

Vol. 10, No. 1, April 2021

ISSN: 2085-9872

# JURNAL SAINS DASAR

**PENERBIT**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

## UJI AKTIVITAS FRAKSI METANOL DAN N-HEKSAN KULIT DAN KERNEL BIJI KEBIUL (*Caesalpinia bonduc* L.) SEBAGAI TABIR SURYA

### ACTIVITY TEST OF METHANOL AND N-HEXAN FRACTION OF COAT AND KERNEL SEED (*Caesalpinia bonduc* L.) AS A SUN SCREEN

Dwi Fitri Yani\*, Rio Dirmansyah

Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang, Palembang, Sumatera Selatan 30126, Indonesia

\*email korespondensi: [dwifitriyani\\_uin@radenfatah.ac.id](mailto:dwifitriyani_uin@radenfatah.ac.id)

#### Abstrak

Telah dilakukan penelitian untuk menguji aktivitas tabir surya fraksi metanol dan n-heksan kulit kernel biji Kebiul secara *in vitro* menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Uji aktivitas tabir surya ditentukan berdasarkan nilai *sun protection factor* (SPF) dari masing-masing fraksi kulit dan kernel biji Kebiul. Hasil uji fitokimia ekstrak metanol kulit biji Kebiul memiliki kandungan flavonoid, tanin, saponin dan steroid. Sedangkan kernel biji Kebiul positif mengandung flavonoid, saponin dan steroid. Penentuan nilai SPF didasarkan pada persamaan Mansur menggunakan spektrofotometri UV-Vis dengan panjang gelombang 200-400 nm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ekstrak metanol kulit biji Kebiul memiliki aktivitas perlindungan ultra dengan nilai SPF secara berturut-turut pada konsentrasi 200, 400, 600, 800, dan 1000 ppm yaitu 5,4; 9,7; 14,0; 18,1 dan 19,8. Sedangkan ekstrak methanol kernel biji Kebiul memiliki aktivitas perlindungan minimal dengan nilai SPF secara berturut-turut pada konsentrasi 200, 400, 600, 800, dan 1000 ppm yaitu 0,9; 1,4; 2,9; 2,4 dan 2,6. Dari hasil nilai SPF fraksi metanol memberikan aktivitas yang lebih baik dari pada fraksi n-heksan.

Kata kunci: *Caesalpinia bonduc* L., tabir surya, SPF

#### Abstract

*This study aims to examine the sunscreen activity of methanol and n-hexane fractions of coat and kernels seed (Caesalpinia bonduc L.) by in vitro method using UV-Vis spectrophotometry. The sunscreen activity test was determined based on the sun protection factor (SPF) value of each fraction coat and kernel of the (Caesalpinia bonduc L.) seeds. Phytochemical test results of the methanol extract of coad (Caesalpinia bonduc L.) contain flavonoids, tannins, saponins and steroids. Meanwhile, the kernels seed contain flavonoids, saponins and steroids. The determination of the SPF value is based on the Mansur equation using UV-Vis spectrophotometry with a wavelength of 200-400 nm. The results showed that the methanol extract of coad seed had protective activity which was highly SPF value at concentrations of 200, 400, 600, 800, and 1000 ppm, are 5.4; 9.7; 14.0; 18.1 and 19.8. While the methanol extract of seed kernels had minimal protective activity with SPF values at concentrations of 200, 400, 600, 800, and 1000 ppm respectively, are 0.9; 1.4; 2.9; 2.4 and 2.6. From the results of the SPF value, the methanol fraction gave better activity than the n-hexane fraction.*

Keywords: *Caesalpinia bonduc* L., sunscreen, SPF

#### Pendahuluan

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang hampir semua kawasannya mendapatkan paparan sinar matahari yang lebih lama yang dapat menyebabkan kerusakan kulit [1]. Lebih lanjut, Putri [2] menyatakan bahwa penyebab kerusakan kulit adalah paparan sinar ultraviolet dari sinar matahari. Paparan radiasi ultraviolet dari sinar matahari yang lama dapat meningkatkan terjadinya kelainan pada kulit [3] seperti eritema, pigmentasi, fotosensitivitas, penuan dini, dan kanker kulit [4]. Berdasarkan data riset kesehatan tahun 2007 oleh Departemen Kesehatan, prevalensi kanker kulit di Indonesia diperkirakan sekitar 5,9-7,8% [5] serta menempati urutan ketiga setelah kanker Rahim dan kanker payudara [6].

Mayoritas kanker kulit yang terjadi di Indonesia adalah karsinoma sel basal (65,5%), karsinoma sel skuamosa (23%), dan melanoma maligna (7,9%) [7]. Melanoma adalah bentuk invasif dari kanker kulit karena memiliki tingkat kematian yang tinggi terutama jika tidak terdeteksi dini [8]. Kulit memiliki mekanisme pertahanan terhadap efek toksik dari paparan matahari, seperti pengeluaran keringat, pembentukan melanin, dan penebalan sel tanduk. Akan tetapi, sistem perlindungan tersebut tidak bertahan pada penyinaran sinar ultraviolet yang berlebihan, dikarenakan pengaruh lingkungan yang dapat merusak jaringan kulit [2]. Oleh karena itu, untuk meminimalkan efek buruk sinar ultraviolet terhadap kulit diperlukan perlindungan kulit salah satunya dengan menggunakan tabir surya [9].

Galori [10] menyatakan bahwa pembuatan tabir surya masih didominasi penggunaan bahan baku kimia sintetis. Penggunaan senyawa sintetis menimbulkan efek samping pada kulit, sehingga dibutuhkan sediaan tabir surya dari bahan alam yang lebih aman [11,12]. Salah satu bahan alam yang dijadikan sebagai tabir surya alami adalah biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L.*). Tumbuhan Kebiul (*caesalpinia bonduc L.*) banyak ditemukan di daerah Bengkulu. Lebih lanjut, Kusrahman [13] menyatakan bahwa senyawa metabolit sekunder pada biji Kebiul yaitu alkaloid, flavonoid, saponin, steroid, dan terpenoid. Senyawa metabolit sekunder ini memiliki potensi sebagai tabir surya karena bersifat antioksidan dengan adanya gugus kromofor. Gugus kromofor merupakan gugus benzen aromatik terkonjugasi, sehingga memiliki kemampuan menyerap sinar ultraviolet berefek buruk terhadap kulit [14,15]. Dengan demikian, biji Kebiul diduga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai tabir surya alami.

## Metode Penelitian

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah seperangkat alat gelas, batang pengaduk, kertas saring, corong pisah, statif, klem, neraca analitik, *rotary evaporator*, oven, dan spektrofotometri UV-Vis. Bahan yang digunakan adalah biji buah Kebiul (*Caesalpinia bonduc L.*), akuades, metanol, n-heksan, besi (III) klorida, asam klorida, serbuk Mg, asam sulfat, kloroform, pereaksi Mayer, dan pereaksi *Lieberman Burchard*.

### Preparasi dan Ekstraksi Sampel

Biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L.*) yang telah kering dihancurkan. Kulit biji dan kernel biji Kebiul dipisahkan, dihaluskan, dan diayak. Serbuk kulit biji Kebiul (300 gr) dan kernel biji Kebiul (200 gr) diekstraksi dengan metanol 98 % selama 1 kali 24 jam sebanyak 3 kali pengulangan. Ekstrak yang diperoleh diuapkan menggunakan *rotary evaporator* pada suhu 40°C sampai diperoleh ekstrak metanol kental kulit biji dan kernel biji Kebiul. Sebanyak 5 gram setiap ekstrak difraksinasi dengan metanol n-heksan (1:1) dalam corong pisah. Larutan dikocok sampai homogen dan diamkan sampai membentuk dua fasa. Pisahkan fraksi metanol dan fraksi n-heksan, kemudian uapkan pelarutnya untuk mendapatkan fraksi setiap sampel dan hitung rendemennya.

## Skirining Fitokimia dan Uji Aktivitas Tabir Surya

Skrining fitokimia ekstrak metanol biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L.*) meliputi pemeriksaan senyawa alkaloid, flavonoid, tanin, saponin, steroid, dan terpenoid. Pengujian aktivitas tabir surya dilakukan dengan menentukan nilai SPF (*Sun Protection Factor*) secara *in vitro* menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Ekstrak diencerkan dengan konsentrasi 200 ppm, 400 ppm, 600 ppm, 800 ppm, dan 1000 ppm. Kemudian diukur nilai absorpsinya pada panjang gelombang 290-320 nm dengan interval 5 nm. Data dianalisis dengan persamaan Mansur seperti pada persamaan (1) untuk mendapatkan nilai SPF [16].

$$SPF = CF \times \sum_{290}^{320} EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda) \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) dapat dinyatakan CF adalah faktor koreksi (10), EE adalah spektrum efek eritema, I adalah spektrum intensitas matahari, dan Abs adalah absorbansi sampel. Sementara itu, nilai EE x I adalah konstan, dimana nilainya sudah ditetapkan Sayre dalam Dutra [16] seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Panjang Gelombang ( $\lambda$ )	EE x I
290	0,0150
295	0,0817
300	0,2874
305	0,3278
310	0,1864
315	0,0839
320	0,0180
Total	1

## Hasil dan Pembahasan

Kulit biji dan kernel biji dipisah karena setiap bagian biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L.*) memiliki tekstur yang berbeda. Jadi, untuk melihat aktivitas tabir surya dari setiap sampel, proses ekstraksi dilakukan secara terpisah dengan metanol 96 % seperti yang terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil ekstraksi kulit dan kernel biji Kebiul

Sampel	Berat Simplisia	Berat Ekstrak Kental	Rendemen (%)	Warna/Bentuk
Kulit Biji Kebiul	300 gr	38,0059 gr	12,66	Coklat dan Gummy
Kernel Biji Kebiul	200 gr	28,9468 gr	14,47	Kuning Berminyak Gummy

Berdasarkan penelitian Kusrahman [13], hasil fitokimia biji Kebiul dari Desa Sulau, Kedurang Iilir, Bengkulu Selatan positif mengandung alkaloid, flavonoid, saponin, steroid, dan terpenoid, namun tidak dilakukan uji tanin. Hasil penelitian tersebut sedikit berbeda dengan uji biji Kebiul yang berasal dari Padang Guci, Bengkulu Selatan yang kulit biji memberikan uji negatif terhadap alkaloid dan terpenoid. Perbedaan data uji fitokimia dikarenakan yang digunakan pada penelitian Kusrahman adalah biji utuh Kebiul. Artinya, semua bagian biji dijadikan satu dan juga kulit serta kernel biji. Perbedaan yang terjadi juga diduga karena perbedaan habitat tempat tumbuh, faktor stress lingkungan, usia tanaman, dan faktor genetik. Selain itu, perbedaan ini juga dapat disebabkan iklim, kelembaban suhu, dan cuaca. Hasil skrining fitokimia kulit dan kernel biji di setiap fraksi dapat dilihat pada Tabel 3.

#### Uji Aktivitas Tabir Surya

Berdasarkan pengukuran, diperoleh nilai SPF ekstrak metanol kulit dan kernel biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L.*). Penentuan SPF (*sun protection factor*) secara *in vitro* pada spektrofotometri UV-Vis menggunakan panjang gelombang 290-320 nm untuk setiap fraksi metanol dan n-heksan pada kulit dan kernel biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L.*). Hal ini karena rentang sinar UV yang menyebabkan eritema pada panjang gelombang 290-320 nm.

Selanjutnya, data absorban hasil pengukuran dianalisis menggunakan persamaan Mansur. Tujuan uji nilai SPF pada fraksi metanol dan n-heksan kulit dan kernel biji Kebiul adalah untuk memastikan bahwa nilai SPF pada fraksi metanol dan n-heksan kulit dan kernel biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L.*) dapat digunakan sebagai bahan aktif tabir surya. Adapun nilai SPF kulit biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L.*) dapat dilihat pada Tabel 4.

Pada Tabel 4 konsentrasi berbanding lurus dengan nilai SPF. Semakin tinggi konsentrasi, maka nilai SPF semakin meningkat. Setiap konsentrasi relatif memberikan kategori proteksi tabir surya yang berbeda. Berdasarkan klasifikasi FDA, ekstrak metanol kulit biji Kebiul pada konsentrasi 200 ppm memiliki daya proteksi sedang, konsentrasi 400 ppm dan 600 ppm memiliki daya proteksi maksimal, konsentrasi 800 ppm dan 1000 ppm memiliki daya proteksi ultra. Berdasarkan penelitian Yasin [18] pada konsentrasi 200 ppm, 400 ppm, dan 600 ppm termasuk dalam kategori *suntan* yang menyerap sebagian besar sinar UV B dan sedikit sinar UV A. Hal ini menyebabkan kecoklatan pada kulit yang sementara. Pada konsentrasi 800 ppm dan 1000 ppm (proteksi ultra) termasuk dalam kategori *sunblock* dimana mampu memproteksi kulit secara total dari sinar matahari penyebab eritema dan pigmentasi [18]. Selanjutnya, nilai SPF ekstrak metanol kernel biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L.*) dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 3.** Hasil Skrining Fitokimia Kulit biji dan kernel biji Kebiul

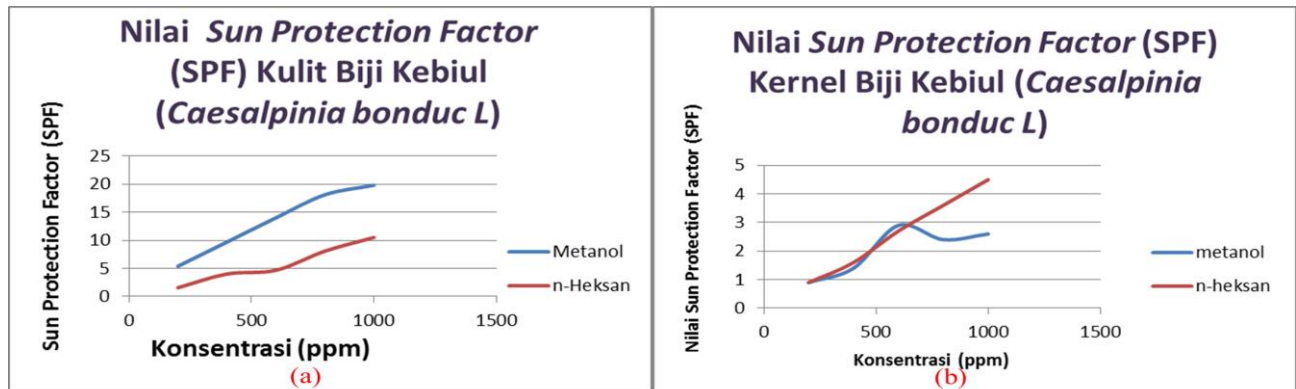
Uji	Ekstrak		Fraksi n-eksana		Fraksi Metanol		Uji positif
	Kulit	Kernel	Kulit	Kernel	Kulit	Kernel	
Alkaloid Dragendraf	(+)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	Jingga
Alkaloid Mayer	(+)	(+)	(-)	(-)	(+)	(-)	Kuning
Terpenoid	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(-)	Merah
Flavonoid	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(+)	Kuning, Hijau, Merah, Jingga
Tanin	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(-)	Hijau Kehitaman
Steroid	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	Coklat, terdapat Cincin

**Tabel 4.** Nilai SPF fraksi metanol dan n-Heksan kulit biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L.*)

No.	Konsentrasi	Fraksi metanol		Fraksi n-heksan	
		Nilai SPF	Tipe Proteksi	Nilai SPF	Tipe Proteksi
1.	200 ppm	5,4	Proteksi Sedang	1,57	Proteksi Minimal
2.	400 ppm	9,7	Proteksi Maksimal	4,01	Proteksi sedang
3.	600 ppm	14,0	Proteksi Maksimal	4,68	Proteksi sedang
4.	800 ppm	18,1	Proteksi Ultra	8,08	Proteksi maksimal
5.	1000 ppm	19,8	Proteksi Ultra	10,51	Proteksi Maksimal

**Tabel 5.** Nilai SPF Fraksi Metanol dan n-Heksan Kernel Biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L*)

No.	Konsentrasi	Fraksi Metanol		Fraksi n-Heksan	
		Nilai SPF	Tipe Proteksi	Nilai SPF	Tipe Proteksi
1.	200 ppm	0,9	Proteksi Minimal	0,9	Proteksi Minimal
2.	400 ppm	1,4	Proteksi Minimal	1,6	Proteksi Minimal
3.	600 ppm	2,9	Proteksi Minimal	2,7	Proteksi Minimal
4.	800 ppm	2,4	Proteksi Minimal	3,6	Proteksi Minimal
5.	1000 ppm	2,6	Proteksi Minimal	4,5	Proteksi Minimal

**Gambar 1.** Grafik *sun protection factor*, (a) kulit dan (b) kernel biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L*)

Pada Tabel 5, hubungan antara konsentrasi dan nilai SPF fraksi metanol kernel biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L*) tidak berbanding lurus. Pada konsentrasi 600 ppm ke konsentrasi 800 ppm-1000 ppm, nilai SPF mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan fraksi methanol kernel biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L*) telah mencapai titik optimal pada 600 ppm. Berdasarkan klasifikasi FDA, seluruh fraksi metanol daging biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L*) termasuk dalam kategori proteksi minimal sediaan tabir surya. Proteksi minimal sediaan tabir surya termasuk ke dalam kategori *fast tanning*. Artinya, kondisi tersebut menunjukkan bahwa fraksi metanol daging biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L*) memiliki potensi tabir surya yang kurang baik. Hal tersebut dikarenakan kategori *fast tanning* memiliki kemampuan untuk menyerap sinar UV A dan UV B paling sedikit sehingga tidak optimal dalam melindungi kulit dari sinar UV [18].

Berdasarkan klasifikasi FDA, seluruh fraksi methanol dan n-heksan kernel biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L*) termasuk kategori proteksi minimal sediaan tabir surya. Jika dibandingkan nilai SPF fraksi metanol dan fraksi n-heksan kulit dan kernel biji Kebiul terlihat perbedaan yang signifikan dalam nilai SPF, walaupun setiap fraksi metanol memberikan nilai SPF tertinggi. Pada Gambar 1 terlihat semakin tinggi konsentrasi, maka semakin besar nilai SPF setiap fraksi kulit dan kernel biji Kebiul.

Perbedaan nilai SPF disebabkan perbedaan gugus kromofor dan ausokrom setiap senyawa, sehingga nilai penyerapan sinar UV setiap fraksi berbeda.

Pada kernel biji Kebiul, semua konsentrasi menunjukkan aktivitas tipe proteksi minimal walaupun ada perbedaan nilai. Berdasarkan Tabel 5 terlihat nilai SPF untuk fraksi n-heksan lebih besar daripada fraksi metanol. Hal ini karena kandungan kernel biji pada fraksi n-heksan lebih banyak daripada fraksi metanol. Ini terbukti dari hasil fitokimia bahwa senyawa pada daging biji di fraksi n-heksan mengandung senyawa alkaloid, terpenoid, dan steroid. Senyawa terpen tidak positif di fraksi metanol kernel biji Kebiul.

### Kesimpulan

Berdasarkan temuan penelitian dapat disimpulkan bahwa ekstrak metanol biji Kebiul (*Caesalpinia bonduc L*) memiliki aktivitas tabir surya berkategori proteksi ultra pada ekstrak metanol cangkang biji Kebiul dan kategori proteksi minimal pada ekstrak metanol daging biji Kebiul. Nilai SPF ekstrak metanol biji Kebiul pada konsentrasi 200, 400, 600, 800, dan 1000 ppm yaitu 5,4; 9,7; 14,0; 18,1; dan 19,8 serta kulit biji Kebiul yaitu 0,9; 1,4; 2,9; 2,4; dan 2,6 untuk ekstrak metanol kernel biji Kebiul, dimana fraksi metanol kulit dan kernel biji Kebiul memberikan nilai SPF lebih baik dibandingkan fraksi n-heksan.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang-Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat tahun anggaran 2020.

