

PEMBANGUNAN SATU KAEDAH CEKAP DALAM PENGESANAN DAN PENKELASAN GANGGUAN KUALITI KUASA

RAMIZI MOHAMED¹, AZAH MOHAMED² & AINI HUSSAIN³

Abstrak. Pengesanan dan pengkelasan data gangguan kualiti kuasa secara automatik telah menjadi penting terutamanya untuk menangani masalah gangguan pangkalan data yang besar. Kertas kerja ini membentangkan satu kaedah cekap dalam pengesanan dan pengkelasan gangguan kualiti kuasa. Kaedah yang dicadangkan untuk mengesan gangguan adalah berdasarkan penjelmaan anak gelombang diskrit dan pengekodan ramalan lurus manakala kaedah yang telah dibangunkan untuk mengkelaskan gangguan adalah berdasarkan rangkaian neural tiruan (RNT). Sebelum pelaksanaan RNT, isyarat gangguan dikesan terlebih dahulu untuk mendapatkan pekali anak gelombang kuasa dua dan pekali pengekodan ramalan lurus. Pekali ini mewakili sifat bagi berbagai jenis gangguan dan digunakan sebagai data masukan kepada RNT yang telah dibina. Oleh itu, anak gelombang dan pengekodan ramalan lurus digunakan sebagai prapemprosesan isyarat gangguan yang kemudiannya disambungkan kepada RNT. Dalam pelaksanaan RNT, model rangkaian neural lapisan berbilang dengan algoritma perambatan ke belakang telah dipertimbangkan. Reka bentuk RNT yang telah dibangunkan adalah berbentuk hierarki dan modular supaya RNT yang berasingan dikhaskan untuk mengkelas berbagai jenis gangguan dan juga gangguan dengan kadar persampelan yang berbeza. Keputusan yang diperolehi menunjukkan bahawa kaedah anak gelombang dan pengekodan ramalan lurus adalah sangat berkesan untuk mengesan gangguan kualiti kuasa dan kaedah RNT pula dapat mengkelaskan dengan jitu gangguan kualiti kuasa seperti lendut voltan, ampul voltan, fana dan takukan.

Kata kunci: Kualiti kuasa, anak gelombang, pengekodan ramalan lurus, rangkaian neural

Abstract. Automated power quality disturbance detection and classification is preferred so as to enable faster and more efficient analysis of a disturbance large database. This paper presents an efficient method to detect and classify some power quality disturbances. The proposed method for detecting the disturbances is based on discrete wavelet transform and linear predictive coding whereas the method for classifying the disturbances is based on artificial neural network (ANN). Prior to the ANN implementation, the disturbance signals are first detected by the discrete wavelet transform and the linear predictive coding techniques to obtain the squared wavelet transform coefficients and the linear predictive coding coefficients. These features represent the various disturbances and serve as inputs to the developed ANNs. Therefore, wavelets and linear predictive coding are employed as a preprocessing stage and is connected to the ANN. In the ANN implementation, the multilayer perceptron neural network model and the backpropagation algorithm are considered. The design of the developed ANNs are hierarchical as well as modular in nature so that separate ANNs are dedicated to classify the various types of disturbances and to handle the disturbances with different sampling rates. The results obtained show that the wavelets and the linear predictive coding methods are effective in detecting

^{1,2,3}Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem, Fakulti Kejuruteraan, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM, Bangi, Selangor, MALAYSIA. Tel.: +(03) 89296323 Fax: +(03) 89296416. Email: azah@vlsi.eng.ukm.my

power quality disturbances and the ANNs can accurately classify the disturbances such as voltage sag, voltage swell, transients and notching.

Keywords: Power quality, wavelets, linear predictive coding, neural networks

1.0 PENGENALAN

Kualiti kuasa telah menjadi isu utama semenjak beberapa tahun kebelakangan akibat daripada perkembangan alatan elektronik yang canggih dan sensitif terhadap gangguan kuasa. *Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE)* mentakrifkan gangguan kualiti kuasa sebagai lendut voltan, ampul voltan, putusan bekalan, hingar, harmonik, fana dedenyut, fana ayunan, voltan lebihan dan voltan berkurangan [1]. Gangguan seperti ini boleh mengakibatkan kerosakan alat, pemanasan berlebihan dan kepinangan geganti. Disebabkan permasalahan ini, kebanyakan pembekal kuasa telah mengambil langkah untuk mengawas dan mengumpul data gangguan yang terdapat dalam sistem kuasa.

