

## Keterkaitan antara nilai-nilai efektif, rata-rata, dan ripple

Ir. Ari Murtono, M.T.

Email: [ari.murtono@polinema.ac.id](mailto:ari.murtono@polinema.ac.id)

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

### Informasi Artikel

#### Riwayat Artikel

Diterima 2 April 2022

Direvisi 20 April 2022

Diterbitkan 29 April 2022

#### Kata kunci:

Nilai efektif  
Nilai rata-rata  
Ripple  
Frekuensi  
Switching

#### Keywords:

Effective value  
Average value  
Ripple  
Frekuensi  
Switching

### ABSTRAK

Besaran listrik adalah nilai efektif, nilai rata-rata, nilai puncak, nilai lembah, frekuensi, dan periode. Dalam sehari-hari yang sering terdengar adalah istilah AC dan DC, besaran yang banyak dijumpai nilai RMS dan efektif. Nilai RMS dan efektif bagi orang awam tidak me-mahami dan tidak berusaha memahami, bahkan mahasiswa pun ma-sih banyak tidak memahami dan tidak penting untuk dipahami. Oleh karena itu pada penelitian ini peneliti meneliti selisih nilai kedua be-saran itu dan efeknya terhadap besaran lain. Kami menggunakan ana-lisis matematika, hasil simulasi, kurva, analisis rangkaian. Akhirnya dapat menyimpulkan: 1. Jika nilai RMS sama dengan dengan nilai ra-ta-ratanya, maka besaran DC nyaris tanpa ripple. 2. Semua penyearah yang berasal dari jala-jala satu fasa sampai tiga fasa, frekuensi swit-chingnya sama dengan frekuensi jala-jala, sedang frekuensi ripple di luarannya bisa meningkat tergantung dari rangkaian dan jumlah fasa sumber daya nya. 3. Dengan mengubah rangkaian, dan atau memberi masukan lebih dari 1 yang berbeda fasa, maka akan meningkatkan frekuensi ripple dan frekuensi switching tetap semula. 4. Pada kon-verter DC-DC buck, dengan tegangan luaran yang tetap, maka diper-oleh: makin tinggi frekuensi ripple, dan atau makin tinggi dutycycle, dan atau induktansi makin besar, ripple luaran mengecil.

### ABSTRACT

Electricity quantities are effective value, average value, peak value, valley value, frequency, and period. In everyday life, the terms AC and DC are often heard, quantities that are often found in RMS values and are effective. The value of RMS and it is effective for ordinary people do not understand and do not try to understand, even many students still do not understand and it is not important to understand. Therefore, in this study, researchers examined the difference in the values of the two quantities and their effects on other quantities. We use mathematical analysis, simulation results, curves, circuit analysis. Finally, we can conclude: 1. If the RMS value is the same as the average value, then the DC magnitude is almost without ripple. 2. All rectifiers come from single-phase to three-phase grids, the switching frequency is the same as the grid frequency, while the ripple frequency outside can increase depending on the circuit and the number of phases of its power source. 3. By changing the circuit, and or giving more than 1 input that is different in phase, it will increase the ripple frequency and the switching frequency remains the same. 4. In a DC-DC buck converter, with a constant output voltage, we get: the higher the ripple frequency, and/or the higher the duty cycle, and/or the larger the inductance, the smaller the output ripple.

#### Penulis Korespondensi:

Nama Penulis Ir. Ari Murtono, M.T.

Jurusan Teknik Elektro,

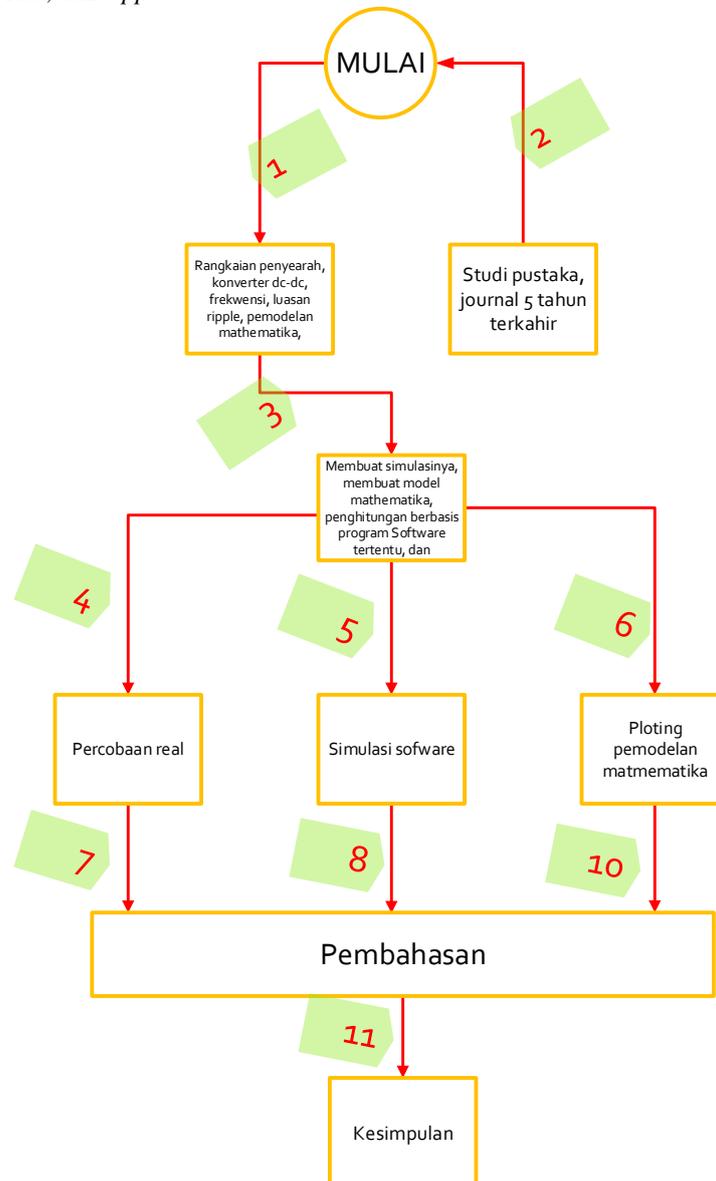
Politeknik Negeri Malang,

Jl. Sukarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia.

Email: [ari.murtono@polinema.ac.id](mailto:ari.murtono@polinema.ac.id)

## 1. PENDAHULUAN

*Ripple* dari penyearah, konverter D-DC, dan bahkan inverter tetap menjadi isu yang penting menjadi salah satu ketidaktahuan bagi mahasiswa bahkan sampai tingkat akhir yang akan lulus. *Ripple* ada pada gelombang listrik yang ada perbedaan amplitudo puncak dan lembahnya. Seorang yang baru menekuni gelombang listrik, mungkin masih banyak yang bingung memahami frekuensi, *ripple*, switching, dutycycle, periode, dll. Itu semua dasar untuk mengembangkan, merancang, peralatan yang terkait dengan elektronika daya. Oleh karena itu kami akan mengangkat isu tentang *ripple* dan kaitannya dengan judul, ‘keterkaitan antara nilai-nilai efektif, rata-rata, dan *ripple*’.



Gambar 1. Diagram blok metode penelitian

Tujuan dari penelitian adalah, menemukan keterkaitan antara nilai *ripple* dengan nilai rata-rata dan nilai efektif, untuk melihat sejauh mana amplitudo *ripplenya*. Penelitian penulis terdahulu, *ripple* dibahas hanya berbasis amplitudo, frekuensi, dutycycle, dan nilai<sup>2</sup> kapasitor dan induktor. Pembahasan terdahulu terlalu panjang, karena menggunakan gelombang yang berbasis amplitudo dan waktu. Kali ini penulis akan membahas *ripple* dengan nilai efektif dan nilai rata-rata suatu gelombang.

Pada rumusan masalah bagaimana membuktikan adanya pengurangan luasan *ripple*, dan membuktikan frekuensi *ripple* dapat meningkat beberapa kali, tanpa meningkatkan frekuensi switching pada penyearah gelombang penuh dan penyearah 3 fasa. Bagaimana menjelaskan perbedaan frekuensi switching dan frekuensi *ripple*. Menurut pengamatan penulis, kebanyakan peminat teknologi elektro, sering masih kurang yakin dengan perbedaan frekuensi *ripple* dan frekuensi switching, apalagi di kalangan mahasiswa. Rumusan

masalah berikutnya adalah bagaimana membuktikan adanya korelasi yg signifikan antara nilai rata<sup>2</sup> dan nilai efektif.

Kontribusi artikel ini adalah, penelitian frekuensi *ripple* dengan frekuensi *ripple* pada penyearah 3 fasa dengan 6 dioda, dapat tuntas dengan analisis loop arus dan persamaan matematika, namun kondisi pulsa switching hanya dapat diamati dengan teknologi (simulator), lihat gambar 21. Selanjutnya jika nilai efektif mendekati nilai rata<sup>2</sup> nya, artinya *ripple* nya mengecil.

**2. METODE PENELITIAN**

Metode penelitian berbasis rangkaian, loop arus, pemodelan matematika, program grafik, menarik kesimpulan, dan mengusulkan Metode penelitian ini, dan dapat dilihat di Gambar A.

Gambar 1 menunjukkan syarat-syarat, langkah-langkah yang diperlukan pada penelitian dengan judul di atas. Langkah 1 adalah ruang lingkup yang diperlukan, langkah 2 tentang referensi yang diperlukan untuk memahami teori yang digunakan dalam penelitian, pengamatan, pembahasan, dan akhirnya menemukan tujuan penelitian. Ketika teori terkait sudah tersedia, langkah selanjutnya mendesain peralatannya, membuat simulasi, membuat model matematis, pengujian melalui simulator, percobaan real, dan mengamati hasil plotting model matematika, (langkah 3, 4, 5, 6). Semua data yang bisa dihasilkan, apakah gambar, kurva, angka<sup>2</sup>, diamati, dianalisis, diamati dan dibanding-bandingkan kurvanya sampai menemukan pola. Pola ini adalah materi untuk menarik kesimpulan dan memberi saran.

