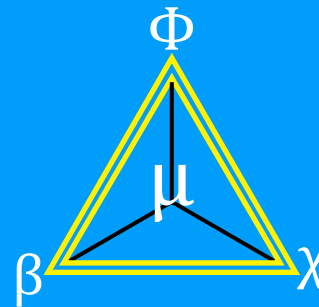




Akumulasi Cadmium (CD) pada Ikan Wader Merah (*Puntius bramoides C.V*), di Sungai Kaligarang
R. Prabowo, P. Purwanto, H. R. Sunoko

Keragaman Durian berdasarkan Fragmen Internal Transcribed Spacers (ITS) DNA Ribosomal Melalui Analisis PCR-RFLP
R. U. Hikmah, A. Retnoningsih, N. A. Habibah

Respon Pembentukan Kalus Koro Benguk (*Mucuna pruriens L.*) pada Berbagai Konsentrasi 2,4-D dan BAP
R. Ariani, Y. U. Anggraito, E. S. Rahayu

Persamaan Schrodinger D-Dimensi Bagian Sudut Potensial Poschl-Teller Hiperbolik Terdeformasi Q Plus Rosen-Morse Trigonometri Menggunakan Metode Nikiforov-Uvarov
S. Suparmi, C. Cari, D. Kusumawati

Kajian Metode Analisa Data Goal Seek (Microsoft Excel) Untuk Penyelesaian Persamaan Schrödinger dalam Menentukan Kuantisasi Energi Dibawah Pengaruh Potensial Lennard-Jones
W. Kurniawan, S. Trihandaru, A. Pattiserlihun

Pengendalian Kelajuan Kendaraan Menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC) Pada Sistem Cruise Kontrol
S. Susanto, S. Sunarno

Studi Aktifitas Fotokatalitik MCM-41 Teremban Zn Pada Zat Warna Metilen Biru
R. L. Vifta, S. Sutarno, S. Suyanta

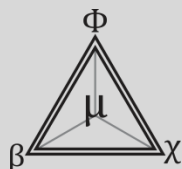
Analisis Hubungan Kuantitatif Struktur dan Aktivitas Antimalaria Senyawa Turunan Quinoxalin
M. Noor, K. Kasmui, S. B. W. Kusuma

Adsorpsi Krom (VI) Oleh Arang Aktif Serabut Kelapa Serta Imobilisasinya Pada Batako
N. Zuhroh, A. T. Prasetya, S. Haryani

Model Volatilitas Garch(1,1) Dengan Error Student-T Untuk Kurs Beli EUR Dan JPY terhadap IDR
F. C. Salim, D. B. Nugroho, B. Susanto

Anuitas Last Survivor Untuk Kasus Tiga Orang Tertanggung
D. P. Sari, J. Jazwinarti

Model Volatilitas Arch(1) dengan Return Error Berdistribusi Skewed Student-T
E. D. Saputri, D. B. Nugroho, A. Setiawan



Jurnal MIPA

Volume 39. Nomor 1. April 2016

Daftar Isi

DESKRIPSI

Jurnal MIPA adalah jurnal yang mengulas hasil penelitian atau kajian konseptual dalam bidang Matematika, Fisika, Kimia, dan Biologi. Jurnal ini terbit pertama kali pada tahun 1976 dan terbit bulan April dan Oktober. Harga per eksemplar Rp. 50.000,- + ongkos kirim

ISSN

0215-9945

Ketua Dewan Penyunting

R. Susanti

Anggota Dewan Penyunting

Y. Ulung Anggraito (Biologi)
Siti Khanafiyah (Fisika)
Ella Kusumastuti (Kimia)
Heri Sutarto (Matematika)

Editor Bahasa

Tyas Agung Pribadi

Layout

Yoris Adi Maretta

PENERBIT

Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Semarang (UNNES)

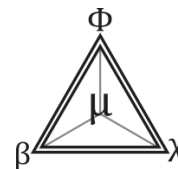
ALAMAT PENERBIT

Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Semarang
Kampus Sekaran, Gunungpati
Semarang, 50229
Telp: 62248508112
Fax: 62248508005
E-mail: mipa.jurnal@gmail.com

E-JOURNAL

<http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM>

- | | |
|-------|---|
| 1-10 | Akumulasi Cadmium (Cd) pada Ikan Wader Merah (<i>Puntius bramoides C.V</i>), di Sungai Kaligarang
R. Prabowo, P. Purwanto, H. R. Sunoko |
| 11-19 | Keragaman Durian berdasarkan Fragmen Internal Transcribed Spacers (ITS) DNA Ribosomal Melalui Analisis PCR-RFLP
R. U. Hikmah, A. Retnoningsih, N. A. Habibah |
| 20-28 | Respon Pembentukan Kalus Koro Benguk (<i>Mucuna pruriens L.</i>) pada Berbagai Konsentrasi 2,4-D dan BAP
R. Ariani, Y. U. Anggraito, E. S. Rahayu |
| 29-33 | Persamaan Schrodinger D-Dimensi Bagian Sudut Potensial Poschl-Teller Hiperbolik Terdeformasi Q Plus Rosen-Morse Trigonometri Menggunakan Metode Nikiforov-Uvarov
S. Suparmi, C. Cari, D. Kusumawati |
| 34-39 | Kajian Metode Analisa Data Goal Seek (Microsoft Excel) Untuk Penyelesaian Persamaan Schrödinger dalam Menentukan Kuantisasi Energi Dibawah Pengaruh Potensial Lennard-Jones
W. Kurniawan, S. Trihandaru, A. Pattiserlihun |
| 40-44 | Pengendalian Kelajuan Kendaraan Menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC) Pada Sistem Cruise Kontrol
S. Susanto, S. Sunarno |
| 45-50 | Studi Aktifitas Fotokatalitik MCM-41 Teremban Zn Pada Zat Warna Metilen Biru
R. L. Vifta, S. Sutarno, S. Suyanta |
| 51-56 | Analisis Hubungan Kuantitatif Struktur dan Aktivitas Antimalaria Senyawa Turunan Quinoxalin
M. Noor, K. Kasmui, S. B. W. Kusuma |
| 57-62 | Adsorpsi Krom (VI) Oleh Arang Aktif Serabut Kelapa Serta Imobilisasinya Pada Batako
N. Zuhroh, A. T. Prasetya, S. Haryani |
| 63-69 | Model Volatilitas Garch(1,1) Dengan Error Student-T Untuk Kurs Beli EUR Dan JPY terhadap IDR
F. C. Salim, D. B. Nugroho, B. Susanto |
| 70-77 | Anuitas Last Survivor Untuk Kasus Tiga Orang Tertanggung
D. P. Sari, J. Jazwinarti |
| 78-84 | Model Volatilitas Arch(1) dengan Return Error Berdistribusi Skewed Student-T
E. D. Saputri, D. B. Nugroho, A. Setiawan |



AKUMULASI CADMIUM (CD) PADA IKAN WADER MERAH (*PUNTIUS BRAMOIDES* C.V), DI SUNGAI KALIGARANG

R Prabowo✉ Purwanto², HR Sunoko²

¹Fakultas Pertanian Universitas Wahid Hasyim Semarang, Indonesia

²Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Februari 2016

Disetujui Maret 2016

Dipublikasikan April 2016

Keywords:

Kaligarang river; Red
Wader fish; Cadmium

Abstrak

Kadmium merupakan bahan beracun yang menyebabkan keracunan kronik pada manusia, maka tingkat maksimum yang diperbolehkan di perairan adalah 0,01 mg/L (PP No 82 Th 2001 Tentang Kualitas Air). Penelitian ini bertujuan (1) mengidentifikasi gambaran umum kualitas air Sungai Kaligarang, (2) Mengidentifikasi konsentrasi logam berat Kadmium (Cd) di Sungai Kaligarang, serta (3) mengidentifikasi akumulasi logam berat Cd pada ikan wader merah (*Puntius bramooides* C.V) yang hidup di Sungai Kaligarang. Penelitian ini merupakan penelitian observasi eksploratif dengan pendekatan kuantitatif. Penentuan lokasi pengambilan sampel secara purposif sampling. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter lingkungan berupa Suhu, pH, BOD, DO di Sungai Kaligarang tidak melebihi baku mutu berdasarkan mutu air penggolongan kelas I. Parameter logam berat Cd dalam air tidak melebihi aturan yang ditetapkan PP Nomor 82 Th 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Kadar logam berat yang terkandung pada ikan wader merah masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan baik dari FDR New Zealand, FAO, Serta SNI. 7387.2009, Tentang Batas Maksimum Cemaran logam Berat Dalam Pangan.

Abstract

Cadmium is a toxic substance that causes chronic poisoning in humans and the maximum permissible level in the water is 0.01 mg / L. (Th Government Regulation No. 82 of 2001 on water quality). This study aims to (1) identify general description of Kaligarang water quality, (2) heavy metal concentrations of Cadmium (Cd) in Kaligarang river and (3) identifying Cd accumulation of heavy metal in red Wader fish. This research is an observational exploration with a quantitative approach that aims to describe the level of heavy metal Cd in water and wader in Kaligarang. The location is determined by sampling study with purposive sampling. The result shows that the environmental parameters such as temperature, pH, BOD, DO of Kaligarang does not exceed the quality standard as applied by the classification of water quality class I. Parameter of heavy metals Cd in the water does not exceed the rules as set by the PP. No. 82 Th 2001 on management of water quality and red water pollution control. Heavy metal level contained in red wader is still below the quality standard as set by both FDR New Zealand, FAO, and SNI.7387.2009 about maximum level of heavy metal pollution in food.

© 2016 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Jl. Menoreh Tengah X / 22, Sampangan, Kota Semarang

PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat sangat berbahaya bagi lingkungan. Banyak laporan memberikan fakta betapa berbahayanya pencemaran lingkungan terutama oleh logam berat pada kawasan perairan, baik akibat penggunaan untuk konsumsi sehari-hari maupun ketika mengkonsumsi biota air tawar yang hidup di perairan tercemar tersebut. Kasus pertama kali dilaporkan terjadi di Jepang, yaitu timbulnya penyakit "itai-itai" (*Ouch-ouch*) yang menyebabkan para nelayan dan keluarganya terkena keracunan kronis akibat logam berat Cd dan mengakibatkan kematian manusia 100 orang (Supriharyono 2000; Soemirat 2005).

Sastrawijaya (2000) menyebutkan pencemaran lingkungan terjadi karena masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam lingkungan dan atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas menurun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi. Menurut UU No.32 tahun 2009, pencemaran adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia, sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan.

Kaligarang merupakan aliran sungai yang berada di wilayah Kota Semarang dimana sungai ini masuk dalam kelas 1 yang dimanfaatkan sebagai bahan baku air minum. Pencemaran sungai dapat terjadi karena pengaruh kualitas air limbah yang melebihi baku mutu air limbah, di samping itu juga ditentukan oleh debit air limbah yang dihasilkan (Dewi 2012). Pesatnya laju pertumbuhan pembangunan terutama di bidang industri, pertanian, dan sebagainya di DAS Kaligarang yang ditunjang oleh perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, memungkinkan manusia memanfaatkan berbagai jenis bahan kimia termasuk logam berat untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Pembangunan pabrik-pabrik di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) yang hampir seluruh pabrik tersebut membuang limbahnya ke aliran sungai, tentunya mengkhawatirkan masyarakat karena memicu

terjadinya perubahan baku mutu di perairan tersebut.

Sungai Kaligarang terletak di Provinsi Jawa Tengah, membentang dari daerah Ungaran sampai dam Simongan Semarang. Terletak pada 6°59'30" Lintang Selatan sampai 7°07' dan 110°23' Bujur Timur sampai 110°25'. Aliran sungai ini berhulu dari Sungai Gung yang berasal dari daerah Ungaran. Akhir dari aliran Sungai Kaligarang adalah Sungai Banjir kanal Barat yang terbentang dari dam Simongan dan bermuara ke Laut Jawa (Trimartuti 2000). Panjang aliran Sungai Kaligarang kurang lebih 35 Km, mencakup Kabupaten Semarang, Kabupaten Kendal dan Kota Semarang

Sungai Kaligarang termasuk dalam wilayah dengan iklim tropis dengan temperatur sedang. Suhu udara rata-rata sebesar 29°C dengan curah hujan rata-rata 1669,121 mm/tahun. Curah hujan yang tinggi banyak terdapat di Kabupaten Semarang dengan rata-rata 2.889 mm/tahun, sedangkan di Kota Semarang curah hujan rata-rata sebesar 495,36 mm/tahun (BLH Provinsi Jateng 2009). Sumber air Sungai Kaligarang terletak di pegunungan Ungaran. Sungai Kaligarang mempunyai anak sungai yang cukup banyak yang berbentuk seperti ranting pohon yang sering disebut sebagai aliran pola dendritik. Anak sungai tersebut adalah Sungai Blimbing, Sungai Kreo, Sungai Gung dan Sungai Kranji (Hakim 2004).

Kadmium merupakan bahan beracun yang menyebabkan keracunan kronik pada manusia, maka tingkat maksimum yang diperbolehkan di perairan adalah 0,01 mg/L (PP No 82 Th 2001 Tentang Kualitas Air). Jenis logam berat ini mempunyai nilai toksisitas yang sangat tinggi bagi manusia dan banyak dihasilkan sebagai limbah industri yang berada di sepanjang DAS Kaligarang. DAS Kaligarang sendiri diprediksi tercemar logam berat akibat pembuangan limbah industri yang banyak dibangun di sepanjang Kaligarang. Perkembangan industri di DAS Kaligarang secara langsung maupun tidak langsung menyebabkan pencemaran logam berat Cd di aliran Kaligarang. Kadmium bersifat toksik, bioakumulatif, biomagnifikasi dan karsinogenik (Withgott & Brennan 2007). Pencemaran logam berat Cd tersebut, akan mengakibatkan ikan yang hidup dan berkembang biak di Kaligarang akan ikut

mengakumulasi logam berat. Logam berat yang terserap oleh tubuh ikan, akan diikat oleh protein tionein yang disintesis di dalam hati yang kemudian disebarkan ke seluruh tubuh melalui mekanisme peredaran darah (Soemirat 2005). Logam kadmium (Cd) akan mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi dalam organisme hidup (tumbuhan, hewan dan manusia). Dalam biota perairan, jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan (biomagnifikasi), dan dalam rantai makanan, biota yang tertinggi akan mengalami Cd yang lebih banyak. Keracunan kadmium bisa menimbulkan rasa sakit, panas pada bagian dada, penyakit paru-paru akut dan menimbulkan kematian. Salah satu contoh kasus keracunan akibat pencemaran Cd adalah timbulnya penyakit itai-itai di Jepang (Dewi 2004). Penelitian ini bertujuan untuk (1) Mengidentifikasi gambaran umum kualitas air Kaligarang hilir, tengah dan hulu, (2) Mengidentifikasi konsentrasi logam berat Kadmium (Cd) di Kaligarang Hilir, Tengah dan Hulu, dan (3) Mengidentifikasi akumulasi logam berat Cd pada ikan Wader merah.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian observasi eksploratif dengan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk menggambarkan kandungan logam berat Cd pada air dan ikan wader merah di Kaligarang. Penentuan lokasi pengambilan sampel penelitian dengan purposif sampling.

Pengambilan Sampel Air

Untuk mempelajari dampak air limbah terhadap kualitas sungai, sekurang-kurangnya harus diambil dua lokasi sampel. Satu lokasi berada di hulu dimana air tidak tercemar dan yang satunya berada di muara di mana air tercemar secara vertikal dan lateral. Lokasi di muara diusahakan lebih banyak daripada di hulu. Hal ini diperlukan untuk mempelajari dampak pencemaran secara lebih terinci. Pada setiap lokasi diambil dua posisi, yaitu sisi kanan dan kiri sungai, untuk mendapatkan gambaran pengaruh pencemaran melintang. Pengambilan sampel air pada posisi sama, yakni ± 30 cm permukaan atau

dan dasar sungai. Volume sampel diambil secukupnya untuk berbagai keperluan termasuk analisis pendahuluan dan ulangan.

Pengambilan Sampel Ikan

Pengambilan sampel ikan dalam penelitian ini menggunakan jaring (*gill net*) dan jala dengan ukuran 0,5-2 inch. Untuk pengawet ikan di gunakan termos es. Pengambilan sampel untuk masing- masing stasiun sebanyak 6 ekor.

Preparasi Sampel

Sampel air yang telah diambil dari masing masing sub titik pengambilan digabungkan (dikomposit) menjadi satu. Untuk analisis logam Cd, sampel air ditambah asam nitrat (HNO_3) beberapa tetes (sampai pH <2) kemudian dimasukkan ke dalam *ice box*. Sementara sampel untuk pengukuran pH dan suhu diukur di lapangan (insitu) (Tabel 1).

Tabel 1. Metode pengukuran parameter kualitas air.

Parameter kualitas air	Alat	Keterangan
Suhu	Termometer	In-situ
DO	Titirasi Winkler	In-situ
Ph	pH meter	In-situ
Logam Berat Cd	Spektrofotometrik	Laboratorium

Sampel ikan yang telah dibersihkan dengan air, dicuci, kemudian dibilas dengan aquabidest dan dibedah menggunakan pisau bedah, diambil seluruh jaringannya dan diberi label. Untuk analisa, jaringan ikan dikeringkan dengan oven 105 °C selama 24 jam, dimasukkan ke dalam deksikator lalu ditimbang untuk mengetahui kadar air (Razak, 1989 dalam Amriani 2011).

Analisis data

Untuk menghilangkan ion mayor seperti N^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , K^+ dan Mg^{2+} ditambahkan metil iso butil keton, APDC dan NaDDC sehingga memudahkan proses adsorbs logam berat oleh AAS. Pengukuran logam berat pada ikan dilakukan dengan menambahkan HNO_3 pekat dan HClO_4 , dipanaskan pada suhu 60- 70°C selama 2-3 jam

sampai larutan jernih. Sampel siap diukur dengan AAS (Hutagalung *et al.* 1997).

Data kandungan logam berat pada air dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan dengan baku mutu lingkungan sesuai PP No. 82 Th 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan pengendalian Pencemaran Air. Untuk ikan, akan dibandingkan berdasarkan petunjuk standar baku mutu Surat keputusan Dirjen Pengawasan Obat dan Makanan N0. 03725/B/SK/VII/1989 Th 1989 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam dalam Makanan Untuk Ikan dan Olahannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akumulasi Logam Berat Kadmium (Cd) dalam air

Data hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan logam berat Cd pada Sungai Kaligarang rata-rata 0,008 mg/l. Adanya logam berat Cd di aliran Sungai Kaligarang dikarenakan adanya buangan limbah, baik limbah pertanian, industri maupun rumah tangga. Hal ini sesuai dengan pendapat Forstner dan Prosi (1978) bahwa sumber pencemar logam berat dalam air berasal dari batuan dan tumpahan lahar, proses industri, ekskresi manusia dan sampah dan buangan padat.

Tabel 2. Kandungan Logam Berat Kadmium (Cd) pada Air Sungai Kaligarang.

Stasiun Pengamatan	Logam Berat Kadmium (Cd) (mg/l)	Baku Mutu Cd (mg/l)
Hulu (Stasiun I)	0,0003	
Tengah (Stasiun II)	0,0008	0,01
Hilir (Stasiun III)	0,0156	

Kandungan Kadmium (Cd) pada Sungai Kaligarang di Stasiun III (hilir) cenderung lebih tinggi dibandingkan di stasiun pengamatan II (tengah) dan Stasiun I (hulu). Hal ini berhubungan dengan letak masing masing lokasi dengan sumber pencemaran logam berat Cd oleh industri di sekitar DAS Kaligarang. Selain itu, bagian hilir sebagai muara, menerima beban pencemaran dari wilayah yang ada di atasnya yaitu stasiun tengah dan hulu.

Dalam PP No. 82 Th 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian

Pencemaran Air, untuk air sungai kelas I, kriteria mutu air yang diterapkan untuk parameter logam berat Cd maksimal 0,01 mg/L. Dari data penelitian di atas, diketahui bahwa untuk stasiun pengamatan hulu kandungan logam berat Cd sebesar 0,0003 mg/L. Sementara untuk Stasiun II, kadar Cd di air sebesar 0,0008 mg/L. Hal itu berarti kandungan logam berat Cd di Stasiun I (hulu) dan Stasiun II (tengah) masih berada di bawah kriteria baku mutu air yang ditetapkan PP. No. 82 Th 2001. Sementara pada Stasiun III (pengamatan hilir) kadar logam berat Cd sebesar 0,0156 mg/L. Sesuai kriteria baku mutu air PP No. 82 Th 2001, maka kadar logam berat Cd pada air di bagian hilir Sungai Kaligarang sudah melampaui kriteria mutu air untuk parameter logam berat Cd pada penggolongan klasifikasi mutu air baik kelas 1, 2, 3 maupun 4 yang ditetapkan. Dengan demikian bisa dikatakan, pada stasiun pengamatan bagian hilir Sungai Kaligarang sudah mengalami pencemaran logam berat Kadmium (Cd).

Adanya logam berat Cd di Stasiun hulu Sungai Kaligarang ini dikarenakan adanya pembuangan limbah pertanian, rumah tangga, maupun limbah industri rumah tangga. Hal ini karena bagian hulu sungai Kaligarang merupakan kawasan perumahan dan padat penduduk, sehingga dimungkinkan limbah rumah tangga banyak yang ikut dibuang ke badan sungai. Pada sisi kiri-kanan hulu Sungai Kaligarang merupakan kawasan pertanian yang aliran airnya menuju ke badan sungai sehingga limbah Cd pertanian juga akan ikut terbuang mengikuti aliran ke badan sungai. Hal serupa juga disampaikan Widowati *et al.* (2008), bahwa faktor yang menentukan kadar Cd di tanah pertanian adalah cemaran Cd dari udara, perairan, sistem irigasi, dan pupuk. Pupuk fosfat yang sering digunakan biasanya mengandung Cd tidak kurang dari 20 mg/kg. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya peningkatan kandungan Cd dalam tanah dan bijih barley dengan penggunaan pupuk fosfat.

Pada Stasiun II (tengah) DAS Kaligarang, kadar logam berat Cd pada air sebesar 0,0008 mg/l. Kadar Cd pada Stasiun ini lebih tinggi dibandingkan di Stasiun I (hulu). Hal ini berhubungan dengan letak dari Stasiun II (tengah) merupakan penerima beban pencemar yang ada di bagian atasnya/hulu dan sumber limbah lain.

Stasiun pengamatan tengah terletak di daerah Tugu Suharto. Stasiun ini mendapat beban cemaran sepanjang DAS Kaligarang mulai Kecamatan Banyumanik, Srandol Kulon, Tinjomoyo dan Bendan Duwur. Di Kecamatan Banyumanik, terdapat pemukiman padat penduduk yang membuang limbah domestik ke badan sungai di Banyumanik, Srandol kulon dan Bendan Duwur. Beban lain yang diterima Stasiun II ini adalah adanya pertemuan dengan anak sungai Kreo yang pada bagian hulunya terdapat tempat pembuangan akhir sampah (TPA). Kondisi ini berpotensi besar memberi beban tambahan kandungan logam berat Cd pada Stasiun II Sungai Kaligarang. Hal serupa juga disebutkan oleh Palar (2004), bahwa salah satu kasus pencemaran yang berasal dari limbah industri adalah pencemaran yang terjadi di sungai Kalamazoo, Michigan, Amerika Serikat. Pabrik-pabrik kertas yang berada disepanjang aliran sungai Kalamazoo telah membuang limbah produksinya yang mengandung PCB (*polychlorinated biphenyls*).

Stasiun III (hilir) Sungai Kaligarang mengandung logam berat Cd sebesar 0,0156 mg/l. Data tersebut menunjukkan bahwa pada stasiun hilir Sungai Kaligarang sudah melampaui baku mutu logam berat Cd yang ditetapkan PP. No. 82 Tahun 2001. Menurut PP No.82 tersebut, air sungai yang masuk kelas I, kriteria mutu air yang ditetapkan untuk parameter logam berat Cd maksimal 0,01 mg/L. Tingginya kadar logam berat Cd di Stasiun III dikarenakan stasiun ini menerima beban cemaran terbanyak, selain dari bagian yang ada diatasnya (hulu dan tengah). Pada stasiun hilir ini juga terdapat beberapa industri yang membuang limbah industrinya ke badan Sungai Kaligarang.

Kandungan logam berat Cd pada Stasiun I dan II (Tabel 1) menunjukkan bahwa air Sungai Kaligarang masih di bawah ambang baku mutu yang ditetapkan PP No. 82 Th 2001. Kondisi ini menunjukkan bahwa air di stasiun ini masih aman digunakan sebagai sumber baku air minum. Tetapi adanya logam berat Cd di perairan yang bersifat bioakumulasi dalam organisme hidup (tumbuhan, hewan dan manusia), jumlah logam yang terakumulasi akan terus mengalami peningkatan

(biomagnifikasi) sehingga biota yang menduduki rantai makanan tertinggi akan mengalami akumulasi Cd lebih banyak dan dapat menyebabkan keracunan. Oleh karena itu perlu upaya mengurangi kandungan kadar Cd di air Sungai Kaligarang.

Kandungan Cd di bagian hilir Sungai Kaligarang sudah berada di atas nilai baku mutu yang ditetapkan PP No. 82 Th 2001 sehingga perlu upaya untuk menurunkan cemaran logam berat. Salah satu upaya adalah pengurangan beban cemaran yang masuk badan sungai terutama oleh kegiatan rumah tangga dan industri di sepanjang Sungai Kaligarang. Pada wilayah pemukiman padat penduduk, baik di wilayah hulu, tengah maupun hilir sebaiknya dilengkapi instalasi IPAL komunal sehingga buangan limbah domestik rumah tangga tidak secara langsung masuk dan memberi beban cemaran ke badan Sungai Kaligarang. Bagi industri diharapkan lebih mengoptimalkan IPAL sehingga tidak membuang limbah industrinya ke badan Sungai Kaligarang. Dengan upaya tersebut diharapkan beban cemaran domestik dan industri tidak lagi membebani badan Sungai Kaligarang yang digunakan sebagai sumber baku air minum oleh PDAM Kota Semarang. Selain itu, PDAM juga berkewajiban ikut memonitor dan mengatasi kandungan logam berat Sungai Kaligarang. Beberapa upaya yang dapat dilakukan oleh pihak PDAM adalah memanfaatkan teknologi rekayasa lingkungan seperti fitoremediasi, biosorpsi dan bioremediasi untuk menurunkan cemaran logam berat Cd pada sumber air yang digunakan. Dengan upaya tersebut diharapkan air yang didistribusikan PDAM kepada pengguna terbebas dari cemaran logam berat Cd serta logam berat yang lain.

Rendahnya kandungan Cd badan air di Sungai Kaligarang dimungkinkan terjadi karena adanya proses pengenceran logam berat oleh pengaruh kuat arus sungai. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Rochyatun (2006), rendahnya kadar logam berat Cd dan Pb pada air lebih disebabkan kemampuan perairan tersebut untuk mengencerkan bahan cemaran yang cukup tinggi

Tabel 3. Panjang, Lebar, Berat dan Kandungan Logam Berat Cd pada Ikan Wader

Stasiun	Ikan	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Berat Badan (g)	Berat hati (g)	Cd Badan mg/kg	Cd Hati mg/kg
Stasiun I	1	9	2	6.64	0.42	nd	nd
	2	8.5	1.8	4.95	0.33	nd	nd
	3	8.5	2	6.32	0.4	nd	nd
	4	8.5	2	6.04	0.54	nd	nd
	5	8	2	5.5	0.36	nd	nd
	6	8	2	5.41	0.37	nd	nd
Stasiun II	6	7.5	2	4.26	0.41	nd	nd
	1	16	4.5	53	0.52	nd	0.053
	2	15	4.5	4	0.78	0.027	0.057
	3	15	4.5	40.27	0.53	nd	0.048
	4	13.5	4.5	36.91	0.32	0.015	0.075
	5	13.5	4	32	0.06	0.021	0.051
Stasiun III	6	13.5	4	36	0.34	nd	0.063
	1	16.5	5.5	75.26	0.66	nd	0.071
	2	16	5	54.16	0.44	0.032	0.057
	3	15	5	51.4	0.65	nd	0.053
	4	15	5	60.03	0.72	nd	0.061
	5	15	5.5	58.02	0.35	0.062	0.062
	6	14	4.5	37.69	0.22	nd	0.053

Catatan: nd: *not detected* (Tidak terdeteksi)

Hasil penelitian diketahui bahwa pada Stasiun I tidak ditemukan akumulasi logam berat Cd pada tubuh dan hati ikan wader (Tabel 3). Hal ini disebabkan karena pada Stasiun I, kadar logam berat yang terpapar di badan air masih sangat kecil yaitu sebesar 0,0003 mg/l. Hal yang sama disampaikan Trimartuti (2000), bahwa tidak terdapat akumulasi logam berat pada daging ikan lunjar di perairan yang mengandung kadar Cd sangat rendah (0.0001 mg/l). Akumulasi logam berat Cd pada ikan sangat dipengaruhi oleh kandungan Cd yang terdapat pada perairan.

Pada Stasiun II dan III, terdapat akumulasi logam berat Cd pada tubuh dan organ hati ikan wader. Hal ini dikarenakan pada Stasiun II, kadar logam berat Cd pada perairan sebesar 0,0008mg/l. Peningkatan kadar logam berat Cd pada perairan Stasiun II dan III, sangat berpengaruh terhadap peningkatan akumulasi logam berat Cd pada tubuh dan hati ikan wader pada Stasiun ini. Hal ini sesuai dengan pendapat Clark (1986) bahwa racun atau logam berat di lingkungan perairan akan turut masuk ke dalam tubuh ikan. Akumulasi logam

berat pada ikan, secara biologik masuk melalui proses rantai makanan.

Pada Tabel 3 diketahui bahwa akumulasi logam berat Cd pada ikan di Stasiun II dan III relatif sama. Sementara pada Stasiun III akumulasi logam berat Cd pada hati ikan wader sebesar 0,053-0,071 mg/kg. Akumulasi logam berat Cd dalam organ hati ikan pada yang relatif sama Stasiun II dan Stasiun III dikarenakan Stasiun II dan III kondisi perairannya landai dan tenang, sehingga memudahkan ikan bermigrasi antar stasiun. Hal inilah yang menyebabkan kadar logam berat Cd pada ikan tersebut diakumulasi di kedua stasiun tersebut.

Akumulasi logam berat Cd pada organ hati ikan lebih besar dibandingkan pada tubuh ikan. Pada Stasiun III, kandungan logam berat Cd pada hati ikan (0,057 mg/kg) lebih besar dibandingkan pada tubuh ikan (0,032 mg/kg). Organ hati merupakan organ detoksikasi yang dapat mengakumulasi logam berat dengan mudah. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Trimartuti (2000) bahwa meski hampir seluruh organ tubuh

menyerap Cd, namun konsentrasi tertinggi ditemukan pada hati dan ginjal, bahkan kira-kira 1/3 dan 1/6 Cd dalam tubuh disimpan pada ginjal dan hati. Kemudian, setelah pemaparan kadar rendah dengan waktu lama, Cd tersebut mulai disimpan dalam otot.

Kadar Cd pada organ hati ikan Wader pada Stasiun III sebesar 0,071 mg/kg. Nilai tersebut masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan FDR New Zealand serta FAO yaitu untuk logam berat Cd sebesar 1 mg/kg (Priyanto 2008), serta SNI. 7387.2009, Tentang Batas Maksimum Cemaran logam Berat Dalam Pangan. Dalam keputusan Dirjen POM No. 03725/B/SK/VII/89 tidak mengatur logam berat Cd pada makanan, tetapi dalam SNI. 7387.2009, disebutkan batas maksimum logam berat pada ikan dan hasil olahannya sebesar 0,1 mg/kg.

Meskipun kandungan logam berat Cd pada ikan wader pada ketiga stasiun masih rendah dan masih di bawah nilai maksimal yang ditetapkan oleh FDR New Zealand, FAO serta SNI. 7387.2009, tetapi perlu mendapat perhatian. Karena logam berat Cd pada ikan menyebabkan proses bioakumulasi pada tubuh manusia yang memakannya. Hal ini diperkuat dengan adanya kasus penyakit 'itai-itai' dimana masyarakat mengalami keracunan karena telah mengkonsumsi air sungai Zinzu yang tercemar serta mengkonsumsi ikan dari sungai tersebut. Hal lain yang memperkuat bahayanya akumulasi logam berat Cd adalah fakta yang dikemukakan Laws (1993) dalam Trimartuti (2000) bahwa Cd yang terserap dalam tubuh manusia akan mempunyai waktu paruh 16-33 tahun. Cd merupakan racun yang sangat berbahaya dan tersembunyi, sehingga penyerapan dalam jumlah kecil selama bertahun-tahun akan menyebabkan akumulasi sampai tingkat beracun dalam tubuh. Setelah logam berat Cd terserap dalam tubuh, akan diikuti oleh protein thionein membentuk kompleks protein-logam metallothionein yang disintesis hati. Pengikatan logam berat dalam metallothionein tersebut dipercaya sebagai mekanisme untuk pertahanan dan perlindungan yang mencegah logam tersebut mempengaruhi protein-protein penting dalam proses metabolisme tubuh.

Hasil penelitian menunjukkan tidak ada pengaruh ukuran ikan (panjang, lebar dan berat)

terhadap kandungan logam berat Cd dalam tubuh dan hati ikan wader. Kemampuan ikan dalam mengakumulasi logam berat Cd sangat dipengaruhi oleh jenis ikan dan kepekaan kadar logam yang terdapat pada lingkungan perairan. Hal ini didukung hasil penelitian bahwa tidak ada pengaruh ukuran, umur ikan terhadap kandungan logam berat pada daging ikan, serta tidak ada korelasi antara bertambahnya umur atau ukuran ikan dengan kandungan logam berat dalam daging (Trimartuti 2000). Hasil penelitian ini menguatkan pendapat Wisnu dan Hartati (2000), bahwa kecepatan bioakumulasi logam berat Cd lebih tinggi pada awal waktu pemaparan, yaitu pada 0-10 hari. Namun pada pertengahan waktu pemaparan, kenaikan kecepatan bioakumulasi cenderung menurun dan akan relatif stabil pada waktu pemaparan di atas 20 hari.

Bahaya dari kontaminasi dan keracunan logam Cd dan Pb, diantaranya dapat menyebabkan kanker prostat dan dapat merusak organ reproduksi pada laki laki (Harsanto 1997). Hal yang sama dinyatakan Fergusson (1990), bahwa akibat kronis dari keracunan logam berat baik melalui pencernaan maupun pernafasan akan mempengaruhi fungsi ginjal manusia. Pengaruh lain dari keracunan logam berat Cd adalah beberapa enzim menjadi tidak aktif. Hal tersebut terjadi karena logam berat Cd akan menggantikan unsur esensial enzim misalnya Zn. Dengan gangguan tersebut, akan menimbulkan penyakit hipertensi dan anemia.

Kualitas Air Sungai Kaligarang

Hasil pemeriksaan suhu di sepanjang aliran Sungai Kaligarang bervariasi antara 27,5°C sampai 28°C (Tabel 4). Besarnya suhu pada semua lokasi menunjukkan kriteria mutu air masih dalam batas yang ditetapkan yaitu maksimum 30°C. Selain itu kondisi tersebut tidak melebihi baku mutu yang diterapkan berdasarkan PP. No. 82 Th 2001 untuk air sungai yang masuk penggolongan kelas I.

Suhu sangat berperan terhadap pertumbuhan dan metabolisme tubuh ikan. Hal tersebut mendukung pernyataan Hendrata (2004), bahwa kondisi suhu air yang optimal bagi pertumbuhan ikan adalah 25-30°C. Hal serupa juga dinyatakan Trimartuti (2000), bahwa suhu sangat berpengaruh dalam proses metabolisme tubuh ikan.

Secara umum, peningkatan suhu dapat menurunkan daya tahan tubuh ikan terhadap racun. Akumulasi logam berat Cd pada tubuh ikan, selain dipengaruhi oleh faktor biologis ikan dan sifat fisika kimia logam berat tersebut, juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu. Sastrawijaya (2009) juga menyatakan bahwa suhu mempunyai pengaruh besar terhadap kelarutan oksigen. Populasi termal pada organisme air terjadi pada suhu tinggi. Setiap spesies mempunyai suhu optimumnya. Ada ikan yang mempunyai suhu optimum 15°C, ada yang 24°C dan ada yang 32°C.

Kenaikan suhu pada air biasanya menyebabkan meningkatnya kandungan logam berat pada ikan yang hidup di perairan tersebut. Meningkatnya kandungan logam berat pada tubuh ikan tersebut berhubungan dengan proses metabolisme ikan yang juga meningkat seiring naiknya suhu perairan. Pada Stasiun II, peningkatan suhu di perairan menyebabkan peningkatan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) (Tabel 4). Hal tersebut mendukung pernyataan Sastrawijaya (2009), bahwa kenaikan suhu air menyebabkan suhu badan hewan berdarah dingin dalam air itu naik. Hal ini akan menyebabkan laju metabolisme naik dalam ikan, dan selanjutnya menaikkan kebutuhan oksigen.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Kualitas Air Sungai Kaligarang

Parameter	Stasiun I	Stasiun II	Stasiun III	Baku Mutu
Suhu	27,5	28	27,8	±3
pH	7,70	7,57	7,48	6-9
BOD	2	3	3	2
COD	8	10	9	10
DO	7,52	7,30	5,80	6

pH perairan Sungai Kaligarang berkisar antara 7,46-7,70 (Tabel 4). Besarnya pH pada perairan Sungai Kaligarang tersebut tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan PP. No. 82 Th 2001, untuk air sungai yang masuk penggolongan kelas I. Besarnya derajat keasaman di Sungai Kaligarang sangat mendukung kehidupan ikan yang ada di dalamnya. Pernyataan tersebut sesuai dengan Hendrata (2004), bahwa ikan sangat cocok hidup pada kisaran pH 6-8,5 dan akan optimal pada pH 7-8. Hal yang sama dinyatakan oleh Sastrawijaya

(2009) bahwa air yang mempunyai pH 6,7-8,6 mendukung populasi ikan dalam kolam. Dalam jangkauan pH itu pertumbuhan dan pembiakan ikan tidak terganggu. Ada ikan yang mampu hidup pada pH 5-9.

Pada Tabel 4 diketahui adanya penurunan derajat pH dari Stasiun I sampai Stasiun II dan III, walaupun tidak signifikan. Hal tersebut mendukung pernyataan Sastrawijaya (2009), bahwa air segar dari pegunungan biasanya mempunyai pH lebih tinggi. Makin lama pH air akan menurun menuju suasana asam, karena ada penambahan bahan-bahan organik yang kemudian membebaskan CO₂ jika mengurai. Pada umumnya, jika pH air kurang dari 7 atau lebih dari 8,5 dimungkinkan perairan tersebut telah terjadi pencemaran.

BOD merupakan variabel utama dalam penentuan tingkat pencemaran perairan. Pemeriksaan BOD di sepanjang Sungai Kaligarang berkisar 1,92-3,64 mg/L. Besarnya BOD pada Stasiun I (1,92 mg/L) tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan PP. No. 82 Th 2001 yaitu untuk air sungai yang masuk penggolongan kelas I, BOD tidak melebihi 2 mg/L. BOD di Stasiun II (sebesar 3,05 mg/l) dan Stasiun III (sebesar 3,64 mg/L), berdasarkan PP No. 82 Th 2001 termasuk kategori tercemar dan masuk ke penggolongan air kelas II (air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut, karena melebihi baku mutu yang ditetapkan untuk mutu air penggolongan kelas I). Besarnya BOD pada Stasiun II dan III menunjukkan kandungan bahan organik dan organisme pengurai aerobik pada perairan tersebut lebih besar dari Stasiun I. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Sastrawijaya (2009) bahwa jika jumlah bahan organik dalam air sedikit, maka bakteri aerob mudah memecahkan tanpa mengganggu keseimbangan oksigen dalam air. Tetapi jika jumlah bahan organik banyak, bakteri pengurai akan berlipat ganda karena banyak makanan. Ini biasanya menyebabkan perairan kekurangan oksigen.

Pemeriksaan COD (*Chemical Oxygen Demand*) di sepanjang Sungai Kaligarang berkisar

33,86- 48,82 mg/L (Tabel 3). Besarnya COD tersebut melebihi baku mutu yang ditetapkan PP. No. 82 Tahun 2001, untuk air sungai yang masuk penggolongan kelas I, COD tidak melebihi 10 mg/L. Berdasarkan baku mutu PP No. 82 Th 2001, Sungai Kaligarang (Stasiun I, Stasiun II dan Stasiun III) masuk kategori tercemar dan masuk ke penggolongan air kelas IV (air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut, karena melebihi baku mutu yang ditetapkan untuk mutu air penggolongan kelas I, II dan III).

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan (misalnya: Kalium Dikromat) untuk menguraikan bahan organik (Fardiaz 1992 dalam Hendrata 2004). Besarnya kandungan COD pada Sungai Kaligarang disebabkan banyaknya zat organik di air yang tidak mengalami penguraian biologi secara cepat karena zat organik tersebut stabil terhadap reaksi biologi atau tidak mampu diurai oleh mikroorganisme yang hidup dalam perairan Sungai Kaligarang tersebut.

Oksigen terlarut (*Desolve Oxygen:DO*) di sungai Kaligarang berkisar 5,80-7,52 mg/L (Tabel 3). Besarnya DO pada Stasiun I (7, 52 mg/L) dan Stasiun II (7,30 mg/L) tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan PP. No. 82 Th 2001 untuk air sungai yang masuk penggolongan kelas I, kriteria DO tidak kurang dari 6 mg/L. Pada Stasiun III, diketahui kandungan DO sebesar 5, 80 mg/L, berdasarkan PP. No. 82 Th 2001, stasiun ini masuk dalam penggolongan kelas II.

Kandungan oksigen terlarut dalam suatu perairan mempengaruhi daya tahan organisme akuatik terhadap pengaruh letal suatu kontaminan. Tingginya kecepatan arus dan turbulensi akibat kemiringan suatu DAS akan meningkatkan oksigenase, sehingga menekan terjadinya pencemaran. Kemudian oksigen tersebut digunakan untuk mengoksidasi bahan organik dalam proses *purification*. Tingginya kandungan oksigen terlarut akibat turbulensi dan deras air juga mempengaruhi rendahnya kandungan logam berat Cd dan Pb di perairan pada Stasiun I. Hal serupa dinyatakan Sastrawijaya (2009), bahwa penentuan kadar oksigen terlarut dapat dijadikan ukuran untuk menentukan mutu air. Kehidupan di air dapat bertahan jika ada oksigen terlarut

minimum sebanyak 5 mg/L. Selebihnya bergantung pada ketahanan organisme, derajat keaktifannya, kehadiran pencemar, suhu air dan sebagainya.