## Daftar Pustaka

- [1] Susanti, M. (2012). Aktivitas perlindungan sinar UV kulit buah *Garcinia Mangostana* Linn secara In Vitro. *Pharmakon Jurnal Farmasi Indonesia*, 13(2), 61-64.
- [2] Putri, Y. D., Kartamihardja, H., & Lisna, I. (2019). Formulasi dan evaluasi losion tabir surya ekstrak daun stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni M). *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*, 6(1), 32-36.
- [3] Wungkana, I. (2013). Aktivitas antioksidan dan tabir surya fraksi fenolik dari limbah tongkol jagung (*Zea mays* L.). *Pharmakon*, 2(4), 149-155.
- [4] Satiadarma H., & Suyoto. (1986). *Kesehatan kulit dan kosmetik*. Andy Offset.
- [5] Badan Penelitian dan Pengembangan. (2007). *Laporan hasil riset kesehatan dasar (RISKESDAS) Nasional*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- [6] Wilvestra, S., Lestari, S., & Asri, E. (2018). Studi retrospektif kanker kulit di poliklinik ilmu kesehatan kulit dan kelamin RS Dr. M. Djamil Padang periode tahun 2015-2017. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 7(1), 47-49.
- [7] Menaldi, S. L. S., Bramono, K., & Indriatmi, W. (2017). *Ilmu penyakit kulit dan kelamin—edisi 7*. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.
- [8] Guy Jr, G. P., Machlin, S. R., Ekwueme, D. U., & Yabroff, K. R. (2015). Prevalence and costs of skin cancer treatment in the US, 2002– 2006 and 2007– 2011. *American Journal of Preventive Medicine*, 48(2), 183-187.
- [9] Mokodompit, A. N., Edy, H. J., & Wiyono, W. (2013). Penentuan nilai sun protective factor (SPF) secara in vitro krim tabir surya ekstrak etanol kulit alpukat. *Pharmakon*, 2(3), 2302-2493.
- [10] Garoli, D., Pelizzo, M. G., Nicolosi, P., Peserico, A., Tonin, E., & Alaibac, M. (2009). Effectiveness of different substrate materials for in vitro sunscreen tests. *Journal of Dermatological Science*, 56(2), 89-98.
- [11] Purwaningsih, S., Salamah, E., & Adnin, M. N. (2015). Photoprotective effect of sunscreen cream with addition of carrageenan and black mangrove fruit (*Rhizophora Mucronata* Lamk.). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 7(1), 1-14.
- [12] Cefali, L. C., Ataide, J. A., Moriel, P., Foglio, M. A., & Mazzola, P. G. (2016). Plant-based active photoprotectants for sunscreens. *International Journal of Cosmetic Science*, 38(4), 346-353.
- [13] Kusrahman, A. (2012). Isolasi, Karakterisasi senyawa aktif dan uji farmaka ekstrak biji Keblul pada mencit (*Mus musculus*) serta penerapannya dalam pembelajaran kimia di SMAN 1 Bengkulu Selatan. *Tesis*. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Bengkulu.
- [14] Prasiddha, I. J., Laeliocattleya, R. A., Estiasih, T., & Maligan, J. M. (2015). Potensi senyawa bioaktif rambut jagung (*Zea mays* L.) untuk tabir surya alami: kajian pustaka. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 4(1), 40-45.
- [15] Shaath, N. A. (2005). *Sunscreens: Regulations and commercial development-third edition*. Marcel Dekker Inc.
- [16] Dutra, E. A., Kedor-Hackmann, E. R. M., & Santoro, M. I. R. M. (2004). Determination of sun protection factor (SPF) of sunscreens by ultraviolet spectrophotometry. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 40(3), 381-385.
- [17] Kristanti, A. N., Aminah, N. S., Tanjung, M., & Kurniadi, B. (2008). *Buku ajar fitokimia*. Air Langga University Press.
- [18] Yasin, R. A. A. (2017). Uji potensi tabir surya ekstrak kulit buah jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) secara In Vitro. *Disertasi*. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.

## PENGGUNAAN *SHELTER* YANG BERBEDA TERHADAP PERFORMA UDANG WINDU (*Penaeus monodon*) DENGAN SISTEM ZERO WATER DISCHARGE

### THE USE OF DIFFERENT SHELTERS ON THE PERFORMANCE OF TIGER SHRIMP (*Penaeus monodon*) WITH THE ZERO WATER DISCHARGE SYSTEM

Nuralim\*, Rahim, Asni

Program Studi Ilmu Perikanan, Fakultas Pertanian, Perikanan, dan Peternakan, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Jalan Pemuda, Tahoa, Kolaka, Sulawesi Tenggara 93562, Indonesia

\*email korespondensi: [nuralimaquacult@gmail.com](mailto:nuralimaquacult@gmail.com)

#### Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan *shelter* terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup post larva udang windu (*Penaeus monodon*) dengan sistem *zero water discharge*. Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pada 3 perlakuan, yaitu A= *shelter* ranting bakau B= *shelter* pelepah pepaya, C= *shelter* ijuk dan dilakukan 3 kali pengulangan. Parameter yang diamati pada penelitian ini adalah kelangsungan hidup, pertumbuhan bobot mutlak, laju pertumbuhan spesifik, rasio konversi pakan, dan kualitas air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *shelter* tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup post larva udang windu yang dipelihara dengan sistem *zero water discharge*.

Kata kunci: Udang windu (*Penaeus monodon*), *shelter*, pendederan, *zero water discharge*

#### Abstract

This study aims to determine the effect of shelter use on the growth and survival of post larvae of windu shrimp (*Penaeus monodon*.) with Zero water discharge system. Implementation time in August – October 2020. The design of the experiment used is Complete Random Design (RAL) with 3 treatments and 3 replication. As for the treatment is A= mangrove twig shelter B= papaya madrib shelter, C= shelter fibers. The parameters observed in this study are survival, absolute weight growth, specific growth rate, feed conversion rate, and water quality. The results show that the use of shelter has no real effect on the growth and survival rate post of windu shrimp larvae maintained with a zero water discharge system.

Keywords: Tiger shrimp (*Penaeus monodon*), shelters, nursery, zero water discharge

#### Pendahuluan

Udang windu (*Penaeus monodon*) merupakan salah satu komoditas unggulan perikanan yang dapat dibudidayakan di Indonesia selain udang Vannamei (*Litopenaeus vannamei*). Udang windu merupakan udang yang memiliki nilai ekonomis tinggi [1]. Pada tahun 2013, produksi udang windu mencapai 171,583 ton dan mengalami penurunan produksi mencapai 126,595 ton [2]. Permasalahan yang sering ditemukan petambak yaitu penurunan produksi udang windu yang disebabkan tingginya kematian benih sewaktu ditebar di tambak [3]. Hal ini disebabkan kualitas air yang buruk dapat menyebabkan timbulnya berbagai macam penyakit pada benih udang. Selain itu, padat tebar juga merupakan permasalahan dalam budidaya udang windu karena dapat mengurangi ruang gerak bagi udang karena sifat udang yang *bentik* dan memungkinkan kontak dengan udang lain cukup besar dan mengalami resiko mortalitas yang tinggi akibat kanibalisme udang windu [4].

Upaya untuk mengatasi kematian yang tinggi salah satunya melalui pendederan. Aktivitas ini dilakukan dengan sistem budidaya yang kualitas airnya terkontrol dan padat tebar yang tinggi. *Zero water discharge* (ZWD) merupakan sistem budidaya yang memanfaatkan mikroba menguntungkan dan mikroalga dalam menjaga kualitas air [5]. Pemanfaatan mikroba dan mikroalga dapat mengurangi senyawa yang bersifat racun. Lebih lanjut, upaya mengatasi kematian akibat padat tebar yaitu dengan penggunaan *shelter* pada wadah budidaya. *Shelter* merupakan struktur yang dapat melindungi udang dan dapat memperluas area gerak udang, sehingga mampu menekan kemungkinan kontak pada saat *moulting* dengan udang lainnya. Penggunaan *shelter* juga udang dapat menghemat energi dan memaksimalkan pertumbuhannya [6]. Artikel ini melaporkan penggunaan *shelter* yang berbeda terhadap pertumbuhan post larva udang windu pada pendederan dengan *zero water discharge*.

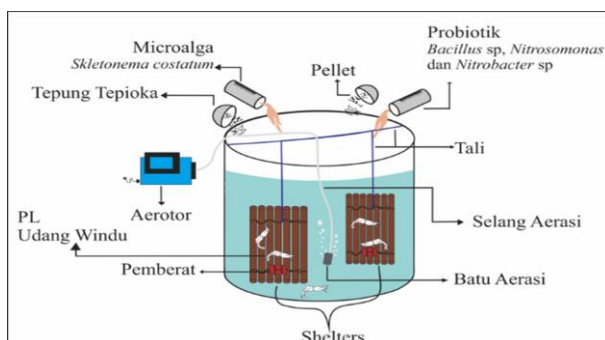
## Metode Penelitian

### Alat dan Bahan

Penelitian dilakukan di Kolaka, Sulawesi Tenggara pada Agustus-Oktober 2020. Alat yang digunakan meliputi ember, selang, pemberat, aerasi, timbangan digital, Do meter, pH meter, gelas, alat tulis, selang sipon, ranting bakau, pelepah pepaya, ijuk, batu, gergaji, dan tali. Bahan yang digunakan meliputi udang windu (PL 10), probiotik (Bakteri *Bacillus* sp., *Nitrosomonas* sp. dan *Nitrobacter* sp.), mikroalga (*Skletonema costatum*) tepung tapioka, teskit  $\text{NH}_3/\text{NH}_4$ , pakan *crumble*, tissu, dan air mineral. Metode yang digunakan adalah rancangan acak lengkap (RAL) yang terdiri 3 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan setiap bahan meliputi A adalah ZWD dengan ranting bakau, B adalah ZWD dengan pelepah pepaya, dan C adalah ZWD dengan ijuk.

### Prosedur Penelitian

*Shelter* yang digunakan berupa ranting bakau, pelepah pepaya, dan ijuk kering. Potong ketiga *shelter* berukuran 20 cm dan disusun vertikal 20 cm. Ikat dan tambahkan pemberat pada bawah *shelter*. Masukkan 50 liter air pada setiap wadah yang dilengkapi aerasi dan diposisikan 2 *shelter* setiap wadah secara vertikal. Ditambahkan 5 ml probiotik, 5 ml mikroalga, 5 gram tepung tapioka, dan 5 gram pakan *crumble* pada setiap wadah. Pengkondisian air selama 10 hari dan diukur kadar Total Ammonium Nitrogen (TAN) dengan periode tiga hari sekali pada semua perlakuan sampai kadar TAN <1 mg/L. Adapun desain *zero water discharge* modifikasi dapat disajikan Gambar 1. Pengukuran kualitas air semua perlakuan setiap minggu, penambahan probiotik sebanyak 5 ml pada setiap perlakuan, pemberian pakan pada pukul 06.00, 12.00, 18.00 dan 23.00, dilakukan penyiponan setiap minggu untuk membersihkan semua wadah penelitian.



**Gambar 1.** Desain sistem *zero water discharge* modifikasi

### Teknik Analisis Data

Temuan yang diperoleh dalam penelitian ini dianalisis sesuai dengan variabel yang diukur. Variabel kelangsungan hidup dapat dianalisis menggunakan persamaan (1) berikut.

$$SR = \frac{N_t}{N_0} \times 100\% \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) dapat diketahui bahwa SR adalah *survival rate* (%),  $N_t$  adalah jumlah udang pada akhir penelitian (individu), dan  $N_0$  adalah jumlah udang pada awal penelitian. Variabel pertumbuhan berat mutlak dapat dianalisis menggunakan persamaan (2) berikut.

$$W = W_t - W_0 \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2) dapat diketahui bahwa  $W$  adalah pertumbuhan berat mutlak (gram),  $W_t$  adalah bobot rerata akhir (gram), dan  $W_0$  adalah bobot rerata awal (gram).

Lebih lanjut, variabel laju pertumbuhan spesifik dapat dianalisis menggunakan persamaan (3) berikut.

$$LPS(\%) = \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t} \times 100\% \quad (3)$$

Berdasarkan persamaan (3) dapat diketahui bahwa LPS adalah laju pertumbuhan spesifik (%),  $\ln W_t$  adalah bobot udang akhir (gram), dan  $\ln W_0$  adalah bobot udang awal (gram). Variabel rasio konversi pakan dapat dianalisis menggunakan persamaan (4) berikut.

$$FCR = \frac{F}{(W_t + d) - W_0} \quad (4)$$

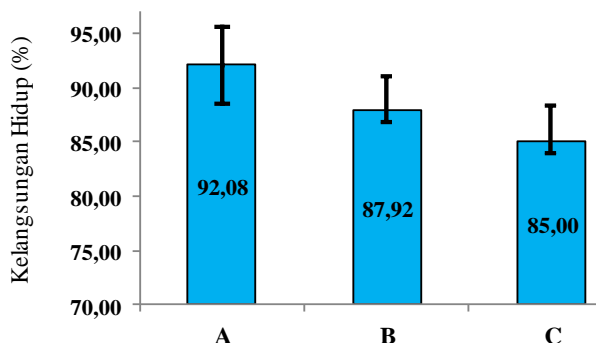
Berdasarkan persamaan (4) dapat diketahui bahwa FCR adalah *feed conversion ratio*,  $F$  adalah jumlah pakan yang diberikan selama penelitian,  $W_t$  adalah bobot total pada akhir penelitian (gram),  $W_0$  adalah bobot total pada awal penelitian (gram), dan  $d$  adalah bobot total udang yang mati selama penelitian. Sementara itu, kualitas air diukur setiap minggu. Adapun kualitas air yang diukur meliputi pH air, suhu, *Dissolved Oxygen* (DO), salinitas dan Total Ammonium Nitrogen (TAN). Selanjutnya, untuk mengetahui pengaruh setiap perlakuan, maka data dianalisis menggunakan analisis varians pada taraf kepercayaan 95% ( $\alpha$  0,05). Apabila F hitung > F tabel, maka analisis data dilanjutkan dengan uji BNT (Beda Nyata Terkecil).



## Hasil dan Pembahasan

### Kelangsungan Hidup (*Survival Rate*)

Hasil perhitungan kelangsungan hidup post larva udang windu dapat ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



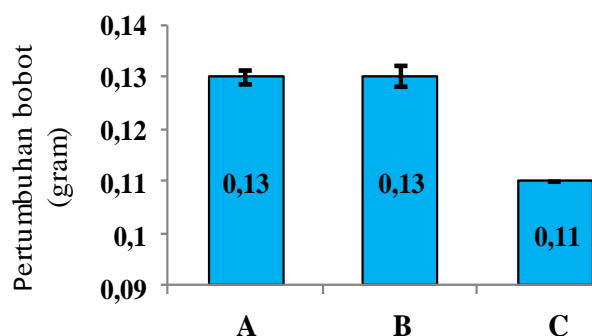
**Gambar 2.** Nilai rerata kelangsungan hidup post larva udang windu

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai rerata tertinggi diperoleh pada perlakuan A sebesar 92,08%, diikuti perlakuan B sebesar 87,92%, dan perlakuan C sebesar 85,00%. Data nilai rerata menunjukkan bahwa penggunaan *shelter* pada sistem *zero water discharge* dapat menekan sifat kanibal dan memperluas area gerak udang windu yang diketahui memiliki habitat *bentik*. Sementara itu, hasil analisis Anova tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap kelangsungan hidup post larva udang windu.

Hasil penelitian Hermawan dan Nirmala [7] menjelaskan bahwa pemeliharaan post larva udang windu tanpa penggunaan *shelter* memberikan tingkat kelangsungan hidup sebesar 52,00% dan berbeda dengan wadah yang menggunakan *shelter* yang memberikan tingkat kelangsungan hidup tertinggi sebesar 78,67%. Pada penelitian Suherman et al. [4], menjelaskan bahwa penggunaan *shelter* dapat memberikan hasil kelangsungan hidup yang tinggi dengan nilai rerata sebesar 80,00%, sedangkan tanpa *shelter* sebesar 46,67%. Selain itu, penerapan sistem *zero water discharge* yang menggunakan bakteri nitrifikasi dengan pemasangan *shelter* dapat menghasikan tingkat kelangsungan hidup yang tinggi pada udang windu. Penggunaan *shelter* dalam budidaya sistem *zero water discharge* akan mengurangi sifat agresif udang dan dapat memperluas area gerak udang [5]. Oleh karena itu, adanya modifikasi dari sistem *zero water discharge* dengan penggunaan *shelter* akan meningkatkan produktivitas dan ketersediaan benih udang windu.

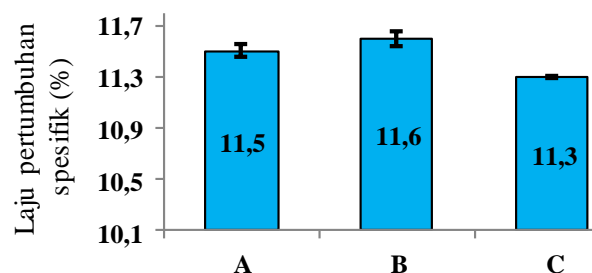
### Pertumbuhan

Hasil perhitungan pertumbuhan bobot post larva udang windu dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 3 berikut.



**Gambar 3.** Nilai rerata pertumbuhan bobot post larva udang windu

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai rerata pertumbuhan berat mutlak diperoleh dengan nilai yang sama pada perlakuan A dan B yaitu sebesar 0,13 gram dan diikuti oleh perlakuan C dengan nilai rerata sebesar 0,11 gram. Sementara itu, untuk laju pertumbuhan spesifik post larva udang windu dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



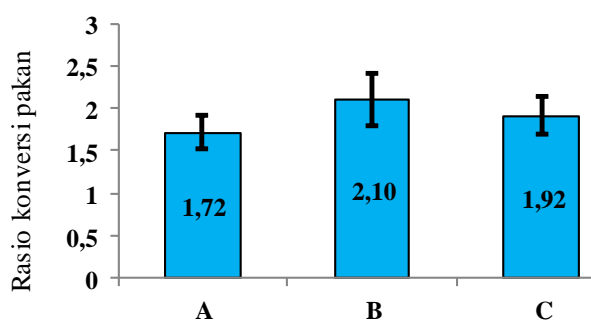
**Gambar 4.** Nilai rerata laju pertumbuhan spesifik post larva udang windu

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa nilai rerata laju pertumbuhan spesifik pada perlakuan B sebesar 11,6%, perlakuan A sebesar 11,5%, dan perlakuan C sebesar 11,3%. Berdasarkan penelitian Hendrajat dan Pantjara [8] mendapatkan nilai pertumbuhan bobot benih udang windu sebesar 0,14 gram. Sehingga nilai rerata pertumbuhan bobot yang didapatkan dalam penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya. Sedangkan untuk nilai rerata laju pertumbuhan spesifik diperoleh dengan nilai yang tinggi dari penelitian yang dilakukan Suherman et al. [4] yang mendapatkan nilai rerata laju pertumbuhan sebesar 8,18%. Hasil uji statistik dengan ANOVA penggunaan *shelter* yang berbeda tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap pertumbuhan bobot dan laju pertumbuhan post larva udang.

Hal ini dikarenakan pemberian pakan yang teratur dan sesuai dengan bobot tubuh benih udang. Sebab pakan merupakan sumber protein udang dalam melakukan aktivitas metabolisme tubuh. Selain itu, sistem budidaya yang memanfaatkan mikroba merupakan sistem budidaya yang menyediakan pakan tambahan bagi benih udang, sehingga memperoleh laju pertumbuhan yang cukup tinggi. Penerapan budidaya sistem *zero water discharge* pada udang Vename dapat meningkatkan pertumbuhan dengan pemanfaatan mikroba bakteri dan mikroalga dapat mengurangi senyawa berbahaya dan menjadi pakan tambahan [9]. Melalui penggunaan *shelter* dari alam dapat membantu pertumbuhan udang. Hal ini sejalan dengan penelitian Fonna et al. [6] bahwa dengan adanya *shelter* dapat menghemat energi untuk pergerakan udang dan memanfaatkan energi untuk pertumbuhannya. Selain itu, *shelter* batang pepaya juga dapat mencegah stres pada udang yang diakibatkan oleh biota perairan.

#### Rasio Konversi Pakan

Nilai rasio konversi pakan udang berbanding terbalik dengan penambahan bobot. Jadi, semakin tinggi bobot udang, maka semakin rendah nilai konversi pakan. Rendahnya nilai konversi pakan akan semakin efisien pakan yang digunakan. Nilai rerata konversi pakan udang dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



**Gambar 5.** Nilai rerata rasio konversi pakan post larva udang windu

Nilai rerata rasio konversi pakan terendah pada perlakuan A sebesar 1,72 gram, perlakuan B sebesar 2,10 gram, dan perlakuan C sebesar 1,92 gram. Adanya perbedaan nilai rerata rasio konversi pakan berdasarkan bobot tubuh dalam pemberian pakan setiap minggunya. Selain itu, kelangsungan hidup juga mempengaruhi jumlah pemberian pakan karena jumlah bobot bio massa diperoleh dari hasil perkalian antara bobot rerata udang dengan jumlah udang yang hidup.