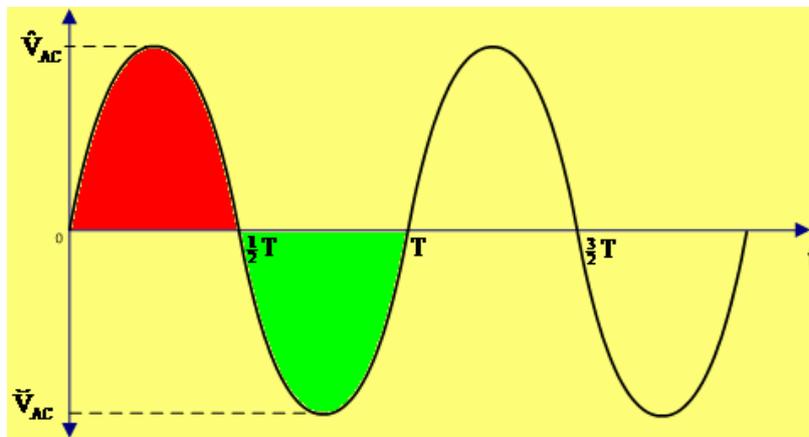
**2.1. Analisis gelombang sinusoidal**

Pada Gambar A, rambu<sup>2</sup> nomer 1, ruang lingkup yang akan dibahas di sub bab ini adalah tentang gelombang, frekuensi switching, frekuensi riiple pada rangkaian penyearah. Gelombang listrik penting untuk untuk diperkenalkan, dipelajari, dan dikuasai untuk peminat teknologi elektronika daya. Di subbab ini akan dijelaskan,

$$\tilde{V}_{AC} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (\hat{V}_{AC} \sin(2\pi ft))^2 dt} \tag{1}$$

$$\tilde{V}_{AC} = \frac{1}{2} \sqrt{-2 \frac{\hat{V}_{AC}^2 (2 \cos \pi^3 \sin \pi - \sin \pi \cos \pi - \pi)}{\pi}} \tag{2}$$

$$\tilde{V}_{ac} = 0,707 \hat{V}_{ac} \tag{3}$$



Gambar 1.1 Gelombang AC murni dan simetris berbentuk sinus

Persamaa 3 adalah nilai efektif dan akan sama dengan angka hasil pengukuran dengan volmeter AC. Yang tertera pada display volt meter ac adalah nilai efektif. Gambar 1.1, adalah gelombang sinus AC simetri. Dengan luas merah dan hijau sama. AC murni jika luasan positif dan negatif luasnya sama, tetapi belum tentu simetri. Simetri berarti bentuk gelombang sama secara mirror.

Jika gelombang diukur dengan multi meter Volt/amper meter DC, maka angka yg tertera di multimeter dc sama dengan nol (pers 6), karena luasan merah dan hijau saling menghilangkan.

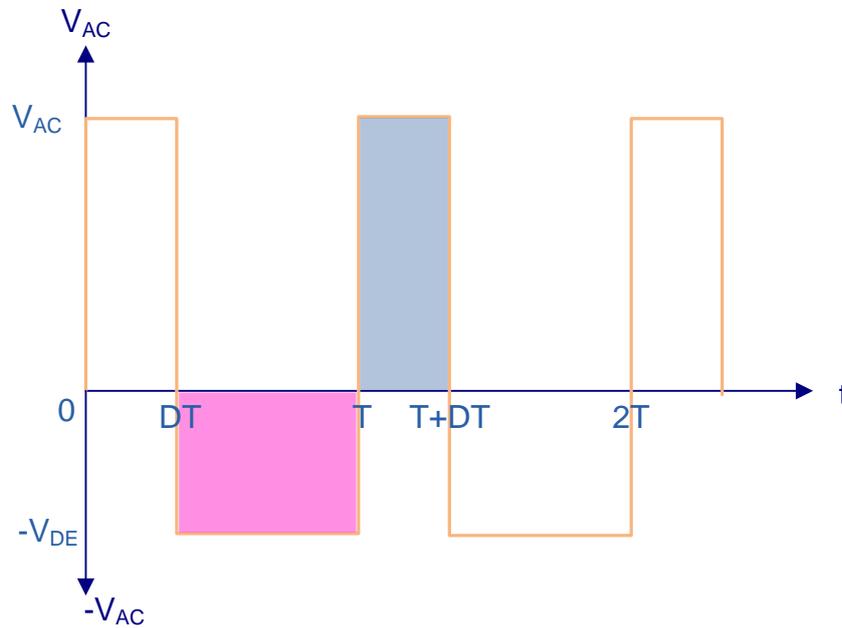
$$\overline{V_{ac}} = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{V}_{ac} \sin 2\pi ft dt \tag{4}$$

$$\overline{V_{ac}} = -\frac{1}{2} \times \frac{-1 + \cos(2 T \pi f)}{T \pi f} \tag{5}$$

$$\overline{V_{ac}} = 0 \tag{6}$$

## 2.2. Analisis gelombang kotak

Dikatakan bentuk tidak simetris karena bentuk sisi positif (abu-abu) dan negatif (pink) tidak sama. Namun gambar itu adalah AC murni karena luasnya abu<sup>2</sup> dan pink sama. (lihat Gambar 2)



Gambar 2. Gelombang AC murni kotak tidak simetris

$$\bar{V}_{AC} = \frac{\int_0^{DT} V_{AC} dt + \int_{DT}^T (-V_{DE}) dt}{T} \quad (7)$$

$$\bar{V}_{AC} = \frac{V_{AC}DT - V_{DE}(T-DT)}{T} \quad (8)$$

Persamaan 7-8, parameter<sup>2</sup>-nya de-ngan asumsi luas daerah abu<sup>2</sup> dan pink sama, maka persamaan 8 = NOL. Untuk mengatur agar luasan pink dan abu<sup>2</sup> sama maka dapat dia-tur nilai<sup>2</sup> yakni, lembah  $-V_{DE}$ , puncak  $+V_{AC}$ , ni-lai D, sampaidiperoleh persamaan 8 sama de-ngan NOL, yang berarti gelombang AC murni tidak simetris.

Analisis AC dapat dipelajari dengan persamaan 9 dan 10,

$$\tilde{V}_{AC} = \sqrt{\frac{1}{T} \left\{ \int_0^{DT} (V_{AC})^2 dt + \int_{DT}^T (V_{DE})^2 dt \right\}} \quad (9)$$

$$\tilde{V}_{AC} = \sqrt{D V_{AC}^2 + (1 - D)V_{DE}^2} \quad (10)$$

Mengatur  $D = 0,5$ , dan Nilai  $-V_{DE} = -V_{AC}$ , menghasilkan persamaan 8 = NOL. Jika persamaan 8 dan 10  $\neq$  nol, maka gelombang tersebut mengandung AC dan DC. Jika dikenakan kepada beban AC atau DC, bisa saja, asal tegangan rata-rata dan tegangan efektifnya sesuai dengan kebutuhan beban. Namun beban akan tidak berumur panjang, karena ada panas tambahan dari nilai efektif AC atau dari nilai rata-rata DC. Seandainya suatu gelombang yg hampir smut dengan nilai riak yg sangat minim. Misal,

$$\bar{V}_{AC}(t) = 5 A \quad (11)$$

Maka persamaan tersebut nilai efektif nya mendekati nol, analisisnya mulai dari persamaan 10, untuk memudahkan analisis maka  $-V_{DE}$  harus sama dengan  $-V_{AC}$  sehingga persamaan 10 menjadi persamaan 15,

$$\tilde{V}_{AC} = \sqrt{D V_{AC}^2 + (1 - D)(-V_{AC}^2)} \tag{12}$$

$$\lim_{V_{AC} \rightarrow 0} \left( \tilde{V}_{AC} = \sqrt{D V_{AC}^2 + (1 - D)(-V_{AC}^2)} \right) \tag{13}$$

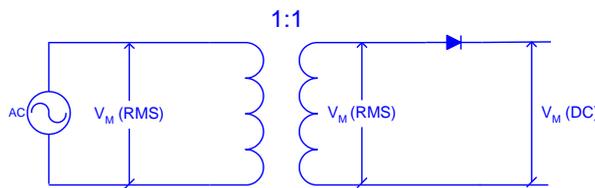
$$\lim_{V_{AC} \rightarrow 0} \left( \tilde{V}_{AC} = \sqrt{V_{AC}^2} \right) \tag{14}$$

$$\lim_{V_{AC} \rightarrow 0} \left( \tilde{V}_{AC} = V_{AC} \right) \tag{15}$$

Persamaan 15 membuktikan, nilai puncak pengaruhnya signifikan terhadap nilai efektif

### 2.3. Analisis DC murni mengandung ripple, ripple dari switching penyearah 1/2 gelombang

Syarat DC murni adalah tidak ada gelombang yang berada di 2 polaritas, jadi cuman ada 1 polaritas, positif atau negatif. Contoh rangkaian yang paling sederhana yang masih banyak dibutuhkan adalah rangkaian penyearah 1/2 gelombang (gambar 3), dan alatnya seperti ditunjukkan di gambar 4.