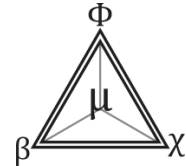
SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa Suhu, pH, BOD, DO air sungai Kaligarang tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan berdasarkan mutu air penggolongan kelas I, kadar COD masuk dalam kelas 4, kadar DO masuk dalam kelas 2. Kadar Cd pada Stasiun I dan II masih di bawah kriteria baku mutu air yang ditetapkan PP. No. 82 Th 2001, sementara pada Stasiun III sudah melampaui kriteria mutu air kelas I. Akumulasi logam berat Cd pada ikan wader merah masih berada di bawah baku mutu yang ditetapkan FDR New Zealand, FAO, serta SNI. 7387.2009, Tentang Batas Maksimum Cemar logam Berat Dalam Pangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amriani. 2011. Bioakumulasi Logam berat Timbal (Pb) dan Seng (Zn) Pada Kerang darah (Anadara granoza L) dan Kerang Bakau (Polymesoda bengalensis L) di perairan Teluk Kendari. *Tesis*. Program Maghister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang
- Argawala SP. 2006. *Environmental Studies*. Narosa publishing House PVT.LTD. New Delhi Chennai Mumbai Kolkata.
- Babich H&G Stotzky. 2001. *Influence of Chemical Speciation On The Toxicity of Heavy Metals to The Mikrobiota*. Dalam J.O. Nriagu 9eds). *Aquatic Toxicology A*. Wiley Interscience Publication. New York P.
- Clark RB. 1986. *Marine Pollution*. Clarendon Press, Oxford
- Dewi NK. 2004. Penurunan Derajat Toksisitas Kadmium Terhadap Ikan Bandeng (*Chanos Chanos Forskal*) menggunakan Enceng Gondok (*Eichhornia Crassipes (Mart) Solms*) dan Fenomena Transportnya. *Tesis*. Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang.
- Dewi NK. 2012. Biomarker pada Ikan Sebagai Bioindikator Pencemaran Logam Berat Kadmium Timbal dan Merkuri di Perairan Kaligarang Semarang. *Disertasi*. Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro. Semarang.

- Forstner U & GTW Wittman. 1983. *Metal Pollution In The Aquatic Environment*. Springer Verlag. Berlin Heidelberg, New York, Tokyo, Germany.
- Harsanto JB. 1997. *Parameter dan Kriteria Pencemaran Lingkungan dalam Dasar Dasar Pengendalian Pencemaran Lingkungan*. Badan pengendalian dampak lingkungan (bapedal)- PPLH UGM, Yogyakarta.
- Hutagalung, D.P, D. Setiapermana, dan S.H. riyono. 1997. *Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota* (Buku kedua). P30 LIPI.
- Palar H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. *Nomor 82 Tahun 2001* tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Priyanto N, Dwiyitno, Ariyani F. 2008. Kandungan Logam Berat (Hg, Pb, Cd, dan Cu) pada Ikan, Air dan Sedimen di Waduk Cirata, Jawa Barat. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 3(1): 69-76.
- Rochyatun E, Kaisupy MT, Rozak A. 2006. Distribusi Logam Berat Dalam Air dan Sedimen di Perairan Muara Sungai Cisadane. *Jurnal Makara Sains*. 10(1): 35- 40
- Sastrawijaya AT. 2000. *Pencemaran lingkungan*. Rineka Cipta. Surabaya
- Soemirat J. 2005. *Toksikologi Lingkungan*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Sunu P. 2001. *Melindungi Lingkungan dengan Menerapkan ISO 14001*. PT. Grasindo. Jakarta
- Supriharyono. 2000. *Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Trimartuti NK. 2001. Akumulasi logam berat Cd Pada Ikan Lunjar (*Rasbora argyroteenia*). Wader (*Barbodes ballaroides*) dan Nilem (*Osteochillus haseltii*) di kaligarang Semarang. *Tesis*. Yogyakarta; Universitas Gadjah Mada.
- Widowati W, Sastiono A & R Yusuf. 2008. *Efek Toksik Logam, Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta, Andi Offset.
- Wisnu, Anugraha M & Hartati A. 2000. Penyerapan Logam Berat Merkuri dan Kadmium Pada Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). *Jurnal Purifikasi*. 1(2):
- Withgott J & Brennan Scott. 2007. *Environment: The Science Behind the Stories*. San Fransisco; Pearson Benjamin Cummings



KERAGAMAN DURIAN BERDASARKAN FRAGMEN *INTERNAL TRANSCRIBED SPACERS* (ITS) DNA RIBOSOMAL MELALUI ANALISIS PCR-RFLP

RU Hikmah ✉ A Retnoningsih, NA Habibah

Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Februari 2016

Disetujui Maret 2016

Dipublikasikan April 2016

Keywords:

Durian; PCR-RFLP; Internal Transcribed Spacers (ITS)

Abstrak

Durian adalah salah satu jenis buah-buahan tropis yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Durian memiliki bermacam-macam kultivar dengan morfologi yang sulit untuk dibedakan. Jaminan identitas penting untuk informasi mendasar dalam meningkatkan efisiensi pemuliaan dan pengembangan durian. Identifikasi molekuler dianggap lebih akurat dibandingkan dengan karakter morfologi. *Polymerase Chain Reaction Restriction Fragment Length Polymorphism* (PCR-RFLP) adalah metode untuk menganalisis hasil DNA fragmen panjang perbedaan yang mencerna menggunakan enzim restriksi dengan endonuklease. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah aksesori yang durian diambil secara acak dikecamatan Gunungpati, Semarang. Genomi DNA diisolasi berdasarkan protokol Kit nukleon Phytopure dengan modifikasi. ITS wilayah ribosom DNA diamplifikasi menggunakan teknik PCR-RFLP mengeksplorasi primer spesifik L ITS dan ITS 4 menghasilkan ITS panjang fragmen pada 800 bp. Amplikon yang dicerna menggunakan enam enzim restriksi AluI, Eco471, Bsp1431, BsuRI, Mph11301 dan Ade1. Hasil penelitian dari 11 aksesori durian yang diperiksa menunjukkan bahwa enzim Bsp1431 memiliki dua situs tertentu yang dipotong pada ukuran 550 bp dan 120 bp. enzim BsuRI memiliki satu situs tertentu dalam ukuran 600 bp. Sedangkan enzim Eco471 telah mencerna situs spesifik pada ukuran 450 bp. Kesimpulan dari penelitian ini adalah durian nomor aksesori ke-12, 15, dan 17 memiliki hubungan genetik dekat dan diduga berada di salah satu spesies.

Abstract

Durian is one of the types of tropical fruits that has high economic value. Durian has an assortment of cultivars with morphology that are difficult to distinguish. Identity assurance is important for the fundamental information in increasing the efficiency of breeding and development of durian. Molecular identification is considered to be more accurate than the morphological characters. Polymerase Chain Reaction Restriction Fragment Length Polymorphism (PCR-RFLP) is a method to analyze the results of DNA fragment length difference that digest using restriction enzyme with endonuclease. The sample used in this study was the accession of durian taken randomly in Gunungpati district, Semarang. Genomic DNA was isolated based on Nucleon Phytopure Kit protocol with modification. ITS DNA ribosomal region was amplified using PCR-RFLP technique exploiting specific primers ITS L and ITS 4 produce ITS fragment length at 800 bp. Amplicon was digested using six restriction enzyme AluI, Eco471, Bsp1431, BsuRI, Mph11301 and Ade1. The research result of 11 accessions durian which is examined shows that the Bsp1431 enzyme has two specific sites that is cut on the size 550 bp and 120 bp. BsuRI enzymes have a specific site cuts in the size of 600 bp. Whereas Eco471 enzyme has digesting sites specifics on size 450 bp. The conclusion of this research is durian accession number 12th, 15th, and 17th have close genetic relation and are alleged to be in one species.

© 2016 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229

PENDAHULUAN

Buah durian merupakan salah satu jenis buah-buahan tropis yang mempunyai nilai ekonomis tinggi. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil buah durian yang memiliki keanekaragaman. Salah satu daerah penghasil durian di Indonesia yaitu Kecamatan Gunungpati, Semarang, Jawa Tengah. Buah durian memiliki bermacam-macam kultivar dengan ciri morfologi yang sulit dibedakan. Kepastian identitas kultivar durian menjadi sangat penting untuk menghindari kekeliruan khususnya dalam budidaya dengan tujuan komersial dan sebagai informasi mendasar dalam peningkatan efisiensi dan pengembangan pemuliaan durian.

Keanekaragaman genetika menggunakan penanda morfologi hasilnya kurang tepat karena sangat dipengaruhi oleh lingkungan dan interaksi antar genetik (Pandin 2010; Sobir *et al.* 2005). Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian Novayandi (2004) bahwa ada ketidaksesuaian karakter morfologi dengan penanda isozim. Penggunaan karakter molekuler sebagai sarana identifikasi dipandang lebih akurat dibandingkan karakter morfologi (Guzwo-Krzeminska *et al.* 2001; Vicente *et al.* 2005). Salah satu karakter molekuler yang digunakan sebagai karakter pengenal adalah daerah *Internal Transcribed Spacer* (ITS) DNA ribosom. Pada daerah tersebut dilakukan analisis menggunakan metode *Polimerase Chain Reaction-Restriction Fragment Length Polymorphism* (PCR-RFLP). Metode ini merupakan salah satu metode penandaan DNA didasarkan pada perbedaan situs pemotongan. Pemotongan dilakukan dengan enzim restriksi endonuklease yang dapat mendigesti DNA dan memotong DNA pada situs restriksi tertentu menjadi fragmen-fragmen. Pemanfaatan PCR-RFLP dalam identifikasi tanaman banyak dilakukan, antara lain pada *Phaseolus* (Vekemas *et al.* 1997) dan pisang (Ekasari 2011). Metode PCR-RFLP juga telah digunakan untuk mempelajari variasi genetik 11 aksesori dari 10 spesies durian menggunakan delapan jenis enzim restriksi (Santoso *et al.* 2005).

Berdasarkan uraian di atas, permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah mengetahui kekerabatan aksesori durian menggunakan metode PCR-RFLP berdasarkan ukuran fragmen spesifik *Internal Transcribed Spacer* (ITS) DNA ribosomal.

METODE

Sampel daun durian diambil dari Kecamatan Gunungpati Kotamadya Semarang berjumlah 11 aksesori. Isolasi DNA durian dilakukan di Laboratorium Genetika dan Biologi Molekuler Jurusan Biologi FMIPA Universitas Negeri Semarang. DNA diisolasi menggunakan Kit Isolasi DNA (*Nucleon Phytopure*, USA) dengan prosedur kerja mengikuti protokol dari *Nucleon Phytopure* yang telah dimodifikasi dengan penambahan β -merkaptotanol dan RNAase.

Amplifikasi daerah ITS DNA ribosom dilakukan dengan mencampurkan 10 ng DNA template, masing-masing 0,5 μ l primer ITS L (5'TCGTAACAAGGTTTCCGTAGGG3') dan ITS 4 (5'TCCTCCGCTTATTG ATATGC3') kemudian ditambah 200 μ l dNTP mix, 5 μ l PCR buffer 10X dan 0,24 μ l enzim *taq polymerase*. Rangkaian proses amplifikasi DNA target diawali tahap denaturasi DNA menjadi untai tunggal pada suhu pre-denaturasi 95°C selama 1 menit. Selanjutnya amplifikasi dilakukan sebanyak 35 siklus yang meliputi denaturasi pada 95°C selama 1 menit, diikuti *annealing* pada suhu 45°C selama 30 detik, ekstensi pada suhu 72°C selama 1 menit. Amplifikasi diakhiri dengan tahap ekstensi pada suhu 72°C selama 7 menit. ITS DNA ribosomal hasil amplifikasi selanjutnya dipotong menggunakan enam restriksi *Alu1*, *Bsp1431*, *BsuR1*, *Eco471*, *Ade1* dan *Mph11301*.

Hasil pemotongan dengan enzim restriksi kemudian dielektroforesis menggunakan gel agarose 2%. Data filogeni dianalisis menggunakan program NTSYS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel yang telah terkumpul dilakukan proses isolasi untuk mendapatkan DNA. Proses isolasi sangat menentukan kualitas DNA target yang digunakan sebagai template awal. DNA hasil isolasi untuk dapat diamplifikasi harus memiliki kualitas yang bagus, yaitu tidak *smear*, tidak terpotong-potong dan tidak mengandung zat lain. Indikasinya terlihat saat pita DNA dalam elektroforegram menunjukkan pita yang kompak dan tidak *smear*. *Smear* merupakan DNA yang

terpotong-potong dan berukuran kecil. Kesulitan dalam mengisolasi DNA durian yaitu ada banyak lendir yang dihasilkan dan warna kecoklatan pada pelet hasil isolasi DNA. Lendir dihasilkan terutama pada daun durian yang muda dan DNA hasil isolasi sedikit. Lendir dapat diatasi dengan menggunakan daun dewasa pada tanaman, hal ini telah dilakukan oleh Small *et al.* (2004).

Warna kecoklatan pada pelet DNA durian juga terjadi pada pelet hasil isolasi DNA daun mulberi. Adanya warna kecoklatan pada pelet DNA daun mulberi menyebabkan DNA sulit diisolasi. Untuk mengatasinya, Anuradha *et al.* (2013) menambahkan *polyvinil pirrolidone* (PVP), asam askorbat, *diethyldithiocarbamic acid* (DIECA), *sodium metabisulfite* dan *sodium dodecyl sulphate* pada buffer isolasi CTAB. DIECA adalah *phenoloxidase inhibitor* yang membantu mengurangi warna kecoklatan akibat oksidasi polifenol quinon. Penambahan asam L-askorbat mencegah oksidasi senyawa fenolik dan adsorpsi dengan molekul DNA. PVP juga memiliki fungsi yang sama, membentuk kompleks senyawa ikatan hidrogen dengan senyawa fenolik presipitat bersama dengan sel sehingga mencegah polifenol berinteraksi dengan DNA.

Proses isolasi DNA telah dilakukan dengan menggunakan beberapa metode isolasi yaitu metode Dixit (1998), metode Rath *et al.* (1998), metode Dharma *et al.* (2005), metode Doyle & Doyle (1990), metode Porebski *et al.* (1997) dan metode Orozco-Castillo *et al.* (1994). Namun hasil pelet yang diperoleh berwarna coklat dan tidak larut dalam buffer *Tris-EDTA* (TE) atau berlendir. Hasil elektroforesis menunjukkan kualitas pita DNA masih terdapat *smear* dan tidak memberikan hasil yang baik untuk dilakukan PCR.

Proses isolasi selanjutnya menggunakan Kit Isolasi DNA *Nucleon Phytopure* dengan berbagai optimasi isolasi yaitu 1) perbandingan menggunakan daun segar, 2) penambahan jumlah jaringan daun yang akan diekstrak, 3) penambahan β -merkaptotanol dan RNAase (Anonim 2007). Kombinasi kit dan perlakuan tersebut menghasilkan pelet DNA genom yang baik (Gambar 1).



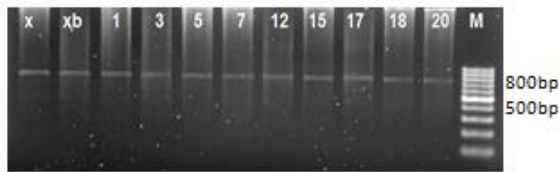
Gambar 1. Elektroforegram DNA genom pada gel agaros 0.8 %

Optimasi isolasi DNA durian dalam penelitian ini dilakukan menggunakan beberapa cara yaitu optimasi penambahan atau pengurangan jumlah jaringan yang akan diisolasi, penambahan β -merkaptotanol, dan penambahan RNAse selama proses isolasi dan purifikasi DNA. Menurut Moyo *et al.* (2008) optimasi jumlah jaringan tanaman per satuan volume buffer ekstraksi adalah salah satu faktor yang paling kritis dalam prosedur isolasi DNA tanaman. Di sisi lain, daun durian merupakan jaringan aktif fotosintesis yang mengandung senyawa polifenol. Ketika proses penggerusan, senyawa ini berinteraksi secara ireversibel dengan protein dan asam nukleat sehingga membentuk lendir (*gelatinous matrix*) (Michiels *et al.* 2003). Lendir ini menghambat proses PCR, jika tidak dihilangkan. Penambahan β -Merkaptotanol berfungsi untuk mencegah terjadinya oksidasi senyawa polifenol selama proses isolasi DNA (Kawata *et al.* 2003). Penelitian Suman *et al.* (1999) menyebutkan bahwa tingkat β -merkaptotanol yang tinggi berhasil menghilangkan polifenol. Oleh karena itu, konsentrasi β -merkaptotanol yang tinggi merupakan protokol yang baik untuk menghasilkan DNA berkualitas baik dari spesies tanaman yang mengandung polifenol.

Dalam penelitian ini, konsentrasi NaCl yang tinggi digunakan untuk menghapus kadar polisakarida selama ekstraksi DNA. Hameed *et al.* (2004) pada penelitiannya juga melaporkan bahwa kualitas DNA hasil isolasi gandum menjadi bagus setelah meningkatkan kadar NaCl dan β -merkaptotanol dalam buffer isolasi. Kemurnian DNA gandum hasil isolasi sangat baik yaitu pada rasio A260/A280 dan A260/A230 adalah 1,79-1,94 dan > 2 yang menunjukkan bahwa DNA bebas dari protein dan polifenol serta senyawa polisakarida.

DNA genom hasil isolasi diamplifikasi menggunakan ITS L dan ITS 4. Hasil amplifikasi

tersebut dielektroforesis menggunakan gel agarose 1 % (Gambar 2). Elektroforegram berdasarkan



Gambar 2. Elektroforegram Amplifikasi Menggunakan ITS L dan ITS 4. M : DNA marker 100 bp, x,xb,1-dst : aksesori durian

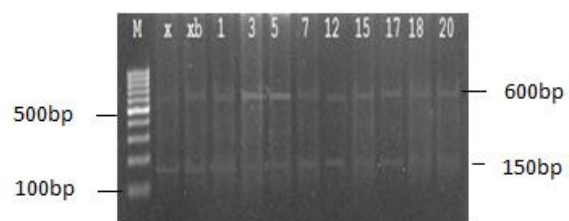
Amplifikasi DNA secara *in vitro* dilakukan menggunakan proses sintesis enzimatis dikenal dengan nama PCR. Proses amplifikasi oleh PCR dipengaruhi oleh berbagai parameter antara lain (1) kualitas dan konsentrasi DNA *template*, (2) desain dan konsentrasi primer, (3) konsentrasi ion magnesium, (4) konsentrasi empat deoksinnukleotida (dNTP), (5) buffer PCR, (6) konsentrasi *Taq* polimerase, (7) siklus PCR, (8) penggunaan teknik *hotstart*. Namun, tidak ada satu protokol PCR yang optimal untuk semua genom. Oleh karena itu, masing-masing PCR memerlukan optimasi khusus, terutama optimasi *template* dan primer yang akan digunakan (Grunenwald 2003). Hal tersebut juga disebutkan oleh Aris (2011) bahwa keberhasilan amplifikasi lebih didasarkan kepada kesesuaian primer serta efisiensi dan optimasi proses PCR. Primer yang tidak spesifik dapat menyebabkan teramplifikasinya daerah lain dalam genom yang tidak dijadikan sasaran atau tidak ada daerah genom yang teramplifikasi. Optimasi PCR diperlukan untuk menghasilkan karakter yang diinginkan, yaitu optimasi suhu *annealing* DNA dalam mesin PCR. Optimasi suhu *annealing* menjadi bagian yang paling penting dalam proses amplifikasi (Roux 2003).

Suhu *annealing* yang terlalu rendah dan terlalu tinggi menyebabkan primer tidak dapat melekat pada tempat yang spesifik sehingga hasil amplifikasi DNA target tidak didapatkan. Pada amplifikasi DNA pisang, suhu *annealing* yang optimal yaitu suhu 48°C. Pada penelitian ini, optimasi suhu *annealing* dilakukan menggunakan dua cara yaitu pada suhu 48°C (Ekasari 2011) dan *gradient* suhu yaitu pada suhu 38°C, 39°C, 41°C, 42°C, 43°C, 44°C, 45°C, dan 46°C.

marker 100bp menunjukkan hasil amplifikasi daerah ITS DNA ribosomal berukuran 800bp.

Hasil amplifikasi terbaik daerah ITS DNA ribosomal pada 11 aksesori durian dalam penelitian ini terjadi pada suhu *annealing* 45°C. Daerah ITS dapat diamplifikasi pada seluruh tanaman hijau menggunakan primer yang sama (Baldwin *et al.* 1995), sehingga daerah ITS dari DNA hasil ekstraksi dapat digunakan untuk mengidentifikasi spesies. Daerah ITS yang dianalisis pada penelitian pohon baobab (*Adansonia sp*) yang merupakan salah satu kerabat durian (*Bombaceae*) sepanjang 787 bp. Sekuen individu memiliki panjang antara 771-772 bp (Baum *et al.* 1998). Filogeni ITS menunjukkan bahwa *Adansonia digitata* dan *Adansonia kilima* secara genetik sama yaitu menunjukkan tetraploid yang berevolusi (Pettigrew *et al.* 2012).

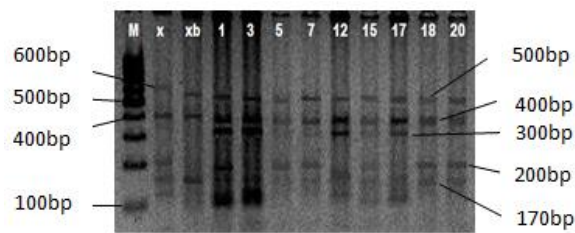
Penelitian ini menggunakan enam jenis enzim restriksi yang memotong daerah ITS, yaitu *Alu1*, *Bsp1431*, *BsuR1*, *Eco471*, *Ade1* dan *Mph11301*. Empat enzim menunjukkan hasil pemotongan, sedangkan dua enzim tidak. Keempat enzim tersebut adalah *Alu1*, *Bsp1431*, *BsuR1*, dan *Eco471* dan enzim yang tidak menunjukkan pemotongan adalah *Ade1* dan *Mph11301*. Enzim *Alu1* memotong DNA menjadi dua fragmen pada seluruh aksesori yaitu dengan ukuran 600 bp dan 150 bp (Gambar 3). Hal ini menunjukkan bahwa enzim *Alu1* tidak memiliki situs yang spesifik pada daerah ITS aksesori durian yang diteliti.



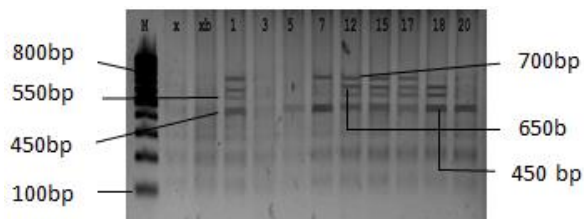
Gambar 3. Elektroforegram hasil pemotongan menggunakan enzim restriksi *Alu1*. M : DNA marker 100 bp, x,xb,1-dst : aksesori durian

Enzim *Bsp1431* memiliki situs pemotongan yang spesifik pada ukuran 550 bp dan 130 bp. Ukuran pita 550 bp yaitu hanya pada aksesori nomor xb dan ukuran pita 130 bp hanya ada pada aksesori nomor x. Hal ini menunjukkan bahwa enzim *Bsp1431* memiliki situs pemotongan spesifik pada ukuran 550 bp dan 130 bp. Pemotongan oleh

enzim *Bsp1431* memiliki 7 variasi ukuran pada

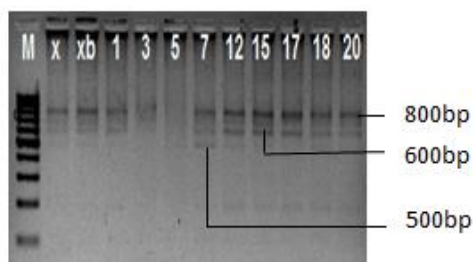


Gambar 4. Elektrogoregram hasil pemotongan menggunakan enzim *Bsp1431*. M : DNA marker 100 bp, x,xb,1-dst : aksesori durian



Gambar 5. Elektroforegram hasil pemotongan menggunakan enzim *BsuR1*. M : DNA marker 100 bp, x,xb,1-dst: aksesori durian

Pemotongan oleh enzim *Eco471* terdapat tiga variasi ukuran pemotongan (Gambar 6). Aksesori nomor x, xb dan 1 memiliki ukuran pita 800 bp. Aksesori nomor 3 dan 5 tidak menunjukkan adanya DNA. Aksesori nomor 7 memiliki ukuran pita DNA 800 bp, 600 bp dan 450 bp. Aksesori nomor 12, 15 dan 17 memiliki ukuran pita DNA yaitu 800 bp dan 600 bp. Aksesori nomor 18 dan 20 memiliki ukuran 800 bp, dan smear pada ukuran 600 bp dan 500 bp.

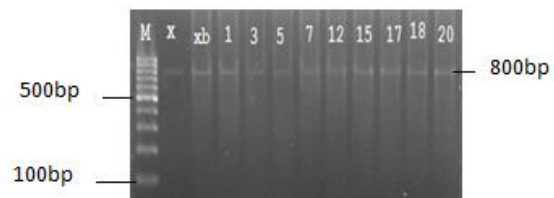


Gambar 6. Elektroforegram hasil pemotongan menggunakan enzim *Eco471*. M : DNA marker 100 bp, x,xb,1-dst : aksesori durian

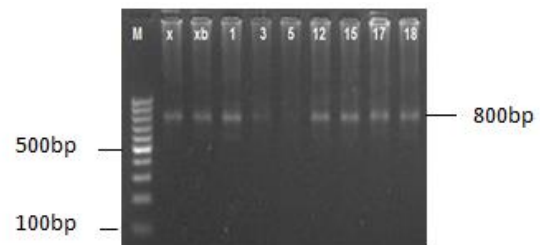
Inkubasi menggunakan enzim *Ade1* (Gambar 7) dan *Mph11031* (Gambar 8) menunjukkan tidak

kesebelas aksesori durian yang diteliti (Gambar 4).

Enzim *BsuR1* memiliki 6 variasi ukuran pemotongan (Gambar 5). Hasil pemotongan menggunakan enzim *BsuR1* beberapa aksesori nampak hanya *smear* yaitu pada aksesori nomor x, xb dan 3. Aksesori nomor 1 memiliki ukuran pita 700 bp, 600 bp dan 450 bp. Aksesori nomor 5 terpotong pada ukuran 450 bp. Aksesori nomor 7 memiliki ukuran pita DNA 700 bp dan 450 bp. Aksesori nomor 12, 15 dan 17 memiliki ukuran pita DNA yaitu 700 bp, 650 bp, 550 bp dan 450 bp. Aksesori nomor 18 memiliki ukuran 650 bp, 550 bp, dan 450 bp. Aksesori nomor 20 memiliki ukuran 450bp. terjadi pemotongan, hal ini menunjukkan bahwa enzim tersebut tidak memiliki situs pemotongan yang pada daerah ITS DNA Ribosomal kesebelas aksesori durian.



Gambar 7. Elektroforegram hasil pemotongan menggunakan enzim restriksi *Ade1*. M: DNA marker 100 bp, x,xb,1-dst : aksesori durian

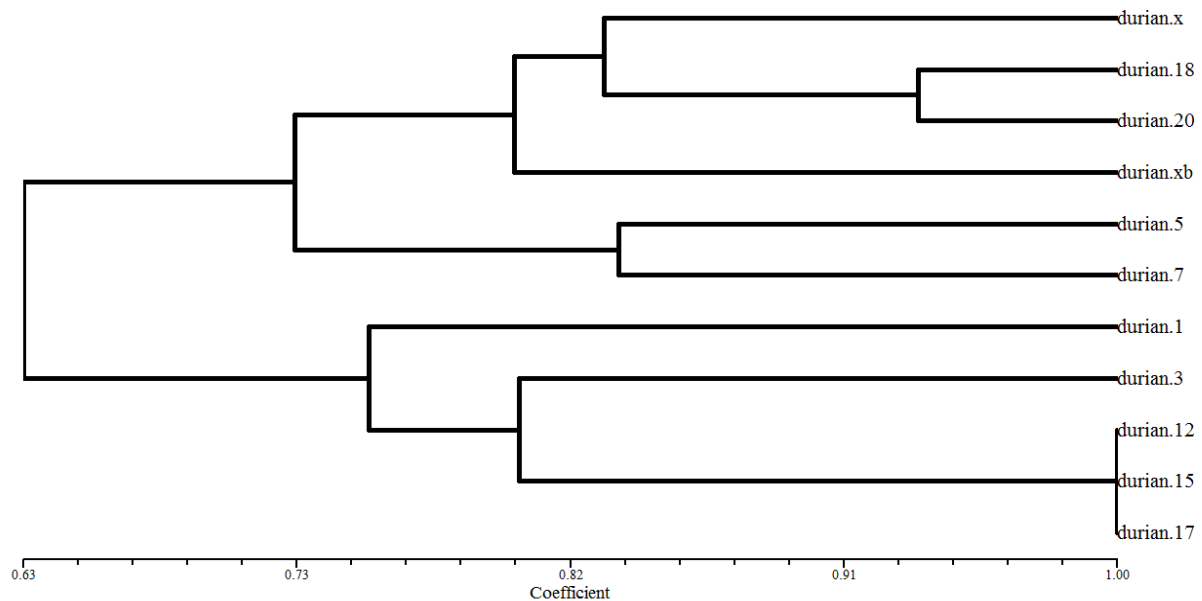


Gambar 8. Elektroforegram hasil pemotongan menggunakan enzim *Mph11301*. M : DNA marker 100 bp, x,xb,1-dst aksesori durian

Data hasil pemotongan dengan menggunakan enam enzim tersebut dapat dibuat dalam bentuk tabel untuk mempermudah dalam tahap berikutnya (Tabel 1). Penyajian ini akan dapat digunakan untuk analisis pembuatan dendrogram hubungan kekerabatan pada 11 aksesori tanaman durian (Gambar 9).

Tabel 1. Ukuran Fragmen DNA Hasil Pemotongan Menggunakan Enzim *Alu1*, *Bsp1431*, *BsuR1*, *Eco471*, *Ade1*, dan *Mph11301*

Ukuran fragmen DNA (bp)	Kode Aksesori Durian										
	x	xb	1	3	5	7	12	15	17	18	20
100											
130	√										
150	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
170	√	√	√							√	√
200	√				√	√				√	√
250			√								
300				√			√	√	√		
350											
400	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
450			√		√		√	√	√		
500			√	√	√	√	√	√	√	√	√
550		√								√	
600	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
650							√	√	√		
700							√	√	√		
800	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√



Gambar 9. Dendrogram aksesori durian

Hubungan kekerabatan 11 aksesori durian berdasarkan pita ITS DNA ribosomal menghasilkan dendrogram dengan nilai koefisien kemiripan antara 0,63-1,00 (Gambar 9). Semakin besar nilai koefisien kemiripan, maka semakin dekat hubungan kekerabatan antar aksesori. Dua *cluster*

besar aksesori durian menunjukkan kedekatan kekerabatan antara 6 aksesori durian dan kekerabatan antara 5 aksesori durian. *Cluster* pertama dibagi menjadi dua sub *cluster*, yaitu sub *cluster* yang pertama dibagi menjadi dua sub grup yang menunjukkan kedekatan kekerabatan aksesori

durian x, durian xb, durian 18, dan durian 20. Sub *cluster* yang kedua, menunjukkan kedekatan kekerabatan aksesori durian 5 dan durian 7. Selanjutnya, *cluster* kedua dibagi menjadi dua sub *cluster*. Sub *cluster* yang pertama dalam *cluster* kedua, adalah aksesori durian 1. Sub *cluster* yang kedua terdiri atas dua sub grup yang menunjukkan aksesori durian 3, durian 12, durian 15 dan durian 17 memiliki kekerabatan yang dekat. Mengacu pada dua sub *cluster* di dalam *cluster* kedua, aksesori durian 12, durian 15, dan durian 17 memiliki kekerabatan paling dekat. Hasil analisis kekerabatan berdasarkan dendrogram ini dapat diperkuat dengan data analisis keanekaragaman berdasarkan karakteristik taksonomi, yaitu bentuk buah, ukuran duri pada kulit buah, dan morfologi daun (Somsri 2007).

Penentuan genom menggunakan metode PCR-RFLP pada daerah ITS DNA ribosomal lebih sederhana dan lebih mudah dilakukan, hal ini karena primer yang digunakan bersifat universal, sehingga amplifikasi yang dilakukan lebih mudah dan efisien. Penelitian ini merupakan studi awal, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui nama spesies masing-masing aksesori durian. *Database* nama spesies durian berdasarkan analisis PCR-RFLP dapat digunakan sebagai acuan untuk mengklasifikasi spesies durian. Urutan basa hasil sekuensing dapat dilacak untuk memperoleh nama spesies berdasarkan *database* yang ada di *National Center for Biotechnology Information* (NCBI). Sekuens DNA hasil PCR-RFLP dilacak untuk mengetahui persentase kemiripan dan homologi menggunakan BLAST. Spesies yang memiliki nilai *max score* dan *max identity* tertinggi di dalam *database* BLAST adalah spesies yang paling dekat kekerabatannya dengan sampel yang dianalisis.

SIMPULAN

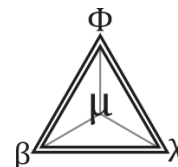
DNA genom 11 aksesori durian berhasil diamplifikasi menggunakan primer ITS L dan ITS 4. Pemotongan menggunakan enzim *Bsp1431* menghasilkan dua fragmen spesifik yaitu 550bp dan 120bp. Enzim *BsuR1* memiliki situs pemotongan yang spesifik pada ukuran 600bp. Enzim *Eco471* memiliki situs pemotongan spesifik pada ukuran 450bp. Analisis dendrogram

menunjukkan bahwa aksesori durian nomor 12, 15, dan 17 memiliki kekerabatan yang dekat, diduga ketiganya merupakan sekerabat (satu spesies).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2007. Illustra nucleon phytopure genomic DNA ekstraksi kits product booklet. Buckinghamshire. Online at <http://www.gelifesciences.com> [diakses tanggal 3 Desember 2012]
- Anuradha HJ, Vijayan K, Nair CV & Manjula A. 2013. A novel and efficient protocol for the isolation of genomic dna from Mulberry (*Morus L.*). *Emirates Journal Food Agriculture* 25 (2): 124-131
- Aris M. 2011. Identifikasi, patogenisitas bakteri dan pemanfaatan gen 16s-rrna untuk deteksi penyakit *ice-ice* pada budidaya rumput laut (*Kappaphycus alvarezii*). *Disertasi*. Bogor: Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Baldwin BG, Sanderson MJ, Porter JM, Wojciechowski MF, Campbell CS, & Donoghue MJ. 1995. The ITS region of nuclear ribosomal dna: a valuable source of evidence on angiosperm phylogeny. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 82: 247-277.
- Baum DA, Small RL & Wendel JF. 1998. Biogeography and floral evolution of Baobabs (*Adansonia*, Bombacaceae) as inferred from multiple data sets. *Systematic Biology* 47(2): 181-207.
- Dharma B, Sudarmonowati E, Rahman M & Abbas ND. 2005. Metode baru dalam isolasi dna durian dan kerabatnya (*Durio spp.*) dalam analisis RAPD dengan modifikasi terhadap prosedur CTAB. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional dan Kongres Biologi XIII*. Perhimpunan Biologi Indonesia Cabang Yogyakarta dan Panitia Lustrum X Fakultas Biologi Universitas Gajah Mada. Yogyakarta, 16-17 September 2005. Hlm 56-60.
- Dixit A. 1998. A Simple and rapid procedure for isolation of *amaranthus* dna suitable for fingerprint analysis. *Plant Molecular Biology Reporter* (16):1-8
- Doyle JJ & Doyle JL. 1990. A rapid total DNA preparation procedure for fresh plant tissue. *Focus* 12:13-15.
- Ekasari TWD. 2011. Analisis keanekaragaman genetika kultivar pisang menggunakan penanda PCR-RFLP pada *Internal Transcribed Spacer* (ITS) DNA ribosomal. *Skripsi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Grunenwald H. 2003. Optimization of polymerase chain reactions. Di dalam: *Methods in Molecular Biology: PCR Protocol*. JMS Bartlett and D Stirling

- (Eds). second edition. Totowa: Humana press. 89-99.
- Guzow-Krzeminska B, Gorniak M, & Wegrzyn G. 2001. Molecular determination keys : construction of keys for species identification based on restriction fragment length polymorphism. *Inter Arch Biosci* 1:1057-1067.
- Hameed A, Malik SA, Iqbal N, Arshad R & Farooq S. 2004. A rapid (100 min) method for isolating high yield and quality dna from leaves, roots and coleoptile of wheat (*triticum aestivum* l.) suitable for apoptotic and other molecular studies. *International Journal of Agriculture & Biology* 6(2):383-387
- Kawata M, Matsumura Y, Oikawa T, Kimizu M, Fukumoto F & Kuroda S. 2003. Analysis of DNA extraction buffer components from plant tissue by polymerase chain reaction. *Analytical Biochemistry* 318:314-317.
- Michiels A, den Ende WV, Tucker M, Riet LV & Laere AV. 2003. Extraction of high-quality genomic DNA from latex-containing plants. *Analytical Biochemistry* 315:85-89.
- Moyo M, Amoo SO, Bairu MW, Finnie JF, & Staden JV. 2008. Optimising DNA isolation for medicinal plants. *South African Journal of Botany* 74:771-775.
- Novayandi A. 2004. Analisis keanekaragaman durian lokal serang berdasarkan penanda morfologi, isozim, dan gabungan morfologi-isozim. *Tesis*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Orozco-Castillo C, Chalmers KJ, Waugh R, Powell W. 1994. Detection of genetic diversity and selective gene introgression in coffee using RAPD markers. *Theor Appl Genet* 87:934-940
- Pandin DS. 2010. Penanda DNA untuk pemuliaan tanaman kelapa (*Cocos nucifera* L). *Perspektif* 9(1): 21-35
- Pettigrew JD, Karen LB, Adhil B, Eunice G, Ngalla J, Jean M, Emily W & Claudia EV. 2012. Morphology, ploidy and molecular phylogenetics reveal a new diploid species from Africa in the baobab genus *Adansonia* (Malvaceae: Bombacoideae). *Taxon* 61 (6): 1240-1250
- Rath P, Rajaseger G, Gooh CJ & Kumar PP. 1998. Phylogenetic analysis of Dipterocarps using random amplified polymorphic DNA markers. *Annals of Botany* 82:61-65
- Roux KH. 2009. *Optimization and troubleshooting in PCR*. Cold Spring Harbour Laboratory Press 4(4): 1-6
- Small RL, Cronn RC & Wendel JF. 2004. The use of nuclear genes for phylogeny reconstruction in plants. *Australian Systematic Botany*. 17:145-170
- Suman PSK, Ajit KS, Darokar MP & Sushil K. 1999. Rapid isolation of DNA from dry and fresh samples of plants producing large amounts of secondary metabolites and essential oils. *Plant Molecular Biology Reporter* 17: 1-7
- Sobir, Guntoro D, & Septimayani I. 2005. Analisis keragaman genetik enam belas aksesi blewah (*Cucumis melo* l.) dengan metode random amplified polymorphic DNA (RAPD). *Gakuryoku* 11(2): 177-180
- Somsri S. 2007. *Thai Durian*. Bangkok: Horticulture Research Institute, Department of Agriculture Chatuchak
- Vekemas X, Oliver H, Bruno B, Bourlaye F & Jean-pierre B. 1997. Use of PCR-RFLP on chloroplast DNA to investigate phylogenetic relationships in the genus *Phaseolus*. *Biotechnol, Agron. Soc, Environ*. 2 : 128-134.
- Vicente MC, Guzman FA, Engels J & Rao VR. 2005. Genetic Characterization and its use in Decision Making for the Conservation of Crop Germplasm. *The Role Biotechnology* 121-128.



RESPON PEMBENTUKAN KALUS KORO BENGUK (*MUCUNA PRURIENS* L.) PADA BERBAGAI KONSENTRASI 2,4-D DAN BAP

R Ariani ✉ Y U Anggraito, E S Rahayu

Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Februari 2016
Disetujui Maret 2016
Dipublikasikan April 2016

Keywords:

BAP; 2,4-D; kalus; koro benguk

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi 2,4-dichlorophenoxy acetic acid (2,4-D) dan benzylamino purin (BAP) optimal dalam pembentukan kalus dari eksplan setengah biji koro benguk (*Mucuna pruriens* L.). Rancangan penelitian yang digunakan ialah rancangan acak lengkap dengan dua faktor, yaitu konsentrasi 2,4-D (0,5 ppm, 1 ppm, 1,5 ppm, 2 ppm) dan BAP (1 ppm, 2 ppm, 3 ppm) untuk induksi kalus. Hasil induksi dipindahkan pada media MS0, kemudian dilanjutkan pada media MS yang ditambah BAP, IBA, GA. Parameter yang diamati adalah waktu terbentuk kalus, persentase eksplan berkalus, berat kalus per eksplan, warna dan tekstur kalus. Pada tahap induksi kalus, BAP 3 mg/l menyebabkan pertumbuhan kalus terberat dibandingkan konsentrasi lainnya. Sementara pada tahap diferensiasi, konsentrasi BAP 3 ppm dan 2,4-D 1 ppm merupakan konsentrasi yang mengakibatkan persentase kalus sehat tertinggi. Perlakuan 2,4-D 1 ppm dan BAP 3 ppm menghasilkan kalus putih transparan, kompak, dan berat kalus tertinggi (0,49 gram). Konsentrasi tersebut merupakan konsentrasi yang disarankan untuk menumbuhkan kalus koro benguk

Abstract

This research aimed to determine the optimal concentration of 2,4-D and BAP in callus formation from an explant of half seed *Mucuna pruriens*. The research design was used completely randomized design with two factors: the concentration of 2,4-D (0.5 ppm, 1 ppm, 1.5 ppm, 2 ppm) and BAP (1 ppm, 2 ppm, and 3 ppm) for callus inductions. The induction result is moved to MS0 medium, then continued to MS medium which was added by BAP, IBA, GA. The measured parameters were: callus formation time, the percentage of callus explants, the weight of callus for each explants, color and texture of callus. During induction phase BAP 3 ppm caused the heaviest callus growth than others, meanwhile in differentiation phase BAP 3 ppm and 2,4-D 1 ppm caused the highest percentage of healthy callus. Treatment of 2,4-D 1 ppm and BAP 3 ppm produced white and compact transparent callus with weight 0.49 grams. This concentration was recommended to grow the *M. pruriens* callus.

© 2016 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 1 Sekaran Gunungpati Semarang
E-mail: restiunnes@gmail.com

ISSN 0215-9945

PENDAHULUAN

Koro benguk (*Mucuna pruriens* L.) merupakan salah satu jenis kacang-kacangan lokal yang memiliki beragam varietas dan biasa digunakan sebagai bahan baku pengganti kedelai dalam pembuatan tempe. Masyarakat banyak memanfaatkan biji koro benguk untuk dibuat tempe (tempe benguk), *geblek*, *besengek*, kecap dan untuk produksi susu benguk (Purwaningsih 2008). Pada daerah-daerah tropis, koro benguk dimanfaatkan sebagai bahan makanan pengganti, pakan ternak, kopi, dan tempe. Namun di beberapa Negara, koro benguk digunakan untuk berbagai macam tujuan pengobatan (Chikagwa-Malunga *et al.* 2009).

Koro benguk mempunyai potensi yang baik sebagai sumber protein alternatif dengan harga terjangkau di kalangan masyarakat luas. Vadivel dan Pugalenth (2008) menyebutkan bahwa kandungan protein dan lipid pada biji mentah koro benguk adalah 273,2 dan 60,61 g/kg, dan karbohidrat sebesar 374,6 g/kg. Koro benguk juga mengandung berbagai macam komposisi mineral, asam lemak, dan vitamin. Kandungan mineral yang terdapat dalam koro benguk adalah K, Ca, Mg, P, Fe, Mn, Zn, Cu (Mohan & Kalidass 2011).

