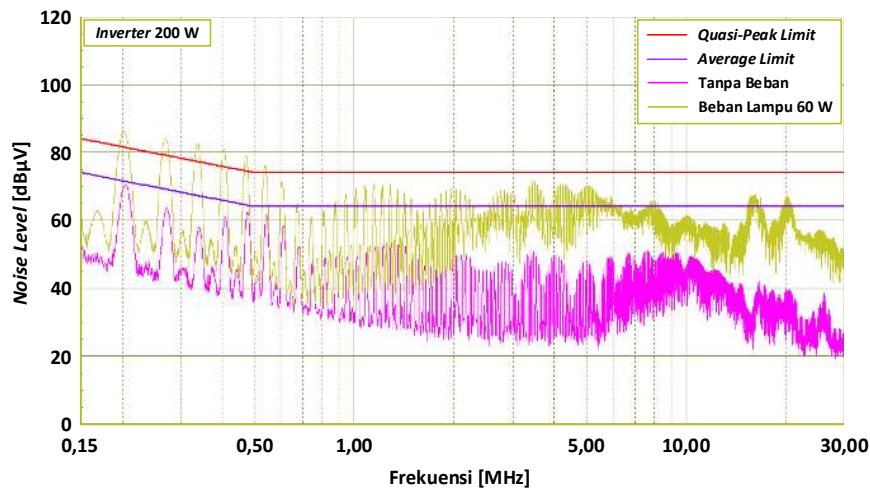


Gbr. 8 Hasil pengukuran *conducted emission noise inverter model pure sine wave* 500 W dan 1.000 W (tanpa beban).

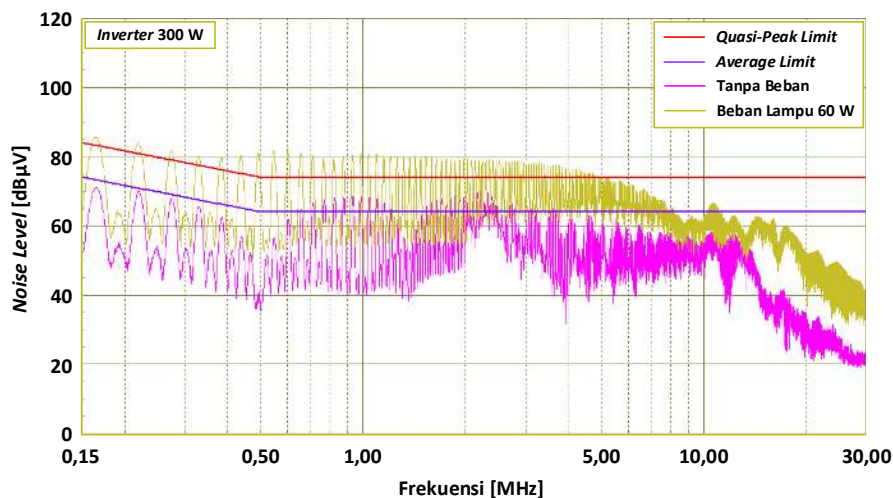
dan *pure sine wave* pada kondisi tanpa beban ditunjukkan pada Gbr. 7 dan Gbr. 8.

Data pengukuran yang ditampilkan pada Gbr. 7 dan Gbr. 8 adalah *noise floor* serta *noise* dari inverter dan pada jalur DC yang dikumpulkan oleh DC-LISN dan kemudian diolah oleh *spectrum analyzer* menggunakan detektor *peak*. *Noise floor* diukur pada saat inverter belum dinyalakan. Nilai *noise floor*

yang terukur sangat kecil (20–50 dBµV atau 0,01–0,316 mV) sehingga dapat dijadikan acuan terhadap nilai *conducted emission noise* yang dihasilkan oleh masing-masing inverter. Terukurnya nilai *peak noise* masing-masing inverter menandakan bahwa meskipun inverter belum diberi beban, *noise* di jalur DC sudah muncul dan memiliki risiko timbulnya gangguan elektromagnetik secara konduksi.



Gbr. 9 Hasil pengukuran *conducted emission noise* inverter 200 W tanpa beban dan terhubung dengan beban lampu pijar 60 W.