#### Parameter Fisika dan Kimia Kualitas Air

Kualitas air merupakan ukuran kondisi air yang dilihat dari karakteristik fisik, kimia, dan biologinya. Kualitas air juga menunjukkan ukuran kondisi air relatif terhadap kebutuhan biota. Dengan demikian, kualitas air berperan penting terhadap kelangsungan hidup dan pertumbuhan organisme yang dibudidayakan. Parameter kualitas air yang diukur pada penelitian ini meliputi suhu, pH, salinitas, DO, dan TAN. Interval suhu selama penelitian sebesar 25,8-27,5°C. Interval suhu layak untuk perkembangan udang windu karena udang windu mempunyai sifat *eurythermal* yang dapat hidup pada suhu berkisar 22–31°C. Udang windu mempunyai batas toleransi suhu 12-32,5°C. Suhu air berperan dalam metabolisme tubuh udang, sehingga suhu rendah akan mengakibatkan kematian pada benih udang. Interval pH yang digunakan 6,5 – 7,2. Interval ini layak untuk pertumbuhan benih udang windu. Hal ini sesuai penelitian Suherman et al. [4] dan penelitian Djunaedi et al. [3] yang menemukan interval pH pertumbuhan benih udang windu antara 7-8,5.

Salinitas berkorelasi dengan osmoregulasi hewan air. Apabila terjadi penurunan salinitas secara mendadak dalam jumlah besar, maka udang akan mengalami kematian. Hal ini disebabkan sulitnya hewan mengatur proses osmoregulasi dalam tubuhnya. Interval salinitas penelitian yaitu 26,7 – 20 ppt. Interval salinitas ini layak untuk meningkatkan pertumbuhan udang windu. Temuan Suherman et al. [4] menyatakan salinitas 25-30,9 ppt merupakan salinitas yang menghasilkan pertumbuhan terbaik dan 35-40 ppt merupakan tingkat yang mengakibatkan pertumbuhan lambat serta tingkat kematian yang tinggi. Sementara itu, kadar oksigen terlarut (DO) pada perairan yang rendah dapat menyebabkan kematian dan keterlambatan pertumbuhan udang. Kadar oksigen terlarut selama penelitian berkisar 6,1-7 mg/L. Interval tersebut cukup baik dalam mendukung pertumbuhan post larva udang udang. Hal ini sesuai dengan temuan Suherman et al. [4] bahwa interval 4,5-7 ppm adalah interval yang optimal dan cukup baik dalam mendukung pertumbuhan benih udang. Kandungan Total Ammonium Nitrogen (TAN) selama penelitian antara 0,1-0,5 mg/L. Interval ini layak untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang windu. Lebih lanjut, interval optimum kandungan Total Ammonium Nitrogen untuk pertumbuhan post larva udang windu adalah <1 mg/L. TAN merupakan konsentrasi  $\text{NH}_3^-$  dan  $\text{NH}_4^+$  yang berada dalam perairan.

**Tabel 1.** Parameter fisika dan kimia masing-masing variasi penelitian

Parameter fisika & kimia	Wadah penelitian	Nilai Satuan	Rata – rata & std. deviasi
Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	A (Ranting bakau)	25,8 - 27,5	26,86 $\pm$ 0,10
	B (pelepah pepaya)	26 - 27,4	26,92 $\pm$ 0,05
	C (Ijuk)	26,2 – 27,5	26,93 $\pm$ 0,03
pH	A (Ranting bakau)	6,5 – 7,2	6,8 $\pm$ 0,06
	B (Pelepah pepaya)	6,5 – 7,2	6,8 $\pm$ 0,04
	C (Ijuk)	6,6 – 7,2	6,8 $\pm$ 0,01
Salinitas	A (Ranting bakau)	26,7 – 30,9	28,9 $\pm$ 0,20
	B (Pelepah pepaya)	27,1 – 30	28,9 $\pm$ 0,35
	C (Ijuk)	26,7 – 30,7	28,9 $\pm$ 0,11
DO	A (Ranting bakau)	6,1 – 6,9	6,5 $\pm$ 0,0
	B (Pelepah pepaya)	6,1 – 6,8	6,5 $\pm$ 0,1
	C (Ijuk)	6,4 - 6,8	6,6 $\pm$ 0,0
TAN	A (Ranting bakau)	0,25 – 0,5	0,33 $\pm$ 0,02
	B (Pelepah pepaya)	0,25 – 0,5	0,30 $\pm$ 0,02
	C (Ijuk)	0,25-0,5	0,30 $\pm$ 0,02

### Kesimpulan

Pemberian *shelter* dalam wadah budidaya dapat meningkatkan kelangsungan hidup post larva udang windu. Berdasarkan hasil uji statistik dengan ANOVA menyatakan bahwa penggunaan *shelter* yang berbeda menyebabkan perbedaan yang signifikan terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup post larva udang windu. Perlu adanya penelitian lanjutan dengan skala yang lebih besar pada tahap pendederan udang windu.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih untuk Program Studi Ilmu Perikanan, Fakultas Pertanian, Perikanan dan Peternakan, Universitas Sembilan belas November Kolaka dan ucapan terima kasih juga diberikan kepada pihak atau lembaga yang berkaitan langsung dengan penelitian.

### Daftar Pustaka

- [1] Evania, C., Rejeki, S., & Aryati, R. W. (2018). performa pertumbuhan udang windu (*Penaeus monodon*) yang dibudidayakan bersama kerang hijau (*Perna viridis*) dengan sistem IMTA. *Sains Akuakultur Tropis: Indonesian Journal of Tropical Aquaculture*, 2(2), 44-52
- [2] Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya. (2015). *Udang Vaname dan Udang Windu Masih Andalan Ekspor*.
- [3] Djunaedi, A., Susilo, H., & Sunaryo, S. (2016). Kualitas air media pemeliharaan benih udang windu (*Penaeus monodon Fabricius*) dengan sistem budidaya yang berbeda. *Jurnal Kelautan Tropis*, 19(2), 171-178.
- [4] Suherman, R., Yusnita, D., Yani, Y., & Mahendra, M. (2020). Pemberian shelter yang berbeda terhadap performa udang *Penaeus sp.* *Jurnal Akuakultura Universitas Teuku Umar*, 3(1), 7-12.
- [5] Suantika, G., Situmorang, P., Aditiawati, D. I. Astuti, F. F. N., Azizah, & Muhammad. (2018). Closed aquaculture system: Zero water discharge for shrimp and prawn farming in Indonesia. *IntechOpen*, 2(1), 312-316.
- [6] Fonna, R. N., Defira, C. N., & Hasanuddin, H. (2018). Penggunaan jenis shelter yang berbeda terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup tokolan udang galah (*Macrobrachium rosenbergii*). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan Perikanan Unsyiah*, 3(1), 143-149.
- [7] Hermawan, D., & Nirmala, K. (2011). The effect of different shelter on the growth and survival rate of tiger shrimp *Penaeus monodon fab.* *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 1(1), 23-26.
- [8] Hendrajat, E. A., & Pantjara, B. (2012). Pentokolan udang windu (*Penaeus monodon*) sistem hapa dengan ukuran pakan berbeda. In *Prosiding Indoaqua-Forum Inovasi Teknologi Akuakultur* (p. 42).
- [9] Rahim, G., Suantika, & Muhammad. (2018). Performance of zero water discharge (ZWD) system with nitrifying Bacteria *B. Megaterium* and Microalgae *C. Calcitrans* components in super intensive pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* culture at low salinity. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 17(1), 137–146.

## PENYELESAIAN MASALAH PERTURBASI PADA PERSAMAAN DIFUSI KONVEKSI MENGGUNAKAN METODE *FORMAL EXPANSION*

### *SOLVING PERTURBATION PROBLEM OF CONVECTION-DIFFUSION USING FORMAL EXPANSION METHOD*

Destia Nurfadhilah\*, Nikenasih Binatari

Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

\*email korespondensi: [nurfadhilahdestia730@gmail.com](mailto:nurfadhilahdestia730@gmail.com), [nikenasih@uny.ac.id](mailto:nikenasih@uny.ac.id)

#### Abstrak

Perambatan panas merupakan contoh kasus pemodelan persamaan diferensial parsial yang aplikasinya banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satunya persamaan difusi konveksi. Dalam penelitian ini, dibahas mengenai penyelesaian masalah perturbasi pada persamaan difusi konveksi menggunakan metode formal expansion. Pada pemodelan digunakan prinsip konservatif dengan asumsi batang logam homogen dan kecepatan fluida bernilai sangat kecil. Syarat batas yang digunakan adalah syarat batas Dirichlet homogen. Metode *formal expansion* dilakukan dengan melakukan pendekatan deret Taylor pada solusi fungsi di sekitar nilai perturbasi sama dengan nol. Dengan menyamakan koefisien pada suku epsilon berpangkat, diperoleh 3 jenis masalah nilai awal syarat batas. Ketiga jenis masalah tersebut kemudian dicari solusi eksak menggunakan metode separasi variabel dan metode ekspansi fungsi eigen. Dari sini, solusi eksak dari persamaan difusi konveksi diperoleh.

Kata kunci: perturbasi, persamaan difusi konveksi, syarat batas *Dirichlet*, metode *formal expansion*

#### Abstract

*Heat propagation is one of modeling problems using partial differential equations whose applications are found in everyday life. One of them is the convection diffusion equation. In this study, we discuss the solution to the perturbation problem in the convection diffusion equation using formal expansion method. In the modeling, conservative principle is used assuming a homogeneous metal rod and a very small fluid velocity. The boundary condition used is the homogeneous Dirichlet boundary condition. The formal expansion method is done by using the Taylor series approach to the solution of the function where the perturbation value is equal to zero. By equating the coefficients on the rank epsilon term, we get 3 types of problems with the initial value of the boundary conditions. The three types of problems are then sought for an exact solution using variable separation method and eigen function expansion method. From this, the exact solution for the convection diffusion equation is obtained.*

*Keywords: perturbation, convection-diffusion equation, Dirichlet boundary conditions, formal expansion method*

#### Pendahuluan

Ada banyak barang-barang yang menerapkan prinsip perpindahan panas, contoh yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari yaitu perabotan rumah tangga. Banyak perabotan rumah tangga yang dirancang (baik keseluruhan atau sebagian) menggunakan prinsip perpindahan panas, misalnya kompor listrik atau gas, sistem pemanas dan sistem pendingin, setrika, bahkan komputer [1]. Dalam penelitian ini dikaji salah satu persamaan pada proses perambatan panas, yaitu persamaan difusi konveksi yang disertai dengan masalah perturbasi. Difusi merupakan peristiwa mengalirnya panas dari daerah yang memiliki konsentrasi tinggi ke daerah yang memiliki konsentrasi lebih rendah, sedangkan konveksi merupakan perpindahan panas yang

disebabkan karena adanya fluida yang mengalir [3]. Difusi juga dapat dipandang sebagai perpindahan panas secara konduksi. Pada konduksi yang dipindahkan adalah panas (suhu), sedangkan pada difusi yang dipindahkan adalah panas yang terkonsentrasi (konsentrasi) [3]. Di lain pihak, masalah perturbasi merupakan kondisi dimana suatu persamaan memiliki parameter yang sangat kecil, tetapi tidak sama dengan nol [5]. Masalah perturbasi pada persamaan difusi konveksi yang akan dibahas dapat dituliskan seperti pada persamaan (1) berikut.

$$u_t(x, t) = ku_{xx}(x, t) - \varepsilon u_x(x, t) \quad (1)$$

dengan  $u(x, t)$  merupakan konsentrasi suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) di titik  $x$  pada saat  $t$ ,  $k$  adalah koefisien difusi termal ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ), dan  $\varepsilon$  menunjukkan velositas atau

kecepatan fluida ( $\text{ms}^{-1}$ ) dengan nilai yang sangat kecil ( $0 < \varepsilon \ll 1$ ). Beberapa aplikasi persamaan difusi konveksi di antaranya terdapat pada sistem sensor, contohnya reaktor pembangkit listrik nuklir yang memiliki *temperature controller* atau pengontrol suhu. Pengontrol suhu tersebut akan mengalirkan air pada reaktor agar suhu tetap normal. Aplikasi lain juga dapat ditemukan di kendaraan pada *water cooler*.

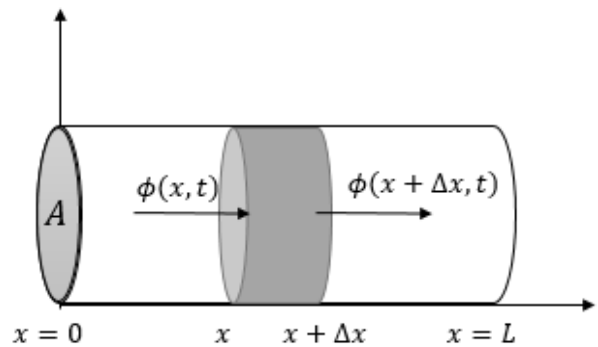
Penyelesaian persamaan difusi konveksi telah dilakukan oleh banyak peneliti sebelumnya yang mengkaji persamaan difusi konveksi tanpa permasalahan perturbasi menggunakan metode Galerkin-Beda Hingga dan metode separasi variabel [2][4]. Sedangkan permasalahan perturbasi pada persamaan difusi konveksi telah dikaji oleh Yuzbasi dan Karacayir [6] yang membahas permasalahan perturbasi pada persamaan parabolik difusi konveksi satu dimensi, dengan parameter yang bernilai sangat kecil terletak pada kasus difusinya. Solusi yang dipaparkan merupakan solusi numerik menggunakan metode Galerkin. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dalam penelitian ini akan dibahas mengenai penyelesaian masalah perturbasi pada persamaan difusi konveksi secara analitik menggunakan metode *formal expansion*, dengan masalah perturbasi pada kasus konveksinya.

### Metode Penelitian

Beberapa tahapan dalam analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengkajian pustaka, pengaplikasian metode *formal expansion*, mengklasifikasi setiap persamaan differensial parsial berdasarkan orde, kelinearitasan, dan kehomogenan persamaan untuk kemudian dicari solusinya. Setelah diperoleh banyak solusi persamaan differensial parsial, selanjutnya solusi-solusi tersebut disubstitusikan ke dalam pemisalan solusi *formal expansion*. Proses ini merupakan tahap akhir analisis, yaitu diperoleh solusi masalah perturbasi pada persamaan difusi konveksi.

### Hasil dan Pembahasan

Pemodelan persamaan difusi konveksi melibatkan dua persamaan, yaitu persamaan difusi dan persamaan konveksi. Penurunan model persamaan difusi dilakukan dengan mengambil batang logam yang dialiri energi panas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Batang logam homogen

Beberapa asumsi yang digunakan, dalam penelitian ini yaitu (i) aliran panas yang mengalir pada batang logam hanya mengalir dari suhu yang lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah, (ii) seluruh permukaan batang logam terisolasi, (iii) tidak ada aliran panas yang dihasilkan pada batang logam, (iv) batang logam yang digunakan homogen, dan (v) massa jenis dan konduksi termal pada bahan logam dianggap konstan, artinya massa jenis dan konduksi termal pada keseluruhan logam sama. Sementara itu, batang logam dengan panjang  $L$  dipartisi sebesar  $\Delta x$  dan dipilih sembarang interval  $[x, x + \Delta x]$ . Misalkan panas jenis ( $e$ ) merupakan jumlah energi panas tiap satuan volume, maka jumlah energi panas pada interval  $[x, x + \Delta x]$  adalah  $e(x, t)A\Delta x$ . Fluks ( $\phi(x, t)$ ) merupakan jumlah energi panas tiap satuan waktu yang mengalir tiap satuan area.

Fluks masuk dan keluar dinotasikan dengan  $\phi(x, t)A$  dan  $\phi(x + \Delta x, t)A$ . Menurut prinsip konservasi energi diperoleh persamaan (2) berikut.

$$(e(x, t)A\Delta x)_t \approx \phi(x, t)A - \phi(x + \Delta x, t)A \quad (2)$$

Bagi kedua ruas pada persamaan (2) dengan  $A\Delta x$ , sehingga diperoleh persamaan (3) berikut.

$$e_t(x, t) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\phi(x, t) - \phi(x + \Delta x, t)}{\Delta x} \quad (3)$$

Dari sini diperoleh persamaan (4) berikut.

$$e_t(x, t) = \phi_x(x, t) \quad (4)$$

Berdasarkan hasil percobaan Fourier  $\phi = -K_0 u_x$  dan hubungan panas jenis dengan suhu  $e(x, t) = c\rho u(x, t)$ , diperoleh persamaan difusi yang bersesuaian seperti yang ditunjukkan pada persamaan (5) berikut.

$$u_t(x, t) = ku_{xx}(x, t) \quad (5)$$

dengan  $k = \frac{K_0}{c\rho}$ . Penurunan model persamaan konveksi diasumsikan bahwa di dalam batang mengalir fluida dengan velositas  $v$ . Berdasarkan rumus fluks konveksi, maka diperoleh persamaan konveksi seperti yang ditunjukkan pada persamaan (6) berikut.

$$u_t(x, t) = -vu_x(x, t). \quad (6)$$

Pada kasus difusi konveksi, maka model diperoleh dengan menggabungkan kedua kasus di atas. Akibatnya persamaan difusi konveksi tergeneralisasi menjadi persamaan (7) berikut.

$$u_t(x, t) = ku_{xx}(x, t) - vu_x(x, t) \quad (7)$$

Masalah perturbasi diartikan sebagai gangguan pada sistem fisik, yaitu keadaan di mana terdapat konstanta/parameter yang bernilai sangat kecil, tetapi tidak sama dengan nol. Apabila konveksi pada kasus difusi konveksi merupakan gangguan dan keberadaannya tidak diabaikan, maka masalah perturbasi pada persamaan difusi konveksi dituliskan sebagai persamaan (8) berikut.

$$u_t(x, t) = ku_{xx}(x, t) - \varepsilon u_x(x, t) \quad (8)$$

dengan  $0 < \varepsilon \ll 1$ . Nilai awal dan syarat batas yang digunakan yaitu  $u(x, 0) = f(x)$ ,  $0 < x < L$  dan  $u(0, t) = u(L, t) = 0$ ,  $t > 0$ .

Masalah perturbasi pada persamaan difusi konveksi menggunakan metode ekspansi formal diselesaikan melalui 4 langkah berikut.

**Langkah 1.** Memisalkan fungsi solusi  $u(x, t)$  menjadi bentuk fungsi ekspansi formal, yaitu ekspansi pangkat atas  $\varepsilon$ . Adapun persamaannya dapat ditunjukkan pada persamaan (9) berikut.

$$u(x, t) = u_0(x, t) + \varepsilon u_1(x, t) + \sum_{i=2}^{\infty} \varepsilon^i u_i(x, t) \quad (9)$$

**Langkah 2.** Mensubstitusikan fungsi solusi pada persamaan (9) ke dalam persamaan (8), nilai awal, dan syarat batas. Hasil substitusi dari fungsi solusi ke dalam

- persamaan difusi konveksi dapat ditunjukkan seperti pada persamaan (10) berikut.

$$\begin{aligned} & u_{0t}(x, t) + \varepsilon u_{1t}(x, t) + \varepsilon^2 u_{2t}(x, t) + \dots \\ & = k[u_{0xx}(x, t) + \varepsilon u_{1xx}(x, t) + \varepsilon^2 u_{2xx}(x, t) + \dots] \\ & - \varepsilon[u_{0x}(x, t) + \varepsilon u_{1x}(x, t) + \varepsilon^2 u_{2x}(x, t) + \dots] \end{aligned} \quad (10)$$

- nilai awal dapat ditunjukkan seperti pada persamaan (11) berikut.

$$u_0(x, 0) + \varepsilon u_1(x, 0) + \varepsilon^2 u_2(x, 0) + \dots = f(x) \quad (11)$$

- syarat batas dapat ditunjukkan seperti pada persamaan (12) dan persamaan (13) berikut.

$$u_0(0, t) + \varepsilon u_1(0, t) + \varepsilon^2 u_2(0, t) + \dots = 0 \quad (12)$$

$$u_0(L, t) + \varepsilon u_1(L, t) + \varepsilon^2 u_2(L, t) + \dots = 0 \quad (13)$$

Dengan menggunakan prinsip polinomial atas variabel  $\varepsilon$ , koefisien polinomial yang bersesuaian pada kedua ruas harus bernilai sama. Dari sini diperoleh tak hingga banyak masalah nilai awal syarat batas yang bersesuaian dengan order epsilon.

