

DAFTAR ISI

Implementasi prototype deteksi gejala dini covid-19 berbasis nodeMCU ESP8266 pada usia lanjut (Putri Diah Pitaloka*, Firman Hardianto, Heni Sumarti).....	243
Pendugaan potensi sumber air tanah menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger di desa Srowot kecamatan Kalibagor kabupaten Banyumas (Imam Teguh Prasetyo, Sehad*, dan Hartono)	250
Pengaruh temperatur pembakaran dan volume surfaktan pada proses sintesis graphene oxide (GO) dari limbah tulang ayam broiler (Aura Salvia Gayatri*, Arif Tjahjono)	260
Perancangan reaktor plasma CVD untuk deposisi lapisan karbon (Mira Setiana*, D J Djoko H Santjojo)	267
Identifikasi frekuensi bunyi gambang laras slendro gamelan Jawa menggunakan jaringan syaraf tiruan pada Matlab (Salma Sukmawati Nur Aisah, Farzand Abdullatif*, Hartono).....	273

Implementasi prototype deteksi gejala dini covid-19 berbasis nodeMCU ESP8266 pada usia lanjut

Putri Diah Pitaloka^{1*}, Firman Hardianto¹, Heni Sumarti²

¹Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang

²Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang
Jalan Walisongo No. 3-5, Tambakaji, Kec. Ngaliyan, Kota Semarang, Jawa Tengah (50185)

*email: putri_1808066007@student.walisongo.ac.id

Abstrak - Pada awal tahun 2020, dunia dihadapkan dengan wabah pneumonia baru yang muncul dari Kota Wuhan dan menjadi pandemi karena menyebar dengan cepat ke 190 negara salah satunya adalah Indonesia. Wabah ini dikenal sebagai Coronavirus Disease 2019 (Covid-19). Banyak upaya yang telah dilakukan untuk mencegah penularan Covid-19 seperti Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) sampai pengecekan suhu yang banyak dijumpai di beberapa tempat. Namun, sampai saat ini belum ada alat yang menerapkan tiga parameter yang dapat ditinjau sebagai pemeriksaan awal Covid-19 (suhu, denyut jantung dan saturasi oksigen). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat deteksi dini Covid-19 yang dapat digunakan untuk mengukur tiga parameter dalam satu alat terpadu dan menjelaskan hasil implementasinya pada usia lanjut. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (RnD) dengan tahapan yang dilakukan meliputi tahap perancangan, pembuatan, dan pengujian. Analisis data dilakukan dengan pengujian akurasi, yakni membandingkan dengan alat standar. Hasil akurasi pada pengukuran suhu adalah sebesar 98,38%, denyut jantung sebesar 95,1% dan saturasi oksigen sebesar 98,8%. Alat yang telah dikembangkan berfungsi dengan baik dan dapat digunakan sebagai alat ukur standar karena tingkat akurasinya di atas 95%. Berdasarkan implementasi deteksi gejala dini Covid-19, maka disimpulkan bahwa responden dalam keadaan sehat dan tidak terjangkit Covid-19.

Kata kunci: Covid-19, Suhu tubuh, Denyut jantung, Saturasi oksigen

Abstract – In early 2020, the world was faced with a new pneumonia outbreak that started in Wuhan City and became a pandemic because it spread rapidly to 190 countries, one of which was Indonesia. The outbreak is known as Coronavirus Disease 2019 (Covid-19). Many efforts have been made to prevent the transmission of Covid-19, such as large-scale social distancing and temperature checks which are often found in several places. However, until now there is no tool that applies three parameters that can be reviewed as an initial Covid-19 check (temperature, heart rate, and oxygen saturation). This study aims to develop a Covid-19 detection tool that can be used to measure three parameters in one integrated tool and explain the results of the implementation in the elderly. This research uses the Research and Development (RnD) method with the stages carried out including of planning, processing, and testing tools. Data analysis was carried out by testing accuracy, namely comparing with standard tools. The results of the accuracy of temperature measurement is 98,38%, heart rate is 95,1% and oxygen saturation is 98,8%. The tool that has been developed functions well and can be used as a standard measuring tool because the accuracy rate is above 95%. Based on the implementation of Covid-19 early symptom detection, it was concluded that the respondents were in good health and not infected with Covid-19.