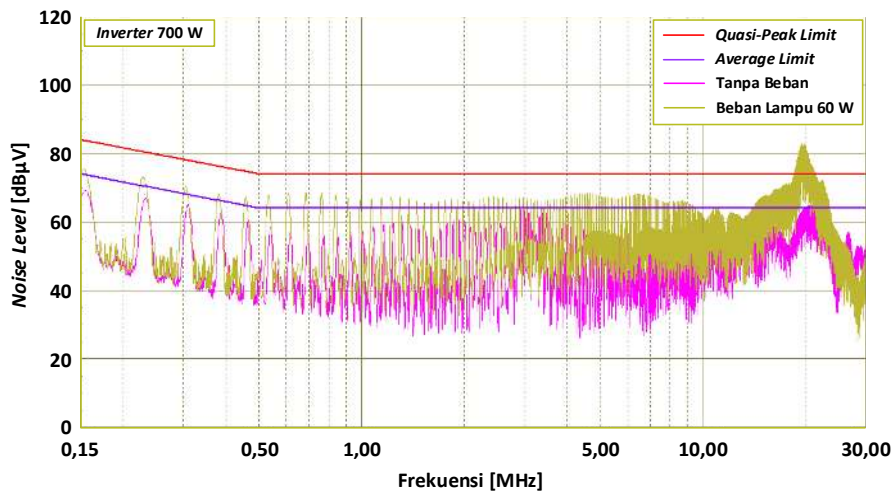
Gbr. 10 Hasil pengukuran *conducted emission noise* inverter 300 W tanpa beban dan terhubung dengan beban lampu pijar 60 W.

Hasil pengukuran pada Gbr. 7 menunjukkan bahwa karakteristik *peak noise* yang ditimbulkan oleh masing-masing *inverter* cukup bervariasi pada rentang frekuensi 150 kHz sampai 30 MHz. Namun, untuk frekuensi di atas 10 MHz, *peak noise level* dari *inverter* 700 W relatif lebih tinggi dibanding *inverter* lainnya, yakni lebih dari 60 dB μ V. Hal ini menunjukkan bahwa *inverter* 700 W cukup intensif dalam menghasilkan gangguan konduksi pada rentang frekuensi 10 MHz sampai 30 MHz. Hal yang sama juga ditunjukkan oleh *inverter* 300 W pada rentang frekuensi yang lebih rendah, yakni sekitar 500 kHz sampai 5 MHz, sedangkan untuk *inverter* 200 W, *peak noise* yang dihasilkan tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan *inverter* lainnya. Untuk *inverter* model *pure sine wave* pada Gbr. 8, hasil pengukuran *peak noise* pada *inverter* 500 W cukup tinggi dibandingkan dengan *inverter* 1.000 W pada rentang frekuensi 150 kHz sampai 2 MHz.

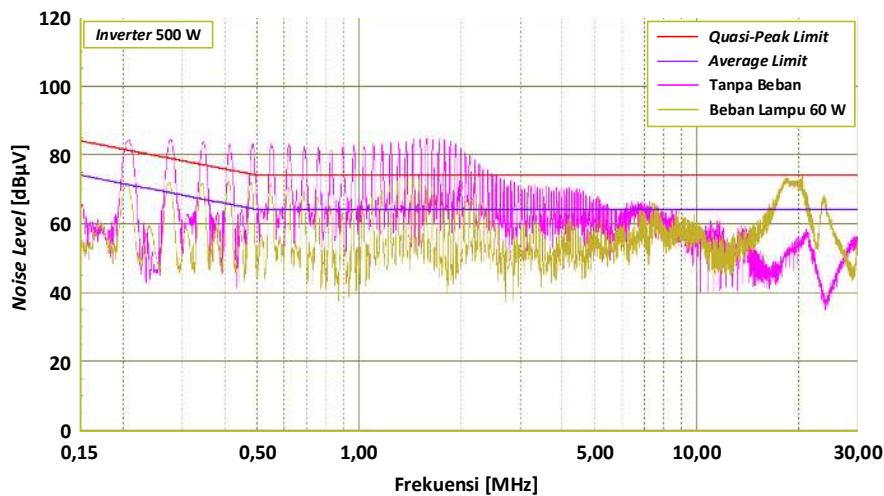
Indikator *quasi-peak* dan *average limit* berdasarkan standar IEC 62690:2017 diberikan pada grafik di Gbr. 7 dan Gbr. 8 guna meninjau tinggi *peak noise level* yang terukur dari masing-masing *inverter*. Bila *peak noise* yang terukur masih berada di bawah level *average-limit*, maka gangguan yang

ditimbulkan oleh *inverter* tersebut masih relatif aman terhadap lingkungan elektromagnetik di sekitarnya. Sementara itu, apabila hasil pengukuran *peak noise* berada di antara *quasi-peak* dan *average limit* atau bahkan melebihi *quasi-peak limit*, maka gangguan yang dihasilkan oleh *inverter* tersebut berpotensi mengganggu lingkungan elektromagnetik di sekitarnya [19], [21]. Perangkat ukur seperti *EMI Receiver* yang memiliki detektor *quasi-peak* dan *average* diperlukan untuk mengevaluasi nilai-nilai *peak noise* tersebut lebih lanjut. Meskipun demikian, penggunaan *spectrum analyzer* pada tahap awal ini cukup dapat menggambarkan secara kualitatif tinggi atau tidaknya potensi gangguan yang dihasilkan *inverter* saat beroperasi.

