



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SERTIFIKAT PATEN SEDERHANA

Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia atas nama Negara Republik Indonesia berdasarkan Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2016 tentang Paten, memberikan hak atas Paten Sederhana kepada:

Nama dan Alamat Pemegang Paten : UNIVERSITAS DIPONEGORO
Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang
Semarang 50275
INDONESIA

Untuk Inovasi dengan Judul : METODE PENENTUAN ARSITEKTUR OPTIMAL UNTUK
MODEL KOMBINASI WAVELET DAN JARINGAN SYARAF
TIRUAN

Inventor : Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si.
Dr. Rukun Santoso, M.Si.
Dr. Tarno, M.Si.
Hasbi Yasin, S.Si., M.Si.

Tanggal Penerimaan : 22 Agustus 2017

Nomor Paten : IDS000001829

Tanggal Pemberian : 16 Mei 2018

Perlindungan Paten Sederhana untuk inovasi tersebut diberikan untuk selama 10 tahun terhitung sejak Tanggal Penerimaan (Pasal 23 Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2016 tentang Paten).

Sertifikat Paten Sederhana ini dilampiri dengan deskripsi, klaim, abstrak dan gambar (jika ada) dari inovasi yang tidak terpisahkan dari sertifikat ini.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001

Deskripsi

METODE PENENTUAN ARSITEKTUR OPTIMAL UNTUK MODEL KOMBINASI WAVELET DAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

5 Bidang Teknik Invensi

Invensi yang akan dimintakan perlindungan patennya adalah metode penentuan arsitektur optimal untuk model kombinasi Wavelet dan Jaringan Syaraf tiruan (JST) pada runtun waktu. Metode yang diusulkan dimaksudkan untuk mendapatkan input optimal dari suatu runtun waktu. Tahapan prosedur pemodelan meliputi tahap pertama dekomposisi data asli dengan transformasi wavelet MODWT menghasilkan koefisien-koefisien wavelet sebagai kandidat input model, tahap kedua pemilihan input model menggunakan kriteria Minimum Redundancy Maximum Relevance (mRMR), tahap ketiga pemrosesan pada lapisan JST dengan sejumlah unit pada lapisan tersembunyi menggunakan metode optimasi algoritma genetika untuk menghitung tingkat keakuratan model, serta tahap keempat penghitungan prediksi *in-sample* dan *out-of-sample*.

20

Latar Belakang Invensi

Invensi yang berkaitan dengan penggunaan dekomposisi wavelet dan model JST serta kombinasi dari keduanya untuk data runtun waktu telah dilakukan oleh banyak ahli. Secara umum, transformasi wavelet dibagi menjadi dua yaitu transformasi wavelet kontinue (Continue Wavelet Transform, CWT) dan transformasi wavelet diskret (Discrete Wavelet Transform, DWT). Transformasi wavelet dengan CWT diantaranya diaplikasikan sebagai metode pengukuran parameter-parameter psikologi dan telah dipatenkan dengan nomor US7035679B2. Sedangkan model JST dengan arsitektur jaringan berlapis pada vektor input melalui ekstraksi komponen utama dari vektor residual yang ditambahkan ke input telah dipatenkan

dengan nomor US005377305A. Aplikasi model JST untuk prediksi flutuasi pasar saham juga telah dipatenkan dengan nomor US006401082B1. Pada aplikasi wavelet untuk runtun waktu, data didekomposisi menjadi koefisien-koefisien wavelet yang meliputi koefisien detil dan koefisien skala dengan metode Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform (MODWT) yang diusulkan oleh Percival dan Walden (2000) dalam bukunya yang berjudul *Wavelet Methods for Time Series Analysis*. Metode ini merupakan versi modifikasi dari metode Discrete Wavelet Transform (DWT) yang diusulkan sebelumnya. Pemfilteran melalui DWT tidak dapat dilakukan pada sampel dengan ukuran sebarang yang tidak dapat dinyatakan dalam bentuk 2^J dimana J adalah suatu bilangan bulat positif. Jika DWT pada level J membatasi ukuran sampel harus merupakan suatu bilangan bulat kelipatan 2^J , MODWT level J terdefinisi secara baik untuk sebarang ukuran sampel. Keuntungan MODWT adalah dapat mengeliminasi reduksi data menjadi setengahnya (*down-sampling*) sehingga dalam setiap level akan terdapat koefisien detil dan skala sebanyak panjang data. Hal ini dipandang lebih sesuai untuk penerapan pada data runtun waktu.