Key words: Covid-19, Temperature of body, Heart rate, Oxygen saturation

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi membawa dampak yang baik bagi kehidupan [1]. Pada bidang kesehatan, perkembangan teknologi elektronika dapat dimanfaatkan terutama dalam melakukan pengukuran sebagai alat kontrol kesehatan [2]. Alat kontrol kesehatan bisa digunakan sebagai tahap awal pemeriksaan medis sebelum penyakit seseorang didiagnosa lebih lanjut [3].

Contoh penyakit menular yang memerlukan alat kontrol kesehatan sebagai tahap pemeriksaan awal adalah Covid-19 [4]. Ada tiga parameter yang dapat diukur menggunakan alat ukur dalam pemeriksaan awal gejala yang dialami oleh orang yang terinfeksi Covid-19, yakni suhu tubuh yang lebih dari 38° C, saturasi oksigen kurang dari 95% dan denyut jantung tidak teratur [5]. Covid-19 merupakan peristiwa peradangan dimana penderita mengalami

perubahan detak jantung seiring berkembangnya peradangan [6]. Terdapat peningkatan suhu tubuh di atas suhu normal manusia [7]. Penderita mengalami *happy hypoxia* atau berkurangnya kadar oksigen dalam tubuh di bawah kondisi normal [8].

Detak jantung normal usia dewasa berada pada rentang 60-80 detik per menit. Sedangkan pada usia di bawah 10 tahun, detak jantung normal berada pada rentang 80-120 detik per menit [9]. Sebagian besar penderita Covid-19 mengalami perubahan detak jantung menuju keadaan aritmia takikardia atau detak jantung tidak teratur dan berada di atas 100 detak/ menit pada usia dewasa [10].

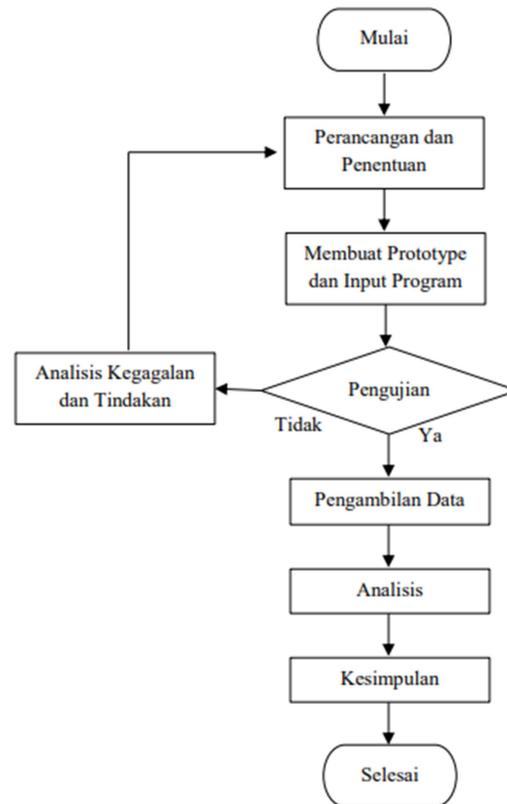
Suhu tubuh merupakan parameter deteksi awal yang umum digunakan dalam melihat gejala Covid-19 [11]. Suhu tubuh manusia berada pada rentang normal antara 36-37°C [12]. Sedangkan pada penderita Covid-19 mengalami peningkatan suhu di atas 37°C [13]. Covid-19 diterjemahkan sebagai penyakit multifaset dengan kegagalan pernafasan sebagai manifestasi umum [8]. Kondisi pernafasan ini dapat ditinjau dari saturasi atau kadar oksigen [14]. Saturasi oksigen normal pada manusia berada pada rentang 95-100%. Penderita Covid-19 mengalami *happy hypoxia* dengan parameter saturasi oksigen berada di bawah 95% [15]. Evaluasi lebih lanjut dibutuhkan apabila nilai saturasi oksigen berada di bawah 85% [16].

Sebelumnya pernah dilakukan penelitian pengembangan oleh Rezky dkk. [17] terkait alat deteksi kadar oksigen dan suhu tubuh dalam pencegahan Covid-19. Penelitian lain oleh Wulandari [18] terkait rancang bangun pengukur suhu. Selain itu, penelitian Setiawan dkk. [19] tentang rancang bangun pendeteksi denyut jantung.

