

DAFTAR ISI

Pengukuran laju pernapasan (<i>respiration rate, RR</i>) berbasis beda suhu pernapasan (Wihantoro*, Aris Haryadi, Akmal Ferdiyan, Donni Maulana Sipa).....	213
Studi relokasi gempamikro menggunakan teknik <i>double-difference</i> (Wrego Seno Giamboro, Wahyu Hidayat*, Firdaus Maskuri, Ardian Novianto, Hafiz Hamdalah).....	219
Analisis tekanan dan laju aliran fluida di sekitar baling-baling Savonius dengan Computational Fluid Dynamics (Farzand Abdullatif*, Hartono, dan Sugito)	225
Pengaruh ketebalan lapisan polistiren terhadap kestabilan sensor QCM sebagai bioimunosenor (Eka Rahmawati *, Masruroh)	232
Optimasi desalinator tenaga matahari menggunakan bahan beton campuran pasir besi (Abdullah Nur Aziz*, Hartono, Sugito).....	237

Pengukuran laju pernapasan (*respiration rate, RR*) berbasis beda suhu pernapasan

Wihantoro*, Aris Haryadi, Akmal Ferdiyan, Donni Maulana Sipa
Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jln. Dr. Soeparno 61, Grendeng, Purwokerto, Indonesia, 53122
*email: wihantoro@unsoed.ac.id

Abstrak - Pemantauan dalam bentuk pengukuran laju pernapasan dapat dilakukan dengan menempelkan telapak tangan dan menghitung jumlah gerakan naik turunnya rongga dada dalam satu menit. Namun dengan pertimbangan tertentu cara seperti ini tidak dapat dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah dibuatnya sebuah unit pengukuran laju pernapasan non-kontak berbasis sensor inframerah MLX90614 sehingga tangan tidak perlu menempel ke rongga dada. Metode pengukurannya memanfaatkan selisih pengukuran suhu udara pada area sekitar nostril saat periode bernapas, menghirup dan menghembus. Data selisih suhu ini diolah dengan program berbasis arduino IDE untuk dihasilkan data laju pernapasan. Satu laju pernapasan dihitung dari satu periode menghirup dan menghembuskan udara. Data laju pernapasan dalam rentang satu menit ditampilkan pada visual display unit LCD matriks. Data ini diolah juga dengan arduino untuk dapat ditampilkan di web sehingga pemantauan laju pernapasan dapat dilakukan secara jarak jauh (remote access). Sebagai unit alat ukur, sensor inframerah MLX90614 dikarakterisasi dan dikalibrasi terhadap respon perubahan suhu pada penurunan dan kenaikan suhu air. Kinerja sensor inframerah MLX90614 dalam pengukuran laju pernapasan orang dewasa rentang usia 18 - 22 tahun menunjukkan nilai akurasi dan kesalahan yang dapat dipertanggungjawabkan, yaitu 99,06% dan 0,94%. Dalam pengukuran, unit ini masih terkendala pada cara yang tepat dan nyaman bagi obyek yang diukur. Pengemasan unit dalam desain yang lebih kompak dan mudah dioperasikan masih perlu dikembangkan

Kata kunci: Laju Pernapasan, Sensor Inframerah MLX90614, Pengukuran Non-Kontak

Abstract – Monitoring in term of measuring the respiratory rate can be done by placing the palms while counting the number of movements the up and down of the chest cavity within one minute. However, due to some certain considerations such method cannot be done. The purpose of this research is to make a non-contact respiratory rate measurement unit using the MLX90614 infrared sensor so that the hands do not need to stick to the chest cavity. The measurement method utilizes the difference in air temperature measurements within the area around the nostril during the period of breathing, inhaling and exhaling. This temperature difference data is processed with an IDE Arduino-based program to produce respiratory rate data. One breathing rate is calculated from one period of inhaling and exhaling air. Respiratory rate data in the span of one minute is displayed on the matrix LCD unit's visual display. This data is also processed with Arduino to be displayed on the web so that monitoring of the rate of breathing can be done remotely (remote access). As a unit of measurement, the infrared sensor MLX90614 is characterized and calibrated to the response of temperature changes in decreasing and increasing water temperature. The performance of the infrared sensor MLX90614 in measuring the respiratory rate of adults aged 18 - 22 years shows the accuracy and kesalahan values that can be accounted for, 99.06% and 0.94%, respectively. During the measurements, this unit is still constrained in a firm and convenient way for the object to be measured. Packaging units in a more compact and easy-to-operate design still need to be developed.

Key words: Respiratory Rate, Infrared Sensor MLX90614, Non-Contact Measurement

PENDAHULUAN

Respiratory rate (RR) atau laju pernapasan (LP) merupakan salah satu indikator yang paling prediktif mengenai perubahan kondisi vital seseorang [1,2]. Perubahan LP memberikan penanda awal mengenai gangguan pada sistem pernapasan.

Saat dunia dihebohkan pandemi Covid-19, metode pengukuran LP yang akurat dan aman menjadi suatu kebutuhan yang penting bagi seluruh kalangan. Panduan dari WHO menyatakan bahwa nilai LP merupakan salah satu indikator utama yang menunjukkan gejala pneumonia akut pada penderita Covid-19, yaitu ketika nilai LP > 30 napas/menit. Selain itu

penanganan pasien Covid-19 dan pemantauan proses kesembuhan pasien juga menggunakan LP sebagai salah satu indikator [3].

Metode pengukuran LP yang umum digunakan saat ini memiliki beberapa permasalahan. Sebagai contoh, metode pengukuran manual yang umum digunakan oleh perawat dengan mengamati pergerakan dada seringkali tidak akurat. Metode lain seperti penggunaan Electric Impedance Tomography (EIT) dan pengolahan sinyal Electrocardiography (ECG) mengharuskan terjadinya kontak langsung dengan pasien [1,3]. Hal tersebut menjadi kendala saat tenaga kesehatan harus menangani pasien Covid-19.

Oleh karena itu, untuk keselamatan tim medis serta untuk meminimalisir penyebaran virus Covid-19, maka dilakukan penelitian tentang sistem pemantauan pernapasan tanpa perlu kontak fisik. Komponen yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor suhu inframerah. Sistem pemantauan non-kontak ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi dalam masa pandemi Covid-19.

LANDASAN TEORI

Pernapasan Dan Sensor Inframerah

A. Proses Pernapasan

Proses pernapasan adalah proses pertukaran udara yang berada di atmosfer dengan paru-paru. Pernapasan terbagi menjadi dua sub-proses yaitu fase inspirasi (udara masuk) dimana udara masuk menuju ke dalam paru-paru, dan fase ekspirasi (udara keluar) yaitu ketika udara keluar dari paru-paru. Dalam proses inspirasi terjadi proses pengkondisian udara dari yang sebelumnya memiliki suhu lingkungan menjadi suhu di dalam paru-paru yang lebih hangat yaitu 37°C . Saat proses ekspirasi berlangsung, udara yang keluar dari paru-paru pun memiliki suhu yang sama dengan suhu di dalam paru-paru yaitu 37°C [4]. Hal ini memungkinkan dilakukannya pemantauan proses pernapasan melalui deteksi suhu udara yang dikeluarkan melalui hidung.

Pengukuran LP secara manual dengan mengamati pergerakan rongga toraks pada dada sejauh ini menjadi acuan standar untuk penentuan nilai LP seseorang. Nilai LP standar untuk beberapa kategori usia diberikan pada Tabel 1. Namun seperti yang telah disampaikan sebelumnya, metode manual ini seringkali tidak

akurat, karena keterbatasan yang terkait dengan waktu pengamatan dan ketelitian pengamat.

Tabel 1. Frekuensi Laju pernapasan Normal (per menit) [5]

Usia	Rentang Normal	Rata-Rata Normal
Bayi baru lahir	30-50	40
1 tahun	20-40	30
3 tahun	20-30	25
6 tahun	16-22	19
14 tahun	14-20	17
Dewasa	12-20	18

B. Sensor Suhu Inframerah

Sensor suhu inframerah adalah perangkat yang dapat digunakan untuk pengukuran suhu suatu benda dengan prinsip radiasi termal dan spektrum elektromagnetik inframerah. Hubungan antara radiasi termal yang datang ke sensor dengan suhu objek pemancar radiasi diperoleh melalui hukum Stefan-Boltzmann, yang kemudian dikaitkan dengan beberapa asumsi mengenai benda abu-abu berdasarkan jenis objek yang diukur [6]. Dengan menggunakan prinsip-prinsip dasar tersebut dan dengan bantuan tambahan perangkat elektronik lainnya, sensor inframerah dapat menghasilkan perkiraan suhu sebuah objek yang meradiasikan panas melalui pembacaan tegangan pada sensor tersebut.

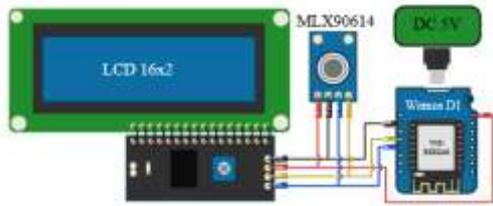
Sinyal pengukuran yang diperoleh pada sensor inframerah akan diproses bersama dengan informasi kalibrasi, sehingga dihasilkan sinyal keluaran yang sebanding dengan suhu yang diradiasikan oleh objek. Dalam penelitian ini digunakan sensor suhu inframerah MLX90614 yang memiliki detektor fotosensitif yang peka terhadap spektrum inframerah. Output sensor ini adalah sinyal listrik yaitu data suhu yang telah terkalibrasi, dimana energi radiasi termal inframerah dari objek ditangkap oleh sensor lalu dikalibrasikan menjadi data suhu yang kemudian diubah menjadi sinyal listrik [7].

METODE PENELITIAN

Penelitian yang telah dilaksanakan terdiri dari tiga tahapan, yaitu dimulai dari pengujian sensor, hingga pembuatan dan pengujian sistem.

A. Pengujian Sensor

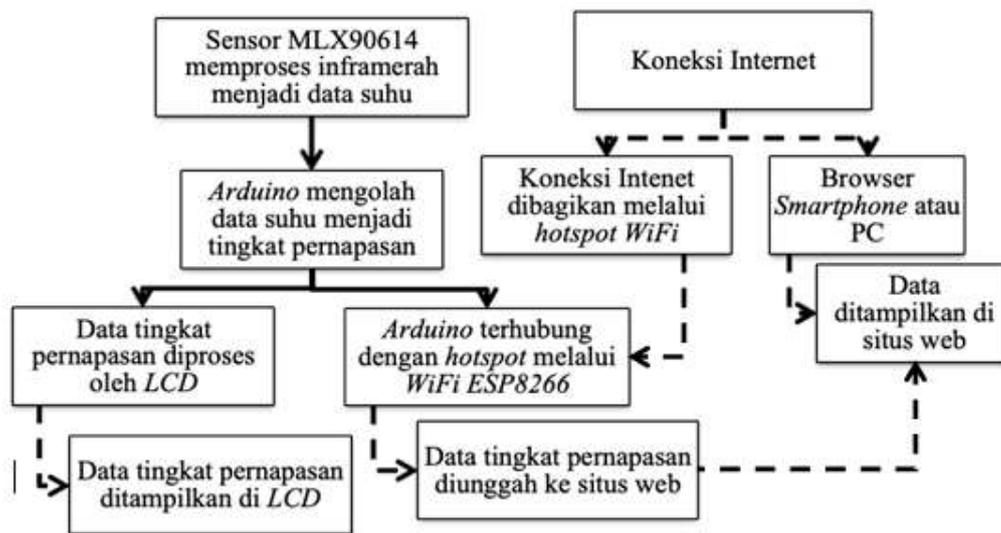
Sensor MLX90614 dirangkai dengan unit mikrokontroler Wemos D1 Mini (Arduino) dan LCD seperti **Gambar 1** untuk memperoleh nilai presisi, akurasi dan kesalahan dari sensor tersebut. Pengujian dilakukan dengan membandingkan bacaan sensor dengan termometer untuk mengukur suhu air hangat yang divariasikan dengan memasukkan es.



Gambar 1. Rangkaian pengujian sensor MLX90614

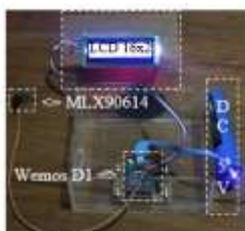
B. Pembuatan dan Pengujian Sistem

Sistem dirancang dengan tujuan agar hasil pengolahan data suhu oleh sensor dan perangkat lunak dapat ditampilkan di LCD dan situs Web. Hal tersebut diharapkan memudahkan pengguna untuk memantau hasil pengukuran. Setelah sensor MLX90614 menghasilkan keluaran berupa sinyal listrik yaitu data suhu yang terkalibrasi. Perangkat Arduino kemudian akan melakukan transkripsi untuk menghasilkan data LP yang siap ditampilkan pada display dan situs Web. Diagram blok sistem dapat dilihat pada **Gambar 2**. Garis putus-putus menandakan bagian yang terhubung tanpa kabel.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Pengukuran LP

Sistem yang telah dirangkai seperti pada **Gambar 2** dimasukkan ke dalam kotak untuk memudahkan penggunaan, kemudian digabungkan dengan tripod seperti pada **Gambar 3**. Ini dimaksudkan untuk memudahkan peletakan sistem.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Rangkaian Sistem pengukuran LP. (a). Bagian sistem, (b). Rangkaian sistem dalam kotak, (c). Rangkaian sistem siap pakai

Perangkat Arduino Wemos D1 dihubungkan dengan layar LCD dan *Hotspot Wifi*, sehingga sinyal yang dikirimkan oleh sensor MLX90614 akan dianalisa dan ditranskripsi oleh Wemos D1 untuk kemudian dihasilkan data LP yang akan ditampilkan di LCD dan situs Web. Tampilan pada situs Web akan memudahkan pemantauan menggunakan berbagai perangkat dari jarak jauh, seperti melalui *smartphone* maupun komputer dengan koneksi internet.

Program Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C digunakan untuk mengkonversi nilai perubahan suhu yang dibaca oleh sensor menjadi nilai LP. Perubahan suhu terjadi di sekitar *nostrils* (lubang hidung) ketika seseorang menghembuskan napas keluar, karena napas yang keluar memiliki suhu yang lebih tinggi dibanding suhu ruang. Jumlah total perubahan suhu (selisih suhu lingkungan dengan suhu di sekitar *nostrils*) dalam rentang waktu 60 detik kemudian dinyatakan sebagai nilai LP yang akan ditampilkan di dalam display LCD dan situs Web. Program yang dibuat terdiri dari bagian deklarasi variabel dan *library*, bagian *void setup* (perintah pengaktifan awal) dan *void loop* (perhitungan *loop* untuk memperoleh LP).

C. Pengujian Sistem

Sistem yang telah dibuat kemudian diuji dengan melibatkan 5 orang responden. Responden terdiri dari pria dan wanita dengan rentang usia 18-22 tahun yang berada dalam keadaan sehat. Hasil pengukuran LP oleh sistem yang diuji

dibandingkan dengan pengukuran manual, yaitu dengan meletakkan tangan di atas rongga dada dan mengukur jumlah naiknya rongga dada dalam 1 menit. Ilustrasi pengujian sistem ini dapat dilihat di **Gambar 4**.