Invensi selanjutnya berkaitan dengan penerapan MODWT untuk runtun waktu dilakukan oleh Renaud et al (2003) yang dipublikasikan pada *Int. Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing* volume 1 no 2 hal 217-232. Pada penelitian ini Renaud mengusulkan teknik Multiscale Autoregressif (MAR) untuk memilih lag-lag dari koefisien detil dan skala yang sesuai sebagai input model wavelet untuk runtun waktu. Model yang dikembangkan adalah model linear dengan input koefisien skala dan detil yang dihasilkan melalui dekomposisi MODWT sampai level tertentu dan lag dari koefisien pada setiap level berbentuk $t-2^j$, $j = 0, 1, \dots, J$. Pada invensi yang dilakukan oleh Zhang et al (2016) dalam PloS ONE 11(6), tipe wavelet yang digunakan adalah Daubechies dan Coifflet yang

panjangnya ditentukan secara langsung dengan range tertentu menggunakan kriteria pada WMTSA toolkit yang merujuk pada metode yang dilakukan oleh Renaud dkk (2004). Selanjutnya Warsito dkk (2015) dalam *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics* volume 44 No 1 hal 229-238 menggunakan kriteria Minimal Redundancy Maximal Relevance (mRMR) untuk memilih lag dari koefisien wavelet sebagai input model. Data yang digunakan dibatasi untuk data non-musiman dengan lag yang pendek. Kriteria mRMR didasarkan pada nilai Mutual Informasi antar variabel yang diperoleh dari nilai entropi. Kriteria ini sebelumnya diusulkan oleh Peng et al (2005a) dalam *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* volume 27 no 8 hal 1226-1238 serta Peng et al (2005b) dalam *IEEE Intelligent Systems* volume 20 no 6 dan diaplikasikan untuk seleksi fitur. Pertimbangan utama dari pemilihan kriteria ini adalah untuk mengakomodasi lag-lag terlompoti yang sebenarnya dimungkinkan berpotensi menjadi input model serta kemungkinan hubungan nonlinear dari data yang belum terakomodasi dari model yang dikembangkan oleh Renaud et al (2003). Kriteria ini juga telah mempertimbangkan relevansi atau ketergantungan yang kuat antara variabel independen dalam hal ini koefisien-koefisien wavelet dan variabel dependen dalam hal ini data asli, sekaligus mereduksi redundansi antar variabel independen itu sendiri.

Penelitian selanjutnya berkaitan dengan penggunaan koefisien wavelet dari hasil dekomposisi MODWT sebagai input dari model JST. Murtagh et al (2004) dalam jurnal *Decision Support System* volume 37 hal 475-484 menggunakan metode MAR untuk mendapatkan input dari model JST sehingga terbangun model Wavelet-JST. Otok dkk (2011) dalam *International Conference on Informatics Engineering and Information Science ICIEIS (2011) Communications in Computer and Information Science* volume 253 hal 14-23 melakukan penggabungan model Wavelet-JST dengan