Untuk tujuan peningkatan kualiti kuasa, punca bagi setiap gangguan mestilah dikenal pasti dan diperbaiki [2]. Walau bagaimanapun, sebelum mendapatkan maklumat berkenaan, pengesanan dan pengelasan berbagai-bagai jenis gangguan perlu dilakukan terlebih dahulu. Kaedah lazim untuk mengesan setiap gangguan adalah mengikut perbandingan titik ke titik [3]. Walau bagaimanapun, kaedah ini tidak sesuai bagi tujuan mengesan isyarat gangguan yang banyak. Penggunaan siri Fourier telah berjaya mengesan isyarat gangguan keadaan mantap tetapi bagi isyarat tak pegun dan tak berkala, kaedah anak gelombang dan pengekodan ramalan lurus adalah lebih sesuai digunakan. Pada asalnya, kaedah anak gelombang dan pengekodan ramalan lurus telah diperkenalkan untuk analisis isyarat suara. Kaedah anak gelombang telah digunakan lebih awal untuk mengesan isyarat gangguan fana dan lendut voltan [3-6], manakala kaedah rangkaian neural tiruan (RNT) digunakan untuk mengkelas gangguan kualiti kuasa [7,8].

Kertas kerja ini membentangkan pembangunan kaedah yang cekap dan jitu dalam pengesanan dan pengelasan gangguan kualiti kuasa. Dalam pengesanan gangguan kualiti kuasa, kedua-dua kaedah anak gelombang dan pengekodan ramalan lurus digunakan. Kaedah pengekodan ramalan lurus digunakan untuk meningkatkan keupayaan penyarian sifat bagi isyarat gangguan. Pengelasan gangguan kualiti kuasa adalah berdasarkan kaedah rangkaian neural tiruan. Pelaksanaan pengesanan dan pengelasan berbagai-bagai jenis gangguan kualiti kuasa telah dilakukan dengan menggunakan perisian Matlab.

2.0 TEORI ANAK GELOMBANG

Teori anak gelombang adalah teori matematik yang dikaitkan dengan model bagi isyarat tak pegun dengan sebuah set mengandungi komponen-komponen anak gelombang yang disebut *wavelet* [9,10]. Anak gelombang mestilah berayun dan

mempunyai amplitud yang menyusut secara pantas. Dalam pengembangan anak gelombang, suatu fungsi isyarat, $f(x)$, ditakrifkan sebagai satu set penambahan isyarat-isyarat kecil yang mengandungi fungsi asas yang dikenali sebagai fungsi anak gelombang dan fungsi skala. Persamaan (1) menunjukkan fungsi isyarat, $f(x)$, yang dikembangkan mengikut kaedah anak gelombang,

$$f(x) = \sum_{k=0}^{2^{J_0-1}} c_{J_0,k} \phi_{J_0,k}(x) + \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{j=J_0}^{2^{J-1}} d_{j,k} \psi_{j,k}(x), \quad x \in \mathfrak{R} \quad (1)$$

dengan \mathfrak{R} diberikan sebagai satu nombor nyata.

Seperti dalam pengembangan Fourier, pengembangan anak gelombang akan menguraikan isyarat gelombang kepada dua fungsi yang disebut fungsi anak gelombang ($\psi_{j,k}$) dan fungsi skala ($\phi_{j,k}$) masing-masing seperti diberikan oleh Persamaan (2) dan (3),

$$(\psi_{j,k}) = 2^{j/2} \psi(2^j x - k) \quad (2)$$

$$(\phi_{j,k}) = 2^{j/2} \phi(2^j x - k) \quad (3)$$

Fungsi skala dan fungsi anak gelombang akan terskala dengan skala 2^j , untuk nilai penskalaan $j = 1, 2, 3, \dots, J_0-1, J_0$. J_0 adalah nilai skala terakhir dalam penjelmaan anak gelombang. Penskalaan bermakna bahawa anak gelombang yang digunakan akan berubah saiz lebarnya mengikut nilai skalanya. Fungsi $\phi(2^j x - k)$ dan fungsi $\psi(2^j x - k)$ menunjukkan bahawa kedua-dua fungsi skala dan fungsi anak gelombang akan teranjak dengan nilai anjakan k .

