

PAPER ID : 096

## Aplikasi Active Power Filter Tiga Fasa Tipe Seri Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Mengatasi Sumber Tegangan Yang Terdistorsi

Hanny H. Tumbelaka<sup>1)</sup>, Thiang<sup>2)</sup>, Marselin<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Petra, Surabaya 60236

e-mail: <sup>1)</sup>tumbeh@petra.ac.id, <sup>2)</sup>thiang@petra.ac.id, <sup>3)</sup>sellydoank@hotmail.com

**Abstrak** - Tegangan harmonisa pada sistem tenaga listrik dapat mengganggu kerja peralatan dan menurunkan kualitas daya listrik. Hal ini diatasi dengan menggunakan Series Active Power Filter yang merupakan Voltage Source Inverter (VSI) tiga fasa. Metode kompensasi jaringan syaraf tiruan digunakan sebagai rangkaian kontrol Series Active Power Filter untuk menghasilkan tegangan referensi dari tegangan sumber yang terdistorsi harmonisa dan tidak seimbang. Jaringan syaraf tiruan menentukan amplitudo dari komponen sinus dan kosinus tegangan referensi. Hasil simulasi komputer menunjukkan bahwa Series Active Power Filter tiga fasa dengan metode kompensasi jaringan syaraf tiruan secara efektif mampu menghilangkan harmonisa dan menghasilkan tegangan tiga fasa yang sinusoidal dan seimbang yang akan diterima oleh beban.

**Kata kunci:** Series Active Power Filter, Harmonisa, Jaringan Syaraf Tiruan

### 1. PENDAHULUAN

Secara ideal, bentuk gelombang tegangan AC yang dibangkitkan berbentuk gelombang sinusoidal yang mulus. Akan tetapi, fakta di lapangan menunjukan bahwa bentuk gelombang tegangan tidak semulus yang diinginkan. Terdapat tegangan listrik tiga fasa yang terdistorsi oleh harmonisa dan juga tidak seimbang. Hal ini akan menurunkan kualitas daya listrik karena beban akan menerima tegangan yang tidak ideal. Operasi peralatan juga akan terganggu atau rusak.

Salah satu cara untuk mengurangi harmonisa dari sumber adalah dengan menggunakan filter. Untuk membuat filter dapat digunakan komponen pasif (R, L, C) atau komponen aktif (transistor).

Penggunaan Filter Pasif untuk mengatasi masalah harmonisa memiliki banyak kelemahan antara lain hanya dapat digunakan untuk memfilter satu frekuensi harmonisa (*single tune*). Hal ini berarti membutuhkan sejumlah filter untuk mengatasi sejumlah harmonisa. Filter ini tidak *fleksible* pada kondisi dinamis dan dapat menimbulkan resonansi paralel pada sistem tenaga, memiliki karakteristik filter L-C yang sangat dipengaruhi oleh impedansi sistem yang sulit

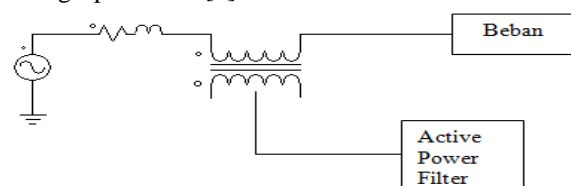
diketahui secara pasti karena dapat berubah terhadap konfigurasi jaringan. Untuk mengatasi kelemahan yang ditimbulkan *Passive Power Filter* [1][2], maka digunakan *Active Power Filter* (APF).

Ada 2 tipe APF yaitu tipe seri dan tipe parallel [3]. Tipe seri bekerja untuk mengkompensasi tegangan sedangkan tipe parallel untuk mengkompensasi arus. Karena itu untuk mengatasi masalah harmonisa tegangan dari sumber akan diteliti penggunaan *Series Active Power Filter*.

Banyak sekali metode kompensasi yang digunakan untuk mengontrol APF [4]. Diharapkan bahwa metode yang digunakan dapat membantu menghasilkan tegangan atau arus anti harmonisa yang sesuai untuk diinjeksi ke sistem yang terganggu. Perkembangan saat ini, teknik *artificial intelligence* khususnya teknik jaringan syaraf tiruan (*artificial neural network*) [5][6] mulai diterapkan untuk mendeteksi harmonisa. Oleh karena itu dalam makalah ini akan dibahas tentang aplikasi *Series APF* tiga fasa yang bekerja dengan cara mengkompensasi tegangan harmonisa dan juga ketidakseimbangan sumber tiga fasa pada sistem tenaga listrik dengan metoda jaringan syaraf tiruan (JST) agar beban menerima sumber tegangan yang sinusoidal dan seimbang.