Berdasarkan tiga parameter pemeriksaan dini Covid-19, perlu dikembangkan teknologi kesehatan yang memiliki fungsi untuk mengukur tiga parameter tersebut. Covid-19 merupakan penyakit yang menular, sehingga perlu diusahakan menghindari kontak langsung antar manusia. Penggunaan teknologi mikrokontroler dapat digunakan sebagai alternatif pengembangan alat deteksi dini Covid-19. Penelitian ini ditujukan untuk mengembangkan alat deteksi dini Covid-19 yang dapat digunakan untuk mengukur tiga parameter di antaranya suhu, detak jantung, dan saturasi oksigen dalam satu alat terpadu. Selain itu, penelitian juga ditujukan untuk menjelaskan hasil implementasi pengukuran pada usia lanjut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian Research and Development (RnD) yang meliputi tiga tahapan utama, yakni tahap perancangan, pembuatan, dan pengujian. Prosedur penelitian dalam penelitian ini ditunjukkan dalam **Gambar 1**.



Gambar 1. Skema penelitian

Populasi dan Sampel

Cakupan populasi dalam penelitian meliputi penduduk Desa Purwoyoso dan Tambakaji, Kecamatan Ngaliyan, Kota Semarang pada usia di atas 40 tahun. Sampel penelitian diberi batas sebanyak 15 responden untuk menguji akurasi alat. Teknik sampling yang digunakan dalam menentukan sampel yaitu *random sampling*.

Alat dan Bahan

Penelitian ini membutuhkan peralatan meliputi *Personal Computer* (PC)/ Laptop, gunting, solder, kabel usb, multimeter, lem tembak, obeng dan bor. Bahan yang digunakan dalam

penelitian meliputi papan rangkaian NodeMCU ESP8266, LCD Module, sensor Max 30100, sensor LM35, kabel penghubung, kotak rangkaian dan *power bank*.

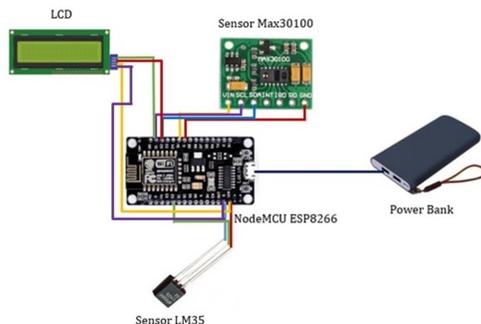
Untuk uji akurasi alat digunakan alat pembanding standar yakni, *Pulse Oximeter Lk87* untuk mengukur saturasi oksigen dan detak jantung. *Thermometergun/Non-contact Infrared Thermometer ZK-YK1028* untuk mengukur suhu tubuh.

Prosedur Penelitian

Penelitian dimulai dari studi literatur yang berguna untuk mengetahui langkah perancangan yang harus dilakukan. Kemudian dilanjutkan dengan perancangan dan pembuatan komponen. Setelah alat dibuat, dilakukan pengujian akurasi. Apabila alat sudah dapat digunakan, maka uji akurasi dapat dilakukan dalam bentuk pengambilan data alat dan pembandingnya, selanjutnya data dianalisis, dibahas, dan disimpulkan. Skema penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Alat



Gambar 2. Rancangan alat

Setelah melakukan studi literatur, dilanjutkan dengan perancangan alat yang rangkaiannya dapat dilihat pada **Gambar 2**. Rancangan alat tersebut menjadi dasar penentuan komponen alat dan bahan yang diperlukan [20]. NodeMCU berfungsi sebagai mikrokontroler, sensor Max30100 difungsikan untuk deteksi denyut jantung dan saturasi oksigen, sensor LM35 berfungsi untuk deteksi suhu tubuh, dan LCD Module sebagai penampil hasil ukur. Sumber tegangan yang digunakan untuk menyuplai

energi adalah *power bank* yang lebih praktis digunakan dan *rechargeable*.

Pembuatan alat dimulai dengan menghubungkan komponen utama berupa NodeMCU dengan sensor MAX30100 dan sensor LM35. Setelah ketiga komponen terhubung, NodeMCU dihubungkan ke PC/Laptop untuk input program. Jika program dan data dapat terbaca oleh PC maka proses penghubungan komponen utama berhasil. Selanjutnya LCD Module dihubungkan dengan rangkaian. Proses ini juga memerlukan input program kembali untuk melakukan tes LCD. **Gambar 3.2** memperlihatkan *prototype* alat yang telah dibuat dan dapat menampilkan data.



Gambar 3.2. *Prototype* alat

Setelah rangkaian terhubung dan data dapat tampil di LCD, maka semua rangkaian dapat disolder kemudian dilakukan pengecekan menggunakan multimeter. Apabila hasil pengecekan normal, rangkaian dimasukkan ke dalam kotak rangkaian.