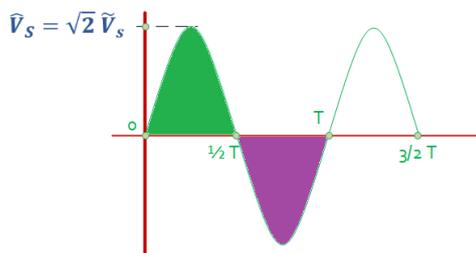
Gambar 3. Gelombang dari penyearah 1/2 gelombang



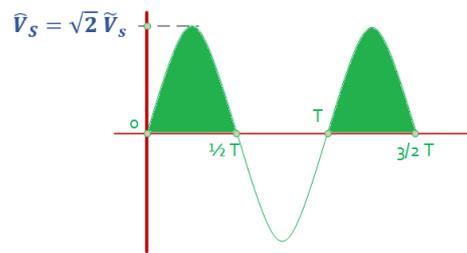
Gambar 4. Penyearah 1/2 gelombang dalam versi pabrikan

Gambar 4, adalah penyearah 1/2 gelombang untuk mesin derek. Dibuat dari komponen terbaik, respon cepat, kuat dan tahan lama adalah penting untuk pengoperasian mesin DC dengan beban besar. Buatan Asli in Taiwan, Half wave dengan input 380 V, out put 190 V Cocok atau dapat di pakai untuk rectifier brake motor Hoist merek<sup>2</sup> Eropa seperti Demag, Stahl, Kone, Verlinde, SWF. Harga pun lebih murah dari produk merek hoist, karena manufacture hoist juga membeli dari pabrikan lain

Gelombang listrik yang terjadi di luaran (output) seperti pada gambar 5, dimana yang nyampai di luaran daerah muatan yang berwarna hijau, sedang muatan negatif warna ungu tidak bisa lewat karena ada di-oda. Selanjutnya Gambar 6, saat 1/2 T ≤ t ≤ T adalah daerah kosong tanpa muatan listrik.



Gambar 5. Gelombang listrik yang terjadi



Gambar 6. Gelombang listrik yang melewati dioda

Pada gambar 6 menunjukkan dalam 1 periode, terjadi ombak, atau ripple 1 kali. Dioda ON ketika ada sinyal warna hijau (positip), dan dioda akan mati pada sinyal negatif yakni pada 1/2 T ≤ t ≤ T. Satu periode adalah waktu 0 ≤ t ≤ T. Untuk jala-jala PLN T = 0.02 detik. Jadi dalam 1 detik ada berapa frekuensi ripple<sup>1</sup>, dan frekuensi switching.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Frekwensi ripple = banyaknya ripple yang mengalir pada satu titik tertentu per detik.

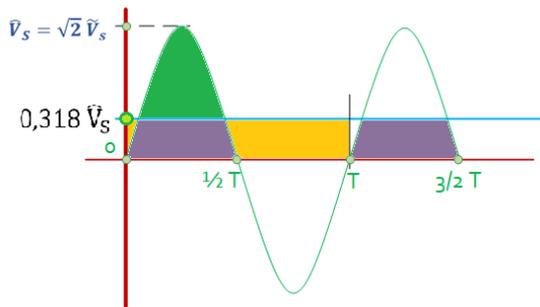
<sup>2</sup> Frekwensi switching = banyaknya jumlah on/off diode dalam 1 detik.

Gambar 7 menunjukkan, daerah bermuatan (daerah hijau) dan daerah yang tanpa muatan (tidak berwarna dan yang berwarna orange). Warna orange menunjukkan luasan yang sama dengan warna hijau. Garis biru metalik adalah nilai rata-rata yang terdetek di multimeter dc

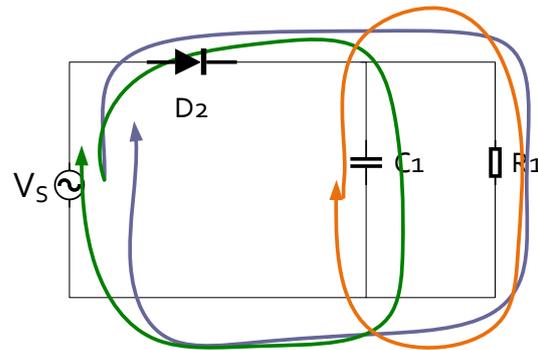
Analisis gambar 7 dapat dilihat di persamaan 16 dan 17.

$$\bar{V}_{R1} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} \hat{V}_S \sin 2 \pi f t dt \tag{16}$$

$$\bar{V}_{R1} = -\frac{1}{2} \frac{\hat{V}_{R1} \{\cos(\pi)-1\}}{\pi} = 0,318 \hat{V}_S \tag{17}$$



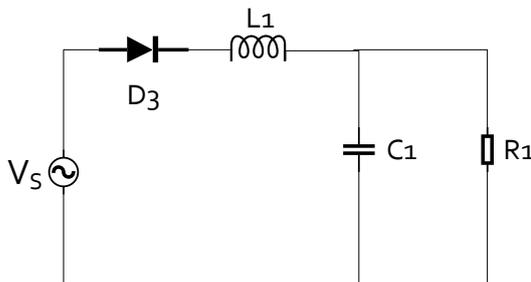
Gambar 7. Seimbang daerah yang bermuatan dan tidak bermuatan



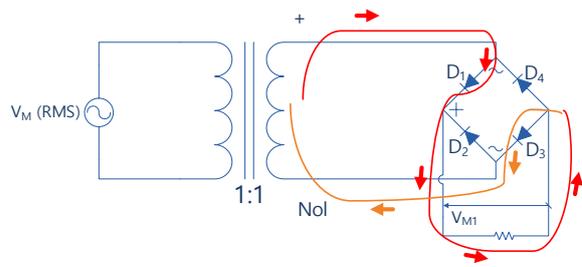
Gambar 8. Rangkaian analog berbasis gambar 7

Penggambaran persamaan 17, ada di Gambar 7, garis horisontal warna biru. Gelombang gambar 7, kalau digambarkan secara rangkaian dapat dilihat di Gambar 8. Terlihat di Gambar tersebut hanya terpasang Capacitor tanpa Induktor. Karena Induktor hanya untuk mengimbangi daya reaktif dari kapasitor. Tanpa induktor dapat saja dibiarkan, namun akan berbiaya energi yang sangat besar. Dengan diberi Induktor dapat mengimbangi daya kapasitif, sehingga daya total berkurang.

Warna loop arus di Gambar 8 sesuai dengan warna yang ada di Gambar 7. Gambar 8, mengakibatkan beban di R<sub>1</sub>, dingin dan awet. Tetapi di sisi masukan terjadi daya reaktansi kapasitif yang tinggi dan itu adalah biaya yg harus ditanggung oleh konsumen. Oleh karena itu perlu dipasang lagi komponen induktor. Komponen Induktor dipasang secara seri dengan dioda nya. Lihat gambar 9.



Gambar 9. Penyearah 1/2 Gelombang dengan filter LC



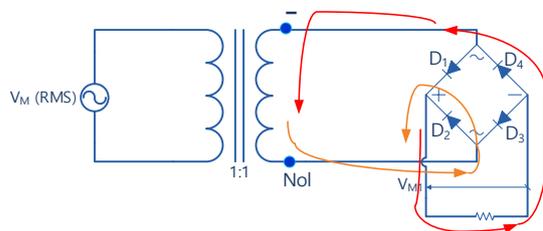
Gambar 10. Loop arus ketika tegangan sumber Positif

**2.4. Ripple dari switching penyearah gelombang penuh**

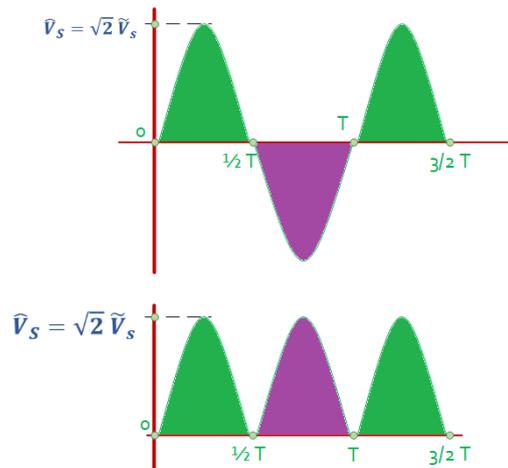
Ripple penyearah gelombang penuh dalam satu periode (1 periode = 0.02 detik) 1 hz switching ada 2 ripple. Jadi dalam 1 detik frekuensi switching 50 Hz, menghasilkan frekuensi ripple 100 hz. Ini disebabkan ke 4 (empat) di rangkai secara full bridge (Gambar 10). Penjelasan gambar 10 SBB, pada 1/2 dutycycle pertama, Arus dengan polaritas positif mengalir sesuai dengan loop warna orange dan jingga tersebut. Yang perlu digaris bawah pada bagian beban R<sub>1</sub>, dimana arus mengalir dari arah kiri ke kanan. Pada 0 ≤ t ≤ 1/2 T, dioda D<sub>1</sub> dan D<sub>3</sub> ON satu kali, dan muncul ripple sebanyak 1.

Penjelasan gambar 11 SBB, pada 1/2 dutycycle yang kedua, Arus dengan polaritas negatif mengalir sesuai dengan loop warna orange dan jingga. Yang perlu digaris bawah pada bagian beban R<sub>1</sub>, dimana arus mengalir dari arah kiri ke kanan, sama dengan gambar 10. Ini menunjukkan arus dan tegangan yang ada di luaran

$R_1$  memang DC murni walaupun berripple. Pada  $\frac{1}{2} T \leq t \leq T$ , dioda  $D_2$  dan  $D_4$  ON satu kali, dan muncul ripple sebanyak 1. Uraian di alenia ini dapat digambarkan di Gambar 12



Gambar 11. Loop arus ketika tegangan sumber negatif

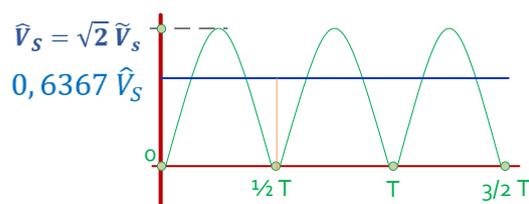


Gambar 12. Geombang masukan dan luaran penyearah full bridge

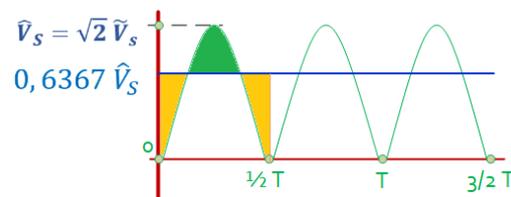
Terlihat di Gambar 12, gelombang warna ungu berada di sisi positif di sisi luaran pada rangkaian gambar 11. Menjadikan ripple meningkat menjadi 2 dalam satu periode, dan 100 ripple dalam 1 detik. Sedangkan jumlah switching tetap 50 hz. Bertambahnya ripple membuat nilai tegangan rata-rata meningkat, dan luas ripple mengecil. Meningkatkan tegangan rata-rata dengan ripple yang tetap (gelombang AC yang tetap), mengakibatkan luasan kelebihan muatan berkurang, dan ini mengakibatkan kapasitor yang dibutuhkan untuk menghilangkan ripple berkurang pula, lebih menghemat ruangan, dan bobot alat. Lihat Gambar 13, dan analisisnya ada persamaan 18 dan 19

$$\bar{V}_{M1} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{1}{2}T} \hat{V}_M \sin 2\pi ft dt \tag{18}$$

$$\bar{V}_M = -\frac{\hat{V}_M (\cos \pi - 1)}{\pi} = 0,6367 \hat{V}_M \tag{19}$$