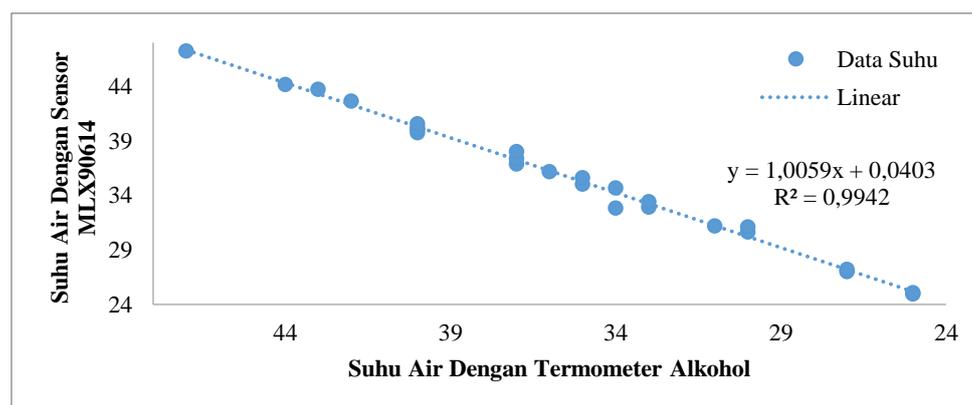
Gambar 4. Pengujian Sistem pengukuran LP. (a). Pengukuran LP menggunakan sistem yang dirancang, (b). Pengukuran menggunakan metode manual sebagai pembandingan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yang pertama adalah mengenai respon sensor inframerah MLX90614 dan kelayakannya untuk mengukur LP. Bagian kedua adalah terkait dengan pengujian sistem.

A. Respon Sensor MLX 90614

Pembacaan suhu air oleh sensor MLX 90614 telah dibandingkan dengan pembacaan suhu menggunakan termometer alkohol. Hasil dari pengujian sensor memberikan respon sensor yang dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Perbandingan respon suhu (dalam satuan °C) sensor MLX 90614 dengan termometer alkohol

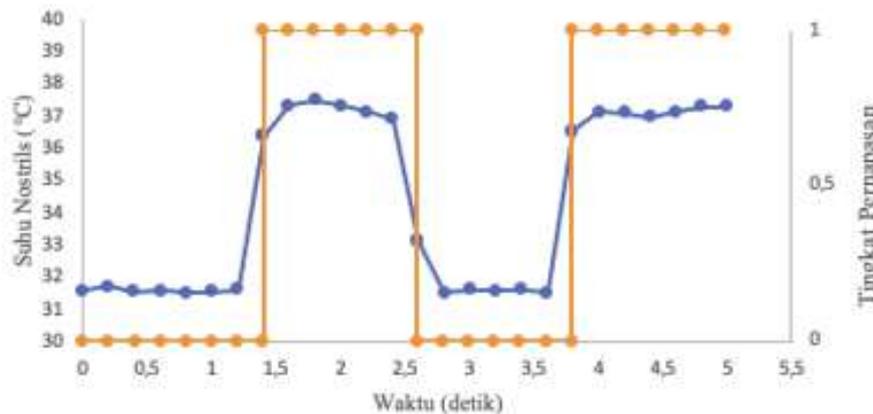
Dari **Gambar 5** tampak bahwa koefisien regresi linear yang diperoleh adalah 0,9942, artinya sensor MLX 90614 memiliki nilai akurasi yang baik jika dibandingkan dengan termometer alkohol. Dengan demikian sensor

ini layak digunakan untuk memantau nilai LP melalui perubahan suhu di sekitar *nostrils*.

B. Hasil Pengujian Sistem

Hasil pengujian sistem pemantauan nilai LP memberikan informasi mengenai akurasi dan kesalahan sistem. Contoh pengukuran LP oleh

sistem ditampilkan dalam sampel pada **Gambar 6**. Dalam gambar ini diberikan sampel hasil pengukuran LP oleh sistem dalam rentang waktu 5 detik.



Gambar 6. Sampel Pengukuran LP oleh sistem dalam selang waktu 5 detik

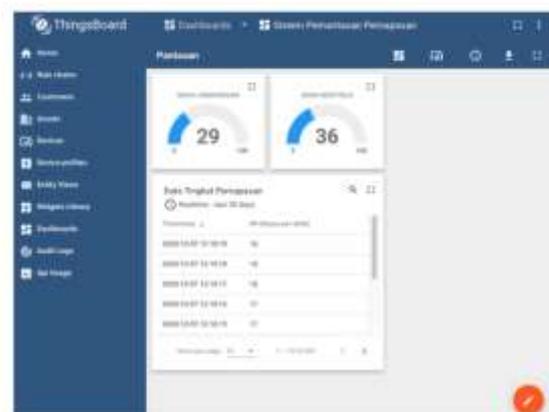
Hasil pengukuran nilai LP untuk responden oleh sistem dapat dilihat dalam **Tabel 2**. Nilai ini juga telah dibandingkan dengan nilai LP yang diperoleh melalui pengukuran manual.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sistem (LP dalam satuan kali/menit)

No	Responden dan Suhu lingkungan	LP Sistem	LP Manual	Δ	Akurasi (%)	kesalahan (%)
1	1 29.35°C	19	19	0	100	0
		18	18	0	100	0
		16	17	1	94,12	5,88
		17	17	0	100	0
2	2 30.19°C	17	18	1	94,44	5,56
		18	18	0	100	0
		17	17	0	100	0
		17	17	0	100	0
3	3 31.05°C	19	19	0	100	0
		19	19	0	100	0
		18	17	1	94,12	5,88
		16	16	0	100	0
4	4 29.83°C	17	17	0	100	0
		18	18	0	100	0
		17	17	0	100	0
		18	18	0	100	0
5	5 29.83°C	17	16	1	93,75	6,25
		18	18	0	100	0
		16	16	0	100	0
		17	17	0	100	0
Rata-rata					99,06	0,94

Dari **Tabel 2**, tampak bahwa nilai hasil pengukuran oleh sistem ketika dibandingkan dengan pengukuran manual ternyata menunjukkan nilai akurasi dan kesalahan yang sangat baik. Dengan nilai akurasi 99,06% dan kesalahan sebesar 0,94%, sistem yang dirancang telah dapat memenuhi tingkat keberhasilan yang diinginkan sebagai alat untuk mengukur LP.

Nilai LP yang diuji pun telah dapat ditampilkan dalam situs Web di alamat <https://demo.thingsboard.io/>. Dalam desain yang telah dibuat, tampilan yang ada di dalam situs Web terdiri dari suhu lingkungan, suhu *nostrils* dan nilai LP. Salah satu contoh hasil tampilan dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Tampilan situs Web *Thingsboard* pada saat sistem dijalankan

KESIMPULAN

Penelitian pendugaan sebaran intrusi air laut Suatu sistem pengukuran laju pernapasan bersifat non-kontak yang menggunakan sensor inframerah MLX 90614 telah berhasil dibuat. Sistem memiliki nilai akurasi dan kesalahan yang sangat baik yaitu 99,06% untuk akurasi dan 0,94% untuk nilai kesalahannya. Nilai pengukuran laju pernapasan oleh sistem juga telah dapat ditampilkan dalam LCD yang melekat di dalam sistem, dan juga ditampilkan dalam situs Web yang dapat diakses dari jarak jauh. Dengan demikian, sistem pengukuran laju pernapasan non-kontak ini bisa menjadi salah satu alternatif solusi untuk pemantauan nilai laju pernapasan di masa pandemi Covid-19.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Rektor dan LPPM Universitas Jenderal Soedirman yang telah memberikan dana bagi terlaksananya penelitian ini melalui skema Riset Pengembangan Kompetensi Dana BLU. Selain itu juga terima kasih disampaikan kepada Bapak Hartono selaku Kepala Lab Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA Unsoed atas dukungan dan bantuan selama penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C.B. Pereira, et.al., "Remote monitoring of breathing dynamics using infrared Tomography", *Biomedical Optics Express* 6(11) (2015).
- [2] G. Singh, A. Tee, T. Trakoolwilaiwan, A. Taha and M. Olivo, "Methods of respiratory rate measurement using a unique wearable platform and an adaptive optical based approach", *Intensive Care Medicine Experimenta* 8(15) (2020).
- [3] C. Masaroni, A. Nicolo, E. Schena and M. Sacchetti, "Remote Respiratory Monitoring in the time of Covid-19", *Frontiers in Physiology* 11(635) (2020).
- [4] R.N. Pittmann, Regulation of Tissue Oxygenation, *In: R.N. Pittmann, Ed., Colloquium Series on Integrated Systems Physiology: From Molecule to Function*, Morgan and Claypool, , 2011, 1-100.
- [5] S. Fleming, et.al., "Normal Ranges of heart rate and respiratory rate in children from birth to 18 years of age", *The Lancet* 377(9770) (2011).
- [6] J. Meseguer, I. Perez-Grande, A. Sanz-Andres, "Thermal Radiation Heat Transfer", *In: J. Meseguer, I. Perez-Grande, A. Sanz-Andres, Ed., Spacecraft Thermal Control*, Woodhead, 2012, 73-86.
- [7] H. Hatimah, A.A.N. Gunawan dan I.B.A. Paramarta, "Designing a Heart Rate and Body Temperature Measurement Tool Using Pulse Sensor and IR MLX90614 Based on ATmega328 and GSM Technology", *Buletin Fisika* 19(2) (2018).

Studi relokasi gempam mikro menggunakan teknik *double-difference*

Wrego Seno Giamboro¹, Wahyu Hidayat^{1*}, Firdaus Maskuri^{1,2},
Ardian Novianto¹, Hafiz Hamdalah¹

¹Teknik Geofisika, FTM UPN "Veteran" Yogyakarta

²Teknik Geologi FTM UPN "Veteran" Yogyakarta

Jalan Pajajaran Condongcatur Depok Sleman DI Yogyakarta

*email: wahyu.hidayat@upnyk.ac.id

Abstrak – Penentuan lokasi merupakan kegiatan pertama dan utama dalam bidang seismologi. Penentuan lokasi hiposenter yang akurat dan presisi dibutuhkan untuk meminimalisasi potensi seismic hazard. Pada tambang bawah tanah event – event gempa umumnya terjadi di bukaan tambang, hal ini diakibatkan oleh kompensasi massa yang diambil yang mengakibatkan munculnya stress. Akumulasi stress yang tinggi mengakibatkan terjadinya event gempa mikro. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan relokasi hiposenter yang akurat pada tambang bawah tanah. Data yang digunakan adalah katalog gempa selama 2 bulan dari area tambang bawah tanah di daerah Jawa Timur. Jumlah event gempa sebanyak 1783 dengan magnitudo gempam mikro dari -1.3 sampai dengan 1.5 Mw. Untuk mendapatkan tingkat akurasi dan presisi yang tinggi terutama dalam penentuan lokasi serta kedalaman dalam penentuan hiposenter digunakan teknik Double - Difference (DD). Hasil relokasi gempam mikro menunjukkan dari 1783 event terelokasi 1765 dengan total phase mencapai 2994. Fase gelombang P terseleksi pasangan sebanyak 49910 dari 57991 (86%), sedangkan untuk fase gelombang S terseleksi pasangan sebanyak 24943 dari 28752 (86%). Pergeseran gempam mikro sebelum dan setelah direlokasi menyebar ke segala arah dengan arah dominan berarah NE – SW. Nilai pergeseran gempam mikro sebelum dan setelah direlokasi berkisar dari 0.01 meter sampai dengan 13 meter.

Kata kunci: Gempam mikro, Relokasi, Hiposenter, Double-Difference

Abstract – Determining the location is the first and foremost activity in the field of seismology. Accurate and precise determination of the hypocenter location is required to minimize potential seismic hazard. In underground mines – events generally occur in mine openings, this is due to mass compensation taken which results in stress generation. The accumulation of high stress results in the occurrence of microseismic. This study aims to obtain accurate hypocenter relocation in underground mines. The data used is an earthquake catalog for 2 months from underground areas in East Java. The number of earthquake events was 1783 with a magnitude of micro-earthquake from -1.3 to 1.5 Mw. To obtain a high level of accuracy and precision, especially in the location and in determining the hypocenter, the Double-Difference (DD) technique is used. The results of the relocation of microseismic showed that 1783 events were relocated in 1765 with a total phase reaching 2994. The P-wave phase was selected by 49910 pairs out of 57991 (86%), while for the S-wave phase, 24943 pairs were selected from 28752 (86%). The shift of the microearthquake before and after being relocated spread in all directions with the dominant direction in the NE – SW direction. The value of the microearthquake shift before and after being relocated ranged from 0.01 meters to 13 meters.

Key words: Microseismic, Relocation, Hypocenter, Double – Difference

PENDAHULUAN

Penentuan hiposenter merupakan tahapan yang sangat penting dalam seismologi. Relokasi hiposenter gempa bumi merupakan suatu metode menghitung ulang atau mengkoreksi posisi hiposenter gempa bumi menjadi lebih baik dan akurat. Tingkat akurasi lokasi hiposenter ditentukan oleh tipe, jumlah event gempa, ray path, stasiun pemantauan, dan geometri stasiun, *picking gelombang P dan S*[1]. Faktor geometri stasiun

pengamat dapat ditingkatkan dengan cara menambah stasiun yang ada. Untuk kesalahan pembuatan model kecepatan serta tingkat akurasi pembacaan waktu tiba gelombang diperlukan analisis mendalam. Initial model kecepatan yang digunakan akan juga berpengaruh terhadap kualitas data yang didapatkan. Pada penelitian ini penggunaan kecepatan awal memanfaatkan hasil *coring* laboratorium, sehingga faktor kesalahan akibat model awal dapat dihindari [2].

Tujuan utama penerapan jaringan seismik dalam bidang pertambangan adalah untuk memonitoring seismisitas di area pertambangan secara terus menerus [3], [4], [6]. Pemantauan seismik umumnya terdiri dari penentuan lokasi hiposenter, energi dan estimasi momen seismik [7], [8]. Untuk meningkatkan akurasi dan keandalan analisis data serta kebutuhan untuk menganalisis kejadian seismik yang sangat kecil dalam skala lokal diperlukan banyak perbaikan dalam prosedur analisis data seismik [2], [5], [8]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan lokasi hiposenter yang akurat dan presisi pada tambang bawah tanah. Penentuan lokasi hiposenter pada tambang bawah tanah mutlak diperlukan untuk meminimalisir potensi *seismic hazard* pada tambang bawah tanah [9].

Monitoring gempamikro merupakan metode investigasi seismik bawah permukaan berdasarkan deteksi lokasi gempa dengan magnitudo kecil yang terjadi pada batuan berkenaan dengan proses alami ataupun buatan [5], [8]. Evolusi *tunnel development* dan evolusi bukaan tambang dapat direkonstruksi dengan baik melalui analisa sebaran *event* gempamikro yang tentunya membutuhkan penentuan hiposenter yang akurat [10], [11]. Kegiatan monitoring seismik pada tambang bawah tanah dapat menjadi *early warning system* bagi asset tambang terutama keselamatan pekerja [12].

Penelitian ini akan mengkaji permasalahan pertama dan utama dalam kajian seismologi yaitu relokasi hiposenter. Untuk daerah dengan intensitas seismisitas tinggi seperti pada tambang bawah tanah diperlukan suatu algoritma penentuan hiposenter yang akurat, hal ini dilakukan karena keselamatan pekerja dan asset tambang bawah tanah [13]. Permasalahan metode – metode relokasi hiposenter yang digunakan saat ini belum banyak yang membahas tentang suatu gempa yang ter *cluster*. *Event* gempa yang terjadi umumnya tersebar, oleh karena itu pada penelitian ini akan dibahas suatu algoritma penentuan hiposenter yang dapat memberikan solusi yang tepat dalam bidang *clustering* gempa sehingga dapat memitigasi bencana seismik pada tambang bawah tanah sedini mungkin.