Alat ini bekerja berdasarkan prinsip teknologi mikrokontroler dengan program yang telah diinput pada NodeMCU. Input program dilakukan dengan bantuan *software* arduino melalui Laptop. Sensor sebagai detektor sinyal input mengirimkan data yang telah dibaca berdasarkan parameter tertentu untuk diproses pada NodeMCU. NodeMCU mengirimkan data untuk dapat ditampilkan pada LCD Module sebagai output.

Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk memperoleh akurasi alat dengan pembanding standar yang banyak tersedia di pasaran. Analisis data didapatkan dengan menghitung persentase kesalahan alat pada persamaan berikut.

$$\%error = \frac{\text{data sensor LM35} - \text{data Thermogun}}{\text{data Thermogun}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\%error = \frac{\text{data sensor Max30100} - \text{data Oximeter}}{\text{data Oximeter}} \times 100\% \quad (2)$$

Persamaan 1 berfungsi untuk menghitung kesalahan relatif pada alat pengukuran suhu tubuh. Sedangkan persamaan 2 digunakan untuk menghitung kesalahan pada alat pengukuran saturasi oksigen dan denyut jantung.

Tahap uji dilakukan untuk melihat akurasi alat. Tujuan itu tentu berimplikasi bahwa alat harus dibandingkan. Perbandingan yang digunakan untuk uji akurasi meliputi *Pulse Oximeter Lk87* untuk mengukur saturasi oksigen dan detak jantung serta *Thermogun* sebagai pembanding suhu tubuh dari alat yang dikembangkan. Pengujian nilai akurasi alat yang dikembangkan melibatkan 15 orang responden yang dipilih secara random sampling dengan kriteria usia di atas 40 tahun dan kondisi negatif covid-19 untuk menghindari penularan. Kriteria responden di atas 40 tahun karena pada usia 40 tahun digolongkan usia rentan memiliki resiko tinggi terhadap gejala berat hingga kematian [21]. Data yang diperoleh dari laman covid19.go.id [22] meliputi data penderita meninggal di antaranya 0-5 tahun 0,5%, 6-18 tahun 0,5%, 19-30 tahun 2,9% 31-45 tahun 12,9%, 46-59 tahun 36,4%, dan di atas 60 tahun 46,8%.

Tabel 1 menunjukkan perbandingan hasil ukur saturasi oksigen ketika diukur menggunakan alat yang dikembangkan dengan pembandingnya. Saturasi oksigen manusia dikatakan normal ketika berada pada rentang nilai 95-100% [23]. Nilai saturasi oksigen yang telah diambil pada responden berkisar pada rentang saturasi normal baik menggunakan alat pengembangan ataupun pembandingnya. Hal ini mengindikasikan berdasarkan nilai saturasi oksigen, responden tidak terpapar Covid-19 dan berada dalam keadaan sehat. Sebagai bentuk deteksi gejala dini Covid-19, saturasi oksigen yang berada di bawah nilai rentang normal merupakan salah satu tanda vital munculnya fenomena *happy hipoxya*. *Happy hipoxya* yaitu kondisi ketika tubuh mengalami kadar oksigen darah yang rendah. Pada kasus Covid-19, dilaporkan bahwa pasien mengalami gejala gangguan pernapasan dan *happy hipoxya* [24]. Nilai kesalahan rata-rata yang diperoleh dari perbandingan alat ukur adalah 1,2%. Nilai ini menghasilkan akurasi yang diperoleh sebesar 98,8%.

Tabel 1. Hasil pengukuran saturasi oksigen

Sampel ke-n	Saturasi Oksigen (%)		
	Alat	Pembanding	Error
1	96	96	0,0
2	95	98	3,0
3	95	97	2,0
4	98	99	1,0
5	98	98	0,0
6	96	97	1,0
7	99	98	1,0
8	96	97	1,0
9	97	97	0,0
10	99	99	0,0
11	95	97	2,0
12	96	96	0,0
13	96	99	3,0
14	96	98	2,0
15	96	98	2,0
Rata-rata			1,2
Akurasi			98,8

Tabel 2 menunjukkan hasil ukur denyut jantung yang diperoleh dari dua alat ukur. Alat ukur yang dikembangkan dan alat ukur pembanding. Umumnya, denyut jantung normal pada usia dewasa berkisar antara 60-80 BPM (*Beat Per Minute*) [9]. Namun, pada penderita Covid-19 ditemukan keadaan aritmia takikardia atau keadaan ketika detak jantung tidak teratur dan melebihi 100 BPM [10]. Sebagian nilai hasil ukur alat dan pembanding pada pengukuran ini diperoleh nilai denyut jantung lebih dari 80 BPM, namun masih kurang dari 100 BPM sehingga responden dikategorikan tidak mengalami aritmia takikardia. Keadaan denyut jantung melebihi kondisi normal bisa disebabkan karena responden beraktivitas fisik sebelum dilakukan pengukuran. Hal ini karena perubahan denyut jantung dapat terjadi karena aktivitas fisik [25]. Nilai kesalahan rata-rata yang diperoleh dari hasil perbandingan alat adalah 4,9%. Nilai ini menghasilkan akurasi sebesar 95,1%.