Dari semua *inverter* yang diukur pada kondisi tanpa beban, *inverter* model *pure sine wave* kapasitas 500 W dan 1.000 W memiliki beberapa *peak noise* yang melebihi *average* dan *quasi-peak limit*. Selain itu, *peak noise* dari *inverter* model *modified sine wave* 300 W juga berada di atas *average limit*. Hal ini perlu menjadi perhatian karena dapat berpotensi memberikan gangguan ke lingkungan elektromagnetik lainnya pada frekuensi-frekuensi *peak noise* tersebut.



Gbr. 11 Hasil pengukuran *conducted emission noise* inverter 700 W tanpa beban dan terhubung dengan beban lampu pijar 60 W.



Gbr. 12 Hasil pengukuran *conducted emission noise* inverter 500 W tanpa beban dan terhubung dengan beban lampu pijar 60 W.

Selanjutnya, hasil pengukuran *conducted emission noise* pada masing-masing *inverter* saat diberi beban lampu pijar 60 W ditampilkan pada Gbr. 9 sampai Gbr. 13. Pada pengukuran *inverter* model *modified sine wave* 200 W yang terhubung dengan beban lampu pijar 60 W, *peak noise* yang terukur naik secara signifikan dibandingkan dengan kondisi tanpa beban (Gbr. 9). Hal ini menunjukkan adanya peningkatan aktivitas *switching inverter* pada sistem internal *inverter* saat melakukan konversi daya guna dapat menyesuaikan tegangan dan frekuensi keluaran yang dibutuhkan oleh beban lampu pijar. Hal yang sama terjadi pula pada *inverter* model *modified sine wave* 300 W dan 700 W, seperti ditunjukkan pada Gbr. 10 dan Gbr. 11.

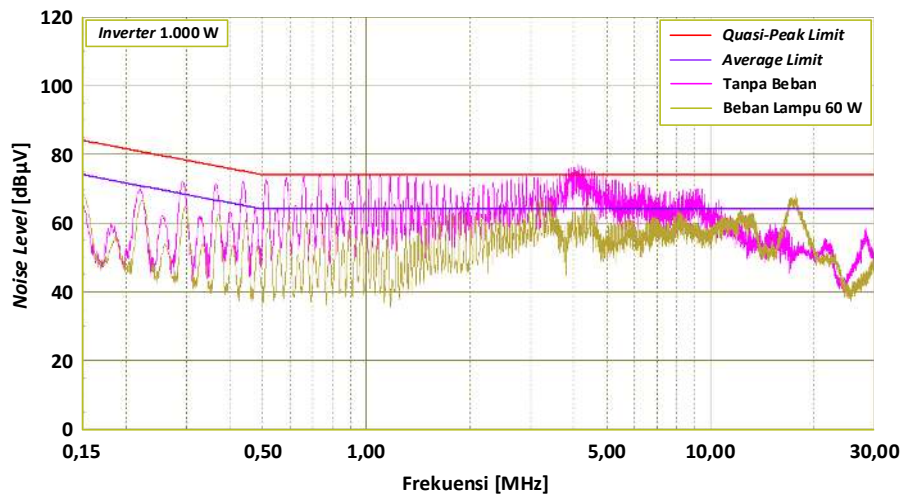
Hasil *peak noise* yang terukur pada *inverter* model *modified sine wave* ini pun bahkan cukup banyak berada pada level yang melebihi *quasi-peak limit* sehingga adanya beban lampu pijar 60 W yang terhubung dengan *inverter* di sisi AC menyebabkan kenaikan *peak noise level* yang sangat signifikan dan berpotensi mengganggu lingkungan elektromagnetik di sekitarnya.