LANDASAN TEORI

Penjalaran gelombang seismik banyak digunakan di berbagai bidang penelitian seperti seismologi, geofisika dan mekanika batuan. Cepat rambat gelombang seismik merupakan

indikator komprehensif dari sifat fisis batuan [14]. Akumulasi *stress* pada tambang bawah tanah dapat mengakibatkan potensi *seismic hazard* yang dapat membahayakan keselamatan pekerja di area tambang bawah tanah. Pembangunan terowongan, runtuh batuan akibat bukaan tambang akan menimbulkan *induced seismic* baru yang harus dimonitoring distribusi *stress*nya dengan cepat dan akurat. Untuk mendapatkan informasi sumber gempa berasal diperlukan metode yang memiliki tingkat akurasi yang tinggi, salah satunya adalah menggunakan metode *Double - Difference* (DD) [15].

Metode DD merupakan pengembangan dari metode Geiger. Metode DD mengasumsikan jarak antara dua *event* gempamikro jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan jarak *event* tersebut ke stasiun pengamat. *Ray path* dari kedua *event* tersebut dianggap sama [16]. Gambar 1 merupakan ilustrasi dua buah *event* gempamikro *i* dan *j* dengan jarak berdekatan dibandingkan dengan stasiun pengamatan *k* dan *l*. Waktu tiba gelombang *T* dari *event* gempamikro *i* ke stasiun pengamatan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$T_k^i = \tau^i + \int_i^k u ds \quad (1)$$

Di mana τ^i merupakan waktu *event* gempamikro *i*, u adalah *vector slowness*, dan ds merupakan partisi dari lintasan *ray path*. Waktu tiba dan lokasi sumber sangat tidak linier, oleh karena itu data pengamatan dan perkiraan waktu tiba gelombang r_k^i dilinierisasi (linearized) untuk mempermudah perhitungan.

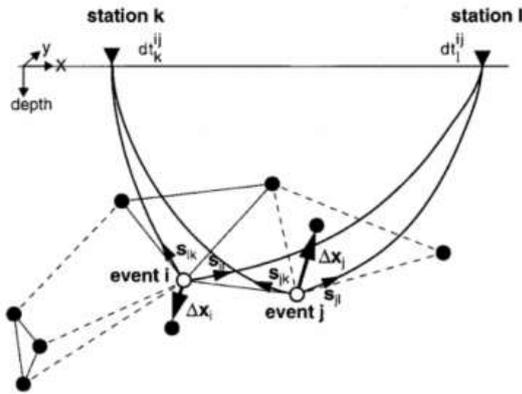
$$r_k^i = \sum_{l=1}^3 \frac{\partial T_k^i}{\partial x_l^i} \Delta x_l^i + \Delta \tau^i + \int_i^k \delta u ds \quad (2)$$

Persamaan 2 disubstitusikan dengan kejadian dari sumber *j* yang diterima stasiun *k*, maka didapatkan:

$$r_k^i - r_k^j = \sum_{l=1}^3 \frac{\partial T_k^i}{\partial x_l^i} \Delta x_l^i + \Delta \tau^i + \int_i^k \delta u ds - \sum_{l=1}^3 \frac{\partial T_k^j}{\partial x_l^j} \Delta x_l^j - \Delta \tau^j - \int_i^j \delta u ds. \quad (3)$$

Dengan mengasumsikan kedua sumber tersebut sangat dekat sehingga garis *ray path* tersebut hampir sama dan saling menghilangkan, persamaan 3 dapat disederhanakan menjadi:

$$r_k^i - r_k^j = \sum_{l=1}^3 \frac{\partial r_k^i}{\partial x_l^i} \Delta x_l^i + \Delta \tau^i - \sum_{l=1}^3 \frac{\partial r_k^j}{\partial x_l^j} \Delta x_l^j - \Delta \tau^j \quad (4)$$



Gambar 1. Skema Teknik DD [16]

Di mana $r_k^i - r_k^j$ merupakan DD [16]. Perbedaan waktu antara data pengamatan dengan perhitungan diantara dua event gempamikro yang berdekatan ditulis menjadi:

$$r_k^i - r_k^j = (T_k^i - T_k^j)^{obs} - (T_k^i - T_k^j)^{kalkulasi} \quad (5)$$

Perbedaan waktu tiba $(T_k^i - T_k^j)^{obs}$ diperoleh berdasarkan *cross correlation waverform* atau dari perbedaan waktu absolut berdasarkan katalog gempamikro. “Persamaan 3” langsung diterapkan pada iterasi dan jika ditulis dalam bentuk matriks menjadi:

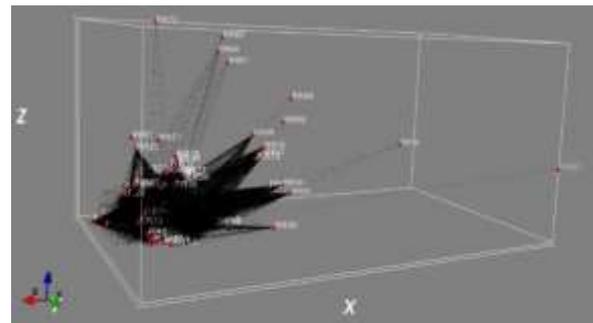
$$Q_{dd}A\Delta x + Q_{dd}C\Delta M = Q_{dd}\Delta T. \quad (6)$$

A adalah differential matriks parsial dari hiposenter dan origin *time* gempa berukuran $N_T \times 4M_T$. Δx adalah matriks vektor pertubasi posisi dan waktu origin gempa yang berukuran $4 M_T \times 1$. C adalah differential matriks dari pertubasi model *slowness* yang berukuran $N_T \times L$. ΔM merupakan vektor pertubasi *slowness* yang berukuran $L \times 1$. ΔT merupakan vektor residual waktu tiba yang berukuran $N_T \times 1$. N_T merupakan total data observasi waktu tiba, M_T merupakan total hiposenter, dan L merupakan total *grid nodei* dari model kecepatan. Q_{dd} adalah matriks operator *double-difference* yang berukuran $\sum_{k=1}^{K^T} \frac{W_k(W_k-1)}{2} \times N_T$, dimana W_k merupakan jumlah gempa yang direkam pada stasiun k. Untuk mengetahui arah rambat *ray path* dan menghitung waktu tempuh kalkulasi menggunakan algoritma *pseudo-bending ray*

tracing [15]. Diferensial parsial dari hiposenter dihitung menggunakan arah ray dan kecepatan lokal di sekitar sumber gempa [17]. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan [15], metode DD ini efisien untuk merelokasi kejadian gempa secara akurat dan menggambarkan struktur kecepatan lokal dengan cukup baik.

METODE PENELITIAN

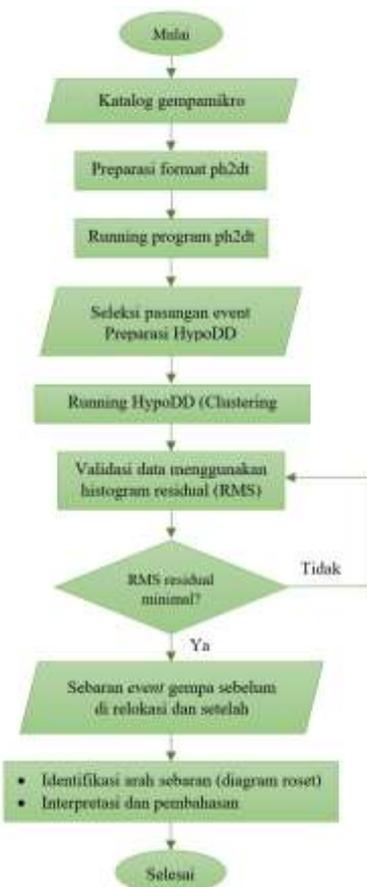
Relokasi gempamikro pada penelitian ini menggunakan *HypoDD*. Data yang digunakan adalah data katalog gempamikro selama 2 bulan (Januari – Februari 2021) hasil rekaman 30 stasiun dari area tambang bawah tanah di daerah Jawa Timur (gambar 2). Katalog gempa terdiri dari tanggal, waktu kejadian *event*, stasiun, besaran skala, kedalaman dan *uncertainty* dari masing – masing parameter tersebut. Total *event* gempa untuk katalog gempa bulan januari dan february sebanyak 1783 *event* gempamikro dengan magnitudo gempa dari -1.3 sampai dengan 1.5 Mw. Katalog gempa tersebut kemudian di dihitung waktu tempuh dan menentukan pasangan *eventnya* menggunakan bahasa pemrograman fortran yang dikemas dalam *ph2dt*.



Gambar 2. Sebaran stasiun seismometer (bulatan warna merah) dan *raypath event* gempamikro (garis hitam)

Berdasarkan hasil *runing ph2dt* diperoleh informasi *event* terseleksi sebanyak 1765 *event* dengan total phase mencapai 2994. Fase gelombang P terseleksi pasangan sebanyak 49910 dari 57991 atau sebanyak 86%, sedangkan untuk fase gelombang S terseleksi pasangan sebanyak 24943 dari 28752 (86%). Terdapat 1 kluster gempa, *event* gempamikro berada disekitar bukaan tambang. Model kecepatan awal yang digunakan merupakan model kecepatan 3-Dimensi. Model kecepatan 3-Dimensi diperoleh dari informasi geologi dari

coring batuan secara vertikal maupun horisontal. data tersebut kemudian diparametirasi sesuai luasan dan grid inputan program *HypoDD*. Pengolahan data secara detail pada penelitian ini disajikan pada gambar 3.

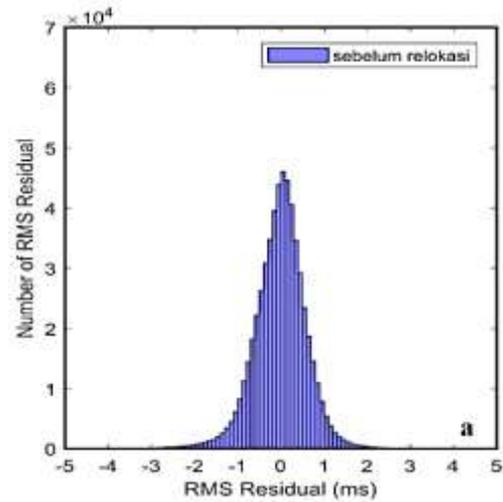


Gambar 3. Diagram alir pengolahan data

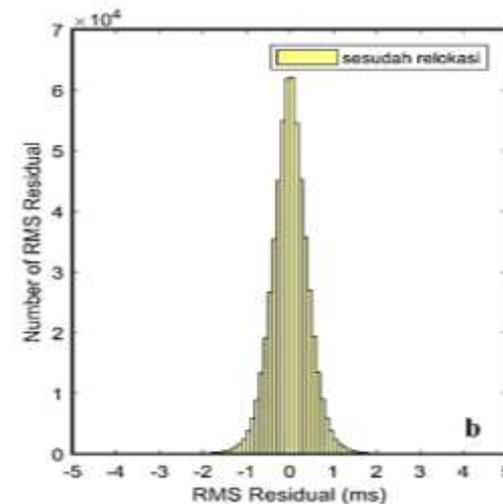
HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode DD menggunakan waktu tiba relatif (*cross-correlation* data atau *differential catalog* data) serta *absolute* data yang secara simultan merelokasi gempa sekaligus menghitung model kecepatan 3-Dimensi. Gambar 4 merupakan histogram residual waktu tempuh sebelum direlokasi, sedangkan gambar 5 merupakan histogram yang telah direlokasi. Distribusi RMS residual sebelum direlokasi berada pada rentang -3 ms sampai dengan 2 ms. Histogram setelah direlokasi menunjukkan nilai distribusi frekuensi tinggi dan mendekati 0 dengan rentang nilai -2 ms sampai dengan 2 ms, yang menunjukkan relokasi gempa mikro secara statistik lebih baik dibandingkan sebelum dilakukan relokasi. Untuk mengetahui jarak pergeseran

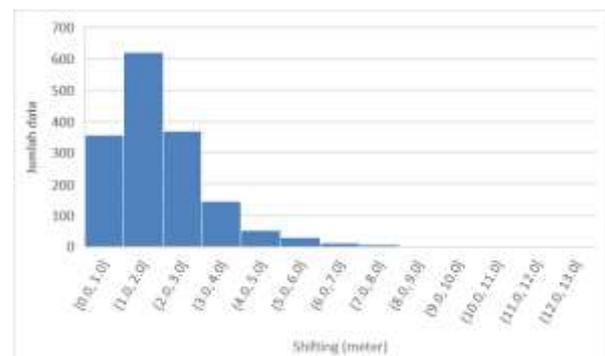
gempamikro sebelum dan sesudah direlokasi, dilakukan pembuatan histogram pergeseran vs jumlah data dan diagram roset untuk mengetahui arah dominan persebarannya (Gambar 6 dan 7).



Gambar 4. Histogram RMS Residual gempamikro sebelum direlokasi

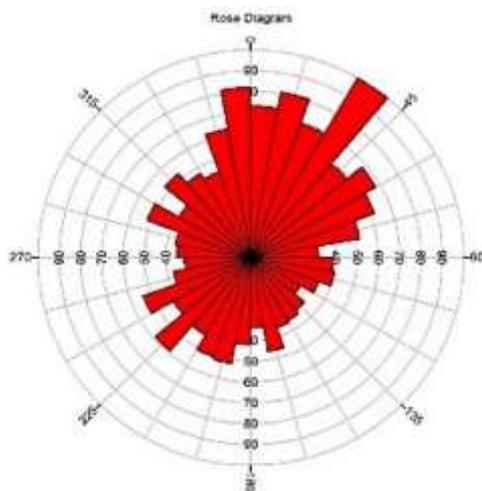


Gambar 5. Histogram RMS Residual gempamikro setelah di relokasi



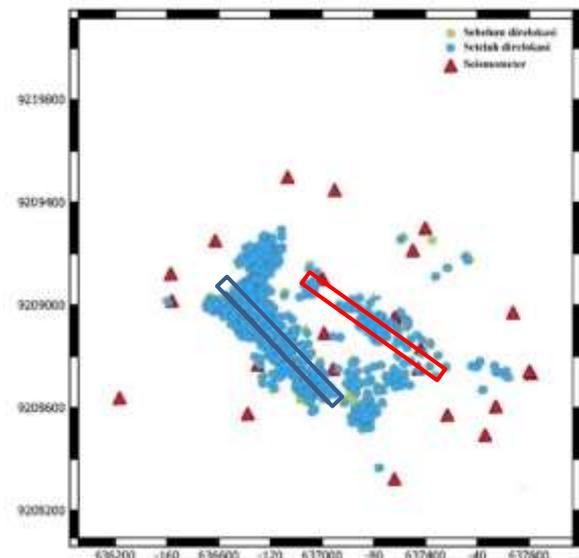
Gambar 6. Histogram pergeseran (*shifting*) sebelum dan setelah direlokasi.

Area tambang bawah tanah yang memiliki level aktivitas seperti level produksi, terowongan, level *undercut*, level ekstraksi, *hauling* memiliki area relatif sempit (≤ 20 meter antar levelnya). Berdasarkan hasil relokasi gempamikro diperoleh pergeseran hiposenter bergeser dari dari 0,01 meter sampai dengan 13 meter (Gambar 6) dari posisi sebelumnya. Hasil histogram pergeseran gempamikro kemudian dibuat diagram rosetnya untuk melihat kecenderungan penyebarannya. Sebaran gempamikro yang ditunjukkan oleh diagram roset menyebar kesegala arah, namun dominan berarah NE- SW (Gambar 7). Arah dominan pergeseran *event* gempamikro ini hanya menunjukkan kearah mana *event* bergeser dari posisi semulanya.