Konsumsi koro benguk di Indonesia (Wonogiri dan Gunung Kidul Yogyakarta) lebih rendah dibandingkan kacang-kacangan lainnya seperti kacang tanah dan kedelai. Rendahnya tingkat konsumsi tersebut disebabkan adanya kandungan anti-nutrisi seperti asam sianida (HCN) dan *L-3,4 Dihydroxyphenylalanine* (L-Dopa) yang dapat menyebabkan keracunan apabila dijadikan bahan makanan atau pakan ternak (Widianarko *et al.* 2000). Upaya perbaikan mutu tanaman dapat dilakukan melalui kajian fisiologis, molekuler, dan pemuliaan tanaman secara konvensional. Perakitan varietas baru dalam rangka memperbaiki mutu tanaman banyak dilakukan dengan memanfaatkan teknologi transformasi genetik. Finer *et al.* (1997) menyatakan bahwa regenerasi tanaman melalui jalur embriogenesis banyak digunakan untuk menghasilkan tanaman transgenik dengan memanfaatkan vektor *Agrobacterium* maupun dengan teknik penembakan partikel genetik. Keberhasilan transfer gen untuk menghasilkan tanaman dengan

sifat tertentu sangat tergantung pada kemampuan eksplan membentuk embrio somatik dan beregenerasi menjadi tanaman (Nolan & Rose 2010).

Efektivitas zat pengatur tumbuh (ZPT) yang digunakan bergantung pada konsentrasi hormon endogen yang berinteraksi dengan hormon eksogen (Davies 2004). Senyawa 2,4-dichlorophenoxy acetic acid (2,4-D) merupakan auksin kuat yang banyak digunakan untuk menginduksi dan meningkatkan frekuensi kalus embriogenik. Benzylamino purin (BAP) merupakan sitokinin sintetik aktif yang tidak mudah dirombak oleh enzim dalam tanaman serta sangat efektif dalam menstimulasi proliferasi dan induksi tunas (Gray 2005). George & Sherrington (1984) menyatakan, penggunaan konsentrasi ZPT dalam jumlah seimbang antara sitokinin dan auksin menstimulasi eksplan untuk membentuk kalus. Apabila konsentrasi sitokinin diperbesar, akan mengarah pada pembentukan dan perbanyakan tunas. Perbedaan respon pada suatu eksplan dapat disebabkan oleh faktor genotip eksplan, jenis eksplan, dan ZPT media tanam (Pierik 1987).

Kalus yang mempunyai struktur embriogenik umumnya lebih berpotensi untuk dilanjutkan pada tahap diferensiasi. Proses diferensiasi tanaman membutuhkan serangkaian ZPT yang tepat untuk mengoptimalkan induksi tunas dari kalus-kalus embriogenik. Sitokinin BAP merupakan ZPT yang efektif digunakan untuk mendorong keberlanjutan perkembangan kalus (George & Sherrington 1984). Penambahan *indole-3-butyric acid* (IBA) pada medium berfungsi untuk membantu penumbuhan akar, sehingga penyerapan nutrisi lebih optimal dan pertumbuhan semakin cepat. Beberapa penelitian menunjukkan adanya komponen lain yang ditambahkan pada medium untuk memaksimalkan perkembangan eksplan, di antaranya arang aktif, *Gibberelic acid* (GA), maltosa, dan asam amino.

Penentuan konsentrasi yang tepat, penting untuk mendapatkan respon optimum eksplan. Konsentrasi ZPT yang terlalu rendah tidak memunculkan respon induksi yang berarti, dan konsentrasi yang terlalu tinggi justru menjadi toksik bagi tanaman (Gaba 2005). Kombinasi formula yang tepat antara 2,4-D, BAP, IBA atau komponen lain perlu diketahui untuk melihat

respon induksi kalus dan perkembangan kultur koro benguk. Hasil penelitian berguna sebagai protokol awal sebelum masuk pada proses embriogenesis dan transformasi untuk perbaikan kualitas nutrisi, hasil produksi, toleransi stres biotik dan abiotik, atau berbagai pengembangan penelitian lainnya.

METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kultur Jaringan Tumbuhan Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Bahan penelitian berupa biji koro benguk masak panen dari Desa Mojoreno Kecamatan Sidoharjo Kabupaten Wonogiri Jawa Tengah. Eksplan yang digunakan adalah setengah biji yang diperoleh dengan cara biji dibuang kulit arinya dan dibelah secara longitudinal kemudian dibuang aksis embrionya. Eksplan ditanam dalam media *Murashige Skoog* (MS) padat yang ditambah 2,4-D (0,5 ppm, 1 ppm, 1,5 ppm, 2 ppm) dan BAP (1 ppm, 2 ppm, 3 ppm) selama 4 minggu. Parameter yang diamati adalah waktu terbentuk kalus, persentase eksplan berkalus, berat kalus, warna dan tekstur kalus, dan embrio yang terbentuk.

Memasuki tahap perkembangan dan diferensiasi, kalus dipindahkan pada media MS0 dan dikulturkan selama 4 minggu. Parameter yang diamati adalah persentase eksplan berkalus sehat dan morfologi kalus. Setelah dikulturkan selama 4 minggu, kalus disubkultur pada media yang sama atau langsung dipindahkan pada media BAP, IBA dan GA.

Data yang diperoleh dianalisis dengan *Two Ways* ANAVA menggunakan perangkat SPSS versi 17.0 pada aras probabilitas 5% untuk melihat pengaruh perlakuan. Apabila hasil uji dari setiap perlakuan signifikan maka dilakukan uji lanjut UJGD (Uji Jarak Berganda Duncan) dengan tingkat kepercayaan 95% untuk menganalisis perbedaan pengaruh antar kombinasi taraf perlakuan (Gomez & Gomez, 1995).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Induksi Kalus Embriogenik

Data hasil pengamatan waktu terbentuk kalus eksplan setengah biji koro benguk selama 1 bulan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Waktu terbentuk kalus (hari) setelah satu bulan penanaman

Konsentrasi 2,4D (ppm)	Konsentrasi BAP (ppm)		
	1	2	3
0,5	6,7	6,3	7,7
1	5,7	6,7	6,0
1,5	6,0	5,7	7,3
2	6,3	5,0	6,0

Hasil analisis varian dua jalan menunjukkan tidak ada pengaruh signifikan konsentrasi BAP, 2,4-D dan interaksi BAP x 2,4-D terhadap waktu terbentuk kalus sehingga tidak dilakukan Uji Jarak Ganda Duncan (UJGD). Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa waktu terbentuknya kalus cenderung lebih cepat ketika konsentrasi 2,4-D meningkat. Ketika konsentrasi auksin eksogen ditingkatkan, protein *Aux/IAA* pada eksplan menjadi tidak stabil akibat degradasi yang terjadi dengan cepat, dan tidak terjadi proses akumulasi. Akibatnya *Aux/IAA* berhenti melakukan penekanan gen dan auksin berekspresi (Hagen *et al.* 2004). Hasil ini sejalan dengan penelitian Permadi *et al.* (2014) bahwa waktu terbentuk kalus lebih cepat ketika konsentrasi auksin meningkat. Kalus biasanya muncul pertama kali pada area eksplan yang terluka. Adanya luka pada eksplan menyebabkan ZPT eksogen lebih mudah berdifusi ke dalam jaringan dan bekerja sama dengan ZPT endogen untuk membentuk kalus dengan menstimulasi pembelahan sel terutama pada area luka. Munculnya kalus pada bagian terluka juga dikarenakan adanya rangsangan dari jaringan eksplan untuk menutupi luka yang diawali dengan pembentangan dinding sel dan penyerapan air, kemudian sel akan melakukan pembelahan sel (George & Sherrington 1984).

Hasil pengamatan persentase eksplan berkalus setelah perlakuan selama satu bulan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persentase eksplan berkalus setelah satu bulan penanaman (%)

Konsentrasi 2,4D (ppm)	Konsentrasi BAP (ppm)		
	1	2	3
0,5	33,3	58,3	75,0
1	41,7	63,8	58,3
1,5	58,3	41,7	28,3
2	50,0	41,7	36,

Hasil analisis varian dua jalan menunjukkan tidak ada pengaruh signifikan konsentrasi BAP, 2,4-D dan interaksi BAP x 2,4-D terhadap persentase berkalus sehingga tidak dilanjutkan UJGD. Data di atas menunjukkan bahwa persentase eksplan berkalus koro bengkok bervariasi. Persentase eksplan berkalus cenderung semakin menurun ketika konsentrasi 2,4-D ditingkatkan, namun persentase yang rendah tidak selalu menunjukkan kualitas kalus yang buruk. Beberapa perlakuan dengan hasil persentase tinggi menunjukkan kualitas kalus yang mudah rusak dan minim kandungan air. Hasil ini berbeda dengan penelitian Harisaranraj *et al.* (2008) bahwa persentase kalus semakin meningkat seiring bertambahnya konsentrasi ZPT. Kemampuan eksplan dalam membentuk kalus, selain akibat pengaruh ZPT endogen juga dipengaruhi oleh genotip eksplan, umur eksplan, lingkungan kultur, dan koresponsifan masing-masing eksplan (Zulkarnain 2009).

Berdasarkan hasil pengukuran berat kalus selama perlakuan 1 bulan diperoleh data seperti tersaji pada Table 3.

Tabel 3. Berat kalus per eksplan selama satu bulan penanaman (g)

Konsentrasi 2,4D (ppm)	Konsentrasi BAP (ppm)		
	1	2	3
0,5	0,29	0,44	0,47
1	0,41	0,20	0,49
1,5	0,44	0,19	0,38
2	0,41	0,19	0,43

Hasil pengukuran berat kalus per eksplan setengah biji koro bengkok bervariasi antar taraf perlakuan. Penyebab dari peristiwa tersebut

dimungkinkan karena tingkat koresponsifan masing-masing eksplan dalam membentuk kalus berbeda. Adapun penyebab lainnya adalah pengaruh fisiologis eksplan yang mengeluarkan butiran air hitam ketika dikulturkan. Kondisi tersebut menyebabkan media berubah warna menjadi kecoklatan bahkan hitam. Bhojwani & Razdan (1996) menyebutkan, pada kultur *in vitro* beberapa spesies tanaman dapat menyebabkan terjadinya oksidasi substansi fenolik yang dilepaskan oleh eksplan melalui permukaan dan umumnya menyebabkan *browning* pada medium. Medium akan berubah warna menjadi coklat sampai coklat tua dan terkadang meracuni jaringan yang ditanam. Pada beberapa eksplan, perubahan media menjadi coklat sampai hitam akibat peristiwa tersebut tidak menghalangi perkembangan eksplan dalam memperbanyak jumlah kalus, namun eksplan-eksplan tertentu justru mengalami kemunduran fisiologis dan mati. Keadaan ini menunjukkan bahwa batas toleran masing-masing eksplan terhadap kondisi tersebut tidak sama.

Analisis varian dua jalan menunjukkan ada pengaruh signifikan konsentrasi BAP terhadap berat kalus yang dikulturkan (Tabel 4). Taiz & Zeiger (2010) menyatakan sitokinin bekerja dengan mempercepat durasi fase G2 menuju fase M, sehingga meningkatkan laju sintesis protein dan pembelahan semakin cepat. D'Agostino & Kieber (2002) menambahkan bahwa pada transisi G2 menuju M, sitokinin juga berperan mengatur *on-off* nya *cyclin dependen kinase* (CDK) seperti *cdc2*, *cdk4*, dan *cdk6* dengan cara bergabung pada siklin spesifik. Pada tahap G2, sitokinin masuk dan menstimulasi *cdc2* inaktif menjadi aktif dengan melibatkan protein kinase *wee 1*. Selanjutnya *cdc2* bergabung dengan siklin tipe B pada tahap G2 akhir dan menyebabkan CDK pada posisi *on*. Masuk pada tahap G1, sitokinin bekerja untuk mengantifkan siklin tipe D (*CyD3*) dengan melibatkan *cyclin activating kinase* (CAK). Adanya sitokinin eksogen menyebabkan transkrip *cdc2* dan *CyD3* mengalami peningkatan. Meningkatnya ekspresi *CycD3* sinergis dengan meningkatnya proliferasi sel.

Tabel 4. Hasil perhitungan UJGD pada BAP (g)

Perlakuan	Rerata Berat Kalus
BAP 1 ppm	1,55 ^a
BAP 2 ppm	1,01 ^b
BAP 3 ppm	1,76 ^a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf sama, menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan hasil UJGD.

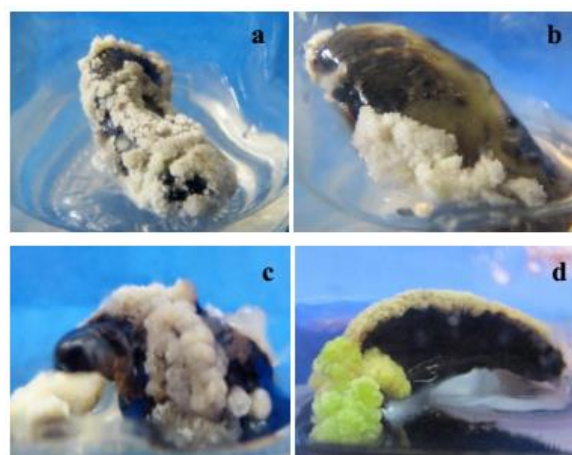
Bertambahnya berat kalus erat kaitannya dengan kandungan air, kecepatan sel membelah dan pembesaran sel. Adanya proses pembelahan dan pembesaran sel menyebabkan jumlah dan besar sel bertambah sehingga berat kalus meningkat. Hasil UJGD menunjukkan bahwa konsentrasi BAP yang mampu menginduksi berat kalus paling optimal ialah BAP 3 ppm. Kombinasi perlakuan BAP 3 ppm dan 2,4-D 1 ppm menghasilkan berat kalus tertinggi sebesar 0,49 g. Hasil ini sejalan dengan penelitian Radhakrishnan & Ranjitakumari (2007) bahwa pada eksplan setengah biji kedelai dengan penambahan BAP 3-4 mg/l memberikan hasil terbaik dalam menginduksi pengkalusan.

Indikator perkembangan eksplan pada kultur *in vitro* berupa warna dan tekstur kalus digunakan untuk menggambarkan penampilan visual kalus sehingga dapat diketahui sel masih aktif membelah atau telah mati. Hasil pengamatan penampilan visual kalus berupa warna dan tekstur kalus pada media induksi BAP dan 2,4-D disajikan pada Tabel 5.

Kalus yang terbentuk pada media tanam dengan BAP dan 2,4-D rata-rata berwarna putih dan kompak (Gambar 1a). Eksplan yang ditanam pada media dengan penambahan BAP 1 ppm dan 3 ppm memiliki respon pembentukan kalus yang berbeda dari BAP 2 ppm. Kalus yang muncul pada media perlakuan dengan penambahan BAP 2 ppm rata-rata muncul dalam bentuk remah dan mudah rusak (Gambar 1b). Pada proses induksi, beberapa kalus ditemukan berwarna putih transparan (Gambar 1c) atau hijau (Gambar 1d)

Tabel 5. Warna dan tekstur kalus pada media induksi selama 1 bulan perlakuan

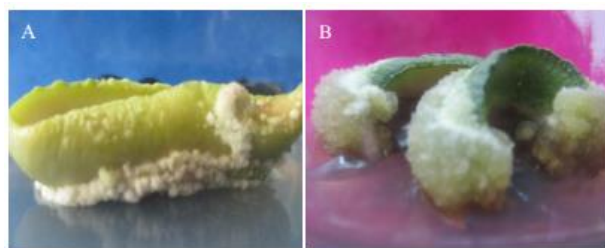
Perlakuan	Warna dan Tekstur Kalus
B1D1	kalus putih dan kompak
B1D2	kalus putih transparan dan kompak
B1D3	kalus putih transparan dan kompak
B1D4	kalus putih kehijauan dan kompak
B2D1	kalus putih kompak
B2D2	kalus putih remah
B2D3	kalus putih dan remah
B2D4	kalus putih dan remah
B3D1	kalus putih dan kompak
B3D2	kalus putih transparan dan kompak
B3D3	kalus putih dan kompak
B3D4	kalus putih dan kompak



Gambar 1. Warna dan tekstur kalus yang tumbuh pada media tanam. (a) Kalus putih kompak pada media BAP 1 ppm dan 2,4-D 2 ppm (b) Kalus putih remah pada media BAP 2 ppm dan 2,4-D 2 ppm (c) Kalus putih transparan pada media BAP 3 ppm dan 2,4-D 1 ppm (d) Kalus hijau pada media BAP 1 ppm dan 2,4-D 2 ppm.

Jaringan kalus yang dihasilkan dari suatu eksplan biasanya memunculkan warna dan tekstur kalus yang berbeda-beda. Pierik (1987) menyatakan tekstur yang terbentuk pada kalus dapat bervariasi dari kompak hingga remah atau putih sampai hijau, tergantung pada jenis tanaman yang digunakan, komposisi nutrisi media, ZPT, dan kondisi lingkungan kultur. Kalus yang terbentuk pada media tanam yang ditambah BAP dan 2,4-D, rata-rata berwarna putih dan kompak, beberapa kalus juga bersifat remah. Kalus kompak pada media induksi dengan penambahan auksin 2,4-D tersusun padat dan susah dipisahkan sedangkan kalus remah tersusun renggang, rapuh

dan minim kandungan air. Hasil ini berbeda dengan kalus yang tumbuh pada medium MS dengan penambahan NAA. Eksplan yang ditumbuhkan pada medium dengan penambahan auksin NAA menumbuhkan kalus yang remah, berwarna hijau sedikit buram dan kandungan air tinggi (Marthani 2016). Berdasarkan respon tersebut, ditengarai eksplan koro benguk lebih responsif terhadap auksin jenis NAA daripada 2,4-D.



Gambar 2. Perbandingan kalus koro benguk yang berhasil diinduksi umur tiga minggu (A) Kalus yang diinduksi 2,4-D 0,5 ppm dan BAP 3ppm (B) Kalus yang diinduksi NAA 0,2 ppm dan BAP 3 ppm.

Diferensiasi Kalus

Pada tahap subkultur pada Media MS0, kalus yang dihasilkan pada tahap induksi dipindah pada medium MS0 untuk meningkatkan proliferasi kalus dan memicu perkembangan lebih lanjut.

Hasil pengamatan persentase kalus yang sehat pada medium MS0 selama satu bulan disajikan pada Tabel 6. Uji anava persentase kalus sehat yang disubkultur pada media MS0 menunjukkan bahwa perlakuan BAP dan 2,4-D secara terpisah memberikan pengaruh yang signifikan (Tabel 7 & 8). Persentase eksplan berkalus yang sehat pada media MS0 menunjukkan beberapa perlakuan cenderung meningkat, namun terdapat juga beberapa perlakuan yang menurun (Tabel 2 dan Tabel 6). Pada media MS0, rata-rata kalus memperbanyak jumlah kalus dengan melakukan penebalan. Kalus-kalus yang sebelumnya remah dan mudah rusak pada media induksi terlihat menumbuhkan kalus baru dengan struktur lebih kompak dan kandungan air yang cukup. Hasil UJGD menunjukkan bahwa konsentrasi BAP 3 ppm dan konsentrasi 2,4-D 2 ppm merupakan konsentrasi

yang optimal dalam meningkatkan proliferasi kalus pada MS0.

Tabel 6. Persentase eksplan berkalus sehat selama 1 bulan pada medium MS0 (%)

Konsentrasi 2,4D (ppm)	Konsentrasi BAP (ppm)		
	1	2	3
0,5	16,67	41,67	66,67
1	41,67	8,33	75,00
1,5	41,67	52,32	46,67
2	80,00	75,00	75,00

Keterangan: Notasi a merupakan hasil perhitungan data hilang

Tabel 7. Hasil perhitungan UJGD pada BAP (g)

Perlakuan	Rerata Persentase Kalus yang Sehat
BAP 1 mg/l	45,00 ^b
BAP 2 mg/l	44,33 ^b
BAP 3 mg/l	71,91 ^a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf sama berarti tidak berbeda nyata berdasarkan hasil UJGD.

Tabel 8. Hasil perhitungan UGD pada 2,4-D (g)

Perlakuan	Rerata Persentase Kalus yang Sehat
2,4-D 0,5 mg/l	41,67 ^c
2,4-D 1 mg/l	41,67 ^c
2,4-D 1,5 mg/l	44,17 ^b
2,4-D 2 mg/l	76,67 ^a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf sama berarti tidak berbeda nyata berdasarkan hasil UJGD.

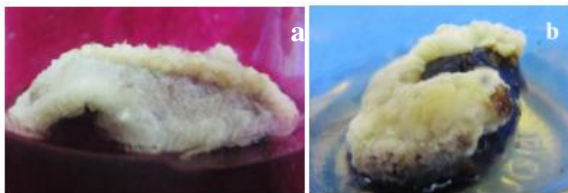
Pada tahap ini, eksplan rata-rata mampu menumbuhkan kalus-kalus baru pada media MS0, namun media sangat rentan berubah warna menjadi coklat bahkan hitam sehingga perlu dilakukan subkultur pada medium baru untuk meminimalkan resiko keracunan pada eksplan. Secara umum, eksplan dapat berkembang baik dalam medium MS0, tetapi beberapa eksplan masih mengeluarkan butiran air hitam dari permukaan kalus. Keadaan tersebut menyebabkan media menjadi basah dan mengakibatkan eksplan mudah terkontaminasi.

Pengamatan visual warna dan tekstur kalus pada media MS0 disajikan pada Tabel 9.

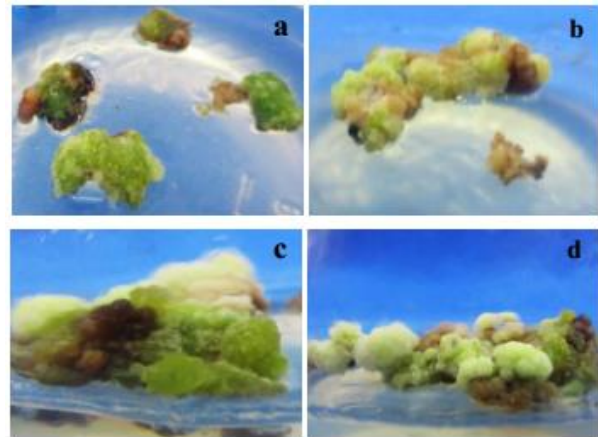
Tabel 9. Warna dan tekstur kalus setelah 1 bulan pada media MS0

Perlakuan	Warna dan Tekstur Kalus
B1D1	kalus putih dan kompak
B1D2	kalus putih kekuningan dan kompak
B1D3	kalus transparan kehijauan dan kompak
B1D4	kalus kehijauan dan kompak
B2D1	kalus putih kompak
B2D2	<i>browning</i>
B2D3	kontaminasi
B2D4	kalus putih transparan dan kompak
B3D1	kalus putih kekuningan dan kompak
B3D2	kalus putih kekuningan dan kompak
B3D3	kalus transparan kehijauan dan kompak
B3D4	kalus transparan kehijauan dan kompak

Kalus yang dikulturkan pada umumnya berwarna putih kekuningan dengan struktur kompak (Gambar 3a), tetapi didapatkan pula kalus dengan warna kehijauan dan kompak (Gambar 3b). Pengkalusan pada media MS0 selama 30 hari belum memperlihatkan adanya perkembangan kalus embrionik secara jelas.

**Gambar 3.** Warna dan tekstur kalus pada media MS0 setelah 30 hari penanaman (a) Kalus putih kompak (b) Kalus putih kehijauan kompak

Penyelamatan dalam rangka mendapatkan kalus embrionik dilakukan dengan subkultur pada medium yang sama setelah bagian-bagian yang mengalami pencoklatan dihilangkan (Gambar 4a). Potongan kalus sisanya yang bertekstur halus, berwarna putih sampai hijau dan secara fisiologis terlihat baik dikulturkan kembali. Hasil subkultur bervariasi antar taraf perlakuan antara lain kalus putih mengalami perubahan menjadi kehijauan (Gambar 4b), kalus membesar dan menambah volume (Gambar 4c) dan memunculkan kalus-kalus baru berwarna putih (Gambar 4d). Hasil penyelamatan selanjutnya dipindahkan ke medium MS yang mengandung BAP 1,5 ppm, IBA 0,5 ppm, dan GA 0,5 ppm untuk memicu perkembangan embrio lebih lanjut.

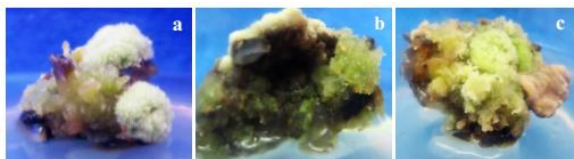
**Gambar 4.** Hasil penyelamatan kalus dengan subkultur berulang pada minggu ke-3 (a) dan (b) Subkultur dari BAP 1 ppm dan 2,4-D 2 ppm; (c) dan (d) Subkultur dari BAP 3 ppm dan 2,4-D 2 ppm

Subkultur pada medium dengan penambahan BAP, IBA dan GA

Pemeliharaan dalam medium MS0 selama 4 minggu ternyata menghasilkan kalus dengan kualitas lebih baik. Kalus yang disubkultur pada media BAP, IBA, dan GA umur 28 hari belum terlihat adanya pembentukan embrio *heart*, torpedo atau bakal tunas, namun rata-rata kalus berkembang sehat dan mengarah pada warna hijau. Kalus-kalus dengan warna hijau dapat disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya dipengaruhi tingkat pencahayaan yang tercukupi sehingga kalus dapat melangsungkan fotosintesis.

Pada perkembangannya, kalus tumbuh dengan meningkatkan jumlah embrio globular dan beberapa kalus membentuk pemanjangan sel, namun tidak mengarah pada bentuk embrio yang spesifik. Pengamatan pada hari ke-48, kalus pada perlakuan BAP 1 ppm dan 2,4-D 1,5 ppm yang disubkultur pada media kombinasi BAP, IBA dan GA menunjukkan adanya tonjolan-tonjolan pada permukaan kalus (Gambar 5a). Perlakuan BAP 1 ppm dan 2,4-D 1,5 ppm yang lain menunjukkan adanya sekelompok kecil sel-sel meristematik yang mengalami pembesaran membentuk cuping-cuping kecil pada permukaan kalus menyerupai embrio *heart* (Gambar 5b). Hal serupa juga terjadi pada perlakuan BAP 1 ppm dan 2,4-D 2 ppm, ditemukan kalus yang membentuk cuping seperti embrio *heart* pada hari ke-42. Adapun perbedaan dari keduanya ialah kalus lebih transparan dan

mengkilap pada 2,4-D 1,5 ppm dan lebih buram pada 2,4-D 2 ppm.



Gambar 5. Perkembangan kalus pada media MS yang ditambah BAP, IBA, dan GA (a) Kalus BAP 1 ppm dan 2,4-D 1,5 ppm hari ke-48 membentuk nodul-nodul permukaan kalus (b) Kalus BAP 1 ppm dan 2,4-D 1,5 ppm hari ke-48 membentuk percabangan kalus menyerupai embrio hati (c) Kalus BAP 1 ppm dan 2,4-D 2 ppm hari ke-42 membentuk percabangan kalus menyerupai embrio hati, tepi kalus mulai coklat.

Pengkulturan selama umur 56 hari, rata-rata eksplan yang teramati tidak menunjukkan kemajuan perkembangan walaupun telah dilakukan subkultur. Beberapa eksplan terlihat mengalami pencoklatan (Gambar 5c) dan beberapa diantaranya hanya terlihat memperbanyak sel-sel baru yang tidak embriogenik. Bhojwani & Razdan (1996) menyebutkan, keadaan tersebut dapat dikarenakan oleh kondisi fisiologis kalus yang cenderung mengalami penurunan dan kehilangan sifat embrioniknya akibat terlalu sering dilakukan subkultur.

SIMPULAN

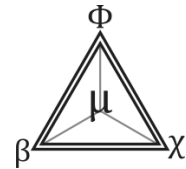
Konsentrasi BAP dan 2,4-D serta interaksi keduanya tidak berpengaruh terhadap waktu terbentuknya kalus dan persentase eksplan berkalus, namun konsentrasi BAP berpengaruh terhadap berat kalus yang diinduksi dari eksplan setengah biji koro benguk. Pada tahap diferensiasi, konsentrasi BAP dan 2,4-D secara terpisah berpengaruh terhadap peningkatan persentase kalus yang sehat. Konsentrasi yang paling optimal untuk pertumbuhan kalus eksplan setengah biji koro benguk adalah BAP 3 ppm dan 2,4-D 1 ppm.

DAFTAR PUSTAKA

Bhojwani SS & Razdan MK. 1996. *Plant Tissue Culture: Theory and Practice*. A Revised Edition. Amsterdam: Elsevier. Hal: 779

- Chikagwa-Malunga SK, Ade S, Ogan AT, Sollenberger LE, Badinga LK, Szabo NJ & Littell RC. 2009. Nutritional characterization of *Mucuna pruriens*. Effect of maturity on the nutritional quality of botanical fractions and the whole plant. *Anim. Feed Sci. Technol.* 148(1): 34-50.
- D'agostino & Kieber JJ 1999. Molecular mechanism of cytokinin action. *Curr Opin Plant Biol.* 2(5):359-364.
- Davies PJ. 2004. *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. Hal: 776
- Finer JJ, Santarem ER & Pelissier B. 1997. Effect of explant orientation, pH, solidifying agent and wounding on initiation of soybean somatic embryos. *In Vitro Cell Dev Biol Plant.* 33: 13-19.
- Gaba VP. 2005. Plant Growth Regulators in Plant Tissue Culture and Development. 87-99. In: RN Trigiano and DJ Gray (Eds.). *Plant Development and Biotechnology*. CRC Press. United States of America.
- George EF & Sherrington PD. 1984. *Propagation by Tissue Culture*. London: Exegetics Ltd
- Gomez KA & Gomez AA. 1995. *Prosedur Statistik untuk Penelitian Pertanian* Ed.2. Terjemahan Endang S & Justika SB. Jakarta: UI Press.
- Gray DJ. 2005. Propagation from nonmeristematic tissue: nonzygotic embryogenesis, 187-200. In: RN Trigiano and DJ Gray (Eds.). *Plant Development and Biotechnology*. CRC Press. United States of America.
- Hagen G, Guilfoyle TJ & Gray WM. 2004. Auxin signal transduction. In: Davies PJ (Eds.) *Plant Hormones, Biosynthesis, Signal Transduction, Action*. Dordrecht. Kluwer Academic Publisher.
- Harisaranraj R, Babu SS & Suresh K. 2008. Callus induction and plant regeneration of *Vigna mungo* (L.) Hepper via Half Seed Explant. *Ethnobotanical Leaflets*. 12: 57-85
- Marthani QKA. 2016. Kalogenesis Eksplan Setengah Biji Koro Benguk Secara in vitro Menggunakan BAP dan NAA. *Skripsi*. Semarang: FMIPA Unnes
- Mohan VR & Kalidass C. 2011. Nutritional and antinutritional composition of itching bean (*Mucuna pruriens* (L.) DC var. Pruriens): an underutilized tribal pulse in Western Ghats, Tamil Nadu. *J Trop Subtrop Agroecosystems*. 14: 279-293.
- Nolan KE & Rose RJ. 2010. Plant regeneration-somatic embryogenesis. 39-59. In: Davey MR & Anthony P (Eds.). *Plant Cell Culture: Essential Methods*. UK: Wiley-Blackwell Publisher. Hal 345.
- Permadi AB, Santoso IB & Kamsinah. 2014. Upaya Memacu Pembentukan Kalus dari Eksplan Kacang Tanah (*Arachis hypogaea*) dengan 2,4-D

- dan Kinetin. *Skripsi*. Purwokerto: Fakultas Biologi UNSOED
- Pierik RLM. 1987. *In Vitro Culture Higher Plant*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher. Hal: 346
- Purwaningsih D. 2008. *Teknologi Pembuatan Susu Dari Tempe Benguk*. FMIPA: UNY.
- Radhakrishnan R & Ranjitakumari BD. 2007. Callus induction and plant regeneration of Indian soybean (*Glycine max* (L.) Merr. cv. CO3) via half seed explant culture. *J Agric Technol*. 3(2): 287-297.
- Taiz L & Zeiger E. 2010. *Plant physiology 3rd edition*. Massachusetts: Sinauer Associates. Hal: 623
- Vadivel V & Pugalenth M. 2008. Removal of antinutritional and improvement in the protein digestibility of velvet bean seeds. *J Food Sci Technol*. 45: 242-246.
- Zulkarnain. 2009. *Kultur Jaringan Tanaman*. Jakarta: Bumi Aksara



PERSAMAAN SCHRODINGER D-DIMENSI BAGIAN SUDUT POTENSIAL POSCHL-TELLER HIPERBOLIK TERDEFORMASI Q PLUS ROSEN-MORSE TRIGONOMETRI MENGGUNAKAN METODE NIKIFOROV-UVAROV

Suparmi✉ Cari, D Kusumawati

Pascasarjana Ilmu Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Februari 2016
Disetujui Maret 2016
Dipublikasikan April 2016

Keywords:
D-dimensional Schrodinger equation; q-Deformed Hyperbolic Poschl Teller plus q Deformed Trigonometric Rosen-Morse Potential; Nikiforov Uvarov (NU)

Abstrak

Metode Nikiforov Uvarov merupakan metode penyelesaian persamaan diferensial orde dua dengan mengubah persamaan diferensial orde dua yang umum (persamaan Schrodinger) menjadi persamaan diferensial tipe hipergeometrik melalui substitusi variabel yang sesuai untuk memperoleh *eigen value* dan fungsi gelombang bagian sudut. Penelitian ini merupakan studi literatur untuk menyelesaikan persamaan Schrodinger D-dimensi bagian sudut dengan potensial Poschl-Teller Hiperbolik Terdeformasi q plus Rosen Morse Trigonometri Terdeformasi q menggunakan metode Nikiforov-Uvarov (NU). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana fungsi gelombang bagian sudut persamaan Schrodinger D-dimensi untuk potensial Poschl-Teller Hiperbolik Terdeformasi q plus Rosen Morse Trigonometri Terdeformasi q menggunakan metode Nikiforov-Uvarov (NU).

Abstract

Nikiforov Uvarov is a method to solve second order differential equations by changing general second order differential equation to hyper-geometric differential equation type through substituting relevant variable to obtain eigenvalues and the angle of wave function. This is a literature study to solve the D-dimensional Schrodinger equation with a corner section q Deformed Hyperbolic Poschl Teller plus q Deformed Trigonometric Rosen-Morse Potential using Nikiforov-Uvarov (NU). This study aims to determine the way the angle of wave function of D-dimensional Schrodinger equation for q-Deformed Hyperbolic Poschl Teller plus q Deformed Trigonometric Rosen-Morse Potential using Nikiforov-Uvarov (NU).

© 2016 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
Jln. Ir Sutami 36 Ketingan, Surakarta, 57126
E-mail: ameda2@yahoo.com

ISSN 0215-9945

PENDAHULUAN

Dalam mekanika kuantum, digunakan pendekatan yang berbeda untuk menentukan besaran-besaran yang terkait dengan gerak partikel, yaitu dengan menggunakan fungsi gelombang untuk mempresentasikan dinamika partikel bergerak yang diperoleh dari persamaan Shcrodinger dari partikel (Hamzawi & Rajabi 2012). Sistem gerak partikel akibat pengaruh relativistik menyebabkan partikel tersebut berpindah dalam medan potensial^[2]. Untuk menyelesaikan persamaan gerak dari partikel tersebut dapat digunakan persamaan Schrödinger, Dirac, dan Klein-Gordon yang pada dasarnya secara langsung dapat diturunkan dari Lagrangian klasik (Hammed 2012).

Berbagai metode penyelesaian persamaan Schrödinger untuk gerak partikel bermuatan pada potensial-potensial sentral dan non sentral dengan suatu potensial vektor atau suatu potensial skalar terpisahkan telah dikembangkan (Greiner 2000). Metode lain untuk menyelesaikan persamaan Schrödinger untuk sistem gerak partikel bermuatan pada potensial sentral dan non sentral telah dilakukan (Chun-Sheng *et al* 2002). Metode yang telah dilakukan antara lain *Supersymmetry*, metode *shape invariant*, metode Nikiforov-Uvarov (NU) (Ikot & Akpabio 2010) dan polinomial Romanovski (Cari & Suparmi 2012)

METODE

Metode NU

Metode NU dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial orde kedua *hypergeometry* pengganti menggunakan transformasi koordinat semestinya $s = s(r)$. Persamaan Schrodinger dengan metode NU dapat dituliskan berikut ini dalam bentuk (Cari & Suparmi 2012; Nikiforov & Uvarov 1988; Akbarich & Motavali 2008; Awoga & Ikot 2012):

$$\frac{\partial^2 \psi(s)}{\partial s^2} + \frac{\bar{\tau}}{\sigma(s)} \frac{\partial \psi(s)}{\partial s} + \frac{\bar{\sigma}}{\sigma^2} \psi(s) = 0 \quad (1)$$

Solusi penyelesaiannya sebagai berikut:

1. Menentukan nilai π yang dinyatakan

$$\pi = \frac{\sigma' - \bar{\tau}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma' - \bar{\tau}}{2} \right)^2 - \sigma + k\sigma} \quad (2)$$

2. Menentukan nilai τ yang dinyatakan
- $$\tau = \tau + 2\pi \quad (3)$$

3. Menentukan nilai λ yang dinyatakan
- $$\lambda = k + \pi \quad (4)$$

4. Menentukan nilai λ_n yang dinyatakan
- $$\lambda = \lambda_n = -n \tau_1 - \frac{n(n-1)}{2} \sigma'' \quad (5)$$

Fungsi Hyperbolik dan Trigonometri Terdeformasi

Hyperbolic function deformed Arai introduced in 1991 (Chun-Sheng *et al* 2002; Dutra 2008; Akbarich & Motavali 2008) is obtained as follows:

$$\sinh_q x = \frac{(e^x - qe^{-x})}{2} \quad (6)$$

$$\cosh_q x = \frac{(e^x + qe^{-x})}{2} \quad (7)$$

$$\tanh_q x = \frac{\sinh_q x}{\cosh_q x} \quad (8)$$

$$\coth_q x = \frac{\cosh_q x}{\sinh_q x} \quad (9)$$

$$\sec h_q x = \frac{1}{\cosh_q x} \quad (10)$$

$$\operatorname{cosech}_q x = \frac{1}{\sinh_q x} \quad (11)$$

Dari persamaan (6) dan (7) diperoleh sebagai:

$$\cosh_q^2 x - \sinh_q^2 x = q \quad (12)$$

$$1 - \tanh_q^2 x = q \sec h_q^2 x \quad (13)$$

Dengan translasi yang sesuai dari variabel *spatial* yang didapatkan sebagai berikut:

$$r = r + \frac{\ln \sqrt{q}}{\alpha} \quad (14)$$

Kemudian, mengganti fungsi hyperbolik *q-deformed* ke dalam salah satu *non-deformed* atau sebaliknya sebagai berikut:

$$\sinh_q \alpha r = \frac{e^{\alpha r} - q^{-\alpha r}}{2} = \frac{e^{\alpha \left(y + \frac{\ln \sqrt{q}}{\alpha} \right)} - q^{-\alpha \left(y + \frac{\ln \sqrt{q}}{\alpha} \right)}}{2} = \sqrt{q} \sinh \alpha y \quad (15)$$

$$\sinh \alpha y = \frac{e^{\alpha y} - q^{-\alpha y}}{2} = \frac{e^{\alpha \left(x + \frac{\ln \sqrt{y}}{\alpha} \right)} - q^{-\alpha \left(x + \frac{\ln \sqrt{y}}{\alpha} \right)}}{2} = \frac{\sinh_q \alpha x}{\sqrt{q}} \quad (16)$$

$$\sinh_q \alpha r = \sqrt{q} \sinh \alpha r; \cosh_q \alpha r = \sqrt{q} \cosh \alpha r; \tanh_q \alpha r = \tanh \alpha r \quad (17)$$

$$\sinh_q \alpha y = \frac{\sinh_q \alpha x}{\sqrt{q}}; \cosh_q \alpha y = \frac{\sinh_q \alpha x}{\sqrt{q}}; \tanh \alpha y = \tanh_q \alpha x \quad (18)$$

Hubungan antara potensial deformasi dan potensial trigonometri yaitu:

$$\sin_q x = \frac{(e^{ix} - qe^{-ix})}{2}; \cos_q x = \frac{(e^{ix} + qe^{-ix})}{2} \quad (19)$$

$$\cot_q x = \frac{\cos_q x}{\sin_q x}; \sec_q x = \frac{1}{\cos_q x}; \operatorname{cosec}_q x = \frac{1}{\sin_q x} \quad (20)$$

$$\sin_q^2 x + \cos_q^2 x = q; 1 + \tan_q^2 x = q \sec_q^2 x \quad (21)$$

Persamaan Schrodinger dalam Ruang D-dimensi

Persamaan Schrodinger satu dimensi dapat diekspansi ke dalam bentuk D-dimensi dengan cara yang identik dengan persamaan Scrodinger tiga dimensi (Awoga & Ikot 2012). Persamaan Scrodinger untuk D-dimensi adalah

$$-\frac{\hbar}{2m} \nabla_D^2 \psi(r, \Omega) + V(r, \Omega) \psi(r, \Omega) = E \psi(r, \Omega) \quad (22)$$

Dengan operator Laplacian

$$\nabla_D^2 = \frac{1}{r^{D-1}} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^{D-1} \frac{\partial}{\partial r} \right) - \frac{\Lambda_D^2(\Omega_D)}{r^2} \quad (23)$$

Dengan $\Lambda_D^2(\Omega_D)$ merupakan operator momentum sudut, yakni :

$$\Lambda_D^2(\Omega_D) = L_k^2 = \sum_{a,b=L}^{k-1} L_{ab}^2 = -\frac{1}{\sin^{k-1} \theta_k} \frac{\partial}{\partial k} \left(\frac{1}{\sin^{k-1} \theta_k} \frac{\partial}{\partial k} \right) + \frac{L_{k-1}^2}{\sin^2 \theta_k}, 2 \leq k \leq D-1 \quad (24)$$

Dan^[14]

$$L_1^2 = -\frac{\partial^2}{\partial \theta_1^2} \quad (25)$$

Melalui metode pemisahan variabel :

$$\psi_{nlm}(r, \Omega_D) = R_{nl}(r) Y_l^m(\Omega_D) \quad (26)$$

Persamaan bagian sudut memenuhi persamaan nilai eigen :

$$\Lambda_D^2 Y_l^m(\Omega_D) = l(l + D - 2) Y_l^m(\Omega_D) \quad (27)$$

Potensial

Potensial Posch Teller Hiperbolik terdeformasi q (Suparmi 2011)

$$V = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{\alpha^2} \left\{ \frac{\kappa(\kappa-1)}{\sinh_q^2 \frac{\alpha}{r}} + \frac{\lambda(\lambda-1)}{\cosh_q^2 \frac{\alpha}{r}} \right\} \quad (28)$$

Potensial Rosen Morse Trigonometri terdeformasi q (Suparmi 2011)

$$V = \frac{\hbar^2}{2mr^2} \left\{ \frac{V(V-1)}{\sinh_q^2 \theta} - 2\mu \cot_q \theta \right\} \quad (29)$$