Sementara itu, hal yang berbeda ditunjukkan oleh *inverter* model *pure sine wave* 500 W dan 1.000 W. Pada Gbr. 12 dan

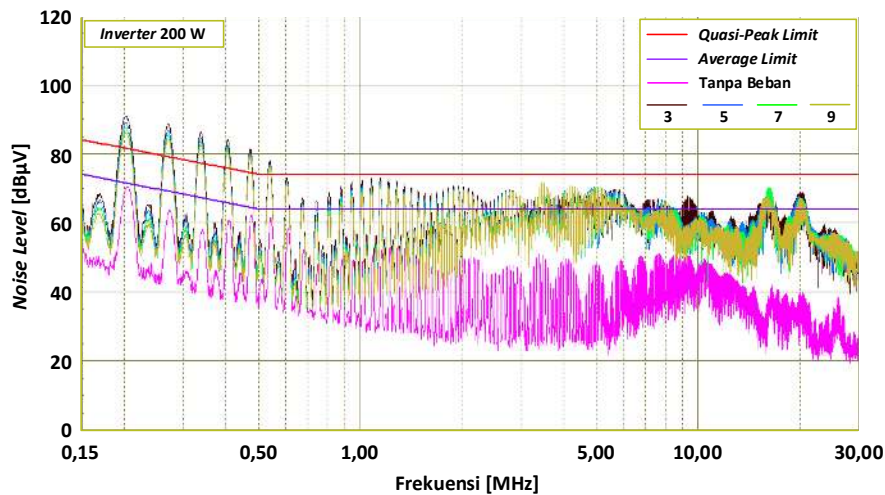
Gbr. 13, kedua *inverter* tersebut sama-sama menghasilkan *peak noise level* yang lebih rendah saat diberi beban lampu pijar 60 W bila dibandingkan dengan kondisi tanpa beban pada frekuensi rendah (di bawah 10 MHz). Namun, pada frekuensi yang lebih tinggi, di sekitar 15 MHz sampai 20 MHz, terdapat kenaikan *peak noise* yang cukup signifikan. Jika ditinjau dari sisi internal *inverter*, proses *filter noise* yang ada pada *inverter* model *sine wave* pada saat ada beban yang terhubung cukup membantu menekan *peak noise* di frekuensi rendah.

Pada *inverter* model *pure sine wave*, masih didapati hasil pengukuran *peak noise* yang melebihi *average limit* untuk kondisi *inverter* terhubung dengan beban di frekuensi tinggi. Hal tersebut menandakan masih adanya potensi gangguan elektromagnetik di jalur DC pada frekuensi tinggi meskipun sebagian besar *peak noise level* turun pada daerah frekuensi yang lebih rendah.

Dengan demikian, adanya penambahan beban di sisi AC untuk seluruh model *inverter* dapat meningkatkan *peak noise level* pada *inverter*, terutama pada frekuensi tinggi. Hal ini terjadi karena adanya kebutuhan *supply* arus, penyesuaian tegangan, dan frekuensi keluaran ke beban yang mengakibatkan kinerja *inverter* menjadi lebih berat. Hal



Gbr. 13 Hasil pengukuran *conducted emission noise* inverter 1.000 W tanpa beban dan terhubung dengan beban lampu pijar 60 W.



Gbr. 14 Hasil pengukuran *conducted emission noise* inverter 200 W tanpa beban dan terhubung dengan beban lampu pijar beserta *dimmer*.

TABEL I
DATA VARIASI DAYA LAMPU PIJAR 60 W MENGGUNAKAN DIMMER

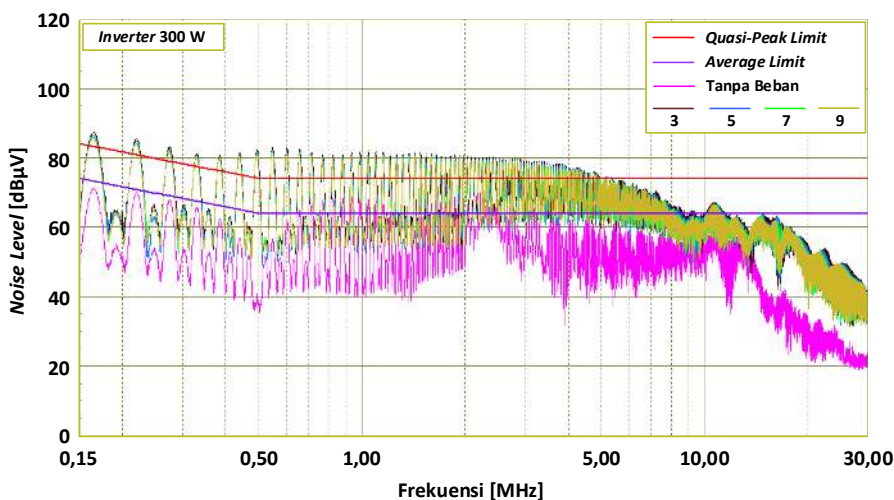
No. Dimmer	Daya Lampu Pijar (W)				
	Inverter 200 W	Inverter 300 W	Inverter 500 W	Inverter 700 W	Inverter 1.000 W
3	15,40	27,86	27,30	20,75	28,16
5	27,23	38,27	41,82	34,05	42,91
7	37,77	48,11	53,08	44,71	52,46
9	44,90	54,32	58,38	51,52	58,84

tersebut dapat diantisipasi dengan cara memberi *filter* pada masukan daya *inverter* agar *noise* tidak merambat ke jalur DC [25].