Tabel 2. Hasil pengukuran denyut jantung

Sampel ke-n	Denyut Jantung (BPM)		
	Alat	Pembanding	Error
1	70	71	1,4
2	89	93	4,3
3	72	66	9,0
4	88	90	2,2
5	62	69	10,1
6	87	97	10,0
7	93	95	2,1
8	63	64	1,5
9	81	84	3,5
10	73	72	1,3
11	90	92	2,1

12	89	83	7,2
13	93	90	3,3
14	70	78	10,2
15	65	69	5,8
Rata-rata			4,9
Akurasi			95,1

Tabel 3 menunjukkan perbandingan yang diperoleh dari implementasi pengukuran suhu tubuh dari alat yang dikembangkan dan pembandingnya. Pengukuran suhu tubuh dilakukan di berbagai tempat sebagai bagian dari deteksi dini Covid-19. Hal ini telah menjadi pengetahuan umum karena suhu merupakan salah satu parameter dini seorang terpapar Covid-19 atau tidak [26]. Data penelitian sebelumnya didapat bahwa 40% demam yang dialami pasien Covid-19 memiliki suhu tertinggi pada rentang 38.1-39°C, sedangkan 34% lainnya hingga 39°C [27]. Hasil yang diperoleh pada pengukuran ini menunjukkan bahwa responden memiliki suhu normal di bawah kondisi demam pasien Covid-19. Sehingga hasil deteksi parameter suhu menunjukkan bahwa responden tidak terjangkit Covid-19.

Tabel 3. Hasil pengukuran suhu tubuh

Sampel Ke- n	Suhu (°C)		
	Alat	Pembanding	Error
1	36	36,5	1,3
2	36	36,4	1,1
3	35	36,4	3,8
4	36	36,5	1,3
5	36	36,5	1,3
6	36	36,5	1,3
7	37	36,4	1,6
8	36	35,0	2,8
9	35	35,6	1,6
10	35	35,8	2,2
11	35	35,7	1,9
12	37	36,8	0,5
13	37	36,4	1,6
14	36	36,3	0,8
15	36	36,5	1,3
Rata-rata			1,62
Akurasi			98,38

Nilai kesalahan rata-rata yang diperoleh dari pengukuran suhu tubuh sebesar 1,62%. Nilai ini menghasilkan akurasi 98,38%. Berdasarkan tiga parameter gejala Covid-19, maka responden dalam keadaan sehat dan tidak terpapar Covid-19.

Nilai kesalahan alat pada pemeriksaan denyut jantung menghasilkan nilai *error* terbesar. Hal ini disebabkan oleh kondisi detak jantung yang selalu berubah-ubah. Investigasi fisiologis utama yang mempelajari komponen variabilitas denyut jantung ini disebabkan oleh

anggota tubuh individu dari sistem saraf otonom. Perilaku dan tanggapan terhadap lingkungan, termasuk tanggapan pada lingkungan psikososial yang memainkan peran penting dalam variabilitas denyut jantung jangka panjang [28].

Berdasarkan *datasheet* sensor LM35 mampu mengukur suhu dengan rentang pengukuran - 50°C – 150°C [29], sedangkan sensor MAX30100 mampu mengukur saturasi oksigen dalam rentang 0% – 100% dan detak jantung 30 BPM – 250 BPM [30]. Hal ini menunjukkan bahwa *prototype* deteksi dini Covid-19 ini mampu mendeteksi suhu diatas 38°C, saturasi oksigen dibawah 97% dan detak jantung tidak teratur yang merupakan gejala pada penderita Covid-19.