Potensial Posch Teller Hiperbolik plus Rosen Morse Trigonometri

$$V = \frac{\hbar^2}{2m} \frac{1}{\alpha^2} \left\{ \frac{\kappa(\kappa-1)}{\sinh_q^2 \frac{\alpha}{r}} + \frac{\lambda(\lambda-1)}{\cosh_q^2 \frac{\alpha}{r}} \right\} + \frac{\hbar^2}{2mr^2} \left\{ \frac{V(V-1)}{\sinh_q^2 \theta} - 2\mu \cot_q \theta \right\} \quad (30)$$

Potensial Posch Teller Hiperbolik terdeformasi q plus Rosen Morse Trigonometri terdeformasi q pada D-dimensi

$$\frac{r^2}{r^{D-1}} \frac{1}{\psi(r)} \frac{\partial}{\partial r} - \frac{r^2}{\alpha^2} \left\{ \frac{\kappa(\kappa-1)}{\sinh_q^2 \frac{\alpha}{r}} + \frac{\lambda(\lambda-1)}{\cosh_q^2 \frac{\alpha}{r}} \right\} - \epsilon^2 r^2 = \quad (31)$$

$$\Lambda_D^2(\Omega_D) + \left\{ \frac{V(V-1)}{\sinh_q^2 \theta} - 2\mu \cot_q \theta \right\} = \lambda^* \quad (32)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persamaan Schrodinger bagian sudut untuk potensial Poschl Teller Hiperbolik Terdeformasi q plus Rosen Morse Trigonometri Terdeformasi q pada D-dimensi adalah :

$$\Lambda_D^2(\Omega_D) Y(\Omega_D) + \left\{ \frac{v(v+1)}{\sin_q^2 \theta} - 2\mu \cot_q \theta \right\} Y(\Omega_D) = \lambda^* Y(\Omega_D) \quad (33)$$

Persamaan bagian azimuth

$$-\frac{1}{\Phi} \frac{d^2}{d\theta_1^2} \Phi = L_k^2 \quad (34)$$

Solusi persamaan bagian azimuth

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{im\varphi} \quad (35)$$

Persamaan bagian sudut :

$$\frac{1}{\sin_q^{k-1} \theta_k} \frac{\partial}{\partial \theta_k} \left(\sin_q^{k-1} \theta_k \frac{\partial}{\partial \theta_k} H \right) - \frac{1}{\sin_q^2 \theta_k} L_{k-1}^2 H + L_k^2 H - \left\{ \frac{v(v+1)}{\sin_q^2 \theta_k} - 2\mu \cot_q \theta_k \right\} H = 0 \quad (36)$$

$$\frac{1}{H \sin_q^{k-1} \theta_k} \frac{\partial}{\partial \theta_k} \left(\sin_q^{k-1} \theta_k \frac{\partial}{\partial \theta_k} H \right) - \left(\frac{A_{k-1}}{\sin_q^2 \theta_k} - A_k \right) - \left\{ \frac{v(v+1)}{\sin_q^2 \theta_k} - 2\mu \cot_q \theta_k \right\} = 0 \quad (37)$$

Pada kondisi khusus ($D=3$, $k=2$, $A_2 = l(l+1)$, dan $A_1 = m^2$). Dengan memisalkan, didapatkan :

$$\bar{\tau} = - \left\{ \left[\frac{k-1}{2} \frac{k-3}{2} + A_{k-1} + v(v-1) \right] (q + s^2) - 2\mu s - \left(\frac{k-1}{2} \right)^2 - A_k \right\} \quad (38)$$

$$\pi = \pm \sqrt{\left[\frac{k-1}{2} \frac{k-3}{2} + A_{k-1} + v(v-1) + k' \right] s^2 - 2\mu s - \left(\frac{k-1}{2} \right)^2 - A_k + \left[\frac{k-1}{2} \frac{k-3}{2} + A_{k-1} + v(v-1) \right] + k'} q} \quad (39)$$

Dengan

$$p_{1,2} = \frac{\left[\left(\frac{k-1}{2} \right)^2 + A_k \right] \pm \sqrt{\left[\left(\frac{k-1}{2} \right)^2 + A_k \right]^2 - 4q(-\mu^2)}}{2q} \quad (40)$$

Untuk faktor pengganggu pertama, diperoleh bilangan kuantum orbital, yakni:

$$l = \sqrt{\left(\sqrt{m^2 + v(v-1)} + n + \frac{1}{2} \right)^2 - \frac{\mu^2}{\left(\sqrt{m^2 + v(v-1)} + n + \frac{1}{2} \right)^2}} - \frac{1}{2} \quad (41)$$

Dengan demikian, diperoleh eigenvalue untuk potensial Poschl Teller Hiperbolik Terdeformasi q plus Rosen Morse Trigonometri Terdeformasi q pada kondisi umum (D-Dimensi) sebagai berikut :

$$A_k = \left(\sqrt{\frac{k-1}{2} \frac{k-3}{2} + \frac{1}{4} + A_{k-1} + v(v-1) + n + \frac{1}{2}} \right)^2 - \frac{\mu^2}{\left(\sqrt{\frac{k-1}{2} \frac{k-3}{2} + \frac{1}{4} + A_{k-1} + v(v-1) + n + \frac{1}{2}} \right)^2} - \left(\frac{k-1}{2} \right)^2 \quad (42)$$

Fungsi gelombang bagian pertama diperoleh :

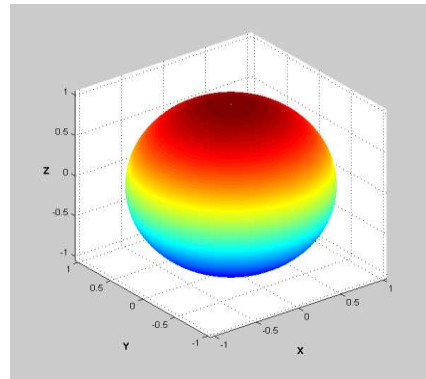
$$\phi = \left(q + s^2 \right)^{-\frac{p}{2}} e^{\frac{q}{p} \frac{1}{\sqrt{q}} \arctan \frac{s}{\sqrt{q}}} \quad (43)$$

Fungsi bobot diperoleh :

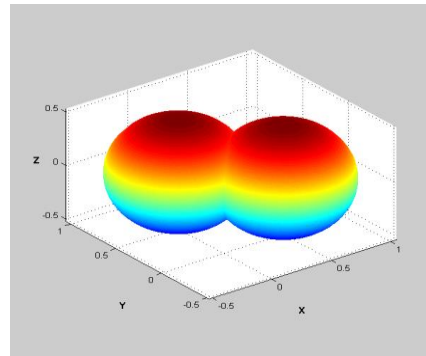
$$H(\cot \theta_k) = C_n \frac{\left(q + \cot^2 \theta_k \right)^{\frac{p}{2}}}{(\sin \theta_k)^{\frac{k-1}{2}}} e^{-\frac{2q}{p} \frac{1}{\sqrt{q}} \arctan(\cot \theta_k) \frac{s}{\sqrt{q}}}$$

$$\frac{d^n}{d \cot \theta_k^n} \left\{ \left(q + \cot^2 \theta_k \right)^{n-p} e^{\frac{2q}{p} \frac{1}{\sqrt{q}} \arctan(\cot \theta_k) \frac{s}{\sqrt{q}}} \right\} \quad (44)$$

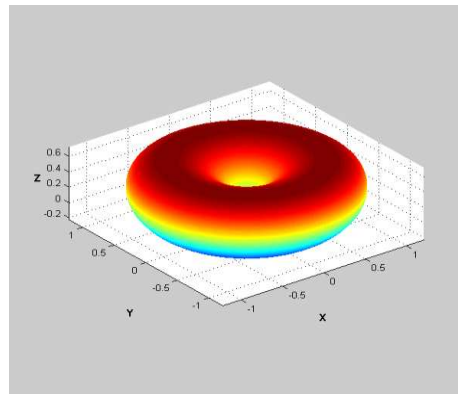
Visualisasi gambar fungsi gelombang sudut untuk potensial Poschl Teller Hiperbolik Terdeformasi q plus Rosen Morse Trigonometri Terdeformasi q pada D-dimensi dengan variasi faktor pengganggu q=1 dengan software Matlab 7.8. Outputnya dapat dilihat pada Gambar 1.



(a)



(b)



(c)

Gambar 1. Tampilan output Matlab

SIMPULAN

Pada kondisi faktor pengganggu bernilai nol, orbital elektron akan menjadi orbital pada *spherical harmonics* atau *hydrogen like* atom. Pada kondisi faktor pengganggu mempunyai nilai maka pengaruh dari faktor pengganggu-faktor pengganggu ini membuat fungsi gelombang tertarik pada sumbu z dan mengalami pencerminan terhadap bidang x dan y sehingga fungsi gelombang tampak seperti dua buah

balon yang berdekatan. Selain itu, pengaruh faktor pengganggu juga menyebabkan fungsi gelombang memutar searah ϕ dengan sumbu putar di pusat koordinat sehingga fungsi gelombang tampak seperti donat.

DAFTAR PUSTAKA

- Awoga OA & Ikot AN. 2012. Approximate solution of Schrodinger Equation in D dimensions for Inverted Generalized Hyperbolic Potential. *Pranama Journal of Physics* 79(3): 345-356
- Akbarich AR & Motavali H. 2008. *Exact Solutions of the Klein-Gordon Equation for the Rosen-Morse type Potentials via Nikiforov-Uvarov Method*. Modern Physics Letters A 23, Issue 35: 3005-3013 (DOI: <http://dx.doi.org/10.1142/S0217732308026686>)
- Cari & Suparmi. 2012. Approximate Solution of Schrodinger Equation for Trigonometric Scarf Potential with the Pöschl-Teller Non-central potential Using NU Method. *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)* 2 (3): 13-23 (ISSN: 2278-4861).
- Chun-Sheng J, Yun S and Yun L. 2002. Complexified Pöschl-Teller II Potential Model. *Physics Letter A*. 305: 231-238
- Dutra AdeS. 2008. *Mapping Deformed Hyperbolic Potentials into Nondeformed Ones*. UNESP- Campus de Guaratingueta-DFQ, Brasil.
- Greiner W. 2000. *Relativistic Quantum Mechanics, Wave Equation, Third edition*. Berlin: Springer.
- Hammed RH. 2012. Approximate Solution of Scrodinger Equation With Manning-Rosen Potential in Two Dimensions by using the shifted $1/N$ expansion method. *Journal of Basrah Researches ((Sciences))* 38 (1), A(2012).
- Hamzawi M & Rajabi AA. 2012. Exact solutions of the Dirac equation for the new ring-shaped non-central harmonic oscillator potential. *The European Physical Journal Plus* 2013. (DOI 10.1140/epjp/i2013-13029-9).
- Ikot AN & Akpabio LE. 2010. Approximate Solution of the Schrödinger Equation with Rosen-Morse Potential Including the Centrifugal Term. *Applied Physics Research* 2(2): 202-208.
- Nikiforov AF & Uvarov VB. 1988. *Special Function of Mathematical Physics*. Basel: Birkhauser.
- Suparmi. 2011. *Mekanika Kuantum I*. Surakarta: Jurusan Fisika MIPA Universitas Sebelas Maret.
- Suparmi. 2011. *Mekanika Kuantum II*. Surakarta: Jurusan Fisika MIPA Universitas Sebelas Maret
- Xian-Quan HU, Guang LUO, Zhi-Min WU, Lian-Bin NIU & Ana-Yan MA. 2010. Solving Dirac Equation At New Ring-Shaped Non-Spherical Harmonic Oscillator Potential. *Journal of Communication Theoretical Physics* 53 (2): 242-246.

KAJIAN METODE ANALISA DATA *GOAL SEEK* (MICROSOFT EXCEL) UNTUK PENYELESAIAN PERSAMAAN SCHRÖDINGER DALAM MENENTUKAN KUANTISASI ENERGI DIBAWAH PENGARUH POTENSIAL LENNARD-JONES

W Kurniawan[✉], S Trihandaru, A Pattiserlihun

Jurusan Pendidikan Fisika dan Fisika, FMIPA Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Februari 2016
Disetujui Maret 2016
Dipublikasikan
April 2016

Keywords:
Potensial Lennard-Jones;
Metode Euler; Goal Seek;
Kuantisasi Energi

Abstrak

Penyelesaian persamaan Schrödinger dengan berbagai model potensial sangat penting dilakukan untuk memberikan gambaran perilaku partikel di bawah pengaruh potensial tersebut. Solusinya berupa fungsi gelombang yang memuat informasi penting tentang perilaku gelombang yang ditunjukkan dengan energi terikatnya. Pada penelitian ini kasus yang ingin diteliti adalah model potensial Lennard-Jones menggunakan metode analisa *goal seek* yang tersedia pada *Microsoft excel*. Persamaannya dijabarkan dengan metode Euler terlebih dahulu selanjutnya syarat batas ditentukan agar ketelitian hasil diperoleh. Agar perhitungan *goal seek* dapat dilakukan, harus diubah dari besaran fisis menjadi besaran yang tidak berdimensi dimana parameter v menunjukkan keklasikan suatu sistem dan nilai ϵ menunjukkan kuantisasi energi. Hasil yang diperoleh adalah dengan memasukkan parameter kontrol nilai v tertentu, diperoleh beberapa keadaan energi dengan batas z_{kiri} dan z_{kanan} tertentu. Ketika masukan parameter v yang diberikan semakin besar, keadaan energinya pun lebih rapat (ditunjukkan *energy state* yang diperoleh semakin banyak) dibandingkan bila masukan v -nya lebih kecil. Penelitian ini bermanfaat untuk menyederhanakan kasus potensial yang lebih rumit, dimana solusinya dapat diperoleh dengan mudah dan konsep kuantisasi energi akibat model potensial L-J dapat dipahami secara utuh.

Abstract

Solution of the Schrödinger equation in various potential model is very important in order to provide an overview of behaviour's particle under influence of potential model. The solution is a wave function that contains important information are shown by energy state. In this research, the investigated is Lennard Jones potential by using Goal Seek analysis which are available in Microsoft Excel. The equation is described by the Euler method and then boundary condition is determined to precision result which are obtained. It must be changed in terms dimensionless where parameter v is represent a classical system and as energy state. The obtained result is value of v that have been included with specific value, have been obtained several energy state with certain limit z_{left} and z_{right} . When the parameter input v is greater the more dense its energy state (it is shown by the more energy state that can be obtained) compare with the smaller v -output. This Research can be useful to simplify potential case a much complicated, where the solution can be obtained easily and the concept of energy quantized of L-J potential model can be understood as a whole.

© 2016 Universitas Negeri Semarang

[✉] Alamat korespondensi:
Gedung C Lantai dasar, Kampus UKSW,
Jalan Diponegoro 50-62, Salatiga, 50711

ISSN 0215-9945

PENDAHULUAN

Dalam mekanika kuantum, mempelajari model potensial yang bekerja pada suatu skala atom maupun interaksi antar molekul sangat penting untuk memberikan gambaran perilaku zarah dibawah pengaruh potensial tersebut (Supardi 2002; Sesma 2013). Tidak seperti mekanika Newtonian dimana keterlibatan gaya yang bekerja padanya diselesaikan dengan persamaan matematika Hukum Newton sehingga diperoleh solusi. Namun dengan mekanika kuantum tak relativistik persoalan yang harus diselesaikan merupakan persamaan Schrödinger yang dipengaruhi oleh potensial tertentu dan bukan gayanya. Pemecahannya berupa fungsi gelombang yang memuat informasi penting tentang perilaku gelombang akibat model potensial yang mempengaruhinya (De Vries 1994) dan ditunjukkan oleh keberadaan energi terikatnya.

Model potensial yang ingin dikaji dalam penelitian ini adalah potensial Lennard-Jones (L-J) yang umumnya dipakai untuk menjelaskan interaksi lemah Van der Waals seperti interaksi atom netral atau molekul gas inert (He, Ne, Ar bahkan O₂, N₂, CO) (Venkataram 2012; Oobatake & Ori 1972).

$$V(r) = V_0 \left(\left(\frac{r_m}{r} \right)^{12} - 2 \left(\frac{r_m}{r} \right)^6 \right) \quad (1)$$

Potensial L-J yang bergantung jarak terhadap titik kesetimbangan ini akan menentukan apakah interaksi yang dialaminya merupakan dorongan atau tarikan sehingga interaksi akibat potensial ini perlu dikaji. Pentingnya penelitian ini perlu dilakukan karena bentuk potensialnya yang tidak simetris berdampak pada bentuk perpaduan fungsi gelombang pada setiap keadaan yang unik dan informasi penting kuantisasi energi perlu dicarikan solusinya sehingga tantangannya perhitungan analitis akan menjadi sulit untuk dikerjakan. Penelitian yang dilakukan terkait untuk penyelesaian model potensial L-J menggunakan persamaan matematis mencari dua titik singular (Sesma 2013) memerlukan kecakapan matematis dan penurunan yang panjang serta melibatkan bantuan komputasi. Bagi mahasiswa yang sedang memahami konsep kuantum penggunaan cara ini akan banyak memakan waktu sehingga mahasiswa terfokus kesulitan matematisnya dan mempersyaratkan

kecakapan komputasi numerik. Oleh karenanya diperlukan metode yang lebih sederhana sehingga konsep kuantisasi model potensial ini dapat dipahami dan menjembatani teknik lanjutan ke ranah komputasi untuk mencari solusi yang lebih teliti. Metode sederhana yang berhasil diterapkan peneliti sebelumnya adalah penggunaan analisa *goal seek* pada *Microsoft Excel* dengan pendekatan metode Euler untuk menyederhanakan persamaan Schrödinger kasus osilasi harmonik dan anharmonik (Desman *et al.* 2015). Keluaran yang didapatkan menunjukkan kecocokan hasil dan menjadi lebih ringkas meski tidak dapat dipungkiri bahwa metode Euler memiliki ketelitian yang rendah dibandingkan metode numerik lainnya. Namun cara ini dapat memperlihatkan konsep kuantisasi energi serta fungsi gelombang pada setiap keadaan sehingga konsep kuantum untuk penyelesaian kasus akibat potensial L-J dapat diperoleh lebih sederhana. Penyelesaian kasus dengan model potensial L-J ini akan diselesaikan dengan cara yang sama sehingga konsep kuantisasi energi dan fungsi gelombang untuk suatu keadaan diharapkan dapat diperoleh dengan lebih mudah.

METODE

Bentuk persamaan Schrödinger untuk fungsi gelombang $R(r)$ dari partikel yang bermassa m yang terikat oleh potensial $V(r)$ dengan energi E dan momentum sudut l dinyatakan dalam persamaan (2) dibawah ini

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{d^2 R(r)}{dr^2} - \frac{l(l+1)}{r^2} R(r) \right) + V(r) R(r) = E R(r) \quad (2)$$

Dengan mensubstitusikan potensial L-J ke persamaan (2) maka dapat ditulis menjadi

$$\frac{d^2 R(r)}{dr^2} - \frac{l(l+1)}{r^2} R(r) + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E - V_0 \left(\left(\frac{r_m}{r} \right)^{12} - 2 \left(\frac{r_m}{r} \right)^6 \right) \right) R(r) = 0 \quad (3)$$

Seperti pada umumnya untuk mensimulasikan keadaan kuantisasi atau solusi dari persamaan diferensial ini terhadap potensial Lennard-Jones (L-J) maka harus didefinisikan besaran tak berdimensi dari variable radial r menjadi z , parameter energinya sebagai ε dan potensial minimum yang menunjukkan kekuatan interaksi dinyatakan sebagai v .

$$z \equiv \frac{r}{r_m}, \quad \varepsilon = \frac{2mr_m^2}{\hbar^2} E \quad \text{dan} \quad v = \frac{2mr_m^2}{\hbar^2} V_0 \quad (4)$$

Sementara fungsi gelombang dalam koordinat radial diubah ke besaran variabel baru

$$\Psi(z) \equiv R(r) \quad (5)$$

Sehingga persamaan Schrödinger menjadi

$$\frac{d^2\Psi(z)}{dz^2} - \frac{l(l+1)}{z^2}\Psi(z) + \left(\varepsilon - v \left(\left(\frac{1}{z} \right)^{12} - 2 \left(\frac{1}{z} \right)^6 \right) \right) \Psi(z) = 0 \quad (6)$$

Atau persamaan (6) dapat dinyatakan sebagai

$$\frac{d^2\Psi(z)}{dz^2} = - \left[-\frac{l(l+1)}{z^2} + \left(\varepsilon - v \left(\left(\frac{1}{z} \right)^{12} - 2 \left(\frac{1}{z} \right)^6 \right) \right) \right] \Psi(z) \quad (7)$$

Persamaan ini dapat dijadikan sistem persamaan diferensial orde pertama sebagai berikut

$$\frac{d\Psi(z)}{dz} = \Phi, \quad \text{dan} \quad (8)$$

$$\frac{d\Phi(z)}{dz} = - \left[-\frac{l(l+1)}{z^2} + \left(\varepsilon - v \left(\left(\frac{1}{z} \right)^{12} - 2 \left(\frac{1}{z} \right)^6 \right) \right) \right] \Psi(z) = f(z, E) \Psi(z) \quad (9)$$

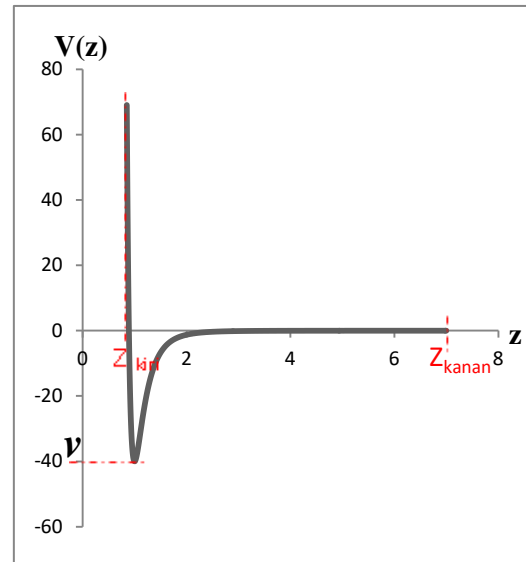
Persamaan (8) dan (9) didiskretisasi secara Euler (Semi Implicit) (Richard *et al.* 2006)

$$\Psi(z+dz) = \Psi(z) + \Phi(z)dz \quad (10)$$

$$\Phi(z+dz) = \Phi(z) + f(z, E)\Psi(z)dz \quad (11)$$

Dimana $f(z, E)$ merupakan bentuk lain dari diferensial orde kedua fungsi gelombang, z menyatakan jarak antar partikel dari titik pusat massa. Jumlah titik diskrit (N) yang digunakan adalah $N=2000$ dengan $\Delta z = \frac{(z_{kanan} - z_{kiri})}{N-1}$ menggunakan sekecil mungkin sehingga $\Delta z = dz$. Dengan Asumsi $V_0 < E < 0$, maka $\Psi(z \rightarrow \infty) = 0$. Tentunya $\Psi(z \rightarrow 0) = 0$ karena disini potensialnya sangat tinggi. Dengan syarat batas kiri $\Psi(z \rightarrow 0) = 0$, dan $\Psi(z) \neq 0$ di z berhingga maka syarat batas kanan $\Psi(z \rightarrow \infty) = 0$. Penentuan syarat batas ini dapat dilihat pada Gambar

1. Setelah syarat batas ditentukan maka dapat dihitung dengan *goal seek* pada *Ms.Excel*. *Goal seek* dapat digunakan untuk menentukan nilai energi ε sesuai dengan persamaan yang dimasukkan. Hasil fungsi jika sesuai syarat batas bernilai nol maka *goal seek* dapat menentukan nilai energi yang cocok atau dapat dikatakan perhitungan fungsi terbalik dimana nilai fungsi dapat dicari dari nilai asalnya.



Gambar 1. Contoh grafik potensial L-J untuk menentukan syarat batas sebelum perhitungan goal seek dilakukan.

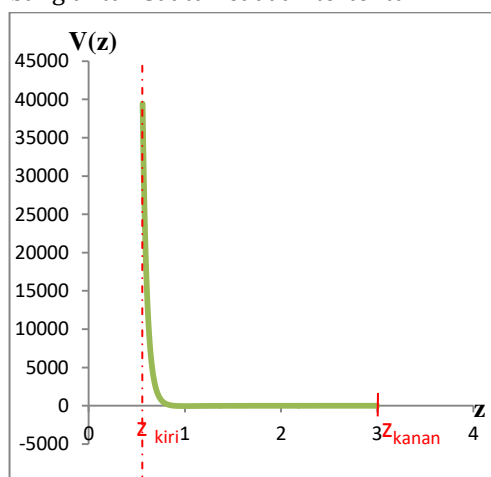
Solusi persamaan Schrödinger yakni tingkat energi E_n dan fungsi gelombang Ψ_n . Nilai keadaan energi E_n yang diperoleh dari analisa data *goal seek* dibandingkan terhadap hasil penelitian sebelumnya pada keadaan dasar E_0 (Sesma 2013). Literatur hanya menyajikan hasil nilai E_0 yang memiliki $v=-40$ pada setiap momentum sudut yang bervariasi dari $l=0$ hingga $l=5$, namun untuk melihat kecocokan hasil, pada penelitian ini hanya diberikan pada variasi $l=0$ hingga $l=2$ saja. Selain nilai keadaan energi E_0 yang diperbandingkan, grafik kuantisasi energi E_n untuk momentum sudut $l=0$ dan fungsi gelombang Ψ_n -nya juga diperlihatkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

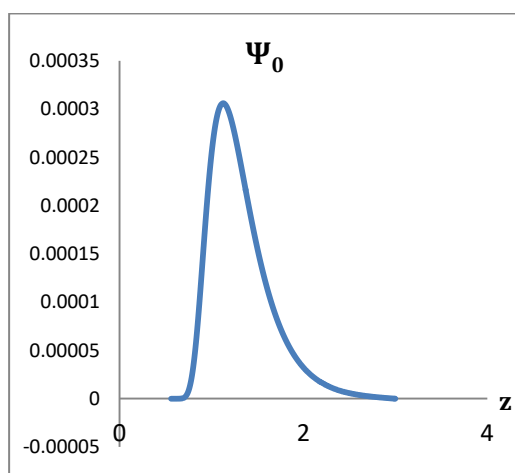
Pada penelitian ini untuk grafik potensial L-J (V_{L-J}) yang akan dicari solusinya perlu ditampilkan dalam grafik pada *Microsoft excel* untuk menentukan syarat batas karena pada kasus ini bentuk potensial yang akan diselesaikan tidak simetris sehingga

pemilihan syarat batas menjadi hal yang akan menentukan seberapa teliti hasil yang akan diperoleh. Syarat batas yang sudah ditentukan akan semakin baik dengan melihat langsung secara bersamaan dengan kecocokan hasil plot grafik Ψ_n . Kuantisasi bentuk fungsi gelombang pada keadaan dasar untuk potensial L-J harus memenuhi seperti halnya pada solusi fungsi gelombang osilasi harmonik Ψ_0 . Pada keadaan dasar Ψ_0 terbentuk satu bukit dan kondisi ini juga harus dipenuhi pada grafik Ψ_0 untuk potensial L-J.

Pada Gambar 2 diperlihatkan grafik potensial L-J terhadap jarak antar partikel yang dipergunakan untuk menentukan syarat batas dan grafik fungsi gelombang pada keadaan dasar Ψ_0 ditunjukkan pada Gambar 3 untuk menentukan apakah hasil perhitungan *goal seek* telah membentuk fungsi gelombang untuk suatu keadaan tertentu.



Gambar 2 Grafik potensial L-J terhadap jarak partikel dari suatu sistem yang memiliki nilai $v=-40$ dan momentum sudut $l=0$



Gambar 3 Grafik fungsi keadaan dasar yang terbentuk saat energi keadaan dasar terhitung dengan goal seek.

Syarat batas pada z kiri ditentukan berada pada nilai potensial yang tak berhingga $V(z)=\infty$ maka $\Psi(z_{\text{kiri}})=0$ harus dipenuhi karena tidak akan mungkin ada fungsi gelombang ataupun interaksi partikel yang berada pada batas potensial tersebut. Jika $\Psi(z_{\text{kiri}})\neq 0$ di z berhingga, maka syarat batas kanan $\Psi(z_{\text{kanan}}\rightarrow\infty)=0$, karena ketika pada jarak interaksi dua atom atau molekul yang cukup besar hingga mendekati tak berhingga maka tidak akan ada interaksi lagi sehingga fungsi gelombangnya nol. Pada gambar 2.2 untuk keadaan dasar $n=0$ dengan momentum sudut $l=0$ dan $v=-40$ pada batas $z_{\text{kiri}} = 0.67$ dan $z_{\text{kanan}} = 3$ sudah menunjukkan grafik Ψ_0 terbentuk satu bukit. Ketika hal ini sudah terpenuhi dengan menggunakan *goal seek*, hasil energi keadaan dasar yang dihitung adalah sebesar $\epsilon=-11.9090$. Hasil ini terbukti cocok dengan perhitungan menggunakan komputasi numerik yang telah dilakukan sebelumnya dimana hasil $\epsilon=-11.9091$ (Sesma 2013). Sedangkan hasil energi keadaan dasar untuk momentum sudut $l=1$ dan $l=2$ diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel perbandingan nilai energi pada keadaan dasar E_0 hasil perhitungan dengan *goal seek* dibandingkan hasil dari literature pada berbagai variasi momentum sudut l .

Momentum sudut (l)	Syarat Batas		Nilai E_0	
			<i>Goal Seek</i>	Literatur (Sesma, 2013)
0	0.67	3	-11,9090	-11.9091
1	0.56	2.5	-9.90346	-10.4652
2	0.56	3	-5.90905	-7.6296

Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa E_0 dengan momentum sudut yang bervariasi, nilai yang diperoleh dari perhitungan *goal seek* hampir mendekati literatur. E_0 dengan momentum sudut $l=0$ adalah yang paling akurat, namun untuk $l=1$ dan $l=2$ hasilnya memiliki error yang cukup besar. Hal ini sudah dipahami bahwa penentuan syarat batas akan memperkecil error, sehingga pemilihannya harus tepat. Selain itu juga disadari bahwa penggunaan metode Euler merupakan metode numerik yang memiliki ketelitian yang kecil, namun penerapan untuk penyederhanaan matematis sangat mudah dipahami tanpa melibatkan penurunan matematis yang rumit. Selanjutnya untuk menentukan energi keadaan dasar ke-1 dan setelahnya, dengan nilai $v=-40$ dan momentum sudut $l=0$, goal seek di pakai untuk

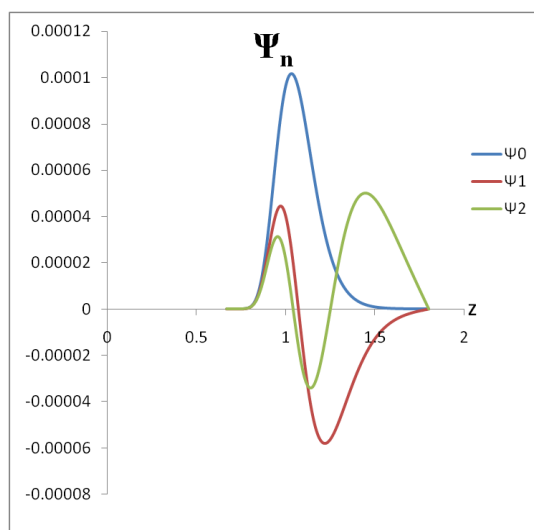
menentukan nilainya. Hasil keadaan kuantisasi setelahnya ternyata tidak didapati karena grafik fungsi gelombang tidak memperlihatkan bentuk kuantisasi saat $n=1$. Dalam penelitian warsono, agar keadaan kuantisasi setelah energi dasar terbentuk, maka potensial minimum yang dinyatakan sebagai parameter γ atau dalam penelitian ini sebagai ν harus diperbesar lebih dari -40.

Mengacu penelitian Sesma (2013), nilai parameter ν diubah menjadi -376.02 dengan momentum sudut $l=0$ karena hasil perhitungan *goal seek* memiliki ketelitian yang paling tinggi. Dengan nilai ν tersebut, keluaran menunjukkan adanya kuantisasi energi dari $n=0$ hingga $n=2$ yang diperlihatkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan nilai energi setiap keadaan E_n hasil perhitungan *goal seek* dengan nilai ν yang berbeda

Momentum sudut (l)	Nilai E_n Hasil Perhitungan <i>Goal Seek</i>	
	$\nu = -40$	$\nu = -376.02$
0	-11,909	-269.9668
1	-	-120.5062
2	-	-35.3707

Setiap solusi energi setiap keadaan E_n yang didapatkan, kebenarannya dapat dibuktikan dengan adanya kesesuaian teori. Solusi yang dinyatakan sebagai fungsi gelombang yang menunjukkan keberadaan energi terikatnya akan membentuk grafik fungsi gelombang sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik fungsi gelombang yang terbentuk dari keadaan $n=0$ hingga $n=2$ untuk nilai $\nu = -376.02$.

Hal ini dapat dijelaskan bahwa besarnya $\nu = \frac{2mr_m^2}{\hbar^2} V_0$ merupakan parameter alamiah yang

menentukan sifat keklasikan dari sistem yang ditinjau (Koonin & Meredith 1990). Sistem klasik artinya massa yang dimilikinya jauh lebih besar dari nilai $\hbar$. Semakin besar nilai ν maka keadaan energi yang terbentuk akan semakin banyak. Hal ini dapat dipahami karena nilai ν yang besar menunjukkan massa sistem yang besar pula. Massa yang besar menimbulkan gaya Coulomb yang dibangun antara dua partikel semakin besar, sehingga energi yang diperlukan untuk memisahkan ikatannya lebih besar bila dibandingkan terhadap partikel yang tersusun atas atom-atom yang bermassa kecil (Warsono *et al.* 2002). Partikel dengan massa yang besar juga memiliki potensial yang besar pula untuk menjamin partikel tetap berada pada ikatannya. Sehingga setiap interaksi partikel yang berbeda akan memiliki karakteristik ν yang khas. Misalnya dari partikel yang memiliki nilai $\nu=-40$ membutuhkan energi untuk memisahkan partikel (energi disosiasi) dari keadaan dasar sebesar -11.909. Energi disosiasinya jauh lebih kecil apabila dibandingkan terhadap partikel dengan nilai $\nu=-376.02$, yang membutuhkan energi disosiasi pada keadaan dasar sebesar -269.9668. Seperti halnya sistem untuk kasus dengan model potensial sumur berhingga, semakin besar nilai ν yang artinya potensial sumur tersebut semakin dalam akan menunjukkan kekuatan gaya tarik antar partikel yang semakin besar. Jika sumur potensial tersebut semakin dalam maka semakin banyak pula keadaan-keadaan yang mungkin.

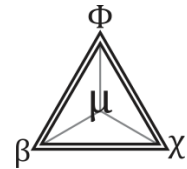
SIMPULAN

Penelitian yang telah dilakukan untuk menyelesaikan persamaan Schrödinger untuk model potensial Lennard-Jones(L-J) dengan menggunakan analisa data *Goal Seek* (pada *Ms. Excel*) dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya (1) didapatkan solusi pemecahan yakni berupa tingkat energi E_n dan fungsi gelombang Ψ_n secara lebih mudah dengan hasil yang cukup baik, (2) konsep kuantisasi energi akibat potensial L-J menyatakan bahwa semakin besar nilai potensial minimum ν maka sistem yang ditinjau semakin klasik, (3) masukan terhadap parameter nilai ν tertentu akan menentukan cacah atau banyaknya

keadaan energi (*energy state*) sistem dibawah pengaruh model potensial L-J. Setiap keadaan untuk interaksi potensial pasangan dari partikel tertentu memiliki nilai energi spesifik tertentu, (4) sistem yang terpengaruh oleh model potensial L-J akan melakukan osilasi dengan batas Z_{kiri} dan Z_{kanan} tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Desman PG, Suryasatriya & Shanti MRS. 2015. *Simple Learning Using Goal Seek (Microsoft Excel) about Anharmonik Oscillator Potential in Quantum Mechanics Class*. International Conferences on Mathematics, Science and Education.
- De Vries PL. 1994. *A Fisrt Course In Computational Physics*, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Koonin SE & Meredith DC. 1990. *Computational Physics*, USA: Addison- Wesley Publishing Company, Inc.
- Oobatake M & Ooi T. 1972. *Determination of Energy Parameters in Lennard-Jones Potentials from Second Virial Coefficients*. Progress of Theoretical Physics, 48, (6). Diunduh dari : <http://ptp.oxfordjournals.org> pada tanggal 18 Agustus 2015
- Richard B & Gabriel C. 2006. *Persamaan Diferensial. Edisi ketiga*. Penerbit Erlangga.
- Sesma J. 2013. Exact solution of the Schrödinger equation with a Lennard-Jones potential. *Journal of Mathematical Chemistry* 51: 1881-1896.
- Supardi. 2002. Perilaku Fungsi Gelombang Sistem Potensial Sumur Berhingga. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains* VII.
- Venkataram PS. 2012. *Final Project: Properties of the Lennard-Jones Potential*. Diunduh dari: http://en.wikipedia.org/wiki/Lennard-Jones_potential.
- Warsono, Supahar & Supardi. 2002. *Laporan Penelitian: Kajian Komputasi Kuantisasi Semiklasik Vibrasi Molekuler Sistem Dibawah Pengaruh Potensial Lennard-Jones (Potensial 12-6)*. Universitas Negeri Yogyakarta.



PENGENDALIAN KELAJUAN KENDARAAN MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC CONTROLLER* (FLC) PADA SISTEM *CRUISE* KONTROL

Susanto✉, Sunarno

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Februari 2016
Disetujui Maret 2016
Dipublikasikan
April 2016

Keywords:
VLG; cruise control; footed

Abstrak

Pengendalian kelajuan kendaraan menggunakan FLC pada *cruise control* telah dilakukan dengan menginjeksi sistem *fuzzy* pada sistem gerak kendaraan. Sistem *fuzzy* terdiri dari dua himpunan masukan berupa *error* kelajuan dan laju *error* kelajuan sistem. Penambahan *Fuzzy Logic Controller* pada sistem gerak kendaraan berpengaruh terhadap respon sistem untuk mencapai kecepatan yang diinginkan. Dengan penambahan FLC, respon kecepatan dalam mencapai kecepatan yang diinginkan semakin cepat sehingga sesuai untuk diterapkan pada *cruise control*.

Abstract

Control vehicle speed using the cruise control FLC has been done by injecting a fuzzy system on the vehicle motion system. The system consists of two sets fuzzy input is the speed error and the error rate of the speed of the system. The addition of Fuzzy Logic Controller in the vehicle motion system affect the response of the system to achieve the desired speed. With the addition of FLC response speed in reaching the desired speed more quickly so appropriate to be applied to the cruise control.

© 2016 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229
E-mail: susanto261994@gmail.com

PENDAHULUAN

Dewasa ini, teknologi otomotif mengarah pada penanaman sistem kendali otomatis untuk meningkatkan kenyamanan dalam berkendara. Salah satu teknologi yang telah diterapkan untuk meningkatkan kenyamanan berkendara adalah teknologi sistem *cruise control*. *Cruise control* merupakan teknologi otomatis yang ditanamkan pada sistem otomotif untuk mempertahankan kecepatan secara konstan (Osman *et al.* 2009). Di dalam *cruise control* pengendara tidak perlu menekan pedal gas selama perjalanan saat mengaktifkan *cruise control*. *Cruise control* akan mengatur percepatan kendaraan secara otomatis saat terjadi perubahan gerak akibat adanya gaya dari luar misalnya gesekan. Oleh karena itu *control* gaya pada sistem *cruise control* sangatlah penting (Yi *et al.* 2001).

Secara umum permasalahan dalam *cruise control* adalah menjaga kecepatan output dari sistem. Selain itu respon sistem untuk mencapai kecepatan output yang diinginkan juga menjadi pertimbangan penting dalam *cruise control*. Hal ini dapat diperoleh melalui berbagai macam sistem kontroler seperti PID (*proportional-integral-derivative*), *space-state control*, *fuzzy logic* dan lain sebagainya (Carvajal *et al.* 2000). Dari berbagai macam sistem *control fuzzy logic controller* merupakan salah satu sistem kontrol yang saat ini dikembangkan. Hal ini dikarenakan sistem *control* tersebut dapat mengontrol secara efektif permasalahan non-linier (Ying *et al.* 1990).

Fuzzy logic controller (FLC) merupakan salah satu sistem *control* yang menggunakan konsep logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* pertama kali dikemukakan oleh Lofti A. Zadeh pada tahun 1965 dengan memperkenalkan konsep variabel linguistik dan aturan "if-then" untuk merumuskan pengetahuan manusia. Pada tahun 70-an, penggunaan logika *fuzzy* untuk sistem kendali pertama kali dikemukakan oleh E. H. Mamdani, dengan mengembangkan sistem kendali yang menggunakan aturan-aturan *fuzzy* untuk pengendalian mesin uap (Sunarno 2004).

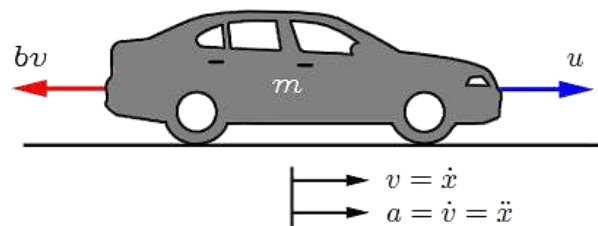
Adapun fokus dalam penelitian ini adalah berusaha untuk memodelkan sistem *cruise control* menggunakan *fuzzy logic controller* (FLC).

METODE

Pemodelan *control cruise* dilakukan menggunakan *Simulink* MATLAB dengan membandingkan sistem *cruise* yang dikontrol menggunakan logika *fuzzy* dan tanpa dikontrol menggunakan *fuzzy*. Pada tahap awal dilakukan pembuatan persamaan gerak sistem yang kemudian diimplementasikan pada *Simulink* MATLAB. Selanjutnya dilakukan pembuatan *control fuzzy* menggunakan *fuzzy logic toolbox* MATLAB. Sistem *fuzzy* tersebut kemudian diinjeksikan pada sistem *Simulink*. Adapun secara terperinci dapat dijelaskan sebagai berikut.

Persamaan Gerak Sistem

Sistem *cruise control* merupakan sistem yang menjaga kecepatan gerak kendaraan dari gangguan eksternal misalnya gaya gesek bv dengan mengontrol gaya u (Mellom 1997). Adapun diagram benda bebas dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram benda bebas sistem *Cruise Control*

Sistem gerak *cruise control* memenuhi Hukum II Newton yang secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

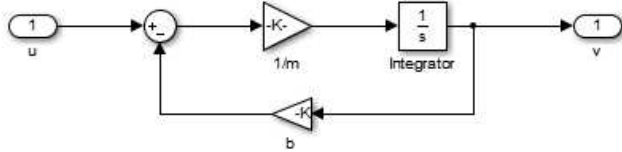
$$m\dot{v} + bv = u \quad (1)$$

dengan m merupakan massa kendaraan, bv gaya hambat dari luar misalnya gaya gesek, angin, dan lain sebagainya, u merupakan gaya untuk mengontrol kecepatan konstan.

Pemodelan Menggunakan Simulink

Pemodelan gerak sistem dilakukan menggunakan fasilitas *Simulink* MATLAB. Di dalam pemodelan ini digunakan parameter massa kendaraan m sebesar 1000 kg dan koefisien gaya hambat b sebesar 80 Nsm^{-1} . Adapun input dalam pemodelan ini adalah gaya u , sedangkan output dihasilkan merupakan berupa kecepatan v . Adapun sistem gerak

control cruise pada Simulink dapat ditunjukkan pada Gambar 2.