Gambar 7. Diagram roset sebaran gempamikro

Distribusi *event* sebelum dan sesudah relokasi dapat dilihat pada gambar 8. Titik warna hijau adalah sebaran *event* gempa sebelum direlokasi sedangkan warna biru adalah *event* yang telah direlokasi. Segitiga warna merah merupakan sebaran stasiun pengamatan. Sebaran *event* gempamikro pada gambar 8 menunjukan adanya pola kelurusan (*linement*) berarah NW – SE yang merupakan jalur bukaan tambang berupa *tunnel* (garis berwarna hitam) yang diakibatkan oleh adanya kegiatan *Development Blasting* (DB). Kegiatan DB mempengaruhi area sekitar tambang bawah tanah yang mereaktivasi keberadaan sesar sejajar dengan *tunnel development* (garis warna merah). Untuk memastikan potensi *seismic hazard* terutama reaktivasi sesar maka perlu dilakukan monitoring gempamikro dan pemetaan *stress* serta pengaturan *property blasting*.



Gambar 8. Sebaran *event* gempa sebelum (titik warna hijau) dan setelah direlokasi (titik warna biru), Segitiga warna merah merupakan stasiun pengamat gempamikro. Garis warna hitam merupakan *tunnel development* sedangkan garis warna merah merupakan sesar yang teraktivasi akibat adanya kegiatan *development blasting* (DB)

KESIMPULAN

Metode Double – Difference (DD) mampu merelokasi gempamikro dengan akurat terutama daerah disekitar sumber gempa. Hasil relokasi DD memiliki tingkat akurasi yang tinggi yang ditunjukkan oleh histogram RMS residual. Diperlukan monitoring gempamikro untuk mencegah potensi *seismic hazard* berupa reaktivasi sesar disekitar area penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada LPPM UPN Veteran Yogyakarta atas pendanaan penelitian internal skim penelitian dasar.

DAFTAR PUSTAKA

Artikel Jurnal:

- [1] Gomberg, Beeler N.M., Blanpied, M.L., and Bodin, “P. Earthquake triggering by transient and static deformations”, *Journal of geophysical research* 103(B10) (1998) 411-424.
- [2] Wang Z, Xibing Lia, Dapeng Zhao, Xueyi Shang, Longjun Dong, “Time-lapse seismic tomography of an

- underground mining zone”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 107 (2018) 136-149,
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2018.04.038>
- [3] Gibowicz and Lasocki, “Seismicity Induced By Mining Ten Years Later”, *Advances in geophysics* 44 (2001).
- [4] Mendecki and Sciocatti, *Seismic Monitoring on Mines*, Chapman and Hall. London, 1997.
- [5] Nugraha, DA., *Mikroseismik*, Penerbit ITB Press 2018, ISBN 978-602-5417-59-7, 1997.
- [6] Luxbacher K, Westman E, Swanson P, Karfakis M, “Three-dimensional time-lapse velocity tomography of an underground longwall panel”, *Int J Rock Mech Min* 45 (2008) 478–485.
- [7] Zhao DP, Mishra OP, Sanda R, “Influence of fluids and magma on earthquakes: seismological evidence”, *Phys Earth Planet Inter.* 132(2002) 249–267.
- [8] Zhao DP, Wang Z, Umino N, Hasegawa A. Tomographic imaging outside a seismic network: application to the northeast Japan arc. *Bull Seismol Soc Am.* 2007;97:1121–1132
- [9] Ma, Xu & Westman, Erik & Counter, Dave & Malek, Farid & Slaker, Brent. “Passive Seismic Imaging of Stress Evolution with Mining-Induced Seismicity at Hard-Rock Deep Mines”, *Rock Mechanics and Rock Engineering* (2020) 10.1007/s00603-020-02076-5
- [10] Hosseini N, Oraee K, Shahriar K, Goshtasbi K., “Studying the stress redistribution around the longwall mining panel using passive seismic velocity tomography and geostatistical estimation”, *Arab J Geosci.* 6 (2013) 1407–1416.
- [11] Cai W, Dou LM, Cao AY, Gong SY, Li ZL., “Application of seismic velocity tomography in underground coal mines: a case study of Yima mining area, Henan, China”, *J Appl Geophysics.* 109(2014) 140–149.
- [12] Cai W, Dou LM, Gong SY, Li ZL, Yuan SS., “Quantitative analysis of seismic velocity tomography in rock burst hazard assessment”, *Nat Hazards.* 75 (2015) 2453–2465.
- [13] Lurka A., “Location of high seismic activity zones and seismic hazard assessment in Zabrze Bielszowice coal mine using passive tomography”, *J China Univ Min Technol.* 18 (2008) 177–181.
- [14] Wang Z, Xibing Lia, Dapeng Zhao, Xueyi Shang, Longjun Dong, “Time-lapse seismic tomography of an underground mining zone”, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 107(2018) 136-149.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2018.04.038>
- [15] Zhang, H.J., and Thurber, C., “Adaptive mesh seismic tomography based on tetrahedral and Voronoi diagrams: Application to Parkfield, California”, *J. Geophys. Res.* 110 (B4) (2005) 225–243.
- [16] Waldhauser, F., and Ellsworth, W.L., “A Double-Difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California”, *Bulletin of the Seismological Society of America* 90 (2000) 1353–1368.
<https://doi.org/10.1785/0120000006>
- [17] Lee WH, and Stewart SW, *Principles and Applications of Micro-Earthquake Network: Advances in Geophysics, Supplement 2*, Academic Press, Cambridge, 1981.

Analisis tekanan dan laju aliran fluida di sekitar baling-baling Savonius dengan Computational Fluid Dynamics

Farzand Abdullatif*, Hartono, dan Sugito

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Jln. Dr. Soeparno 61, Grendeng, Purwokerto, Indonesia, 53122

*email: farzand@unsoed.ac.id

Abstrak – Bagian terdepan dari sistem konversi energi angin terletak pada baling-baling atau kincir angin. Pada dasarnya terdapat dua jenis baling-baling yaitu Horizontal Axis Wind Turbin (HAWT) dan Vertikal Axis Wind Turbin (VAWT). Setiap jenis mempunyai kelebihan dan kekurangannya. Jenis baling-baling vertikal yang cukup banyak digunakan adalah jenis VAWT Savonius. Salah satu kekurangan jenis Savonius adalah efisiensinya yang rendah. Rendahnya efisiensi dimungkinkan karena desain yang kurang sesuai dengan potensi angin yang ada. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis aerodinamika aliran udara melalui baling-baling Savonius. Analisis akan menggunakan metode CFD (computational fluid dynamics) untuk memperoleh kinerja berupa koefisien daya yang dihasilkan baling-baling Savonius. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ada resultan tekanan pada satu sisi bilah sehingga menimbulkan momen yang memutar baling-baling. Garis alir menunjukkan bahwa kecepatan udara sebelum mengenai baling-baling lebih besar daripada setelah melewati baling-baling. Hasil simulasi menunjukkan bahwa angin masuk dengan kecepatan 1,2 m/s dan keluar dari baling-baling dengan kecepatan 0,6 m/s. Berdasarkan hal itu diperoleh koefisien daya baling-baling sebesar 25%.

Kata kunci: Kincir Savonius, dimensi optimum, computational fluid dynamics

Abstract – The foremost part of a wind energy conversion system is a turbine. There are typically two kinds of turbine, the horizontal axis wind turbines (HAWT) and the vertical axis wind turbines (VAWT). Each type of the turbines has its own advantages and disadvantages. A widely used type of VAWT is the Savonius turbine. The weakness of this type of turbine is its low efficiency, which may be attributed to inappropriateness of its design to its ambient wind average velocity. For that reason, this work was conducted to analyze the aerodynamics of airflow passing a Savonius blade. The analysis was carried out using computational fluid dynamics (CFD) method to find the power coefficient generated by a Savonius turbine. The result shows a difference of pressure between two sides of the blade, resulting a moment of force that cause the turbine to rotate. Streamlines indicates inflow velocity is higher than the outflow velocity from the turbine. Simulation shows that the inflow velocity is 1.2 m/s while the outflow velocity is 0.6 m/s, which accordingly yield a power coefficient of 25%.

Key words: Savonius turbine, optimal dimension, computational fluid dynamics

PENDAHULUAN

Pengembangan berbagai sistem konversi energi telah banyak dilakukan guna memenuhi kebutuhan energi alternative[1]. Energi angin merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat dikembangkan sebagai salah satu energi alternatif. Pengembangan energi angin dapat diawali dengan membuat simulasi dan pemodelan[2]. Salah satu bagian yang perlu dikembangkan adalah bagian kincir angin. Kincir merupakan bagian yang berfungsi mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Berdasarkan jenisnya kincir dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu sumbu horisontal dan sumbu vertikal[3].

Energi angin merupakan energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi berbagai bentuk

energi yang lain. Kunci utama konversi energi angin terletak pada sistem baling-baling. Optimasi terhadap desain baling-baling sangat berpengaruh terhadap efisiensinya. Diharapkan dengan optimasi yang akan dilakukan akan diperoleh sebuah formulasi yang dapat digunakan untuk merancang bangun baling-baling jenis Savonius yang optimal. Dimensi baling-baling juga dapat disesuaikan dengan potensi angin setiap wilayah. Permasalahan yang berhubungan dengan hal tersebut adalah bagaimana upaya peningkatan efisiensi konversi energi angin dengan baling-baling Savonius dapat dilakukan

Baling-baling savonius dikenal sebagai baling-baling dengan rancangan yang sederhana[4]. Konversi energi angin menggunakan sistem baling-baling mempunyai

efisiensi yang masih rendah, yaitu berkisar 30 - 40 %. Optimasi baling-baling sumbu horisontal dengan Maximum Power Point Tracker dapat meningkatkan hingga 49,51% [5]. Baling-baling sumbu vertikal jenis Darrieus merupakan jenis lain dari media konversi energi angin. Optimasi Vertical Axis Wind Turbin (VAWT) jenis Darrieus dapat menghasilkan daya mencapai 1908 Wh yang dapat digunakan untuk penerangan jalan tol [6]. Pengembangan konversi energi angin telah dilakukan untuk sarana pompa air yang menggunakan kincir angin tipe savonius dua buah baling-baling [7,8].

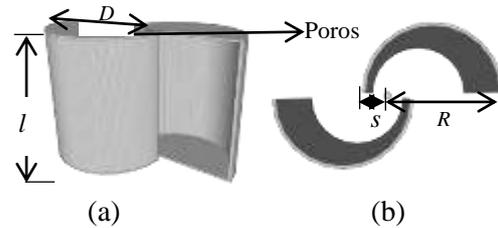
Beberapa riset yang sudah dilakukan menyatakan bahwa masih diperlukan pengembangan terkait dengan konversi energi angin. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah melakukan optimasi baling-baling. Savonius merupakan jenis VAWT yang mempunyai kelebihan dapat menangkap angin dari segala arah. Dalam perancangan baling-baling Savonius, pembuatan baling-baling dengan dimensi yang tepat akan menghasilkan efisiensi yang lebih optimal. Upaya berikutnya yang dapat dilakukan adalah dengan menganalisis lebih lanjut dengan memperhitungkan bagaimana aliran udara (aerodinamika) melalui baling-baling. Kajian ini dapat dilakukan dengan computational fluid dynamics (CFD) [10]. Dalam pengembangan terakhir dilakukan pengkajian baling-baling savonius dengan bilah yang bisa mengalami deformasi [4]. Mereka menemukan bahwa bilah terdeformasi dapat menaikkan kinerja hingga 90%, yakni menghasilkan koefisien daya sebesar 39%. Pada penelitian ini kajian akan dilakukan terhadap baling-baling Savonius dengan bilah tetap yang dialiri angin dengan kecepatan rendah, 1,5 m/s [8].

METODE PENELITIAN

Rancangan geometri baling-baling

Formulasi dan simulasi komputasi merupakan tahapan inti dalam kegiatan penelitian ini. Hal pertama yang akan dilakukan pada tahapan ini adalah membuat rancangan baling-baling Savonius dengan berbagai jumlah bilah, berbagai ukuran dan berbagai macam bahan. Rancangan ini digunakan sebagai dasar dalam membuat formulasi. Pembuatan rancangan baling-baling dilakukan menggunakan bantuan drawing pad, sehingga

hasil rancangan dapat langsung diakses di dalam personal komputer atau laptop. Salah satu desain baling-baling yang akan dikaji seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Rancangan bilah kincir savonius, yang terdiri atas dua setengah silinder berongga. (a) Tampak samping, (b) tampak atas.

Geometri dilakukan dengan merancang baling-baling dengan ukuran diameter dan tinggi yang perbandingannya 1:1. Komputasi dilakukan dengan software CFD Ansys. Komputasi dimulai dengan membuat jala-jala komputasi di sekitar geometri baling-baling. Hal itu dilakukan secara otomatis oleh software. Berdasarkan jala-jala komputasi tersebut komputasi dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter penting aliran angina yaitu, kecepatan dan tekanan. Dari hasil tersebut, dilakukan penghitungan koefisien daya. Koefisien daya dihitung berdasarkan rumusan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_{keluar}}{P_{masuk}} \tag{1}$$

P_{keluar} dan P_{masuk} masing-masing adalah daya angin saat mengenai baling-baling dan daya angin setelah melalui baling-baling. Karena daya berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan angin, maka persamaan koefisien daya dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$C_p = \frac{v_{keluar}^2}{v_{masuk}^2} \tag{2}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data resistivitas dilakukan pada bulan Rancangan Geometri

Untuk melakukan simulasi aliran udara melalui kincir, tahap pertama adalah menggambar geometri kincir di dalam program simulasi.

Hasil perancangan geometri pada program simulasi ANSYS diperlihatkan pada gambar 2.



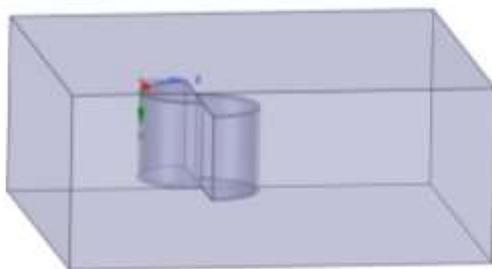
Gambar 2 Rancangan geometri kincir savonius dalam program simulasi ANSYS

Geometri kincir tersebut menjadi input dalam tahapan berikutnya pra komputasi yaitu pembuatan jala komputasi.

Pembuatan Jala Komputasi

Tahapan penting dalam komputasi dalam persamaan diferensial adalah pembuatan jala komputasi. Jala komputasi (*computational mesh*) merupakan landasan pendiskretan persamaan sehingga dapat dihitung dengan komputer. Dalam penjalaaan, domain kontinu fluida di sekitar benda yang diamati diubah menjadi bagian-bagian diskret berupa jala.

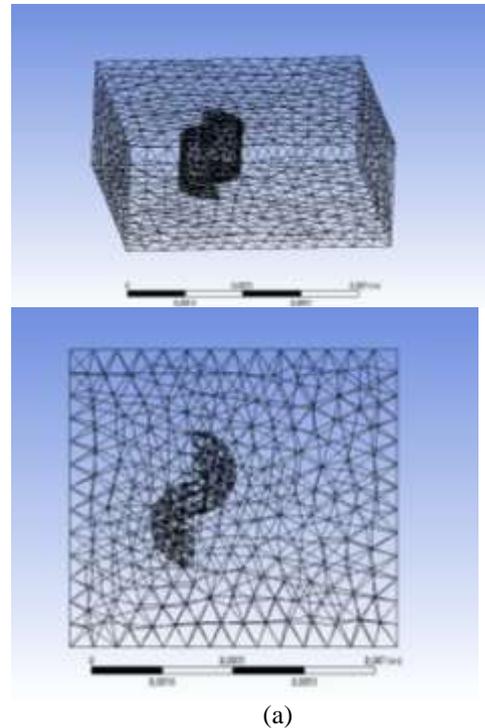
Sebelum penjalaaan dilakukan model domain udara di sekitar kincir perlu didefinisikan terlebih dahulu. Pembatasan dilakukan sedemikian rupa sehingga tidak terlalu kecil sehingga tidak menggambarkan secara baik aliran udara di sekitar kincir namun tidak terlalu besar agar tidak membebani proses perhitungan. Pada gambar 4.3 diperlihatkan model udara di sekitar kincir Savonius.