Untuk setiap fungsi anak gelombang dan fungsi skala, set pekali anak gelombang diberikan oleh Persamaan (4) dan (5). Pekali ini adalah hasil penguraian pengembangan anak gelombang dengan $c_{j,k}$ dan $d_{j,k}$ masing-masing mewakili pekali bagi fungsi $\phi_{j,k}$ dan $\psi_{j,k}$. Pekali $c_{j,k}$ dan $d_{j,k}$ juga dikenali sebagai pekali terhampir dan pekali terperinci terhadap isyarat asal, $f(x)$.

$$c_{j,k} = \int_0^1 f(x) \phi_{j,k}(x) dx \quad (4)$$

$$d_{j,k} = \int_0^1 f(x) \psi_{j,k}(x) dx \quad (5)$$

3.0 TEORI PENGEKODAN RAMALAN LELURUS (PRL)

Mengikut kaedah PRL, isyarat keluaran boleh diterbitkan dengan menimbangkan satu sampel bentuk gelombang $s(t)$ pada masa t , yang ditulis mengikut,

$$s(t) \approx a_1 s(t-1) + a_2 s(t-2) + \dots + a_p s(t-p) \quad (6)$$

dengan a_1, a_2, \dots, a_p sebagai pemalar dalam satu bingkai analisis tertentu, dan p adalah unit sampel terakhir bagi isyarat gelombang $s(t)$. Teori asas PRL adalah dengan membuat ramalan terhadap nilai persampelan semasa daripada nilai persampelan sebelumnya [11]. Untuk proses ramalan ini, persampelan sebelumnya bagi isyarat $s(t)$ diandaikan sebagai persampelan teranggar semasa yang diberikan oleh persamaan berikut:

$$\tilde{s}(t) = \sum_{k=1}^p \alpha_k s(t-k) \quad (7)$$

dengan

$\tilde{s}(t)$: isyarat teranggar

α_k : pekali ramalan

Daripada Persamaan (7), masalah asas terhadap analisis PRL adalah untuk mendapatkan satu set pekali ramalan, α_k , daripada bentuk gelombang isyarat. Pekali ramalan ini mestilah mempunyai ciri spektral yang sepadan dengan bentuk gelombang isyarat asal [11]. Untuk mendapatkan nilai pekali ramalan, kaedah yang biasa digunakan adalah dengan meminimumkan ralat ramalan min kuasa dua untuk satu segmen kecil gelombang. Nilai ralat min kuasa dua diwakili oleh persamaan berikut:

$$\hat{E}_n = \theta_n(0,0) - \sum_{k=1}^p \alpha_k^* \theta_n(0,k) \quad (8)$$

dengan,

\hat{E}_n : nilai ralat min kuasa dua

α_k^* : nilai optimum pekali ramalan

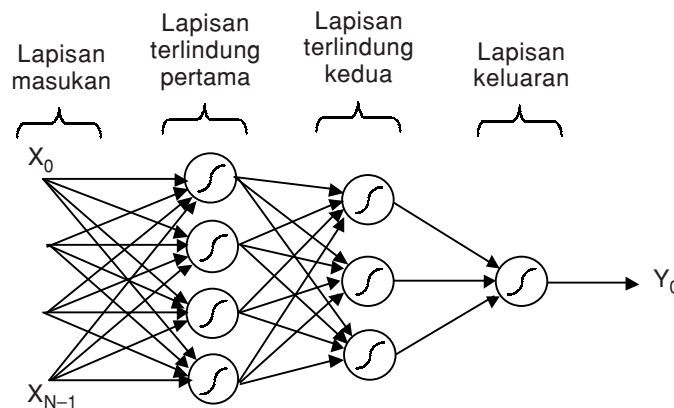
Nilai minimum ralat min kuasa dua mengandungi pekali tetap $\theta_n(0,0)$, yang mewakili nilai tenaga bagi isyarat $s(t)$, dan juga pekali yang berkadar terus dengan pekali ramalan. Terdapat dua teknik untuk menyelesaikan Persamaan (8), iaitu, teknik auto-sekaitan dan teknik kovarian. Walau bagaimanapun, teknik yang sesuai digunakan adalah kaedah autosekaitan kerana kestabilannya dalam membuat anggaran terhadap pekali ramalan [9].

4.0 TEORI RANGKAIAN NEURAL TIRUAN

Rangkaian neural tiruan (RNT) merupakan suatu teknik kepintaran buatan yang boleh melaksanakan penyelesaian sesuatu masalah yang beranalogi kepada fungsi elemen biologi seperti dalam otak manusia [12]. Pada asasnya, RNT ialah suatu rangkaian pemproses ringkas yang dikenali sebagai neuron dengan setiap satunya mempunyai daya ingatan. Neuron dihubungkan antara satu sama lain melalui satu saluran yang membawa data berangka yang dikodkan dengan pelbagai cara.

Rangkaian neural tiruan mempunyai suatu struktur padat yang mengandungi sambungan secara selari dengan maklumat pemprosesan disebar secara menyeluruh dalam struktur tersebut. Struktur selari dalam RNT membenarkan pengiraan dilakukan dengan cepat serta penyelesaian masalah dapat dilakukan dengan lebih tepat [12].