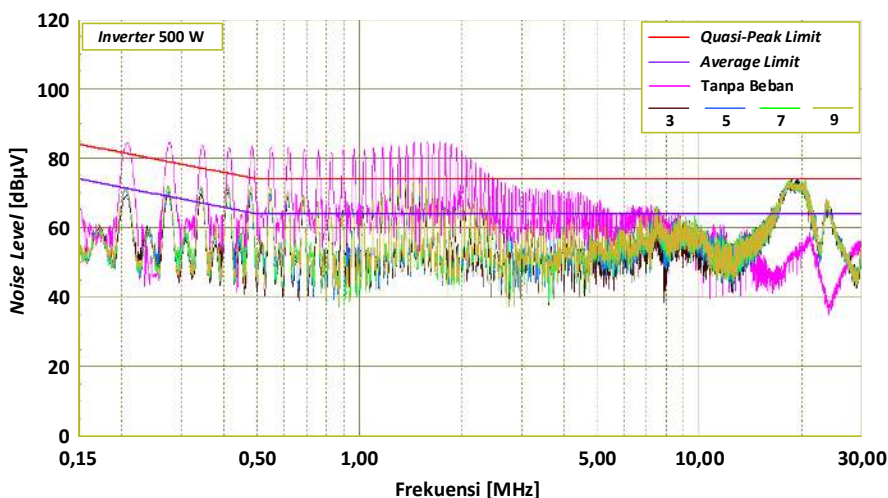
Untuk kondisi *inverter* yang terhubung dengan beban lampu pijar beserta *dimmer*, nilai daya lampu divariasikan menggunakan *dimmer*. Penomoran penyalan *dimmer* divariasikan dari nomor 3, 5, 7, dan 9. Semakin besar nomor penyalan, daya lampu akan semakin mendekati nilai nominal daya yang tertera pada lampu, yakni 60 W. Nilai daya lampu yang bersesuaian dengan nomor penyalan *dimmer* ditunjukkan pada Tabel I.

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa *inverter* model *modified sine wave* (200 W, 300 W, dan 700 W) menunjukkan nilai daya yang tidak terlalu mendekati 60 W meskipun *dimmer* sudah diatur pada posisi nomor 9, sedangkan pada *inverter* model *pure sine wave* (500 W dan 1.000 W), nilai daya lampu mendekati 60 W saat *dimmer* diatur pada posisi nomor 9. Hal tersebut terjadi karena bentuk gelombang tegangan *inverter* model *modified sine wave* tidak sinusoidal murni yang diakibatkan adanya harmonik arus dan tegangan yang tinggi sehingga nilai rugi-rugi daya meningkat. Sementara itu, tegangan keluaran dari *inverter* model *pure sine wave* berbentuk sinusoidal murni dengan nilai harmonik arus dan tegangan yang sangat rendah sehingga rugi-rugi daya yang timbul cukup kecil [26]. Hal ini bersesuaian dengan data arus dan tegangan *Total Harmonic Distortion* (THD) yang terukur pada masing-masing *inverter*, yang ditampilkan pada Tabel II dan Tabel III.

Hasil pengukuran *conducted emission noise* masing-masing *inverter* pada kondisi terhubung dengan beban lampu pijar beserta *dimmer* ditunjukkan pada Gbr. 14 sampai Gbr. 18. Pengukuran *conducted emission noise* *inverter* model *modified*



Gbr. 15 Hasil pengukuran *conducted emission noise inverter 300 W* tanpa beban dan terhubung dengan beban lampu pijar beserta *dimmer*.



Gbr. 16 Hasil pengukuran *conducted emission noise inverter 500 W* tanpa beban dan terhubung dengan beban lampu pijar beserta *dimmer*.