Gambar 3 Model domain udara di sekitar kincir

Pada model tersebut udara di sekitar kincir dibatasi dalam geometri balok. Bagian kanan domain udara dibuat lebih panjang daripada bagian kiri untuk melihat kemungkinan adanya *wake* setelah angin melewati kincir.

Jala komputasi kemudian dihasilkan dengan mengeset agar tepat di sekitar bilah lebih rapat. Hal ini dimaksudkan agar jumlah elemen perhitungan di daerah itu lebih banyak sehingga detail di sekitar itu lebih terungkap. Jala komputasi hasil pendefinisian yang dibangkitkan oleh program diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4 Jala komputasi sebagai landasan pendiskretan persamaan untuk melakukan komputasi. (a) dalam 3 dimensi, (b) tampak atas.

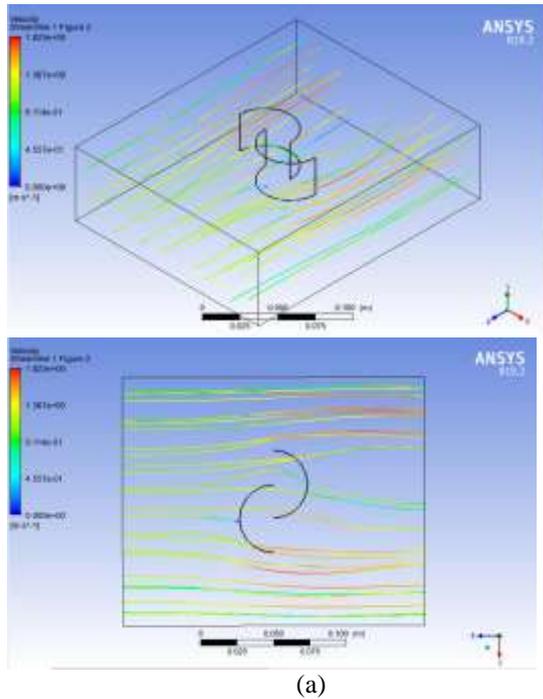
Meskipun pada gambar terlihat jarang, ukuran elemen-elemen jala sebenarnya sangat kecil, sampai orde 0,001 mm sehingga hasil perhitungan di setiap elemen jala praktis akan kontinu.

Hasil Komputasi

Berdasarkan pendiskretan dengan jala yang telah dibangkitkan, Persamaan Navier-Stokes dipecahkan di setiap elemen jala. Berikut ini akan dibahas hasil pemodelan aliran angin dan tekanan angin di sekitar kincir. Sebelum penghitungan variabel-variabel fisis yang dikehendaki terkait kincir yang berputar ketika dihembus angin, model komputasi diuji terlebih dahulu. Pengujian dilakukan dengan melihat hasil saat angin melewati kincir tanpa perputaran kincir dan saat kincir berputar tanpa dihembus angin.

Garis alir angin

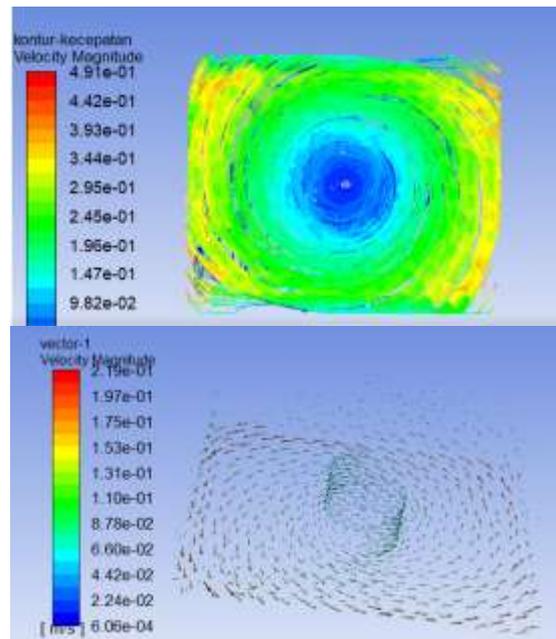
Model diuji coba dengan mengalirkan angin dengan laju 1,2 m/s (sekitar 4 km/jam). Garis alir angin itu diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5 Garis alir angin melewati kincir saat bilah tidak berputar (a) tiga dimensi, (b) tampak atas

Terlihat bahwa di sebelah kiri kincir garis alir lurus dan berbelok saat melewati kincir. Garis-garis alir sebelum melewati kincir lebih rapat daripada setelah melewati kincir. Hal ini menunjukkan bahwa laju aliran angin melambat setelah melewati kincir. Hal ini wajar karena sebagian energi angin diberikan kepada kincir. Hal ini ekuivalen dengan tekanan yang mengakibatkan kincir berputar. Kontur tekanan akan dibahas pada sub-subbab berikutnya.

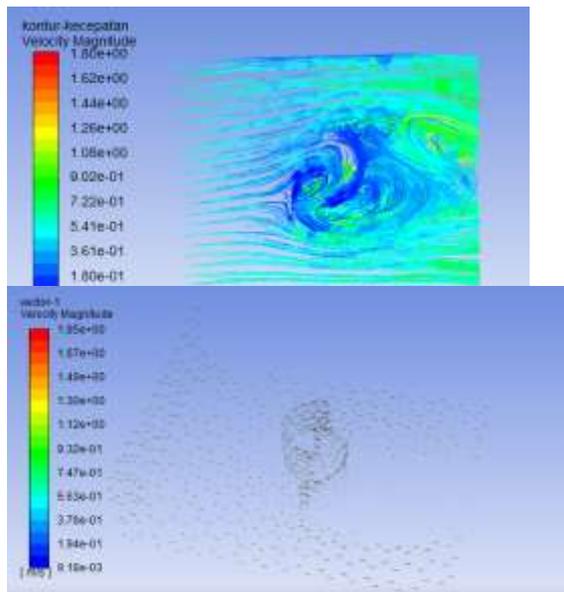
Untuk menguji apakah model secara benar menunjukkan kondisi udara saat kincir berputar, dalam model komputasi domain udara dibuat berotasi dengan kecepatan sudut sembarang. Dalam model ini diset perputaran dengan kecepatan sudut $\omega = 4 \text{ rad/s}$.



Gambar 6 Dekripsi aliran udara di sekitar bilah yang berputar dengan kecepatan sudut 4 rad/s. (a) dalam bentuk kontur kecepatan, (b) dalam bentuk vector kecepatan

Pada gambar 6 diperlihatkan bagaimana aliran udara di sekitar kincir. Gambar (a) menunjukkan kontur kecepatan udara dengan gradasi warna dari biru hingga merah. Hasil menunjukkan kewajaran dengan terlihatnya pusaran angin dengan kecepatan semakin besar semakin menjauh dari kincir. Arah perputaran angin diperlihatkan lebih jelas dengan medan vektor kecepatan pada gambar (b).

Kincir akan berputar apabila dikenai angin. Perputaran kincir tersebut juga akan berpengaruh balik terhadap aliran angin di sekitar kincir. Aliran angin melewati kincir yang berputar diperlihatkan pada gambar 6.



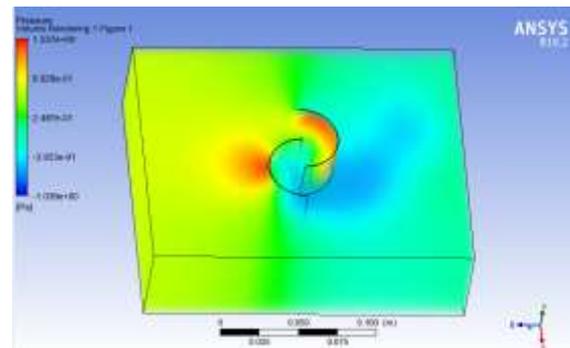
(a)

Gambar 7 (a) Tampak katas kontur kecepatan angin di sekitar bilah yang berputar. (b) Vektor kecepatan angin di sekitar bilah berputar

Saat angin melewati bilah yang berputar, aliran angin terpengaruh sehingga relatif terhadap kincir, lajunya membesar. Bila lajunya melebihi bilangan Reynolds tertentu, aliran akan mengalami turbulensi. Gambar 7(a) memperlihatkan adanya pusaran aliran di belakang kincir yang menandakan adanya turbulensi. Adanya turbulensi ini dapat mengakibatkan *drag* yang mengambat perputaran kincir.

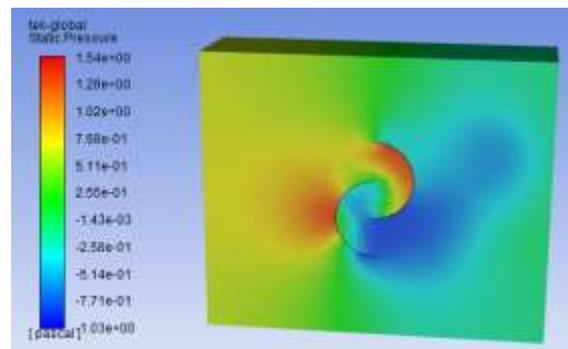
Tekanan terhadap bilah

Telah disinggung pada sub-subbab berikutnya bahwa turunnya laju aliran di belakang kincir menandakan adanya penurunan tekanan udara. Kontur tekanan udara di sekitar bilah kincir saat udara mengalir melewatinya diperlihatkan pada gambar 8. Gradasi warna dari biru ke merah menandakan tekanan kecil hingga tekanan besar.



Gambar 8 Kontur tekanan angin di sekitar bilah tanpa putaran kincir

Pada kedua kedua sisi bilah tampak ada perbedaan tekanan, sebelah kiri bertekanan lebih besar daripada sebelah kanan. Hal ini ditandai dengan warna merah di sebelah kiri. Wilayah merah di bilah belahan atas yang lebih luas daripada (b) bagian bawah menandakan bahwa gaya pada bilah bagian atas lebih besar daripada bagian bawah. Oleh karena itu, secara netto akan ada torsi yang memutar, dengan arah searah jarum jam. Akibat torsi ini, kincir pun akan berputar.



Gambar 9 Kontur tekanan bilah saat bilah berputar ketika dialiri angin

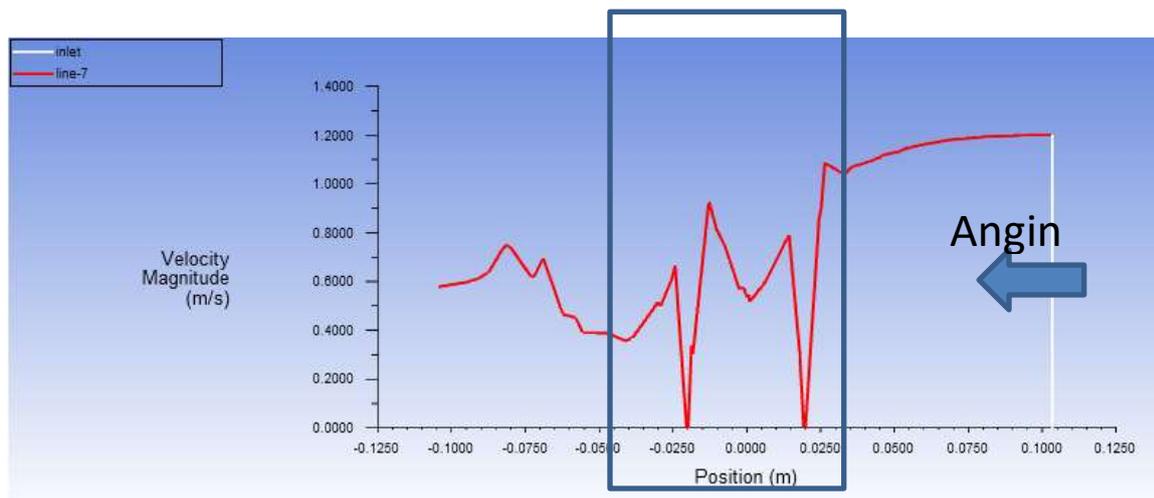
Setelah bilah berputar, sebaran tekanan terhadap bagian-bagian bilah termodifikasi. Bagian bilah bagian bawah yang dikenai tekanan tinggi meluas. Sebagai akibatnya gaya terhadap bilah belahan bawah membesar. Sementara itu, seperti yang diperlihatkan pada gambar 9, belahan atas mengalami peluasan wilayah tekanan tinggi pula. Dengan demikian, torsi neto terhadap bilah tetap bernilai positif meskipun nilai torsinya mengecil.

Koefisien daya

Untuk menghitung koefisien daya, diperlukan kecepatan aliran sebelum dan setelah melewati baling-baling. Gambar 10 memperlihatkan laju aliran angin sebelum dan sesudah melewati

baling-baling. Dalam gambar tersebut angin digambarkan masuk dari kiri ke kanan. Laju angin sebelum masuk diperlihatkan sebesar 1,2 m/s dan keluar dengan laju sebesar, 0,6 m/s. Pengurangan tersebut menunjukkan bahwa ada energi yang diserap oleh baling-baling untuk berputar. Dengan menggunakan persamaan (2) diperoleh bahwa koefisien daya C_p adalah 25%. Nilai ini tidak berbeda jauh dengan simulasi yang dilakukan oleh Sobczak yang memperoleh koefisien daya sebesar 30%. Akan tetapi, nilai hasil simulasi pada penelitian ini maupun oleh Sobczak berbeda dengan hasil eksperimen yang

memperoleh nilai 16,5 % [11]. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa simulasi masih belum cukup memperhitungkan faktor-faktor real dalam eksperimen. Faktor tersebut adalah dalam hal mekanika perputaran baling-baling yang juga akan dipengaruhi oleh gesekan poros dengan tiang penyangga. Simulasi dalam CFD tidak memodelkan hal tersebut. Oleh karena itu, hasil simulasi CFD ini harus dipadukan dengan model mekanika. Hal ini akan dilakukan pada penelitian lanjutan.



Gambar 10 Laju aliran angin sebelum dan sesudah melewati kincir. Kincir berada dalam posisi yang dinyatakan dalam kotak. Angin bergerak dari arah kanan.