Rajah 1 menunjukkan satu contoh seni bina RNT lapisan suap ke depan yang mengandungi lapisan masukan, dua lapisan terlindung dan lapisan keluaran. Dari segi struktur penyambungan, lapisan terlindung akan menerima isyarat masukan daripada lapisan masukan. Keluaran daripada lapisan terlindung pula akan menjadi isyarat masukan kepada lapisan keluaran. Oleh itu, melalui penyambungan ini, data masukan akan disalurkan secara suap ke depan. Rangkaian neural berbilang lapisan adalah rangkaian yang sering digunakan dalam aplikasi pengecaman corak dan pengkelasan. Rangkaian neural ini dilatih dengan menggunakan algoritma perambatan ke belakang yang berasaskan hukum pembelajaran Widrow-Hoff [12].

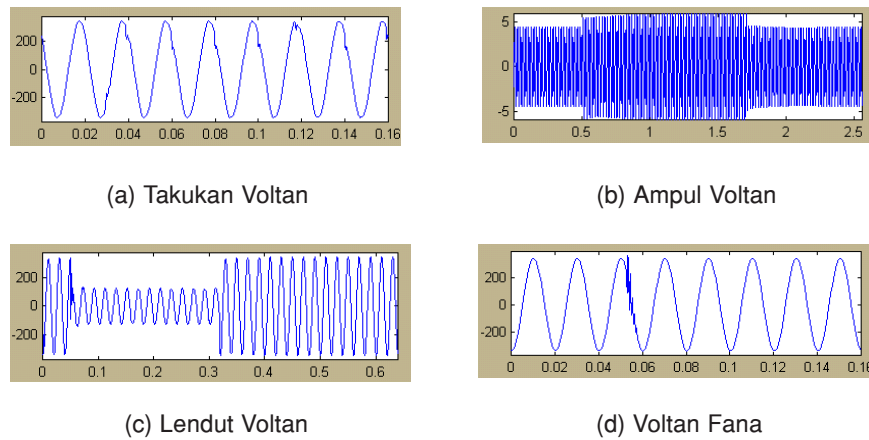


Rajah 1 Rangkaian neural berbilang perceptron

5.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Dalam bahagian ini, dibentangkan dahulu keputusan analisis anak gelombang dan pengekodan ramalan lurus terhadap isyarat gangguan kualiti kuasa dan diikuti pula dengan keputusan analisis RNT dalam pengkelasan isyarat gangguan.

Terlebih dahulu, dipertimbangkan gangguan kualiti kuasa yang terkumpul dari projek pengawasan yang terbahagi kepada tiga kategori mengikut frekuensi persampelan, iaitu 6.4 kHz, 1.6 kHz dan 0.4 kHz. Kebanyakan data gangguan yang diperolehi dari pengawasan adalah voltan fana pada 6.4 kHz, ampul voltan pada 1.6 kHz, takukan voltan pada 6.4 kHz dan lendut voltan pada 0.4, 1.6 dan 6.4 kHz. Oleh itu, pengkelasan gangguan kualiti kuasa dikategorikan mengikut jenis gangguan dan frekuensi persampelannya. Rajah 2 menunjukkan contoh gangguan kualiti kuasa yang dikaji, iaitu takukan voltan, lendut voltan, ampul voltan dan fana.