### 2. KONFIGURASI SERIES ACTIVE POWER FILTER

*Series APF* adalah sebuah inverter yang terhubung seri antara sumber listrik dan beban dengan bantuan *matching transformer* sehingga dapat mengkompensasi distorsi tegangan harmonik (Gambar 1). Inverter yang digunakan adalah *Voltage Source Inverter* (VSI) yang terdiri atas 6 buah IGBT dengan Dioda anti-paralel. Pada sisi DC dipasang kapasitor dan pada sisi AC terpasang konfigurasi L-C sebagai high-pass filter [6].



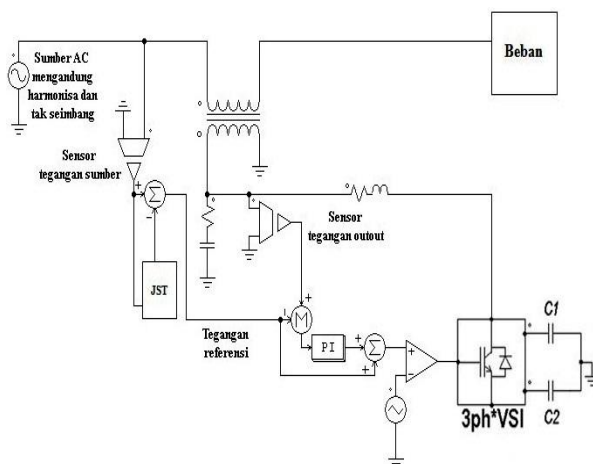
Gambar 1: Rangkaian Series APF

VSI dioperasikan dengan mengontrol tegangan *output* sedemikian rupa sehingga sesuai dengan tegangan referensi yang dikehendaki. Untuk melihat apakah *output* tegangan inverter sama dengan tegangan referensi dipasang sensor tegangan pada sisi *output* (AC) dari VSI. *Output* dari sensor tegangan dibandingkan dengan tegangan referensi. Jika tegangan inverter sama dengan tegangan referensi maka *error*-nya nol. Sinyal *error* dijumlahkan dengan tegangan referensi untuk kemudian dibandingkan dengan sinyal *carrier* segitiga sehingga menghasilkan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) untuk terus memicu IGBT.

Tegangan referensi yang adalah komponen harmonisa diperoleh dari selisih antara tegangan sumber yang terdistorsi dengan tegangan fundamental yang dihasilkan oleh JST.

Prosesnya dimulai dari mendeteksi tegangan sumber tiga fasa yang mengandung harmonisa dan juga tidak seimbang menggunakan sensor tegangan. Tegangan ini kemudian diproses untuk memisahkan komponen fundamental dan komponen harmonisa menggunakan metoda JST. Output dari JST berupa tegangan fundamental.

Komponen harmonisa ini digunakan untuk mengontrol tegangan output VSI. Dengan demikian VSI menghasilkan tegangan anti harmonisa yang melawan tegangan harmonisa yang dihasilkan oleh sumber sehingga tegangan yang di-supply ke beban menjadi sinusoidal. Konfigurasi diagram *Series APF* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2: Konfigurasi *Series Active Power Filter*

Agar rangkaian dapat bekerja dengan stabil dan kompensasi berjalan baik, maka tegangan sisi DC VSI harus lebih besar daripada tegangan *peak-to-peak* pada sisi AC. Tegangan pada sisi DC harus dipertahankan konstan dengan menggunakan kontrol PI (*Proportional Integral*). Jika tidak, maka rugi-rugi pada rangkaian akan menyebabkan tegangan DC-bus menurun [6].

### 3. KOMPENSASI HARMONISA DENGAN METODE JARINGAN SYARAF TIRUAN

#### 3.1. Prinsip Dasar Kontrol Jaringan Saraf Tiruan

Beberapa sinyal periodik dapat digambarkan sebagai penjumlahan komponen sinus dan kosinus. Konsep ini menjadi dasar dari perancangan arsitektur JST dalam mengestimasi komponen harmonisa dan ketidakseimbangan pada sumber tegangan tiga fasa.