- Order 1,  $O(1)$  dapat ditunjukkan seperti pada persamaan (14) berikut.

$$\begin{aligned} & u_0(x, t) - ku_{0xx}(x, t) = 0 \\ & u_0(x, 0) = f(x), \quad 0 < x < L \\ & u_0(0, t) = u_0(L, t) = 0, \quad t > 0 \end{aligned} \quad (14)$$

- Order epsilon,  $O(\varepsilon)$  dapat ditunjukkan seperti pada persamaan (15) berikut.

$$\begin{aligned} & u_{1t}(x, t) - ku_{1xx}(x, t) = -u_{0x}(x, t) \\ & u_1(x, 0) = 0, \quad 0 < x < L \\ & u_1(0, t) = u_1(L, t) = 0, \quad t > 0 \end{aligned} \quad (15)$$

- Order epsilon kuadrat dst,  $O(\varepsilon^n)$ .

$$\begin{aligned} & u_{it}(x, t) - ku_{ixx}(x, t) = -u_{(i-1)xx}(x, t) \\ & u_i(x, 0) = 0, \quad 0 < x < L \\ & u_i(0, t) = u_i(L, t) = 0, \quad t > 0 \end{aligned} \quad (16)$$

**Langkah 3.** Menyelesaikan tak hingga PDP yang diperoleh dari langkah 2. Tiap-tiap PDP diklasifikasikan terlebih dahulu, kemudian ditentukan metode yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan setiap PDP. Persamaan (14) merupakan PDP linear homogen dengan syarat batas homogen. Dengan menggunakan metode separasi variabel diperoleh solusi seperti yang ditunjukkan pada persamaan (17) berikut.

$$u_0(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) e^{-\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 kt} \quad (17)$$

Di mana koefisien dari solusi ini didapatkan dari sifat orthogonalitas fungsi sinus. Jadi, diperoleh persamaan (18) berikut.

$$C_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx \quad (18)$$

Selanjutnya, substitusikan solusi ini ke persamaan (15). Persamaan (15) merupakan PDP linear non homogen dengan nilai awal dan syarat batas homogen. Metode yang digunakan yaitu metode ekspansi fungsi eigen. Fungsi eigen yang dipilih disesuaikan dengan pembuat non homogen persamaannya. Fungsi eigen yang didapat yaitu  $\sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$ , tetapi karena basis  $u_{0x}$  adalah  $\cos$ , penentuan fungsi eigen dengan basis  $\sin$  menjadi tidak tepat. Perbedaan basis ini membuat penyelesaian pada langkah-langkah selanjutnya tidak ditemukan. Agar dapat menyelesaikan persamaan (15), basis fungsi eigen yang akan digunakan adalah  $\cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$ . Dengan menggunakan basis cosinus, solusi  $u_1(x, t)$  yang diperoleh yaitu seperti yang ditunjukkan pada persamaan (19) berikut.

$$u_1(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_{1n}(t) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

dengan

$$u_{1n}(t) = \frac{-C_n}{\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 (k-1)} \left( e^{-\left(\frac{n\pi x}{L}\right)^2 t} - e^{-k\left(\frac{n\pi x}{L}\right)^2 t} \right) \quad (19)$$

Selanjutnya, solusi ini disubstitusikan ke dalam persamaan (16) untuk mencari solusi persamaan (16). Persamaan ketiga sampai dengan tak hingga memiliki bentuk persamaan dan klasifikasi yang sama yaitu PDP linear non homogen dengan nilai awal dan syarat batas homogen. Metode yang digunakan yaitu metode ekspansi fungsi eigen. Dalam bentuk umum, solusi  $u_i(x, t)$  untuk  $i = 2, 3, \dots$  dapat ditunjukkan seperti pada persamaan (20) berikut.

$$u_i(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_{in}(t) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

dengan

$$u_{in}(t) = \int_0^t e^{k\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 (\tau-t)} \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 u_{(i-1)n}(\tau) d\tau \quad (20)$$

$$u_{(i-1)n}(t) = \int_0^t u_{(i-1)}(x, t) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx$$

**Langkah 4.** Substitusikan persamaan (17), (19), dan (20) ke dalam persamaan (9), sehingga diperoleh solusi khusus untuk masalah perturbasi pada persamaan difusi konveksi seperti yang ditunjukkan pada persamaan (21) berikut.

$$u(x, t) = u_0(x, t) + \varepsilon u_1(x, t) + \sum_{i=2}^{\infty} \varepsilon^i u_i(x, t)$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) e^{-\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 kt}$$

$$+ \varepsilon \sum_{n=1}^{\infty} u_{1n}(t) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) + \sum_{i=2}^{\infty} \varepsilon^i \left[ \sum_{n=1}^{\infty} u_{in}(t) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \right] \quad (21)$$

dengan

$$C_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx$$

$$u_{1n}(t) = \frac{-C_n}{\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 (k-1)} \left( e^{-\left(\frac{n\pi x}{L}\right)^2 t} - e^{-k\left(\frac{n\pi x}{L}\right)^2 t} \right)$$

$$u_{in}(t) = \int_0^t e^{k\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 (\tau-t)} \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 u_{(i-1)n}(\tau) d\tau$$

$$u_{(i-1)n}(t) = \int_0^t u_{(i-1)}(x, t) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx$$

untuk setiap  $n$  bilangan bulat positif dan  $i$  bilangan bulat lebih dari 1.

## Kesimpulan

Dari pembahasan pada bagian sebelumnya, solusi eksak untuk masalah perturbasi pada persamaan difusi konveksi dengan syarat batas Dirichlet homogen dapat dicari menggunakan metode *formal expansion*. Pada penelitian selanjutnya dapat dibahas mengenai kestabilan sistem pada periode waktu lama atau dapat pula diteliti masalah perturbasi pada persamaan difusi konveksi non homogen dengan jenis syarat batas yang lain.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada Bapak Dr. Hartono dan Ibu Fitriana Yuli Saptaningtyas, M.Si atas saran dan masukannya.

## Daftar Pustaka

- [1] Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and mass transfer: Fundamentals & applications: 5th edition*. McGraw-Hill Education.
- [2] Fadilah, L. A. (2019). Penyelesaian numerik persamaan difusi konveksi 1D menggunakan metode Galerkin-Beda Hingga. *Skripsi*. UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang

- [3] Logan, J. D. (2015). *Applied partial differential equations: 3rd edition*. Springer International Publishing.
- [4] Roziana, D. F. (2008). Solusi analitik dan solusi numerik persamaan difusi konveksi. *Skripsi*. UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- [5] O'Leary, S. K., Foutz, B. E., Shur, M. S., Bhapkar, U. V., & Eastman L. F. (1998). Monte Carlo simulation of electron transport in wurtzite aluminium nitride. *Solid State Communications*, 105(10), 621-626.
- [6] Verhulst, F. (1996). *Nonlinear differential equation and dynamical systems: 2nd edition*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [7] Yuzbasi, S., & Karacayur, M. (2019). An approximation technique for solutions of singularly perturbed one-dimensional convection-difusion problem. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, 33(1), 17-24.



# APLIKASI DEKOMPOSISI NILAI SINGULAR DAN TRANSFORMASI KOSINUS DISKRIT UNTUK PERBAIKAN KUALITAS CITRA SATELIT LANDSAT

## SINGULAR VALUE DECOMPOSITION AND DISCRETE COSINE TRANSFORM APPLICATION FOR LANDSAT SATELLITE IMAGE ENHANCEMENT

Yori Kurniasari\*, Karyati

Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

\*email korespondensi: [yori.kurniasari@gmail.com](mailto:yori.kurniasari@gmail.com)

### Abstrak

Citra Landsat (*land satellite*) merupakan data citra area daratan dan lautan di bumi. Data citra tersebut tersedia dalam Sistem Informasi Geografis (SIG). Banyaknya aplikasi SIG menyebabkan adanya perbedaan kualitas citra satelit Landsat. Buruknya kualitas citra satelit yang diperoleh dapat menyulitkan pihak yang membutuhkan letak geografis dengan jelas. Oleh sebab itu, perlu dilakukan perbaikan kualitas suatu citra satelit. Pada penelitian ini digunakan dua tahapan metode yaitu transformasi kosinus diskrit dan dekomposisi nilai singular. Tahapan pertama dengan transformasi kosinus diskrit yang bertujuan untuk mengurangi gangguan dasar citra dengan membaginya menjadi beberapa komponen dasar. Tahapan kedua dengan dekomposisi nilai singular yang merupakan metode untuk mengekspos struktur citra sehingga dapat diketahui beberapa properti penting dari suatu matriks. Dengan kedua tahapan tersebut, dapat dilakukan proses perhitungan secara matematis dan aplikatif dalam proses perbaikan kualitas citra satelit. Hasil akhir dari penelitian ini berupa aplikasi perbaikan kualitas citra satelit Landsat.

Kata kunci: kualitas citra, citra Landsat, transformasi kosinus diskrit, dekomposisi nilai singular

### Abstract

*Landsat (land satellite) image is Earth's land and ocean image data. Those image data are available in Geographic Information System (GIS). The plenty number of GIS applications cause differences in the quality of Landsat image. The poor quality of satellite image obtained can disorient someone who need a clear geographical position. Therefore, it is necessary to do satellite image enhancement. In this study, two phases of method are used, which are discrete cosine transform and singular value decomposition. The first phase is discrete cosine transform which reduces basic image disorders by dividing them into several basic components. The second phase is singular value decomposition which is a method to expose image structure so that important properties from a matrix can be known. With those two phases, a mathematical calculation process can be performed in the process of improving the quality of satellite imagery. The final result of this research is an application for Landsat satellite image enhancement.*

Keywords: image enhancement, Landsat image, discrete cosine transform, singular value decomposition

### Pendahuluan

Citra satelit merupakan suatu citra yang diperoleh dengan peralatan sensor yang dibawa oleh pesawat satelit atau biasa disebut dengan penginderaan jauh. Citra satelit ditujukan untuk dapat memetakan dan menjelaskan tentang fenomena-fenomena alam yang terjadi di permukaan bumi, seperti perkembangan dan kondisi pemukiman, kerusakan hutan, pengembangan pertanian, dan kelautan [1]. Salah satu jenis citra satelit yang tersedia adalah citra satelit Landsat (*land satellite*). Landsat merupakan citra satelit yang berupa citra daratan dan lautan di bumi atau sebagai pemantau bumi sejak tahun 1972 [2]. Data citra satelit Landsat tersedia dalam Sistem Informasi Geografis (SIG).

Pengintegrasian berbagai operasi basis data seperti *query*, analisis, dan menampilkannya dalam pemetaan berdasarkan letak geografis merupakan kemampuan dasar SIG [3]. Beberapa aplikasi yang menyediakan sistem informasi tersebut yaitu *Google Earth*, SAS Planet, ArcGIS, dan QGIS. Perbedaan pada aplikasi SIG bergantung pada teknik penginderaan jauh untuk mengambil citra satelit pada setiap aplikasi. SAS Planet merupakan salah satu aplikasi pengambilan data citra satelit yang menghasilkan kualitas citra yang rendah. Aplikasi ini digunakan untuk mengunduh citra pada Google Map dan Open Street Map [3]. Kualitas citra yang rendah dapat mengurangi fungsi citra satelit sebagai penunjuk titik lokasi geografis. Hal ini dapat menyulitkan penentuan lokasi geografis dengan jelas.

Karena adanya hal tersebut, maka perlu dilakukan perbaikan kualitas suatu citra. Demirel [4] melakukan penelitian tentang perbaikan kualitas citra berbasis dekomposisi nilai singular dan memperoleh kesimpulan bahwa dekomposisi nilai singular merupakan penggabungan antara dekomposisi nilai pemerataan citra dan pemerataan histogram pada citra keabuan. Kekurangan dari metode tersebut yaitu dapat terjadi hilangnya beberapa informasi dari beberapa piksel. Kemudian Demirel [5] melakukan perbaikan kontras citra satelit dengan transformasi wavelet diskrit dan dekomposisi nilai singular. Pada penelitian tersebut hanya dapat dilakukan uji menggunakan *input* data citra berkualitas rendah yang memiliki nilai frekuensi yang rendah juga atau dikenal dengan istilah *low-low* (LL) pada suatu citra. Tujuan pada penelitian tersebut yaitu menekan *noise* atau gangguan pada citra sehingga dapat memudahkan detail pada citra. Ashish [6] meneliti tentang perbaikan kualitas citra satelit dengan transformasi kosinus diskrit dan dekomposisi nilai singular.

Dengan menunjukkan beberapa perbandingan visual citra beserta histogramnya dari hasil olahan citra maka penelitian tersebut menyimpulkan bahwa metode transformasi kosinus diskrit dan dekomposisi nilai singular lebih baik dibandingkan metode pemerataan histogram saja, koreksi gamma, dan metode penggabungan antara transformasi wavelet diskrit dengan dekomposisi nilai singular. Hartono dan Lusia [7] menganalisa teknik pemerataan histogram adaptif dan perenggangan kontras untuk perbaikan kualitas citra. Pada penelitian tersebut disimpulkan bahwa kedua metode tersebut sebaiknya digunakan sebagai pra proses dalam perbaikan kualitas citra karena belum dapat ditentukan secara signifikan perbandingan visual citra dengan menggunakan kedua metode tersebut. Sajati [8] juga melakukan analisis perbaikan kualitas citra dengan menggunakan metode median filter dengan penyeleksian nilai piksel.

Kelemahan pada penelitian tersebut yaitu dibutuhkan komputasi yang tinggi dan waktu pemrosesan yang lama untuk mendapatkan citra berkualitas baik. Beberapa penelitian tersebut tidak menyertakan perhitungan matematis sebagai dasar pemahaman algoritma dari beberapa metode yang telah disebutkan. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, perbaikan kualitas citra dilakukan dengan menggunakan dekomposisi nilai singular dan transformasi kosinus diskrit yang menyertakan pemerataan histogram sebagai pra pemrosesan pada perbaikan kualitas citra.

Dekomposisi nilai singular merupakan salah satu metode yang diperoleh dari ilmu aljabar linear [9]. Metode tersebut merupakan metode yang handal dalam perhitungan dan analisis matriks yang membutuhkan proses komputasi, yaitu dengan mengekspos struktur geometrinya sehingga dapat diketahui beberapa properti penting dari suatu matriks. Matriks yang direpresentasikan akan didekomposisi menjadi tiga komponen matriks, yaitu matriks vektor singular kiri, matriks nilai singular, dan matriks vektor singular kanan [10]. Metode kedua dengan menggunakan transformasi kosinus diskrit meliputi himpunan vektor dasar seperti fungsi kosinus yang dikembangkan pada tahun 1974 [11]. Tujuan dari metode tersebut untuk melakukan proses transformasi dari suatu citra menjadi beberapa bagian komponen dasar [12].

Oleh sebab itu, proses perbaikan kualitas citra satelit dapat dilakukan dengan melibatkan kedua metode tersebut. Tahapan pertama menggunakan transformasi kosinus diskrit untuk membagi citra menjadi beberapa bagian yang kemudian diekstrak menjadi suatu matriks. Langkah selanjutnya menginterpretasikan matriks dan menganalisisnya dengan metode dekomposisi nilai singular. Proses perbaikan kualitas citra satelit masih dalam proses matematis dengan tujuan sebagai dasar pemahaman algoritma dalam perbaikan kualitas citra. Proses komputasi dilakukan pada perbaikan kualitas citra satelit yang bertujuan supaya dapat dimanfaatkan dan dimengerti banyak pihak. Adanya visualisasi proses perbaikan kualitas citra satelit mempermudah masyarakat untuk memperbaiki suatu citra satelit. Jadi dengan penelitian ini diharapkan dapat dilakukan proses perbaikan citra satelit Landsat melalui proses matematis yang dapat diterapkan pada aplikasi.

## Metode Penelitian

### Subjek Penelitian

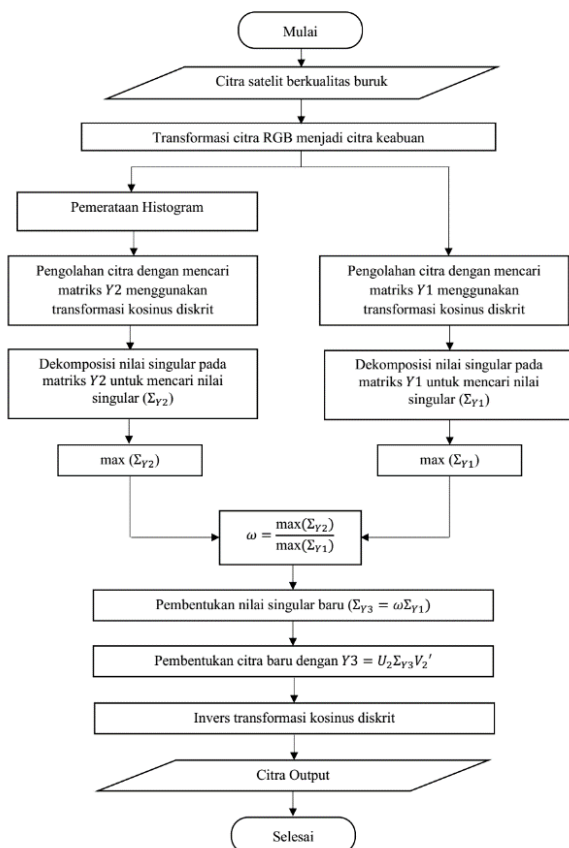
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Subjek penelitian ini berupa data citra yang diambil pada tanggal 5 Februari 2020 melalui *software* SAS Planet. Dari beberapa sumber citra satelit yang terdapat pada *software* ini, data citra ini diunduh dari sumber citra satelit "*Bing Maps – satellite*". *File* data citra diberi nama 'satelit gor uny siku.jpg' dan disimpan pada *folder* penyimpanan. *File* tersebut memiliki ekstensi *.jpg* yang berbentuk persegi dan memiliki ukuran  $267 \times 267$  piksel. Data citra tersebut berupa citra berwarna RGB (*red, green, blue*).

**Instrumen Penelitian**

Instrumen yang digunakan pada penelitian ini berupa perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Perangkat lunak yang digunakan yaitu SAS Planet dan MATLAB. SAS Planet merupakan salah satu *software* yang berupa sistem informasi geografis yang bertujuan untuk memperoleh citra satelit Landsat (*land satellite*) dengan kualitas citra yang masih buruk. Sedangkan MATLAB merupakan *software* untuk mengolah citra satelit tersebut dengan metode transformasi kosinus diskrit dan dekomposisi nilai singular yang berikutnya akan ditampilkan dalam GUI MATLAB. Selain perangkat lunak yang dibutuhkan, perangkat keras juga diperlukan seperti laptop ataupun *personal computer* yang memiliki spesifikasi tinggi.

**Teknik Analisis Data**

Secara singkat, proses perbaikan kualitas citra satelit dengan transformasi kosinus diskrit dan dekomposisi nilai singular ditunjukkan pada *flowchart* atau diagram algoritma pada Gambar 1.



**Gambar 1.** *Flowchart* aplikasi perbaikan kualitas citra satelit

**Hasil dan Pembahasan**

**Objek Penelitian**

Citra satelit pada Gambar 2 berikut memiliki ukuran 267×267 piksel dengan susunan komponen warna RGB (*Red, Green, dan Blue*) pada setiap pikselnya.



**Gambar 2.** Data citra yang diuji

Citra pada Gambar 2 memiliki kualitas yang buruk dari segi kontras, kecerahan, dan ketajaman. Oleh sebab itu, perlu dilakukan proses perbaikan kualitas citra satelit dengan beberapa tahapan, seperti transformasi citra RGB menjadi keabuan, pemerataan histogram, transformasi kosinus diskrit, dekomposisi nilai singular, dan invers transformasi kosinus diskrit secara matematis dan komputasi. Kemudian akan ditunjukkan juga data citra yang diolah menggunakan aplikasi perbaikan kualitas citra yang menerapkan langkah-langkah seperti proses perhitungan matematis tersebut.