KESIMPULAN

Telah dilakukan simulasi aliran angin yang mengenai baling-baling Savonius. Angin melalui baling-baling dengan laju 1,2 m/s dan keluar dengan laju 0,6 m/s. Berdasarkan hal tersebut diperoleh koefisien daya sebesar 25%. Nilai tersebut hampir dua kali lipat lebih besar daripada nilai hasil eksperimen. Hal tersebut menunjukkan bahwa simulasi CFD saja belum cukup untuk memodelkan mekanisme baling-baling CFD secara lengkap. Untuk hal itu masih perlu dilakukan komputasi yang berkaitan dengan mekanika putaran baling-baling.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada pihak-pihak yang sudah membantu terlaksananya penelitian ini. Kepada Unsoed yang telah mendanai penelitian melalui dana Riset Dasar Unsoed dengan nomor kontrak T/715/UN23.18/PT.01..03/2021. Penulis juga

mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Komputasi dan Medik Jurusan Fisika FMIPA Unsoed yang sudah menyediakan fasilitas untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Najib Habibie, Achmad Sasmito, Roni Kurniawan, 2011, "Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku", *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* . 12(2) 181-187.
- [2] Mohanty, B. B., "Doubly-Fed Induction Generator for Variable Speed Wind Energy Conversion System -Modeling Simulation", *International Journal of Computer and Electrical Engineering* 2(1) (2010) 1793-8163.
- [3] Mittal, R. S., "An Overview of Some Important Issues Related to Wind Energy Conversion System (WECS)", *International Journal of Environmental*

- Science and Development* 1(4) (2010) 344-355.
- [4] Sobczak, K., Obidowski, D., Reorowics P., Marchewka, E., “Numerical Investigations of the Savonius Turbine with Deformable Blades”, *Energies* 13(2020) 3717.
- [5] Nur Asyik Hidayatullah, Hanifah Nur Kumala Ningrum, “Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker”, *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)* 1(1) (2016) 7 - 12.
- [6] Ismail, Irlanda Pane, Triyanti, “Optimasi Perancangan Turbin Angin Vertikal Tipe Darries untuk Penerangan di Jalan Tol”, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2017* (2017)
jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek
- [7] Kevin, P. “Analisis Potensi Kincir Angin Savonius sebagai Penggerak Pompa Submersibe”. Padang: Universitas Andalas, 2011.
- [8] Gediana, A., Yusup, A., & Septria, W., “Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Menggunakan Sistem Turbin Savonius Termodifikasi”, *Berkala Fisika* 18(2) (2015) 75-82.
- [9] Permana I.T., R. B., “Pengembangan Model Kincir Angin Jenis Savonius Dua Tingkat sebagai Alternatif Penggerak Pompa” (2011).
- [10] Mohamed, H.M., Janiga, G., Thevenin, D. “Optimal Design of A Savonius Turbine”, Conference on Modelling Fluid Flow: The 15th International Conference on Fluid Flow Technology, 2012
- [11] M.A. Kamoji , S.B. Kedare , S.V. Prabhu, in: Performance tests on helical Savonius rotors, 34, *Renewable Energy*, 2009, pp. 521–529.

Pengaruh ketebalan lapisan polistiren terhadap kestabilan sensor QCM sebagai bioimunosensor

Eka Rahmawati^{1*}, Masrurroh²

¹Program studi pendidikan Fisika STKIP Bima

²Jurusan Fisika Universitas Brawijaya Malang

*email : rahmawatieka89@gmail.com

Abstrak - QCM telah banyak digunakan sebagai biosensor dan sensor kimia. Tingkat sensitifitas yang dimilikinya terhadap perubahan massa dari mikro meter bahkan nano meter pada permukaannya merupakan hal menarik yang dimilikinya. Terdapat banyak aspek yang dapat mempengaruhi kerja QCM ketika memiliki kontak dengan larutan. Salah satunya adalah ketebalan lapisan matriks yang menjadi lapisan biologi yang akan diimmobilisasikan di atasnya. Salah satu matriks biologi yang menjadi lapisan adalah polistiren. Metode pelapisan polistiren di atas QCM sensor yakni dengan menggunakan metode spin coating. Sebelumnya polistiren dilarutkan dengan pelarut non polar: xilen dan Tetrahidrofur (THF) yang memiliki properti kimia dan fisika yang berbeda yang berpengaruh pada proses pembentukan lapisan dari polimer terlarut menjadi lapisan polimer yang kaku. Penggunaan pelarut dan konsentrasi polistiren berbeda menghasilkan ketebalan lapisan yang beragam. Selain itu ditemukan pula, terdapat perbedaan tingkat kestabilan QCM ketika terjadi kontak dengan udara dan larutan PBS pada masing-masing variasi konsentrasi polistiren yang digunakan. Sensor QCM memiliki kestabilan yang baik pada lapisan polistiren $\leq 5\%$ untuk pelarut xilen dan $\leq 3\%$ untuk pelarut THF dengan nilai tegangan peak to peak ≥ 1 V. QCM-polistiren yang stabil dapat digunakan untuk melakukan immobilisasi sebagai biosensor.

Kata Kunci: QCM, polistiren, xilen, THF, kestabilan

PENDAHULUAN

Quartz Crystal Microbalance (QCM) dengan penambahan lapisan berbahan polimer di atas kuarsanya telah banyak digunakan sebagai sensor biomolekul. Teknik *spray coating* dan *spin coating* dipilih sebagai teknik pelapisan untuk menghaluskan permukaan kuarsa Kristal dan melindungi elektroda dari oksidasi [1]. Sensor QCM memiliki sensitifitas dan selektisitas yang tinggi serta *real time* dalam memonitoring perubahan massa yang terjadi di atasnya, sehingga sangat bagus untuk terus dikembangkan [1]. Komponen Kristal kuarsa pada QCM dapat menghasilkan frekuensi alami yang akan mengalami peredaman jika diberikan massa di atasnya, seperti halnya pada sistem pegas. Penambahan massa di atas QCM akan menyebabkan penurunan frekuensi yang sebanding dengan penambahan massa tersebut.

Pelapisan bahan polimer di atas QCM sebagai biosensor dilakukan untuk menghasilkan properties penting yang berkaitan dengan properties biokimia dan properties kelistrikan dan mekanik sensor QCM. Properties biokimia untuk mengontrol

imobilisasi molekul, sedangkan properties kelistrikan dan mekanik untuk mencegah efek yang tidak diinginkan seperti penambahan konduktivitas dan kapasitansi pada sensor. Kedua hal tersebut dapat menyebabkan perubahan frekuensi resonansi yang tidak diinginkan pada sensor yang tidak berhubungan dengan respon sensor terhadap molekul target. Sedangkan properties mekanik juga perlu dikontrol untuk mencegah pemuatan mekanik pada sensor [2].

Pemanfaatan QCM sebagai biosensor sebenarnya dapat dilakukan secara langsung dengan meneteskan biomolekul secara langsung di atas kuarsa kristal QCM, namun hasil pembacaan frekuensi secara keseluruhan tidak dapat terukur secara akurat. Sehingga perlu dilakukan pelapisan di atas elektroda QCM agar dapat meningkatkan sensitifitas pengukuran. Perlu diperhatikan pula penambahan polimer harus memiliki ketebalan yang sesuai [3]. Penelitian yang dilakukan [4] menggunakan nanokomposit polidopamin-nano kristal selulosa yang dilapiskan di atas QCM menghasilkan peningkatan sensing kelembapan yang lebih sensitif karena dapat menyediakan area

penyerapan aktif yang lebih banyak. Dalam penelitian lain yang dilakukan oleh [2,5] menggunakan variasi pelarut polistiren namun dengan konsentrasi yang sama sebagai lapisan tipis yang dilapiskan di atas permukaan QCM. Diperoleh bahwa tidak ada perbedaan signifikan dari perbedaan pemilihan pelarut terhadap nilai impedansi listrik QCM hanya berpengaruh pada morfologi dan kekasaran lapisan polistiren.

Dalam aplikasinya, performan dari divais berbasis lapisan tipis banyak ditentukan oleh ketebalan dari lapisan tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh [6] dengan menggunakan ZnPc yang dideposisikan dengan ketebalan yang berbeda di atas QCM-polistiren dihasilkan efek peredaman pada osilasi QCM bersesuaian dengan bertambahnya ketebalan ZnPc tersebut.

Ketebalan sebagai salah satu faktor yang berpengaruh terhadap performa sensor QCM perlu mendapat perhatian khusus. Oleh sebab itu akan dilakukan penelitian terkait hubungan antara ketebalan lapisan polistiren terutama yang dilarutkan dengan pelarut xilen dan tetrahidrofuram terhadap kestabilan osilasi QCM.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan ini adalah metode eksperimental di laboratorium. Penelitian ini meliputi; penyiapan sampel lapisan tipis dengan melakukan pembuatan lapisan polistiren pada substrat QCM, pengukuran frekuensi, uji SEM dan pengujian kestabilan QCM.

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah QCM dengan frekuensi awal 10 MHz, pelarut xilen dan Tetrahidrofuram (THF), polistiren, aquades, ultrasound bath branson 2510, SEM, frekuensi counter, osiloskop, mikroskop optik, timbangan digital, micrometer avendof dan unit computer.

Pembuatan larutan polistiren

Larutan polistiren dengan variasi konsentrasi 1-7 % dibuat dengan cara melarutkan padatan polistiren dalam larutan xilen dan THF. Penentuan konsentrasi (w/v) yang digunakan berdasarkan perumusan berikut:

$$Kons (\%) = \frac{\text{massa polistiren (gr)}}{\text{volume pelarut (ml)}} \quad (1)$$

Padatan polistiren selanjutnya dimasukkan ke dalam botol dan dilarutkan dengan cairan xilen dan THF dalam keadaan botol ditutup untuk menghindari terjadinya penguapan. Untuk mempercepat proses pelarutan, maka campuran polistiren dilarutkan dengan bantuan ultrasound bath branson 2510 hingga padatan polistiren benar-benar terlarut sempurna..

Pelapisan QCM- Polistiren Dengan Metode Spin Coating.

Sebelum dilakukan pelapisan polistiren, maka dilakukan pengukuran frekuensi dan tegangan awal pada sensor QCM. Sensor QCM yang digunakan dilapisi menggunakan polimer polistiren dengan metode spin coating. Pelapisan sensor QCM menggunakan larutan polistiren dengan variasi konsentrasi 1-7% sebanyak 50 μ L. Alat spin coater yang digunakan dioperasikan dengan kecepatan putar $\omega_1 = 500$ rpm dan variasi ω_2 dari 1500 hingga 4000 rpm. Pelapisan dilakukan dengan cara meneteskan 50 μ L larutan polistiren tepat di tengah permukaan QCM yang sedang berputar dengan kecepatan ω_2 pada spin coater. Waktu pelapisan hingga lapisan tipis terbentuk selama 60 detik. Pelapisan dilakukan pada dua sisi QCM. QCM yang sudah terlapisi polistiren selanjutnya dikeringkan dengan cara dimasukkan ke dalam oven selama 1 jam pada suhu 100°C untuk menghilangkan sisa pelarut. Pengukuran frekuensi kembali dilakukan pada QCM-polistiren. Selain pengukuran frekuensi, juga dilakukan pengukuran VPP QCM yang sudah terlapisi polistiren dengan menggunakan osiloskop untuk mengetahui perubahan tegangan setelah dilakukan pelapisan.

Ketebalan lapisan polistiren dihitung dengan menggunakan rumus Saurbrey berikut ini :

$$\Delta f = -2 \frac{f_0^2}{\sqrt{\rho_q \mu_q}} \frac{\Delta m}{A} \quad (2)$$

Uji Kestabilan QCM

Pengujian tingkat kestabilan kristal diperlukan beberapa tahap yaitu pengukuran frekuensi dan tegangan peak to peak awal sebelum dilakukan pelapisan polistiren dan pengukuran frekuensi dan tegangan peak to peak setelah dilakukan pelapisan dan ditetesi dengan larutan PBS

(bovine serum albumine) sebanyak 70 μL di atas permukaan kristal QCM.

Uji SEM

Karakterisasi menggunakan SEM dimaksudkan untuk melihat morfologi permukaan dan ketebalan dari lapisan polistiren pada permukaan QCM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

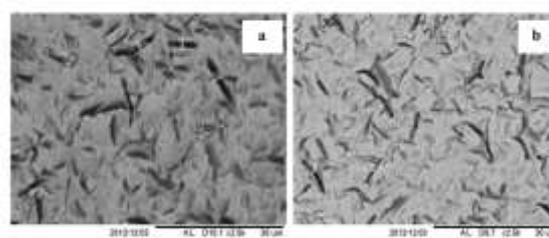
Dengan menggunakan persamaan (2) diperoleh ketebalan polistiren dengan pelarut yang berbeda adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Pengaruh variasi konsentrasi polistiren terhadap ketebalan lapisan

kons (%)	ketebalan (μm)	
	Xilen	THF
3	0,474	0,817
4	0,605	1,42
5	0,87	3,054
6	1,046	3,163
7	1,368	3,364

Pembuatan lapisan tipis dengan metode spin coating dapat menghasilkan lapisan yang cukup rata di atas permukaan QCM. Variasi konsentrasi yang digunakan menghasilkan ketebalan lapisan polistiren di atas permukaan QCM yang berbeda. Pada tabel 1 dapat dilihat semakin besar konsentrasi maka semakin tebal lapisan polistiren yang terbentuk. Konsentrasi polistiren yang digunakan dapat mempengaruhi tingkat kehomogenan lapisan. Pada studi pendahuluan lapisan polistiren yang dihasilkan terbuat dari berbagai konsentrasi termasuk penggunaan polistiren dengan konsentrasi 1% dan 2%. Dari kedua konsentrasi tersebut dihasilkan ketebalan lapisan berturut-turut sebesar 0,104 μm dan 0,28 μm untuk pelarut xilen dan 0,151 μm dan 0,411 μm untuk pelarut THF. Namun pada pengambilan data selanjutnya lapisan polistiren yang terbuat dari konsentrasi 1% dan 2% tersebut tidak digunakan karena menghasilkan lapisan yang terlalu tipis dan kurang homogen. Selain itu, penggunaan konsentrasi yang rendah

dikhawatirkan dapat menghasilkan sedikit situs aktif sebagai tempat interaksi biomolekul pada QCM biosensor. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi kualitas lapisan dipengaruhi oleh laju evaporasi pelarut, viskositas larutan, konsentrasi larutan, kecepatan dan waktu putar [4]. Selain itu penggunaan jenis pelarut dapat mempengaruhi ketebalan lapisan. Tekanan uap pelarut dapat mempengaruhi cepat lambatnya kecepatan menguap pelarut tersebut. Dibandingkan dengan pelarut xilen, pelarut THF dengan nilai tekanan uap lebih besar menghasilkan lapisan polistiren yang lebih tebal [4,5,7, 8].



Gambar 1: Morfologi lapisan polistiren konsentrasi 3% di atas QCM berdasarkan hasil SEM : (a) pelarut THF, (b) pelarut xilen

Pada dasarnya, polistiren merupakan bahan yang memiliki struktur yang amorf sehingga mudah dilarutkan dan mudah dalam pembentukan lapisan pada proses *spin coating*. Berdasarkan gambar 1 yang diambil dari hasil SEM lapisan polistiren dengan konsentrasi 3% dapat dilihat bahwa lapisan polistiren yang dihasilkan dengan menggunakan pelarut THF terlihat lebih kasar dengan ukuran pori yang lebih besar bila dibandingkan dengan lapisan polistiren pelarut xilen. Sehingga dapat mempengaruhi ketebalan lapisan polistiren

Hal utama yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah menghasilkan lapisan yang dapat meningkatkan immobilisasi dengan permukaan aktif yang lebih banyak dengan memanfaatkan polimer yaitu polistiren sebagai tempat terjadinya interaksi biomolekul dengan tetap menjaga kestabilan osilasi QCM agar tidak terjadi efek *loading* yang menyebabkan peredaman (*damping*).