Gambar 13. Letak nilai rata-rata

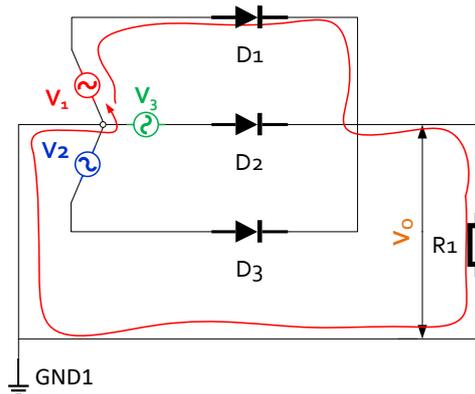


Gambar 14. Perbandingan luasan kelebihan muatan dan kekurangan muatan dalam 1 periode

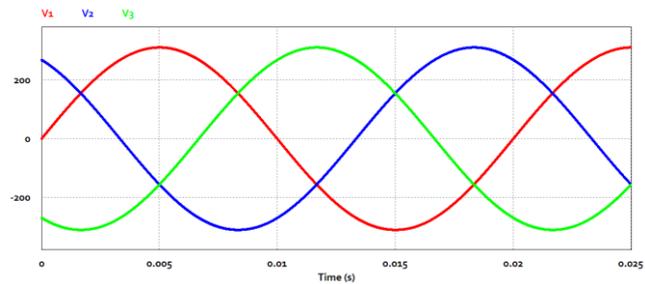
Jadi muncul gambar 14, yang menunjukkan jika anda menentukan posisi garis rata-rata nya (nilai  $0,6367 \hat{V}_s$ ) maka garis rata-rata (warna biru) diletakkan sedemikian sehingga luasan hijau dan kuning sama

### 2.5. Ripple dari switching penyearah 3 fasa, 1/2 gelombang

Gambar 15, adalah gambar rangkaian penyearah 3 fasa. Dalam 1 periode muncul gelombang AC dengan beda fasa masing-masing  $\frac{1}{3}T$ . Gambar 16, menunjukkan gelombang listrik yang terjadi. Gelombang ini pada masukan penyearah 3 fasa 1/2 gelombang. Gelombang luaran adalah tegangan yang paling tinggi diantara 3 gelombang. Sehingga dalam 1 periode ada 3 puncak tegangan. Gambar 16 adalah gelombang listrik ac 3 fasa, selanjutnya pada gambar 17, ditunjukkan sinyal masukan penyearah 3 fasa, dan luaran nya

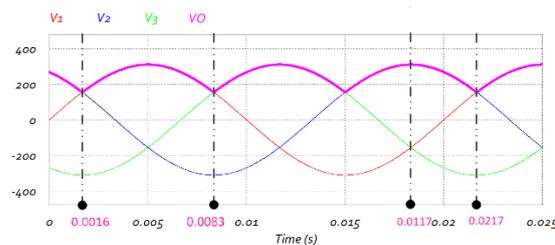


Gambar 15. Rangkaian penyearah 3 fasa  $\frac{1}{2}$  gelombang

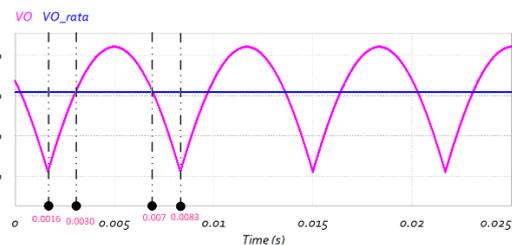


Gambar 16. Gelombang listrik penyearah  $\frac{1}{2}$  fasa

Arus masukan warna di gambar 16 dan gambar 17, sama yakni yang berwarna merah biru hijau. Sedang arus luaran hanya ada di Gambar 17, yakni yang berwarna pink. Arus luaran ini pada sebagian waktu berimpit dengan semua arus masukan nya. Pada gambar 17, 1 periode mengandung *ripple* sedang arus luaran hanya ada di Gambar 17, yakni yang berwarna pink. Arus luaran ini pada sebagian waktu berimpit dengan semua arus masukan nya. Pada gambar 17, 1 periode mengandung *ripple* sebanyak 3, dan 1 periode itu ke 3 (tiga) dioda  $D_1$ ,  $D_2$ , dan  $D_3$ , On dan Of sebanyak 1 kali. Jadi frekuensi switching tetap 50 Hz, dan frekuensi *ripple* 150 Hz. Bagaimana penulis memberikan pemahaman bahwa frekuensi switching tetap 50 hz, dan frekuensi *ripple* 150 hz. Kita perlu menghubungkan Gambar 17, dan Gambar 15.



Gambar 17. Gelombang masukan dan gelombang luaran



Gambar 18. Gelombang luaran penyearah 3 fasa  $\frac{1}{2}$  gelombang

Pada gambar 17, dengan  $0 \leq t \leq 0.0016$ ,  $V_2 \geq V_1$ , dan  $V_2 \geq V_3$ , mengakibatkan  $D_2$  dan  $D_1$  dibias balik sehingga  $D_2$  dan  $D_1$  Off, dan  $D_3$  On saat  $0 \leq t \leq 0.0016$ . Pada  $0.0016 \leq t \leq 0.0083$ ,  $V_1 \geq V_2$ , dan  $V_1 \geq V_3$ , mengakibatkan  $D_3$  dan  $D_2$  dibias balik, sehingga  $D_3$  dan  $D_2$  off, dan  $D_1$  on saat  $0.0016 \leq t \leq 0.0083$ . Pada  $0.0083 \leq t \leq 0.015$ ,  $V_3 \geq V_2$ , dan  $V_3 \geq V_1$ , mengakibatkan  $D_3$  dan  $D_1$  dibias balik, sehingga  $D_3$  dan  $D_1$  off, dan  $D_2$  On saat  $0.0083 \leq t \leq 0.015$ . Pada  $0.015 \leq t \leq 0.02$ ,  $V_2 \geq V_1$ , dan  $V_2 \geq V_3$ , mengakibatkan  $D_2$  dan  $D_1$  dibias balik, sehingga  $D_2$  dan  $D_1$  off, dan  $D_3$  On saat  $0.015 \leq t \leq 0.02$

Gambar 18, hanya gelombang luaran saja (warna pink). Dipilih 1 periodenya, dari  $0.0016 \leq t \leq 0.0083$ . Selanjutnya (Gambar 19), posisi garis biru sedemikian sehingga luas warna hijau (zona kekurangan muatan) dan luas warna ungu (zona kelebihan muatan) harus sama. Maka pilihannya tegangan pada  $V_o = V_{o-rata} =$  sedikit diatas 250 Volt.

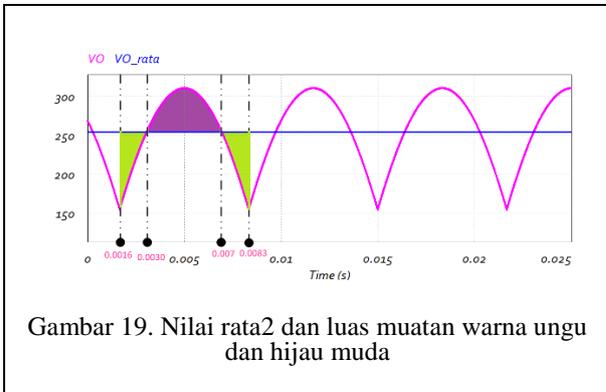
Untuk menghilangkan rippel yang berwarna ungu, dan mengisi ruang kosong yang berwarna hijau dalam 1 periode, maka diperlukan sinyal arus terlebih dahulu, dan menentukan luasan warna ungu dan hijaunya untuk sinyal arusnya (gambar tegangan bisa mewakili gambar arus). Untuk melihat gelombang arus di Osiloskop memerlukan beberapa prosedur yang agak rumit. Karena Osiloskop didesain untuk melihat sinyal te-gangan. Tetapi sinyal dapat mudah ditunjukkan via simulator. Namun masalah menghitung kapasitor yang pas belum dibahas di artikel ini.