Sumber yang membangkitkan tegangan harmonisa dapat digambarkan sebagai:

$$V(t) = \sum_{n=1,2,\dots}^N (a_n \sin(n\omega t) + b_n \cos(n\omega t)) \quad (1)$$

dimana  $a_n$  dan  $b_n$  merupakan amplitudo dari komponen sinus dan kosinus dari sumber tegangan harmonisa. Tegangan sumber harmonisa dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$V(t) = W \bullet X(t) \quad (2)$$

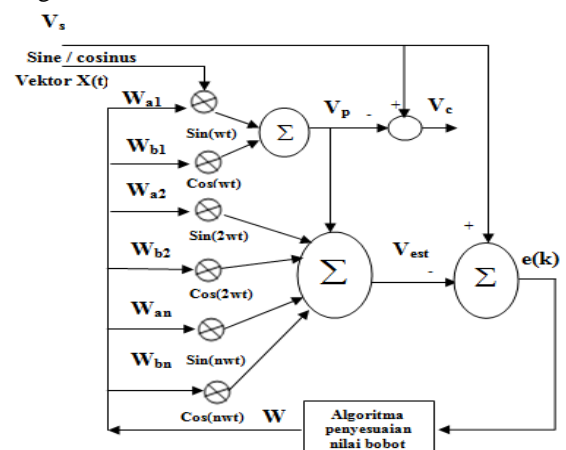
dimana matriks bobot:

$$W = [a_1, b_1, a_2, b_2 \dots a_n, b_n] \quad (3)$$

dan vektor input sinus/kosinus:

$$X(t) = [\sin(\omega t), \cos(\omega t) \dots \sin(n\omega t), \cos(n\omega t)] \quad (4)$$

Berdasarkan “persamaan (4)” maka arsitektur dari kompensasi jaringan syaraf tiruan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3: Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

Pada dasarnya arsitektur JST seperti pada gambar 2 adalah jaringan saraf tiruan ADALINE (*Adaptive Linear Neuron*) yang dikembangkan oleh Widrow dan Marcian Hoff dengan menggunakan *Single Layer Network* yang terdiri dari satu *layer input* dan satu *layer output*.

Gambar 2 menunjukkan JST yang memiliki  $n$  pasang *input* tegangan yang terdiri dari *input* sinus dan *input* kosinus dan dibagi dalam komponen fundamental dan komponen harmonisa. Bobot ( $W$ ) dari setiap *input* diatur sedemikian rupa sehingga menyerupai amplitudo tegangan fundamental dan tegangan harmonisa. Dengan penyesuaian nilai bobot yang berulang-ulang menyebabkan JST mengalami proses *learning* (belajar). Pada setiap pembelajaran, *input* tegangan ( $V_s$ ) akan diproses dan dihasilkan output tegangan estimasi ( $V_{est}$ ). Selisih antara *output* jaringan ( $V_{est}$ ) dengan target ( $V_s$ ) merupakan *error*  $e(k)$  yang terjadi. Jaringan akan memodifikasi bobot sesuai dengan *error* (kesalahan) tersebut. Dengan demikian bila  $e(k)$  telah menjadi nol, maka tegangan estimasi menyerupai *input* tegangan.

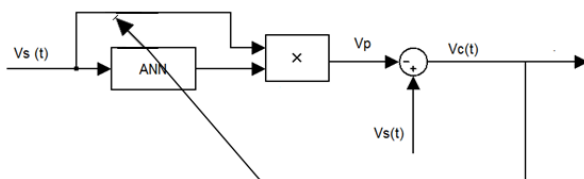
Output dari JST adalah tegangan fundamental ( $V_p$ ). Dari output JST dapat ditentukan tegangan referensi  $V_c$  untuk diinjeksi ke *Series Active Power Filter* yang diperoleh dari pengurangan tegangan sumber harmonisa  $V_s$  dengan tegangan fundamental hasil estimasi  $V_p$ .