**Representasi Citra pada Matriks**

Untuk mempermudah analisis perhitungan, maka susunan piksel pada Gambar 2 dibagi menjadi susunan blok-blok yang berukuran 8×8. Pada kasus ini, blok yang diambil yaitu pada baris 141 sampai dengan 148 dan kolom ke-117 sampai kolom ke-124 yang disajikan pada Gambar 3.

R:130 G:129 B:137	R:142 G:141 B:147	R:144 G:141 B:148	R:159 G:157 B:162	R:131 G:126 B:132	R:128 G:121 B:128	R:139 G:129 B:137	R:137 G:126 B:134
R:130 G:130 B:141	R:147 G:144 B:153	R:154 G:151 B:158	R:140 G:133 B:141	R:133 G:123 B:131	R:121 G:110 B:118	R:129 G:116 B:125	R:128 G:113 B:120
R:122 G:119 B:130	R:144 G:138 B:148	R:160 G:153 B:161	R:150 G:140 B:149	R:138 G:125 B:134	R:133 G:118 B:125	R:135 G:118 B:125	R:143 G:123 B:132
R:143 G:137 B:151	R:147 G:139 B:150	R:134 G:124 B:135	R:139 G:126 B:135	R:133 G:116 B:124	R:146 G:126 B:135	R:150 G:127 B:137	R:169 G:143 B:152
R:137 G:129 B:144	R:131 G:119 B:131	R:142 G:126 B:141	R:135 G:119 B:129	R:153 G:132 B:141	R:155 G:132 B:140	R:160 G:133 B:142	R:164 G:134 B:144
R:139 G:127 B:141	R:133 G:119 B:132	R:144 G:126 B:138	R:149 G:129 B:140	R:159 G:133 B:144	R:159 G:132 B:141	R:161 G:131 B:141	R:162 G:131 B:139
R:138 G:124 B:139	R:144 G:126 B:140	R:149 G:127 B:140	R:168 G:142 B:153	R:163 G:136 B:145	R:164 G:133 B:141	R:162 G:131 B:139	R:161 G:128 B:137
R:132 G:114 B:124	R:152 G:130 B:143	R:153 G:127 B:140	R:173 G:143 B:155	R:166 G:135 B:143	R:166 G:133 B:142	R:164 G:131 B:140	R:164 G:128 B:138

**Gambar 3.** Susunan piksel RGB

### Transformasi Citra RGB ke Citra Keabuan

Citra RGB (*red, green, blue*) dapat disebut dengan istilah citra berwarna karena setiap pikselnya mengandung tiga komponen warna, yaitu merah, hijau, dan biru. Sedangkan citra keabuan yaitu citra yang mengandung komponen derajat keabuan pada setiap pikselnya. Salah satu operasi yang dapat dilakukan dalam perbaikan kualitas citra yaitu perbaikan kontras dan kecerahan yang membutuhkan derajat keabuan suatu citra. Susunan piksel RGB pada Gambar 3 ditransformasi menjadi piksel keabuan yang ditunjukkan pada Gambar 4.

130	142	143	158	128	124	133	130
132	146	153	136	127	114	121	118
121	141	156	144	130	123	124	130
140	143	128	131	122	133	135	152
133	124	134	125	139	140	142	144
132	125	133	136	142	141	141	141
130	133	135	151	145	143	141	139
121	138	136	153	145	144	142	140

**Gambar 4.** Susunan piksel keabuan

### Pemerataan Histogram

Setiap citra pasti memiliki histogram. Histogram pada citra yaitu tampilan grafis dari tabulasi frekuensi derajat keabuan ataupun komponen penyusun piksel pada citra yang dapat memberikan informasi tentang penyebaran intensitas piksel-piksel di dalam citra. Misalnya, citra yang terlalu terang atau terlalu gelap memiliki histogram yang sempit. Pemerataan histogram merupakan teknik yang digunakan untuk memperoleh penyebaran histogram yang merata, sedemikian sehingga setiap derajat keabuan memiliki jumlah piksel yang relatif sama. Dengan demikian maka dapat diperoleh citra yang lebih baik. Karena histogram menyatakan peluang piksel dengan derajat keabuan tertentu, maka persamaan untuk menghitung histogram ditulis kembali sebagai fungsi peluang seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1) berikut.

$$P_r(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad (1)$$

yang dalam hal ini,

$$r_k = \frac{k}{L-1}, \quad 0 \leq k \leq L-1 \quad (2)$$

yang memiliki arti, derajat keabuan ( $k$ ) dinormalkan terhadap derajat keabuan terbesar ( $L-1$ ). Nilai  $r_k = 0$  menyatakan hitam dan nilai  $r_k = 1$  menyatakan putih dalam skala keabuan yang didefinisikan [13]. Pada penerapan pemerataan histogram untuk mentransformasi sebuah citra dilakukan perhitungan dalam bentuk diskrit yang ditunjukkan pada persamaan (3).

$$s_k = \sum_{k=0}^j \frac{n_k}{n} = \sum_{k=0}^j P_r(r_k) \quad (3)$$

dengan  $0 \leq r_k \leq 1, k = 0, 1, 2, \dots, L-1$ .

Pada Gambar 4, matriks berukuran  $8 \times 8$  dengan jumlah derajat keabuan ( $L$ ) adalah 8 sehingga jumlah seluruh piksel adalah 64. Matriks pada pemerataan histogram ini dinamakan matriks  $I_{GHE}$ . Dengan melihat perbedaan jauh nilai-nilai piksel pada matriks  $I$  maka citra ini akan menjadi pembandingan terhadap citra keabuan asli. Kemudian kedua citra tersebut diolah secara bersamaan menggunakan transformasi kosinus diskrit dan dekomposisi nilai singular untuk menentukan koefisien nilai singular pada citra akhir hasil perbaikan.

### Transformasi Kosinus Diskrit

Transformasi kosinus diskrit merupakan tahapan mengubah data masukan ke dalam format untuk mengurangi gangguan interpiksel pada citra masukan. Gangguan interpiksel pada citra masukan dapat berupa pengaburan citra. Transformasi tersebut merupakan tahapan untuk mengubah data input ke dalam format untuk mengurangi redundansi atau gangguan antar piksel pada citra masukan. Cara kerja dari metode ini dengan membagi suatu citra menjadi beberapa bagian frekuensi yang berbeda-beda. Langkah-langkah yang perlu dilakukan pada transformasi kosinus diskrit yaitu sebagai berikut [14].

1. Data matriks original dikurangi 128, karena algoritma pada transformasi ini bekerja pada rentang -128 sampai 127 sesuai dengan ketentuan pengolahan citra digital.
2. Menghitung matriks  $T$  dan matriks transposenya sebagai komponen matriks transformasi kosinus diskrit yang merupakan elemen matriks kernel seperti pada persamaan (4) berikut.

$$T(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}} \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cos \frac{(2j+1)i\pi}{2N} \end{cases} \quad (4)$$

3. Menghitung matriks hasil transformasi kosinus diskrit menggunakan persamaan (5) berikut.

$$Y = TMT^t \quad (5)$$

Tahapan ini berlaku untuk citra keabuan asli yang direpresentasikan dengan matriks  $I$  dan citra pemerataan histogram yang direpresentasikan dengan matriks  $I_{GHE}$ . Matriks hasil perhitungan dengan transformasi kosinus diskrit yaitu matriks  $Y1$  untuk citra keabuan asli dan matriks  $Y2$  untuk citra pemerataan histogram.

#### Dekomposisi Nilai Singular

Proses pengolahan selanjutnya dengan mencari nilai singular pada kedua matriks menggunakan dekomposisi nilai singular. Dekomposisi nilai singular merupakan salah satu cara untuk menyatakan *Principal Component Analysis* (PCA) [15]. Jika  $A$  merupakan matriks  $m \times n$  dengan rank  $r$ , maka terdapat matriks  $\Sigma$  yang entri-entri dalam matriksnya adalah matriks diagonal  $D$  yang merupakan nilai singular pertama  $r$  pada  $A$ ,  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_r$ , dan terdapat matriks orthogonal  $U$  berukuran  $m \times m$  dan matriks orthogonal  $V$  berukuran  $n \times n$  seperti yang ditunjukkan pada persamaan (6) berikut [16].

$$A = U \Sigma V^T \quad (6)$$

Untuk dapat mempermudah proses perhitungan dekomposisi nilai singular pada matriks-matriks tersebut digunakan *script* MATLAB yaitu  $[U, S, V] = \text{svd}(Y)$ . Simbol  $S$  pada *script* MATLAB tersebut menunjukkan nilai singular pada masing-masing matriks. Sedangkan simbol  $U$  dan  $V$  masing-masing menunjukkan nilai matriks orthogonal. Proses perhitungan dekomposisi nilai singular diterapkan pada citra keabuan asli dan citra hasil pemerataan histogram. Citra keabuan asli direpresentasikan dengan matriks  $Y1$  sehingga akan diperoleh matriks  $U_{Y1}$ ,  $\Sigma_{Y1}$ , dan  $V_{Y1}$ . Citra hasil pemerataan histogram direpresentasikan dengan matriks  $Y2$  sehingga akan diperoleh matriks  $U_{Y2}$ ,  $\Sigma_{Y2}$ , dan  $V_{Y2}$ .

Nilai singular pada matriks  $\Sigma_{Y1}$  dan matriks  $\Sigma_{Y2}$  masing-masing akan dicari nilai maksimumnya yang digunakan untuk mencari koefisien nilai singular yang dapat memperbaiki kualitas citra dari segi kontras dan kecerahan. Koefisien tersebut berguna untuk membentuk matriks baru  $Y3$  yang akan menjadi tahapan akhir sebelum dilakukan pengembalian frekuensi dengan invers transformasi kosinus diskrit.

#### Pembentukan Matriks Baru

Koefisien nilai singular matriks dapat memperbaiki kualitas citra serta membantu pembentukan matriks baru yaitu dengan

$$\omega = \frac{\max(\Sigma_{Y2})}{\max(\Sigma_{Y1})} \\ \omega = \frac{489,763}{86,262} = 5,6602$$

Nilai singular baru dapat dibentuk dengan mengalikan koefisien nilai singular matriks pada nilai singular matriks  $Y1$  seperti yang ditunjukkan pada persamaan (7) berikut.

$$\Sigma_{Y3} = \omega \Sigma_{Y1} \quad (7)$$

Pembentukan matriks baru sebelum dilakukan invers transformasi kosinus diskrit dapat ditunjukkan seperti persamaan (8) berikut [4].

$$Y3 = U_2 \Sigma_{Y3} V_2 \quad (8)$$

Matriks  $Y3$  merupakan matriks akhir pembentuk citra yang telah diperbaiki dan masih dalam frekuensi transformasi kosinus diskrit. Karena matriks  $Y3$  masih dalam frekuensi transformasi kosinus diskrit yang mengakibatkan citra belum sempurna, maka langkah terakhir yang perlu dilakukan untuk proses perbaikan kualitas citra satelit Landsat ini dengan invers transformasi kosinus diskrit.

#### Invers Transformasi Kosinus Diskrit

Proses terakhir yaitu proses untuk merekonstruksikan data hasil perbaikan citra menjadi data citra yang dapat dikenali dengan menggunakan invers transformasi kosinus diskrit. Langkah-langkah yang perlu dilakukan pada invers transformasi kosinus diskrit yaitu sebagai berikut.

1. Invers transformasi kosinus diskrit merupakan proses pengembalian frekuensi

sehingga dapat dihasilkan citra yang utuh. Karena tahap ini menggunakan persamaan (9) berikut.

$$IDCT_{Y_3} = T^{-1} \cdot Y_3 \cdot T \quad (9)$$

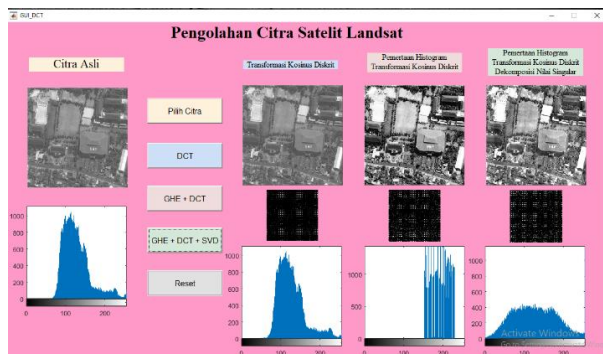
maka proses tersebut dilakukan menggunakan *software* MATLAB. Matriks  $T$  merupakan komponen transformasi kosinus diskrit sehingga digunakan kembali pada tahapan ini dengan invers matriks  $T$ . Invers matriks  $T$  diperoleh dengan menggunakan *script* “*inv(T)*” pada MATLAB.

2. Karena matriks  $IDCT_{Y_3}$  terdiri dari bilangan-bilangan yang tidak bulat, maka perlu dilakukan pembulatan. Hal tersebut perlu dilakukan karena piksel-piksel pada suatu citra hanya terdiri dari bilangan bulat.
3. Rentang setiap piksel citra pada Gambar 4 adalah 0 sampai dengan 255. Oleh sebab itu, hasil pembulatan tersebut perlu ditambahkan dengan 128 karena sebelumnya ketika tahapan transformasi kosinus diskrit dikurangi 128.

Matriks  $M_{baru}$  merupakan hasil akhir pembentuk citra yang telah diperbaiki. Demikian proses perhitungan matematis perbaikan kualitas citra satelit Landsat dengan dekomposisi nilai singular. Langkah selanjutnya akan ditampilkan hasil citra melalui proses komputasi yang berupa aplikasi.

*Tampilan Aplikasi Pengolahan Citra*

Setelah dilakukan analisis hitungan matematis, selanjutnya dikonstruksikan aplikasi dengan GUI untuk mempermudah pengguna dalam mengolah citra satelit secara komputasi dan menghasilkan tampilan yang lebih menarik. Rancangan akhir tampilan aplikasi pengolahan citra satelit Landsat ditampilkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Tampilan aplikasi pengolahan citra

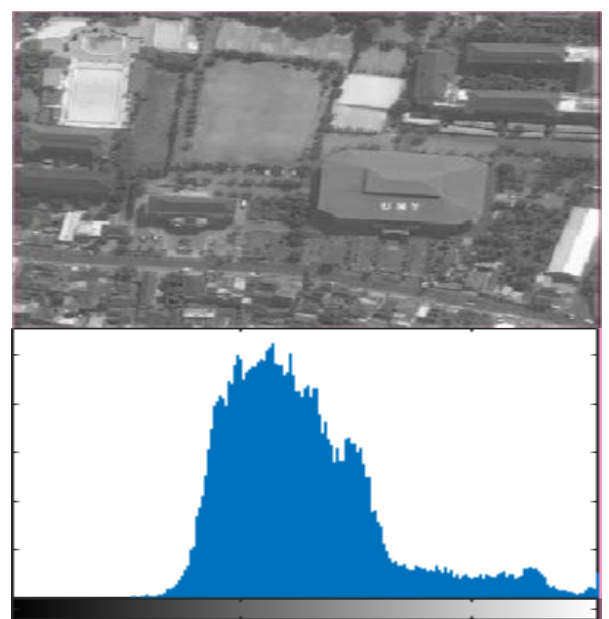
Penggunaan aplikasi pada Gambar 5 dilakukan untuk mengolah data citra pada Gambar 2 yang telah dilakukan analisis matematis. Hasil pengolahan citra pada Gambar 5 dengan menggunakan data citra pada Gambar 2 dibagi menjadi tiga tahapan yaitu sebagai berikut.

1. Hasil olahan dengan transformasi kosinus diskrit.
2. Hasil olahan dengan pemerataan histogram dan transformasi kosinus diskrit.
3. Hasil olahan dengan pemerataan histogram, transformasi kosinus diskrit, dan dekomposisi nilai singular.

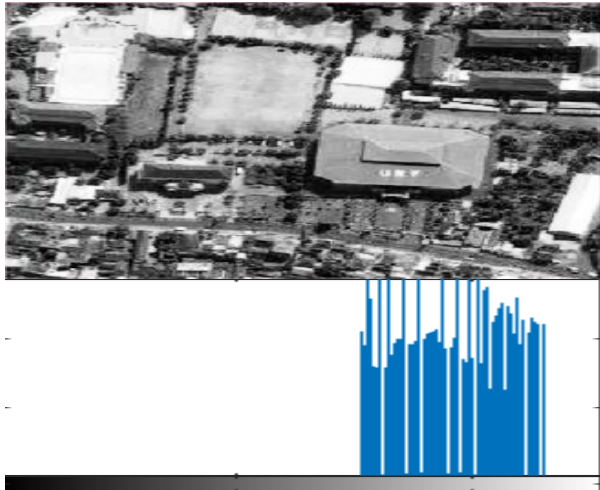
Macam-macam hasil pengolahan citra digital satelit Landsat tersebut bertujuan untuk dapat dilakukan perbandingan citra dengan berbagai macam tahapan pengolahan.

*Analisis Hasil Olahan Citra*

Hasil olahan citra dari Gambar 2 dengan menggunakan aplikasi pada Gambar 5 ditampilkan pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8. Hasil olahan-olahan citra pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 menunjukkan perubahan kualitas gambar yang berbeda-beda dan bertahap. Pada Gambar 6 yang merupakan hasil olahan dengan transformasi kosinus diskrit tidak menunjukkan perubahan apapun terhadap citra asli karena teknik ini hanya berfungsi untuk mengurangi gangguan pada saat pengolahan citra yang lebih lanjut. Histogram pada Gambar 6 berikut juga menunjukkan kemiripan dengan histogram citra asli pada Gambar 2.

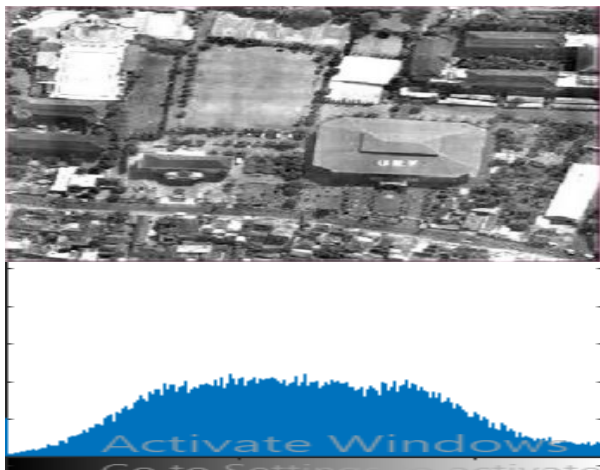


**Gambar 6.** Hasil olahan citra dan histogramnya apabila menekan tombol DCT



**Gambar 7.** Hasil olahan citra dan histogramnya apabila menekan tombol GHE+DCT

Hasil olahan pemerataan histogram dan transformasi kosinus diskrit yang ditunjukkan pada Gambar 7 memperlihatkan perubahan kualitas citra yang cukup signifikan yaitu terjadi penambahan kecerahan dan penajaman pada citra.



**Gambar 8.** Hasil olahan citra dan histogramnya apabila menekan tombol GHE+DCT+SVD

Gambar 8 merupakan hasil akhir dari seluruh proses perbaikan kualitas citra dengan transformasi kosinus diskrit dan dekomposisi nilai singular menampilkan perubahan citra dengan menambahkan tingkat kontras pada langkah sebelumnya yaitu citra pada Gambar 7. Histogram pada Gambar 8 menunjukkan histogram yang rentang frekuensinya lebih luas daripada histogram citra asli pada Gambar 2. Hal ini membuktikan dengan menggunakan metode transformasi kosinus diskrit dan dekomposisi nilai singular dapat dilakukan perbaikan kualitas citra dalam perbaikan kontras, kecerahan, dan ketajaman citra satelit.

## Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut.