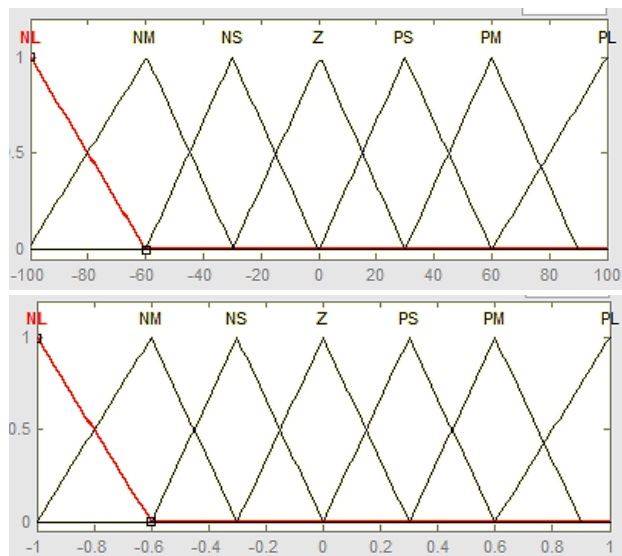


Gambar 2. Sistem gerak Cruise Control menggunakan Simulink

Desain Fuzzy Logic Controller

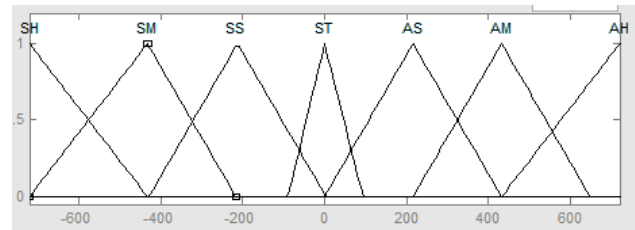
Fuzzy logic controller pada sistem cruise control didesain dengan memanfaatkan fasilitas Fuzzy Logic Toolbox dan Simulink MATLAB. Pertama sistem fuzzy dibuat untuk mengontrol sistem cruise. Sistem fuzzy terdiri atas himpunan *crisp* dengan masukan *error* kecepatan, *error e* dan laju *error* kecepatan *error_rate* serta keluaran gaya.

Fungsi keanggotaan kedua masukan diberi nama *Negative Large* (NL), *Negative Medium* (NM), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Postive Small* (PS), *Positive Medium* PM dan *Positive Large* (PL). Untuk keluaran gaya diberi nama *Substract High* (SH), *Subtract Medium* (SM), *Subtract Small* (SS), *Stop* (ST), *Add Small* (AS), *Add Medium* (AM) dan *Add High* (AH). Adapun fungsi keanggotaan masukan dan keluaran sistem fuzzy dapat ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



(a) *error* (b) *error_rate*

Gambar 3. Himpunan *Crips* masukan (a) *error* kecepatan, (*error*) (b) laju *error* kecepatan, (*error_rate*)



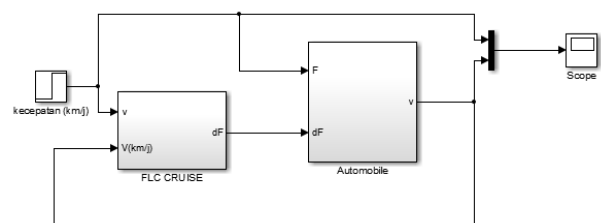
Gambar 4. Himpunan *Crips* keluaran Gaya

Sistem fuzzy untuk *cruise control* terdiri atas 29 aturan untuk mengontrol gaya tambahan pada sistem. Adapun untuk rule base aturannya dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

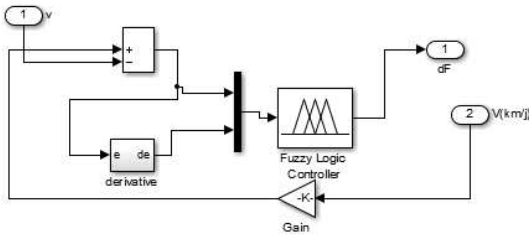
Tabel 1. Aturan Fuzzy untuk pengendalian kecepatan pada *cruise control*

Aturan ke-	Aturan
1	If (<i>error</i> is NL) and (<i>error_rate</i> is PS) then
2	(Gaya is AM)
3	If (<i>error</i> is NL) and (<i>error_rate</i> is NL) then
4	(Gaya is SH)
...	If (<i>error</i> is NM) and (<i>error_rate</i> is PS) then
28	(Gaya is ST)
29	If (<i>error</i> is Z) and (<i>error_rate</i> is Z) then
	(Gaya is ST)
	If (<i>error</i> is PL) and (<i>error_rate</i> is NM)
	then (Gaya is SH)
	If (<i>error</i> is PL) and (<i>error_rate</i> is NL) the
	(Gaya is SH)

Setelah sistem fuzzy dibuat, selanjutnya sistem fuzzy disimpan dengan nama *CRUISEFIS.fis* dan diinjeksi pada sistem gerak kendaraan pada Simulink MATLAB. Adapun sistem kontrol untuk dapat ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Sistem *cruise control* menggunakan FLC



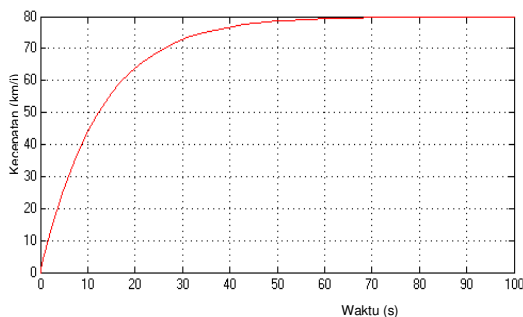
Gambar 6. Subsisitem FLC Cruise

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengendalian laju kendaraan menggunakan *fuzzy logic controller* (FLC) telah berhasil dilakukan dengan memodelkan sistem pada *Simulink* MATLAB. Parameter awal yang digunakan meliputi massa kendaraan 1000 kg dan koefisien gaya hambat sebesar 80 Nms^{-1} . Sebagai perbandingan dilakukan simulasi *cruise control* tanpa kendali *fuzzy*. Input gaya memperhatikan solusi persamaan diferensial biasa pada persamaan 1. Solusi persamaan diferensial pada persamaan 1 dapat dituliskan sebagai berikut:

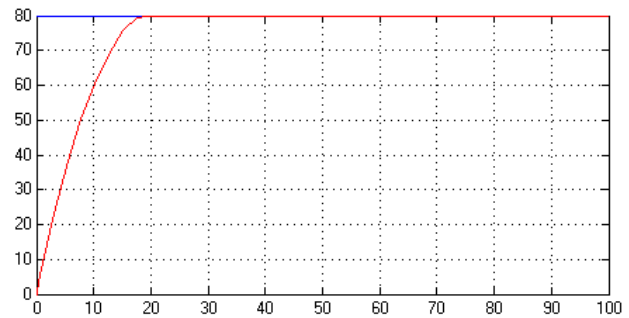
$$v = \frac{u}{b} \left(1 - \exp\left(-\frac{b}{m}t\right) \right) \quad (2)$$

Dengan mengambil $t \approx \infty$, maka gaya u dapat dipilih bv , dengan v adalah kecepatan konstan yang diinginkan. Adapun simulasi menggunakan *Simulink* tanpa menggunakan FLC dapat ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Simulasi gerak kendaraan tanpa FLC

Berdasarkan Gambar 7 dapat ditunjukkan bahwa untuk mencapai kecepatan yang diinginkan kendaraan harus menempuh waktu sekitar 70 detik. Hal ini sangat merugikan karena seringkali kendaraan melaju dengan kecepatan yang tinggi. Untuk mempercepat respon sistem pada pemodelan ini dilakukan dengan menambahkan FLC pada sistem *cruise control*. Adapun hasil yang didapatkan dapat ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Simulasi gerak kendaraan menggunakan FLC

Berdasarkan Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa sistem *fuzzy* berperan dalam mempercepat respon gerak sistem untuk mencapai laju yang diinginkan. Kelajuan kendaraan setelah menggunakan FLC stabil pada saat waktu mendekati 20 detik. Selain itu sistem tidak mengalami *overshoot* laju kendaraan mengindikasikan sistem *fuzzy* yang telah dibuat sangat baik diterapkan pada *cruise control*.

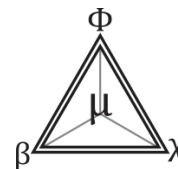
SIMPULAN

Pengendalian kelajuan sistem menggunakan FLC pada *cruise control* dilakukan dengan menginjeksi sistem *fuzzy* pada sistem gerak kendaraan. Sistem *fuzzy* terdiri dari dua himpunan masukan berupa *error* kelajuan dan laju *error* kelajuan sistem. Penambahan *Fuzzy Logic Controller* pada sistem gerak kendaraan berpengaruh terhadap respon sistem untuk mencapai kecepatan yang diinginkan. Dengan penambahan FLC respon kecepatan dalam mencapai kecepatan yang diinginkan semakin cepat sehingga sesuai untuk diterapkan pada *cruise control*.

DAFTAR PUSTAKA

- Osman K, Rahmat MF & Ahmad MA. 2009. *Modelling and Controller Design for a Cruise Control System*, International Colloquium on signal Processing and Its Application (CSPA)
- Yi K, Jinho H & Kwon YD. 2001. A vehicle control algorithm for stop-and-go cruise control. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* 215 (10): 1099-1115.
- Carvajal J, Chen G & Ogmen H. 2000. *Fuzzy PID controller: Design, performance evaluation, and stability analysis*. *Information Sciences* 123(3): 249-270.

- Ying H, Siler W & Buckley JJ. 1990. *Fuzzy control theory: a nonlinear case*. *Automatica* 26(3) 513-520.
- Sunarno. 2004. *Simulasi Sistem Pendulum Fuzzy dan Konvensional*. Universitas Gajah Mada. Tesis
- Mellom C.1997. *Control Tutorial for Matlan, Website of University of Michigan*.
<http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=CruiseControl§ion=SimulinkModeling>



STUDI AKTIFITAS FOTOKATALITIK MCM-41 TEREMBAN ZN PADA ZAT WARNA METILEN BIRU

R L Vifta✉Sutarno, Suyanta

Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Februari 2016

Disetujui Maret 2016

Dipublikasikan April 2016

Keywords:

Aktivitas fotokatalitik,
MCM-41 teremban Zn,
metilen blue

Abstrak

Pengujian aktifitas fotokatalitik material MCM-41 teremban Zn yang dilakukan secara *post-synthesis* telah berhasil dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh pengembanan Zn secara *post-synthesis* terhadap material MCM-41 serta mengkaji kemampuan fotokatalitik ZnO/MCM-41 pada zat warna metilen biru. Material MCM-41 yang telah diemban dengan Zn dikarakterisasi menggunakan XRD, isoterm adsorpsi gas N₂, dan DR-UV, kemudian diaplikasikan untuk proses fotokatalitik zat warna metilen biru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya Zn pada material MCM-41 menurunkan kristalinitas dan keteraturan pori yang diikuti dengan terbentuknya oksida Zn pada permukaan MCM-41. ZnO/MCM-41 memiliki luas permukaan dan diameter pori lebih kecil dari MCM-41 yakni sebesar 808,4 m²/g dan 26,5 Å sedangkan MCM-41 894,7 m²/g dan 31,42 Å. ZnO/MCM-41 memiliki serapan panjang gelombang pada 325 nm dengan nilai energi gap 3,81 eV. Hasil pengujian aktivitas fotokatalitik pada material ZnO/MCM-41 terhadap zat warna metilen biru memberikan hasil sebesar 72,94% untuk perlakuan dengan UV dan 58, 46% tanpa UV.

Abstract

Study of photocatalytic activity on MCM-41 material doped Zn by post-synthesis process has been done. The aim of the research is to see the influence of Zn doping on MCM-41 material and ability of photocatalytic ZnO /MCM-41 on blue dye methylene. MCM-41 doped Zn was characterized by XRD, isotherm adsorption N₂, and DR-UV, then applied for photodegradation of blue dye methylene. The result shows that the presence of Zn in the MCM-41 material decreases the crystallinity and regularity of pore followed by the formation of zinc oxide on the surface of MCM-41. ZnO / MCM-41 has a smaller surface area and pore diameter than MCM-41 which equals to 808.4 m²/g and 26.5 Å, while MCM-41 894.7 m²/g and 31.42 Å. ZnO/MCM-41 has an absorption wavelength at 325 nm with an energy gap of 3.81 eV. The test result of photocatalytic activity on material ZnO/MCM-41 to blue dye methylene is 72.94% for treatment with UV and 58, 46% without UV.

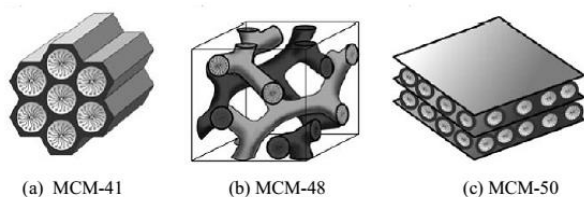
© 2016 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Jl. Sekip Utara BLS 21, Bulaksumur, Yogyakarta, 55281

PENDAHULUAN

Material MCM-41 merupakan salah satu bagian dari bahan mesopori M41S yang ditemukan melalui perluasan konsep sintesis zeolit menggunakan surfaktan yang mempunyai rantai hidrofobik lebih panjang (Beck *et al.* 1992). Bahan mesopori M41S terdiri atas tiga jenis, yakni MCM-41 dengan fasa heksagonal, MCM-48 dengan fasa kubik, dan MCM-50 dengan fasa lamelar, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Material Mesopori M41S (Beck *et al.* 1992)

MCM-41 adalah salah satu material mesopori yang paling banyak dipelajari dan menjanjikan diantara bahan mesopori lainnya. Salah satu fakta yang menarik mengenai material MCM-41 antara lain strukturnya yang seragam serta tersusun menjadi kisi heksagonal menyerupai sarang lebah (Corma 1997).

Pemasukan logam ke dalam material MCM-41 dapat dilakukan melalui dua cara, yakni *direct synthesis* (secara langsung) dan *post-synthesis* (secara tidak langsung). Kedua cara ini dapat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap material yang dihasilkan. Pemasukan logam yang dilakukan secara *post-synthesis* dapat menyebabkan distribusi logam pada permukaan lebih besar daripada kerangka. Keberadaan logam ini dapat mengakibatkan terjadinya *pore blocking* sehingga ukuran porinya menjadi lebih kecil (Mihai *et al.* 2010).

Modifikasi MCM-41 secara *post-synthesis* dapat memberikan pengaruh lain pada permukaan MCM-41, yakni efek fotokimia yang diakibatkan adanya oksida logam pada permukaannya (Tang *et al.* 2004). Efek fotokimia ini yang menjadikan MCM-41 termodifikasi dapat digunakan sebagai fotokatalis untuk degradasi zat warna. Zat warna yang digunakan dalam penelitian ini adalah metilen biru yang merupakan zat warna kationik.

Proses fotokatalitik pada zat warna metilen biru didasarkan pada interaksi yang terjadi antara

material fotokatalis dengan zat warna tersebut (Ali & Siew 2005). Penggunaan fotokatalis pada proses degradasi zat warna metilen biru telah banyak dikaji, salah satunya dilakukan oleh Babu *et al.* (2013) yang menggunakan ZnO/MCM-41 untuk proses degradasinya. Mihai *et al.* (2010) juga menggunakan katalis ZnO/MCM-41 dan ZnO/SBA-15 untuk degradasi zat warna metilen biru yang aktifitasnya ternyata lebih besar daripada ZnO.

Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai aktifitas fotokatalis yang dihasilkan oleh material MCM-41 dengan pengemban logam Zn terhadap zat warna metilen biru.

METODE

Sintesis MCM-41 dan Pengembanan Logam Zn

Material MCM-41 disintesis sesuai dengan metode yang dilakukan oleh Ortiz *et al.* (2012). Pengembanan logam Zn dilakukan secara *post-synthesis* menggunakan metode yang dilakukan oleh Babu *et al.* (2013). Sintesis dilakukan dengan menggunakan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber Zn dengan variasi sebesar 12, 24, 36, 40, dan 60%.

Uji Aktifitas Fotokatalitik

Uji fotokatalitik dilakukan sesuai dengan prosedur yang dilakukan oleh Mihai *et al.* (2010), yakni dengan menggunakan variasi waktu pada saat disinari UV dan tanpa UV.

Karakterisasi Katalis Hasil Sintesis

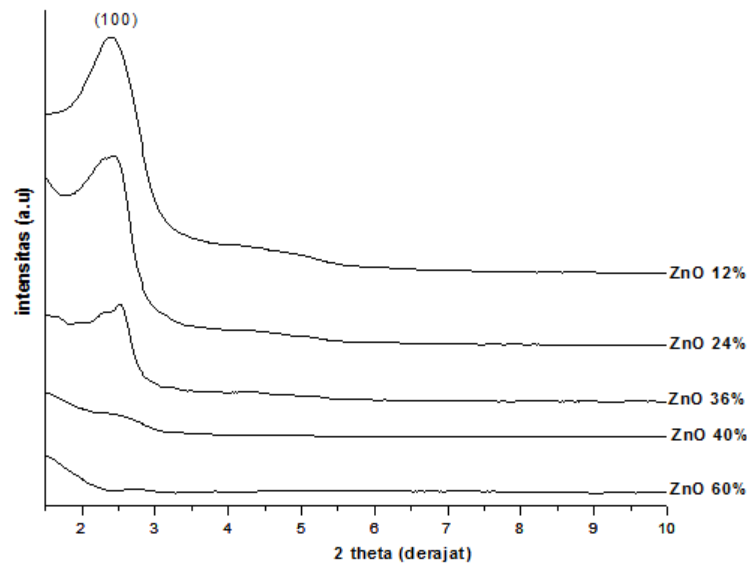
Karakterisasi katalis hasil sintesis dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD, Shimadzu 6000), Surface Area Analyzer (SAA, Quantachrome NovaWin2), dan Diffused Reflektansi UV-Vis (DR-UV, UV 1700 Pharmaspec).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi ZnO/MCM-41 dengan XRD

Penambahan logam Zn yang dilakukan secara *post-synthesis* pada berbagai konsentrasi dalam proses pembentukan MCM-41 menyebabkan terjadinya penurunan kristalinitas MCM-41 yang ditandai dengan bergesernya nilai 2θ ke arah yang lebih besar. Turunnya intensitas dan berkurangnya keteraturan pori, yang ditandai dengan hilangnya puncak pada bidang $[110]$ dan $[200]$. Pergeseran nilai 2θ ke arah yang lebih besar

menandakan bahwa partikel yang disintesis memiliki ukuran yang lebih kecil (Gambar 2).



Gambar 2. Difraktogram sinar-X ZnO/MCM-41 pada berbagai variasi konsentrasi Zn

Selain penurunan intensitas, pengaruh penambahan Zn terhadap karakter MCM-41 adalah menurunnya keteraturan pori ZnO/MCM-41. Berdasarkan data pada Tabel 1 terlihat bahwa semakin besar konsentrasi yang ditambahkan, ukuran parameter sel (a_0) semakin menurun dan berdasarkan difraktogram pada Gambar 1 dapat terlihat bahwa indeks hkl pada bidang $[110]$ dan $[200]$ mulai menghilang seiring dengan bertambahnya konsentrasi Zn.

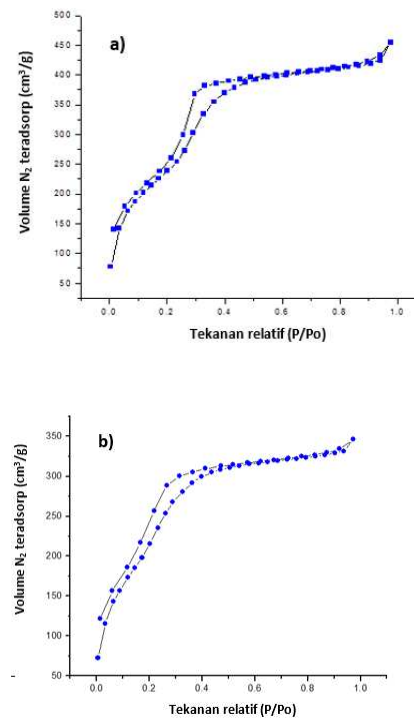
Tabel 1. Ukuran Parameter Sel (a_0)

Sampel		Intensitas relatif (%)	2θ ($^\circ$) d[100]	d[100] ($\text{\AA}$)	a_0^a ($\text{\AA}$)	D_{XRD}^b ($\text{\AA}$)
MCM-41		100,0	2,36	37,43	43,22	33,22
ZnO/MCM-41 (12%)	(Zn)	48,1	2,38	37,10	42,84	32,84
ZnO/MCM-41 (24%)	(Zn)	39,4	2,40	36,77	42,46	32,46
ZnO/MCM-41 (36%)	(Zn)	21,2	2,43	36,29	41,91	31,91
ZnO/MCM-41 (40%)	(Zn)	-	-	-	-	-
ZnO/MCM-41 (60%)	(Zn)	-	-	-	-	-

Keterangan: (^a) merupakan harga parameter kisi dengan $a=2d/\sqrt{3}$, dan (^b) merupakan harga perkiraan diameter pori, $D_{XRD}=a_0(\text{\AA})-10 \text{\AA}$, dengan asumsi ketebalan dinding pori relatif tetap $10 \text{\AA}$ (Sutarno, 2005)

Analisis porositas ZnO/MCM-41

Hasil isoterm adsorpsi dan desorpsi material MCM-41 dan ZnO/MCM-41 termodifikasi menunjukkan klasifikasi tipe IV sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 dengan histeresis H1 sesuai dengan IUPAC yang merupakan ciri khas material mesopori dengan pori berbentuk silinder.



Gambar 3. Kurva isoterm adsorpsi-desorpsi N_2 : a) MCM-41 dan b) ZnO/MCM-41

Permukaan material ditentukan pada $p/p_0 < 0,3$ yang menunjukkan adanya serapan monolayer gas pada permukaan MCM-41, kemudian saat $0,3 < p/p_0 < 0,4$ mengalami kenaikan volume yang tajam merupakan proses pengisian pori MCM-41 serta $p/p_0 > 0,4$ terjadi penataan serapan multilayer. Kenaikan tajam pada $0,3 < p/p_0 < 0,4$ ini menandakan karakter dari material mesopori.

Berdasarkan data hasil karakterisasi tersebut dapat diketahui bahwa luas permukaan ZnO/MCM-41 lebih rendah dibandingkan MCM-41, demikian pula dengan ukuran porinya. Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa luas permukaan pada material MCM-41 yang telah dimodifikasi dengan Zn mengalami penurunan dari 894,7 m²/g menjadi 808,4 m²/g.

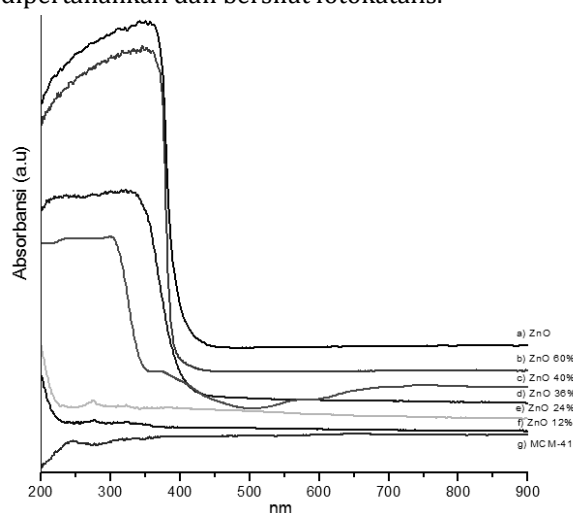
Tabel 2. Data hasil karakterisasi struktur pori dengan isoterm adsorpsi nitrogen

Material	a_0 (Å)	ABET (m ² /g)	Dp (Å)	Vp (cm ³ /g)	Wdp (Å)
MCM-41	42,61	894,70	31,42	0,70	11,19
ZnO/MCM-41	41,39	808,40	26,50	0,54	14,89

Pengaruh pengembunan Zn secara *post-synthesis* terhadap sifat fotokatalitik MCM-41

Keberadaan Zn sebagai oksida pada permukaan MCM-41 selain dapat diketahui dengan analisis difraksi sinar-X, dapat pula diketahui dari hasil karakterisasi menggunakan *Diffused Reflectance UV-Vis*. *Diffused Reflectance UV-Vis* digunakan untuk menentukan energi *gap* semikonduktor. Harga energi *gap* semikonduktor dapat mempengaruhi kinerja semikonduktor dalam mengeksitasi elektron. Tingkat transisi elektronik dari bagian atas pita valensi ke bagian bawah pita konduksi yang kemudian akan mengalami deeksitasi, bergantung pada besar kecilnya energi *gap*. Energi *gap* yang terlalu kecil akan menyebabkan loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan sebaliknya kurang bebas, sedangkan energi *gap* yang terlalu besar akan menghambat loncatan elektron sehingga aliran elektron akan terhambat.

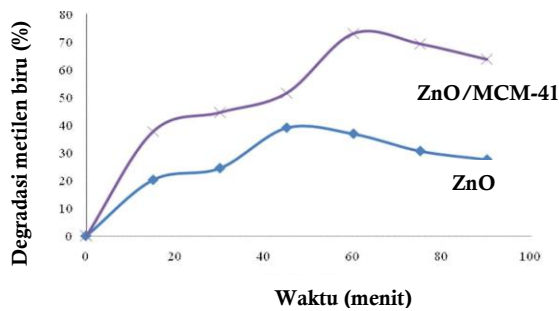
Penambahan konsentrasi Zn yang dilakukan secara *post-synthesis* terbukti memberikan pengaruh pada material yang dihasilkan (Gambar 4) yakni terlihat pada pergeseran dari panjang gelombang pendek ke panjang gelombang yang lebih tinggi. Pergeseran panjang gelombang ini menentukan sifat optik atau sifat fotokatalitik dari material ZnO/MCM-41. ZnO/MCM-41 (Zn 36%) memiliki nilai energi *gap* yang berada pada rentang semikonduktor, yakni sebesar 3,81 eV. Material ini diharapkan menghasilkan kemampuan degradasi terhadap metilen biru yang cukup besar karena karakter MCM-41 masih dapat dipertahankan dan bersifat fotokatalis.



Gambar 4. Spektra DR-UV ZnO/MCM-41 pada berbagai konsentrasi Zn

Hasil Uji Aktifitas Fotokatalitik ZnO/MCM-41 Pada Zat Warna Metilen Biru

Pengujian aktifitas fotokatalitik ZnO/MCM-41 dilakukan pada dua kondisi yang berbeda yakni dengan dan tanpa penyinaran UV dengan variasi waktu 0, 15, 30, 45, 60, dan 90 menit. Variasi waktu dilakukan untuk mengetahui pengaruh lama penyinaran terhadap kinerja fotokatalis yang digunakan. Pengujian juga dilakukan menggunakan fotokatalis ZnO sebagai pembanding. Hasil uji aktifitas fotokatalitik ZnO/MCM-41 dan ZnO disajikan pada Gambar 5 dan 6.

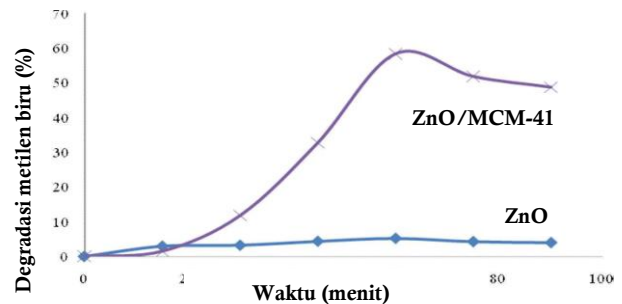


Gambar 5. Uji efektivitas fotodegradasi ZnO/MCM-41 dan ZnO terhadap zat warna metilen biru dengan penyinaran UV

Gambar 4 menunjukkan bahwa waktu degradasi optimum ZnO/MCM-41 adalah 60 menit, sedangkan ZnO sebesar 45 menit. Waktu degradasi yang melebihi kedua waktu optimum tersebut menyebabkan penurunan hasil degradasi. Waktu penyinaran yang terlalu lama dalam sistem reaksi akan menghasilkan produk teradsorpsi yang cukup banyak dan dapat menghalangi kontak antara fotokatalis dengan sinar UV serta antara fotokatalis dengan zat warna metilen biru yang belum terdegradasi. Akibatnya, reaksi fotodegradasi menjadi kurang efektif. Selain itu, diperkirakan bahwa semakin lama waktu penyinaran menjadikan fotokatalis jenuh, sehingga aktifitasnya berkurang. Oleh karena itu, diperoleh waktu fotodegradasi optimum dengan penyinaran UV adalah 60 menit untuk ZnO/MCM-41 dan 45 menit untuk ZnO. Perbedaan waktu optimum disebabkan karena efektivitas ZnO untuk degradasi zat warna metilen biru lebih besar daripada ZnO/MCM-41 saat fotokatalis tersebut sudah teraktifkan oleh sinar UV.

Gambar 5 juga menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyinaran diperoleh persen degradasi yang semakin besar. Fotokatalis ZnO/MCM-41 menghasilkan degradasi sebesar 72,94% dan ZnO sebesar 39,01% (Tabel 3). Hal ini disebabkan karena pada perlakuan dengan penyinaran UV, semakin lama waktu penyinaran interaksi antara fotokatalis dengan sinar semakin efektif sehingga menghasilkan radikal $\text{OH}\cdot$ yang semakin banyak. Selain itu, semakin lama waktu penyinaran maka kontak antara zat warna metilen

biru dengan sinar UV dan radikal $\text{OH}\cdot$ semakin efektif (Widihati, *et al.* 2011).



Gambar 6. Uji efektivitas fotodegradasi ZnO/MCM-41 dan ZnO terhadap zat warna metilen biru tanpa penyinaran UV

Pada proses degradasi tanpa penyinaran UV yang ditunjukkan Gambar 6, semakin lama waktu kontak antara fotokatalis dengan zat warna metilen biru menghasilkan adsorpsi yang semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu kontak antara metilen biru dengan permukaan aktif semakin efektif. Akan tetapi, baik fotokatalis ZnO maupun ZnO/MCM-41 setelah 60 menit proses adsorpsi mengalami penurunan. Penurunan ini diakibatkan karena adsorben telah jenuh sehingga proses penyerapan menurun. Oleh karena itu, pada proses tanpa penyinaran baik fotokatalis ZnO/MCM-41 maupun ZnO memiliki waktu optimum sebesar 60 menit.

Pada Gambar 6 dapat terlihat pula bahwa semakin lama waktu kontak antara fotokatalis dengan metilen biru diperoleh persen degradasi yang semakin besar meskipun nilainya tidak sebesar pada proses degradasi dengan penyinaran UV. Fotokatalis ZnO/MCM-41 menghasilkan degradasi sebesar 58,46% dan ZnO sebesar 5,23% (Tabel 3). Hal ini disebabkan karena pada degradasi tanpa penyinaran UV hanya dibantu oleh energi dalam sistem bukan energi foton dan oksigen yang ada selama proses pengadukan. Oleh karena itu, tidak terjadi pembentukan radikal hidroksi dan ion superoksida yang efektif untuk proses degradasi.

Tabel 3. Data aktivitas fotokatalitik ZnO/MCM-41 dan ZnO terhadap zat warna metilen biru dengan dan tanpa penyinaran UV

Material Fotokatalis	Waktu	Persen Degradasi (%D)	
		Tanpa UV	Dengan UV
ZnO	0	0	0
	15	2,98	20,25
	30	3,26	24,45
	45	4,38	39,01
	60	5,23	36,84
	75	4,29	30,61
	90	4,01	27,53
	0	0	0
ZnO/MCM-41	15	1,56	37,64
	30	11,82	44,48
	45	32,81	51,48
	60	58,46	72,94
	75	51,93	69,21
	90	48,83	63,61

SIMPULAN

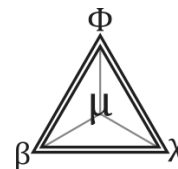
Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dijelaskan, dapat disimpulkan bahwa material MCM-41 yang diimbun dengan logam Zn secara *post-synthesis* dapat memberikan efek fotokatalitik. Hasil pengujian fotokatalitik material ZnO/MCM-41 terhadap zat warna metilen biru memberikan hasil sebesar 72,94% untuk perlakuan dengan UV dan 58,46% tanpa UV.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi yang telah memberikan bantuan dana penelitian demi tercapainya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali R, & Siew OB. 2005. Photodegradation of new methylene blue in aqueous solution using zinc oxide and titanium dioxide as catalyst, *Journal of Chemistry*. Chemistry Department, Faculty of Science. University Teknologi Malaysia. Johor Bahru. Malaysia.
- Babu KS, Ramachandra RA, Sujatha CH, & Venugopal RK. 2013. Effect of precursor, temperature, surface area, and excitation wavelength on photoluminescence of ZnO/mesoporous silica nanocomposite. *Ceram Int* 39:3055-3064.
- Beck JS, Vartuli JC, Schmitt KD, Kresge CT, Roth WJ, Leonowicz ME, McCullen SB, Hellring SD, Schlenker JL, Olson DH & Sheppard EW. 1992. A new family of mesoporous molecular sieves prepared with liquid crystal templates. *J Am Chem Soc* 114:10834-10843.
- Corma A. 1997. From microporous to mesoporous molecular sieve material and their use in catalysis. *Chem Rev* 97: 2373-2419
- Mihai GD, Meynen V & Mertens M. 2010. ZnO nanoparticles supported on mesoporous MCM-41 and SBA-15: a comparative physicochemical and photocatalytic study. *J Mater Sci* 45:5786-5794.
- Ortiz HIM, Gracia CY & Olivares M. 2012. Preparation of spherical MCM-41 molecular sieve at room temperature : influence of the synthesis condition in the structural properties. *Ceram Int* 38: 6353-6358.
- Sutarno. 2005. Synthesis of faujasite and MCM-41 from Fly Ash and Their Application as Hydrocracking Nickel Based Catalyst of Heavy Petroleum Distillates. *Ph.D Thesis*. Jurusan Kimia FMIPA UGM. Yogyakarta.
- Tang GQ, Xiong Y, Zhang LZ & Zhang GL. 2004. Novel long-time photoluminescence of nanosized ZnO included in the mesoporous MCM-41. *Chem Phys Lett* 395: 97-102
- Widhiati IAG, Diantariani NP & Nikmah YF. 2011. fotodegradasi metilen biru dengan sinar uv dan katalis Al₂O₃. *Jurnal Kimia* 5(1): 31- 42.



ANALISIS HUBUNGAN KUANTITATIF STRUKTUR DAN AKTIVITAS ANTIMALARIA SENYAWA TURUNAN QUINOXALIN

M Noor ✉ Kasmui, SBW Kusuma

Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Februari 2016

Disetujui Maret 2016

Dipublikasikan April 2016

Keywords:

quinoxaline; antimalarial;
QSAR

Abstrak

Quinoxalin merupakan senyawa heterosiklik yang memiliki cincin benzena dan pirazin. Turunan quinoxalin yaitu 3-fenilquinoxalin 1,4-di N-oksida merupakan senyawa antimalaria yang berpotensi dan perlu dikaji. Kajian hubungan kuantitatif struktur dan aktivitas (HKSA) antimalaria senyawa turunan quinoxalin menggunakan deskriptor hidrofobik dan elektronik. Optimasi model senyawa turunan quinoxalin menggunakan metode DFT dengan basis set 6311G menggunakan program *Gaussian09W*, dan nilai deskriptor diperoleh berdasarkan perhitungan kimia komputasi menggunakan program *Gaussian09W* dan *MarvinBeans*. Data deskriptor digunakan untuk menghitung nilai Log $1/IC_{50}$ dan dibandingkan dengan data eksperimen dari literatur. Hasil perhitungan dianalisis menggunakan metode regresi multilinear sehingga diperoleh persamaan HKSA:

$$\text{Log } 1/IC_{50} = 31,890 + (-57,754) qC8 + (6,537) qC7 + (-770,959) qC10 + (-10,387) qC15 + (0,008) \text{MSA} + (-0,532) \text{Log } P + (-10,941) \text{HOMO} + (0,285) \text{momen dipol}$$

($n=12, R=0,976, R^2=0,953, SE=0,1305, PRESS=0,174$)

Berdasarkan persamaan HKSA tersebut, didapatkan prediksi turunan senyawa quinoxalin dengan substituen pendonor etoksi dan etil yang memiliki aktivitas antimalaria yang lebih baik daripada pendonor metoksi dan metil.

Abstract

Quinoxaline is a heterocyclic compound containing a ring complex made up of benzene and pyrazine. Its derivative 3-phenylquinoxaline 1,4-di N-oxide is a potential antimalaria and need to be developed. Quantitative Structure-Activity Relationship Analysis (QSAR) of quinoxaline as antimalarial drug has been conducted using electronic and hydrofobic descriptor. Optimization of an analog quinoxaline using DFT method with 6311G for basis set. The calculation for optimization obtained by using *Gaussian09W* program. Descriptor values obtained by using *Gaussian09W* program and *Marvin Beans*. Log $1/IC_{50}$ is determined from descriptor values and compared with the experimental data. The equation is:

$$\text{Log } 1/IC_{50} = 31,890 + (-57,754) qC8 + (6,537) qC7 + (-770,959) qC10 + (-10,387) qC15 + (0,008) \text{MSA} + (-0,532) \text{Log } P + (-10,941) \text{HOMO} + (0,285) \text{moment dipole}$$

($n=12, R=0,976, R^2=0,953, SE=0,1305, PRESS=0,174$)

Based on QSAR equation, the potential of quinoxaline prediction compounds with ethoxy and ethyl group substituent yield good antimalarial activity than methoxy and methyl substituent.

© 2016 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, 50229

PENDAHULUAN

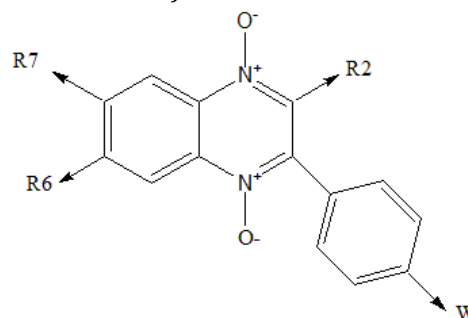
Penyakit malaria adalah penyakit yang disebabkan oleh parasit genus *Plasmodium* yang termasuk golongan protozoa, melalui perantara tusukan (gigitan) nyamuk *Anopheles sp* (Suhardiono 2005). Penyakit tersebut telah dikenal sebagai salah satu jenis penyakit utama yang menyebabkan kematian di daerah beriklim tropis. Setiap tahun, penyakit malaria dapat menyerang korban sampai 300-500 juta orang dan dapat menyebabkan kematian 1-3 juta orang, kebanyakan diantaranya adalah anak-anak (Hoffman *et al.* 2002).

Penelitian untuk mendapatkan obat antimalaria baru, baik obat-obatan sintesis maupun yang berasal dari bahan alam terus berlanjut. Salah satu sintesis obat malaria yang mulai dikembangkan adalah senyawa turunan quinoxalin yang telah diuji aktivitasnya oleh Vicente *et al.* (2008). Turunan senyawa quinoxalin atau benzopirazin yang diuji aktivitas biologis oleh Vicente *et al.* (2008) adalah senyawa 3-fenilquinoxalin 1,4-di-N-oksida menggunakan strain *P. falciparum* K1 untuk mendapatkan nilai *Half Maximal Inhibitory Concentration* (IC_{50}). Kemampuan parasit untuk terus hidup dalam tubuh manusia semakin berkembang biak dan menimbulkan gejala penyakit meskipun telah diberikan pengobatan secara teratur baik dengan dosis standar maupun dosis yang lebih tinggi yang masih dapat ditolerir oleh pemakai obat. Senyawa quinoxalin perlu dikembangkan lebih lanjut untuk mengatasi masalah seperti resistensi yang nantinya akan timbul sekaligus untuk menghasilkan desain turunan quinoxalin yang memiliki nilai aktivitas biologis yang bagus.

Salah satu metode kimia komputasi yang populer dalam desain obat adalah Hubungan Kuantitatif Struktur dan Aktivitas (HKSA). Metode HKSA ini cukup terbukti baik sebagai alat untuk memprediksi struktur senyawa obat baru dengan aktivitas baru berdasarkan struktur dasar yang telah diketahui aktivitasnya dari eksperimen (Armunanto & Sudiono 2004). Pemodelan HKSA memerlukan deskriptor untuk menentukan nilai aktivitas suatu senyawa. Deskriptor yang digunakan pada penelitian ini adalah deskriptor elektronik muatan bersih atom, momen dipol,

energi LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) dan energi HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*), indeks polarisabilitas, *Molecular Surface Area* (MSA), *Polar Surface Area* (PSA), dan koefisien partisi atau Log P. Penelitian ini menggunakan deskriptor struktur elektronik untuk menghasilkan persamaan HKSA karena interaksi antar molekul sangat dipengaruhi langsung oleh muatan atom-atom pada ujung aktifnya.

Pada penelitian ini, senyawa yang dikaji adalah senyawa quinoxalin yang merupakan senyawa heterosiklik yang memiliki cincin benzena dan pirazin, struktur senyawa ditunjukkan pada Gambar 1. Quinoxalin sendiri merupakan padatan yang memiliki titik lebur rendah yakni sekitar 29-30°C dan larut dalam air (Patidar *et al.* 2011).



Gambar 1. Struktur 3-fenilquinoxalin 1,4-di N-oksida

Mekanisme aksi dari senyawa turunan quinoxalin ini belum diteliti, namun pada penelitian sebelumnya aktivitas antimalaria senyawa quinoxalin berkorelasi dengan tingginya penghambatan pembentukan β -hematin, yang mengindikasikan bahwa senyawa tersebut mempengaruhi proses polimerisasi dari vakuola makanan (Vicente *et al.* 2008). Aktivitas biologis yang ditunjukkan oleh quinoxalin dari hasil penelitian secara *in vitro* dipengaruhi oleh beberapa faktor yang salah satunya karena adanya gugus trifluorometil (Quiliano & Aldana 2013).

Penelitian dilakukan dengan substitusi pada gugus R6 untuk gugus yang terikat pada posisi C nomor 6, R7 untuk gugus yang terikat pada posisi C nomor 6, dan W untuk gugus yang terikat pada posisi para dari gugus fenil. Melihat efek pengaruh gugus pendonor elektron yang dijelaskan Vicente *et al.* (2008) dapat meningkatkan aktivitas biologis maka dapat dilakukan prediksi aktivitas biologis

pada senyawa quinoxalin dengan substitusi gugus pendonor elektron seperti etil dan etoksi. Selain itu Armunanto & Sudiono (2004) pada penelitian antimalaria dengan senyawa artemisinin juga menggunakan gugus pendonor elektron dan menghasilkan aktivitas biologis yang dapat dipertimbangkan. Dengan demikian dapat dilakukan prediksi senyawa antimalaria usulan pada turunan quinoxalin dengan substitusi gugus pendonor elektron (Vicente *et al.* 2008).

Penelitian ini diharapkan mendapatkan model persamaan HKSA pada turunan senyawa quinoxalin dari hubungan antara deskriptor dan aktivitas biologi sehingga dapat menghasilkan usulan senyawa turunan quinoxalin dengan aktivitas melawan antimalaria yang lebih baik dari senyawa-senyawa yang sudah ada.