## 2.6. Ripple dari switching penyearah 3 fasa gelombang penuh

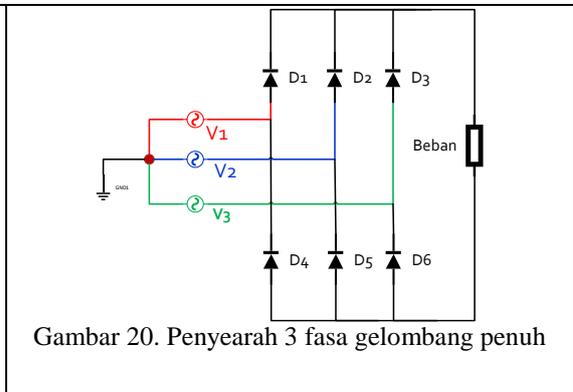
Rangkaian terdiri dari 6 dioda, 3 dioda ( $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$ ) di sebelah atas, dan 3 dioda berikutnya ( $D_4$ ,  $D_5$ ,  $D_6$ ) di sebelah bawah. Untuk lebih jelas dapat dilihat di Gambar 20, pergantiannya (durasi switching) lebih

cepat, dan 1 periode menghasilkan 6 *ripple*. Jadi frekuensi *ripplenya* 300 hz. Frekuensi *ripple* masing-masing dioda tetap 50 Hz

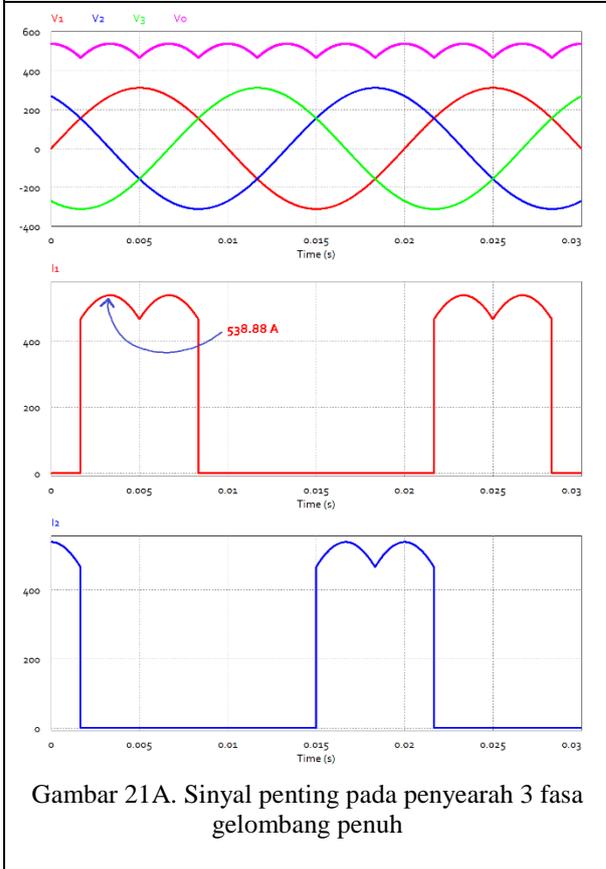
Untuk memahami frekwesi switching dan frekuensi *ripple*, maka perlu dimunculkan sinyal arus seperti pada Gambar 21, dan perlu dirinci lagi menjadi beberapa gambar yakni Gambar 22, dan Gambar 23



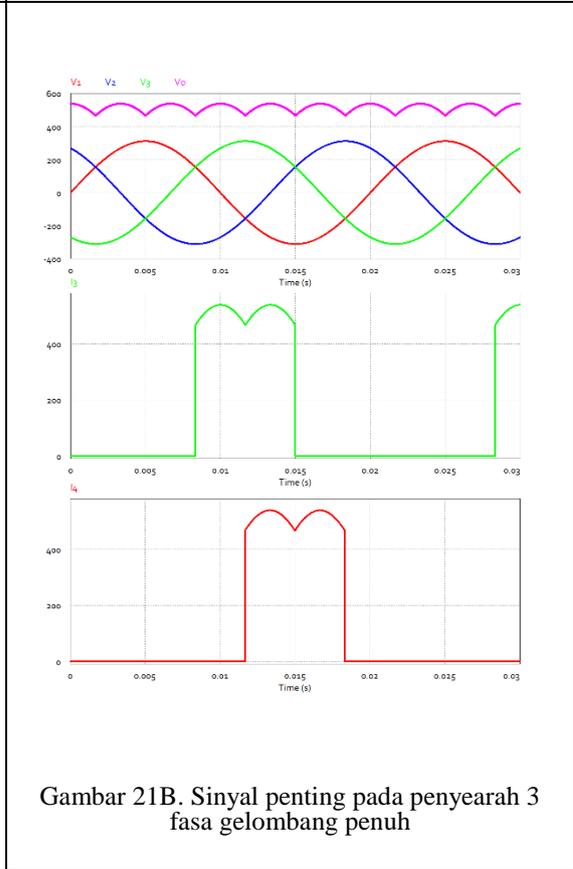
Gambar 19. Nilai rata2 dan luas muatan warna ungu dan hijau muda



Gambar 20. Penyearah 3 fasa gelombang penuh

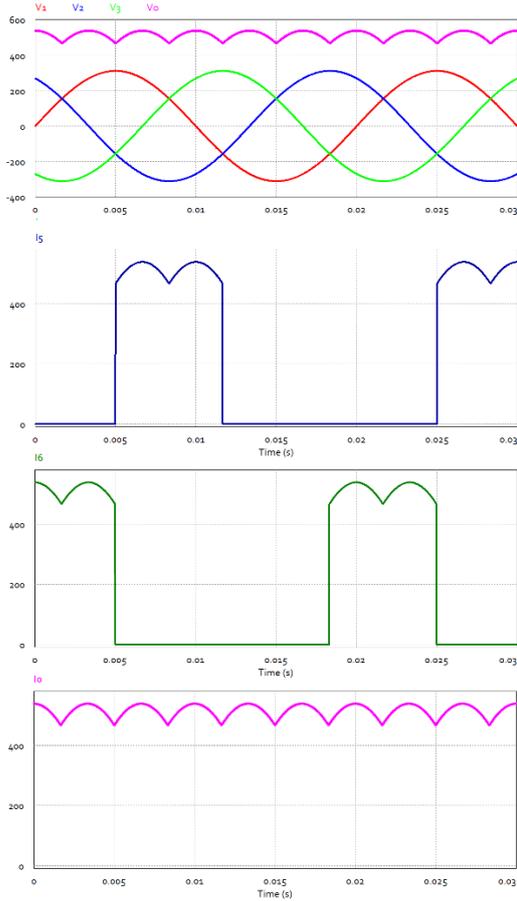


Gambar 21A. Sinyal penting pada penyearah 3 fasa gelombang penuh

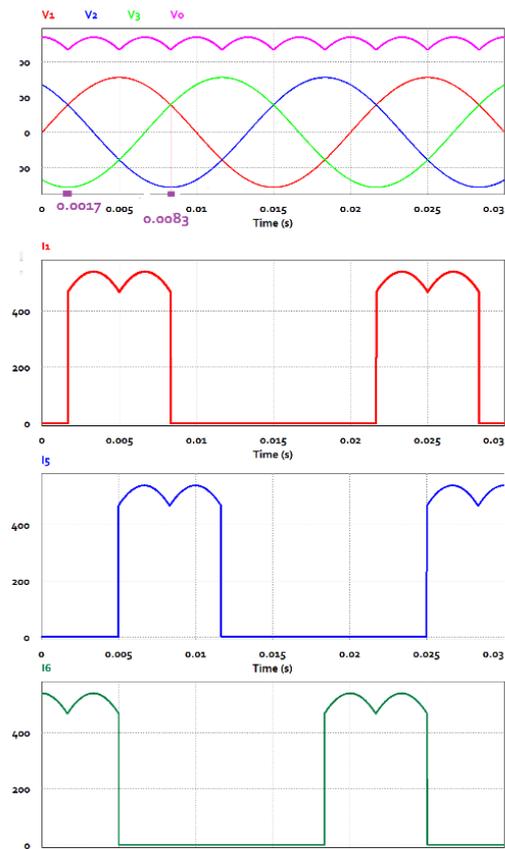


Gambar 21B. Sinyal penting pada penyearah 3 fasa gelombang penuh

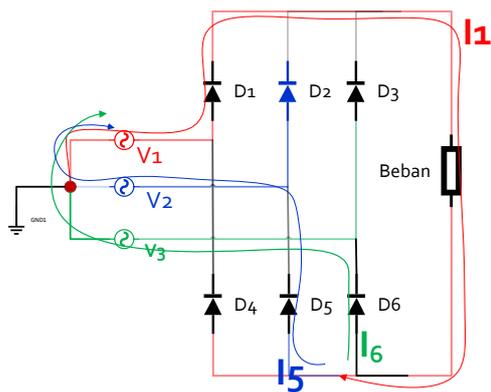
Dari Gambar 22, berdasar arus yg mengalir, maka Dioda D<sub>1</sub>, D<sub>5</sub>, dan D<sub>6</sub> turn on, per periode 1 kali. Pada  $0.0017 \leq t \leq 0.83$ , tegangan V<sub>1</sub> bernilai tertinggi sehingga membuat dioda D<sub>1</sub> dibias maju, dan Dioda D<sub>6</sub> dibias maju pada  $0.0017 \leq t \leq 0.005$ , dan Dioda D<sub>5</sub> dibias maju pada  $0.005 \leq t \leq 0.0083$ . Lihat Gambar 22, dan gambar 23. Ada pertanyaan (lihat gambar 23.), nilai arus merah, apakah besarnya sama dengan arus biru dan hijau. Jawabnya sangat mudah dengan memperhatikan gambar 22, yakni, terlihat bahwa fasa arus biru dan hijau tidak sama fasanya, ini juga membuktikan bahwa fasa turn on dioda D<sub>5</sub> dan D<sub>6</sub> tidak sama. Dari sini dapat disimpulkan bahwa arus mana yg terlebih dahulu (hijau atau biru), dan atau apakah nilai arus biru, arus hijau dan arus merah itu berbeda atau sama



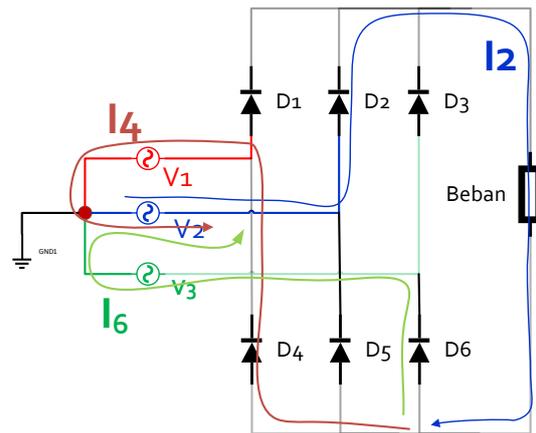
Gambar 21C. Sinyal penting pada penyearah 3 fasa gelombang penuh