1. Transformasi kosinus diskrit merupakan metode transformasi himpunan vektor dasar dengan fungsi kosinus. Metode ini dapat digunakan untuk menganalisis sinyal dua dimensi pada citra. Transformasi tersebut merupakan tahapan untuk mengubah data input ke dalam format untuk mengurangi redundansi atau gangguan antar piksel pada citra masukan. Cara kerja dari metode ini dengan membagi suatu citra menjadi beberapa bagian frekuensi yang berbeda-beda. Langkah-langkah yang dilakukan untuk menerapkan transformasi kosinus diskrit dalam proses perbaikan kualitas suatu citra yaitu dengan mengurangi data matriks original dengan 128, karena algoritma pada metode ini bekerja pada rentang -128 sampai 127 sesuai dengan ketentuan pengolahan citra digital. Langkah berikutnya adalah mencari setiap nilai pada matriks di citra sesuai dengan rumus yang terdapat pada definisi transformasi kosinus diskrit. Kemudian dihitung matriks transformasi kosinus diskrit dengan mengalikan matriks yang telah hitung dengan matriks asli dan matriks transposenya. Hasil dari perhitungan masih berada pada frekuensi tertentu. Untuk mengembalikan pada frekuensi citra yang seharusnya, maka dilakukan invers transformasi kosinus diskrit.
2. Dekomposisi nilai singular merupakan metode pada ilmu aljabar. Metode ini merupakan salah satu cara untuk menyatakan PCA (*Principal Component Analysis*). Tujuan metode ini untuk mengekspos struktur citra sehingga dapat diketahui beberapa properti penting dari suatu matriks. Properti penting suatu matriks tersebut meliputi matriks vektor kiri, matriks nilai singular, dan matriks vektor kanan. Tahapan yang diperlukan untuk menerapkan dekomposisi nilai singular pada proses perbaikan kualitas suatu citra yaitu dengan merepresentasikan suatu citra pada matriks kemudian menganalisisnya dengan membaginya ke dalam beberapa properti penting pada suatu matriks. Kemudian mengalikan matriks nilai singularnya dengan suatu koefisien yang dapat menambah kontras dan kecerahan suatu matriks sehingga dihasilkan suatu cerita dengan perbaikan kualitas kontras dan kecerahannya.

3. Dengan menggabungkan kedua metode tersebut, yaitu transformasi kosinus diskrit dan dekomposisi nilai singular maka dapat diperbaiki kualitas suatu citra satelit Landsat. Aplikasi tersebut disajikan pada GUI Matlab untuk mempermudah pengguna dalam mengolah citra satelit secara komputasi dan menghasilkan tampilan yang lebih menarik. Hasil pengolahan citra pada aplikasi tersebut dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:
  - a. Hasil olahan dengan transformasi kosinus diskrit.
  - b. Hasil olahan dengan pemerataan histogram dan transformasi kosinus diskrit.
  - c. Hasil olahan dengan pemerataan histogram, transformasi kosinus diskrit, dan dekomposisi nilai singular.

Macam-macam hasil pengolahan citra digital satelit Landsat tersebut bertujuan untuk dapat dilakukan perbandingan citra dengan berbagai macam pengolahan. Hasil penelitian ini belum sepenuhnya dapat digunakan untuk perbaikan kualitas suatu citra Landsat karena masih terdapat beberapa operasi perbaikan kualitas citra yang digunakan pada aplikasi ini seperti perbaikan tepian objek. Objek pada penelitian ini dapat diperluas dengan menggunakan citra satelit yang berwarna. Beberapa metode yang lain juga dapat digunakan untuk dapat memperbaiki kualitas suatu citra satelit, seperti transformasi wavelet diskrit, dan transformasi Fourier. Pengembangan tersebut perlu dilakukan untuk dapat menghasilkan aplikasi perbaikan kualitas citra satelit Landsat yang lebih efektif dan efisien.

#### Daftar Pustaka

- [1] Suwargana, N. (2013). Resolusi spasial, temporal, dan spektral pada citra satelit landsat, spot, dan ikonos. *Jurnal Ilmiah WIDYA*, 1(2), 167-174.
- [2] Yanuar, R. C., Hanintyo, R., & Muzaki, A. A. (2018). Penentuan jenis citra satelit dalam interpretasi luasan ekosistem lamun menggunakan pengolahan algoritma cahaya tampak. *Geomatika*, 23(2), 75-86.
- [3] Brillianto, E., Suprayogi, A., & Yuwono, A. B. D. (2018). Aplikasi peta wisata berbasis mobile GIS pada smartphone android (Studi kasus Desa Guci, Kabupaten Tegal). *Jurnal Geodesi UNDIP*, 7(4), 98-106.
- [4] Demirel, H., Abarjafari, G., & Jahromi, M. N. (2008). Image equalization based on singular value decomposition. *IEEE*.
- [5] Demirel, H., Ozcinar, C., & Anbarjafari, G. (2010). Satellite image contrast enhancement using discrete wavelet transform and singular value decomposition. *IEEE Geoscience and Remote Sensing*, 7(2), 333-337.
- [6] Ashish, B., Kumar, A., & Padhy, P. (2011). Satellite image processing using discrete cosine transform and singular value decomposition. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 277-290.
- [7] Hartono, B., & Lusiana, V. (2014). Analisa teknik adaptive histogram equalization dan contrast stretching untuk perbaikan kualitas citra. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*, 19(1), 1-10.
- [8] Sajati, H. (2018). Analisis kualitas perbaikan citra menggunakan metode median filter dengan penyeleksian nilai pixel. *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi ANGKASA*, 10(1), 41-48.
- [9] Sulaiman, S., & Agoes, S. (2017). Analisis reduksi data citra menggunakan metode dekomposisi nilai singular. *CITEE*, 5(1), 21-25.
- [10] Adiwijaya, Suryandari, D., & Yulianto, F. (2009). dekomposisi nilai singular dan discrete fourier transform untuk noise filtering pada citra digital. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi*, (hal. 47-51).
- [11] Bindu, H., & Sugumaran, V. (2019). Multimodal medical image fusion with multi resolution discrete cosine transform. *Springer Nature Switzerland*, 8(1), 216-222.
- [12] Hidayat, E. Y., Firdausillah, F., & Hastuti, K. (2015). Sistem legalisir ijasah online berbasis QR code dan watermarking. *Techno COM*, 14(1), 13-24.
- [13] Munir, R. (2004). *Pengolahan citra digital dengan pendekatan algoritmik*. Informatika.
- [14] Kasmala, R., Purba, A. B., & Lenggana, U. T. (2017). Kompresi citra dengan menggabungkan metode discrete cosine transform (DCT) dan algoritma Huffman. *JOIN*, 2(1), 1-9.
- [15] Abdi, H., & Williams, L. J. (2010). *Principal component analysis*. John Wiley & Sons. Inc.
- [16] Kolman, B. K., & Hill, D. R. (2008). *Elementary linear algebra with applications (Ninth edition)*. Pearson Education.



# PENGARUH KONSENTRASI HCl TERHADAP MIKROSTRUKTUR DAN SIFAT KEMAGNETAN NANOPARTIKEL $Fe_3O_4$ YANG DISINTESIS DARI PASIR BESI PANTAI GLAGAH KULONPROGO

## *EFFECT OF HCl CONCENTRATION ON MICROSTRUCTURE AND MAGNETIC PROPERTIES OF $Fe_3O_4$ NANOPARTICLES SYNTHESIZED FROM IRON SAND IN GLAGAH BEACH KULONPROGO*

**Pinaka Elda Swastika<sup>\*</sup>, Farida Hardheyanti, Rita Prasetyowati, Ariswan, Warsono**

*Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia*

\*email korespondensi: [pinakaelda@uny.ac.id](mailto:pinakaelda@uny.ac.id)

### Abstrak

Nanopartikel  $Fe_3O_4$  yang berasal dari pasir besi Pantai Glagah Kulon Progo telah berhasil disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan berbagai variasi konsentrasi HCl (10%, 15%, 25%, dan 37%). Pengaruh konsentrasi HCl terhadap mikrostruktur dan sifat kemagnetan dari  $Fe_3O_4$  dilihat menggunakan XRD, SEM & EDX serta VSM. Hasil XRD menunjukkan bahwa  $Fe_3O_4$  yang dihasilkan memiliki struktur kristal kubik invers spinel. Semakin besar konsentrasi HCl, semakin baik derajat kristalinitasnya. Hasil SEM & EDX untuk sampel  $Fe_3O_4$  dengan konsentrasi HCl 37% menunjukkan ukuran butir (*grain*) yang hampir sama serta tingkat kemurnian sampel  $Fe_3O_4$  yang dihasilkan sebesar 100% (Fe 72,42% dan O 27,58%). Hasil VSM menunjukkan  $Fe_3O_4$  hasil sintesis memiliki sifat superparamagnetik serta bersifat *soft magnetic*. Nanopartikel  $Fe_3O_4$  dengan konsentrasi HCl 25% memiliki  $H_c$ ,  $M_r$  dan  $M_{max}$  masing-masing sebesar 0,0215 T, 11,60 emu/gr dan 36,51 emu/gr. Sedangkan Nanopartikel  $Fe_3O_4$  dengan konsentrasi HCl 37% memiliki  $H_c$  dan  $M_r$  yang lebih kecil yaitu masing-masing sebesar 0,0017 T dan 10,83 emu/gr serta  $M_{max}$  yang lebih besar yaitu 36,82 emu/gr.

Kata kunci:  $Fe_3O_4$ , HCl, kopresipitasi, pasir besi

### Abstract

*Iron oxide ( $Fe_3O_4$ ) nanoparticles had been successfully synthesized from natural iron sand of Glagah Beach Kulon Progo, by using co-precipitation method with variation of HCl concentration (10%, 15%, 25% and 37%). The effect of HCl concentration on the microstructure and magnetic properties of  $Fe_3O_4$  was carried out using XRD, SEM-EDX and VSM. The XRD patterns showed that the  $Fe_3O_4$  nanoparticles sample had invers spinel structure and the degree of crystallinity increased with increasing HCl concentration. The sample with 37% of HCl concentration contains 72,42% Fe and 27,58% O with homogeneous grain size. Hysteresis loop showed that the  $Fe_3O_4$  sample exhibited soft magnetic behavior.  $M_{max}$ ,  $H_c$ , and  $M_r$  of  $Fe_3O_4$  nanoparticles with 25% HCl concentration were 0,0215 T, 11,60 emu/gr, and 36,51 emu/gr, respectively. While  $M_{max}$ ,  $H_c$  and  $M_r$  of  $Fe_3O_4$  nanoparticles with 37% HCl concentration were 0,0017 T, 10,83 emu/gr and 36,82 emu/gr, respectively.*

*Keywords:  $Fe_3O_4$ , HCl, co-precipitation, natural iron sand*

### Pendahuluan

Nanopartikel  $Fe_3O_4$  menarik perhatian untuk diteliti baik karena sifat magnetiknya ataupun karena potensinya dalam berbagai aplikasi seperti media penyimpanan data, nanokatalis, *biosensing* [1], *drug delivery*, dan *MRI contrast agent* [2]. Selain itu, dalam bidang elektronik dan instrumentasi,  $Fe_3O_4$  digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan kumparan konduktor, *electromagnetic wave coating materials*, dan penyerap gelombang mikro [3]. Sifat nanopartikel  $Fe_3O_4$  dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti mikrostruktur, morfologi, dan ukuran partikel [4].

Mikrostruktur melingkupi struktur kristal, parameter kisi, densitas kristal, dan berbagai fasa yang terbentuk. Mikrostruktur ini dipengaruhi juga oleh metode sintesis, bahan baku, suhu sintesis, konsentrasi prekursor dan presipitan serta *treatment* panas seperti *annealing* dan kalsinasi [5]. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mensintesis  $Fe_3O_4$  antara lain metode kopresipitasi, sol-gel, hidrotermal, dan dekomposisi termal [6]. Di antara metode tersebut, kopresipitasi banyak dipilih karena sederhana, dapat dilakukan pada suhu ruang [7], ukuran partikel yang dihasilkan homogen, dan memiliki kestabilan kimia yang baik [8].

Pada sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  menggunakan metode kopresipitasi, dibutuhkan prekursor sebagai penyedia ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$ . Prekursor ini biasanya berbentuk senyawa garam logam, contohnya  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  [9]. Prekursor ini dapat pula diganti dengan material alam seperti pasir besi yang mengandung ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$ . Beberapa penelitian telah berhasil mensintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan pasir besi sebagai bahan utamanya [9, 10]. Pada tahun 2019, Prasetyowati [11] telah berhasil melakukan sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dari pasir besi Pantai Glagah Kulonprogo menggunakan metode kopresipitasi.

Pantai di daerah Kulon Progo dipilih karena memiliki pasir besi yang berlimpah, namun belum dimanfaatkan secara optimal. Variasi yang dilakukan adalah variasi suhu dan lama pelarutan HCl. HCl ini berfungsi untuk melarutkan ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$  yang terkandung dalam pasir besi. Dari penelitian yang telah dilakukan, didapat hasil  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan kemurnian maksimum sebesar 84,29%. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan kemurnian  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Dalam penelitian ini dilakukan sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dari pasir besi Pantai Glagah Kulon Progo dengan memvariasi konsentrasi HCl dan melihat pengaruhnya terhadap mikrostruktur dan sifat kemagnetan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

## Metode Penelitian

### Sintesis Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Bahan utama sintesis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ini adalah ekstrak pasir besi yang diambil dari Pantai Glagah, Kulon Progo Yogyakarta. Metode kopresipitasi yang dilakukan terdiri dari 2 tahapan. Tahap pertama yaitu pelarutan ekstrak pasir besi menggunakan larutan HCl. Sebanyak 50 gram ekstrak pasir besi dilarutkan dalam larutan HCl dengan variasi konsentrasi sebesar 10% (176,44 ml), 15% (117,63 ml), 25% (70,58 ml), dan 37% (47,68 ml). Larutan diaduk selama 60 menit dengan suhu pelarutan 50 °C. Ekstrak pasir besi akan bereaksi dengan HCl sehingga terbentuk ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$ . Selanjutnya, 36,5 ml larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  25% ditambahkan secara perlahan ke dalam campuran tadi. Campuran akhir kemudian didiamkan selama 60 menit hingga terbentuk endapan. Endapan tersebut kemudian dicuci untuk menghilangkan sisa-sisa garam. Setelah itu, endapan dipanaskan selama 120 menit dengan suhu 200 °C untuk menghilangkan kadar air.

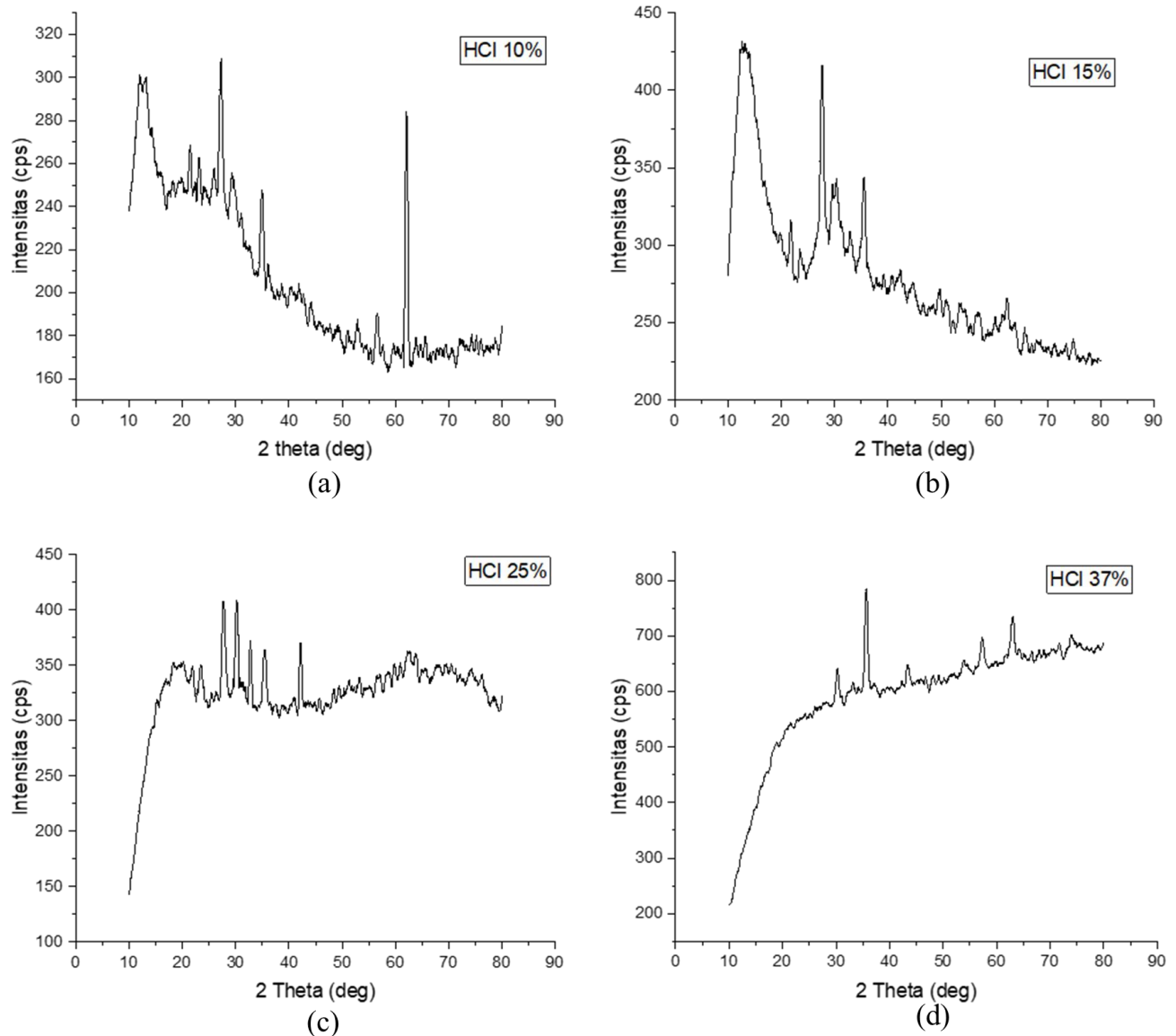
### Karakterisasi Nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Pengujian menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui informasi mengenai mikrostruktur dari nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  seperti struktur kristal dan parameter kisi. Struktur morfologi permukaan dan komposisi bahan kimia yang terkandung dalam sampel dikonfirmasi menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Sedangkan sifat kemagnetan dari nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dikarakterisasi menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM).

## Hasil dan Pembahasan

Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi menggunakan pasir besi dari Pantai Glagah Kulon Progo, Yogyakarta.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang terbentuk berupa serbuk berwarna hitam. Warna hitam ini menunjukkan bahwa material yang terbentuk didominasi oleh fasa magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) [12]. Gambar 1 menunjukkan hasil uji XRD berupa difraktogram dari nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sampel 1 (HCl 10%), sampel 2 (HCl 15%), sampel 3 (HCl 25%), dan sampel 4 (HCl 37%). Berdasarkan difraktogram tersebut, fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  telah terbentuk untuk semua sampel. Untuk sampel 1 dan 2, terbentuk tiga puncak utama yang merupakan puncak khas  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , yaitu pada  $2\theta = 30^\circ$ ,  $35^\circ$ , dan  $63^\circ$ . Begitu pula sampel 3, dengan puncak utama  $2\theta = 30^\circ$ ,  $35^\circ$ , dan  $42^\circ$ . Ketiga puncak ini secara berurutan menunjukkan bidang (220), (311), dan (440). Pada ketiga sampel ini, terbentuk pula fasa lain selain fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Hal ini ditunjukkan dengan adanya puncak difraksi selain puncak  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Puncak tersebut antara lain pada  $2\theta = 24^\circ$  dan  $27^\circ$  yang masing-masing menunjukkan fasa  $\alpha\text{-FeO(OH)}$  (*hematite*) dan  $\gamma\text{-FeO(OH)}$  (*maghemite*) [13,14].  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  merupakan material antiferromagnetik yang diprediksi muncul karena adanya proses oksidasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  [12]. Pada sampel 4, derajat kristalinitas dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang terbentuk semakin baik. Hal ini ditunjukkan dengan terbentuknya puncak khas  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang semakin banyak, yaitu pada  $2\theta = 30^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $43^\circ$ ,  $54^\circ$ ,  $57^\circ$ , dan  $63^\circ$ . Puncak-puncak ini masing-masing menunjukkan bidang (220), (311), (400), (422), (511), dan (440). Tidak terlihat lagi puncak difraksi dari fasa selain  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  atau dapat dikatakan 100% terbentuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Hal ini dikonfirmasi dengan hasil EDX pada Gambar 3.



