

Identifikasi dan Pengolahan Kandungan Harmonisa Sinyal Arus pada Beban Listrik Mobile Berbasis Arduino UNO

¹Muljono, A.B., ²Nratha, I.M.A., ³Ginarsa, I.M. & ⁴Suksmadana, I.M.B.

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

¹agungbm@unram.ac.id

²nratha@unram.ac.id

³kadekgin@unram.ac.id

⁴mbudisuk@unram.ac.id

Abstrak

Kemajuan dan gaya hidup praktis membawa dampak pemakaian charger untuk beban-beban listrik mobile semakin banyak. Charger adalah beban non-linear yang memberikan dampak distorsi sinyal arus yang cukup tinggi pada sistem tenaga. Kandungan harmonisa sinyal arus pada beban-beban listrik mobile perlu dikaji untuk mendapatkan Total Harmonic Distortion current (THDi) dan Distortion Factor (DF). Penelitian ini adalah mendesain sebuah sistem untuk mengidentifikasi dan mengolah kandungan harmonisa sinyal arus berbasis Arduino UNO pada beban listrik mobile. Sensor arus yang digunakan adalah Current Transducer (CT) koil. Hasil pembacaan sensor diteruskan ke komputer melalui port serial dan ditampilkan dalam bentuk GUI pada MATLAB. Diperoleh hasil kandungan harmonisa yang tinggi pada frekuensi harmonisa kelipatan ganjil dari frekuensi dasar 50 Hz berturut-turut, yaitu: 87,44%, 72,62%, 53,12%, 38,06%, 28,02%, 22,54%, 18,33%, 14,59%, dengan rerata THDi sebesar 142,69% dan rerata DF sebesar 0,57.

Keywords: *harmonisa, arus, beban listrik mobile, arduino UNO, THDi, DF*

1 Pendahuluan

Dewasa ini pemakaian *charger* semakin banyak disebabkan oleh semakin bertambahnya beban listrik *mobile*. Beban listrik *mobile* seperti *mobile phone* (HP), laptop, sepeda listrik dan mobil listrik. Mobil listrik diprediksi akan menggantikan keberadaan mobil berbahan bakar minyak. Hal ini karena cadangan minyak akan habis dan harganya yang terus meningkat, sedangkan listrik bisa diperoleh dari sumber-sumber energi alternatif. Pemakaian *charger* menimbulkan distorsi harmonisa pada arus [1] dan [2]. Distorsi harmonisa arus pada *charger* cukup tinggi, bisa mencapai 112,4%. Perkembangan teknologi, distorsi arus sudah bisa sampai 7,18% [2]. Harmonisa arus dapat memberikan banyak dampak negatif antara lain: peningkatan susut energi, peningkatan suhu pada konduktor, transformator dan motor listrik, rele yang salah bekerja bahkan dapat gagal memerintahkan trip pada *circuit breaker* [3]. Efek harmonisa dapat juga mempengaruhi hasil pengukuran dari energi meter [4]. Untuk memenuhi kebutuhan standarisasi harmonisa, Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE) telah mengeluarkan IEEE *Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power System* tahun 1992. Standar ini membatasi distorsi tegangan pada berbagai tingkat tegangan pada titik sambung bersama. Batasan distorsi tertinggi pada arus/THDi adalah 20 % [5].

Kandungan harmonisa dapat diidentifikasi dengan melihat bentuk gelombang dari sinyal. Bentuk gelombang yang tidak sinus menandakan pada sinyal tersebut terdapat kandungan harmonisa. Dominasi harmonisa ganjil dapat diketahui dari bentuk cacat sinyal, yaitu: bentuk cacat setengah siklus pertama adalah kebalikan dari setengah siklus kedua.

Dominasi harmonisa genap apabila bentuk cacat setengah siklus pertama hampir sama dengan setengah siklus berikutnya. Kandungan harmonisa secara lengkap dapat diperoleh dengan mengolah sinyal tersebut menggunakan *Discrete Fourier Transform* (DFT)[7]. Informasi bentuk sinyal fungsi waktu dapat diperoleh dari pengukuran menggunakan peralatan seperti *oscilloscope*. Kandungan harmonisa sinyal dapat diperoleh dengan peralatan seperti: *power clam meter* dan *harmonics analyzer*. Peralatan-peralatan tersebut terdiri dari sensor-sensor, *Analog to Digital Converter* (ADC), mikrokontroler dan layar untuk menampilkan hasil.