### 3.2. Algoritma Training Widrow-Hoff untuk Jaringan Saraf Tiruan pada Series Active Power Filter

Proses *learning* dilakukan dengan menggunakan algoritma Widrow-Hoff bertujuan untuk meminimalkan besarnya *error*  $e(k)$  antara tegangan sumber  $V_s(t)$  dan tegangan estimasi  $V_{est}$ , dimana  $e(k)$  dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah ini:

$$e(k) = V_s - V_{est} \quad (5)$$

Tegangan referensi  $V_c(t)$  dari *Active Power Filter* akan diperoleh berdasarkan hasil dari perhitungan bobot. Prinsip dasar dari perhitungan bobot dengan algoritma JST dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4: Perhitungan Bobot Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan pada gambar 4 terdiri atas sebuah *neuron*, dimana bobot *neuron* dinyatakan sebagai  $W$ . Yang menjadi input dari sistem adalah tegangan sumber  $V_s(t)$  yang dibangkitkan, sementara *output*-nya adalah tegangan fundamental  $V_p(t)$  dan *output* dari sistem adalah tegangan referensi  $V_c(t)$ .

Berdasarkan algoritma Widrow-Hoff, “persamaan (6)” digunakan untuk memperbaharui bobot.

$$W(n) = W(n-1) + \eta V_{cr} V(n-1) \quad (6)$$

dimana :

$$\eta V_{cr} V(n-1) = \text{perubahan tegangan}$$

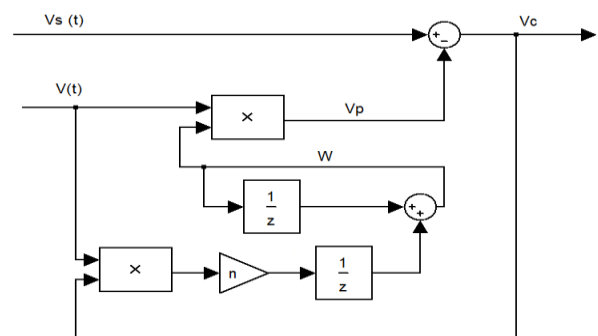
$$\eta = \text{learning rate, } 0 < \eta < 1$$

$$V_{cr}(n) = V_s(n) - W(n)V_s(n)$$

Proses pembelajaran dari jaringan JST dengan metode Widrow-Hoff digunakan untuk memperoleh nilai dari bobot dengan nilai *learning rate* tertentu. Pada akhirnya tegangan referensi dari filter dapat dihitung dengan menggunakan “persamaan (7)”:

$$V_c(t) = V_s(t) - WV(t) \quad (7)$$

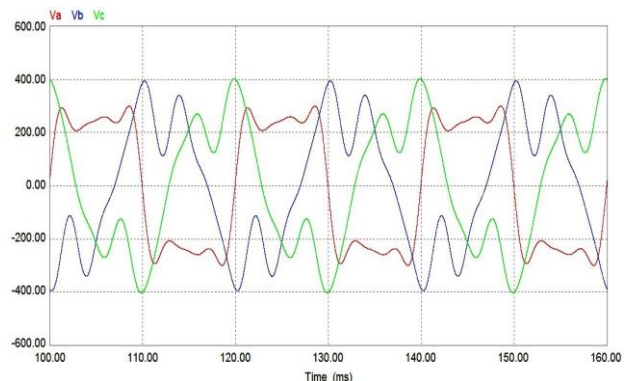
Berdasarkan “persamaan (6)” dan “persamaan (7)” maka pemodelan rangkaian kontrol pada Matlab Simulink untuk memperoleh nilai bobot  $W$  dengan algoritma Widrow-Hoff dapat digambarkan pada gambar 5.



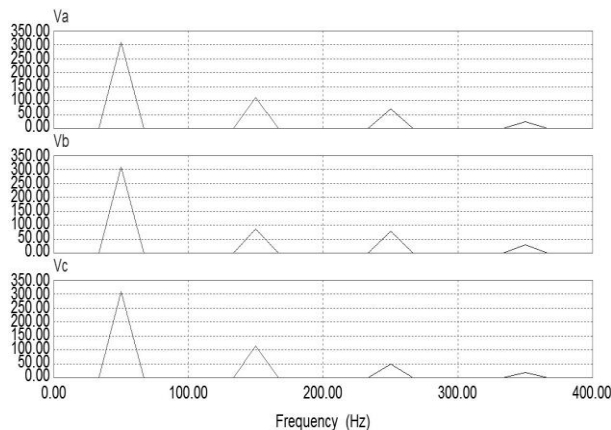
Gambar 5: Rangkaian Kompensasi  $V_c(t)$