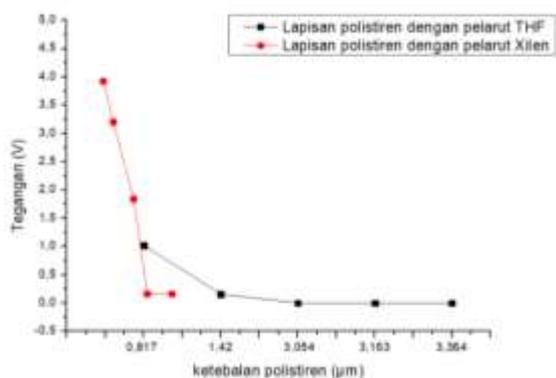
Tabel 2. Nilai Tegangan Peak to Peak QCM-Polistiren pada uji kestabilan QCM

Pelarut	kons (%)	f0 (Hz)	Vpp 0 (V)	f1(Hz)	Vpp 1 (V)	Δf (KHz)	f3 (Hz)	Vpp 2 (Hz)	Δf (KHz)
Xilen	3	10005257	7,52	9993986	7,50	11, 271	9987027	3,92	18,230
	4	10009297	7,60	9994897	7,57	14, 400	9990344	3,20	18,593
	5	10004407	7,60	9983699	7,52	20, 708	9980104	1,84	24,303
	6	10006933	7,68	9982014	7,48	24,919	9979652	0,16	27,281
	7	10005598	7,26	9973020	6,98	32,578	9971017	0,16	34,581
THF	3	10005881	7,60	9986426	7,56	19, 455	9981331	1,02	24,550
	4	10004956	7,20	9971155	7,12	33, 801	9965653	0,16	39,303
	5	10004039	7,20	9931380	7,04	72, 659	9895002	0	109,037
	6	10000003	7,60	9979803	7,3	75,200	9825611	0	174,392
	7	10010074	7,08	9988837	6,59	80,137	9610128	0	399,946

Keterangan

- Vpp 0 : tegangan QCM sebelum dilapisi polistiren
- Vpp 1 : tegangan QCM setelah dilapisi polistiren
- Vpp 2 : tegangan QCM ketika ditetesi PBS

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai tegangan *peak to peak* QCM menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan baik sebelum (Vpp 0) maupun setelah dilakukan pelapisan polistiren (Vpp 1) dengan menggunakan pelarut xilen maupun THF. Namun nilai tegangan QCM (Vpp 2) menunjukkan penurunan ketika dilakukan uji kestabilan dengan meneteskan larutan PBS di atas permukaan QCM-polistiren selama ± 3000 detik. Larutan PBS merupakan larutan buffer untuk immobilisasi protein.



Gambar 2. Grafik perbandingan pengaruh ketebalan terhadap nilai tegangan peak to peak QCM-polistiren pada uji kestabilan QCM

Pada gambar 2 yang merupakan grafik hubungan ketebalan dan tegangan dapat dilihat bahwa QCM-polistiren yang dilarutkan dengan pelarut xilen menghasilkan osilasi yang relatif stabil walaupun konsentrasi polistiren mencapai 7%. Hal ini ditandai dengan nilai tegangan *peak to peak* > 0 V. Hal ini bisa jadi disebabkan karena lapisan yang terbentuk sangat tipis dan lebih merata. Namun tetap perlu diperhatikan bahwa QCM dengan osilasi yang baik harus memiliki tegangan *peak to peak* ≥ 1 V. Hasil yang berbeda ditunjukkan pada nilai tegangan *peak to peak* pada QCM-polistiren dengan pelarut THF, pada konsentrasi larutan 3% dan 4% masih menghasilkan tegangan *peak to peak* di atas 0 V. Namun tegangan QCM-polistiren berangsur menurun hingga bernilai 0 V ketika lapisan yang digunakan mencapai konsentrasi 5% hingga 7% dengan Δf di atas 100 KHz. Nilai tegangan *peak to peak* pada angka 0 menunjukkan bahwa QCM tidak lagi berosilasi.

Nilai tegangan *peak to peak* akhir dari QCM dapat dijadikan acuan dalam pemilihan QCM pada proses immobilisasi karena dapat menunjukkan osilasi dan kestabilan frekuensi walaupun terdapat sedikit gangguan [3]. Besarnya konsentrasi polistiren berpengaruh pada pembebanan massa di atas permukaan QCM sehingga memberikan efek dumping pada QCM itu sendiri. *Properties* mekanik pada lapisan permukaan dapat dikontrol dengan

modulus geser material, ketebalan lapisan, dan kekasaran lapisan. Modulus geser dan ketebalan lapisan harus benar-benar diperhatikan untuk menghasilkan impedansi akustik yang rendah. Semakin tebal lapisan menghasilkan peningkatan beban akustik yang menyebabkan peningkatan impedansi listrik [2].

Dari hasil penelitian ini dapat dilihat bahwa konsentrasi yang ideal untuk menghasilkan lapisan polistiren di atas QCM yang tidak menimbulkan peredaman adalah konsentrasi $\leq 5\%$ untuk pelarut xilen dan $\leq 3\%$ untuk pelarut THF dengan nilai tegangan *peak to peak* ≥ 1 V. Nilai tegangan *peak to peak* yang kecil dikhawatirkan akan menimbulkan ketidakstabilan osilasi QCM apabila dilakukan penambahan massa berupa protein ketika dilakukan proses immobilisasi berikutnya karena terjadi efek peredaman yang dapat menghambat osilasi kristal.

KESIMPULAN

Ketebalan lapisan polistiren di atas permukaan QCM dapat mempengaruhi properties listrik dan mekanik QCM. Untuk penggunaan QCM sebagai biosensor sebaiknya menggunakan konsentrasi polistiren $\leq 5\%$ untuk pelarut xilen dan $\leq 3\%$ untuk pelarut THF dengan nilai tegangan *peak to peak* ≥ 1 V. Pada penggunaan QCM-polistiren sebagai biosensor sebaiknya menggunakan konsentrasi larutan sebesar 3% agar dapat dihasilkan situs aktif sebagai matriks protein sekaligus tidak memberikan efek redaman pada QCM.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada DIKTI melalui DIPA No. 023.04.2.414989/2013 dan ASMAT (*Advanced System and Material Technology*) melalui DIPA Universitas Brawijaya (PHK Tema C) SK UB No: 295/SK/2013 atas bantuan dana yang diberikan untuk penelitian QCM berbasis biosensor ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Jie, H., "Technical background, applications and implementation of quartz crystal microbalance systems" 65 (2006)..

- [2] Setyawan P. Sakti, Eka Rahmawati, and Fadli Robiandi, "Solvent effect on polystyrene surface roughness on top of QCM sensor", AIP Conference Proceedings 1719, 030017 (2016) <https://doi.org/10.1063/1.4943712>
- [3] Hudha, L. S., Sakti, S., & Masruroh, M. *Rancang Bangun Mini System Spin Coating Untuk Pelapisan Sensor Qcm (Quartz Crystal Microbalance)* (Doctoral dissertation, Brawijaya University), 2013.
- [4] Yao, Y., Huang, X., Chen, Q., Zhang, Z., & Ling, W., "High sensitivity and high stability QCM humidity sensors based on polydopamine coated cellulose nanocrystals/graphene oxide nanocomposite", *Nanomaterials* 10(11) (2020) 2210.
- [5] Susi rahayu, dkk., "Pengaruh Perbedaan Pelarut Polistiren Terhadap Morfologi Lapisan Polistiren dan Sifat Viskoelastik QCM Biosensor", *Natural B*, 2(4) (2014) 349-354.
- [6] Fitriani, S. W., Masruroh, M., & Sakti, S. P. *Pengaruh Ketebalan Lapisan Zinc Phthalocynine (Znpc) Di Atas Permukaan Polistiren/qcm Terhadap Sifat Viskoelastis Berdasarkan Nilai Impedansi* (Doctoral dissertation, Brawijaya University), 2014.
- [7] Rahmawati, E., Robiandi, F., Didik, L. A., Rahayu, S., & Santjojo, D. D. H., "Pengaruh Jenis Pelarut Xilen dan Tetrahidrofur Terhadap Ketebalan Lapisan Polistiren dengan Metode Spin Coating", *Natural B*, 2(4) (2014) 349-354.
- [8] Djoko, D. J. D. H., Didik, L. A., Rahmawati, E., Pagaga, M., Masruroh, M., & Sakti, S. P., "Solvent effect on morphology of polystyrene coating and their role to improvement for biomolecule Immobilization in application of QCM based biosensor". In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 530, pp. 54-57). Trans Tech Publications Ltd, 2014.

Optimasi desalinator tenaga matahari menggunakan bahan beton campuran pasir besi

Abdullah Nur Aziz*, Hartono, Sugito

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Jln. Dr. Soeparno 61, Grendeng, Purwokerto, Indonesia, 53122

*email: abd.nur.aziz@unsoed.ac.id

Abstrak – Potensi energi matahari berupa kalor yang melimpah dapat digunakan untuk proses destilasi air laut. Pemanfaatan energi matahari untuk kebutuhan tersebut membutuhkan media yang optimal menyerap kalor. Optimalisasi media penyerap kalor perlu dilakukan guna meningkatkan kemampuannya. Salah satu variabel yang berpengaruh pada kemampuan penyerapan kalor adalah nilai kalor jenis (c) dan konduktivitas termal (k). Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan membuat 5 kelompok sampel. Kelompok sampel dibedakan oleh komposisi campuran pasir sungai dan pasir besi yang digunakan sebagai bahan utama. Variasi campuran dibuat dengan perbandingan massa antara pasir sungai dengan pasir besi sebagai berikut: 100:0; 90:10; 80:20; 70:30 dan 50:50. Pengikat campuran menggunakan semen dengan massa semen yang sama untuk semua sampel. Pengujian kalor jenis dilakukan dengan memberikan kalor pada salah satu permukaan sampel dan mengukur perbedaan temperatur di antara kedua permukaannya. Sumber kalor yang digunakan berupa pelat pemanas elektrik 40 watt. Pengujian kalor jenis dilakukan menggunakan kalorimeter bom. Sampel yang diuji dibuat dengan ukuran $(1 \times 1 \times 1) \text{ cm}^3$. Hasil pengujian konduktivitas termal diperoleh nilai terendah sebesar $7,533 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ pada sampel tanpa pasir besi dan tertinggi sebesar $13,889 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ pada sampel dengan perbandingan 50:50. Hasil pengujian kalor jenis diperoleh nilai terendah sebesar $1698,169 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ pada sampel dengan perbandingan campuran pasir sungai dan pasir besi 50:50. Sementara nilai kalor jenis tertinggi pada sampel tanpa pasir besi (100:0) dengan nilai $3506,278 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$. Berdasarkan hasil pengujian, nilai optimal sampel sebagai penyerap kalor adalah sampel dengan campuran pasir sungai dan pasir besi adalah pada komposisi 50:50.

Kata Kunci: proses destilasi, kalor jenis, konduktivitas termal, pasir besi

Abstract – The distillation process of seawater can use the heat from sunlight. Solar energy utilization needs a heat-absorbing medium. Optimization of key factors like specific heat (c) and heat conductivity (k) can increase its quality. We conducted experimental research by creating five sample groups. What makes the group different is the river sand and iron sand composition. Their composition varies with the mass ratio: 100:0; 90:10; 80:20; 70:30; and 50:50. Cement acts as a binder for all mixtures and attempts to be equal for all samples. By applying heat to one surface of the sample and measuring the difference between the two surface temperatures, we can measure its specific heat. As a heating element, we use a 40-watt electric heater. A bomb calorimeter is used to determine the specific heat. We made a test sample with a size of $(1 \times 1 \times 1) \text{ cm}^3$. Thermal conductivity measurements showed the lowest value at $7.533 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ for the sample without iron sand and the highest value at $13.889 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ in the 50:50 sample. Specific heat measurements showed the lowest at $1698.169 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ for the 50:50 sample and the highest was $3506.278 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$ for the sample without iron sand. Hence, we find the highest heat absorption capacity is the ratio of 50:50.

Key words: distillation process, specific heat, heat conductivity, sea sand

PENDAHULUAN

Matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang sangat melimpah. Pancaran gelombang elektromagnetik dari matahari sebesar 75,3 juta W/m^2 dan diterima pada bagian terluar atmosfer mencapai $1360 W/m^2$. Rapat daya sebesar ini tidak seluruhnya mencapai permukaan bumi, karena adanya hambatan dan penyerapan sehingga hanya 50% yang sampai pada permukaan bumi [1].

Wilayah negara Indonesia sebagian besar mendapatkan paparan matahari dengan jumlah yang sangat melimpah. Potensi energi matahari rata-rata di Indonesia mencapai 4,8 kWh/m^2 [2]. Potensi energi matahari yang berupa kalor dapat digunakan untuk berbagai hal, antara lain sebagai sarana pengeringan, membantu proses penguapan pada desalinasi atau destilasi air laut, dan sebagai pemanas air (*water heater*). Pemanfaatan energi matahari untuk kebutuhan tersebut membutuhkan media yang mempunyai kemampuan menyerap energi semaksimal mungkin.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengoptimalkan penyerapan energi panas matahari. Optimalisasi penyerapan kalor telah dilakukan melalui berbagai riset dengan mengkaji berbagai material. Bahan-bahan yang telah diteliti sebagai media isolator kalor adalah sekam padi. Sekam padi memiliki nilai konduktivitas yang rendah sehingga dapat digunakan sebagai media untuk mempertahankan kalor [3]. Bahan lain yang telah diteliti adalah menggunakan tongkol jagung. Ukuran partikel tongkol jagung mempengaruhi nilai konduktivitas termal [4].

Penggunaan pasir sebagai media penyerap kalor juga sudah dilakukan oleh sebagian masyarakat, yaitu sebagai media penggoreng kerupuk. Sesuai dengan hasil penelitian, ukuran partikel pasir juga mempengaruhi kecepatan perambatan kalor [5].

Pasir besi merupakan pasir alam yang mempunyai kandungan unsur besi yang cukup tinggi. Wilayah pantai Binangun merupakan salah satu tempat yang mempunyai cadangan pasir besi yang sangat besar. Potensi yang besar ini perlu disikapi dengan membuat suatu produk yang mempunyai kemanfaatan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan penelitian untuk dapat mengetahui kemampuannya dalam meningkatkan penyerapan kalor. Pasir besi dari pantai Binangun dapat digunakan sebagai bahan

campuran sampel beton. Sampel beton merupakan sampel media penyerap kalor. Sampel yang mempunyai kemampuan penyerapan yang optimal merupakan target dari penelitian ini.

Berdasarkan pada beberapa hasil penelitian tersebut maka dilakukan penelitian terkait optimasi penyerapan kalor menggunakan media mortar dengan menambahkan pasir besi. Mortar adalah campuran yang terdiri dari semen, pasir dan unsur-unsur lainnya untuk melekatkan batu bata atau yang sejenisnya. Unsur besi merupakan salah satu unsur yang mempunyai nilai konduktivitas termal yang tinggi akan tetapi nilai kalor jenis yang rendah. Sementara media beton konvensional (campuran pasir, agregat kasar dan semen) mempunyai konduktivitas yang rendah, artinya panas yang sudah tersimpan di dalam beton tidak mudah keluar. Optimasi dilakukan untuk memperoleh komposisi pasir sungai dan pasir besi sebagai bahan utama pembuat mortar. Optimasi dicapai pada kondisi sampel yang mempunyai nilai konduktivitas termal tertinggi dan kalor jenis terendah. Kondisi seperti ini merupakan kemampuan menyerap dan mempertahankan kalor yang terbaik.