METODE

Penelitian HKSA antimalaria senyawa turunan quinoxalin ini mengkaji senyawa yang telah disintesis secara eksperimen oleh Vicente *et al.* (2008) menjadi sebuah model persamaan HKSA. Persamaan HKSA diperoleh dengan analisis regresi multilinier dari variabel bebas berupa deskriptor hidrofobik dan elektronik dengan variabel terikat berupa nilai $\text{Log } 1/\text{IC}_{50}$ senyawa turunan quinoxalin berdasarkan eksperimen Vicente *et al.* (2008).

Perhitungan kimia komputasi dilakukan menggunakan seperangkat komputer meliputi perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan memiliki spesifikasi berupa prosesor *Intel Quart Core*, *hard disk* 250 GB, dan *Random Access Memory (RAM)* 4 GB. Sementara perangkat lunak yang digunakan yaitu Sistem operasi *Windows Vista® Business OA(EM)(SEA)*, *GaussView3.07* untuk memasukkan metode perhitungan, *Marvin Beans* untuk menggambar model struktur quinoxalin dan menghitung nilai deskriptor, *Gaussian09W* untuk perhitungan kimia, dan *IBM SPSS 21* untuk menganalisis regresi multilinier pada pemodelan HKSA.

Penelitian diawali dengan menggambar model struktur senyawa turunan quinoxalin menggunakan *Marvin Beans*. Model struktur senyawa turunan quinoxalin dioptimasi menggunakan *Gaussian09W* dengan metode DFT

(B3LYP) dan basis set 6-311G yang sudah diatur menggunakan *GaussView3.07*. Metode HKSA senyawa antimalaria sebelumnya banyak menggunakan metode AM 1 dan PM 3 seperti dilakukan Tahir *et al.* (2005) dan Armunanto & Sudiono (2004). Namun karena metode semi empiris memiliki reabilitas yang rendah daripada DFT dan *Ab initio* maka pemilihan metode mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Kabanda & Ebenso (2012). Metode DFT tidak dapat menghitung kesalahan perhitungan tanpa membandingkannya dengan metode lain ataupun dengan eksperimen (Rifai *et al.* 2014). Dengan demikian perlu dilakukan perbandingan hasil optimasi dengan metode yang setara atau metode kuantum yang lebih tinggi. Nilai deskriptor hidrofobik dari senyawa turunan quinoxalin dihitung menggunakan *MarvinBeans* dan deskriptor elektronik dihitung menggunakan *Gaussian09W*. Persamaan HKSA antimalaria diperoleh dari analisis statistika dengan metode regresi linier menggunakan *IBM SPSS 21* sehingga diperoleh model persamaan terpilih yang kemudian digunakan untuk prediksi aktivitas antimalaria senyawa turunan quinoxalin prediksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan deskriptor digunakan untuk menghitung nilai IC_{50} yang merupakan ukuran efektivitas penghambatan suatu senyawa dalam fungsi biologis menggunakan model persamaan HKSA. Deskriptor yang dihitung pada penelitian ini adalah deskriptor elektronik berupa 20 muatan bersih qN1, qC2, qC3, qN4, qC5, qC6, qC7, qC8, qC9, qC10, qO11, qO12, qC13, qC14, qC15, qC16, qC17, qC18, qC19, qN20, momen dipol, energi HOMO dan LUMO, dan deskriptor hidrofobik yang berupa koefisien partisi atau Log P, PSA dan MSA. Semua deskriptor tersebut dilakukan analisis korelasi antar variabel dan deskriptor yang memiliki korelasi yang memenuhi parameter adalah qN4, qC5, qC6, qC7, qC8, qC9, qC10, qC14, qC15, qC16, qC17, qC18, momen dipol, energi HOMO dan LUMO, dan polarisabilitas.

Deskriptor yang memenuhi syarat dianalisis menggunakan regresi multilinier dengan metode *backward*. Hasil analisis regresi multilinier menghasilkan 6 model persamaan seperti terlihat

pada Tabel 3. Persamaan HKSA yang dipilih adalah persamaan yang mempunyai nilai R dan R^2 mendekati satu dan nilai SE dan PRESS yang mendekati nol. Model persamaan HKSA yang memenuhi parameter R, R^2 dan SE (*Standar Error*) dari keenam model tersebut didapatkan 3 model yang memiliki nilai R, R^2 dan SE yang paling bagus

yaitu model 1, 2, dan 3. Model persamaan HKSA dilakukan Uji *Predictive Residual Sum of Square* (PRESS) dengan membandingkan nilai Log 1/IC₅₀ prediksi dari ketiga model dengan nilai Log 1/IC₅₀ eksperimen dari literatur. Hasil perhitungan PRESS model 1, 2, dan 3 ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Model persamaan HKSA hasil analisis regresi multilinier

Model	Deskriptor	n	R	R^2	SE
1	Konstanta, qC8, qC7, qC10, qC15, MSA, Log P, HOMO, Momen Dipol, Indeks polarisabilitas, PSA	12	0,980	0,960	0,208253061117971
2	Konstanta, qC8, qC7, qC10, qC15, MSA, Log P, HOMO, Momen Dipol, PSA	12	0,980	0,960	0,147389512443863
3	Konstanta, qC8, qC7, qC15, qC10, MSA, Log P, HOMO, Momen Dipol	12	0,976	0,953	0,130582391907629
4	Konstanta, qC8, qC10, qC15, MSA, Log P, HOMO, Momen Dipol	12	0,974	0,948	0,119016929247136
5	Konstanta, qC8, qC10, qC15, MSA, Log P, Momen Dipol	12	0,960	0,922	0,122486150616148
6	Konstanta, qC8, qC10, MSA, Log P, Momen Dipol	12	0,960	0,922	0,119190522225327

Tabel 2. Analisis PRESS model persamaan HKSA

Senyawa	Log 1/IC ₅₀ eksperimen	Log 1/IC ₅₀ prediksi		
		Model 1	Model 2	Model 3
1	-0,35984	-0,50731	-0,50533	-0,24632
2	-0,09691	-0,25331	-0,24813	0,034962
3	0,022276	-0,12065	-0,10592	0,103156
4	0,031517	-0,11358	-0,10412	0,132899
5	0,031517	-0,1117	-0,10651	0,115489
6	0,327902	0,287945	0,294407	0,528717
7	0,387216	0,255733	0,263249	0,52653
8	0,420216	0,26981	0,277283	0,528702
9	0,431798	0,399594	0,404483	0,595593
10	0,443697	0,200558	0,207486	0,433398
11	0,568636	0,428141	0,431558	0,707736
12	0,721246	0,475591	0,480211	0,679529
PRESS		0,28994822	0,268267	0,173675

Berdasarkan analisis PRESS, maka persamaan model HKSA yang dipilih adalah model persamaan 3 karena memiliki nilai PRESS yang rendah. Persamaannya sebagai berikut: Log 1/IC₅₀ = 31,890 + (-57,754) qC8 + (6,537) qC7 + (-770,959) qC10 + (-10,387) qC15 + (0,008) MSA + (-0,532) Log P + (-10,941) HOMO + 0,285 momen dipol dengan n = 12, R = 0,976, R^2 = 0,953, SE = 0,130582391907629, PRESS = 0,173675

n = 12, R = 0,976, R^2 = 0,953, SE = 0,130582391907629, PRESS = 0,173675

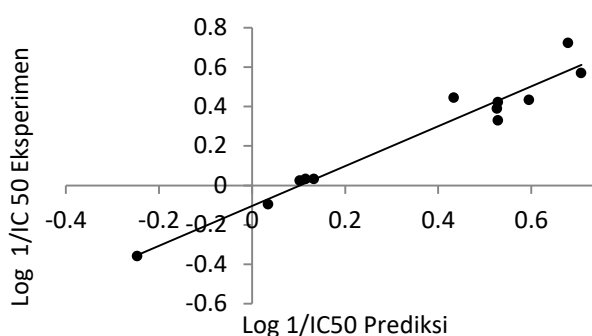
Grafik hubungan antara Log 1/IC₅₀ eksperimen dengan Log 1/IC₅₀ prediksi menggunakan model persamaan 3 ditunjukkan pada Gambar 2. Grafik tersebut menunjukkan kelinieran antara Log 1/IC₅₀ eksperimen dengan Log 1/IC₅₀ prediksi. Hasil persamaan tersebut menunjukkan deskriptor yang mempengaruhi

aktivitas antimalaria senyawa quinoxalin dari deskriptor elektronik adalah qC8, qC7, qC10, qC15, energi HOMO dan momen dipol, sedangkan deskriptor hidrofobik yang mempengaruhi adalah MSA, koefisien partisi. Model persamaan HKSA

yang terpilih digunakan untuk menentukan hasil prediksi nilai aktivitas antimalaria senyawa turunan quinoxalin prediksi dengan substitusi gugus etoksi dan etil dari 9 senyawa. Hasil nilai aktivitas prediksi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil prediksi aktivitas antimalaria senyawa turunan quinoxalin prediksi

Nama senyawa	Log 1/IC ₅₀ Prediksi	IC ₅₀ (μM)
2-siano-7-etil-3(4-klorofenil)quinoxalin-1,4-di-N-oksida	0,724	0,188844226
2-siano-7-etoksi-3(4-klorofenil)quinoxalin-di-N-oksida	0,688	0,204928745
2-siano-7-etoksi-3-(4-etilfenil)quinoxalin-1,4-di N-oksida	0,095	0,804390513
2-siano-7-etoksi-3-(4-etilfenil)quinoxalin-1,4-di N-oksida	0,599	0,251716689
2-siano-7-etil-3-(4-florofenil) quinoxalin-1,4-di N-oksida	0,644	0,226773874
2-siano-7-etoksi-3-(4-florofenil)quinoxalin-1,4-di-N-oksida	0,559	0,275812808
2-siano-6,7-dietil-3-(4-florofenil)quinoxalin-1,4-di-N-oksida	0,945	0,113501178
2-siano-7-etil-3-[(4-triflorometoksi fenil]quinoxalin-1,4-di N-oksida	1,040	0,091132682
2-siano-7-etoksi-3-[(4-triflorometoksi)fenil]quinoxalin-1,4 di-N-oksida	0,790	0,162010951



Gambar 2. Grafik hubungan antara Log 1/IC₅₀ eksperimen dengan Log 1/IC₅₀ prediksi menggunakan model persamaan 3.

Berdasarkan hasil analisis, prediksi aktivitas antimalaria senyawa turunan quinoxalin di atas senyawa prediksi memiliki nilai IC₅₀ berkisar 0,091132682 μM sampai 0,804390513 μM. Senyawa prediksi yang memiliki nilai IC₅₀ paling bagus adalah yang paling kecil, karena dengan konsentrasi yang sedikit sudah dapat menghambat pertumbuhan parasit antimalaria sampai 50%. Senyawa prediksi 8 atau 2-siano-7-etil-3-(4-triflorometoksi fenil quinoxalin-1,4-di N-oksida, merupakan senyawa yang nilai IC₅₀ paling bagus. Senyawa tersebut memiliki gugus OCF₃ sebagai substituen W dan CH₂CH₃ sebagai substituen R7. Hasil nilai aktivitas antimalaria senyawa prediksi apabila dibandingkan dengan nilai aktivitas

antimalaria senyawa kajian yang memiliki nilai IC₅₀ berkisar dari 2.29 μM sampai 0,19 μM. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai IC₅₀ senyawa prediksi lebih baik daripada senyawa kajian. Pada senyawa kajian, senyawa yang memiliki nilai aktivitas paling bagus adalah senyawa kajian nomor 2 dengan memiliki gugus Cl sebagai substituen W dan CH₃ sebagai substituen R7. Hasil prediksi senyawa antimalaria turunan quinoxalin prediksi menunjukkan 9 senyawa turunan quinoxalin yang memiliki gugus substituen pendonor elektron etoksi dan etil menghasilkan nilai aktivitas yang lebih baik daripada senyawa kajian.

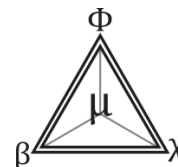
SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian HKSA, deskriptor molekuler yang mempengaruhi aktivitas antimalaria pada senyawa turunan quinoxalin adalah deskriptor elektronik qC1, qC2, qC5, qC18, energi HOMO, momen dipol dan deskriptor hidrofobik yang mempengaruhi yaitu MSA dan koefisien partisi. Persamaan HKSA pada senyawa turunan quinoxalin yang dapat dijadikan sebagai model untuk memprediksi aktivitas antimalaria pada senyawa turunan quinoxalin adalah $\text{Log } 1/\text{IC}_{50} = 31,890 + (-57,754) \text{ qC8} + (6,537) \text{ qC7} + (-770,959) \text{ qC10} + (-10,387) \text{ qC15} +$

(0,008) MSA+ (-0,532) Log P+ (-10,941)HOMO+ (0,285) momen dipol dengan $n = 12$, $R = 0,976$, $R^2 = 0,953$, $SE = 0,130582391907629$, $PRESS = 0,173675$. Nilai aktivitas antimalaria sembilan senyawa prediksi turunan quinoxalin dengan substitusi gugus-gugus pendonor elektron etoksi dan etil menghasilkan senyawa yang memiliki nilai aktivitas yang lebih baik daripada senyawa kajian, dan senyawa prediksi yang memiliki nilai aktivitas antimalaria paling bagus adalah 2-siano-7 etil-3-[(4-triflorometoksi fenil] quinoxalin-1,4-di N-oksida.

DAFTAR PUSTAKA

- Armunanto R & Sudiono S. 2004. Relation of electronic structures with their antimalaria activities on artemisinin derivatives. *Indo J Chem* 4(3):212-217.
- Hoffman SL, Subramanian GM, Collins FM & Venter JC. 2002. Plasmodium, human and Anopheles genomics and malaria. *Nature* 415: 702-709.
- Kabanda MM & Ebenso EE. 2012. Density functional theory and quantitative structure-activity relationship studies of some quinoxaline derivatives as potential corrosion inhibitors for copper in acidic medium. *Int J Electrochem Sci* 7:8713 – 8733.
- Patidar AK, Mobiya MAK & Selvam G. 2011. Exploring potential of quinoxaline moiety. *Int J Pharm Tech Res* 3(1): 386-392
- Quiliano M & Aldana I, 2013. Quinoxaline and arylaminoalcohol derivatives as antiplasmodial and leishmanicidal agents: a review of our first ten years in the field. *Rev Virtual Quim* 5 (6):1120-1133.
- Rifai AA, Kasmui, & Hadisaputro S. 2014. Hubungan Kuantitatif Struktur Aktivitas Senyawa Turunandeoksibenzoil Terhadap Aktivitas Antioksidan Menggunakan Analisis Regresi Multilinear. *Indo J Chem Sci* 3(2):1-5.
- Suhardiono. 2005. Faktor-Faktor yang berhubungan dengan insiden penyakit malaria di kelurahan teluk dalam kecamatan teluk dalam kabupaten nias selatan. *Jurnal Mutiara Kesehatan Indonesia* 1(2):22-34.
- Tahir I, Mudasira IY & Mustofa. 2005. Quantitative structure-activity relationship analysis (QSAR) of vincadifformine analogues as the antiplasmodial compounds of the chloroquinosensible strain. *Indo J Chem* 5(3):255–260.
- Vicente ES, Charnaud, Bongard E, Villar A, Burguete A, Solano A, Ancizu S, Silanes SP, Aldana I, Vivas L & Monge A. 2008. Synthesis and antiplasmodial activity of 3-furyl and 3-thienylquinoxaline-2-carbonitrile 1,4-di-n-oxide derivatives. *Molecules* 13:69-77.



ADSORPSI KROM(VI) OLEH ARANG AKTIF SERABUT KELAPA SERTA IMOBILISASINYA PADA BATAKO

N Zuhroh ✉ AT Prasetya, S Haryani

Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Februari 2016

Disetujui Maret 2016

Dipublikasikan April 2016

Keywords:

adsorption; chromium(VI);

active charcoal; brick;

immobilization

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengimobilisasi limbah arang aktif serabut kelapa yang telah menyerap ion logam Krom(VI) sebagai bahan campuran batako. Pada penelitian ini, arang dan arang aktif serabut kelapa dibandingkan kualitasnya dengan parameter uji kadar air, uji kadar abu dan uji daya adsorp iod. Krom(VI) diadsorpsi oleh arang aktif serabut kelapa untuk mengetahui pH optimum (1, 3, 5, 7, dan 9) dan waktu kontak optimumnya (10, 30, 60, 120, dan 150 menit). Limbah arang aktif hasil adsorpsi selanjutnya dicampurkan pada batako. Batako direndam ke dalam larutan pendesorpsi pada pH 1, 5, 7, 9, dan 13 selama satu minggu. Hasil penelitian menunjukkan arang aktif serabut kelapa memiliki kualitas yang lebih baik daripada arang serabut kelapa. Arang aktif serabut kelapa memiliki kadar air sebesar 4,57%, kadar abu sebesar 3,71% dan daya adsorp terhadap iod sebesar 414,9119 mg/g. Pada arang serabut kelapa memiliki kadar air sebesar 9,10%, kadar abu sebesar 4,28% dan daya adsorp terhadap iod sebesar 302,9929 mg/g. pH dan waktu kontak optimum yang diperlukan arang aktif serabut kelapa untuk menurunkan kadar Krom(VI) adalah pada pH 3 dan pada waktu 2,5 jam. Konsentrasi Krom(VI) yang dilepaskan pada pH 1, 5, 7, 9, dan 13 tidak terdeteksi sedangkan ketentuan baku mutu TCLP zat pencemar limbah untuk logam berat krom maksimal 5 ppm.

Abstract

This research aims to immobilize active charcoal of coconut fibers which have adsorbed Chromium(VI) ion as a mixture of brick. In this research, active charcoal and charcoal of coconut fibers will be compared to determine its quality using parameter test of water content, ash content and iod adsorption. Chromium(VI) was adsorbed by activated charcoal of coconut fibers to determine the optimum pH (1, 3, 5, 7 and 9) and optimum contact time (10, 30, 60, 120 and 150 minute). Then, the activated charcoal will be used to make the brick. The brick is soaked in the solution at pH 1, 5, 7, 9 and 13 for one week. The result shows that activated charcoal of coconut fibers have better quality than charcoal of coconut fibers. The water content of activated charcoal of coconut fibers is 4.57%, the ash content is 3.71% and the absorption of iodine is 414.9119 mg/g. While the water content of charcoal of coconut fibers is 9.10%, the ash content is 4.28% and the absorption of iod is 302.9929 mg/g. The optimum pH and equilibrium time that are required by activated charcoal of coconut fibers to reduce levels of Chromium(VI) is on pH 3 and time 2.5 hours. The concentration of Chromium(VI) at pH 1, 5, 7, 9 and 13 is not detected while the standard quality of provisions contaminants TCLP heavy metal chromium waste for a maximum of 5 ppm.

© 2016 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, 50229

E-mail: naela.niesa@gmail.com

ISSN 0215-9945

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini menyebabkan penggunaan logam-logam berat semakin meningkat (Sudiarta & Dwi 2010). Logam kromium merupakan salah satu logam yang mencemari lingkungan. Kromium heksavalen atau Cr(VI) merupakan logam anion toksik dengan penanganan sangat sukar (selektif) dibandingkan logam kation toksik. Bila terkonsumsi manusia (lebih dari 0,05 mg/L) dapat menimbulkan keracunan dan gangguan pada organ vital seperti gangguan syaraf pusat dan kanker (Widihati 2008). Oleh karena itu, keberadaan logam berat tersebut di lingkungan harus dikurangi. Salah satunya adalah dengan cara adsorpsi. Serabut kelapa mengandung lignin dan selulosa yang dapat dijadikan sebagai arang aktif yang berfungsi untuk mengadsorpsi logam berat.

Salah satu karakteristik yang dianggap keunggulan suatu adsorben adalah sifat *regenerable* atau dapat diregenerasi menggunakan agen pendesorpsi (Munawar 2010). Namun, hal ini juga menimbulkan dampak negatif. Adsorben yang telah digunakan untuk mengadsorpsi logam berat biasanya hanya dibuang ke lingkungan dan menjadi limbah. Limbah adsorben ini pada kondisi tertentu akan menyebabkan logam dalam limbah adsorben tersebut terlepas kembali. Hal ini akan menimbulkan pencemaran lingkungan kembali. Oleh karena itu, perlu penanganan terhadap limbah adsorben yang telah digunakan.

Permasalahan baru akibat pencemaran limbah adsorben dapat diatasi dengan cara menjadikan arang aktif serabut kelapa sebagai campuran dalam pembuatan batako. Penambahan arang pada batako dapat mengurangi berat batako karena menggantikan volume pasir yang digunakan. Batako dibuat untuk menggantikan batu bata sebagai bahan konstruksi, karena pembuatan batu bata merah cenderung merusak lingkungan seperti adanya bekas galian yang berakibat lahan tidak dapat dimanfaatkan lagi. Batako yang lebih ringan menghasilkan konstruksi ringan dan tahan gempa. Untuk memperoleh gedung yang lebih ringan salah satunya bisa dilakukan dengan cara mengurangi berat dinding yang umumnya 250 kg/m². Pengikatan adsorben arang aktif serabut kelapa diharapkan dapat

mengurangi logam berat yang akan terlepas kembali.

Solidifikasi/stabilisasi (S/S) limbah menggunakan semen merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah dengan tujuan untuk membuat suatu padatan, yang mudah penanganannya dan tidak meluluhkan kontaminan ke dalam lingkungan (Utomo 2008).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter arang dan arang aktif serabut kelapa sebagai adsorben logam Krom(VI) berupa kadar air, kadar abu dan daya adsorpsi terhadap iod, mengetahui pH optimum yang diperlukan arang aktif serabut kelapa untuk menurunkan kadar krom (VI), mengetahui waktu optimum yang diperlukan arang aktif serabut kelapa untuk menurunkan kadar krom (VI), dan mengetahui pengaruh pH larutan pendesorpsi terhadap pelepasan logam Cr(VI) pada limbah arang aktif yang diimobilisasikan dalam batako.

METODE

Limbah serabut kelapa yang sudah dibersihkan dan dihaluskan kemudian diaktivasi menggunakan asam fosfat H₃PO₄ 10% dengan cara direndam selama 24 jam (Nur 2012). Serabut kelapa yang telah diaktivasi dimasukkan ke dalam drum (alat pembuatan arang) dan dibakar hingga menjadi arang aktif (Darmayanti *et al.* 2012). Arang aktif serabut kelapa yang diperoleh didinginkan sampai suhu kamar dan dicuci dengan akuades hingga netral. Arang aktif kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C. Arang aktif diayak dengan ayakan 100 *mesh*. Pada pembuatan arang serabut kelapa, limbah serabut kelapa dibuat menjadi arang tanpa direndam H₃PO₄ terlebih dahulu.

Arang dan arang aktif serabut kelapa kemudian dikarakterisasi dengan menguji kadar air, kadar abu dan daya adsorpsi terhadap iod. Arang aktif serabut kelapa kemudian digunakan untuk mengadsorpsi Krom(VI) dengan diatur pH nya pada pH 1, 3,5,7 dan 9. Larutan Krom(VI) dan arang aktif dikontakkan dengan *orbital shaker* pada waktu 10, 30, 60, 120 dan 150 menit. Larutan kemudian disaring dan filtratnya dianalisis menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA)

pada panjang gelombang 357,9 nm (Sudiarta *et al.* 2011).

Arang aktif dikontakkan dengan larutan Cr(VI) pada pH dan waktu kontak optimum. Limbah arang aktif yang dihasilkan kemudian diimobilisasikan pada batako. Pembuatan batako dilakukan dengan komposisi semen : pasir : arang aktif : air = 1 : 2,70 : 0,05 : 0,5 (Siagian & Dermawan, 2011). Adonan dituangkan dalam cetakan batako dan dikeringkan untuk proses pengerasan (*ageing*) (Khusna *et al.* 2013). Perawatan batako dilakukan dengan cara disimpan selama 7 hari. Pembuatan batako tanpa limbah arang aktif digunakan sebagai pembandingan/kontrol. Batako kemudian direndam dalam larutan pendesorpsi dengan variasi pH 1, 5, 7, 9 dan 13 (Wankasi *et al.* 2005). Perendaman dilakukan selama 7 hari. Air rendaman kemudian disaring dan filtrat dikembalikan ke volume semula dengan penambahan akuades. Filtrat diukur dengan SSA pada panjang gelombang 357,9 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Arang dan arang aktif serabut kelapa dikarakterisasi dengan menguji kadar air, kadar abu dan daya adsorpsi terhadap iod. Penentuan kadar air sebagai salah satu parameter kualitas arang yang dihasilkan perlu dilakukan untuk mengetahui sifat higroskopis arang maupun arang aktif. Penentuan kadar abu bertujuan untuk mengetahui material anorganik dalam arang dan arang aktif. Daya adsorpsi terhadap iod menunjukkan kemampuan arang aktif menyerap zat dengan ukuran molekul yang lebih kecil dari 10 Å atau memberikan indikasi jumlah pori yang berdiameter 10–15 Å (Yusuf & Tjahyani, 2013). Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Arang dan Arang Aktif Serabut kelapa

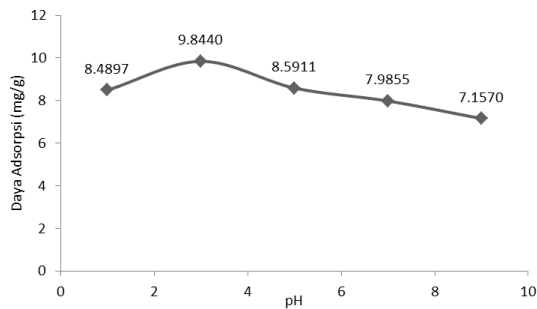
Parameter	Arang	Arang aktif	Standar Industri
Kadar air	9,10%	4,57%	4,4%
Kadar abu	4,28%	3,71%	2,5%
Daya adsorpsi terhadap iod	302,9929 mg/g	414,9119 mg/g	750 mg/g

Kadar air arang sebesar 9,10% sedangkan kadar air arang aktif sebesar 4,57% (Tabel 1). Keduanya masih belum memenuhi kadar air standar industri Indonesia (SII No. 0258-88) yaitu maksimal sebesar 4,4% untuk sampel berbentuk butiran. Namun, arang dan arang aktif masih dapat digunakan untuk proses adsorpsi. Kandungan air dalam karbon aktif tidak akan mempengaruhi daya adsorpsinya, namun hal ini akan melemahkan karbon. Karbon yang mengandung air akan lebih mudah rusak dan ditumbuhi jamur.

Kadar abu arang sebesar 4,28% sedangkan kadar air arang aktif sebesar 3,71% (Tabel 1). Keduanya belum memenuhi kadar abu standar industri Indonesia (SII No. 0258-88) yaitu maksimal sebesar 2,5% untuk sampel berbentuk butiran. Namun, arang yang telah diaktivasi memiliki kualitas yang lebih baik daripada arang tanpa aktivasi. Kadar abu yang lebih kecil pada arang aktif serabut kelapa menunjukkan luas permukaan arang aktif lebih besar daripada arang. Lebih besarnya luas permukaan dikarenakan pori-pori arang tidak banyak tersumbat oleh mineral-mineral anorganik. Hal ini akan membuat arang aktif memiliki daya adsorpsi yang besar terhadap Krom(VI).

Daya adsorpsi terhadap iod pada arang sebesar 302,9929 mg/g sedangkan daya adsorpsi terhadap iod pada arang aktif sebesar 414,9119 mg/g (Tabel 1). Keduanya masih belum memenuhi daya adsorpsi terhadap iod standar industri Indonesia (SII No. 0258-88) yaitu minimal sebesar 750 mg/g untuk sampel berbentuk butiran. Namun, daya adsorpsi terhadap iod pada arang aktif lebih mendekati standar. Hal ini dikarenakan arang aktif serabut kelapa memiliki luas permukaan yang lebih besar dari pada arang serabut kelapa yang tidak diaktivasi. Pori-pori yang lebih besar akan menyebabkan kemampuannya menyerap iod menjadi lebih besar.

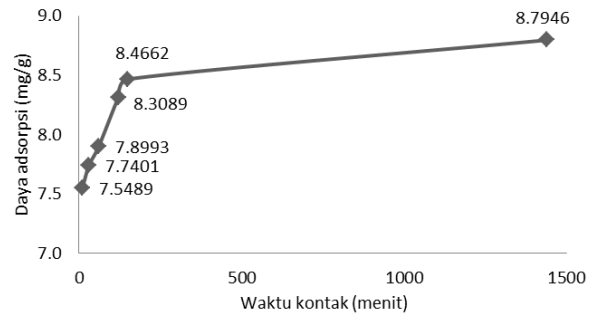
Variabel pH larutan merupakan hal penting dalam adsorpsi ion logam karena ion hidrogen merupakan ion yang berkompetisi kuat dengan ion logam. Pengaruh pH terhadap daya adsorpsi arang aktif serabut kelapa dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh pH dan daya adsorpsi

Gambar 1 menunjukkan bahwa daya adsorpsi arang aktif serabut kelapa terhadap Krom(VI) optimum pada pH 3. Jumlah Krom(VI) yang terserap pada pH tersebut sebesar 9,8440 mg/g. Pada pH rendah yaitu pH 1 adsorpsi Krom(VI) cenderung rendah. Hal ini dikarenakan dalam kondisi asam, permukaan adsorben juga bermuatan positif, sehingga menyebabkan persaingan antara permukaan adsorben dengan ion logam Cr^{3+} (Hasrianti 2012). Pada pH 3, ion H^+ yang mengelilingi permukaan adsorben lebih sedikit daripada pH 1. Hal ini menyebabkan persaingan antara ion logam dan H^+ menjadi lebih kecil, sehingga daya adsorpsinya meningkat. Pada pH 5 sampai pH 9 daya adsorpsi mengalami penurunan karena adanya pertukaran H^+ dengan anion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Kenaikan pH akan memperkecil ion H^+ pada permukaan adsorben sehingga interaksi antara H^+ dengan Krom(VI) dalam bentuk anion menjadi berkurang.

Penentuan waktu optimum adsorpsi bertujuan untuk mengetahui waktu minimum yang dibutuhkan oleh adsorben arang aktif serabut kelapa dalam menyerap logam Cr(VI) secara maksimum hingga tercapai keadaan setimbang. Berdasarkan penelitian diperoleh hubungan antara waktu kontak dengan konsentrasi Krom(VI) yang teradsorpsi pada Gambar 2.

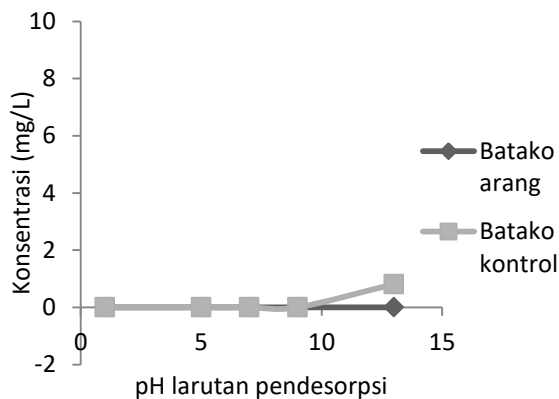


Gambar 2. Pengaruh waktu kontak dan daya adsorpsi

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa jumlah adsorpsi dari adsorben arang aktif serabut kelapa terhadap logam Cr^{6+} mengalami peningkatan adsorpsi seiring dengan bertambahnya waktu interaksi. Pada waktu kontak 2,5 jam hingga 24 jam, daya adsorpsi arang aktif serabut kelapa masih mengalami kenaikan yaitu dari 8,4662 mg/g menjadi 8,7946 mg/g. Namun, dengan perbedaan waktu yang besar antara waktu kontak 2,5 jam dan 24 jam, kenaikan daya adsorpsinya tergolong kecil. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2 dimana setelah waktu 2,5 jam kemiringan garis cukup rendah yang menunjukkan daya adsorpsinya relatif stabil. Oleh karena itu, waktu yang akan digunakan untuk percobaan selanjutnya adalah 2,5 jam (150 menit).

Pada waktu 150 menit diperkirakan sudah terjadi kesetimbangan antara adsorbat yang diserap oleh adsorben dengan adsorbat yang tersisa dalam larutan. Adsorpsi yang terjadi oleh materi adsorben mencapai kesetimbangan, serapannya cenderung tetap atau bahkan menurun (Riapanitra & Andreas 2010). Hal ini disebabkan karena setelah mencapai keadaan setimbang, ikatan antara adsorbat ion logam Cr^{6+} dengan adsorben arang aktif serabut kelapa semakin lemah sehingga adsorbat ion logam Cr^{6+} cenderung mempertahankan diri untuk tetap berada dalam larutan (Widihati *et al.* 2012).

Penentuan kadar pelepasan Krom(VI) pada arang aktif serabut kelapa yang telah diimobilisasikan pada batako penting untuk dilakukan. Hasil ini dapat digunakan sebagai parameter untuk mengetahui apakah batako mampu mengikat Krom(VI) dengan baik atau tidak. Hasil pelepasan Krom(VI) pada batako yang mengikat arang dan batako kontrol dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh pH dan konsentrasi Krom(VI) yang terlepas

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada pH 1, 5, 7, dan 9 konsentrasi Krom(VI) yang terlepas untuk kedua jenis batako adalah sama yaitu tidak terdeteksi. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan arang aktif yang telah mengadsorpsi Krom(VI) pada batako tidak akan mempengaruhi kualitas batako. Pada pH 13 batako kontrol melepaskan Krom(VI) lebih banyak daripada batako yang mengikat arang. Namun, konsentrasi Krom(VI) yang dilepaskan sangat kecil yaitu 0,8116 mg/L. Krom(VI) yang dilepaskan masih berada di bawah standar Baku Mutu TCLP (PP.85/1999) yaitu sebesar 5 ppm. Selain itu, konsentrasi Krom(VI) yang dilepaskan oleh batako kontrol kurang dari batas deteksi dan batas kuantitasi yang diperoleh yaitu sebesar 1,0375 mg/L dan 3,4583 mg/L sehingga hasil pengukuran dikatakan tidak dapat dipercaya dan memberikan akurasi yang rendah. Pada kondisi ini dianggap penambahan arang aktif masih tidak berpengaruh terhadap batako. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah arang aktif serabut kelapa yang sudah digunakan untuk mengadsorpsi krom, sebagai bahan tambahan dalam batako dikategorikan berhasil dan dapat diaplikasikan di masyarakat. Batako yang mengikat arang aktif tidak akan menimbulkan efek yang negatif terhadap lingkungan karena logam Krom(VI) tidak terlepas dalam larutan pendesorpsi.

SIMPULAN

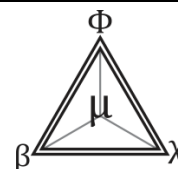
Berdasarkan hasil penelitian tentang pemanfaatan arang aktif serabut kelapa yang mengimobilisasi Krom(VI) sebagai bahan campuran pada pembuatan batako dapat

disimpulkan arang serabut kelapa yang diaktivasi dengan H_3PO_4 10% memiliki kualitas yang lebih baik daripada arang tanpa aktivasi. Pada arang aktif memiliki kadar air sebesar 4,57%, kadar abu sebesar 3,71% dan daya adsorpsi terhadap iod sebesar 414,9119 mg/g. Pada arang memiliki kadar air sebesar 9,10%, kadar abu sebesar 4,28% dan daya adsorpsi terhadap iod sebesar 302,9929 mg/g. pH optimum yang diperlukan arang aktif serabut kelapa untuk menurunkan kadar Krom(VI) adalah pada pH 3 dengan daya adsorpsi sebesar 9,8440 mg/g. Waktu setimbang yang diperlukan arang aktif serabut kelapa untuk menurunkan kadar Krom(VI) adalah 2,5 jam dengan daya adsorpsi sebesar 8,4662 mg/g. pH larutan pendesorpsi tidak berpengaruh terhadap pelepasan Krom(VI) yang diimobilisasikan dalam batako dengan konsentrasi Cr(VI) yang terlepas untuk pH 1, 5, 7, 9 dan 13 tidak terdeteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Darmayanti N, Rahman & Supriadi. 2012. Adsorpsi Timbal (Pb) dan Zink (Zn) dari larutannya menggunakan arang hayati (biocharcoal) kulit pisang kepok berdasarkan variasi pH. *J. Akad Kim* 1(4): 159-165.
- Hasrianti. 2012. *Desorpsi Ion Cd^{2+} Dan Cr^{6+} pada Limbah Cair Menggunakan Kulit Singkong*. Tesis. Makassar: Universitas Hasanudin.
- Khusna H, Sunarto W & Alauddin M. 2013. Analisis kandungan kimia dan pemanfaatan *sludge* industri kertas sebagai bahan pembuatan batako. *Indo J Chem Sci* 2(2): 131-135.
- Munawar. 2010. Kesetimbangan sorpsi ion seng(II) pada partikel gambut. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia* 9(3): 91-98.
- Nur R. 2012. *Pemurnian Minyak Goreng Bekas Menggunakan Arang Aktif dari Serabut Kelapa*. Skripsi. Papua: Universitas Negeri Papua.
- Riapanitra A & Andreas R. 2010. Pemanfaatan arang batok kelapa dan tanah humus baturren untuk menurunkan kadar logam krom (Cr). *Jurnal Kimia* 5(2): 66-74.
- Siagian H & Dermawan A. 2011. Pengujian sifat mekanik batako yang dicampur abu terbang (Fly Ash). *Jurnal Sains Indonesia* 35(1): 23 - 28.
- Sudiarta IW & Yulihastuti DA. 2010. Biosorpsi Kromium(VI) pada serat serabut kelapa hijau (*Cocos nucifera*). *Jurnal Kimia* 4(2): 158-166.
- Sudiarta IW, Diantariani NP & Yulihastuti DA. 2011. *Biosorpsi Cr(III) pada biosorben serat serabut*

- kelapa teraktivasi amonium hidroksida (NH₄OH). The Excellence Research: UNIVERSITAS UDAYANA.*
- Utomo MP. 2008. Efek Logam Berat terhadap Sifat Semen pada Proses Solidifikasi/Stabilisasi Limbah Berbahaya. Yogyakarta: Seminar Nasional Kimia.
- Wankasi, Horsfall & Spiff AI. 2005. Desorption of Pb²⁺ and Cu²⁺ from nipa palm (Nypa fruticans Wurmb) biomass. *Afr J Biotechnol* 4(9): 923-927.
- Widihati IAG. 2008. Adsorpsi Anion Cr(VI) oleh batu pasir teraktivasi asam dan tersalut Fe₂O₃. *Jurnal Kimia* 2(1): 25-30.
- Widihati IAG, Suastuti DA & Nirmalasari MAY. 2012. Studi kinetika adsorpsi larutan ion logam kromium (Cr) menggunakan arang batang pisang (*Musa paradisiaca*). *Jurnal Kimia* 6(1): 8-16.
- Yusuf MA & Tjahjani S. 2013. Adsorpsi ion Cr(VI) oleh arang aktif sekam padi. *UNESA Journal of Chemistry* 2(1): 84-88.



MODEL VOLATILITAS GARCH(1,1) DENGAN *ERROR STUDENT-T* UNTUK KURS BELI EUR DAN JPY TERHADAP IDR

F C Salim, D B Nugroho[✉], B Susanto

Prodi Matematika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Februari 2016
Disetujui Maret 2016
Dipublikasikan April 2016

Keywords:

*adaptive random walk
Metropolis, volatilitas,
GARCH(1,1), MCMC,
independence chain
Metropolis-Hastings*

Abstrak

Studi ini menyajikan model volatilitas Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (GARCH)(1,1) untuk *returns* keuangan yang mengasumsikan bahwa *returns error* berdistribusi *Student-t*. Parameter dari model volatilitas diestimasi menggunakan algoritma Markov Chain Monte Carlo (MCMC). Secara khusus, nilai-nilai parameter model dibangkitkan menggunakan metode *adaptive random walk Metropolis* dan *independence chain Metropolis-Hastings (IC-MH)* yang dikonstruksi dalam algoritma MCMC. Model dan metode diaplikasikan pada data kurs beli harian Yen Jepang (JPY) dan Euro (EUR) terhadap Rupiah Indonesia (IDR) pada periode Januari 2009 sampai dengan Desember 2014. Berdasarkan kriteria faktor Bayes, hasil empiris menunjukkan dukungan sangat kuat terhadap asumsi distribusi *student-t* untuk *returns error*.

Abstract

This study investigates a volatility GARCH(1,1) model with Student's t-error distribution for financial return. The parameters of GARCH model are estimated by using Markov Chain Monte Carlo (MCMC) algorithm. Specifically, the draws are sampled using adaptive random walk Metropolis and independence chain Metropolis-Hastings (IC-MH) methods that constructed in the MCMC algorithm. The model and methods are applied to the daily buying rate data of the Euro (EUR) and Japanese Yen (JPY) to Indonesian Rupiah (IDR) from January 2009 to December 2014. According to the Bayes factor criteria, empirical results shows a strong support to the assumption of Student's t-error distribution.

© 2016 Universitas Negeri Semarang

[✉] Alamat korespondensi:

Jl. Diponegoro 52-60 Salatiga 50711 Jawa Tengah
E-mail: didit.budinugroho@staff.uksw.edu

ISSN 0215-9945

PENDAHULUAN

Penelitian tentang perubahan volatilitas (simpangan baku) menggunakan model runtun waktu telah ada sejak Engle (1982) mengusulkan model *autoregressive conditional heteroscedasticity* (ARCH) dan diperluas oleh Bollerslev (1986) menjadi model *generalized autoregressive conditional heteroscedasticity* (GARCH). Kedua model tersebut banyak digunakan sebagai model empiris untuk peramalan volatilitas (Poon & Granger 2003). Diantara kedua model tersebut, model GARCH(1,1) dengan *return error* berdistribusi *Student-t* banyak digunakan karena mampu menangkap dinamika volatilitas dengan cara yang sederhana (tidak seperti ARCH), dan mampu memperlihatkan kelebihan kurtosis dalam suatu distribusi bersyarat yang ditemukan di runtun waktu keuangan (Ardia & Hoogerheide 2010). Pemodelan ekonometrika yang didasarkan distribusi *Student-t* memperkenalkan suatu parameter, yaitu tambahan parameter derajat kebebasan, yang mengukur sejauh mana sifat leptokurtosis terdapat pada data (Heracleous 2003). Oleh karena itu, studi ini memperluas model volatilitas GARCH(1,1) di Salim *et al.* (2015) dengan mengasumsikan *return error* berdistribusi *Student-t*.

Algoritma MCMC dalam penelitian ini dikonstruksi untuk mengestimasi model volatilitas GARCH(1,1) dengan *return error* berdistribusi *Student-t*. Secara khusus, parameter derajat kebebasan diestimasi menggunakan metode *independence chain* Metropolis-Hasting (IC-MH) dan parameter lainnya diestimasi menggunakan metode *adaptive random walk* Metropolis (ARWM). Model dan metode diaplikasikan pada data kurs beli harian EUR dan JPY terhadap IDR pada periode Januari 2009 sampai Desember 2014. Selanjutnya, hasil empiris dari model tersebut dibandingkan dengan model volatilitas GARCH(1,1) berdistribusi normal di Salim *et al.* (2015) untuk mengetahui model yang sesuai dengan data yang diamati.