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk membuktikan kerja *Series Active Power Filter* dengan metode kompensasi JST, maka rangkaian disimulasi menggunakan gabungan software PSIM dan Matlab Simulink. Rangkaian sumber, beban dan inverter dimodelkan pada PSIM sedangkan kontrol kompensasinya menggunakan Matlab Simulink. Sumber yang mengandung harmonisa dan tidak seimbang dapat dilihat pada gambar 6 dan gambar 7.

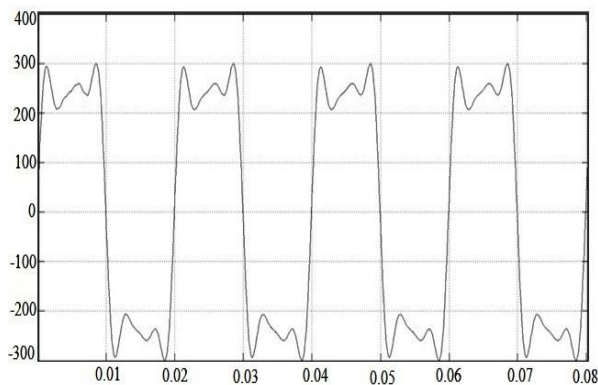


Gambar 6: Sumber tiga fasa tak seimbang dan membangkitkan harmonisa

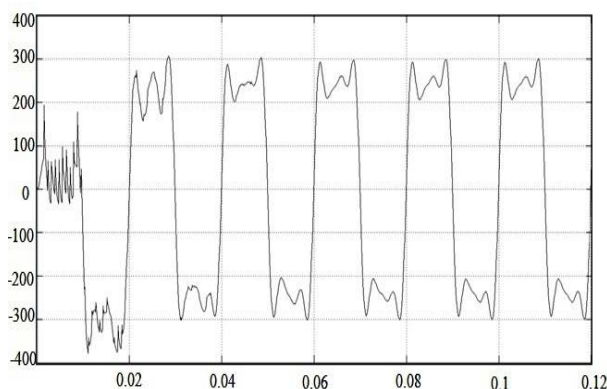


Gambar 7: Spektrum harmonisa sumber tiga fasa

Gambar 8 menunjukkan pembacaan sinyal oleh Matlab Simulink untuk *input* sumber tegangan harmonisa ( $V_s$ ) fasa A yang masuk ke sistem JST:

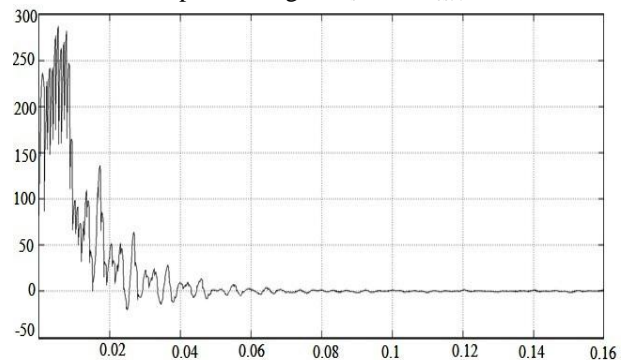
Gambar 8: *Input* sumber tegangan harmonisa fasa A

Tegangan estimasi adalah total tegangan sinyal sinus dan kosinus yang dihasilkan oleh rangkaian JST yang diharapkan menghasilkan tegangan yang sama dengan *input* sumber tegangan harmonisa dengan *gain* (*learning rate*) 0.2 (Gambar 9).