Gambar 22. Sinyal arus I<sub>1</sub>, I<sub>5</sub>, I<sub>6</sub>



Gambar 23. Penyearah 3 fasa gelombang penuh saat D<sub>1</sub>, D<sub>5</sub>, D<sub>6</sub>, turn On



Gambar 25. Penyearah 3 fasa gelombang penuh dengan D<sub>2</sub>, D<sub>4</sub>, D<sub>5</sub> on

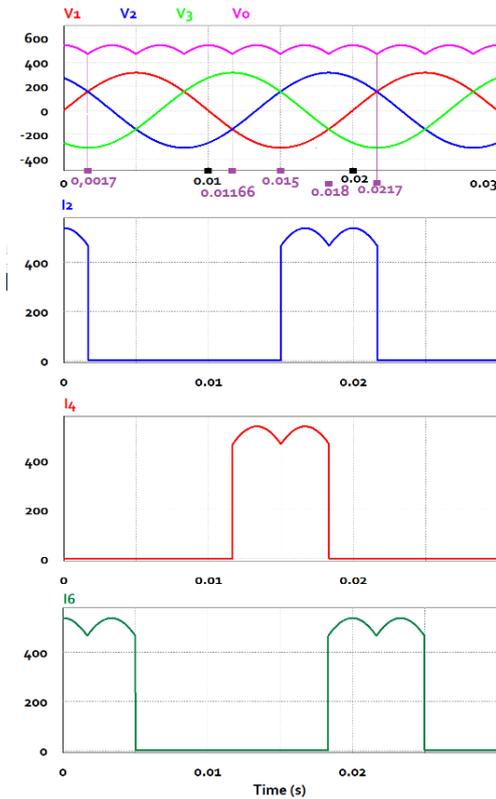
Dari Gambar 24, berdasar arus yg mengalir, maka dioda D<sub>2</sub>, D<sub>4</sub>, dan D<sub>6</sub> turn on, per periode 1 kali. Saat  $0.015 \leq t \leq 0.0217$ , dan atau pada  $0 \leq t \leq 0.0017$  tegangan V<sub>2</sub> bernilai tertinggi sehingga membuat dioda D<sub>2</sub> dibias maju, dan dioda D<sub>6</sub> dibias maju pada  $0.018 \leq t \leq 0.0217$ , dan atau  $0 \leq t \leq 0.0017$ . dioda D<sub>4</sub> dibias maju pada  $0.0015 \leq t \leq 0.018$ . Lihat gambar 24, dan gambar 25.

Ada pertanyaan (lihat gambar 25.), nilai arus biru, apakah besarnya sama dengan arus coklat dan hijau. Jawabnya sangat mudah dengan memperhatikan gambar 24. Dari Gambar 24, terlihat bahwa fasa arus coklat dan hijau tidak sama fasanya, ini juga membuktikan bahwa fasa turn on dioda D<sub>4</sub> dan D<sub>6</sub> tidak sama. Dari sini

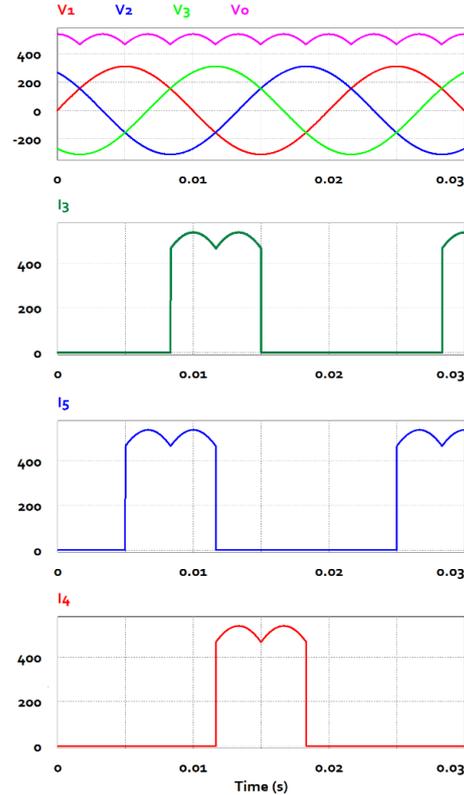
dapat disimpulkan bahwa arus mana yg terlebih dahulu (hijau atau coklat), dan atau apakah nilai arus biru, arus hijau dan arus coklat itu berbeda atau sama

Dari Gambar 26, berdasar arus yg mengalir, maka Dioda D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>, dan D<sub>5</sub> turn on, per periode 1 kali. Saat  $0.0083 \leq t \leq 0.015$ , dan tegangan V<sub>3</sub> bernilai tertinggi sehingga dioda D<sub>3</sub> terbias maju, dan Dioda D<sub>5</sub> terbias maju pada  $0.005 \leq t \leq 0.01166$ . Dioda D<sub>4</sub> dibias maju pada  $0.01166 \leq t \leq 0.018$ . Lihat Gambar 26.

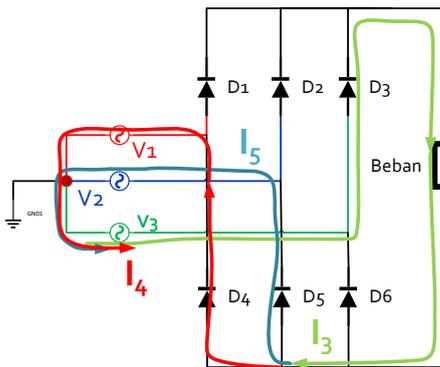
Ada pertanyaan (lihat gambar 27.), nilai arus hijau, apakah besarnya sama dengan arus biru dan merah. Jawabnya sangat mudah dengan memperhatikan Gambar 26. Dari Gambar 26, terlihat bahwa fasa arus merah dan hijau tidak sama fasanya, ini juga membuktikan bahwa fasa turn on dioda D<sub>4</sub> dan D<sub>6</sub> tidak sama. Dari sini dapat disimpulkan bahwa arus mana yg terlebih dahulu (hijau atau merah), dan atau apakah nilai arus biru, arus hijau dan arus merah itu berbeda atau sama



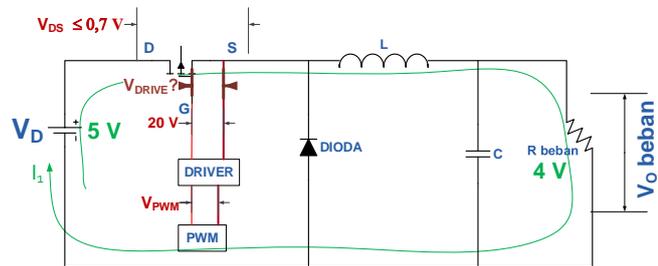
Gambar 24. Sinyal listrik ketika D<sub>2</sub>, D<sub>4</sub>, D<sub>6</sub> on



Gambar 26. Sinyal listrik ketika D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>, D<sub>5</sub> ON



Gambar 27. Penyearah 3 fasa gelombang penuh dengan D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>, dan D<sub>5</sub> on.

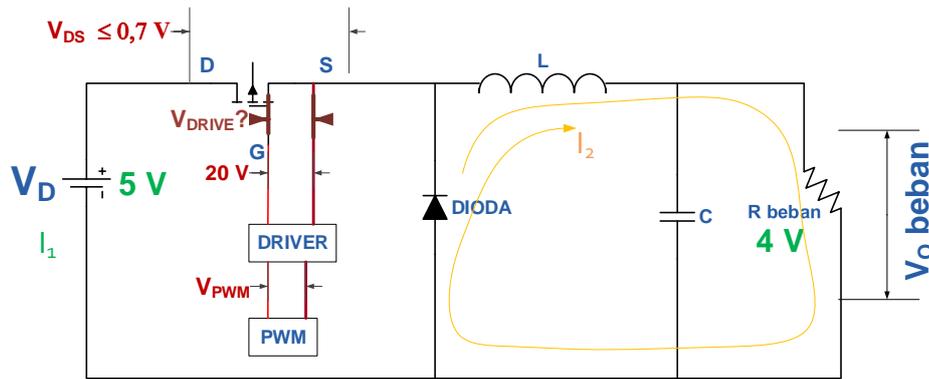


Gambar 28. Loop arus saat switch On

**2.7. Ripple dari arus luaran konverter DC-DC dengan konduksi continyu, dalam hal ini konverter DC-DC buck**

Sinyal arus pada konverter DC-DC terdiri dalam satu periode ada dua sinyal arus, terdiri dari arus saat switch ON dan saat arus switch OFF. Setiap jenis konverter DC-DC akan berbeda loop arus masukan, loop arus luarannya. Selanjutnya arus masukan penulis sebut arus 1 ( $I_1$ ), arus luaran penulis sebut arus 2 ( $I_2$ ).