METODE

Model Volatilitas GARCH(1,1)

Pada kebanyakan studi kasus keuangan, *return* didefinisikan sebagai persentase perubahan logaritma natural *return* yang didasarkan pada asumsi bahwa harga aset mengikuti gerak Brown geometrik. Pada studi ini, *return* yang digunakan adalah *mean-corrected return*, yang didefinisikan seperti berikut:

$$R_t = 100 \times \left[\ln \frac{S_t}{S_{t-1}} - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \ln \frac{S_t}{S_{t-1}} \right],$$

dimana S_t adalah harga *asset* pada waktu t . Data runtun waktu *return* sering digunakan daripada data runtun waktu harga aset karena *return* mempunyai sifat statistik yang menarik dibandingkan harga *asset* (Campbell *et al.* 1997).

Untuk beberapa aplikasi, ditemukan bahwa struktur *lag* yang agak panjang dalam model volatilitas menjadi syarat untuk bisa menangkap *long memory* yang ada pada data (Heracleous 2003). Bollerslev (1986) mengusulkan model GARCH(p, q) yang memungkinkan untuk *long memory* dan struktur *lag* lebih fleksibel. Dalam banyak studi keuangan, model volatilitas GARCH untuk runtun waktu *return* cukup menggunakan *lag* $p = 1$ dan $q = 1$, yang selanjutnya akan diperhatikan dalam studi ini. Model volatilitas GARCH(1,1) dengan *return error* berdistribusi *Student-t*, selanjutnya dinamakan model GARCHt(1,1), dinyatakan sebagai berikut:

$$R_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim \text{Student} - t(\nu),$$

$$h_t = \omega + \alpha R_{t-1}^2 + \beta h_{t-1},$$

$$h_0 = \frac{\omega}{1 - \alpha - \beta},$$

di mana ν adalah derajat kebebasan, parameter $\omega > 0$, $\alpha \geq 0$, $\beta \geq 0$, yang adalah syarat untuk memastikan bahwa nilai volatilitas selalu positif serta, $\alpha + \beta < 1$, yang adalah syarat untuk kestasioneran volatilitas. Dicatat bahwa fungsi *likelihood* untuk model di atas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$L(\theta | \mathbf{R}) \propto \prod_{t=1}^T \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right) \Gamma\left(\frac{1}{2}\right)} \cdot \frac{1}{\sqrt{h_t \nu}} \left(1 + \frac{R_t^2}{h_t \nu}\right)^{-\frac{\nu+1}{2}},$$

di mana $\mathbf{R} = (R_0, R_1, R_2, \dots, R_T)$ dan $\theta = (\omega, \alpha, \beta, \nu)$.

Estimasi MCMC untuk model GARCHt(1,1)

MCMC merupakan suatu metode pembangkit untuk mengaproksimasi sampel dari distribusi yang tidak diketahui. Pada tahap pertama, MCMC membangkitkan bilangan acak rantai Markov dengan membatasi distribusinya sama dengan distribusi yang diinginkan (Kroese *et al.* 2011). Beberapa metode telah diusulkan untuk membangkitkan rantai Markov, diantaranya metode random walk, Metropolis-Hastings, dan Hamiltonian Monte Carlo. Pada tahap kedua dari MCMC, setelah barisan variabel acak dibangkitkan, metode Monte Carlo dikerjakan untuk mendapatkan estimator parameter sebagai keluaran dari MCMC (Gilks *et al.* 1996). Dalam kondisi ini, proses *burn-in* (sebanyak m sampel awal dibuang dari rantai Markov) diterapkan.

Sebagai alternatif, model GARCHt(1,1) dapat dituliskan kembali melalui penambahan variabel bantu seperti berikut:

$$R_t = \sqrt{h_t} z_t \eta_t, z_t \sim IG\left(\frac{v}{2}, \frac{v}{2}\right), \eta_t \sim N(0,1),$$

$$h_t = \omega + \alpha R_{t-1}^2 + \beta h_{t-1},$$

$$h_0 = \frac{\omega}{1 - \alpha - \beta},$$

dimana $v > 2$, serta IG dan N berturut-turut menotasikan distribusi *inverse*-Gamma dan distribusi normal. Berdasarkan aturan Bayes, distribusi *posterior* gabungan dari parameter bersyarat pada observasi dinyatakan seperti berikut:

$$p(\theta, \mathbf{z} | \mathbf{R}) \propto L(\theta, \mathbf{z} | \mathbf{R}) \times p(\theta),$$

dimana $\mathbf{z} = (z_0, z_1, z_2, \dots, z_T)$. Fungsi *likelihood* dari model di atas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$L(\theta, \mathbf{z} | \mathbf{R})$$

$$\propto \prod_{t=1}^T \frac{1}{\sqrt{h_t} z_t} \exp\left\{-\frac{R_t^2}{2h_t z_t}\right\}$$

$$\times \left(\frac{v}{2}\right)^{\frac{vT}{2}} \left[\Gamma\left(\frac{v}{2}\right)\right]^{-T} \prod_{t=1}^T z_t^{-\frac{v+2}{2}} \exp\left\{-\frac{v}{2z_t}\right\}.$$

Pembangkitan Parameter

Parameter ω , α , dan β dibangkitkan dengan menggunakan metode ARWM yang diberikan oleh Atchade & Rosenthal (2005). Berikut ini adalah algoritma ARWM untuk memperbarui nilai parameter θ :

(i) Inisialisasi parameter θ_0 dan lebar langkah s_0 .

(ii) Diandaikan bahwa saat waktu $n \geq 0$, θ_n dan s_n diketahui.

a. Dibangkitkan proposal $\theta^* = \theta_n + \eta_t$, dimana $\eta_t \sim N(s_n, 1)$, dan $x \sim U(0,1)$.

b. Dihitung rasio Metropolis:

$$r(\theta_n, \theta^*) = \frac{p(\theta^* | \cdot)}{p(\theta_n | \cdot)}$$

dan ditetapkan $\delta = \min\{1, r(\theta_n, \theta^*)\}$.

c. Jika $x \leq \delta$, maka $\theta_{n+1} = \theta^*$; jika tidak, maka $\theta_{n+1} = \theta_n$.

(iii) Dimisalkan $s_i \in [s_{\min}, s_{\max}]$ dan dihitung:

$$v = \max\left\{s_{\min}, s_n + \frac{\frac{m(\theta^*)}{n+1} - \bar{\tau}}{(n+1)^\lambda}\right\},$$

dimana $m(\theta^*)$ menyatakan frekuensi penerimaan proposal θ^* . Jika $v > s_{\max}$, maka $s_{n+1} = s_{\max}$, sedangkan jika $v < s_{\min}$, maka $s_{n+1} = s_n$.

Seperti dalam Salim *et al.* (2015), dalam studi ini ditetapkan

$s_{\min} = 10^{-5}$, $s_{\max} = 10$, $\bar{\tau} = 0,44$, $\lambda = 0,6$, dimana $\bar{\tau}$ dipilih agar laju penerimaan mendekati 0,44 (Roberts & Rosenthal 2006). Pemilihan skala lebar langkah s_i memiliki pengaruh yang besar pada perubahan nilai proposal. Secara intuitif, jika s_i sangat kecil, maka pergerakan hasil algoritma juga kecil. Di sisi lain, jika s_i sangat besar, maka pergerakan hasil algoritma juga besar yang mengakibatkan proposal akan ditolak.

Sementara itu, vektor parameter z_t dibangkitkan secara langsung dari distribusi *inverse Gamma* dan v dibangkitkan menggunakan metode IC-MH seperti yang digunakan Imam *et al.* (2015). Metode IC-MH diperkenalkan oleh Tierney (1994), dengan langkah-langkah berikut:

L1: Menentukan proposal untuk v , yaitu $v^* \sim N_{[3,40]}(\mu_{v^*}, V_{v^*})$, dimana $N_{[3,40]}$ adalah normal terpotong pada interval $[3,40]$.

L2: Menentukan rasio

$$r(v, v^*) = \frac{p(v^* | \cdot)}{p(v | \cdot)}.$$

L3: Membangkitkan $u \sim U[0,1]$.

L4: Jika $u < \min\{1, r(v, v^*)\}$, maka proposal diterima, jika tidak, maka proposal ditolak.

Rata-rata μ_{v^*} dan variansi V_{v^*} dicari menggunakan metode yang didasarkan pada tingkah laku distribusi di sekitar modus (lihat Albert (2009). Modus $\hat{v}$ dari $F(v)$, artinya $F'(\hat{v}) = 0$, dicari menggunakan metode bagi dua. Selanjutnya diambil $\mu_{v^*} = \hat{v}$ dan $V_{v^*} = -[F''(\hat{v})]^{-1}$. Masalahnya adalah $F''(\hat{v})$ bisa bernilai positif, karena itu diambil $V_{v^*} = -[D_v(\hat{v})]^{-1}$ dengan

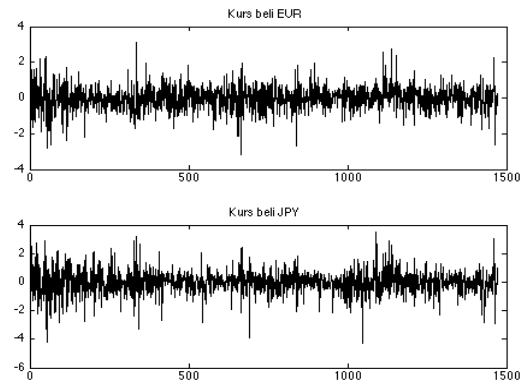
$$D_v(\hat{v}) = \min\{-0.0001, F''(\hat{v})\}.$$

Secara ringkas, skema MCMC untuk mengestimasi model GARCHt(1,1) adalah seperti berikut:

1. Membangkitkan sampel z_t secara langsung.
2. Membangkitkan parameter v dengan menggunakan metode IC-MH.
3. Membangkitkan parameter ω dengan menggunakan metode ARWM.
4. Membangkitkan parameter α dengan menggunakan metode ARWM.
5. Membangkitkan parameter β dengan menggunakan metode ARWM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model GARCHt (1,1) diaplikasikan pada data kurs beli harian JPY dan EUR terhadap IDR atas periode Januari 2009 sampai Desember 2014 yang diperoleh dari laman Bank Indonesia. Ada sebanyak 1471 observasi yang kemudian dikonversi ke bentuk *return*. Parameter model diestimasi menggunakan alat bantu MATLAB_2009a. Gambar 1 menyajikan *plot return* kurs beli harian EUR dan JPY terhadap IDR atas periode Januari 2009 sampai Desember 2014. Faktanya, runtun waktu *return* untuk kedua data yang diamati adalah tidak normal (berdasarkan uji Jarque-Bera) dan tidak berkorelasi (berdasarkan uji Ljung-Box), yang sesuai dengan asumsi model.



Gambar 1. *Plot runtun waktu return kurs beli harian EUR dan JPY terhadap IDR pada periode Januari 2009 sampai Desember 2014.*

Dalam proses estimasi parameter model, nilai-nilai awal parameter ditetapkan $\omega_0 = 0,1$, $\alpha_0 = 0,4$, $\beta_0 = 0,5$, dan $v_0 = 20$. Simulasi MCMC dikerjakan untuk 15.000 iterasi, dimana 5.000 rantai Markov awal dihilangkan. Selanjutnya, sebanyak 10.000 rantai Markov yang tersisa digunakan untuk menghitung rata-rata *posterior*, simpangan baku (*standar deviation/SD*), 95% *highest posterior density* (HPD) interval, dan diagnosa konvergensi. Diagnosa konvergensi diperlukan untuk mengetahui berapa banyak sampel yang harus dibangkitkan untuk mendapatkan sampel-sampel yang saling bebas. Dalam hal ini, konvergensi metode didasarkan pada IACT (*integrated autocorrelation time*) yang ditaksir menggunakan *adaptive truncated periodogram estimator* dari Sokal (1989). Sementara itu, interval HPD ditaksir menggunakan metode Chen & Shao (1999).

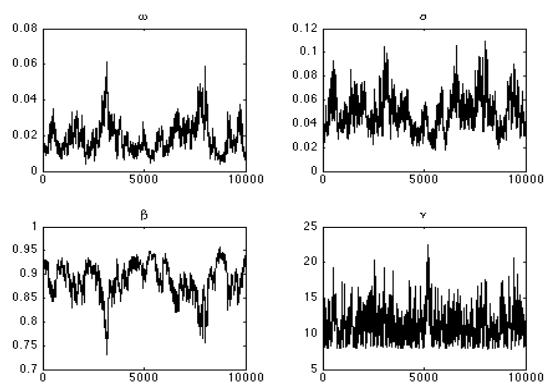
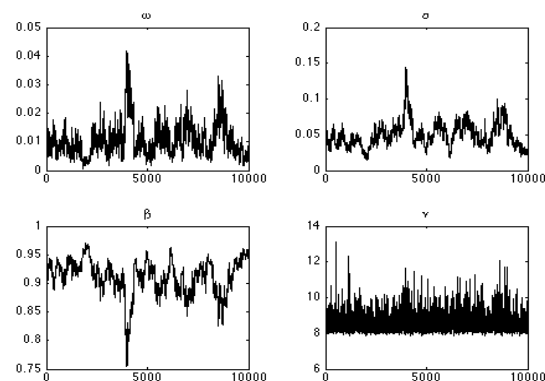
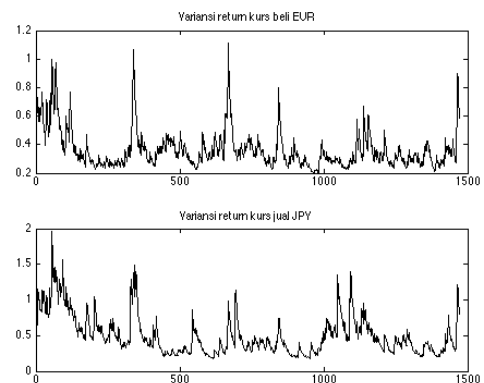
Hasil estimasi model GARCHt(1,1) untuk data kurs beli harian EUR dan JPY terhadap IDR disajikan berturut-turut dalam Tabel 1 dan 2. Dicitat, LB dan UB berturut-turut menyatakan batas bawah dan batas atas dari 95% interval HPD. Plot nilai-nilai parameter model dari hasil simulasi MCMC disajikan dalam Gambar 2 dan 3 berturut-turut untuk kurs beli EUR dan JPY. Sementara itu, plot nilai variansi (volatilitas kuadrat) disajikan dalam Gambar 4.

Tabel 1. Hasil estimasi model GARCHt(1,1) untuk kurs beli EUR terhadap IDR.

Parameter	ω	α	β	ν
Rerata	0,025	0,055	0,859	9,67
SD	0,013	0,016	0,051	1,42
LB	0,006	0,027	0,760	7,92
UB	0,050	0,089	0,944	12,41
IACT	380,0	265,5	386,2	40,6

Tabel 2. Hasil estimasi model GARCHt(1,1) untuk kurs beli JPY terhadap IDR.

Parameter	ω	α	β	ν
Rerata	0,011	0,049	0,911	8,59
SD	0,006	0,017	0,031	0,55
LB	0,002	0,018	0,856	7,93
UB	0,022	0,080	0,968	9,76
IACT	277,2	348,8	338,1	12,9

**Gambar 2.** Plot posterior model GARCHt(1,1) untuk *return* kurs beli EUR terhadap IDR.**Gambar 3.** Plot posterior model GARCHt(1,1) untuk *return* kurs beli JPY terhadap IDR.**Gambar 4.** Plot variansi (h_t) *return* kurs beli harian EUR dan JPY terhadap IDR mengikuti model GARCHt(1,1).

Jumlahan parameter hasil estimasi adalah mendekati 1, yaitu 0,914 untuk *return* kurs beli EUR terhadap IDR dan 0,960 untuk *return* kurs beli JPY terhadap IDR. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa kejutan dan variansi masa lalu pada nilai kurs beli akan memiliki dampak yang lebih panjang dari variansi bersyarat masa depan. Untuk derajat kebebasan dari distribusi *Student-t*, studi empiris menemukan bahwa nilainya di sekitar 9, yang mengindikasikan ekor lebih tebal daripada distribusi normal. Hal ini menunjukkan bahwa *return error* sangat tepat mengikuti distribusi *Student-t*. Selanjutnya, dengan memperhatikan runtun waktu variansi pada Gambar 4, variansi yang

lebih tinggi dijumpai pada *return* harian kurs beli JPY.

Untuk pemilihan model yang lebih sesuai terhadap data, model GARCHt(1,1) dibandingkan dengan model GARCH(1,1) berdistribusi normal, disingkat GARCHn(1,1), yang sudah diperoleh dari Salim *et al.* (2015), berdasarkan kriteria log faktor Bayes. Di sini, faktor Bayes dihitung berdasarkan *marginal likelihood* yang diestimasi menggunakan metode Gelfand–Dey (Liu 2010). Tabel 3 menyajikan nilai log faktor Bayes dari model GARCHt(1,1) terhadap model GARCHn(1,1) yang dihitung berdasarkan hasil estimasi model untuk data *return* kurs beli EUR dan JPY. Berdasarkan interpretasi log faktor Bayes dari Kass & Raftery (1995), studi empiris ini menemukan bukti sangat kuat terhadap penggunaan model GARCHt(1,1) daripada model GARCHn(1,1).

Tabel 5. Nilai log faktor Bayes berdasarkan nilai *marginal likelihood*

	GARCHn(1,1)	GARCHt(1,1)	Log faktor Bayes
EUR	-1484,94	-1463,68	21,26
JPY	-1753,56	-1704,51	49,05

SIMPULAN

Studi ini menemukan bahwa metode IC-MH yang dikonstruksi untuk membangkitkan parameter derajat kebebasan ν pada distribusi *Student-t* adalah sangat efisien. Sementara itu, metode ARWM yang digunakan untuk membangkitkan parameter ω , α , dan β adalah cukup efisien. Berdasar pada kriteria log faktor Bayes, terdapat bukti sangat kuat terhadap dukungan model GARCHt(1,1) dibandingkan dengan model GARCHn(1,1). Secara khusus, model GARCHt(1,1) untuk *return* kurs beli EUR dan JPY terhadap IDR atas periode Januari 2009 sampai Desember 2014 dinyatakan berturut-turut sebagai berikut:

$$h_t = 0,025 + 0,055R_{t-1}^2 + 0,858h_{t-1},$$

$$h_t = 0,011 + 0,049R_{t-1}^2 + 0,911h_{t-1}.$$

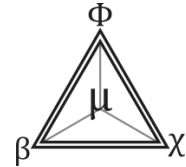
Lebih lanjut, model dapat diperluas dengan mengambil asumsi bahwa *return error*

berdistribusi *Student-t* yang diperumum, seperti *non-central Student-t* atau *skew Student-t*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardia, D., & Hoogerheide, L. F. (2010). *Bayesian estimation of the GARCH(1,1) model with Student-t*. Tinbergen Institute Discussion Paper, University of Fribourg, Switzerland dan Erasmus University Rotterdam, and Tinbergen Institute.
- Atchade, Y. F., & Rosenthal, J. S. (2005). On *adaptive* Markov chain Monte Carlo algorithms. *Bernoulli*, 11 (5), 815–828.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heterokedasticity. *Journal of Econometrics*, 31, 307–327.
- Campbell, J. Y., Lo, A. W., & MacKinlay, A.C. (1997). *The econometrics of financial markets*. Princeton University Press, New Jersey.
- Chen, M. H., & Shao, Q. M. (1999). Monte Carlo estimation of Bayesian credible and HPD intervals. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 8, 69–92.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of The United Kingdom Inflation. *Journal of Econometrica*, 50 (4), 987–1007.
- Gilks, W. R., Richardson, S., & Spiegelhalter, D. J. (1996). *Markov chain Monte Carlo in practice*. Chapman & Hall.
- Heracleous, M. S. (2003). *Volatility modeling using the Student's t distribution*. Dissertation, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Kass, R. E., & Raftery, E. A. (1995). Bayes Factors. *Journal of the American Statistical Association*, 90 (430), 773–795.
- Kroese, D. P., Taimre, T., & Botev, Z. I. (2011). *Handbook of Monte Carlo Methods*. John Wiley & Sons.

- Liu, C. (2010). *Marginal likelihood calculating for Gelfand–Dey and Chib method*. MPRA Paper No. 34928, posted 22. School of Economics and Management, Tsinghua University, China.
- Poon, S-H., & Granger, C. W. J. (2003). Forecasting volatility in financial markets: A review. *Journal of Economic Literature*, *XLI*, 478–539.
- Roberts, G. O., & Rosenthal, J. S. (2006). *Example of Adaptive MCMC*. Technical Report Series No. 0610. University of Toronto Department of Statistics.
- Salim, F. C., Nugroho, D. B., Susanto, B. (2015). Estimasi MCMC untuk model GARCH(1,1). Studi kasus: Kurs beli JPY dan EUR terhadap IDR. *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika*, UNY, 443–448.
- Sokal, A. D. (1989). *Monte Carlo methods in Statistical Mechanics: Foundations and New Algorithms*. Cours de Troisieme Cycle de la Physique en Suisse Romande, Lausanne.
- Tierney, L. (1994). Markov chain for exploring *posterior* distributions. *Annals of Statistics*, *22* (4), 1701–1762



ANUITAS *LAST SURVIVOR* UNTUK KASUS TIGA ORANG TERTANGGUNG

D P Sari ✉, Jazwinarti

Jurusan Matematika, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Februari 2016
Disetujui Maret 2016
Dipublikasikan April 2016

Keywords:
Annuity; last survivor annuity; multiple life

Abstrak

Pada asuransi *multiple life*, terdapat dua istilah berdasarkan status kematian dari kumpulan tertanggung yaitu *joint life* dan *last survivor*. Perbedaan status *multiple life* ini pada asuransi adalah waktu pemberian uang pertanggungan. Suatu status dikatakan *joint life* jika pemberian uang pertanggungan dilakukan pada saat orang pertama meninggal dan status dikatakan *life survivor* jika pemberian uang pertanggungan dilakukan pada saat semuanya telah meninggal. Untuk mendapatkan uang pertanggungan, tertanggung haruslah membayarkan sejumlah premi. Jika ingin mengkonversikan premi tunggal menjadi premi berkala diperlukan anuitas. Untuk kasus asuransi *last survivor* kita akan menggunakan anuitas *last survivor*. Hasil akhir dari proses penelitian penulis akan menghasilkan rumusan matematika nilai sekarang anuitas awal dan anuitas akhir untuk kasus dua orang dan tiga orang pada status *last survivor*.

Abstract

In multiple life insurance, there are two terms based on the status of the death of the insured is a collection of joint life and last survivor. The difference is in the status of multiple life insurance is the timing of cash coverage. A status is said to be a joint life insurance money if provision was made during the first die and life survivor status if the provision of insurance money made at the time are all dead. To get the sum insured, the insured must pay a premium. If you want to convert into a single premium be regular premium, annuity required. For the last survivor insurance cases we will use the last survivor annuity. The end result of the research process will generate mathematical formulas of present value due annuity and immediate annuity for the case of two and three people in the last survivor status.

© 2016 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:
Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, 25131
E-mail: devnprimasari@yahoo.co.id

ISSN 0215-9945

PENDAHULUAN

Asuransi jiwa tidak hanya menyediakan perlindungan tertanggung untuk satu orang saja (*single life*), namun juga menyediakan perlindungan untuk dua orang atau lebih (*multiple life*). Keuntungan dari asuransi jiwa untuk *multiple life* adalah jumlah tertanggung yang diberikan jaminan lebih banyak pada satu polis kesepakatan, dan penghematan dalam hal biaya baik biaya administrasi maupun biaya pemasaran. Pada asuransi *multiple life*, terdapat dua istilah berdasarkan status kematian dari kumpulan tertanggung yaitu *joint life* dan *last survivor* (Bowers *et al.*, 1997). Asuransi *joint life* yaitu asuransi jiwa dimana uang pertanggungan dibayarkan pada pasangan yang ditinggalkan apabila terjadi kematian pertama pada pasangan tersebut. Asuransi *last survivor* yaitu asuransi jiwa dimana uang pertanggungan dibayarkan pada ahli waris apabila kedua tertanggung telah meninggal dunia.

Untuk mendapatkan uang pertanggungan seperti yang dijanjikan dalam polis asuransi, tertanggung haruslah membayarkan sejumlah premi yaitu sejumlah uang yang wajib dibayar oleh tertanggung kepada pihak penanggung setiap jangka waktu tertentu. Pembayaran premi dari suatu polis asuransi jiwa dapat dibayarkan secara tunggal (sekaligus) atau berkala. Untuk pembayaran secara berkala berupa pembayaran bulanan, triwulanan, kuartalan, semesteran atau tahunan (Achdijat 1993).

Pembayaran premi tunggal jarang dilakukan dikarenakan besarnya uang yang harus dibayarkan untuk sekali bayar. Biasanya premi tunggal dikonversikan menjadi premi berkala, umumnya tahunan (Achdijat 1993). Untuk mengkonversikan premi tunggal menjadi premi berkala diperlukan suatu cicilan pembayaran yang dinamakan dengan anuitas. Anuitas yang digunakan pada asuransi jiwa ini adalah anuitas hidup dikarenakan pembayaran dilakukan bergantung hidup matinya seseorang di mana pembayaran akan berhenti jika yang bersangkutan meninggal. Dalam Khairani (2014) disebutkan bahwa pembayaran premi dari suatu polis asuransi tergantung dari jenis

asuransi yang diikuti oleh tertanggung. Pada asuransi jiwa dengan *last survivor*, perhitungan premi dikaitkan dengan premi asuransi jiwa perorangan dan premi asuransi jiwa bersama *joint life*. Dewi *et al.* (2016) mengkaji tentang penentuan cadangan premi untuk asuransi *joint life*. Kamal *et al.* (2014) mengkaji tentang penentuan premi tahunan pada asuransi *joint life* dengan menggunakan anuitas *reversionary*. Kajian tentang penentuan premi tahunan untuk tiga orang pada asuransi jiwa hidup gabungan (*joint life*) dilakukan oleh Bhuana *et al.* (2015).

Pembayaran anuitas dapat dilakukan pada awal periode dan dapat pula dilakukan pada akhir periode. Jika pembayaran terjadi pada akhir setiap periode, disebut sebagai anuitas akhir (*immediate annuity*). Sebaliknya, jika pembayaran terjadi pada awal setiap periode, disebut sebagai anuitas awal (*due annuity*). Selain perbedaan waktu penerimaan atau pembayaran, kedua jenis anuitas tersebut juga dibedakan dengan sedikit modifikasi rumus. Seperti pada kasus asuransi *last survivor* akan digunakan anuitas *last survivor*. Anuitas ini nantinya akan digunakan untuk mengkonversi premi tunggal menjadi premi tahunan pada asuransi *last survivor*. Suatu status dikatakan *last survivor* jika setidaknya satu orang dari kumpulan tersebut masih hidup dan status *last survivor* akan gagal jika terjadi kematian terakhir pada kumpulan tersebut.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan metode literatur, yaitu dengan mengumpulkan berbagai sumber materi yang mendukung seperti buku, jurnal, dan beberapa artikel dari internet. Selanjutnya penulis merumuskan suatu masalah dengan mencari hubungan antar unsur yang saling berkaitan, kemudian membentuk suatu langkah dan formula perhitungan premi tahunan asuransi *last survivor* untuk tiga orang tertanggung dengan memanfaatkan persamaan dasar perhitungan premi yaitu nilai tunai premi sama dengan nilai tunai santunan. Langkah terakhir yaitu melakukan evaluasi terhadap formula yang dihasilkan ke dalam contoh kasus penerapan.

Perhitungan premi tahunan pada asuransi *last survivor* untuk tiga orang tertanggung berusia x , y dan z tahun dimulai dengan pembuatan tabel mortalitas gabungan, yaitu menentukan fungsi hidup gabungan tiga orang, peluang hidup gabungan dan peluang mati gabungan. Langkah kedua, membuat tabel komutasi gabungan. Langkah terakhir adalah menghitung nilai tunai anuitas *last survivor* awal atau anuitas *last survivor* akhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Probabilitas pada *Multiple Life*

Sebelum membentuk tabel mortalitas gabungan untuk tiga tertanggung, harus memahami aturan-aturan probabilitas gabungan. Berikut di antara (x) dan (y) salah satu diantaranya masih hidup (termasuk kelompok bagian atau kelompok utama) dan tabel yang dipergunakan adalah jumlah yang hidup pada *life table* yang sederhana, apabila keduanya meninggal digunakan yang meninggal pada *life table* yang sederhana, nilai-nilai kemungkinan adalah sebagai berikut:

- a. Nilai kemungkinan (x) dan (y) , t tahun kemudian bertahan hidup

$$\begin{aligned} {}_t p_{xy} &= \frac{l_{x+t,y+t}}{l_{x,y}} = \frac{l_{x+t}}{l_x} \cdot \frac{l_{y+t}}{l_y} \\ &= {}_n p_x \cdot {}_n p_y \end{aligned} \quad (1)$$

Andrejs M & Aleksandrs M (2001) juga menyatakan bahwa ${}_t p_{xyz} = {}_n p_x \cdot {}_n p_y \cdot {}_n p_z$

Berdasarkan cara di atas di dapatkan rumus berikut

$${}_{s+t} p_{xy} = {}_s p_{xy} \cdot {}_t p_{x+s,y+s} \quad (2)$$

- b. Nilai kemungkinan salah satu (x) dan (y) meninggal dalam jangka waktu t tahun

$$\begin{aligned} {}_t q_{xy} &= 1 - {}_t p_{xy} \\ &= 1 - {}_t p_x \cdot {}_t p_y \end{aligned} \quad (3)$$

- c. Nilai kemungkinan dalam t tahun (x) dan (y) meninggal

$${}_t q_{\overline{xy}} = {}_t q_x \cdot {}_t q_y = (1 - {}_t p_x)(1 - {}_t p_y) \quad (4)$$

Untuk $t = 1$

$$q_{\overline{xy}} = (1 - p_x)(1 - p_y) \quad (5)$$

- d. Nilai kemungkinan dalam t tahun sedikitnya 1 orang di antara (x) dan (y) tetap hidup

$$\begin{aligned} {}_t p_{\overline{xy}} &= 1 - {}_t q_{\overline{xy}} = 1 - (1 - {}_t p_x)(1 - {}_t p_y) \\ &= {}_t p_x + {}_t p_y - {}_t p_{xy} \end{aligned} \quad (6)$$

Untuk $t = 1$

$$p_{\overline{xy}} = p_x + p_y - p_{xy} \quad (7)$$

Karena ${}_t p_{\overline{xy}} + {}_t q_{\overline{xy}} = 1$, maka tidak menyebabkan ${}_{s+t} p_{\overline{xy}} = {}_s p_{\overline{xy}} \cdot {}_t p_{\overline{x+s,y+s}}$

Apabila diartikan

$$p_{\overline{xy}} = p_x q_y + q_x p_y + p_{xy} \quad (8)$$

- e. Nilai kemungkinan mati dalam jangka waktu $[t, t + 1]$ untuk (x) dan (y) mati, yaitu dalam jangka waktu $[t, t + 1]$ nilai kemungkinan kedua-duanya meninggal

$$\begin{aligned} {}_t | q_{\overline{xy}} &= {}_t p_{\overline{xy}} - {}_{t+1} p_{\overline{xy}} \\ &= {}_t | q_x + {}_t | q_y - {}_t | q_{xy} \end{aligned} \quad (9)$$

Similar dengan (9),

$${}_t q_{\overline{xy}} = {}_t q_x + {}_t q_y - {}_t q_{xy} \quad (10)$$

Berikut ini bukan merupakan gabungan dua orang melainkan (x), (y) dan (z) sebanyak tiga orang, caranya mirip dengan yang dua orang. Untuk memudahkan tiga orang tersebut menggunakan tabel mortalita yang sama, seperti berikut:

- a. Nilai kemungkinan (x), (y) dan (z) dalam jangka waktu t tahun meninggal semua adalah

$$\begin{aligned} {}_tq_{\overline{xyz}} &= {}_tq_x {}_tq_y {}_tq_z \\ &= (1 - {}_tp_x)(1 - {}_tp_y)(1 - {}_tp_z) \end{aligned} \quad (11)$$

Untuk $t = 1$

$$q_{\overline{xyz}} = (1 - p_x)(1 - p_y)(1 - p_z) \quad (12)$$

Nilai kemungkinan (x), (y) dan (z) t tahun kemudian sedikitnya satu yang hidup adalah

$$\begin{aligned} {}_tp_{\overline{xyz}} &= 1 - {}_tq_{\overline{xyz}} \\ &= 1 - (1 - {}_tp_x)(1 - {}_tp_y)(1 - {}_tp_z) \end{aligned} \quad (13)$$

Untuk $t = 1$

$$p_{\overline{xyz}} = 1 - (1 - p_x)(1 - p_y)(1 - p_z) \quad (14)$$

Nilai kemungkinan (x), (y) dan (z) yang paling akhir hidup dalam $[t, t + 1]$ mati adalah

$${}_t|q_{\overline{xyz}} = {}_tp_{\overline{xyz}} - {}_{t+1}p_{\overline{xyz}} \quad (15)$$

Simbol-simbol Komutasi Gabungan

Langkah awal pembuatan tabel komutasi gabungan adalah menentukan simbol-simbol komutasi gabungan. Simbol komutasi adalah nilai-nilai yang dibuat oleh seseorang yang berguna untuk memudahkan perhitungan dalam table mortalitas. Simbol komutasi ini biasa digunakan untuk perhitungan nilai

asuransi yang lain, misalnya anuitas, premi tahunan, dan sebagainya.

Simbol-simbol komutasi pada asuransi *joint life* didefinisikan secara analog dengan simbol-simbol komutasi pada asuransi jiwa tunggal, yaitu didefinisikan sebagai berikut (Jordan 1991)

$$D_{x_1x_2\cdots x_m} = v^{\frac{x_1+x_2+\cdots+x_m}{m}} \cdot l_{x_1x_2\cdots x_m} \quad (16)$$

dan

$$C_{x_1x_2\cdots x_m} = v^{\frac{x_1+x_2+\cdots+x_m}{m}+1} \cdot d_{x_1x_2\cdots x_m} \quad (17)$$

Selain itu, terdapat pula beberapa simbol komutasi gabungan lainnya pada tabel mortalitas gabungan, yaitu (Futami 1994)

$$N_{xy} = D_{xy} + D_{x+1,y+1} + D_{x+2,y+2} + \cdots \quad (18)$$

$$M_{xy} = C_{xy} + C_{x+1,y+1} + C_{x+2,y+2} + \cdots \quad (19)$$

Simbol-simbol tersebut akan sering digunakan untuk memudahkan perhitungan anuitas.

Anuitas *Joint Life* Berjangka

Untuk menghitung anuitas *last survivor* untuk tiga tertanggung, kita akan bersinggungan dengan anuitas *joint life* untuk

dua maupun tiga tertanggung. Oleh sebab itu pada bagian ini peneliti juga akan mengulas anuitas *last survivor*.

Anuitas *Joint Life* Awal Berjangka untuk Dua Orang

Nilai sekarang anuitas *Joint Life* awal berjangka jika (x) dan (y) hidup adalah

$$\ddot{a}_{xy:\overline{n}|} = \sum_{t=0}^{n-1} v^t {}_tp_{xy} \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
&= 1 + v^1 {}_1p_{xy} + v^2 {}_2p_{xy} + \dots + v^{n-1} {}_{n-1}p_{xy} \\
&= \left(\frac{l_{xy}}{l_{xy}} + v \frac{l_{x+1,y+1}}{l_{xy}} + \dots + v^{n-1} \frac{l_{x+n-1,y+n-1}}{l_{xy}} \right) \left(\frac{v^{\frac{1}{2}(x+y)}}{v^{\frac{1}{2}(x+y)}} \right) \\
&= \frac{v^{\frac{1}{2}(x+y)} l_{xy} + v^{\frac{1}{2}(x+y)+1} l_{x+1,y+1} + \dots + v^{\frac{1}{2}(x+y)+n-1} l_{x+n-1,y+n-1}}{l_{xy}}
\end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan (16), maka

$$\ddot{a}_{xy:\overline{n}|} = \frac{D_{xy} + D_{x+1,y+1} + D_{x+2,y+2} + \dots + D_{x+n-1,y+n-1}}{D_{xy}}$$

Sehingga diperoleh nilai anuitas *joint life* awal untuk (x) dan (y) sebagai berikut,

$$\ddot{a}_{xy:\overline{n}|} = \frac{N_{xy} - N_{x+n,y+n}}{D_{xy}} \quad (21)$$

Anuitas *Joint Life* Awal Berjangka untuk Dua Orang

Nilai sekarang anuitas *Joint Life* akhir berjangka jika (x) dan (y) hidup adalah

$$\begin{aligned}
a_{xy:\overline{n}|} &= \sum_{t=1}^n v^t {}_tp_{xy} \\
&= v^1 {}_1p_{xy} + v^2 {}_2p_{xy} + \dots + v^{n-1} {}_{n-1}p_{xy} v^n {}_np_{xy} \\
&= \left(v \frac{l_{x+1,y+1}}{l_{xy}} + v^2 \frac{l_{x+2,y+2}}{l_{xy}} + \dots + v^{n-1} \frac{l_{x+n,y+n}}{l_{xy}} \right) \left(\frac{v^{\frac{1}{2}(x+y)}}{v^{\frac{1}{2}(x+y)}} \right) \\
&= \frac{v^{\frac{1}{2}(x+y)+1} l_{x+1,y+1} + v^{\frac{1}{2}(x+y)+2} l_{x+2,y+2} + \dots + v^{\frac{1}{2}(x+y)+n} l_{x+n,y+n}}{l_{xy}}
\end{aligned} \quad (22)$$

Berdasarkan persamaan (16), maka

$$a_{xy:\overline{n}|} = \frac{D_{x+1,y+1} + D_{x+2,y+2} + \dots + D_{x+n,y+n}}{D_{xy}}$$

Sehingga diperoleh nilai anuitas *joint life* akhir untuk (x) dan (y) sebagai berikut,

$$a_{xy:\overline{n}|} = \frac{N_{x+1,y+1} - N_{x+n+1,y+n+1}}{D_{xy}} \quad (23)$$

Anuitas *Last Survivor* Berjangka untuk Tiga Orang

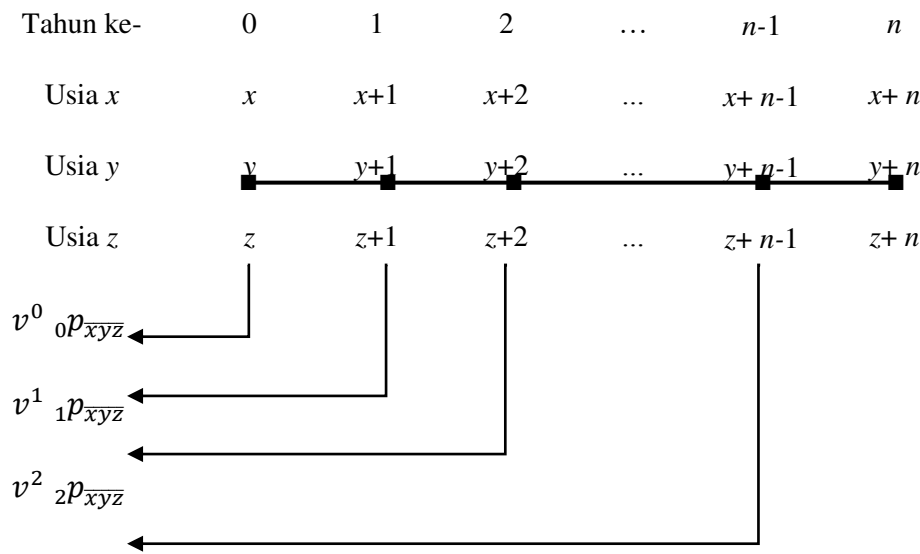
Anuitas *last survivor* adalah suatu kontrak anuitas yang terdiri dari dua tertanggung atau lebih, dimana pembayaran terhenti apabila semua tertanggung meninggal dunia. Anuitas hidup yang digunakan pada penelitian ini adalah anuitas hidup diskret dimana jarak waktu pembayarannya sama setiap periode dengan pembayaran di awal periode sehingga akan mudah bagi perusahaan asuransi dalam melakukan pembukuan dana.

Anuitas hidup *last survivor* berjangka adalah anuitas hidup yang berlaku selama

jangka waktu tertentu yang telah disepakati oleh ketiga tertanggung dan perusahaan asuransi di awal kontrak polis. Pembayaran akan berhenti jika semua tertanggung meninggal dunia sebelum jangka waktu yang ditetapkan tersebut.