input seperti pada Murtagh *et al* (2004) dengan menambahkan lag-lag musiman. Pada model yang dikembangkan ini tipe wavelet yang digunakan adalah Daubechies. Secara sama, Saadah dkk (2015) dalam jurnal *Global Journal of Pure and Applied Mathematics* volume 11 nomor 1 hal 25-36 selain dengan metode MAR juga menambahkan lag-lag musiman dari koefisien wavelet sebagai input model JST untuk data runtun waktu yang mengandung aspek musiman. Penelitian yang terkait dengan pemodelan Wavelet-JST tersebut masih belum mengakomodasi beberapa lag non musiman yang terlompoti, yang sebenarnya dimungkinkan dapat menjadi kandidat input yang sesuai untuk model kombinasi. Disamping itu, dasar pemilihan lag-lag sebagai input model Wavelet-JST masih didasarkan pada kemungkinan hubungan linear antara variabel input dengan variabel output. Oleh karena itu usulan dari Warsito dkk (2015) berkaitan dengan pemilihan lag dari koefisien wavelet yang sesuai sebagai input menarik untuk dicobakan pada model JST. Dengan demikian kebaruan yang diusulkan dari invensi ini berkaitan dengan prosedur pemodelan kombinasi wavelet dan JST pada runtun waktu, dimana lag dari koefisien wavelet yang digunakan sebagai input dipilih berdasarkan kriteria mRMR dengan lag yang panjang untuk mengakomodasi lag-lag musiman. Kriteria mRMR didasarkan pada ukuran ketidakpastian berbasis mutual informasi yang mengukur sebarang hubungan baik linear maupun nonlinear. Keterkaitan nonlinear ini yang belum terakomodasi dari kriteria MAR yang diusulkan oleh Renaud dan Murtagh (2014) maupun invensi lanjutan yang dilakukan oleh Otok dkk (2011) dan Saadah dkk (2015).

Pada invensi yang telah dilakukan sebelumnya, lag-lag dari koefisien wavelet yang terpilih sebagai input model membentuk pola lompatan yang teratur. Invensi yang diajukan ini adalah berkaitan dengan prosedur baru untuk mendapatkan arsitektur jaringan optimal dari model kombinasi Wavelet dan JST pada

data runtun waktu dengan pola input yang bervariasi berdasarkan kriteria mRMR.

Pada model kombinasi Wavelet-JST yang telah dikembangkan sebelumnya, untuk melakukan estimasi parameter model digunakan metode optimasi berbasis gradien. Pada invensi yang diusulkan ini, setelah proses pemilihan input dengan kriteria mRMR prosedur pemodelan dilanjutkan dengan pemrosesan menggunakan model JST menggunakan metode optimasi algoritma genetika yang berbasis non gradien. Kelebihan dari metode ini adalah mampu menemukan solusi pendekatan untuk optimum global khususnya jika fungsi obyektifnya mempunyai beberapa optimum lokal.

Uraian Singkat Invensi

Pada invensi yang diusulkan, metode yang dikembangkan berupa prosedur baru untuk pemodelan Wavelet-JST. Beberapa ciri penting dari invensi yang diusulkan diantaranya berupa metode penentuan input optimal melalui dekomposisi wavelet MODWT menggunakan kriteria mRMR sampai dengan lag yang panjang sebagai kandidat input untuk mengakomodasi pola musiman. Selanjutnya pada lapisan tersembunyi JST ditentukan banyaknya unit bervariasi dari 1 sampai jumlah tertentu untuk menentukan unit optimal. Metode optimasi yang digunakan untuk mengestimasi parameter model adalah metode algoritma genetika. Pemilihan model terbaik didasarkan pada keakuratan prediksi yang diukur melalui nilai Mean Square Error (MSE).

Ringkasan invensi di atas tidak dimaksudkan untuk menguraikan secara terperinci klaim yang diajukan pada invensi ini.

Uraian Singkat Gambar

Untuk memberikan ilustrasi dari invensi ini, terlihat pada gambar suatu tahapan proses pemodelan dalam bentuk diagram alir sehingga lebih mudah dipahami. Penjelasan ringkas dari seluruh skema atau diagram alir yang disertakan untuk

memperjelas invensi yang akan diusulkan. Rancangan gambar teknik dari invensi berikut ini menjelaskan bagian-bagian dari invensi yang dimintakan perlindungan patennya.

5 Gambar 1, adalah ilustrasi skematik diagram alir proses pemilihan input data runtun waktu menggunakan dekomposisi wavelet MODWT sesuai dengan invensi yang diajukan ini.

Gambar 2, adalah ilustrasi skematik diagram alir pemrosesan pada lapisan JST untuk mendapatkan prediksi *in-sample* dan prediksi *out-of-sample* sesuai dengan invensi ini.