TABEL II
DATA ARUS THD SETIAP INVERTER

No. Dimmer	Arus THD (%)				
	Inverter 200 W	Inverter 300 W	Inverter 500 W	Inverter 700 W	Inverter 1.000 W
3	127,65	81,93	77,03	116,55	76,58
5	58,84	48,40	51,02	56,74	50,04
7	30,57	29,80	28,64	30,93	30,44
9	34,55	29,53	4,28	29,52	4,17

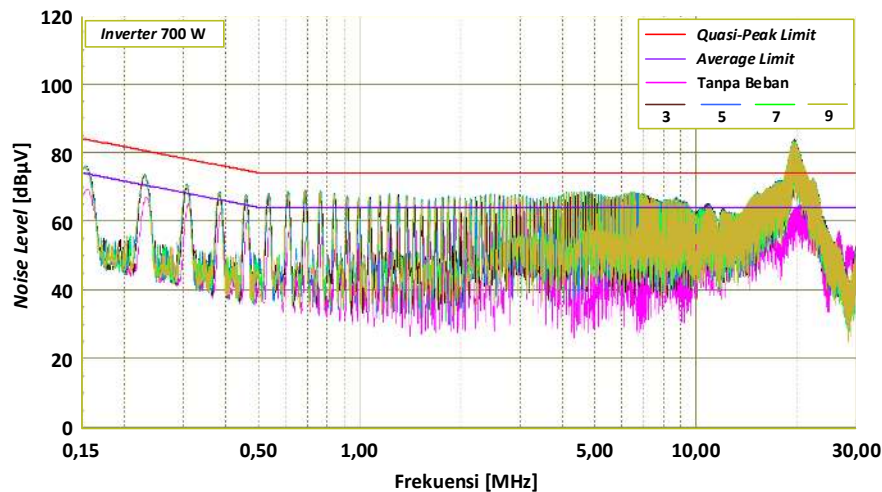
TABEL III
DATA TEGANGAN THD SETIAP INVERTER

No. Dimmer	Tegangan THD (%)				
	Inverter 200 W	Inverter 300 W	Inverter 500 W	Inverter 700 W	Inverter 1.000 W
3	32,15	26,91	1,33	26,58	1,29
5	34,47	30,34	1,38	27,95	1,24
7	37,14	31,77	1,24	30,04	1,16
9	36,08	30,37	1,06	30,45	1,01

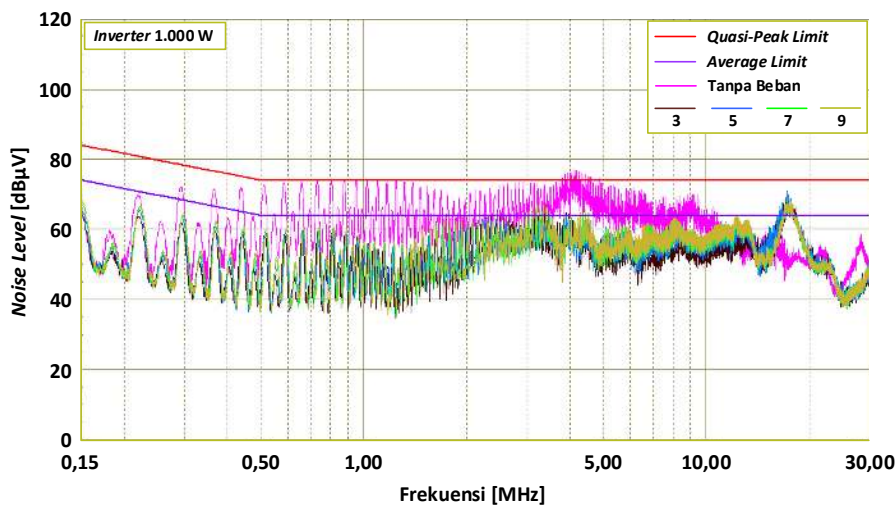
sine wave (200 W, 300 W, dan 700 W) menunjukkan nilai *peak noise* yang terukur cukup fluktuatif di frekuensi tinggi. *Peak noise level* yang cukup tinggi terukur saat daya dari lampu pijar bernilai rendah. Hal ini disebabkan perlunya *inverter* melakukan penyesuaian berupa kompensasi daya terhadap beban sehingga kinerja *inverter* model ini menjadi cukup berat [21]. Meskipun demikian, seluruh hasil pengukuran *inverter* model *modified sine wave* saat terhubung dengan beban lampu pijar beserta *dimmer* memiliki pola *peak noise* yang cukup mendekati satu sama lain.

Hasil yang berbeda ditunjukkan pada pengukuran *inverter* model *pure sine wave*, yakni 500 W dan 1.000 W. Dari segi fluktuasi *noise* di frekuensi tinggi, semakin tinggi daya lampu pijar, *noise* yang terukur menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh lebih tingginya nilai arus yang dibutuhkan untuk memasok daya yang lebih besar pada beban, sehingga proses *switching inverter* menjadi lebih cepat dan berpotensi menaikkan *peak noise level* di jalur DC [16], [21].