Arduino UNO adalah sebuah board mikrokontroler berbasis mikrokontroler ATmega328. Arduino UNO memiliki 6 input analog, 14 pin digital input/output (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, jack untuk catu daya listrik, header ICSP, dan tombol reset. Input analog dari Arduino UNO memiliki waktu pembacaan maksimum 10.000 kali per detik, Margolis [8]. Secara ideal, waktu pembacaan 10.000 kali per detik memungkinkan Arduino UNO untuk membaca frekuensi sampai 5 kHz. Hasil pembacaan input analog dari Arduino UNO dapat dikirimkan ke *Personal Computer* (PC) menggunakan komunikasi serial melalui koneksi USB. Data yang diterima pada PC dapat diolah dan ditampilkan secara grafis dengan berbagai bantuan *software*.

Penelitian ini membuat sistem untuk mengidentifikasi dan mengolah sinyal arus pada beban listrik *mobile* berbasis Arduino UNO. Data dari Arduino UNO dikirim ke PC melalui port serial. Data yang diterima PC diolah dengan *software* MATLAB.

2 Teori Penunjang

2.1 Harmonisa pada Arus

Harmonisa pada arus dapat terjadi pada beban *non-linear* walaupun sumber tegangannya sinusoidal, Hart [6]. Arus dari beban *non-linear* dapat dipresentasikan dalam bentuk deret Fourier:

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega_0 t + \varphi_n) \quad (1)$$

$i(t)$, I_0 , n , I_n , ω_0 dan φ_n , berturut-turut adalah arus fungsi waktu, arus DC, orde harmonisa, arus pada frekuensi ke- n , frekuensi dasar, dan beda fase dari arus.

Nilai rms arus dinyatakan pada persamaan 2.

$$I_{rms} = \sqrt{I_0^2 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{I_n}{\sqrt{2}}\right)^2} \quad (2)$$

Apabila tanpa kandungan harmonisa nilai rms arus adalah $I_{1,rms} = I_1/\sqrt{2}$. Harmonisa pada arus menghasilkan faktor daya yang lebih rendah seperti dituliskan pada persamaan 3.

$$pf = [\cos(\theta_1 - \varphi_1)] \frac{I_{1,rms}}{I_{rms}} \quad (3)$$

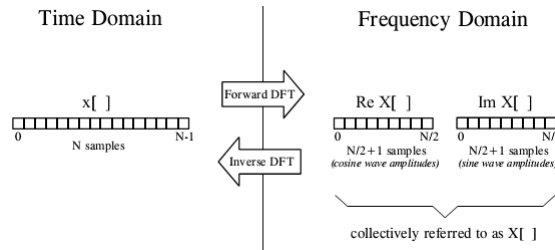
θ_1 adalah beda fase sumber tegangan. $I_{1,rms}/I_{rms}$ adalah *Distortion Factor* (DF). Apabila kandungan harmonisa sinyal arus tinggi maka nilai DF adalah rendah. Rentang nilai DF adalah antara 0 sampai 1.

Persamaan 4 digunakan untuk menghitung kandungan hamonisa arus total. Semakin tinggi THDi, semakin cacat gelombang arus tersebut.

$$THD_i = \sqrt{\frac{\sum_{n \neq 1} \tilde{I}_{n,rms}^2}{I_{1,rms}^2}} \quad (4)$$

2.2 Transformasi Fourier Diskrit (DFT)

DFT digunakan untuk mengolah sinyal diskrit dan periodik dari kawasan waktu ke kawasan frekuensi atau sebaliknya, Smith [7] menunjukkan terminologinya pada Gambar 1.



Gambar 1 Terminologi DFT, Smith [7]

Kandungan harmonisa dapat diperoleh dengan proses *Forward DFT* pada Gambar 1, dapat dirumuskan:

$$\text{Re}X[k] = \sum_{i=0}^{N-1} x[i] \cos(2\pi ki/N) \quad (5)$$

$$\text{Im}X[k] = -\sum_{i=0}^{N-1} x[i] \sin(2\pi ki/N) \quad (6)$$

$X[k]$, k , $x[i]$, i , dan N , berturut-turut adalah sinyal kawasan frekuensi, frekuensi ke k , sinyal kawasan waktu, waktu ke i dan N adalah jumlah data sinyal.