10 Gambar 3, adalah ilustrasi arsitektur jaringan model Wavelet-JST untuk data runtun waktu sesuai dengan invensi ini.

Uraian Lengkap Invensi

15 Invensi ini bertujuan menyusun metode baru untuk membangun model kombinasi Wavelet dan JST untuk data runtun waktu. Prosedur pemodelan diawali dengan melakukan dekomposisi wavelet dari data runtun waktu menggunakan metode transformasi MODWT sampai level tertentu yang ditentukan sehingga diperoleh koefisien-koefisien wavelet meliputi koefisien detil dan
20 koefisien skala. Lag-lag dari seluruh koefisien tersebut menjadi kandidat input dari model JST pada lapisan berikutnya. Untuk menentukan lag yang terpilih menjadi input model digunakan kriteria mRMR yang didasarkan pada nilai mutual informasi dan entropi.

25 Merujuk pada gambar 1, pada tahap pertama dilakukan dekomposisi MODWT yang menghasilkan koefisien detil dan skala sebagai kandidat input. Tahap kedua adalah penghitungan nilai mutual informasi antara semua koefisien detil dan skala yang menjadi kandidat input dengan data asli. Input pertama yang
30 terpilih adalah koefisien yang mempunyai nilai mutual informasi tertinggi. Pada tahap ketiga dihitung nilai mRMR untuk menentukan input-input berikutnya. Kandidat input tersisa berupa koefisien detil dan koefisien skala diurutkan

berdasarkan nilai mRMR dari yang terbesar. Tahap keempat dilakukan pemodelan MODWT untuk runtun waktu dengan model linear menggunakan satu input yang pertama terpilih kemudian dilakukan prediksi dan dihitung kesalahan prediksi dalam bentuk nilai Mean Square Error (MSE). Prosedur dilanjutkan dengan tahap kelima yaitu menambahkan input satu demi satu sesuai urutan kandidat berdasarkan kriteria mRMR dan dilakukan pemodelan dengan tambahan input tersebut. Model yang diperoleh digunakan untuk melakukan prediksi dan menghitung kesalahan prediksi dalam bentuk nilai MSE. Tahap keenam melakukan perbandingan nilai MSE yang diperoleh pada tahap ini dengan nilai MSE sebelumnya. Syarat pemberhentian adalah jika perbedaan nilai MSE cukup kecil, dalam hal ini dipilih nilai 10^{-6} x nilai MSE awal. Apabila belum terpenuhi maka proses pada tahap kelima kembali dilakukan. Setelah kriteria pemberhentian terpenuhi maka akan diperoleh input yang terpilih untuk digunakan pada lapisan JST berupa koefisien detil dan koefisien skala pada lag-lag dan level-level tertentu.

Merujuk pada gambar 2, setelah diperoleh koefisien detil dan koefisien skala yang menjadi input optimal dilakukan pemrosesan pada lapisan JST. Proses diawali dengan pembagian data menjadi dua bagian yaitu bagian besar sebagai data training untuk prediksi *in-sample* dan bagian kecil sebagai data testing untuk prediksi *out-of-sample*. Tahap kedua adalah menentukan kriteria pemberhentian iterasi berupa jumlah epoch maksimum yang diijinkan, MSE minimal yang dicapai serta banyak perulangan yang akan dilakukan. Tahap ketiga adalah mengestimasi bobot model dengan metode optimasi algoritma genetika sampai dengan kriteria berhenti terpenuhi. Apabila kriteria pemberhentian iterasi terpenuhi maka proses pada lapisan JST selesai dan diperoleh nilai prediksi *in-sample* dan *out-of-sample*. Tahap keempat adalah menghitung keakuratan prediksi dalam bentuk nilai MSE *in-sample* dan *out-of-sample*

serta membuat plot antara data asli dan prediksi baik data training maupun data testing.