Gambar 9: Tegangan estimasi ( $V_{est}$ ) yang dihasilkan jaringan syaraf tiruan

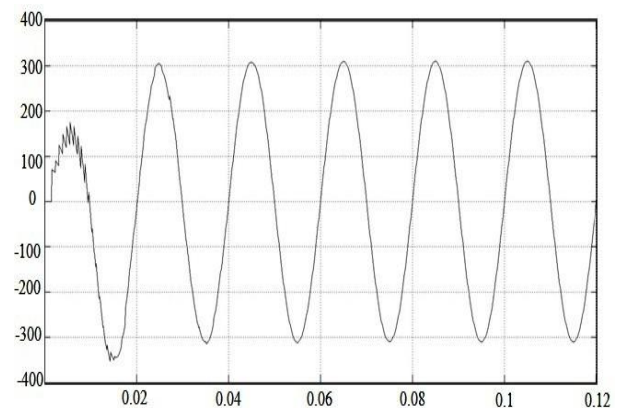
Gambar 9 menunjukkan *output* dari proses *learning* JST. Dibutuhkan waktu sekitar 0.05 detik untuk menghasilkan tegangan estimasi yang *steady*

*state* dan menyerupai *input* tegangan sumber harmonisa ( $V_s$ ). Dengan melihat gambar 6 dan gambar 7 maka gambar 10 menunjukkan *error* yang dihasilkan dari perbandingan  $V_s$  dan  $V_{est}$ :

Gambar 10: *Error*  $e(k)$ 

Pada simulasi dihasilkan *error* dengan *ripple* yang cukup tinggi dari  $t = 0$  detik hingga  $t = 0.04$  detik, namun setelahnya *error* semakin mendekati nol karena proses *learning* yang dilakukan.

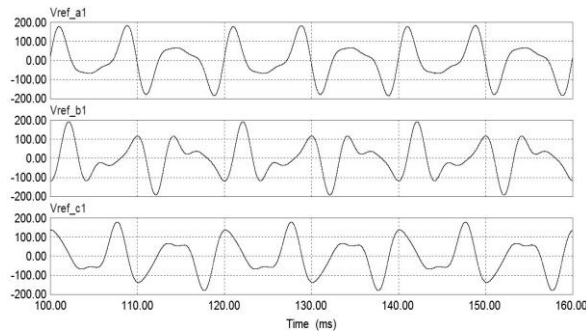
Karena tegangan estimasi sudah menyerupai *input* tegangan harmonisa fasa A maka *output* tegangan fundamental yang merupakan *output* JST dapat ditentukan seperti pada gambar 11:

Gambar 11: Tegangan fundamental ( $V_p$ )

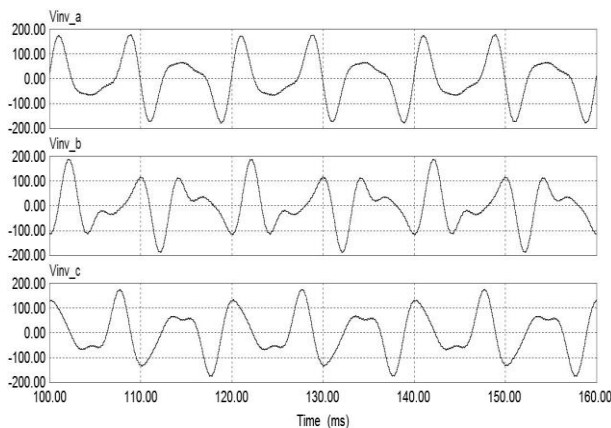
Tegangan fundamental tersebut identik dengan tegangan fundamental fasa A yang dibangkitkan pada sistem jaringan listrik dengan  $V_{rms} = 219.4$  Volt dan  $V_{peak} = 310.48$  Volt.

Proses selanjutnya adalah menentukan tegangan referensi bagi VSI yang merupakan tegangan harmonisa melalui perbandingan antara sumber tegangan tiga fasa yang mengandung harmonisa dan tidak seimbang dengan tegangan fundamental yang dihasilkan oleh JST dapat dilihat pada gambar 12.