Dalam menghitung DFT dapat digunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). FFT dapat menyelesaikan perhitungan DFT lebih cepat. Untuk menghitung Persamaan 5 atau 6 secara langsung memerlukan operasi aritmatika sebanyak $O(N^2)$, sedangkan sebuah algoritma FFT hanya memerlukan operasi sebanyak $O(N \log N)$ untuk menghitung deret yang sama.

2.3 Sensor Arus dan Arduino UNO

Penelitian ini menggunakan sensor arus CT koil. Sensor arus CT berfungsi sebagai koil induksi yang mendeteksi perubahan medan magnet yang terjadi di sekeliling konduktor pembawa arus. Dengan mengukur jumlah arus yang dibangkitkan oleh koil, dapat dihitung jumlah arus yang melewati konduktor tersebut. Sensor arus CT koil yang digunakan mempunyai koefisien transformasi 1000:1 dengan kapasitas maksimum 100 A. Gambar 2 menunjukkan sensor arus yang digunakan.



Gambar 2 Sensor arus CT koil

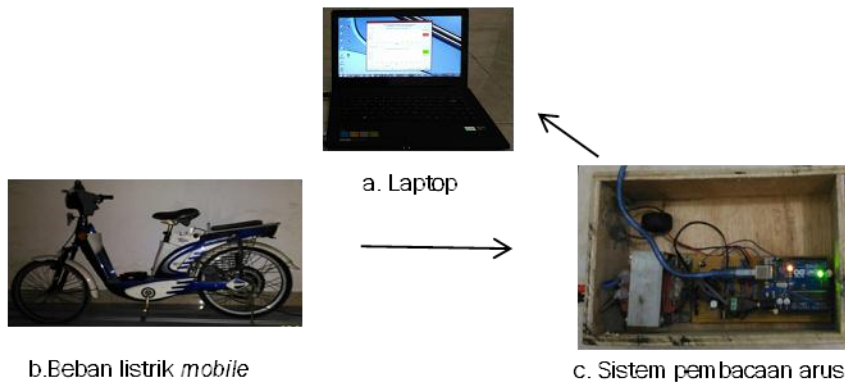
Arduino UNO merupakan salah satu dari beberapa tipe Arduino. Arduino UNO yang digunakan pada penelitian ini adalah Arduino UNO revisi 3. Gambar 3 adalah mikrokontroler Arduino UNO revisi 3.



Gambar 3 Mikrokontroler Arduino UNO revisi 3, Margolis [8]

3 Rancangan Sistem

Rancangan sistem untuk identifikasi dan pengolahan kandungan harmonisa sinyal arus ditunjukkan pada Gambar 4. Rancangan sistem terdiri dari sistem pembacaan arus pada Gambar 4.c., sistem pengolahan data dan penampil hasil pada Gambar 4.a. dan Gambar 4.b. adalah salah satu beban *non-linear* yang diteliti.

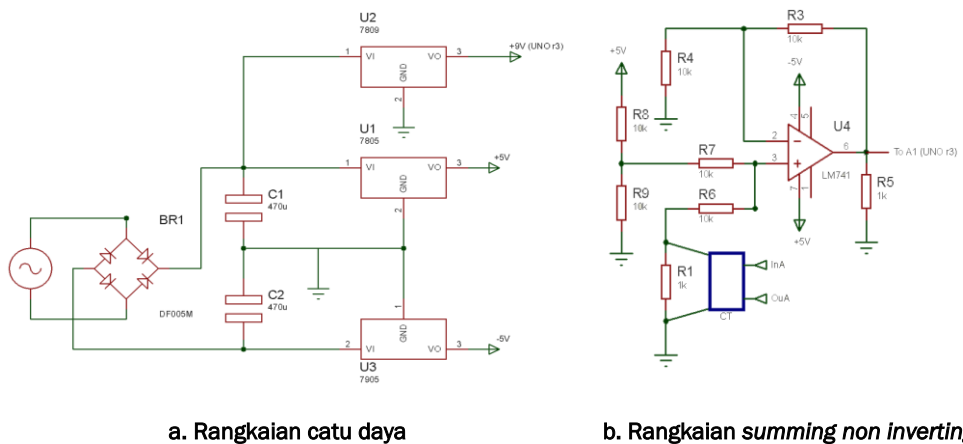


Gambar 4 Rancangan sistem

3.1 Rancangan Perangkat Keras

Rancangan perangkat keras terdiri dari catu daya dan *summing non inverting*. Catu daya untuk Arduino UNO dan IC LM741. IC LM741 untuk *summing non inverting*. *Summing non inverting* untuk menaikkan *offset* sinyal arus dari sensor arus CT koil sehingga sesuai dengan rentang pembacaan ADC Arduino UNO.