Rajah 2 Contoh gangguan kualiti kuasa

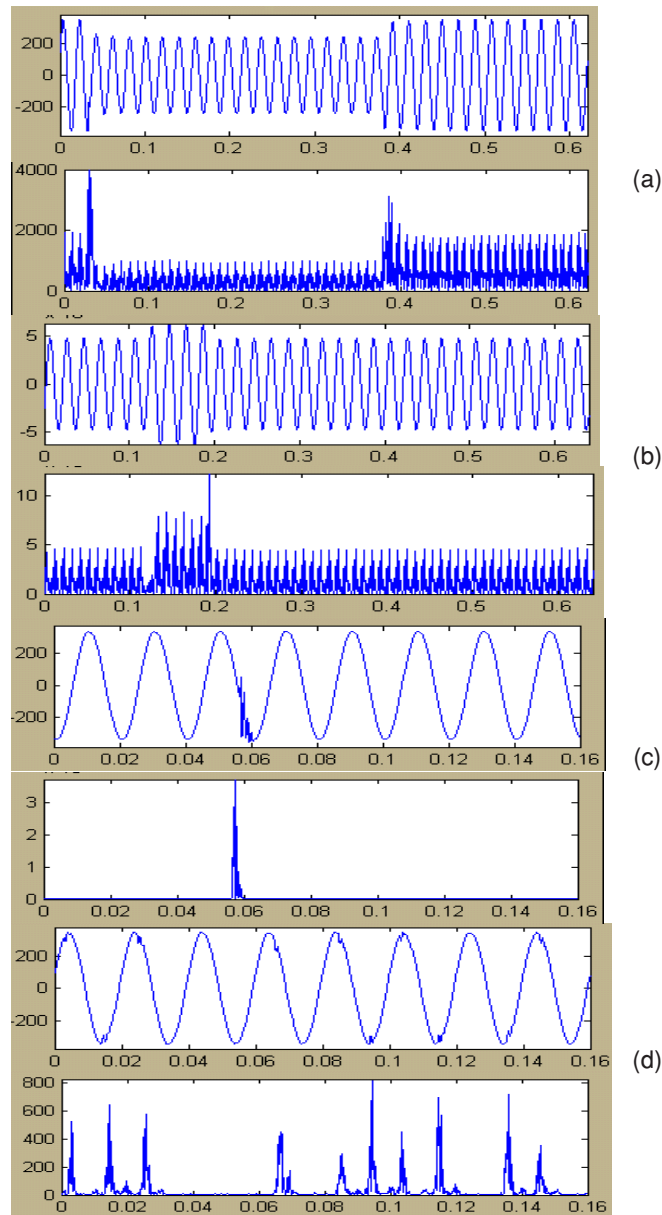
5.1 Analisis Anak Gelombang dalam Pengesanan Gangguan

Pengesanan gangguan kualiti kuasa dengan kaedah anak gelombang telah dilakukan dalam bentuk pekali terperinci anak gelombang yang terjelma. Dengan menggunakan penguraian isyarat kebezajelasan berbilang [6], isyarat gangguan kualiti kuasa diuraikan kepada tiga tahap penguraian dan pekali diganda kuasa dua untuk mendapatkan pekali anak gelombang kuasa dua. Rajah 3 menunjukkan keputusan analisis pengesanan gangguan lendut voltan, ampul voltan, fana dan takukan voltan dengan menggunakan kaedah anak gelombang. Bagi setiap isyarat gangguan, corak dan magnitud pekali anak gelombang kuasa dua yang mencirikan setiap gangguan ditunjukkan dalam Rajah 3.

Daripada analisis anak gelombang yang dilakukan terhadap gangguan kualiti kuasa, didapati bahawa penggunaan campuran pekali kuasa dua pada tahap penguraian 1, 2 dan 3 adalah lebih berkesan untuk menentukan kedudukan dan tempoh gangguan kualiti kuasa berbanding dengan hanya pekali kuasa dua pada satu tahap. Campuran pekali anak gelombang kuasa dua menunjukkan keunikan gangguan kualiti kuasa dan ia mewakili sifat bagi berbagai jenis gangguan. Oleh itu, campuran pekali anak gelombang kuasa dua telah digunakan sebagai data masukan ke RNT yang dibina untuk mengelaskan berbagai jenis gangguan.

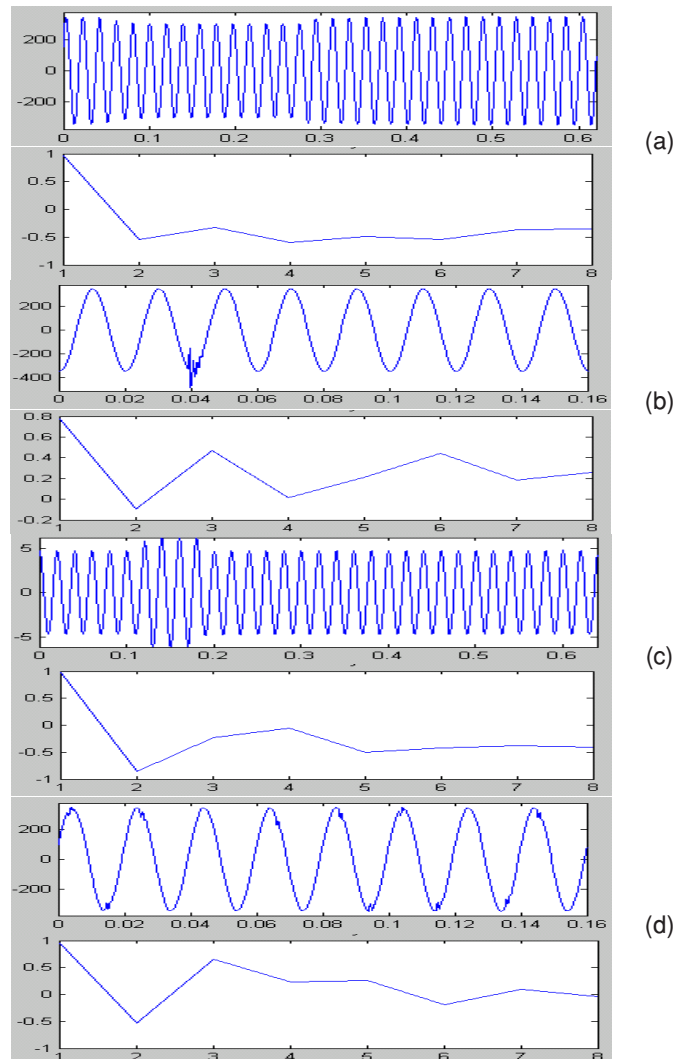
5.2 Analisis Pengekodan Ramalan Lelurus dalam Pengesanan Gangguan