Dari keseluruhan hasil pengukuran pada kondisi *inverter* terhubung dengan beban lampu pijar beserta *dimmer*, *inverter*



Gbr. 17 Hasil pengukuran *conducted emission noise* inverter 700 W tanpa beban dan terhubung dengan beban lampu pijar beserta *dimmer*.



Gbr. 18 Hasil pengukuran *conducted emission noise* inverter 1.000 W tanpa beban dan terhubung dengan beban lampu pijar beserta *dimmer*.

model *pure sine wave* 500 W dan 1.000 W memiliki *peak noise level* yang cukup rendah dan paling aman untuk digunakan. Hal tersebut didukung pula oleh nilai arus dan tegangan THD yang rendah sehingga *inverter* dapat beroperasi secara optimal dalam memasok daya pada beban AC tanpa menghasilkan efek samping berupa *conducted emission noise* yang tinggi di jalur DC.

V. KESIMPULAN

Karakterisasi *conducted emission noise* pada *inverter* sistem PV *off-grid* dapat dilakukan dengan menerapkan metode pengukuran berdasarkan standar IEC 62920:2017 dan CISPR 25:2016, baik untuk kondisi *standalone* maupun terhubung dengan beban. Hasil karakterisasi *conducted emission noise* pada *inverter* model *modified sine wave* tanpa beban menunjukkan *peak noise* yang terukur bernilai cukup tinggi pada *inverter* 300 W dan 700 W, tetapi masih berada di bawah *quasi-peak limit*. Sementara itu, *inverter* model *pure sine wave* 500 W memiliki *peak noise* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *inverter* 1.000 W pada frekuensi rendah, sehingga lebih berpotensi memberikan gangguan pada jalur DC. Adanya

penambahan beban lampu pijar 60 W di sisi AC untuk seluruh model *inverter* dapat meningkatkan *peak noise level* pada *inverter*, terutama pada frekuensi tinggi. Dari keseluruhan hasil pengukuran pada kondisi *inverter* terhubung dengan beban lampu pijar beserta *dimmer*, *inverter* model *pure sine wave* 500 W dan 1.000 W memiliki *peak noise level* yang cukup rendah dan berpotensi lebih sedikit untuk menimbulkan gangguan elektromagnetik di sisi DC. Meskipun masih perlu dilakukan deteksi *quasi-peak* dan *average* di beberapa frekuensi kritis untuk mendapatkan hasil yang lebih kuantitatif, pengukuran yang telah dilakukan cukup dapat menggambarkan karakteristik *conducted emission noise* yang dihasilkan oleh berbagai jenis *inverter* yang umumnya digunakan pada sistem PV *off-grid*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Tim Laboratorium *Electromagnetic Compatibility* (EMC) Pusat Penelitian Teknologi Pengujian – LIPI, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika – ITB, dan ANRGI (*Accessible, Natural, Renewable, Growing, Interactive/Implementation*) Project