LANDASAN TEORI

A. Konduktivitas Termal

Perpindahan kalor dapat terjadi melalui konduksi, konveksi atau radiasi. Kemampuan suatu material untuk menghantarkan kalor secara konduksi ditentukan oleh nilai konduktivitas termalnya. Material yang mempunyai nilai konduktivitas termal yang besar akan lebih mudah menghantarkan kalor. Laju aliran kalor secara konduksi pada suatu material dapat ditentukan secara teoretis menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{dQ}{dt} = k \frac{A\Delta T}{d}, \quad (1)$$

dengan dQ/dt merupakan laju aliran kalor, k konduktivitas termal bahan, A luas penampang permukaan bahan yang terpapar kalor, d ketebalan bahan dan ΔT menyatakan perbedaan temperatur kedua permukaan bahan. Berdasarkan pada persamaan 1, nilai konduktivitas termal material dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$k = \frac{dQ}{dt} \frac{d}{A\Delta T} \quad (2)$$

Nilai konduktivitas termal suatu material dapat diubah dengan cara menambahkan material lain. Penambahan unsur logam pada suatu bahan dapat meningkatkan nilai konduktivitas termalnya [6]. Oleh karena itu, pembuatan material penyerap kalor dari bahan beton dengan penambahan pasir besi dilakukan untuk meningkatkan nilai konduktivitas termal.

B. Kalor Jenis

Kalor jenis material menunjukkan kemampuan suatu material untuk mengubah temperaturnya setiap mengalami perubahan kalor. Kemampuannya untuk menaikkan temperatur ketika mendapatkan tambahan kalor mempunyai peran yang sangat penting dalam konservasi energi. Secara teoritik, sejumlah kalor yang diterima oleh suatu material akan digunakan untuk melakukan perubahan temperatur sesuai dengan persamaan berikut:

$$Q = mc\Delta T, \quad (3)$$

dengan Q merupakan kalor yang diterima material (joule), m merupakan massa dari material (kg), c menyatakan kalor jenis dari material ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$) dan ΔT merupakan perubahan temperatur yang terjadi ($^\circ\text{C}$).

Berdasarkan pada persamaan (3), menunjukkan bahwa material dikatakan mempunyai kalor jenis yang besar apabila perubahan temperaturnya sangat kecil untuk jumlah kalor yang diterima. Sebaliknya, material yang mempunyai kalor jenis kecil akan menghasilkan perubahan temperatur yang besar untuk sejumlah kalor yang sama. Hal ini dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan material atau bahan yang akan digunakan sebagai media penyerap kalor. Berdasarkan pada persamaan (2) dan (3), maka perancangan media penyerap kalor sebaiknya memilih material yang mempunyai kalor jenis kecil tetapi konduktivitas termal yang besar.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen di laboratorium. Pelaksanaan penelitian meliputi tiga tahapan, yaitu tahap pemisahan bahan pasir besi, pembuatan sampel dan pengujian sampel. Seluruh tahapan penelitian dilakukan di Laboratorium Elektronika Instrumentasi Geofisika dan Laboratorium Fisika Dasar, Jurusan Fisika FMIPA Unsoed.

Bahan yang digunakan adalah pasir besi yang diambil dari pesisir pantai Binangun, kabupaten Cilacap Jawa Tengah.

Tahap pertama adalah membersihkan dan memisahkan kandungan logam dari pasir yang diambil dari pesisir pantai Binangun. Pembersihan pasir dilakukan dengan menggunakan air beberapa kali sampai kondisi air cucian terlihat bersih. Tujuan pencucian pasir untuk membersihkan lumpur yang tercampur pada pasir, sehingga akan memudahkan dalam proses pemisahan kandungan logamnya. Pasir pantai yang sudah dicuci bersih selanjutnya dikeringkan secara alami dengan cara dijemur di bawah terik matahari.

Pasir pantai yang banyak mengandung unsur besi harus dipisahkan antara unsur besi dengan unsur batuan. Pemisahan dilakukan menggunakan magnet permanen. Alat pemisah dibuat dengan menggunakan magnet permanen yang ditanamkan di dalam pipa silinder. Pipa silinder dihubungkan menggunakan bantalan berjalan sebagai tempat melewati pasir. Unsur besi akan tertahan pada silinder magnetik dan non logam akan terjatuh dan terpisah. Pasir yang mengandung unsur besi dipisahkan ulang menggunakan alat yang sama untuk memastikan bahwa yang tertinggal benar-benar unsur besi atau logamnya.

Pasir besi hasil pemisahan digunakan sebagai bahan pencampur dalam pembuatan sampel media penyerap kalor. Media penyerap kalor dibuat dari empat komponen utama yaitu pasir sungai, pasir besi, semen dan air. Komposisi antara pasir sungai dan pasir besi dibuat sesuai dengan **Tabel 1**. Penentuan komposisi ini merujuk pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya [7].

Setiap komposisi sampel dibuat sebanyak 5 buah sampel. Sampel mortar yang sudah dituangkan dalam cetakan dikeringkan secara alami dengan cara meletakkan pada udara terbuka selama 14 hari. Sampel yang sudah mengering dapat dilepaskan dari cetakan untuk selanjutnya dilakukan pengujian terhadap kemampuannya dalam menyerap kalor. Variabel yang diuji terhadap sampel yaitu nilai konduktivitas termal (k) dan nilai kalor jenis (c).

Pada penelitian tersebut menyatakan bahwa penambahan pasir besi dapat menurunkan kalor jenis mortar, namun demikian pada komposisi tertentu terjadi anomali. Semakin banyak kandungan pasir besi justru meningkatkan kembali nilai kalor jenisnya.

Tabel 1. Perbandingan komposisi pasir sungai dan pasir besi pada sampel media penyerap kalor

No sampel	Perbandingan PS:PB (% massa)
1	100:0
2	90:10
3	80:20
4	70:30
5	50:50

Keterangan

PS : Pasir Sungai

PB : Pasir Besi

Sampel dibuat dalam cetakan yang sudah disiapkan sebelumnya. Penambahan semen sebagai perekat pada setiap sampel dibuat sama, yaitu sebanyak 800 gram. Pengenceran menggunakan air tanah dengan volume menyesuaikan kepekatan dari setiap adonan sampel.

Hasil cetakan sampel dikeringkan secara alami. Pengeringan secara alami ini dilakukan agar sampel tidak pecah ketika mengalami susut. Sampel yang sudah mengering selanjutnya diuji nilai konduktivitas termal dan kalor jenisnya.

Pengujian dilakukan satu per satu pada setiap komposisi sampel. Semua sampel yang akan diuji potong sesuai dengan ukuran penampang pemanas dan dihaluskan pada kedua permukaannya. Penghalusan dan penyeragaman ukuran dilakukan untuk memastikan perlakuan yang sama pada semua sampel. Pengujian dilakukan dengan meletakkan sampel satu demi satu di atas pelat pemanas listrik yang terdapat pada bok isolasi. Bok isolasi sudah dilengkapi dengan termometer digital pada kedua permukaan sampel dan wattmeter sebagai alat pengukur energi yang dibutuhkan untuk memanaskan sampel.

Pengujian konduktivitas termal menggunakan pemanas listrik dengan daya 40 watt. Termometer digital pertama dipasang pada bagian sampel yang bersentuhan dengan pelat pemanas dan termometer digital kedua dipasang pada bidang permukaan sebaliknya dari sampel. Kedua termometer digunakan untuk memonitor suhu pada kedua permukaan sampel. Pengujian dilakukan pada setiap sampel sampai dicapai kondisi saturasi. Kondisi ini ditunjukkan dengan perbedaan suhu antara kedua termometer yang sudah mulai stabil.

Sementara pengujian kalor jenis sampel menggunakan kalorimeter bom. Pada pengujian kalor jenis, sampel dipotong dengan ukuran $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$, menyesuaikan ukuran celah dari

kalorimeter bom. Kalorimeter bom merupakan sebuah alat yang fungsinya untuk memanaskan bahan yang akan diuji nilai kalor jenisnya. Kalorimeter bom terdiri dari sebuah tabung yang dilengkapi pemanas listrik dan bagian bawahnya dapat dibuka untuk menjatuhkan sampel uji.

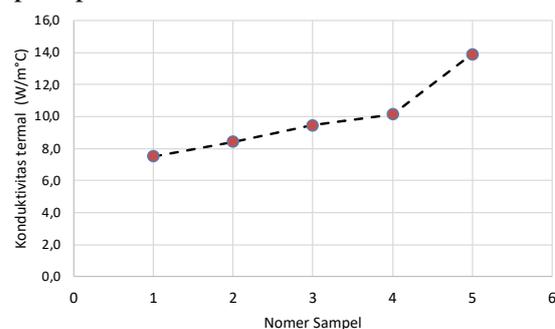
Optimasi sampel sebagai media penyerap kalor dilakukan dengan menganalisis terhadap nilai konduktivitas termal dan kalor jenis sampel dalam grafik pada gambar 2 dan 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil cetakan seluruh sampel diperlihatkan pada **Gambar 1**.

**Gambar 1.** Sampel mortar sebagai media penyerap kalor

Data pengujian menghasilkan nilai perbedaan suhu antara kedua permukaan sampel. Nilai konduktivitas termal dari semua sampel dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada **Gambar 2**.

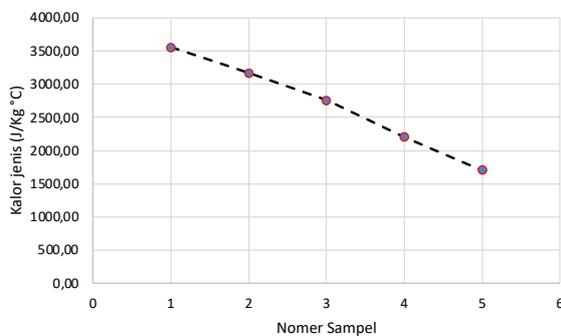
**Gambar 2.** Nilai konduktivitas termal sampel

Pengujian nilai kalor jenis sampel mortar diawali dengan memotong setiap sampel dengan dimensi $(1 \times 1 \times 1) \text{ cm}^3$. Sampel diuji satu demi satu dengan cara memasukkan sampel dan memanaskan sampai suhu tertentu. Sampel yang sudah dipanaskan selanjutnya dimasukkan dalam tabung isolator yang sudah diisi air dengan suhu tertentu. Proses ini ditunggu sampai mencapai suhu kesetimbangan. Suhu kesetimbangan dicapai manakala suhu dalam

tabung isolator sudah stabil. Kestabilan suhu terjadi berarti sudah tidak terjadi perpindahan kalor antara sampel dengan air dalam tabung isolator. Nilai konduktivitas termal dan kalor jenis hasil pengujian dari semua sampel seperti ditunjukkan pada **Tabel 2**. Nilai kalor jenis dari semua sampel dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti pada **Gambar 3**.

Tabel 2. Nilai konduktivitas termal dan kalor jenis sampel mortar sebagai media penyerap kalor

No sampel	k (W/m°C)	c (J/kg°C)
1	7,533	3506,278
2	8,439	3194,571
3	9,456	2730,524
4	10,132	2198,587
5	13,889	1698,169

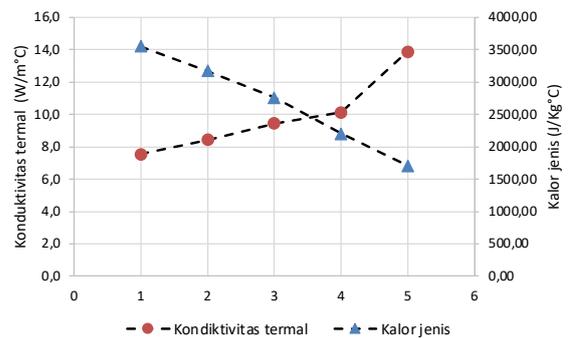


Gambar 3. Nilai kalor jenis sampel

Nilai konduktivitas termal meningkat seiring dengan penambahan pasir besi. Hal ini sesuai dengan sifat logam yang mempunyai nilai konduktivitas termal yang besar. Sebaliknya, nilai kalor jenis menurun seiring dengan penambahan pasir besi pada sampel mortar. Hal ini juga sesuai dengan kajian teori, nilai kalor jenis besi yang jauh lebih kecil daripada kalor jenis beton.

Optimalisasi media penyerap kalor dilakukan dengan menentukan hubungan kedua variabel yaitu konduktivitas termal dan kalor jenisnya. Media penyerap kalor yang optimal secara teoritik mempunyai konduktivitas termal tinggi agar mampu dengan cepat meneruskan kalor yang diterima. Selain konduktivitas termal, media penyerap kalor harus mempunyai nilai kalor jenis yang rendah. Semakin kecil nilai kalor jenis suatu media penyerap kalor maka akan semakin cepat kenaikan suhu media tersebut. Kedua variabel tersebut jika digabungkan akan menghasilkan satu titik yang menghubungkan kedua variabel tersebut. Titik

ini akan menunjukkan nilai konduktivitas termal dan kalor jenis yang optimal dari sampel mortar. Hasil penggabungan kedua variabel tersebut seperti ditunjukkan pada **Gambar 4**. Titik perpotongan dari konduktivitas termal dan kalor jenis merupakan titik optimal dari sampel. Berdasarkan pada Gambar 4, sampel yang optimal dalam menyerap kalor adalah sampel No. 3 dan No.4. Sampel No.3 merupakan sampel dengan komposisi perbandingan massa pasir sungai : pasir besi adalah 80:20. Sampel No.4 merupakan sampel dengan komposisi perbandingan massa pasir sungai : pasir besi adalah 70:30.



Gambar 4. Nilai optimum sebagai penyerap kalor dari sampel.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pada hasil dan pembahasan, maka dapat kami simpulkan, bahwa media beton dari campuran pasir sungai dan pasir besi sebagai media penyerap kalor telah berhasil dibuat. Nilai konduktivitas termal meningkat seiring penambahan pasir besi, sementara nilai kalor jenis menurun seiring dengan penambahan pasir besi

Berdasarkan analisis grafik, titik optimal dapat dicapai pada komposisi campuran pasir sungai dan pasir besi sebesar 50:50.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada UNSOED atas pembiayaan penelitian ini melalui Skim Riset Dasar UNSOED kontrak no. T/576/UN23.18/PT.01.03/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Handayani, T. F. Nugroho, and S. P. Fitri, "Analisa Kinerja Termal Solar Apparatus Panel pada Alat Destilasi Air Payau dengan Sistem Evaporasi Uap Tenaga Matahari Menggunakan CFD," *JTITS* 3(2) (2014) G184–G189, doi: 10.12962/j23373539.v3i2.7862.
- [2] S. Hamdi, "Mengenal lama penyinaran matahari sebagai salah satu parameter klimatologi", *Berita Dirgantar* 15 (1) (2014) 7–16.
- [3] H. Wibowo, K. Muhajir, T. Rusianto, and E. Arbintarso, "Konduktivitas termal papan partikel sekam padi," *Jurnal Teknologi Technoscientia*, (2008) 29–34, doi: 10.34151/technoscientia.v1i1.375.
- [4] N. Pratama, D. Djamas, and Y. Darvina, "Pengaruh variasi ukuran partikel terhadap nilai konduktivitas termal papan partikel tongkol jagung", *Pillar of Physics* 7(1) (2016) 25–32.
- [5] L. Nirwana, M. Rais, and J. P. Jamaluddin P, "Konduktivitas termal pasir kali sebagai media penghantar panas pada proses penyangraian kerupuk", *JPTP* 3 (2018). S182–S196 doi: 10.26858/jptp.v3i0.5718.
- [6] D. Ariwibowo and S. Sutrisno, "Pengembangan adsorbent bed untuk peningkatan konduktivitas termal melalui penambahan partikel metal aluminium," *Gema Teknologi* 7(4) (2014) 152–156, doi: 10.14710/gt.v17i4.8933.
- [7] H. Hartono, S. Sugito, and F. Abdullatif, "Perubahan kalor jenis campuran bahan mortar dengan penambahan pasir besi," *Jurnal Teras Fisika: Teori, Modeling, dan Aplikasi Fisika* 3(2) (2020), doi: 10.20884/1.jtf.2020.3.2.3318.