KESIMPULAN

Telah dilakukan pengembangan *prototype* deteksi dini Covid-19 mencakup tiga parameter pengukuran di antaranya saturasi oksigen, denyut jantung, dan suhu tubuh. Hasil akurasi pada pengukuran saturasi oksigen sebesar 98,8%, denyut jantung sebesar 95,1%, dan suhu tubuh sebesar 98,38%. Alat yang dikembangkan dapat digunakan dengan baik dan telah berfungsi optimal sebagai alat ukur standar karena tingkat akurasinya di atas 95%. Berdasarkan implementasi deteksi gejala dini Covid-19, maka disimpulkan bahwa responden dalam keadaan sehat dan tidak terjangkit Covid-19.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. K. R. Arthana, "Perancangan Alat Pendeteksi Detak Jantung Dan Notifikasi Melalui Sms," Semin. Nas. Ris. Inov. (2017) 889–895.
- [2] G. W. Wohingati dan A. Subari, "Alat Pengukur Detak Jantung Menggunakan Pulse Sensor Berbasis Arduino Uno R3 Yang Diintegrasikan Dengan Bluetooth," Gema Teknolog 17(2) (2013) 65–71.
- [3] A. Rofii, K. Anam, dan W. Cahyadi, "Kontrol Pipet Otomatis Dalam Pengambilan Sampel Plasma Darah Dengan Metode Fuzzy," Berk. Sainstek 8(2) (2020) 29
doi: 10.19184/bst.v8i2.11202.

- [4] N. Y. Damo, J. P. Porotu'o, G. I. Rambert, and F. E. S. Rares, "Diagnostik Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) dengan Pemeriksaan Laboratorium Mikrobiologi Klinik," *J. e-Biomedik.* 9(1) (2021) 77–86
doi: 10.35790/ebm.v9i1.31899.
- [5] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Serta Definisi Coronavirus Disease (COVID-19)," *Germas* (2020) 11–45, [Online]. Available: https://infeksiemerging.kemkes.go.id/download/REV-04_Pedoman_P2_COVID-19_27_Maret2020_TTD1.pdf [Diakses 11 Juni 2021].
- [6] T. Zhu, P. Watkinson, and D. A. Clifton, "Smartwatch data help detect COVID-19," *Nat. Biomed. Eng.*, 4(12) (2020) 1125–1127
doi: 10.1038/s41551-020-00659-9.
- [7] Y. C. Wu, C. S. Chen, and Y. J. Chan, "The outbreak of COVID-19," *J. Chinese Med. Assoc.* 83(3) (2020) 217–220
doi: 10.1097/JCMA.000000000000270>Wu.
- [8] C. M. Shianata, J. N. A. Engka, and D. H. C. Pangemanan, "Happy Hypoxia Pada Coronavirus Disease," *J. Biomedik Jbm*, 13(1) (2021) 58–66
doi: 10.35790/jbm.13.1.2021.31743.
- [9] I. Nawawinetu, Erwin Dyah;Lutfiya, "Journal of Vocational Health Studies Factors associated with the ability to perform physical fitness tests with qcst," 3 (2020) 97–102.
doi: 10.20473/jvhs.V3I3.2020.97.
- [10] K. M. Hanky, "Aritmia dan Covid-19: Sebuah Pisau Bermata Dua," 2020. .
- [11] I. Ardiyansah dan L. Nurpulaela, "Sistem Pengukuran Suhu Tubuh Otomatis Berbasis Arduino Sebagai Alat Deteksi Awal Covid-19," *J. Orang Elektro* 10(2) (2021) 2021.
- [12] F. Fadliandi, H. Isyanto, and B. Budiyanto, "Bypass Diodes for Improving Solar Panel Performance," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, (2018).
- [13] G. Vasantharao and S. Arifunneesa, "Temperature Detection and Automatic Sanitization and Disinfection Tunnel-COVID 19," *Int. J. Anal. Exp. modal Anal.*, 12(6) (2020) 1175–1181.
- [14] T. Kaprawi, M. Moningga, dan J. Rumampuk, "Perbandingan Saturasi Oksigen pada Orang yang Tinggal di Pesisir Pantai dan yang Tinggal di Daerah Pegunungan," *e-Biomedik*, 4(1) (2016) 2–5
doi: 10.35790/ebm.4.1.2016.10816.
- [15] F. Naufal dan A. Z. F. Rifa'i, "Tinjauan Pustaka Smartphone Pulse Oxymeter : Early Detection For," *Jimki* 8(3) (2021) 189–194.
- [16] A. Andriani dan R. Hartono, "Saturasi Oksigen Dengan Pulse Oximetry Dalam 24 Jam pada Pasien Dewasa Terpasang Ventilator di Ruang ICU Rumah Sakit Panti Wilasa Citarum Semarang," *Jendela Nurs. J.* 2(1) (2013).
- [17] N. Rezky et al., "Pengembangan Pendeteksi Suhu Tubuh Dan Kadar Oksigen Darah Untuk Pencegahan Dini Penularan Covid-19," *Semin. Nas. Teknol. dan Rekayasa* (2020) 105–114.
- [18] R. Wulandari, "Rancang Bangun Pengukur Suhu Tubuh Berbasis Arduino Sebagai Alat Deteksi Awal Covid-19," *Pros. SNFA (Seminar Nas. Fis. dan Apl.* 5 (2020) 183–89.
- [19] R. R. Setiawan, M. Syafaat, and H. Setiawan, "Pendeteksi Suspect Covid-19 Berdasarkan Detak Jantung Pada Rancang Bangun Poltekad Electronic Detector Covid-19 Menggunakan Metode Photoplethysmography (PPG)," *J. Elkasista* 2 (2021).
- [20] F. Hardianto, "Pengembangan media praktikum hukum oersted," *J. Sains dan Pendidik. Fis.* 2 (2021) 122–127.
- [21] R. N. Bragg, K. J. Crandall, and D. Ph, "Physical Activity Interventions for Older Adults in the Age of COVID-19 and Beyond," (2021) 1–7.
- [22] Satuan Tugas COVID-19, "Peta Sebaran Covid-19," Gugus Tugas Percepatan Penanganan Covid-19, 2021. <https://covid19.go.id/peta-sebaran>.
- [23] D. A. Nofrianti, "Pajanan Gas NO2 Pengelasan dengan Kadar Saturasi Oksigen pada Pegawai Divisi Niaga PT. PAL," *J. Kesehat. Lingkung.* 9(1) (2018) 92.