Rangkaian dari rancangan perangkat keras untuk sistem pembacaan arus pada Gambar 5. Gambar 5.a. adalah rangkaian catu daya dan Gambar 5.b. adalah rangkaian *summing non inverting*.



Gambar 5 Rangkaian rancangan perangkat keras

3.2 Rancangan Perangkat Lunak

Rancangan perangkat lunak terdiri dari program pada Arduino UNO menggunakan IDE Arduino 1.0.5 dan program GUI pada MATLAB versi 2013a. Program pada IDE Arduino untuk membaca data dari sensor arus CT koil pada ADC Arduino UNO. Hasil pembacaan dikirim ke PC melalui port serial. Gambar 6 adalah penggalan listing program untuk baca sensor dan kirim data ke PC.

```

if (mulai){
  if(baca){
    if(Serial.available()>0){
      matDataajs=Serial.parseInt();
      timerStart=millis();
      while(i < matDataajs){
        sl[i]=analogRead(sensorPin);
        i++;
      }
      berhenti=millis();
      waktu_berhenti=berhenti-timerStart;
      baca=LOW;
      Serial.println("mulai");
      delay(1000);
    }
  }
  else
  {
    delay(1);
    Serial.println(sl[k]);
    k++;
    if (k==matDataajs){
      delay(1);
      Serial.println(waktu_berhenti);
      mulai=LOW;
    }
  }
}

```

Gambar 6 Listing program pembacaan arus dari sensor pada IDE Arduino

Penggalan listing program pada PC menggunakan MATLAB ditunjukkan pada Gambar 7. Pada program tersebut terdiri dari dua bagian yaitu: program untuk membaca data pada serial dan program untuk mengolah data dengan FFT.

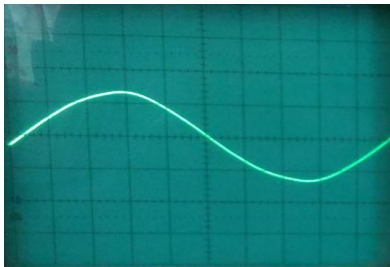
```
uno = serial('COM3');
set(unos,'BaudRate',9600);
fopen(unos);
data=[];
while lanjut == 1,
    ' baca data serial'
end
fclose(unos);
delete(unos);
NFFT = 2^nextpow2(L);
Y=fft(arus,NFFT)/L;
f=Fs/2* linspace(0,1,NFFT/2+1);
P1=2*abs(Y(1:NFFT/2+1));
```

Gambar 7 Listing program baca data dan FFT pada MATLAB

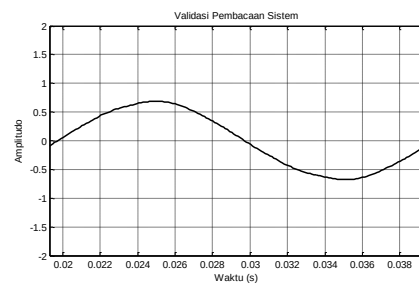
4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Validasi Rancangan Sistem

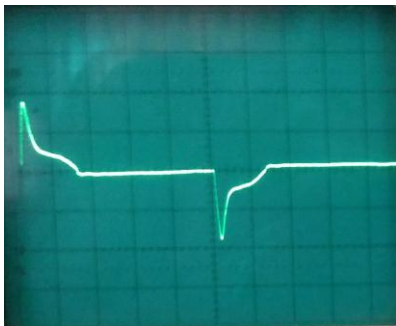
Validasi rancangan dilakukan untuk menjamin hasil yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan. Validasi dilakukan dengan membandingkan pembacaan hasil rancangan dengan hasil *oscilloscope* untuk beban *linear* (beban RL) dan beban listrik *mobile* (laptop merek X). *Oscilloscope* dengan spesifikasi: Analog *Oscilloscope* HM303-6, 35 MHz. Hasil pembacaan *Oscilloscope* dan pembacaan hasil rancangan mempunyai kesalahan relatif kecil ($<1\%$), baik untuk amplitudo dan waktu dari sinyal. Perbandingan hasil seperti pada Gambar 8.a. dibandingkan dengan Gambar 8.b. dan Gambar 8.c. dibandingkan dengan Gambar 8.d.