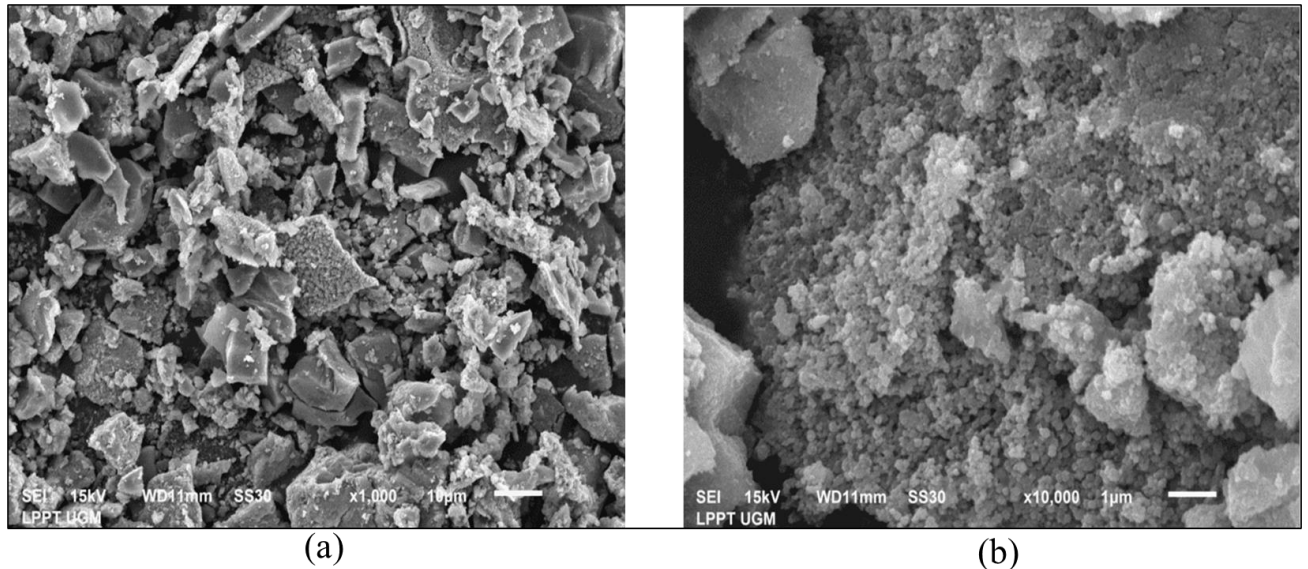
**Gambar 1.** Difraktogram nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3, dan (d) sampel 4

Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl, maka derajat kristalinitas dan tingkat kemurnian  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  semakin baik. Sesuai dengan *Joint Committee Powder Diffraction Standard* (JCPDS) no. 110614, sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang dihasilkan memiliki struktur kristal kubik invers spinel. Selanjutnya, dari hasil analisis XRD diperoleh nilai parameter kisi serta ukuran kristal seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Dari data tersebut, terlihat bahwa semakin besar konsentrasi HCl, nilai parameter kisinya semakin menurun. Sampel 2 dan sampel 4 menunjukkan nilai ukuran kristal yang lebih kecil. Ukuran yang semakin kecil akan meningkatkan intensitas sifat superparamagnetiknya [15]. Hal ini dikonfirmasi dengan hasil VSM pada Gambar 4.

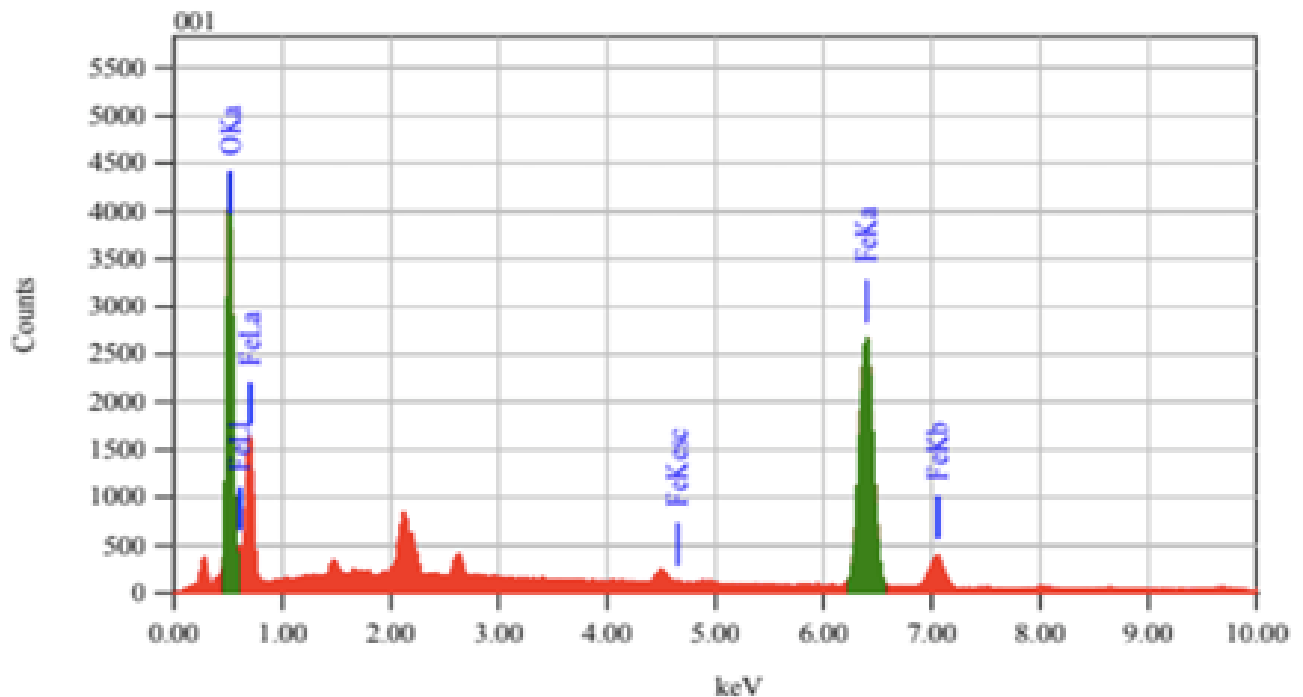
**Tabel 1.** Estimasi parameter kisi dan ukuran kristal sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Sampel	Konsentrasi HCl (%)	Parameter Kisi (Å)	Ukuran Kristal (nm)
1	10	8,4810	624
2	15	8,3985	22
3	25	8,3985	397
4	37	8,3740	72

Gambar 2 merupakan hasil SEM yang menunjukkan morfologi nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sampel 4. Sampel 4 dipilih karena berdasarkan hasil XRD, sampel ini memiliki intensitas tertinggi dengan parameter kisi dan struktur kristal yang paling sesuai dengan JCPDS.



**Gambar 2.** Foto SEM sampel 4 (nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan variasi konsentrasi HCl 37%) dengan (a) perbesaran 1000x dan (b) perbesaran 10000x

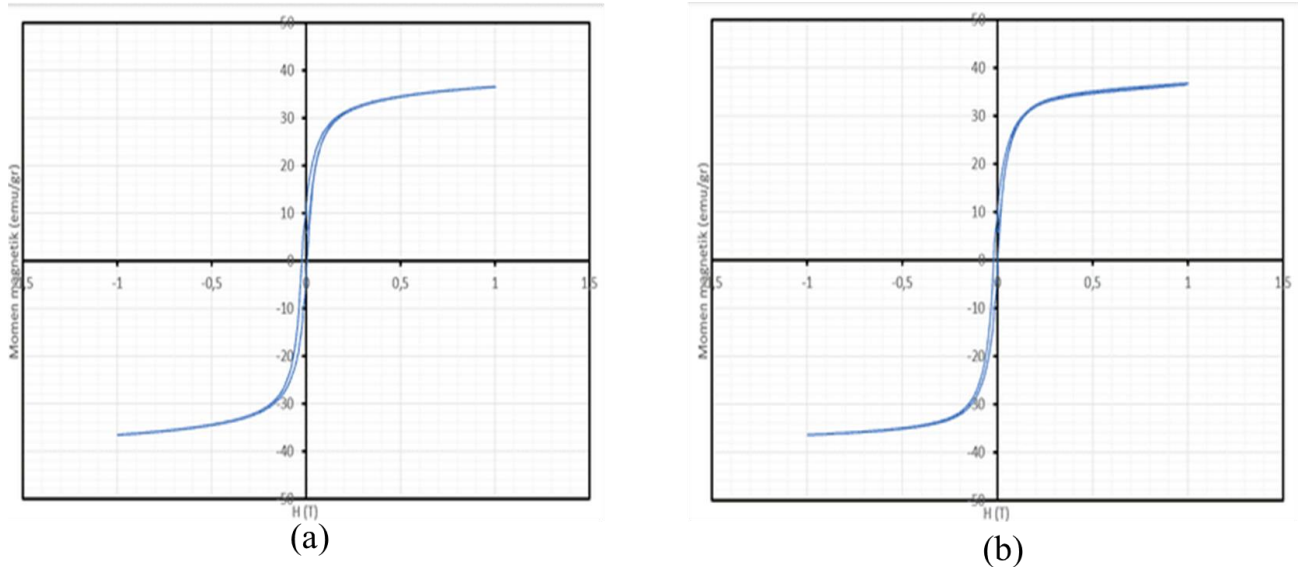


**Gambar 3.** Hasil EDX nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sampel 4 (nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  variasi konsentrasi HCl 37%)

Berdasarkan Gambar 2, terlihat  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang terbentuk sudah cukup homogen. Hal ini ditandai dengan terbentuknya butiran (*grain*) yang hampir sama. Berdasarkan hasil karakterisasi EDX pada Gambar 3, dapat diketahui komposisi bahan kimia dari sampel yang terbentuk terdiri dari unsur Fe sebanyak 72,42% dan unsur O sebanyak 27,58%. Gambar 4 menunjukkan hasil karakterisasi sifat kemagnetan menggunakan VSM. Pada medan eksternal ( $H$ ) 1 T, domain magnetik nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dari kedua sampel belum mengalami saturasi. Magnetisasi maksimum yang didapat saat

$H = 1$  T sebesar 36,51 emu/gr untuk sampel 3 dan 36,82 emu/gr untuk sampel 4.

Berdasarkan *hysteresis loop* pada Gambar 4, kedua sampel menunjukkan sifat superparamagnetik. Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sendiri memiliki kecenderungan untuk berubah menjadi material superparamagnetik ketika memiliki nilai koersivitas ( $H_c$ ) = 0. Sampel 4 memiliki intensitas sifat superparamagnetik yang lebih besar dibandingkan dengan sampel 3. Hal ini dibuktikan dengan nilai magnetisasi maksimum sampel 4 yang lebih besar dibandingkan dengan sampel 3.



**Gambar 4.** Kurva histerisis nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (a) sampel 3 dan (b) sampel 4

Selain itu, nilai  $H_c$  dan magnetisasi remanen ( $M_r$ ) sampel 4 lebih kecil dibandingkan dengan sampel 3. Sampel 3 memiliki  $H_c$  sebesar 0,0215 T dengan  $M_r$  sebesar 11,60 emu/gr. Sedangkan sampel 4 memiliki nilai  $H_c$  sebesar 0,0017 T dan  $M_r$  sebesar 10,83 emu/gr. Nilai koersivitas kedua sampel yang lebih kecil dari 0,03 T mengindikasikan bahwa nanopartikel tersebut bersifat *soft magnetic* [16].

### Kesimpulan

Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  telah berhasil disintesis dari pasir besi Pantai Glagah Kulon Progo dengan metode kopresipitasi. Sintesis dilakukan dengan memvariasi konsentrasi HCl. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi HCl, semakin baik derajat kristalinitasnya. Hasil SEM dan EDX untuk sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan konsentrasi HCl 37% menunjukkan ukuran butir (*grain*) yang hampir sama serta tingkat kemurnian sampel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang dihasilkan sebesar 100%. Hasil VSM menunjukkan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  hasil sintesis memiliki sifat superparamagnetik serta *soft magnetic*. Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan konsentrasi HCl 25% memiliki  $H_c$ ,  $M_r$  dan  $M_{max}$  masing-masing sebesar 0,0215 T, 11,60 emu/gr, dan 36,51 emu/gr. Sedangkan, nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan konsentrasi HCl 37% memiliki  $H_c$  dan  $M_r$  yang lebih kecil yaitu masing-masing sebesar 0,0017 T dan 10,83 emu/gr serta  $M_{max}$  yang lebih besar yaitu 36,82 emu/gr.

### Ucapan Terimakasih

Terima kasih kami sampaikan kepada FMIPA UNY yang telah mendanai penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- [1] Swastika, P. E., Antarnusa, G., Suharyadi, E., Kato, T., & Iwata, S. (2018). Biomolecule detection using wheatstone bridge giant magnetoresistance (GMR) sensors based on CoFeB spin-valve thin film. *Journal of Physics: Conference Series*, 1011(1), 012060.
- [2] Yang, C., Wu, J., & Hou, Y. (2011).  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanostructures: synthesis, growth mechanism, properties and applications. *Chemical Communications*, 47(18), 5130-5141.
- [3] Valenzuela, R. (2012). Novel applications of ferrites. *Physics Research International*, 2012.
- [4] Li, J., Li, D., Zhang, S., Cui, H., & Wang, C. (2011). Analysis of the factors affecting the magnetic characteristics of nano- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  particles. *Chinese Science Bulletin*, 56(8), 803-810.
- [5] Mascolo, M. C., Pei, Y., & Ring, T. A. (2013). Room temperature co-precipitation synthesis of magnetite nanoparticles in a large pH window with different bases. *Materials*, 6(12), 5549-5567.
- [6] Dehsari, H. S., Ribeiro, A. H., Ersöz, B., Tremel, W., Jakob, G., & Asadi, K. (2017). Effect of precursor concentration on size evolution of iron oxide nanoparticles. *CrystEngComm*, 19(44), 6694-6702.

- [7] Lu, A. H., Salabas, E. E., & Schüth, F. (2007). Magnetic nanoparticles: Synthesis, protection, functionalization, and application. *Angewandte Chemie International Edition*, 46(8), 1222-1244.
- [8] Thakur, A., Kumar, P., Thakur, P., Rana, K., Chevalier, A., Mattei, J. L., & Queffelec, P. (2016). Enhancement of magnetic properties of Ni<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles prepared by the co-precipitation method. *Ceramics International*, 42(9), 10664-10670.
- [9] Malega, F., Indrayana, I. P., & Suharyadi, E. (2018). Synthesis and characterization of the microstructure and functional group bond of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles from natural iron sand in Tobelo North Halmahera. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 7(2), 13-22.
- [10] Hefdea, A., & Rohmawati, L. (2020). Sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dari pasir mineral Tulungagung menggunakan metode kopresipitasi. *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2), 1-4.
- [11] Prasetyowati, R. (2019). Sintesis dan karakterisasi nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> berbasis pasir besi dari Pantai Glagah Kulon Progo di Yogyakarta dengan metode kopresipitasi, *Laporan Research Group FMIPA UNY*.
- [12] Tartaj, P., del Puerto Morales, M., Veintemillas-Verdaguer, S., González-Carreño, T., & Serna, C. J. (2003). The preparation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine. *Journal of physics D: Applied physics*, 36(13), 182-186.
- [13] Gao, M., Li, W., Dong, J., Zhang, Z., & Yang, B. (2011). Synthesis and characterization of superparamagnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ SiO<sub>2</sub> core-shell composite nanoparticles. *World Journal of Condensed Matter Physics*, 1(2), 49-54.
- [14] Chen, L., Liu, W., Chen, J., Yang, X., Liu, J., Fu, X., & Wu, M. (2011). Facile shape and size-controlled growth of uniform magnetite and hematite nanocrystals with tunable properties. *Science China Chemistry*, 54(6), 923-929.
- [15] Ahn, Y., Choi, E. J., & Kim, E. H. (2003). Superparamagnetic relaxation in cobalt ferrite nanoparticles synthesized from hydroxide carbonate precursors. *Reviews on Advanced Materials Science*, 5(1), 477-480.
- [16] Mathew, D. S., & Juang, R. S. (2007). An overview of the structure and magnetism of spinel ferrite nanoparticles and their synthesis in microemulsions. *Chemical Engineering Journal*, 129(1-3), 51-65.

# **SAFETY ANALYSIS OF ADVANCED CANDU REACTOR-700 (ACR-700) DURING TRANSIENT AND EMERGENCY CONDITION USING ACR SIMULATOR**

**Muhammad Fathoni Shidik, Rida Siti Nuraini Mahmudah\***

*Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia*

\*correspondence author: [rida@uny.ac.id](mailto:rida@uny.ac.id)

## **Abstract**

The development of nuclear technology leads to improvement in nuclear power plant design. The latest generation of nuclear reactor tries to rely more on passive system to minimize human intervention and increase the safety of the nuclear power plant itself. ACR-700 is designed to be able to cope with some transient's condition. This study tries to simulate the condition of ACR-700 during the transient condition loss of one of reactor coolant pump using ACR Simulator developed by IAEA. The ACR-700 safety system successfully identifies the malfunction and stop the malfunction to escalate. In addition, this paper also tries to simulate the previous transient condition with another malfunction in reactor setback and setback system, one of the safety systems of the ACR-700.

Keywords: ACR-700, transient condition, ACR simulator, pump loss

## **Introduction**

The energy demand is increasing every year as the global technology increases. The depletion of non-renewable energy such as oil and coal and some pressure from the environmentalists to abandon non-renewable energy make the energy supply can't cope with the energy demand. The abundant resource and high energy yield from nuclear power makes the nuclear power one of the most prominent candidate to supply the world's energy [1]. The nuclear technology has been developed continuously from the first time nuclear power plant being operated in 1954 [2]. The efficiency and safety of the nuclear power plant has greatly increase due to improvement in power plant models. The latest generation of nuclear power plant relies more on the passive system in order to ensure the safety of the plant in emergency situation [3][4].

Unfortunately, the phobia toward nuclear power plant still exists. From the fear of weaponized nuclear technology such as the bombing of Hiroshima and Nagasaki in 1945 to nuclear power plant accident such as in Three Miles Island and Chernobyl and especially the latest accident in Fukushima has propelled the fear of the society toward nuclear technology [5]. This condition leads to some decommissioning of some of the nuclear reactors and halted progress in nuclear technology development [6]. Atomic Energy Canada Limited (AECL) developed Advanced Candu Reactor 700 (ACR-700). ACR-700 is one of the latest generations of Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR).

It is developed from CANDU design. As improvement from the previous CANDU design, it could be built with lower capital cost and shorter construction time. But even though ACR-700 has lower capital cost, it still maintains high-capacity factor. The new ACR-700 design also has longer operating life. It uses much simpler component thus easier and cheaper to replace its component. This design leads to low operating cost. It also got enhanced safety features [7].

ACR-700 use slightly enhanced uranium as fuel (2.1% wt U-235). It uses light water as coolant and use heavy water as moderator as oppose to CANDU that use heavy water as both moderator and coolant. The new design thus has lower heavy water inventory which is one of the reasons for its lower capital cost. The lower heavy water inventory also led to even more compact design than the previous CANDU reactor.

As one of the latest generations of PHWR, ACR-700 is equipped with passive systems. This includes two independents shut down systems. It is also filled with low pressure and temperature moderator that could act as heat sink. Furthermore, it is surrounded by water shield tank. The reactor also equipped with emergency gravity supplied feedwater toward steam generators. The reactor is also contained in pre-stressed concrete to limit the exposure of radioactive material toward the environment.

ACR-700 is designed can cope with transient's condition. An experimental study is needed to verify improve the safety of the design. As computational technology development, computational simulation could be performed to

simulate condition during transient condition. As it is easier to use computational simulation than a lab experiment. However, the use of computational simulation to verify the safety system of ACR-700 during transient or even emergency condition is still rarely done.

One of the computational simulation already done is to investigate how ACR-700 design would cope with transient condition of Small Break Loss of Coolant Accident (LOCA) [8]. The simulation is done using CATHENA 3.5d. This paper study the safety system cope with the transient condition especially loss in one of reactor coolant pump and reactor setback and step back both fails using computational simulation. ACR-700 safety system should be able to cope with both the transient and emergency condition without any human intervention. Furthermore, the author hope that the result from this study could be used to increase understanding of the safety system in nuclear reactor especially in ACR-700. A better understanding of nuclear safety itself is the only way to improve and create a better nuclear power plant design.