- [24] A. S. Hyperastuty and Y. Mukhammad, "Monitoring Saturasi Oksigen Menggunakan Spo2 Max 30100 Berbasis Android Oxygen Saturation Monitoring Using Android-Based Spo2 Max 30100," 2 (1) (2021) 1–6.
- [25] M. H. S. T. Penggalih, M. Hardiyanti, and F. I. Sani, "Perbedaan Perubahan Tekanan Darah dan Denyut Jantung Pada Berbagai Intensitas Latihan Atlet Balap Sepeda," *J. Keolahragaan* 3 (2015) 218–227.
- [26] A. Susilo et al., "Coronavirus Disease 2019: Tinjauan Literatur Terkini Coronavirus Disease 2019: Review of Current Literatures," *J. Penyakit Dalam Indonesia* 7(1) (2020) 45–67.
- [27] C. Huang et al., "Clinical Features of Patients Infected With 2019 Novel Coronavirus in Wuhan, China," *Lancet*, 395(10223) (2020) 497–506.
- [28] Y. Y. Lokhandwala and L. M. Rodriguez, "Heart rate variability.," *Indian heart journal* 46(4) (1994) 125–129.
- [29] Semiconductor National, "Lm35," Data Sheet, no. November, p. 13, 2000, [Online]. Available: <http://www.didacticaselectronicas.com/imagenes/documentos/lm35.pdf>.
- [30] Maxim Integrated, "Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor IC for Wearable Health," *Lect. Notes Energy* 38 (2014) 1–29, 2014, [Online]. Available: www.maximintegrated.com.

Pendugaan potensi sumber air tanah menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger di desa Srowot kecamatan Kalibagor kabupaten Banyumas

Imam Teguh Prasetyo, Sehad*, dan Hartono

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah Indonesia
*email: sehad@unsoed.ac.id