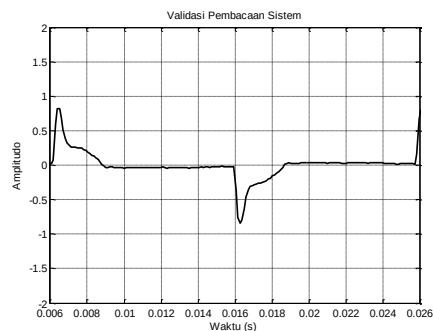
a. Hasil dari oscilloscope beban RL



b. Hasil dari sistem yang dibuat beban RL



c. Hasil dari oscilloscope beban laptop merek X

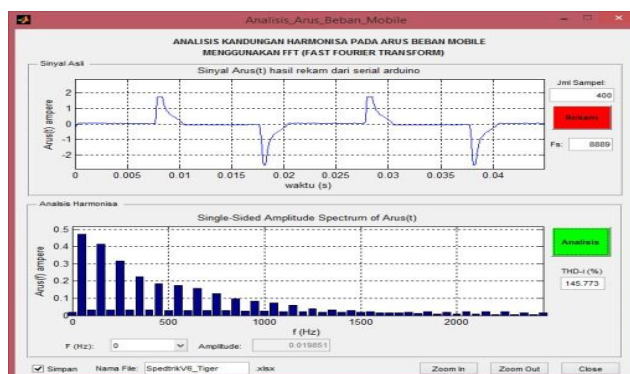


d. Hasil dari sistem yang dibuat beban laptop merek X

Gambar 8 Perbandingan pembacaan *oscilloscope* dengan sistem yang dibuat.

4.2 Harmonisa pada Beban Listrik *Mobile*

Beban listrik *mobile* pada penelitian ini adalah beberapa merek HP, laptop dan sepeda listrik yang banyak digunakan oleh masyarakat. Hasil identifikasi dan pengolahan kandungan harmonisa pada sepeda listrik merek X yang memiliki daya pengisian baterai sebesar 75,5 Watt seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Jumlah data sinyal yang ingin diamati dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan.



Gambar 9 Hasil identifikasi dan pengolahan kandungan harmonisa arus pada charger sepeda listrik.

Sinyal arus pada Gambar 9 bagian atas menunjukkan bentuk cacat sinyal pada setengah siklus pertama adalah kebalikan dari setengah siklus kedua sehingga dapat dipastikan pada sinyal tersebut harmonisa yang mendominasi adalah harmonisa orde ganjil. Hal ini sesuai dengan hasil pengolahan sinyal arus dengan FFT seperti pada Gambar 9 bagian bawah (spektrum arus). Kandungan harmonisa tinggi terjadi pada frekuensi kelipatan ganjil dari frekuensi dasar 50 Hz yaitu kelipatan 3, 5, 7, ... sampai dengan kelipatan 17.

Tabel 1 adalah spesifikasi beban-beban listrik *mobile* yang diuji pada penelitian ini. Beban-beban listrik *mobile* tersebut terdiri dari 4 laptop, 2 HP dan 1 sepeda listrik.

Tabel 1 Data spesifikasi beberapa beban listrik mobile

No	Beban Mobile	Daya pengisian (W)	Vrms (V)	Irms (Amp)	Faktor Daya	Frek. n=1 (Hz)
1	Laptop merek X1	26,70	226,10	0,2070	0,56 <i>lead</i>	50
2	Laptop merek X2	15,50	226,40	0,1290	0,53 <i>lead</i>	50
3	Laptop merek X3	12,30	226,80	0,0990	0,54 <i>lead</i>	50
4	Laptop merek X4	13,60	224,00	0,1190	0,51 <i>lead</i>	50
5	Hp merek X1	5,50	226,00	0,0460	0,53 <i>lead</i>	50
6	Hp merek X2	6,30	225,40	0,0500	0,54 <i>lead</i>	50
8	Sepeda Listrik X	75,50	225,90	0,6250	0,53 <i>lead</i>	50

Tabel 2 menunjukkan hasil identifikasi harmonisa sinyal arus dari beban-beban listrik *mobile* dari Tabel 1 menggunakan FFT. Tabel 2 adalah rangkuman kandungan harmonisa tertinggi pada sinyal arus masing-masing beban.