Pengesanan gangguan kualiti kuasa dengan menggunakan kaedah PRL adalah berdasarkan kepada teknik tettingkap bergerak dengan memaparkan pekali ramalan pada setiap tettingkap. Dengan menggunakan kaedah tettingkap bergerak, bentuk gelombang isyarat dengan gangguan dan bentuk gelombang isyarat tanpa gangguan



Rajah 3 Pengesanan gangguan kualiti kuasa dan pekali anak gelombang kuasa dua
 (a) Lendut Voltan (b) Ampul Voltan (c) Fana Berayun (d) Takukan Voltan

dapat diasingkan di antara satu sama lain. Kedudukan masa berlakunya gangguan boleh diketahui melalui kedudukan masa pada bingkai yang memerangkap isyarat gangguan. Dengan melakukan analisis pekali PRL, didapati bahawa corak PRL yang terhasil mempunyai bentuk yang unik untuk setiap jenis gangguan seperti ditunjukkan dalam Rajah 4. Pekali PRL boleh dianggap sebagai mewakili sifat bagi berbagai-



Rajah 4 Pengesanan gangguan kualiti kuasa dan pekali pengekodan ramalan lurus
(a) Lendut Voltan (b) Fana Berayun (c) Ampul Voltan (d) Takukan

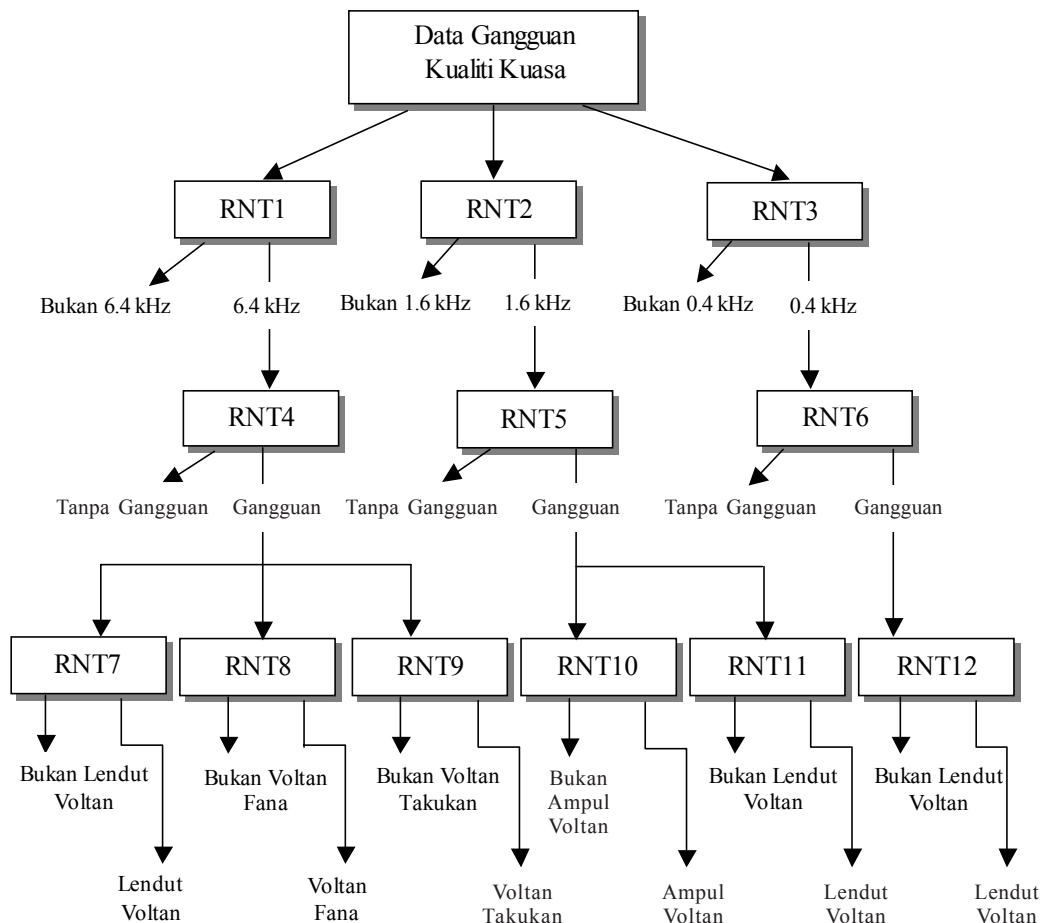
bagai jenis gangguan dan oleh itu, ia juga digunakan sebagai data masukan ke RNT yang dibina.