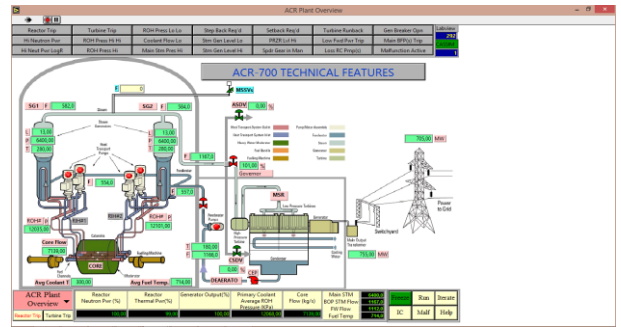
**Method**

This paper simulates ACR-700 during normal operation at 100% power, transient, and emergency condition using Advanced Candu Reactor Simulator (ACR Simulator). ACR Simulator is developed Cassiopeia Technologies Inc. in 2011 and is one of the IAEA simulator collections. ACR Simulator mainly designs to simulate ACR-700, but it could also be used to simulate other advanced nuclear heavy water reactors. The main window will appear once we open the ACR Simulator. The main window shows 3D design of the ACR-700 and panel on the left to choose the preferable Initial Condition (IC). ACR Simulator provide 5 loadable ICs including simulation of the reactor at 100% and 75% power. This paper would study ACR-700 at 100% power.



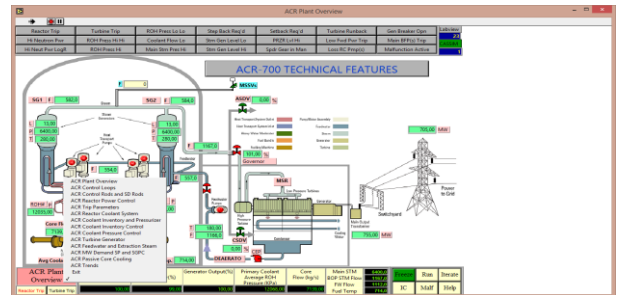
**Figure 1.** Main window of ACR-700

Once the user loads IC a new window with default setting of the loaded IC will pop out. On top of windows, user can see panel that serves as indicator light for the current reactor condition. While in bottom user can see panel for general condition of reactor. The infamous “reactor trip” and “turbine trip” buttons could be seen on bottom left of window. These buttons resemble real buttons in reactor control room to completely stop the nuclear reactor.



**Figure 2.** ACR plant overview window

The “run” and “freeze” buttons is used for starting and pausing the simulator respectively. It can be seen on bottom right of the window along with “malf” button. ACR Simulator is equipped with 20 malfunction that could be simulated directly without accessing any control panel.



**Figure 3.** ACR Simulator navigation panel

Accessing the black arrow on the bottom left side of the window could navigate us through ACR Simulator displays screens (Fig. 3). ACR Simulator has 14 displays screen and each represents different aspect or control panel of the reactor such as control rod, coolant, and turbine control. Some display screens merely just a display of the current condition of the reactor. ACR Plant Overview window (Fig. 2) has no input toward the simulation and only show a ‘line diagram’ of the main plant system and parameters. But for some other display screens such as Reactor Coolant System (Fig. 4), user could make input for the simulation by interacting with the display screens. For example, user could manually disable pump by clicking the P1, P2, P3, or P4 button.



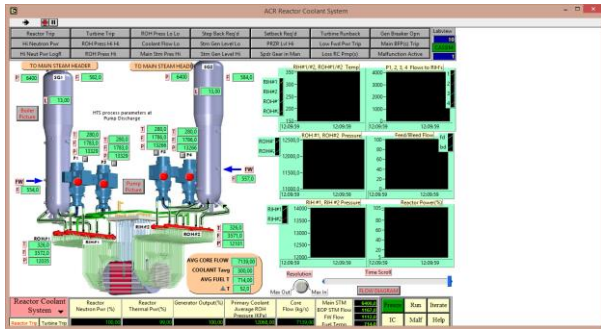


Figure 4. Reactor coolant System window

As previously mentioned, to run the simulator at 100% power, we just have to load the IC and observe the behavior of each of the components in the reactor. The 100% power condition already set up by the IC and there is nothing to tweaks by the user. For the second part of the simulation, this also simulate the transient condition. It could be simulated by first load the 100% power condition IC. Once the window screen pops out and all the reactor parameters set up to resemble the 100% power working condition, user have to manually input the transient condition by using “Malf” button and then choose the condition that is wanted to be simulated from the list. We add “Loss of one PHT Pump P1” as this paper tried to simulate the loss of one of the main pumps in the reactor.

To simulate the emergency condition, it is not much different from the transient condition. We have to load the 100% power condition IC. Then we add the malfunctions through the “Malf” button. In this paper we add “Reactor Setback/Stepback both fail” first since we want to simulate this condition first. Once the simulator simulates the first malfunction, we add the second malfunction “Loss of one PHT Pump P1” by using the “Malf” button. We then could compare the results from all of the simulations. The result from 100% power condition would be used as the benchmark for the simulation. As ACR-700 is equipped with passive system, ACR-700 should be able to handle the transient condition without any intervention.

**Result and Discussion**

The main parameters that will be observed in this paper are related to the coolant of the reactor as this paper focused on the loss of one of the main pump transient condition. Those parameters could be observed through “Reactor Coolant System” panel. Those parameters include the temperature and pressure of both RIHs and ROHs of the reactor and also coolant flow to ROHs.

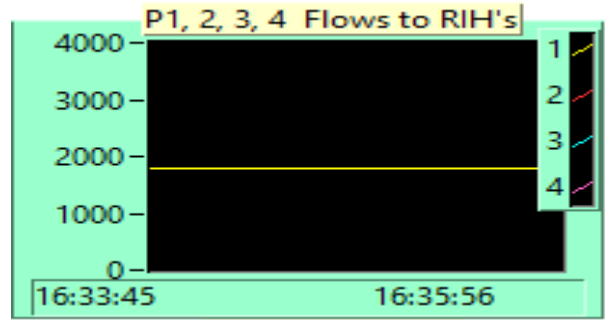


Figure 5. Coolant flows to RIHs from all the main pumps during 100% power operation

The 100% power as normal working condition shows a stable coolant flow from all the four pumps (Fig. 5). The steady water supply to the RIHs also followed by a steady temperature and pressure on both RIHs and ROHs as can be seen on Fig. 6 to Fig. 8

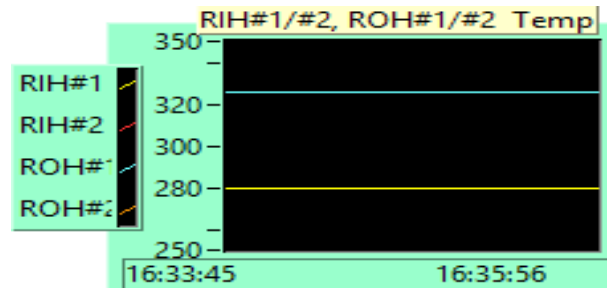


Figure 6. Temperature of RIHs and ROHs during 100% power operation

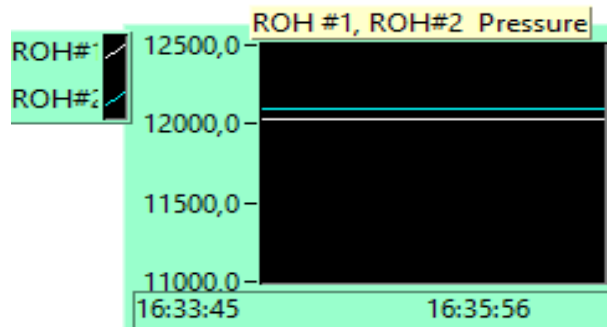


Figure 7. Pressure in ROHs during 100% power operation

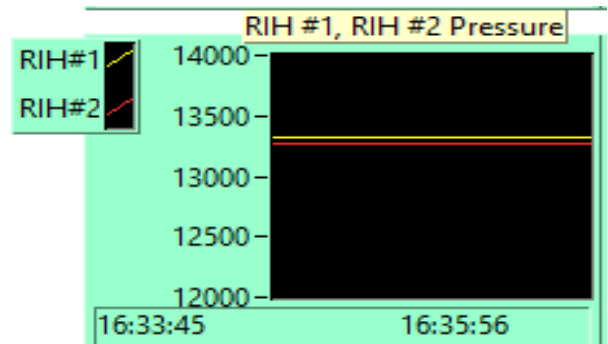
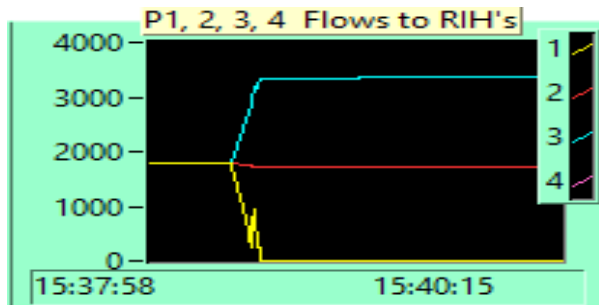


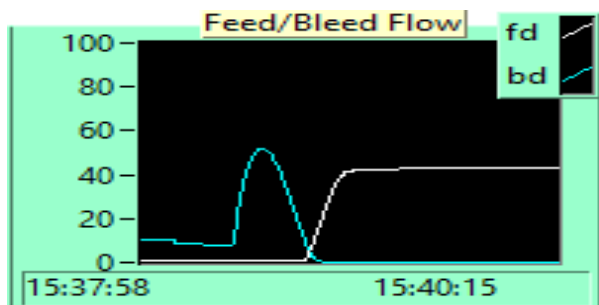
Figure 8. Pressure in RIHs during 100% power operation

We could notice a slight difference in temperature and pressure on each RIHs and ROHs even though technically they are supplied with similar pump. The slight difference is due to bleed and feed flow for Heat Transport Purification System. For the transient condition where Pump 1 is loss due to a malfunction, we can see that the coolant flow in Pump 1 is drastically down (Fig.9).

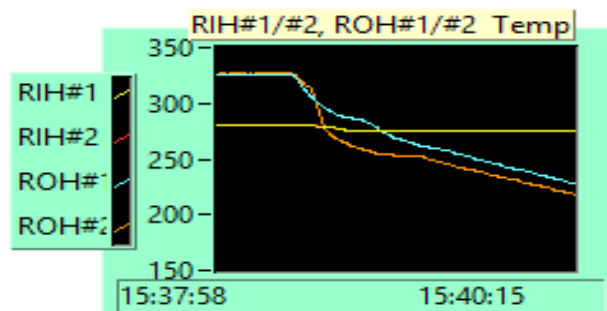


**Figure 9.** Coolant flows to RIHs from all main pumps during transient loss of one RC pump condition

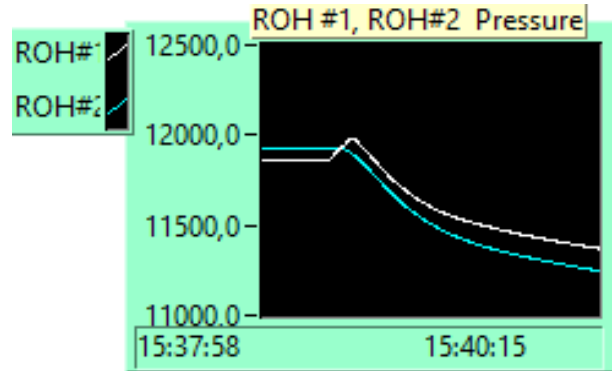
Pump in the same loop to Pump 1 – Pump 3 – increase its coolant flow to compensate the loss of flow from Pump 1. A little jagged flow from Pump 1 before it finally touches 0 flow is due to most of its flows are directed toward Heat Transport Purification System through bleed flow. Similar to that case, the decrease flow in loop two is caused by the feed flow. The bleed and feed flow can be seen on Fig.10.



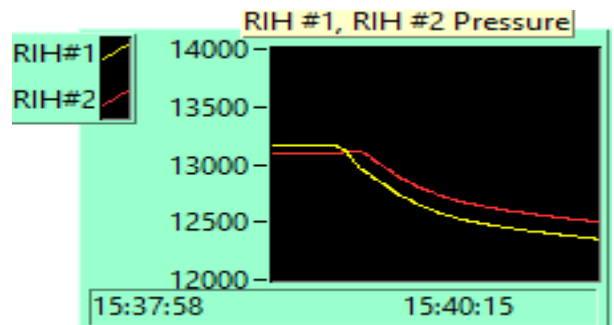
**Figure 10.** Feed and Bleed flow during transient loss of one RC pump condition



**Figure 11.** Temperature of RIHs and ROHs during transient loss of one RC pump condition

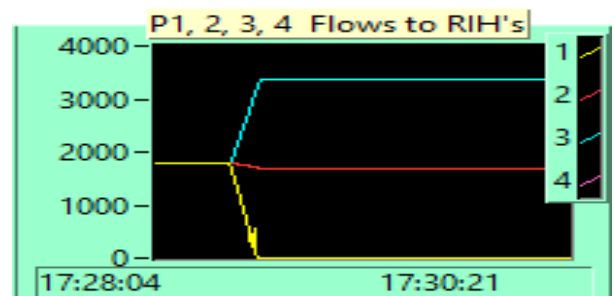


**Figure 12.** Pressure in ROHs during transient loss of one RC pump condition



**Figure 13.** Pressure in RIHs during transient loss of one RC pump condition

The reactor setback is initiated right after the Pump 1 under malfunction as loss of one of the reactor coolant pumps is one of the causes for reactor setback. This leads to rapid decrease in reactor power, then leads to decrease in ROHs temperature as the reactor thermal power also decrease (Fig. 11). The decrease in temperature leads to more liquid phase in the pressurizer, thus also decreasing the coolant pressure (Fig. 12 and Fig. 13). The flow from each pump during this emergency condition is not much different from the coolant flow during the previous transient condition. The Pump 3 cover the loss of coolant flow the Pump 1 (Fig. 14). The main difference is that during this condition, reactor stepback failed to operate, thus leaving the reactor power at high level as can be seen on Fig. 15.



**Figure 14.** Coolant flows to RIH during emergency condition

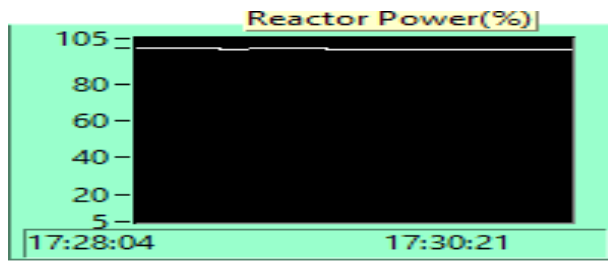


Figure 15. Reactor power during emergency condition

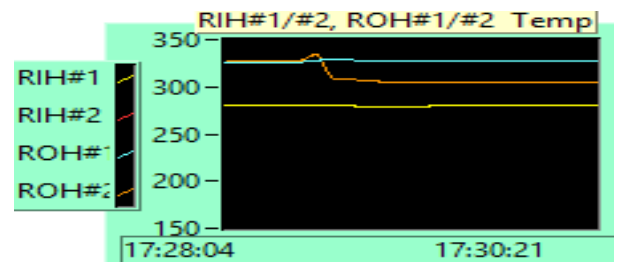


Figure 19. Temperature in RIHs and ROHs during emergency condition

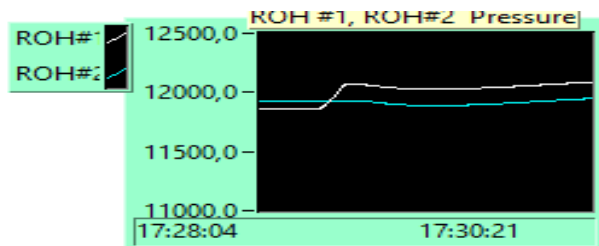


Figure 16. Pressure in ROHs during emergency condition

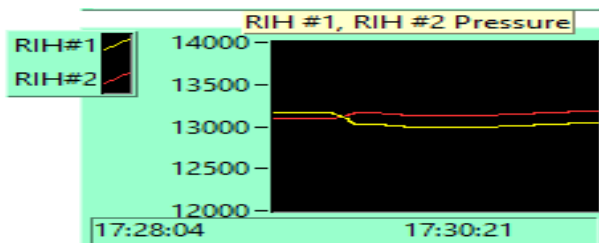


Figure 17. Pressure in RIHs during emergency condition

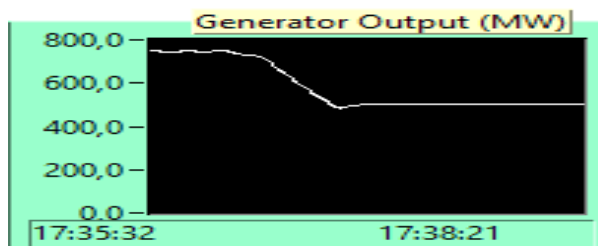


Figure 18. Generator output during emergency condition

This condition would lead to increase in pressure in steam generator. During this condition turbine bypass valve, consist of Condenser Steam Discharge Valves (CSDV) and Atmospheric Steam Discharge Valves (ASDV) would open to relieve steam pressure. This leads to drop in turbine steam and decrease turbine output as we can see on Fig 16 to Fig. 18. As first loop lose one of its pumps, there is a sudden increase in temperature of ROH 2 as pump lose some of its coolant flow (Fig. 19). This condition leads to SG 2 produce steam with higher pressure than usual. The increase in steam pressure leads to increased pressure in SG 1 can to keep up with the steam generation process.

As the steam pressure rises, the turbine bypass valves finally open to stabilize the pressure in SGs. Thus, the opening decreases the pressure of both ROHs. The pressure in both ROHs then started to build up more, and the valve would then open even bigger if there is no human intervention. The opening of turbine bypass valve also leads to decrease in temperature of ROH 2 while the temperature of ROH 1 is not much affected as the opening of the turbine bypass valve is determined by SG 1 in this situation. The reactor still be able to operate but as time passed, it become more riskier as the pressure build up in both steam generator. Human intervention is needed to stabilize the reactor back to normal condition. But the reactor safety systems could be able to cope with the emergency condition, giving time for the human intervention.

**Conclusion**

The results show that under normal working condition, the pressure in ROHs is stable at around 12.1 Mpa. While pressure in RIHs is stable around 13.2 Mpa. The temperature for RIHs and ROH is 280°C and 326°C respectively. This number is not greatly different from the ACR-700 unit data. The data then used as a benchmark for transient and emergency condition. The simulation of transient condition shows that the loss of one of the reactor coolant pumps would be covered by the pump in the same loop. Reactor setback is also operated automatically once the pump malfunction is detected. This condition result in rapid decrease in reactor power, thus prevent the malfunction to escalate and give chance for component maintenance. In case of reactor setback and step back failed to operate due to another malfunction, the reactor is still operating in full power. The other safety system started to operate to stabilize the reactor once certain parameter exceeded the tolerable criteria. In this simulation, the steam pressure trigger turbine bypass valve to open. The opening of turbine bypass valve caused decreased pressure in steam generator.

This condition makes the reactor still be able to function. But this condition still creates pressure being built up over the time. Human intervention is needed to fully stabilize the reactor back to normal working condition. In this simulation ACR-700 is able to endure a transient condition loss of a reactor coolant pump and emergency condition loss of a reactor coolant pump with reactor setback and step back failed to operate. Even though further human intervention is needed to fully stabilize the reactor during emergency condition.

### Acknowledgment

Authors greatly indebted to International Atomic Energy Agency for providing the nuclear reactor simulators for education and training used in this study.

### References

- [1] Shiraki, H., Sugiyama, M., Matsuo, Y., Komiyama, R., Fujimori, S., Kato, E., & Silva, D. H. (2021). The role of renewables in the Japanese power sector: Implications from the EMF35 JMIP. *Sustainability Science*, 16(2), 375-392.
- [2] Alam, F., Sarkar, R., & Chowdhury, H. (2019). Nuclear power plants in emerging economies and human resource development: A review. *Energy Procedia*, 160(1), 3-10.
- [3] Tripathi, A. M., Singh, B. L. K., & Singh, C. S. (2020). Dynamic reliability analysis framework for passive safety systems of Nuclear Power Plant. *Annals of Nuclear Energy*, 140(1), 107139.
- [4] Wahlström, B. (2018). Systemic thinking in support of safety management in nuclear power plants. *Safety Science*, 109(1), 201-218.
- [5] Bennett, S. (2018). The March, 2011 Fukushima Daiichi nuclear power plant disaster—a foreseeable system accident?. In *Asia-Pacific Security Challenges* (pp. 123-137). Springer, Cham.
- [6] Koppenborg, F. (2021). Nuclear restart politics: How the ‘nuclear village’ lost policy implementation power. *Social Science Japan Journal*, 24(1), 115-135.
- [7] Atomic Energy Canada Limited (2003). *ACR-700 Technical Description*.
- [8] Zheng, L., Shen, S., & Wright, D. (2006). Small break LOCA analysis of ACR-700 NPP. In *International Conference on Nuclear Engineering* (Vol. 42460, pp. 555-562).