Tabel 2 Kandungan harmonisa arus pada beban listrik mobile

Beban	Laptop merek X1	Laptop merek X2	Laptop merek X3	Laptop merek X4	HP merek X1	HP merek X2	Sepeda Listrik X
I_{rms} (A)	0,2043	0,1331	0,0959	0,1221	0,0464	0,0492	0,5889
$I_{1,rms}$ (A)	0,1206	0,0768	0,0536	0,0697	0,0266	0,0287	0,3331
$I_{3,rms}$ (A)	0,1076	0,0664	0,0449	0,0609	0,0237	0,0254	0,2927
$I_{5,rms}$ (A)	0,0875	0,0559	0,0415	0,0530	0,0192	0,0202	0,2227
$I_{7,rms}$ (A)	0,0623	0,0422	0,0321	0,0412	0,0134	0,0138	0,1598
$I_{9,rms}$ (A)	0,0396	0,0294	0,0254	0,0310	0,0092	0,0086	0,1295
$I_{11,rms}$ (A)	0,0233	0,0202	0,0197	0,0208	0,0065	0,0065	0,1224
$I_{13,rms}$ (A)	0,0166	0,0137	0,0147	0,0141	0,0060	0,0065	0,1106
$I_{15,rms}$ (A)	0,0146	0,0107	0,0104	0,0093	0,0056	0,0063	0,0890
$I_{17,rms}$ (A)	0,0128	0,0077	0,0072	0,0064	0,0054	0,0053	0,0681

Tabel 2 merangkum kandungan harmonisa sinyal arus dari frekuensi dasar sampai dengan frekuensi kelipatan 17. Hasil ini menunjukkan bahwa pada semua beban-beban listrik *mobile* yang diuji kandungan harmonisa ganjil lebih dominan.

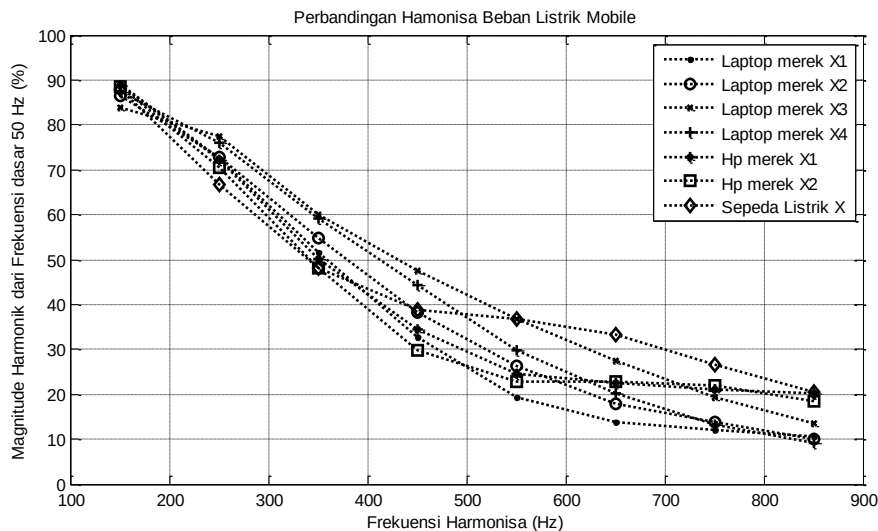
Tabel 3 adalah hasil pengolahan harmonisa sinyal arus berdasarkan prosentase kandungan harmonisa setiap frekuensi harmonisa terhadap frekuensi dasar, THDi serta DF masing-masing beban.

Tabel 3 Hasil pengolahan kandungan harmonisa sinyal arus

Beban	Laptop merek X1	Laptop merek X2	Laptop merek X3	Laptop merek X4	HP merek X1	HP merek X2	Sepeda Listrik X	Rerata
$I_{3,rms}$ (%)	89,22	86,46	83,78	87,31	88,88	88,56	87,89	87,44
$I_{5,rms}$ (%)	72,55	72,73	77,50	75,98	72,21	70,49	66,86	72,62
$I_{7,rms}$ (%)	51,66	54,93	59,93	59,07	50,19	48,07	47,97	53,12
$I_{9,rms}$ (%)	32,79	38,32	47,39	44,46	34,47	29,80	38,88	38,02
$I_{11,rms}$ (%)	19,28	26,28	36,75	29,79	24,46	22,82	36,74	28,02
$I_{13,rms}$ (%)	13,75	17,82	27,41	20,25	22,60	22,79	33,20	22,54
$I_{15,rms}$ (%)	12,11	13,90	19,36	13,34	21,07	21,82	26,73	18,33
$I_{17,rms}$ (%)	10,62	9,98	13,51	9,13	20,11	18,37	20,44	14,60
THDi (%)	136,71	141,53	148,44	143,77	142,63	139,99	145,77	142,69
DF	0,5904	0,5770	0,5587	0,5710	0,5740	0,5829	0,5655	0,570