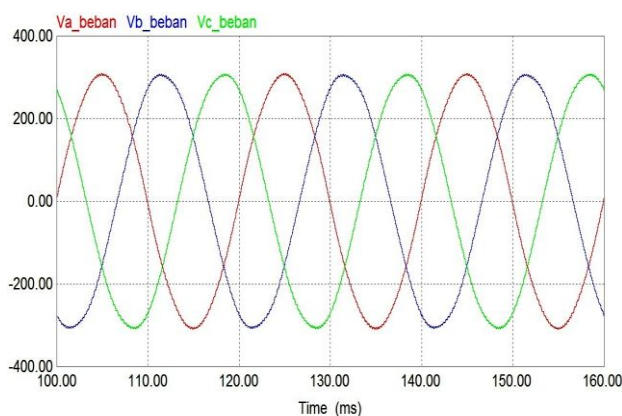


Gambar 12: Tegangan referensi ( $V_c$ ) tiga fasa

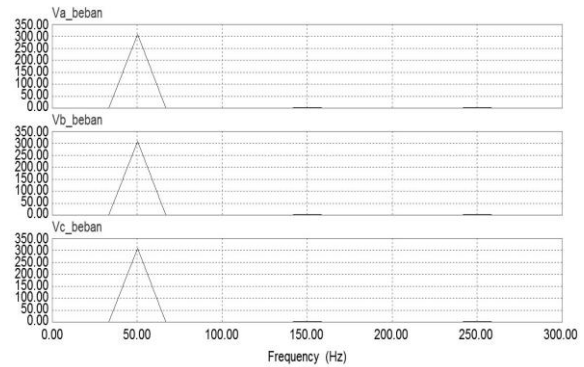
Tegangan referensi ini dibandingkan dengan sinyal segitiga untuk menghasilkan PWM sebagai pemicu IGBT. Proses ini berlangsung hingga tegangan *output* VSI semakin menyerupai tegangan referensi. Tegangan *output* inilah yang kemudian diinjeksi ke sistem melalui trafo yang dihubungkan seri dengan sistem. Gambar 13 menunjukkan tegangan output VSI. Gelombang tegangan hasil kompensasi *Series* APF dan spektrum harmonisanya tampak pada gambar 14 dan 15. Terlihat bahwa tegangan beban berbentuk sinusoidal dan seimbang dengan  $V_{rms} = 218.9$  Volt.



Gambar 13: Tegangan output VSI yang diinjeksi ke sistem



Gambar 14: Tegangan sistem setelah kompensasi



Gambar 15: Spektrum harmonisa setelah dikompensasi

## 5. KESIMPULAN

Komponen rangkaian Jaringan Syaraf Tiruan (JST) baik dari *input* sumber sinus kosinus maupun *learning rate*, parameternya ditentukan secara manual, dan ketika tegangan sumber harmonisa diinjeksi ke jaringan syaraf tiruan sebagai pembanding maka secara *fleksible* Jaringan syaraf tiruan beradaptasi dengan perubahan yang ada, melalui proses *learning* pada bobot  $W$ .

Selain itu, dengan mengatur *gain* (*learning rate*), *time delay*, dan amplitudo sinus kosinus input  $V(t)$  mempengaruhi tegangan estimasi, dengan pengaturan yang tepat dihasilkan tegangan estimasi yang menyerupai tegangan sumber harmonisa. Semakin menyerupai tegangan sumber harmonisa, semakin kecil *error* yang dihasilkan dan diharapkan sama dengan nol. Ketika *error* sama dengan nol didapat arus referensi (arus harmonisa murni) yang dikehendaki yang akan diinjeksi ke VSI.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangkaian *Series Active Power Filter* tiga fasa dengan metode kompensasi Jaringan Syaraf Tiruan secara efektif mampu mengatasi sumber tegangan tiga fasa yang terdistorsi harmonisa dan tidak seimbang.

## Referensi

- [1] C. Sankaran, *Power quality*, CRC Press, 2002.
- [2] H. Kawahira, T. Nakamura, S. Nakazawa, and M. Nomura, *Active power filters*, in Proc. IEEE-IPEC, Mar. 1983, pp. 981–992.
- [3] Peng F. Z, *Harmonic sources and filtering approaches*, Industry Applications Magazine, IEEE, 2001 7(4): p.18-25.
- [4] Green, T.C. and J.H. Marks, *Control techniques for active power filters*, Electric Power applications, IEEE Proceedings, 2005, 152(2):pp.369-381.
- [5] Temurtas, F., et al., *Harmonic detection using feed forward and recurrent neural networks for active filter*, Electric Power Systems Research, 2004, 72(1): pp. 33-40.
- [6] Hanny H. Tumbelaka, Thiang, Sorati, *Aplikasi Jaringan Saraf Tiruan pada Shunt Active Power Filter Tiga Fasa*, Proceeding of the 11th Industrial Electronics Seminar 2009, ITS, Surabaya.