5.3 Keputusan Rangkaian Neural dalam Pengkelasan Gangguan

Berdasarkan kepada frekuensi persampelan dan jenis gangguan yang telah dipertimbangkan, tiga tahap pembinaan RNT telah dibangunkan, iaitu, tahap pertama untuk mengkelaskan gangguan dengan frekuensi persampelan 6.4 kHz, 1.6 kHz dan 0.4 kHz, tahap kedua untuk mengkelaskan isyarat gangguan dan isyarat tanpa gangguan

dan tahap ketiga untuk mengelaskan isyarat gangguan mengikut jenis tertentu. Rajah 5 menggambarkan tahap model RNT yang telah dibina dan sebanyak 12 RNT telah dibangunkan. Untuk setiap RNT, data masukannya adalah gabungan pekali anak gelombang dan pekali PRL. Setiap RNT mempunyai satu keluaran yang memberikan nilai 1 atau 0, yang menandakan bahawa '1' adalah isyarat terkelas dan '0' adalah isyarat tidak terkelas. Keputusan pengelasan isyarat gangguan untuk setiap RNT diberikan dalam Jadual 1.

Hasil keputusan RNT menunjukkan bahawa gangguan lendut voltan (RNT7, RNT11) dan ampul voltan (RNT10) mempunyai peratus pengelasan yang tinggi berbanding dengan jenis gangguan lain. Keputusan RNT yang mempunyai peratus



Tahap pertama : RNT1, RNT2 dan RNT3

Tahap kedua : RNT4, RNT5 dan RNT6

Tahap ketiga : RNT7, RNT8, RNT9, RNT10, RNT11 dan RNT12

Rajah 5 Reka bentuk hierarki RNT bagi pengelasan gangguan kualiti kuasa

Jadual 1 Keputusan RNT dalam pengkelasan gangguan

Model RNT	Bil. Set Latihan	Bil. Set Ujian	Peratus Pengkelasan
RNT1	472	1013	99.6%
RNT2	472	1013	99.4%
RNT3	472	1013	99.2%
RNT4	212	428	97.2%
RNT5	193	388	94.1%
RNT6	76	155	82.6%
RNT7	179	361	95.8%
RNT8	173	350	82.9%
RNT9	173	350	75.1%
RNT10	160	321	97.2%
RNT11	160	321	97.2%
RNT12	76	155	82.6%

pengkelasan yang agak rendah seperti keputusan RNT12 untuk lendut voltan mungkin disebabkan oleh kekurangan set data latihan untuk gangguan ini.

Peratus pengkelasan yang rendah juga ditunjukkan dalam pengkelasan gangguan fana (RNT8) dan takukan voltan (RNT9) dengan masing-masing peratus pengkelasan 82.9 dan 75.1 peratus. Keadaan ini mungkin disebabkan oleh bentuk gangguan takukan voltan yang hampir sama dengan bentuk gangguan fana. Kedua-dua bentuk gangguan ini digunakan dalam proses latihan RNT pada tahap pertama dan kedua. Oleh itu, RNT yang diuji sukar untuk membezakan kedua-dua jenis gangguan ini.