Nilai Tunai Anuitas *Last Survivor* Awal Berjangka

Jika besar penerimaan anuitas setiap awal periode selama n periode dengan bunga i per periode adalah 1 rupiah untuk tiga orang masing-masing berusia x , y dan z tahun, maka diperoleh skema pembayaran pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pembayaran nilai tunai anuitas hidup *last survivor* awal berjangka

Dengan skema tersebut, maka nilai tunai anuitas hidup *last survivor* awalnya adalah

$$\ddot{a}_{\overline{xyz:n}|} = 1 + v^1 {}_1p_{\overline{xyz}} + v^2 {}_2p_{\overline{xyz}} + \cdots + v^{n-1} {}_{n-1}p_{\overline{xyz}}$$

$$\ddot{a}_{\overline{xyz:n}|} = \sum_{t=0}^{n-1} v^t {}_tp_{\overline{xyz}}$$

menggunakan persamaan (13), diperoleh

$$\begin{aligned} \ddot{a}_{\overline{xyz:n}|} &= \sum_{t=0}^{n-1} v^t (1 - {}_tq_{\overline{xyz}}) \\ &= \sum_{t=0}^{n-1} v^t ({}_tp_x + {}_tp_y + {}_tp_z - {}_tp_x {}_tp_y - {}_tp_x {}_tp_z - {}_tp_y {}_tp_z + {}_tp_x {}_tp_y {}_tp_z) \end{aligned}$$

menggunakan persamaan (20), diperoleh

$$\ddot{a}_{\overline{xyz:n}|} = \ddot{a}_{\overline{x:n}|} + \ddot{a}_{\overline{y:n}|} + \ddot{a}_{\overline{z:n}|} - \ddot{a}_{\overline{xy:n}|} - \ddot{a}_{\overline{xz:n}|} - \ddot{a}_{\overline{yz:n}|} + \ddot{a}_{\overline{xyz:n}|} \quad (24)$$

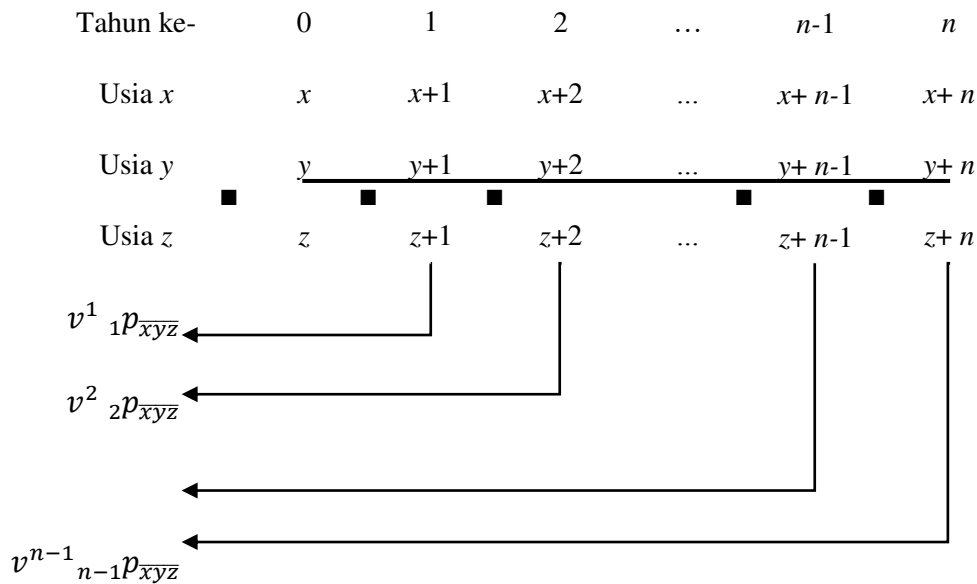
Untuk menyederhanakan perhitungan pada persamaan (24), maka digunakan simbol komutasi, sehingga

$$\begin{aligned} \ddot{a}_{\overline{xyz:n}|} &= \frac{N_x - N_{x+n}}{D_x} + \frac{N_y - N_{y+n}}{D_y} + \frac{N_z - N_{z+n}}{D_z} - \frac{N_{xy} - N_{x+n,y+n}}{D_{xy}} - \frac{N_{xz} - N_{x+n,z+n}}{D_{xz}} \\ &\quad - \frac{N_{yz} - N_{y+n,z+n}}{D_{yz}} + \frac{N_{xyz} - N_{x+n,y+n,z+n}}{D_{xyz}} \end{aligned} \quad (25)$$

Nilai Tunai Anuitas Hidup *Last Survivor* Akhir Berjangka

Nilai tunai anuitas hidup akhir diperhitungkan pada akhir setiap jangka waktu penerimaan anuitas. Jadi, jika besar penerimaan

anuitas setiap akhir periode selama n periode dengan bunga i per periode adalah 1 rupiah untuk dua orang berusia (x) , (y) dan (z) tahun, maka skemanya dapat dituliskan sebagai berikut:



Gambar 2. Skema pembayaran nilai tunai anuitas hidup *last survivor* akhir berjangka

Berdasarkan skema tersebut, maka nilai tunai anuitas hidup akhirnya adalah

$$a_{\overline{xyz}:n|} = v^1 {}_1p_{\overline{xyz}} + v^2 {}_2p_{\overline{xyz}} + \cdots + v^{n-1} {}_{n-1}p_{\overline{xyz}} + v^n {}_np_{\overline{xyz}}$$

$$a_{\overline{xyz}:n|} = \sum_{t=1}^n v^t {}_tp_{\overline{xyz}}$$

menggunakan persamaan (13), diperoleh

$$\begin{aligned} a_{\overline{xyz}:n|} &= \sum_{t=1}^n v^t (1 - {}_tq_{\overline{xyz}}) \\ &= \sum_{t=1}^n v^t [1 - (1 - {}_tp_x)(1 - {}_tp_y)(1 - {}_tp_z)] \\ &= \sum_{t=1}^n v^t ({}_tp_x + {}_tp_y + {}_tp_z - {}_tp_x {}_tp_y - {}_tp_x {}_tp_z - {}_tp_y {}_tp_z + {}_tp_x {}_tp_y {}_tp_z) \end{aligned}$$

menggunakan persamaan (20), diperoleh

$$a_{\overline{xyz}:n|} = a_{x:n|} + a_{y:n|} + a_{z:n|} - a_{xy:n|} - a_{xz:n|} - a_{yz:n|} + a_{xyz:n|} \quad (26)$$

Untuk menyederhanakan perhitungan pada persamaan (26), maka digunakan simbol komutasi, sehingga

$$\begin{aligned} a_{\overline{xyz}:n|} &= \frac{N_{x+1} - N_{x+n+1}}{D_x} + \frac{N_{y+1} - N_{y+n+1}}{D_y} + \frac{N_{z+1} - N_{z+n+1}}{D_z} \\ &\quad - \frac{N_{x+1,y+1} - N_{x+n+1,y+n+1}}{D_{xy}} - \frac{N_{x+1,z+1} - N_{x+n+1,z+n+1}}{D_{xz}} \\ &\quad - \frac{N_{y+1,z+1} - N_{y+n+1,z+n+1}}{D_{yz}} + \frac{N_{x+1,y+1,z+1} - N_{x+n+1,y+n+1,z+n+1}}{D_{xyz}} \end{aligned} \quad (27)$$

Persamaan nilai tunai anuitas ini digunakan dalam perhitungan premi tahunan asuransi *last survivor*.

Contoh

Dengan menggunakan tabel mortalita Indonesia tahun 1993 dengan tingkat bunga 5,5%, nilai sekarang dari anuitas $a_{\overline{30,35,40:10}|}$ adalah

$$a_{\overline{30,35,40:10}|} = a_{\overline{30:10}|} + a_{\overline{35:10}|} + a_{\overline{40:10}|} - a_{\overline{30,35:10}|} - a_{\overline{30,40:10}|} - a_{\overline{35,40:10}|} + a_{\overline{30,35,40:10}|}$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_{t=1}^{10} v^t ({}_t p_{30} + {}_t p_{35} + {}_t p_{40} - {}_t p_{30} {}_t p_{35} - {}_t p_{30} {}_t p_{40} - {}_t p_{35} {}_t p_{40} + {}_t p_{30} {}_t p_{35} {}_t p_{40}) \\
&= 7.49999 + 7.4839 + 7.45396 - 7.44664 - 7.41691 - 7.40109 + 7.36443 \\
a_{\overline{30,35,40}|10} &= 7.53764
\end{aligned}$$

SIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- a. Nilai sekarang anuitas awal *last survivor* berjangka yang terdiri dari tiga orang adalah

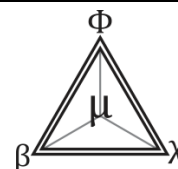
$$\begin{aligned}
\ddot{a}_{\overline{xyz:n}|} &= \sum_{t=0}^{n-1} v^t {}_t p_{\overline{xyz}} \\
&= \ddot{a}_{x:n|} + \ddot{a}_{y:n|} + \ddot{a}_{z:n|} - \ddot{a}_{xy:n|} - \ddot{a}_{xz:n|} - \ddot{a}_{yz:n|} + \ddot{a}_{xyz:n|} \\
\ddot{a}_{\overline{xyz:n}|} &= \frac{N_x - N_{x+n}}{D_x} + \frac{N_y - N_{y+n}}{D_y} + \frac{N_z - N_{z+n}}{D_z} - \frac{N_{xy} - N_{x+n,y+n}}{D_{xy}} - \frac{N_{xz} - N_{x+n,z+n}}{D_{xz}} \\
&\quad - \frac{N_{yz} - N_{y+n,z+n}}{D_{yz}} + \frac{N_{xyz} - N_{x+n,y+n,z+n}}{D_{xyz}}
\end{aligned}$$

- b. Nilai sekarang anuitas akhir *last survivor* berjangka yang terdiri dari tiga orang adalah

$$\begin{aligned}
a_{\overline{xyz:n}|} &= \sum_{t=1}^n v^t {}_t p_{\overline{xyz}} \\
&= a_{x:n|} + a_{y:n|} + a_{z:n|} - a_{xy:n|} - a_{xz:n|} - a_{yz:n|} + a_{xyz:n|} \\
a_{\overline{xyz:n}|} &= \frac{N_{x+1} - N_{x+n+1}}{D_x} + \frac{N_{y+1} - N_{y+n+1}}{D_y} + \frac{N_{z+1} - N_{z+n+1}}{D_z} - \frac{N_{x+1,y+1} - N_{x+n+1,y+n+1}}{D_{xy}} \\
&\quad - \frac{N_{x+1,z+1} - N_{x+n+1,z+n+1}}{D_{xz}} - \frac{N_{y+1,z+1} - N_{y+n+1,z+n+1}}{D_{yz}} \\
&\quad + \frac{N_{x+1,y+1,z+1} - N_{x+n+1,y+n+1,z+n+1}}{D_{xyz}}
\end{aligned}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Achdijat D. 1993. *Teknik Pengelolaan Asuransi Jiwa*. Yogyakarta : Gunadarma.
- Bowers NL, Gerber HU, Hickman JC, Jones DA, & Nesbitt CJ. 1997. *Actuarial Mathematics*. 2nd ed. Schaumburg : The Society of Actuaries
- Bhuana TY, Widana IN, & Harini LPI. 2015. Menentukan Premi Tahunan untuk Tiga Orang pada Asuransi Jiwa Hidup Gabungan (Joint Life). *E-Jurnal Matematika* 4 (4): 195-200
- Dewi NLPR, Widana IN, & Nilakusmawati DPE. 2016. Penentuan Cadangan Premi untuk Asuransi Joint Life. *E-Jurnal Matematika* 5 (1): 32-37
- Futami T. 1994. *Matematika Asuransi Jiwa Bagian II*. Jakarta : Rekaprint Utama.
- Kamal I, Devianto D, & Yanuar F. 2014. Penentuan Premi Tahunan pada Asuransi Joint Life dengan Menggunakan Anuitas Reversionary. *Jurnal Matematika UNAND* 3 (4): 2303-2910
- Khairani. 2014. Penentuan Premi Tahunan untuk Polis Asuransi Jiwa Bersama Last Survivor. *Jurnal Matematika UNAND* 3 (2): 62-71



MODEL VOLATILITAS ARCH(1) DENGAN *RETURN ERROR* BERDISTRIBUSI *SKEWED STUDENT-T*

E D Saputri, D B Nugroho[✉], A Setiawan

Prodi Matematika , Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Februari 2016
Disetujui Maret 2016
Dipublikasikan April 2016

Keywords:
distribusi skewed Student-t,
independence-chain
Metropolis–Hastings, kurs
beli, MCMC, model ARCH

Abstrak

Model volatilitas *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (ARCH) lag 1, dimana *return error* berdistribusi *skewed Student-t*, diaplikasikan untuk runtun waktu *return* kurs beli harian *Euro* (EUR) dan *Japanese Yen* (JPY) terhadap *Indonesian Rupiah* (IDR) dari Januari 2009 sampai Desember 2014. Metode *independence chain Metropolis–Hastings* (IC-MH) yang efisien dibangun dalam algoritma *Markov Chain Monte Carlo* (MCMC) untuk memperbarui nilai-nilai parameter dalam model yang tidak bisa dibangkitkan secara langsung dari distribusi *posterior*. Meskipun 95% interval *highest posterior density* dari parameter *skewness* memuat nol untuk semua data pengamatan, tetapi sebagian besar distribusi *posterior*nya berada di daerah negatif, yang mengindikasikan dukungan terhadap distribusi *skewed Student-t*. Selain itu diperoleh nilai derajat kebebasan di sekitar 15 dan 18, yang mengindikasikan dukungan terhadap *heavy-tailedness*.

Abstract

Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (ARCH) volatility model of lag 1, where *return error* has a *skewed Student-t* distribution, for the buying rate *Euro* (EUR) and *Japanese Yen* (JPY) to *Indonesian Rupiah* (IDR) from January 2009 to December 2014. An efficient *independence chain Metropolis–Hastings* (IC-MH) method is developed in an algorithm *Markov Chain Monte Carlo* (MCMC) to update the parameters of the model that could not be sampled directly from their *posterior* distributions. Although 95% *highest posterior density* interval from *skewness* parameter contains zero for all the data, most of the *posterior* distribution located in the negative area, indicating support for the *skewed Student-t* distribution into the *return error*. Furthermore the value of degrees of freedom is found around 15 and 18, indicating support for the *heavy-tailedness*.

© 2016 Universitas Negeri Semarang

[✉] Alamat korespondensi:
Jl. Diponegoro 52–60 Salatiga 50711 Jawa Tengah;
E-mail: didit.budinugroho@staff.uksw.edu

PENDAHULUAN

Beberapa studi keuangan telah memperlihatkan bahwa data runtun waktu seperti *return* saham dan *return* kurs (nilai tukar) mata uang asing mempunyai karakteristik utama yaitu *skewness*, *heavy tailedness*, dan pengelompokan volatilitas (simpangan baku). Terkait dengan pengelompokan volatilitas, model yang populer dalam literatur yaitu model ARCH yang pertama kali diperkenalkan oleh Engle (1982).

Studi ini difokuskan pada model volatilitas ARCH *lag* 1, disingkat ARCH(1), yang dinyatakan dengan persamaan berikut (Tsay 2002):

$$R_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0,1)$$

$$h_t = \omega + \alpha R_{t-1}^2$$

$$h_0 = \frac{\omega}{1 - \alpha}$$

Dengan $\omega > 0$ dan $0 \leq \beta < 1$ untuk menjamin positività dan stasioneritas dari variansi (volatilitas kuadrat) h_t (Lo 2003). Studi ini menggunakan *mean-corrected return* yang didefinisikan seperti berikut:

$$R_t = 100 \times \left[\ln \frac{S_t}{S_{t-1}} - \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{S_t}{S_{t-1}} \right],$$

dimana S_t adalah harga aset pada saat t .

Sebagai suatu pendekatan yang menjanjikan untuk model dengan *heavy-tailedness* dan *skewness* yang fleksibel, distribusi *non-central Student-t* (NCT) dan *skewed Student-t* (SKT) telah didiskusikan berturut-turut oleh Johnson *et al.* (1995) dan Aas & Haff (2006). Saputri *et al.* (2015) telah mempelajari model volatilitas ARCH(1) dengan *return error* berdistribusi NCT. Berbeda dengan itu, studi ini mengasumsikan *return error* berdistribusi SKT. Disini model diestimasi dengan menggunakan metode MCMC. Studi empiris dari model volatilitas dilakukan dengan menggunakan data riil kurs beli EUR dan

JPY terhadap IDR atas periode harian dari Januari 2009 sampai Desember 2014.

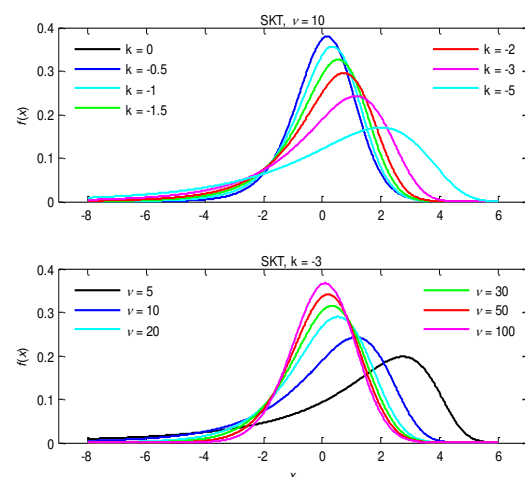
METODE

MODEL ARCH (1) DENGAN *RETURN ERROR* BERDISTRIBUSI SKT

Salah satu distribusi yang mengakomodasi *flexible skewness* dan *heavy-tailedness* pada *return error* yaitu SKT yang diusulkan oleh Nakajima & Omori (2012), yang dinyatakan seperti berikut:

$$P_{v,\mu} = k(Z_v - \mu_z) \sqrt{Z_v} V,$$

Dimana $v > 2$, $Z_v \sim IG\left(\frac{v}{2}, \frac{v}{2}\right)$, $V \sim N(0,1)$, dan $\mu_z = E[Z_v] = \frac{v}{v-2}$ dengan IG menyatakan distribusi *inverse-Gamma*. Ketika $k = 0$, distribusi di atas tereduksi menjadi distribusi *Student-t*. Untuk mengintrepetasikan parameter-parameter (k, v) , yaitu hubungan antara *skewness* dan *heavy-tailedness*, plot fungsi kepadatan dari distribusi SKT untuk beberapa nilai parameter k dan v disajikan pada Gambar 1. Semakin kecil nilai k menunjukkan *skewness* yang semakin negatif atau condong ke kiri, dan berlaku sebaliknya. Sementara itu, semakin besar nilai derajat kebebasan v , distribusinya menjadi kurang condong.



Gambar 1. Plot fungsi kepadatan distribusi SKT.

Sekarang model volatilitas ARCH(1) dengan *return error* berdistribusi SKT, disingkat ARCHskt(1), dirumuskan sebagai berikut:

$$R_t = \sqrt{h_t} [k(z_t - \mu_z) + \sqrt{z_t} \xi_t],$$

$$z_t \sim IG\left(\frac{\nu}{2}, \frac{\nu}{2}\right), \xi_t \sim N(0,1)$$

$$h_t = \omega + \alpha R_{t-1}^2$$

$$h_0 = \frac{\omega}{1 - \alpha}.$$

Ketika $k = 0$, model di atas tereduksi ke model ARCH(1) dengan *returns error* berdistribusi *Student-t*, yang telah dianalisis oleh Safrudin *et al.* (2015).

Metode MCMC untuk Model ARCHskt(1)

Dinotasikan $\mathbf{R} = (R_0, R_1, \dots, R_T)$, $\mathbf{z} = (z_0, z_1, \dots, z_T)$, dan $\mathbf{h} = (h_0, h_1, \dots, h_T)$. Distribusi *posterior* gabungan untuk model ARCHskt(1) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$p(\omega, \alpha, k, \nu, \mathbf{z} | \mathbf{R}) = p(\mathbf{R} | \omega, \alpha, k, \nu, \mathbf{z}) \times p(\mathbf{z} | \nu) \times p(\omega, \alpha, k, \nu)$$

$$\propto \prod_{t=0}^T \frac{1}{\sqrt{h_t z_t}} \exp \left\{ -\frac{\left[R_t - k \sqrt{h_t} \left(z_t - \frac{\nu}{\nu-2} \right) \right]^2}{2 h_t z_t} \right\}$$

$$\times \prod_{t=0}^T \left[\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right) \right]^{-1} z_t^{-\frac{\nu}{2}-1} \exp \left\{ -\frac{\nu}{2 z_t} \right\}$$

$$\times p(\omega, \alpha, k, \nu)$$

dengan $p(\mathbf{R} | \omega, \alpha, k, \nu)$ merupakan fungsi *likelihood* dan $p(\omega, \alpha, k, \nu)$ merupakan distribusi *prior* gabungan dari parameter model. Mengikuti kesepakatan umum, ditetapkan *prior* sebagai berikut:

$$\omega \sim \exp(\lambda), \beta \sim \text{beta}(A_\beta, B_\beta)$$

$$k \sim N(m_k, V_k), \nu \sim G(A_\nu, B_\nu).$$

Algoritma MCMC untuk membangkitkan nilai-nilai acak parameter dari distribusi *posterior*

untuk model ARCHskt(1) dikerjakan berdasarkan langkah-langkah berikut:

1. Inisialisasi $\omega_0, \alpha_0, \nu_0, \mathbf{z}_0$.
2. Membangkitkan nilai acak $\omega | \alpha, \nu, k, \mathbf{z}, \mathbf{R}$,
3. Membangkitkan nilai acak $\alpha | \omega, \nu, k, \mathbf{z}, \mathbf{R}$,
4. Membangkitkan nilai acak $k | \alpha, \omega, \nu, \mathbf{z}, \mathbf{R}$,
5. Membangkitkan nilai-nilai acak $\mathbf{z} | \alpha, \omega, \nu, \mathbf{R}$,
6. Membangkitkan nilai acak $\nu | \alpha, \omega, k, \mathbf{z}, \mathbf{R}$,

yang dijelaskan berikut ini.

Langkah 0:

Nilai-nilai awal yang ditetapkan untuk parameter yaitu

$$\omega_0 = 0,1, \alpha_0 = 0,1, \nu_0 = 20, \mathbf{z}_0 = IG\left(\frac{\nu_0}{2}, \frac{\nu_0}{2}\right).$$

Langkah 1:

Dengan hanya memperhatikan parameter ω pada distribusi *posterior* gabungan, log *posterior* untuk parameter ω dinyatakan sebagai berikut:

$$F(\omega) = \ln p(\omega | \alpha, \nu, k, \mathbf{z}, \mathbf{R})$$

$$\propto -\frac{1}{2} \ln \omega - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \ln(\omega + \alpha R_{t-1}^2) - \frac{1 - \alpha}{2 \omega z_0} R_0^2$$

$$+ \sqrt{\frac{1 - \alpha}{\omega}} \left(1 - \frac{\nu}{(\nu - 2) z_0} \right) k R_0$$

$$+ \sum_{t=1}^T \left[-\frac{R_t^2}{2(\omega + \alpha R_{t-1}^2) z_t} + \frac{k R_t}{\sqrt{\omega + \alpha R_{t-1}^2}} \left(1 - \frac{\nu}{(\nu - 2) z_t} \right) \right] - \lambda \omega.$$

Dalam hal ini, karena *posterior* ω tidak mengikuti suatu distribusi tertentu, maka parameter ω dibangkitkan dengan menggunakan metode IC-MH dengan melakukan beberapa tahapan sebagai berikut (Tierney 1994):

Tahap 1: membangkitkan proposal $\omega^* \sim N_{(0,1]}(m_{\omega^*}, V_{\omega^*})$.

Tahap 2: menghitung rasio probabilitas penerimaan $r(\omega^*, \omega) = \frac{p(\omega^* | \alpha, \mathbf{R})}{p(\omega | \alpha, \mathbf{R})}$.

Tahap 3: membangkitkan $u \sim U(0,1)$.

Tahap 4: jika $u < \min\{1, r(\omega^*, \omega)\}$, maka proposal diterima, jika tidak maka proposal ditolak.

Dalam kasus ini, m_{ω^*} dan V_{ω^*} ditentukan menggunakan metode yang didasarkan pada tingkah laku distribusi di sekitar modus (Albert 2009). Dicari m_{ω^*} sedemikian sehingga $F'(m_{\omega^*}) = 0$ dan selanjutnya dihitung $V_{\omega^*} = -[\min\{-10^{-4}, F''(m_{\omega^*})\}]^{-1}$.

Langkah 2:

Berdasarkan distribusi *posterior* gabungan, log *posterior* untuk parameter α dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F(\alpha) &= \ln p(\alpha | \omega, \nu, k, \mathbf{z}, \mathbf{R}) \\ &\propto -\frac{1}{2} \ln(1 - \alpha) - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \ln(\omega + \alpha R_{t-1}^2) \\ &\quad - \frac{1 - \alpha}{2\omega z_0} R_0^2 \\ &\quad + \sqrt{\frac{1 - \alpha}{\omega}} \left(1 - \frac{\nu}{(\nu - 2)z_0} \right) k R_0 \\ &\quad + \sum_{t=1}^T \left[-\frac{R_t^2}{2(\omega + \alpha R_{t-1}^2)z_t} \right. \\ &\quad \left. + \frac{k R_t}{\sqrt{\omega + \alpha R_{t-1}^2}} \left(1 - \frac{\nu}{(\nu - 2)z_t} \right) \right] + (A_\alpha - 1) \ln \alpha \\ &\quad + (B_\alpha - 1) \ln(1 - \alpha). \end{aligned}$$

Karena *posterior* α tidak mengikuti suatu distribusi tertentu, maka parameter α dibangkitkan dengan menggunakan metode IC-MH seperti pada pembangkitan parameter α .

Langkah 3:

Berdasarkan distribusi *posterior* gabungan, log *posterior* untuk parameter k dinyatakan sebagai berikut:

$$F(k) = \ln p(k | \omega, \alpha, \nu, \mathbf{z}, \mathbf{R})$$

$$\propto \left(-\frac{1}{2} \sum_{t=0}^T \frac{A_t^2}{B_t} - \frac{1}{2V_k} \right) k^2 + \left(\sum_{t=0}^T \frac{A_t R_t}{B_t} + \frac{m_k}{V_k} \right) k,$$

dengan $A_t = \sqrt{h_t}(z_t - \mu_z)$ dan $B_t = h_t z_t$. Dalam kasus ini, parameter k dapat dibangkitkan secara langsung dari distribusi normal, yaitu $k \sim N(M_k, W_k)$, dimana:

$$W_k = \left(\sum_{t=0}^T \frac{A_t^2}{B_t} - \frac{1}{2V_k} \right)^{-1}$$

dan

$$M_k = W_k \left(\sum_{t=0}^T \frac{A_t R_t}{B_t} + \frac{m_k}{V_k} \right).$$

Langkah 4:

Berdasarkan distribusi *posterior* gabungan, log *posterior* untuk parameter ν dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F(\nu) &= \ln p(\nu | \omega, \alpha, k, \mathbf{z}, \mathbf{R}) \\ &\propto \sum_{t=0}^T -\frac{1}{2h_t z_t} \left[R_t - k \sqrt{h_t} \left(z_t - \frac{\nu}{\nu - 2} \right) \right]^2 + \frac{\nu}{2} T \ln \frac{\nu}{2} \\ &\quad - T \ln \Gamma \left(\frac{\nu}{2} \right) - \frac{\nu}{2} \sum_{t=0}^T \left[\ln(z_t) + \frac{1}{z_t} \right] \\ &\quad + (A_\nu - 1) \ln \nu - B_\nu \nu. \end{aligned}$$

Dalam kasus ini, *posterior* untuk parameter ν tidak mengikuti suatu distribusi tertentu. Karena itu, parameter ν dibangkitkan dengan menggunakan metode IC-MH dengan proposalnya adalah $\nu^* \sim N_{[3,40]}(m_{\nu^*}, V_{\nu^*})$.

Langkah 5:

Berdasarkan distribusi *posterior* gabungan, *posterior* untuk parameter z_t dinyatakan sebagai berikut:

$$p(z_t) = f_{IG}(A, B_t) \times g(z_t | \omega, \alpha, k, \nu, R_t),$$

dimana

$$A_t = \frac{\nu + 1}{2},$$

$$B_t = -\frac{1}{2h_t z_t} [R_t^2 - 2kR_t\sqrt{h_t}(z_t - \mu_z) + k^2 h_t (z_t - \mu_z)^2],$$

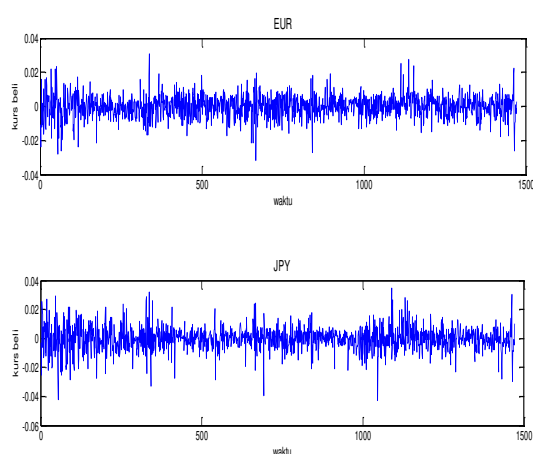
$$g(z_t | \cdot) = \frac{kR_t}{\sqrt{h_t}} - \frac{1}{2}k^2 z_t + k^2 \mu_z z_t.$$

Karena *posterior* z_t tidak mengikuti suatu distribusi tertentu, maka parameter z_t dibangkitkan menggunakan metode IC-MH dengan proposalnya yaitu $z_t^* \sim IG(A, B_t)$ dan rasio penerimaannya yaitu

$$r(z_t^*, z_t) = \frac{g(z_t^* | \omega, \alpha, k, \nu, R_t)}{g(z_t | \omega, \alpha, k, \nu, R_t)}.$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model ARCHskt(1) dan algoritma MCMC diaplikasikan pada data *return* harian kurs beli EUR dan JPY terhadap IDR atas periode Januari 2009 sampai Desember 2014 seperti yang digunakan oleh Saputri *et al.* (2015). Dari uji normalitas Jarque–Bera dan uji autokorelasi Ljung–Box diperoleh informasi bahwa *return* harian untuk kedua data adalah berdistribusi tak normal dan tidak berautokorelasi sesuai dengan asumsi model. Plot *return* untuk kedua data pengamatan ditampilkan pada Gambar 2.

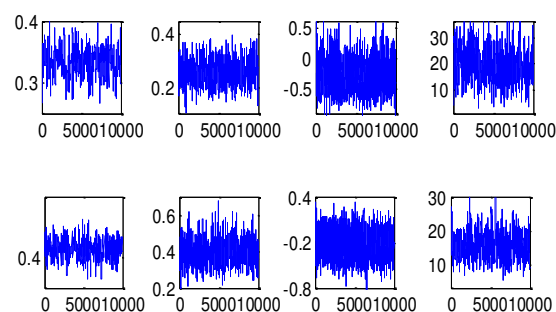


Gambar 2. Plot *return* harian kurs beli EUR (atas) dan JPY (bawah) terhadap IDR atas periode Januari 2009 sampai Desember 2014.

Estimasi Parameter

Algoritma MCMC dikerjakan dengan membangkitkan sebanyak 15000 nilai acak untuk setiap parameter, dimana 5000 nilai acak pertama dihilangkan dan sisanya disimpan sebagai keluaran MCMC. Selanjutnya, nilai acak yang disimpan digunakan untuk menghitung rerata *posterior*, *standard deviation* (SD), 95% *highest posterior density* (HPD) *interval*, yang diestimasi menggunakan metode dari Chen & Shao (1999), dan *integrated autocorrelation time* (IAC). IAC ditafsirkan sebagai banyaknya iterasi MCMC yang diperlukan untuk menghasilkan nilai-nilai acak yang saling bebas (lihat Geweke 1992 untuk pengestimasiannya).

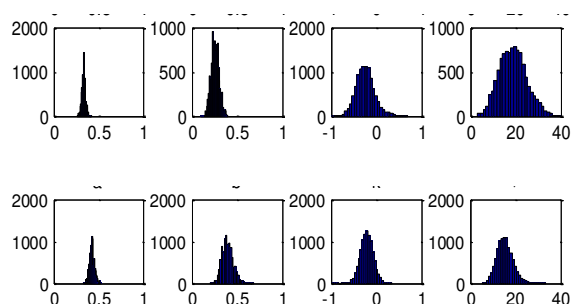
Tabel 1 menyajikan ringkasan hasil simulasi *posterior* dari parameter-parameter dalam model ARCHskt(1). Berdasarkan Tabel 1, nilai-nilai IAC yang diperoleh mengindikasikan bahwa metode MCMC yang dikonstruksi untuk setiap parameter adalah sangat efisien. Ini juga bisa dilihat dari plot *posterior* yang ditampilkan dalam Gambar 3, dimana nilai-nilai setiap parameter berfluktuasi di sekitar rerata *posterior*.



Gambar 3. Plot nilai-nilai parameter ω , α , k , ν (dari kiri ke kanan) yang dibangkitkan pada model V-ARCHskt(1) untuk kurs beli JPY (atas) dan EUR (bawah) terhadap IDR atas periode Januari 2009 hingga Desember 2014.

Merujuk pada parameter distribusi SKT, nilai parameter derajat kebebasan ν ditemukan berada di sekitar 18 untuk data EUR dan sekitar 15 untuk data JPY. Hal ini membuktikan bahwa distribusi *return error* mempunyai ekor yang tebal (*heavier-tail*) daripada normal.

Untuk parameter k , diketahui bahwa 95% interval HPD memuat nol. Faktanya, sebagian besar nilai k berada di daerah negatif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, yang mengindikasikan adanya bukti dukungan terhadap distribusi SKT daripada distribusi normal, *Student-t*, dan NCT untuk *return error* pada semua data pengamatan. Hasil ini juga didukung oleh uji Kolmogorov–Smirnov (KS test) yang ditampilkan pada Tabel 2, artinya bahwa asumsi distribusi SKT ditolak untuk semua data.



Gambar 4. Histogram distribusi *posterior* untuk parameter ω , α , k , ν (dari kiri ke kanan) dari ARCHskt(1) untuk kurs beli EUR (atas) dan JPY (bawah) terhadap IDR atas periode Januari 2009 hingga Desember 2014.

Tabel 1. Ringkasan estimasi model ARCHskt(1).

Para-meter	a	b	k	ν
Data: <i>Return</i> kurs beli EUR terhadap IDR				
Rerata	0,335	0,255	-0,244	18,893
SD	0,022	0,044	0,210	6,042
LB	0,292	0,173	-0,685	7,919
UB	0,378	0,340	0,172	31,322
IACT	49,2	22,0	13,4	46,7
Waktu komputasi: 550,1230 (detik)				
Data: <i>Return</i> kurs beli JPY terhadap IDR				
Rerata	0,427	0,394	-0,210	15,419
SD	0,029	0,061	0,143	3,606
LB	0,374	0,285	-0,487	8,376
UB	0,490	0,515	0,076	22,239
IACT	34,3	23,6	7,2	45,2
Waktu komputasi: 512,8559 (detik)				

Tabel 2. Ringkasan hasil uji KS untuk *error* ξ_t .

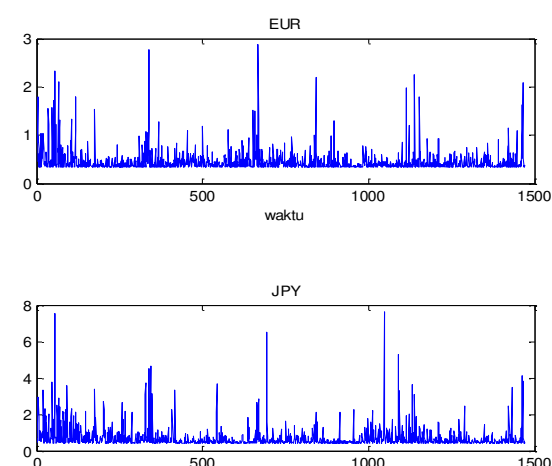
Data	D	p -value	Keterangan
EUR	0,1366	0,0000	<i>Student-t</i>
JPY	0,1013	0,0000	<i>Student-t</i>

Lebih lanjut, variansi (volatilitas kuadrat) ARCHskt(1) untuk *return* kurs beli EUR dan JPY terhadap IDR atas periode Januari 2009 sampai Desember 2014 berturut-turut dinyatakan seperti berikut:

$$h_t = 0,335 + 0,255R_{t-1}^2,$$

$$h_t = 0,427 + 0,394R_{t-1}^2.$$

Runtun waktu variansi *return* untuk kedua data pengamatan ditampilkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Plot runtun waktu variansi untuk *return* kurs beli EUR (atas) dan JPY (bawah) terhadap IDR atas periode Januari 2009 sampai Desember 2014 pada model ARCHskt(1).

SIMPULAN

Studi ini menyajikan metode MCMC yang efisien untuk mengestimasi model ARCHskt(1). Hasil empiris dengan menggunakan data *return* harian kurs beli JPY dan EUR terhadap IDR atas periode Januari 2009 sampai Desember 2014 menunjukkan adanya bukti dukungan dalam penggunaan distribusi SKT untuk *return error* pada semua data pengamatan yang diindikasikan oleh sebagian besar distribusi *posterior*

parameter *skewness k* berada pada daerah negatif dan nilai derajat kebebasannya cukup kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Aas, K., & Haff, I. H. (2006). The generalized hyperbolic skew Student's t-distribution, *Journal of Financial Econometrics*, 4, 275–309.
- Albert, J. (2009). *Bayesian computation with R* (2nd ed.). Springer.
- Chen, M. H., & Shao, Q. M. (1999). Monte Carlo estimation of Bayesian credible and HPD intervals. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 8, 69–92.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of The United Kingdom Inflation. *Journal of Econometrica*, 50 (4), 987-1007.
- Geweke, J. (1992). *Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments* dalam Bayesian Statistics 4 (eds. J. M. Bernardo, J. O. Beger, A. P. Dawid dan A. F. M. Smith), 169–194.
- Johnson, N. L., Kotz, S. & Balakrishnan, N. (1995). *Continuous Univariate Distributions* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Lo, M. S. (2003). *Generalized autoregressive conditional hetroscedastic time series model*. A project submitted in partial fulfillment of requirements for degree of master of science, Simon Fraser University.
- Nakajima, J., & Omori, Y. (2012). Stochastic volatility model with leverage and asymmetrically heavy-tailed error using GH skew Student's t-distribution. *Comput. Stat. Data Anal.*, 56, 3690–3704.
- Safrudin, I. M, Nugroho, D. B, & Setiawan, A. (2015). Estimasi MCMC untuk *return* volatility dalam model ARCH dengan *return error* berdistribusi Student-t. *Prosiding Sendika Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika*, FKIP UMP, 34–39.
- Saputri, E. D, Nugroho, D. B, & Setiawan, A. (2015). Model volatilitas ARCH(1) dengan *returns error* berdistribusi non-central Student-t. *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika*, FMIPA UNY, 233–240.
- Tierney, L. (1994). Markov chain for exploring posterior distributions. *Annals of Statistics*, 22 (4), 1701–1762.
- Tsay, R. S. (2002). *Analysis of financial time series* (2nd ed.). John Wiley & sons.

PEDOMAN PENULISAN NASKAH

Artikel merupakan hasil penelitian atau kajian konseptual dalam bidang matematika, fisika, kimia atau biologi. Artikel dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris. Penulisan artikel menggunakan pengolah kata Microsoft Word, dengan huruf Arial ukuran 11, spasi 1,5, jarak 2 cm dari semua sisi, rumus dan persamaan ditulis dengan Microsoft Equation, jumlah halaman 14–18, ukuran kertas A4, dalam satu kolom. Artikel diserahkan ke staf redaksi dalam bentuk *print out* sebanyak dua eksemplar disertai *softcopy* (format doc) atau dikirim melalui e-mail.

Sistematika Penulisan Artikel

Judul

Judul artikel dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris (sesuai bahasa naskah), bersifat informatif, terdiri atas 5–15 kata. Judul memuat variabel-variabel yang diteliti dan menggambarkan isi naskah. Di bawah judul ditulis nama penulis (tanpa gelar), dilengkapi dengan nama dan alamat institusi disertai e-mail dan alamat surat.

Abstrak dan kata kunci

Abstrak ditulis secara ringkas dan padat, 1 paragraf, memuat masalah dan/atau tujuan penelitian, prosedur, hasil dan simpulan penelitian. Ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris, terdiri dari 170–200 kata. Kata kunci memuat kata-kata pokok, terdiri dari 3–5 kata dipisahkan oleh koma, diurutkan sesuai abjad.

Pendahuluan

Bagian pendahuluan dipaparkan secara terintegrasi dalam bentuk paragraf-paragraf sebanyak 15–20% dari panjang artikel, memuat latar belakang atau rasional penelitian, landasan teori atau kajian pustaka, rumusan masalah dan tujuan penelitian.

Metode Penelitian (Kajian konseptual menyesuaikan)

Bagian metode ditulis sebanyak 10–30% dari panjang artikel, berisi rancangan penelitian, teknik pengumpulan data dan sumber data, serta cara analisis data.

Hasil dan Pembahasan (Kajian konseptual menyesuaikan)

Hasil dan pembahasan dipaparkan sebanyak 50–75% dari panjang artikel. Hasil merupakan bagian utama artikel ilmiah yang berisi hasil analisis data dan hasil pengujian hipotesis. Untuk memperjelas hasil secara verbal data dapat disajikan dalam bentuk tabel atau gambar (grafik dikategorikan sebagai gambar). Judul tabel diletakkan bagian atas, terdiri dari tiga garis horizontal, tanpa garis vertikal. Judul gambar ditulis di bagian bawah.

Pembahasan merupakan bagian terpenting dari keseluruhan isi artikel ilmiah, memuat jawaban masalah penelitian, penafsiran temuan-temuan, pengintegrasian temuan dari penelitian ke dalam kumpulan pengetahuan yang telah ada, penyusunan teori baru atau pemodifikasian teori yang sudah ada.

Penutup

Penutup berisi simpulan dan (jika ada) saran. Simpulan memuat jawaban atas pertanyaan penelitian. Saran-saran mengacu pada hasil dan pembahasan (tidak harus ada). Ditulis dalam bentuk paragraf tanpa penomoran.

Daftar Pustaka

Daftar Pustaka dituliskan secara lengkap, sesuai dengan rujukan dalam uraian naskah, dan disusun berdasarkan urutan alfabet. Sumber rujukan minimal 80% berupa pustaka terbitan 10

tahun terakhir. Rujukan minimal 50% berupa artikel-artikel penelitian dalam jurnal atau laporan penelitian. Penulisan daftar pustaka adalah sebagai berikut.

Contoh :

Buku

Morshed MM & Haseeb ASMA. 2009. *Physical and Chemical Characteristics of Commercially Available Brake Shoe Lining Materials: A Comparative Study*. Dhaka: Materials and Metallurgical Department. Bangladesh University of Engineering and Technology

Ariyanto S, Sujoko AR & Mardiaty M. 1998. *Prosedur Penelitian Pendidikan*. Jakarta: Rinneka Karya.

Artikel dalam jurnal ilmiah

Lee MS, Chang PC, Shien JH, Cheng MC & Shieh HK. 2001. Identification and subtyping of avian influenza viruses by reverse Transcription-PCR. *J Virol Methods* 97: 13-27

Wherry EJ & Ahmed R. 2004. Memory CD8 T Cell differentiation during viral infection. *J Virol* 78: 5535-5545

Buku terjemahan

Ary D, Jacobs LC & Razavieh A. 1976. *Pengantar Penelitian Pendidikan*. Diterjemahkan oleh Furchan A. 1982. Surabaya: Usaha Nasional.

Skripsi, Tesis, Disertasi, Laporan Penelitian

Kuntoro T. 2006. *Pengembangan Kurikulum Pelatihan Magang di STM Nasional Semarang: Suatu Studi Berdasarkan Dunia Usaha*. Tesis. PPS Unnes. Semarang

Makalah seminar

Siddiqui. 2004. *Cardiac Rehabilitation*. South Asia 4th Asian Pacific Congress of Cardiology. Singapore. 14-17 January

Makalah dalam prosiding

Siregar M & Sambas EN. 1999. *Floristic Composition of Peat Swamp Forest in Mensemat-Sambas, West Kalimantan*. Proceeding of the International Symposium on Tropical Peatlands. Bogor: 153-164

Tata cara penulisan rujukan dalam naskah:

- di permukaan virion (Harris *et al.* 2006).
- Penelitian Susanti *et al.* (2008) menunjukkan bahwa....
- menstimulasi sel TH2 (Tan & Vanitha 2004).
- ikatan virus pada reseptor (Harvey *et al.* 2004; Gambaryan *et al.* 2006)

Artikel yang tidak dimuat, tidak akan dikembalikan kecuali atas permintaan penulis. Artikel dikirim ke:

Staf Redaksi Jurnal MIPA

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang

Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, 50229

Telp : 62248508112

Fax : 62248508005

E-mail : mipa.jurnal@gmail.com



FORMULIR BERLANGGANAN JURNAL MIPA	
Mohon dicatat sebagai pelanggan Jurnal MIPA	
Nama	:
Alamat	:
No. Telp	:
Email	:
Berlangganan mulai Volume Nomor TahunSelama.....Tahun	
Harga Langganan ☐ 1 Tahun = Rp. 100.000,- ☐ 2 Tahun = Rp. 200.000,- + ongkos kirim Jawa (Rp. 10.000,-) Luar Jawa (Rp. 15.000,-)	
Biaya berlangganan saya kirim melalui rekening Bank Mandiri No. Rek.: 136-00-1015061-0 a/n Stephani Diah Pamelasari	 (.....)



FORMULIR BERLANGGANAN JURNAL MIPA	
Mohon dicatat sebagai pelanggan Jurnal MIPA	
Nama	:
Alamat	:
No. Telp	:
Email	:
Berlangganan mulai Volume Nomor TahunSelama.....Tahun	
Harga Langganan ☐ 1 Tahun = Rp. 100.000,- ☐ 2 Tahun = Rp. 200.000,- + ongkos kirim Jawa (Rp. 10.000,-) Luar Jawa (Rp. 15.000,-)	
Biaya berlangganan saya kirim melalui rekening Bank Mandiri No. Rek.: 136-00-1015061-0 a/n Stephani Diah Pamelasari	 (.....)