Arus  $I_1$ , biasanya melewati switch dan mengisi induktor lalu kembali sumber, tetapi bisa juga diteruskan ke beban. Arus  $I_2$ , dibangkitkan oleh induktor, melewati beban dan kembali ke induktor. Di subbab ini penulis akan menganalisis sinyal arus pada konverter DC-DC Buck. Penulis tunjukkan dulu rangkaian nya dan loop<sup>2</sup> arus nya. Lihat Gambar 28 dan Gambar 29



Gambar 29. Loop arus saat switch Off

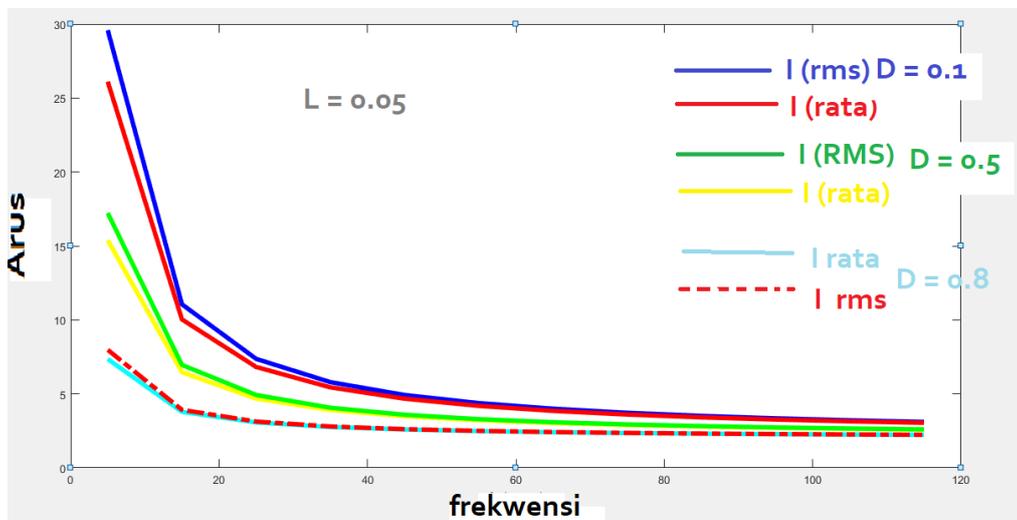
Dengan persamaan Matematika sbb:

$$I_1 = \frac{(1-D)V_D t}{L} + h_1 \tag{20}$$

$$i_2 = -\frac{(t-T_S)V_O}{L} + h_1 \tag{21}$$

$$\tilde{I}_O = \sqrt{\frac{1}{T} \left\{ \int_0^{DT} \left( \frac{(1-D)V_D t}{L} + h_1 \right)^2 dt + \int_{DT}^T \left( -\frac{(t-T_S)V_O}{L} + h_1 \right)^2 dt \right\}} \tag{22}$$

$$\tilde{I}_O = \frac{1}{3} \sqrt{3} \sqrt{\frac{T_S^2 (D-1)^2 V_O^2 - 3LT h_1 (D-1)V_O + 3L^2 h_1^2}{L^2}} \tag{23}$$



Gambar 30. Pengaruh frekuensi dan duty-cycle terhadap nilai efektif, nilai rata-rata

Dari persamaan 23, nilai Induktor yang besar dapat mengurangi *ripple*, nilai D dapat mengubah amplitudo *ripple*. Gambar 30, menggambarkan bagaimana frekuensi dan Dutycycle dapat mempengaruhi nilai ripel. Analisis sehingga menghasilkan gambar 30, berbasis tegangan luaran yang tetap.

Gambar 30, juga menunjukkan efek frekuensi, frekuensi makin tinggi, maka nilai Nilai RMS-nya makin mendekati nilai rata-rata-nya. Jadi jalan pikirannya begini, frekuensi makin tinggi, nilai rata-rata main ke-cil, nilai rms mengikuti nilai rata-ratanya sampai berimpit. Nah berimplnya kedua besaran itu menunjukkan bahwa arus telah rata dengan nilai *ripple* mendekati nol. Tegangan luaran  $V_O$  konstan, yang lainnya memang harus idubah untuk melihat efeknya. Kurva yang berwarna warni menunjukkan D (duty cycle) yang berbeda. D makin besar, frekuensi makin besar, L makin besar, maka frkwensi makin rendah untuk dapat nya nilai RMS dan nilai rata berhimpit.

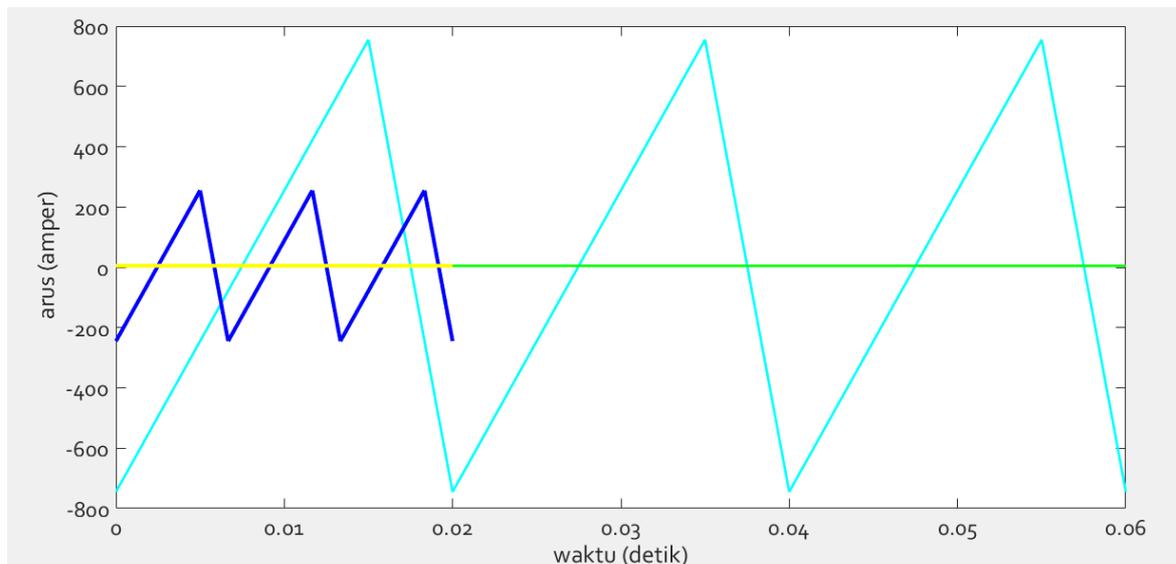
Dari persamaan 23, D, juga sangat berpengaruh. Para meter  $h_1$  adalah amplitudo lembah terhadap sumbu absis. Yang juga berubah secara natural jika frekuensi berubah. Kalau D bisa dibuat tetap walaupun frekuensi berubah-ubah. Nilai D adalah rasio durasi switch ON (T) dan Periode Switching (T). Nilai D menentukan nilai rata-rata tegangan luaran pada konverter DC-DC jenis apapun. Misal pada konverter DC-DC BUCK rasio tegangan rata masukan dan luaran adalah sebagai berikut:

$$D = \frac{T_{ON}}{T} \tag{24}$$

Dengan analisis lop arus pada gambar 28 dan gambar 29, maka diperoleh hubungan antara tegangan rata-rata masukan ( $V_D$ ) dan luaran ( $V_O$ ) sebagai berikut,

$$V_O = V_D D \tag{25}$$

Dengan analisa lop arus pada gambar 28 dan gambar 29, maka di dapat model matematika, Dari model matematika diperoleh gambar gelombang arus dengan perubahan frekuensi dan beban yang tetap. Beban yang tetap menyebabkan arus rata-rata konstan selama tegangan luaran tetap. Kurva warna kuning dan hijau di Gambar 32.



Gambar 31. Beda ripel dan beda frekuensi, tetapi arus rata-rata tetap sama

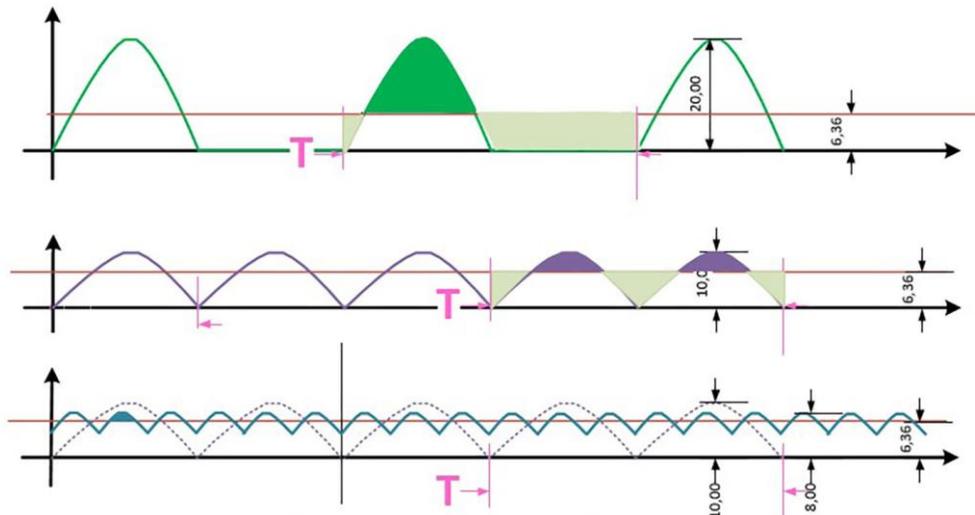
Pada gambar 31, terlihat gelombang arus rata-rata (warna hijau dan kuning). Ini menunjukkan nilai arus rata<sup>2</sup> tetap walaupun frekuensi berubah. (gelombang merah dan gelombang hijau pada gambar 31 itu), Dan perhatikan D hijau dan D merah. Dimana D konstan karena  $D = \frac{T_{on}}{T}$ . Selama  $T_{on}$  arus naik. Persamaan nilai rata<sup>2</sup> nya  $I_T$  SBB:

$$I_T = -\frac{1}{2} \frac{V_D T_S D(D-1) - 2h_1 L}{L} \tag{26}$$

Dari persamaan 23 dan 26 dapat di buktikan bahwa semakin tinggi frekuensi maka nilai amplitudo *ripple* makin kecil. Kecilnya amplitudo *ripple* dapat dilihat di Gambar 30, berimpitnya nilai efektif (warna biru) dengan nilai rata<sup>2</sup> (warna kuning) pada frekuensi yg makin tinggi, menunjukkan amplitudo *ripple* makin kecil.

## 2.8. Penjelasan Luasan *ripple* dipengaruhi oleh frekuensi *ripple*..

Dari kedua gambar 30 dan gambar 31, sudah ditunjukkan bahwa luasan *ripple* menyempit seiring dengan bertambahnya frekuensi *ripple*. Untuk penyearah dapat dilihat pada gambar berikut. Dari Gambar 32, terlihat semakin banyak *ripple* yang terjadi dalam satu periode, maka luasan *ripple* makin kecil. Ini akan menghemat filter dan berakibat biaya energi listrik lebih hemat. Gambar 32, adalah luasan penyearah  $\frac{1}{2}$  gelombang penuh, penyearah gelombang penuh dan penyearah gelombang penuh 3 (tiga) fasa.