Merujuk pada gambar 3, bagian-bagian invensi disusun dalam suatu bentuk desain arsitektur jaringan dari prosedur pemodelan yang dikembangkan sesuai invensi yang diusulkan. Bagian ini memuat lapisan-lapisan pada model Wavelet-JST. Lapisan pertama adalah data asli sebagai input awal yang akan dimodelkan. Lapisan kedua berupa pemrosesan dekomposisi wavelet dengan MODWT dari level $j = 1$ sampai dengan level $j = J$, dimana pada setiap level menghasilkan Detil D_j dan Smooth S_j . Tipe wavelet yang digunakan adalah Haar karena analisis multiresolusi pada wavelet untuk runtun waktu rekonstruksi fungsi dalam domain waktu yang diamati secara diskret dalam jeda waktu yang sama. Oleh karena itu wavelet Haar lebih sesuai digunakan karena merupakan wavelet yang terdefinisi pada nilai diskret. Pada setiap dekomposisi level j dihasilkan koefisien detil level j dan koefisien skala level j . Detil dan Smooth level $j+1$ dihasilkan dari dekomposisi MODWT dari Smooth level j . Kandidat input adalah lag-lag dari koefisien detil pada level $1, \dots, J$ dan lag-lag dari koefisien skala level J . Kandidat input tersebut diurutkan berdasarkan kriteria mRMR yang didasarkan pada nilai Mutual Informasi (MI). Selanjutnya dilakukan seleksi untuk mendapatkan input optimal. Pemrosesan berikutnya dilakukan pada lapisan JST dengan input terpilih menggunakan metode optimasi algoritma genetika. Banyaknya unit pada lapisan tersembunyi ditentukan antara 1 sampai jumlah tertentu dan dipilih yang terbaik berdasarkan nilai MSE minimal.

Klaim

1. Suatu metode untuk menentukan arsitektur optimal dari model kombinasi Wavelet dan Jaringan Syaraf Tiruan melalui tahapan penentuan input model berupa lag-lag koefisien detail dan koefisien skala hasil dekomposisi wavelet MODWT dan pemrosesan pada lapisan JST menggunakan metode optimasi algoritma genetika, tahapan-tahapan pada penentuan input adalah sebagai berikut:
 - Melakukan dekomposisi dari data asli dengan MODWT sampai level tertentu sehingga koefisien wavelet yang menjadi kandidat input adalah koefisien detail level 1 sampai maksimum level dan koefisien skala pada maksimum level;
 - Pada setiap level dekomposisi banyaknya lag koefisien detail dan skala pada setiap level dipilih nilai yang cukup besar untuk mengakomodasi pola musiman pada data;
 - Melakukan pengurutan kandidat input berdasarkan nilai Mutual Informasi antara kandidat input dengan target yang diprediksi, kandidat input yang pertama dimasukkan ke dalam model MODWT untuk runtun waktu adalah kandidat input dengan nilai Mutual Informasi tertinggi;
 - Dilakukan pemrosesan pada arsitektur model MODWT untuk runtun waktu yang paling sederhana sehingga diperoleh prediksi dan kesalahan yang diukur melalui nilai MSE;
 - Pada semua kandidat input tersisa dihitung nilai mRMR dan diurutkan dari yang terbesar;
 - Input ditambahkan satu per satu ke dalam model berdasarkan nilai mRMR terbesar serta dilakukan prediksi dan perhitungan nilai MSE;
 - Prosedur dilanjutkan sampai dengan penambahan input tidak lagi memperkecil error secara signifikan, yaitu selisih MSE setelah penambahan dengan MSE sebelumnya tidak melebihi nilai yang ditentukan;
 - Setelah proses selesai diperoleh input optimal.

2. Pemrosesan pada lapisan JST dilakukan untuk input berupa lag-lag dari koefisien detil dan koefisien skala sebagaimana pada klaim 1 dengan tahapan sebagai berikut:

- 5 - Masing-masing data input dan target dibagi menjadi dua bagian, dengan bagian besar sebagai data training dan bagian kecil sebagai data testing;
- Ditentukan kriteria pemberhentian yaitu jumlah epoch yang cukup besar atau MSE minimal yang cukup kecil
- 10 - Pemrosesan dilakukan pada lapisan JST dengan metode optimasi yang digunakan adalah algoritma genetika;
- Jumlah unit pada lapisan tersembunyi divariasasi antara 1 sampai jumlah tertentu;
- Pada setiap arsitektur, pemrosesan dilakukan sampai 15 dengan kriteria pemberhentian terpenuhi yaitu jumlah epoch yang cukup besar atau MSE minimal yang cukup kecil tergantung kriteria yang dipenuhi terlebih dahulu;
- Jumlah unit optimal pada lapisan tersembunyi ditentukan berdasarkan nilai MSE terkecil;
- 20 - Dengan menggunakan input optimal dari dekomposisi wavelet MODWT sebagaimana pada klaim 1 dan jumlah unit optimal pada lapisan tersembunyi sebagaimana pada klaim 2 ini maka diperoleh arsitektur optimal dari model kombinasi Wavelet-JST.