Kesemua RNT yang telah dibangunkan seperti ditunjukkan dalam Jadual 1 telah menggunakan gabungan pekali anak gelombang dan pekali PRL sebagai data masukan ke RNT. Untuk menunjukkan keberkesanan penggunaan pekali PRL, perbandingan keputusan RNT dibuat antara penggunaan gabungan pekali anak gelombang dan pekali PRL dan penggunaan pekali anak gelombang sahaja. Perbandingan keputusan RNT yang dimaksudkan adalah seperti ditunjukkan dalam Jadual 2. Dengan membuat perbandingan keputusan ini, didapati bahawa RNT yang menggunakan gabungan pekali anak gelombang dan pekali PRL memberikan peratus pengkelasan gangguan yang lebih baik berbanding dengan RNT yang hanya menggunakan pekali anak gelombang.

Jadual 2 Perbandingan keputusan RNT

Model RNT	Peratus Pengkelasan	
	Pekali Anak Gelombang dan Pekali PRL	Pekali Anak Gelombang
RNT4	97.2%	91.0%
RNT5	94.1%	86.3%
RNT6	82.6%	73.6%
RNT12	82.6%	72.7%

6.0 KESIMPULAN

Pengesanan dan pengkelasan gangguan kualiti kuasa telah dibangunkan dengan menggunakan kaedah anak gelombang dan pengekodan ramalan lurus untuk mengesan gangguan dan kaedah RNT untuk mengkelaskan gangguan. Dua belas model RNT telah dibina untuk mengkelaskan gangguan kualiti kuasa yang telah dikategorikan mengikut frekuensi persampelan dan jenisnya seperti lendut voltan, ampul voltan, fana dan takukan voltan. Dalam pengkelasan gangguan, RNT yang dibina adalah berbentuk bermodul dan hierarki. Kelebihan menggunakan model RNT bermodul ialah dapat mempercepatkan proses latihan RNT. Secara keseluruhan, keputusan ujian RNT menunjukkan bahawa RNT yang menggunakan gabungan pekali anak gelombang dan pekali pengekodan ramalan lurus dapat menghasilkan pengkelasan gangguan kualiti kuasa dengan baik. Oleh itu, boleh dirumuskan bahawa kaedah anak gelombang dan pengekodan ramalan lurus dapat mengesan dan menyuarikan sifat gangguan dengan baik. Kaedah RNT yang dibina juga berkemampuan untuk mengkelaskan berbagai jenis gangguan dengan baik.

PENGHARGAAN

Pengarang ingin merakamkan penghargaan kepada kerajaan Malaysia dan UKM atas bantuan kewangan penyelidikan di bawah kod IRPA 02-02-02-003.

RUJUKAN

- [1] IEEE Std 1159-1995. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.
- [2] Mueller, D. & J. Lamoree. 1998. Detecting, Identifying and Correcting Power Quality Problems. *Power Quality '98 / Power Value '98 Proceeding*, November: 221-228.
- [3] Santoso, S., E.J. Powers & P. Hofmann. 1996. Power Quality Assessment Via Wavelet Transform Analysis. *IEEE Transactions on Power Delivery* 11(2): 924-930.
- [4] Angrisani, L., P. Daponte & M. D'Apuzzo. 1998. A Method Based on Wavelet Networks for the Detection and Classification of Transients. *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, May: 903-908.

- [5] Kopparapu, C. & A. Chandrasekaran. 1998. A Study on the Application of Wavelet Analysis to Power Quality. *The Thirtieth Southern Symposium on System Theory*, pp. 350-353.
- [6] Gaouda, A. M., M. M. A. Salama, M. R. Sultan & A. Y. Chikhani. 1999. Power Quality Detection and Classification Using Wavelet-Multiresolution Signal Decomposition. *IEEE Transactions on Power Delivery* PE-207-PWRD-0-01-1999.
- [7] Ghosh, A. K. & D. L. Lubkeman. 1994. The Classification of Power System Disturbance Waveforms Using a Neural Network Approach. *Proceeding of the IEEE 1994 Transmission and Distribution Conference*, pp. 323-329.
- [8] Perunicic, B., M. Mallini, Z. Wang & Y. Liu. 1998. Power Quality Disturbance Detection and Classification Using Wavelets and Artificial Neural Networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*, pp. 77-82.
- [9] Rabiner, L. & B. H. Juang. 1993. *Fundamental of Speech Recognition*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.
- [10] Lee, C. H., Y. J. Wang & W. L. Huang. 2000. A Literature Survey of Wavelets in Power Engineering Applications. *Proc. Nat. Science Council. ROC(A)* 24(4): 249-258.
- [11] Aini Binti Hussain. 1997. The Development of a Phoneme Based Malay Speech Recognition System Using The Modular Artificial Neural Network Approach. Tesis Dr. Fal. Universiti Kebangsaan Malaysia.
- [12] Mehra, P. & B. W. Wah. 1992. *Artificial Neural Network: Concepts and Theory*. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press.