Gambar 32. Fenomena luasan *ripple* pada penyearah

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari persamaan 15, adalah menunjukkan nilai rms sama sama atau mendekati nilai puncaknya. Jadi kalau nilai puncaknya nol (gelombang DC tanpa *ripple*), maka nilai RMS nya juga nol. Itu juga menunjukkan nilai RMS bisa sama dengan nilai rata-rata tegangan DC nya. Jika itu terjadi maka bisa dikatakan *ripple*-nya mendekati nol, atau sangat kecil.

Pada Gambar 7, suatu gelombang DC yang ber*ripple*, mempunyai besaran sbb berikut, puncak tegangan/ arus, dan lembahnya. Jika dihitung nilai rata-ratanya, untuk rangkaian penyearah  $\frac{1}{2}$  gelombang di gambar 8. Menentukan nilai rata-rata juga bisa memakai garis yang membagi luasan yg sama, luasan ke arah puncak (kelebihan muatan) dan ke arah lembah (kekurangan muatan). Nilai C identik dengan luasan salah satu bagian *ripple*. Sedangkan nilai induktor di hitung setelah nilai C dihitung, atau ditentukan berdasarkan luasan salah satu bagian *ripple*.

Dari subbab 2.4, gambar 10, Gambar 11. Gambar 15, Gambar 20, dan seterusnya, itu semua adalah rangkaian penyedia daya dengan bermacam macam rangkaian dan jumlah dioda yang lebih banyak, ada juga sumber AC yang lebih dari 1 (satu). Mengakibatkan jumlah *ripple* yang lebih dalam 1 periode, ini mengakibatkan luasan *ripple* mengecil. (lihat gambar 32). Luasan *ripple* yang lebih banyak dapat mengurangi ukuran filter, dan akibat baik lainnya dapat menghemat ruangan, mengurangi bobot alat, mengurangi biaya pembuatan, dan mengurangi daya masukan (permintaan daya).

Dari Gambar 7, lalu perhatikan durasi T (periode) nya, yakni 0,02 detik. Selama 1 (satu) T, ada 1 (satu) *ripple*, dan Switch ON dan OFF 1 (satu) kali. Switch ON pada  $0 \leq t \leq \frac{1}{2} T$ , dan OFF pada  $\frac{1}{2} T \leq t \leq T$ . Oleh karena itu dalam, 1 detik Switch ON dan OFF sebanyak 50 kali, atau frekuensi switching nya 50 Hz. Sedangkan *ripple* adalah gelombang yang tidak rata (mengandung gelombang dengan nilai sesaat maximum, dan nilai sesaat minimum). Nilai sesaat maximum sering disebut nilai puncak, nilai sesaat minimum sering disebut lembah. Jika dalam 1 periode (T), terdapat puncak dan lembah (puncak dan lembah adalah pasangan yg selalu ada), sejumlah 1, 2, 3, ... dan seterusnya maka frekuensi *ripple* tinggal dihitung melalui rumus

$$\frac{n_p}{T} = f_R^3 \quad (26)$$

Pada Gambar 7, dalam 1 (satu) T, terdapat 1 (satu) *ripple* (1 puncak dan 1 lembah), maka frekuensi *ripple* nya sesuai persamaan 26. Gambar 13, dalam 1 (satu) T terdapat 2 *ripple*, maka frekuensi *ripple* 100 hz,

<sup>3</sup>  $n_p$  = banyak puncak,  $f_R$  = frekwensi ripple

sedang frekuensi switchingnya 50 Hz (lihat gambar 10 dan Gambar 11). Masing-masing dioda ON-OFF sebanyak 1 (satu) kali dalam 1 (satu) T. Dengan prinsip analisis yang sama, hanya beda pada rangkaian, jumlah komponen, dan sumber tegangannya yang lebih dari 1 (satu) fasa, seperti ditunjukkan pada Gambar 15 sampai dengan Gambar 27, frekuensi switching tetap 50 Hz, sedangkan frekuensi *ripplenya* berjumlah 150 Hz, dan 300 Hz. Gambar 31 dan Gambar 32, telah jelas

Gambar 30, menunjukkan frekuensi semakin tinggi, semakin tinggi frekuensi maka nilai efektif (warna biru) dan nilai rata-rata (warna kuning) makin kecil, namun nilai efektifnya semakin berimpit dengan nilai rata-rata. Berimpitnya nilai efektif menunjukkan amplitudo puncak dan amplitudo lembah semakin kecil terhadap nilai rata-rata. Berbasis persamaan 23 dan 26, maka nilai efektif dan nilai<sup>2</sup> semakin kecil, dan semakin tinggi frekuensi *ripplenya* makin kecil.

#### 4. KESIMPULAN

Jika nilai RMS sama dengan dengan nilai rata-ratanya, maka besaran tersebut nyaris tanpa *ripple*, jika gelombang AC mempunyai nilai RMS namun nilai rata-ratanya nol, maka gelombang itu adalah AC murni. AC murni bisa berbentuk non sinus, dan atau non sinus tidak simetri.

Semua penyearah yang berasal dari jala-jala 1 fasa sampai 3 fasa, frekuensi switchingnya sama dengan frekuensi jala-jala, sedang frekuensi *ripple* di luarnya bisa meningkat tergantung dari rangkaian dan jumlah fasa sumber daya nya

Dengan mengubah rangkaian, dan atau memberi masukan lebih dari 1 yang berbeda fasa, maka akan meningkatkan frekuensi *ripple* dan frekuensi switching tetap semula.<sup>4</sup>Pada konverter DC-DC buck, dengan tegangan luaran yang tetap, maka diperoleh: makin tinggi frekwensi *ripple*, dan atau makin tinggi dutycycle, dan atau induktansi makin besar, *ripple* luaran mengecil.<sup>5</sup> (Gambar 30, dan Gambar 31)

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ari Murtono, Edi Sulistio Budi, Herman Hariyadi, “Gelombang listrik amplitudo tinggi dan variasi frekwensi *ripple* untuk mempercepat pemuatan charger aki basah, Jurnal Eltek, 2020.
- [2] Leonardo A. Ramos, Rafael F. Van Kan, Marcello Mezaroba, Alessandro L. Batschauer, “A Control Strategy to Smooth Power *ripple* of a single-stage bidirectional and isolated AC-DC converter for Electric Vehicles Chargers”, Electronics 2022, 11, 650. <https://doi.org/10.3390/electronics11040650>, <https://www.mdpi.com/journal/electronics>
- [3] Hongwen He, Rui xiong and Jinxin Fan, Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models for State of Charge Estimation by an Experimental Approach, ISSN 1996-1073, [www.mdpi.com/journal/energies](http://www.mdpi.com/journal/energies), publikasi 29 Maret 2011
- [4] Murtono, Ari, 2009, Otoped Listrik Sebagai Transportasi Di Dalam Komplek Perkantoran, Laporan Penelitian POLINEMA.
- [5] Murtono, Ari, 2012, Analisis Pengaruh Induktor Resistor Dan Kapasitor Terhubung Seri Pada Sisi Luaran Inverter Satu Fasa, laporan penelitian Polinema
- [6] Murtono, Ari, 2014, Analisis beban induktor resistor pada luaran penyearah dengan kendali, Laporan Penelitian Polinema.
- [7] Eva Katona, Miklos Kuczmann, Transient analysis module from an object oriented electrical circuit designer application, Przglad elektrotechniczny (electrical review), ISSN 0033-2097, R. 87 NR 3/2011
- [8] Ackermann Eric, Hicks William leslie, Universal powert manager with variable buck/boost converter, United states patent.
- [9] Hongwen He, Rui Xiong, Jinxin Fan, Evaluation of lithion-Ion Battery Equivalent circuit models for styate for State of Charge Estimation by an Experimental Approach, National Engineering Laboratory for vehicles, Beijing Institute of Technplogy, Beijing.
- [10] Murtono, Ari, 2016, Optimasi filter terhadap daya pada penyearah ½ gelombang tanpa kendali pada kondisi steady state, Laporan Penelitian Polinema
- [11] Elwood M. Brock, Flemington, N.J., assignor to Hunterdon Transformer Company, Flemington, N.J., a corporation of New Jersey, “Torodal Inductor”, Patented Sept. 2, 1969, USA
- [12] Thomas W. Efford; Gary J. Buczkowski, both of West Jefferson; Mitchel D. Weaver, Fleet-wood, all of N.C, “ Hgh *Ripple* Current Capacator”, No patent 5,673,168, Sep. 30, 1997

Sumber dari buku:

- [13] Mohan, N, Undeland, T.M., and Robbins, W.P.,1955. Power Elektronis, Converter, Aplications, and Design, Singapore, Second Edition, John Wiley & Sons,.

<sup>4</sup> Gambar 10,11, 15, 20, 23, 25,27, dan 32

<sup>5</sup> Gambar 30 dan 31

- [14] Muhammad H. Rashid, Power Eletronics, circuits, devices, and applications, 1993, Englewood Cliffs, New Jersey, second edition, Prentice Hall International Editions,.

Sumber dari skripsi/thesis/disertasi:

- [15] Murtono Ari, “Pengaruh Induktansi Bersama terhadap Riak Arus Keluaran Chopper 3 fasa, Thesis, ITB 1998

## 6.BIOGRAFI PENULIS

	<p>Ir. Ari Murtono, M.T,</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• S1 universitas Brawijaya, fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Tamat 1986</li><li>• S2 ITB Bandung, Jurusan Teknik Elektro, Tamat 1998</li><li>• Pengaruh Besar Riak dan Frekuensi terhadap Kecepatan Pemuatan pada Aki Basah, 2018. Ketua</li><li>• Optimasi filter terhadap daya pada penyearah <math>\frac{1}{2}</math> gelombang tanpa kendali pa-da kondisi steady state, Laporan Penelitian Polinema, 2017. Ketua</li><li>• Gelombang listrik amplitudu tinggi dan variasi frekuensi <i>ripple</i> untuk mempercepat pemuatan charger aki basah, Jurnal Eltek, 2020</li><li>• Rancang Bangun pengaturan kecepatan motor DC dengan kontrol PID menggunakan STM32</li></ul>
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------