25

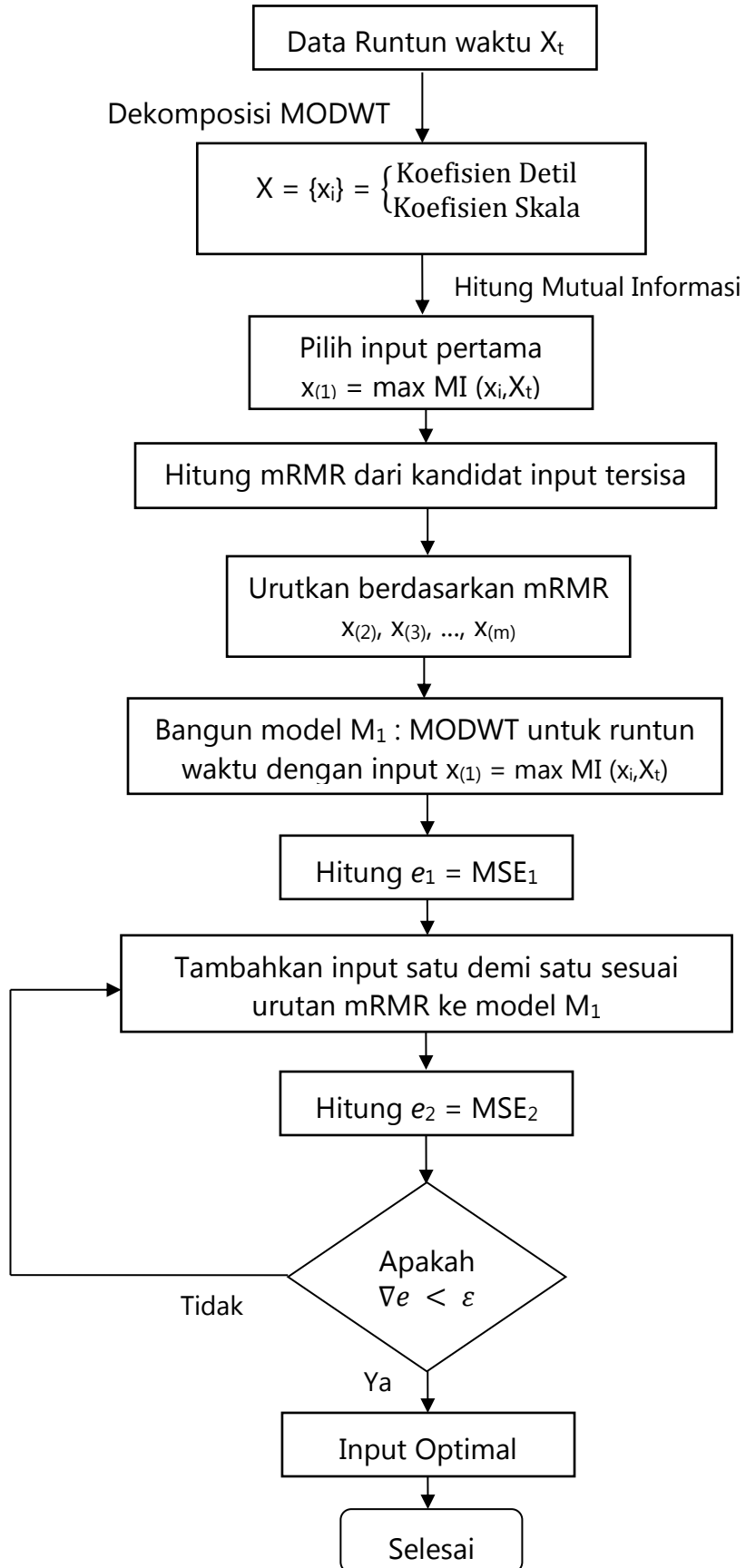
Abstrak**METODE PENENTUAN ARSITEKTUR OPTIMAL UNTUK MODEL KOMBINASI
WAVELET DAN JARINGAN SYARAF TIRUAN**