antara ITB dan P2TP – LIPI atas dana, fasilitas, dan dukungannya dalam melakukan kegiatan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] “Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik,” Kementerian ESDM, Jakarta, Indonesia, hal. 1–22, 2017.
- [2] K. Basaran, N.S. Cetin, dan S. Borekci, “Energy Management for On-Grid and Off-Grid Wind/PV and Battery Hybrid Systems,” *IET Renew. Power Gener.*, Vol. 11, No. 5, hal. 642–649.
- [3] J. Huang dan K. Li, “Suppressing EMI Peaks Through Auto-Screening Carrier Phase-Shift Scheme in a PV System Composed of Parallel Single-Phase Inverters,” *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Vol. 61, No. 1, hal. 82–89, 2019.
- [4] O. Yade, C. Martin, C. Vollaïre, A. Bréard, M. Ali, R. Meuret, H. Morel, “Improved Layout of Inverter for EMC Analysis,” *More Electr. Aircr.*, No. 1, hal. 3–6, 2018, [Online]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01715021> tanggal akses: 10-Des-2020.
- [5] Y.H. Dong, M.Y. Liu, dan L. Cao, “EMI Noise Testing and Diagnosis for PV Inverter,” *Advanced Materials Research*, Vol. 805–806, hal. 31–35, 2013.
- [6] N. Henze, G. Bopp, T. Degner, H. Häberlin, dan S. Schattner, “Radio Interference on the DC Side of PV Systems,” *17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 2001, hal. 22–25.
- [7] N. Harpawi, M.Y. Hariyawan, dan N. Posma, “Teknik Mitigasi Conducted Emission pada LED Driver Topologi Buck dengan Metode Random Up Spreading Switching Frequency,” *J. Elem.*, Vol. 5, No. 2, hal. 50–58, 2019.
- [8] Y. Lu, Z. Chen, dan H. Huang, “The System for the Reduction of Conducted Electromagnetic Interference Emission from Switching Power Supply,” *Third International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP 2007)*, 2007, hal. 397–402.
- [9] N. Boonpirom, “Conducted and Radiated Noise Reduction Using Circuit Balance on Double Switch Converter,” *2010 Conference Proceedings IPEC*, 2010, hal. 317–322.
- [10] S. Wang dan F.C. Lee, “Analysis and Applications of Parasitic Capacitance Cancellation Techniques for EMI Suppression,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 57, No. 9, hal. 3109–3117, Sep. 2010.
- [11] D. Hamza dan P. Jain, “Conducted Electromagnetic Emissions Analysis in Grid-tied PV System,” *IEICE*, 2009, hal. 2–5.
- [12] K.R. Li, K.Y. See, dan R.M.S. Bandara, “Impact Analysis of Conducted Emission Measurement Without LISN,” *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, Vol. 58, No. 3, hal. 776–783, 2016.
- [13] Y. Wang, S. Bai, X. Guo, S. Jin, Y. Zhang, J. Eriksson, L. Qu, J. Huang, dan J. Fan, “Conducted-emission Modeling for a Switched-Mode Power Supply (SMPS),” *2015 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility and Signal Integrity, EMCSI 2015*, 2015, hal. 314–319.
- [14] W. Ananda, S.A. Cahyadi, I. Inayaturohman, dan D. Hamdani, “The Effect of the Grounding Condition of Line Impedance Stabilization Network on the Measurement Validity of Conducted Emission Parameter,” *Proc. Int. Conf. on High Voltage Engineering and Power Systems, ICHVEPS 2017*, 2017, hal. 498–502.
- [15] M. Naim, “Rancangan Sistem Kelistrikan PLTS Off Grid 1000 watt di Desa Mahalona Kecamatan Towuti,” *J. Ilm. Tek. Mesin*, Vol. 9, No. 1, hal. 27–32, 2017.
- [16] S. Saodah dan S. Utami, “Perancangan Sistem Grid Tie Inverter pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, Vol. 7, No. 2, hal. 339–350, 2019.
- [17] “Vehicles, Boats and Internal Combustion Engines - Radio Disturbance Characteristics - Limits and Methods of Measurement for the Protection of On-board Receivers,” CISPR 25:2016, 2016.
- [18] “Photovoltaic Power Generating Systems – EMC Requirements and Test Methods for Power Conversion Equipment,” IEC 62920:2017, 2017.
- [19] “Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods - Part 1-1: Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus - Measuring Apparatus,” CISPR 16-1-1:2019, 2019.
- [20] S. Okuyama, K. Osabe, K.T. And, dan H. Muramatsu, “Investigation on Effectiveness of Very High Frequency Line Impedance Stabilization Network (VHF-LISN) for Measurement Reproducibility,” *2013 International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 2013, hal. 174–179.
- [21] Yudhistira, “Identifikasi Gangguan Elektromagnetik pada Sisi DC Inverter Photovoltaic Off-Grid Menggunakan DC Line Impedance Stabilization Network,” Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 2020.
- [22] Yudhistira, D. Hamdani, dan S.P.B. Anggoro, “Characterization of DC Artificial Network Using Analytical Method for Conducted Emission Measurement of Photovoltaic Inverter,” *Proc. of the 12th Int. Conf. on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE 2020)*, 2020, hal. 192–197.
- [23] H. Harmini dan T. Nurhayati, “Desain Sistem Rooftop Off Grid Panel Solar Photovoltaic,” *J. Pengemb. Rekayasa dan Teknol.*, Vol. 13, No. 2, hal. 47-51, 2018.
- [24] B. Hartono, S. Prayogo, dan B. Wahyu, “Pengembangan Kontrol Peningkatan Daya Listrik Rumah Tangga Menggunakan On/Off Grid Tie Inverter,” *J. Teknol. Elektro, Univ. Mercu Buana*, Vol. 8, No. 3, hal. 192-199, 2017.
- [25] J. Jiraprasertwong dan C. Jettanasen, “Electromagnetic Interference in Photovoltaic System and Mitigation of Conducted Noise at DC Side,” *Proc. IEEE Region 10 Annual International Conference (TENCON)*, 2017, hal. 915–920.
- [26] B.C. Neagu, G. Grigoras, dan F. Scarlatache, “The Influence of Harmonics on Power Losses in Urban Distribution Networks,” *2016 Int. Symp. on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE 2016)*, 2016, hal. 2–5.