Hasil pada Tabel 3 menunjukkan bahwa prosentasi kandungan harmonisa pada frekuensi kelipatan ganjil dari frekuensi dasar untuk masing-masing beban adalah sangat tinggi. Prosentase lebih dari 50 % yaitu pada frekuensi 150 Hz (rerata 87,44 %), frekuensi 250 Hz (rerata 72,62%), dan frekuensi 350 Hz (rerata 53,12%). Nilai THDi untuk semua beban adalah sangat tinggi (> 100%). Nilai THDi lebih besar dari 100% berarti nilai harmonisa arus lebih besar daripada nilai arus frekuensi dasar. Nilai DF yang rendah memberikan dampak faktor daya beban sangat rendah. Berdasarkan standar IEEE 519-1992 [5], THDi tertinggi yang diijinkan adalah 20%, sehingga beban-beban listrik *mobile* yang diteliti tidak memenuhi persyaratan dari standar tersebut.

Gambar 10 menunjukkan perbandingan prosentase kandungan harmonisa masing-masing beban listrik *mobile* yang diuji. Pada semua beban listrik *mobile* yang diuji, prosentase kandungan harmonisa menurun pada frekuensi tinggi, hal ini menunjukkan bahwa harmonisa pada frekuensi rendah lebih dominan daripada harmonisa pada frekuensi tinggi.



Gambar 10 Prosentase perbandingan harmonisa beban listrik *mobile*.

5 Penutup

5.1 Kesimpulan

Beban listrik *mobile* mempunyai kandungan harmonisa arus yang sangat tinggi pada frekuensi kelipatan ganjil dari frekuensi dasar 50 Hz. Kandungan harmonisa arus pada kelipatan harmonisa ganjil turun berturut-turut sebesar 87,44% , 72,62%, 53,12%, 38,06%, 28,02%, 22,54%, 18,33%, 14,59%, terhadap frekuensi dasar. Rerata THDi adalah sebesar 142,69% dan rerata DF adalah sebesar 0,57.

5.2 Saran

Diperlukan desain filter untuk mengurangi kandungan harmonisa arus beban listrik *mobile*. Desain filter untuk beban-beban listrik *mobile* harus memperhitungkan faktor daya yang dihasilkan oleh beban-beban listrik *mobile* yaitu *leading* bukan *lagging*.

6 Acknowledgement

Terima kasih penulis sampaikan kepada Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi atas dukungan pendanaanya sehingga penelitian ini bisa berlangsung melalui Hibah Desentralisasi Penelitian Produk Terapan Universitas Mataram tahun 2017.

7 Referensi

- [1] Basu, M., Gaughan, K., dan Coyle, E., Harmonic Distortion Caused by EV Battery Chargers in the Distribution Systems Network and its Remedy, Universities Power Engineering Conference, UPEC. 39th International, Vol.:2, pp.: 869 – 873, 2004.

- [2] Berisha, S.H., Karady, G.G., Ahmad, R., Hobbs, R., dan Karner, D., Current Harmonics Generated by Electric Vehicle Battery Chargers, Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, Proceedings of International Conference, Vol.:1, pp.: 584 – 589, 1996.
- [3] Dugan, R.C., MCGranaghan, M.F., dan Beaty, H.W., Electrical Power System Quality, McGraw-Hill, USA, 1996.
- [4] Eldin, A.A.H, dan Hasan, R.M., Study of the Effect of Harmonics on Measurements of the Energy Meters, Power Systems Conference, MEPCON, Eleventh International Middle East , Vol.: 2, pp.: 547 – 550, 2006.
- [5] IEEE 519-1992, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems (ANSI). IEEE, New York.
- [6] Hart, D.W., Introduction to Power Electronics, Prentice-Hall International, Inc., 1997.
- [7] Smith, S.W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, 2nd.ed, California Technical Publishing, 1999.
- [8] Margolis, M., Arduino Cookbook, O'Reilly Media, Inc., 2011.