5

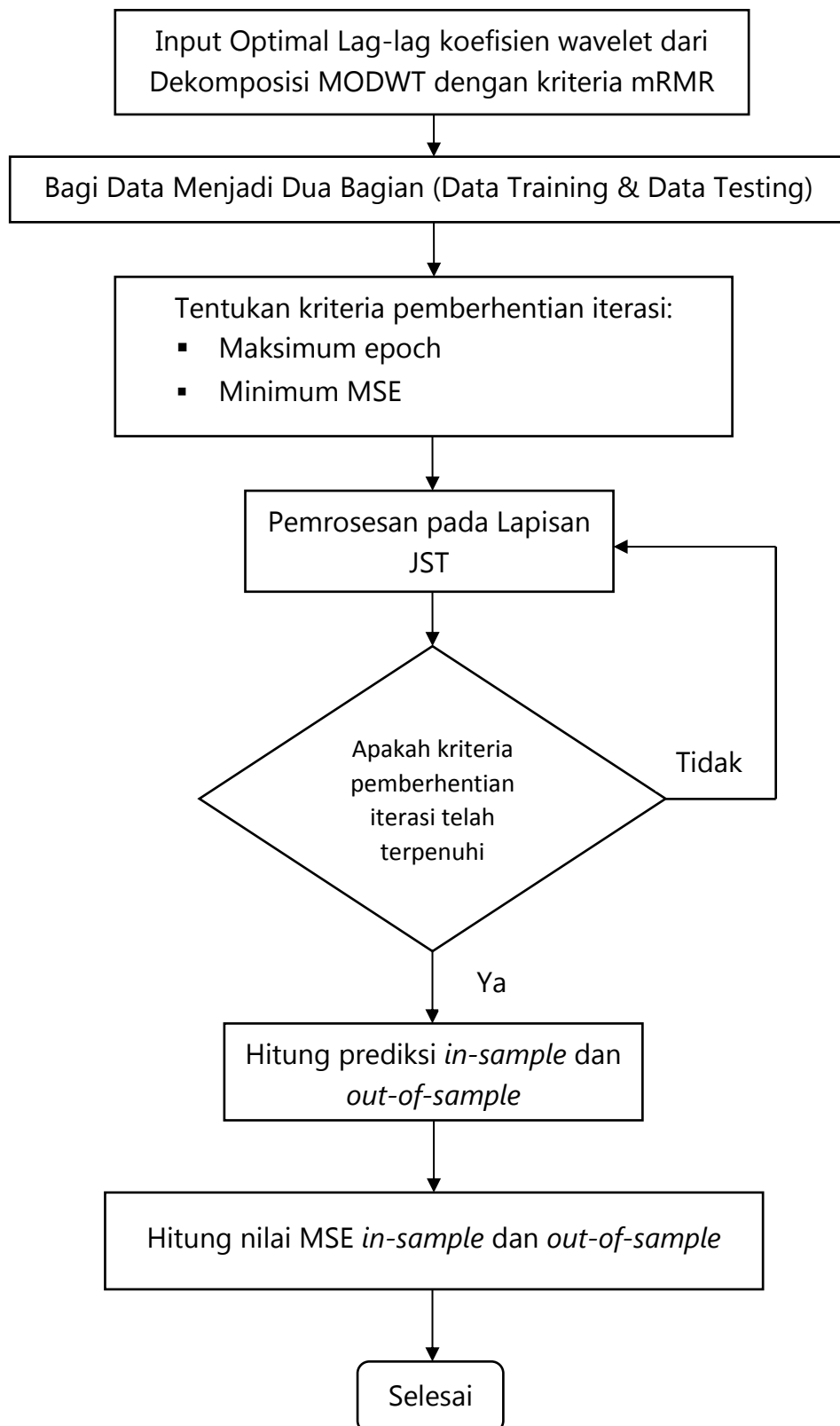
Telah dihasilkan invensi berupa metode untuk menentukan arsitektur optimal dari model kombinasi Wavelet dan Jaringan Syaraf Tiruan. Prosedur pemodelan dilakukan melalui tahapan dekomposisi wavelet MODWT untuk mendapatkan koefisien-koefisien wavelet yang meliputi koefisien detil dan koefisien skala. Pemilihan lag dari masing-masing koefisien sebagai input model dilakukan berdasarkan kriteria mRMR. Selanjutnya pemrosesan pada lapisan JST dilakukan menggunakan metode optimasi algoritma genetika. Banyaknya unit pada lapisan tersembunyi ditentukan antara 1 sampai jumlah tertentu dan dipilih berdasarkan nilai MSE minimal sehingga diperoleh arsitektur optimal.

20

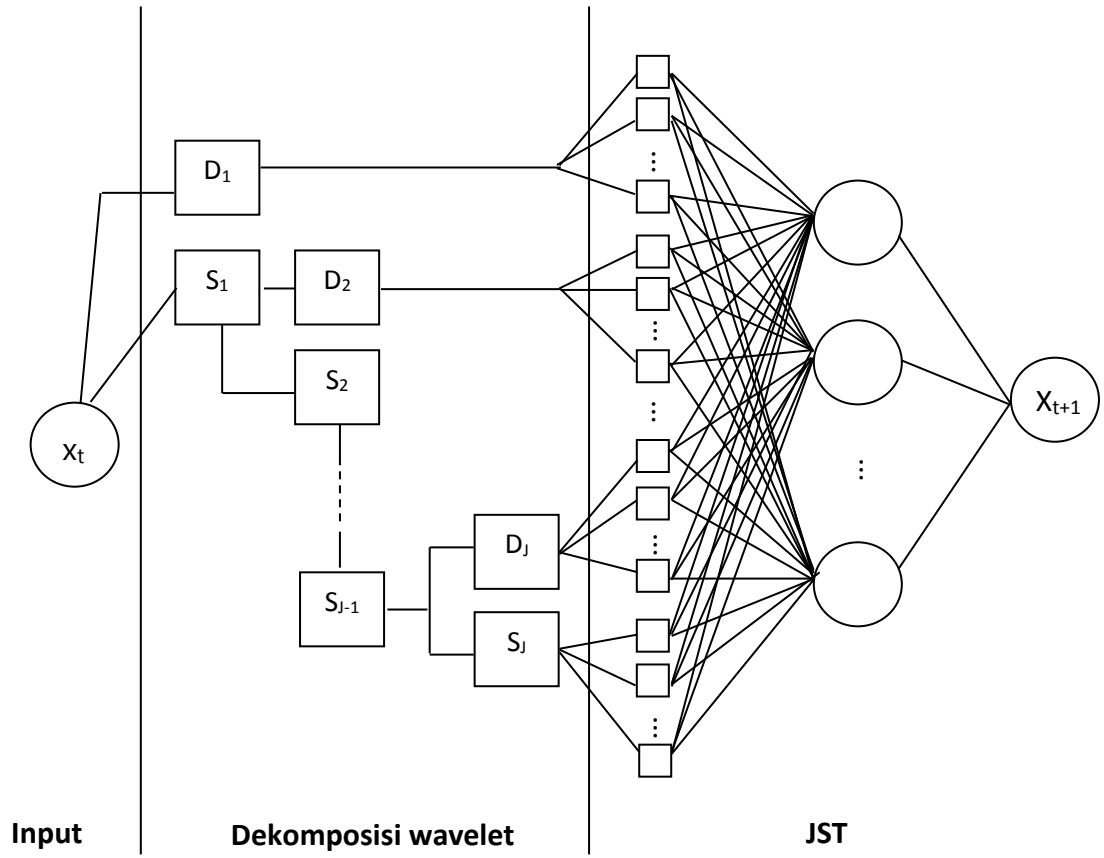
25



Gb. 1



Gb. 2



Gb. 3