Abstrak – Survei geolistrik resistivitas dengan konfigurasi Schlumberger telah dilakukan untuk menduga kedalaman lapisan akuifer air tanah di Desa Srowot Kecamatan Kalibagor Kabupaten Banyumas. Akuisisi data dilakukan di enam titik sounding, yaitu titik SR-1, SR-2, SR-3, SR-4, SR-5, dan SR-6 dengan panjang bentangan 200 m. Hasil survei menunjukkan bahwa lapisan akuifer di daerah penelitian terdiri atas akuifer tertekan, akuifer bebas, dan akuifer semi tertekan. Akuifer tertekan terdapat di titik SR-1 berupa pasir berbutir halus ($2,36 \Omega\text{m}$) pada kedalaman lebih dari 19,58 m. Adapun akuifer bebas dan/atau akuifer semi tertekan terdapat pada titik SR-2, SR-3, SR-4, SR-5, dan SR-6. Pada titik SR-2, lapisan akuifer berupa lempung pasiran ($13,90 \Omega\text{m}$) dengan kedalaman 10,62-22,61 m. Pada titik SR-3, lapisan akuifer berupa lempung pasiran agak mampat ($56,80 \Omega\text{m}$) dan lempung pasiran ($15,70 \Omega\text{m}$) pada kedalaman 10,04-22,44 m dan lebih dari 50,04 m. Pada titik SR-4, lapisan akuifer berupa pasir berbutir sedang ($6,91 \Omega\text{m}$) pada kedalaman lebih dari 64,40 m. Pada titik SR-5, lapisan akuifer berupa pasir lempungan ($4,79 \Omega\text{m}$) pada kedalaman 2,74–25,04 m dan pasir berbutir halus ($2,82 \Omega\text{m}$) pada kedalaman lebih dari 46,64 m. Sedangkan pada titik SR-6, lapisan akuifer berupa pasir lempungan ($19,00 \Omega\text{m}$) pada kedalaman 9,29–22,60 m serta pasir berbutir halus ($2,70 \Omega\text{m}$) pada kedalaman lebih dari 46,60 m.

Kata kunci: geolistrik resistivitas, konfigurasi Schlumberger, akuifer air tanah, Desa Srowot

Abstract – A resistivity geoelectric survey with the Schlumberger configuration has been carried out to estimate the depth of the groundwater aquifer layer in Srowot Village, Kalibagor District, Banyumas Regency. Data acquisition was carried out at six sounding points, i.e. SR-1, SR-2, SR-3, SR-4, SR-5, and SR-6 with a stretch length of 200 m. The survey results show that the aquifer layers in the study area consist of confined, unconfined, and semiconfined aquifers. Confined aquifer is located at point of SR-1 in the form of fine-grained sand ($2.36 \Omega\text{m}$) at a depth of more than 19.58 m. Meanwhile the unconfined aquifers or/and semi confined aquifers are located at points of SR-2, SR-3, SR-4, SR-5, and SR-6. At point of SR-2, the aquifer layer is sandy clay ($13.90 \Omega\text{m}$) with a depth of 10.62-22.61 m. At point of SR-3, the aquifer layer consists of slightly compressed sandy clay ($56.80 \Omega\text{m}$) and sandy clay ($15.70 \Omega\text{m}$) at depth of 10.04-22.44 m and more than 50.04 m. At point of SR-4, the aquifer layer is medium-grained sand ($6.91 \Omega\text{m}$) at a depth of more than 64.40 m. At point of SR-5, the aquifer layer is in the form of clayey sand ($4.79 \Omega\text{m}$) at a depth of 2.74–25.04 m and fine-grained sand ($2.82 \Omega\text{m}$) at a depth of more than 46.64 m. While point of SR-6, the aquifer layer is clayey sand ($19.00 \Omega\text{m}$) at a depth of 9.29–22.60 m and fine-grained sand ($2.70 \Omega\text{m}$) at a depth of more than 46.60 m.

Key words: geoelectric resistivity, Schlumberger configuration, groundwater aquifer, Srowot Desa Village

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan pokok setiap makhluk hidup di muka bumi, khususnya manusia. Kebergantungan manusia terhadap air bukan hanya untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga saja melainkan juga untuk memenuhi kebutuhan lain seperti produksi, industri, pertanian, peternakan, kesehatan, dan lain-lain. Ketersediaan air bersih yang mencukupi amat diprioritaskan baik di wilayah perkotaan maupun pedesaan. Namun seiring berjalannya waktu dan meningkatnya jumlah populasi penduduk berbanding lurus dengan

meningkatnya kebutuhan air. Ketersediaan air yang kurang mencukupi jika dibandingkan dengan kebutuhan manusia terhadap air bersih akan menimbulkan krisis dan kelangkaan air [1]. Kondisi ini diperparah ketika musim kemarau dimana banyak daerah di Indonesia yang mengalami kekeringan akibat cadangan air tanah di daerah resapannya habis sehingga perlu dicari lagi sumber air yang baru [2]. Air tanah tersimpan dalam lapisan batuan pembawa air tanah yang dinamakan akuifer. Usaha untuk mengeksplorasi lapisan pembawa air perlu dilakukan melalui kegiatan survei, penelitian, dan pendugaan struktur batuan bawah

permukaan tanah agar dapat diketahui posisi lapisan akuifer air tanah dan kedalamannya; sehingga dapat dimanfaatkan oleh masyarakat.

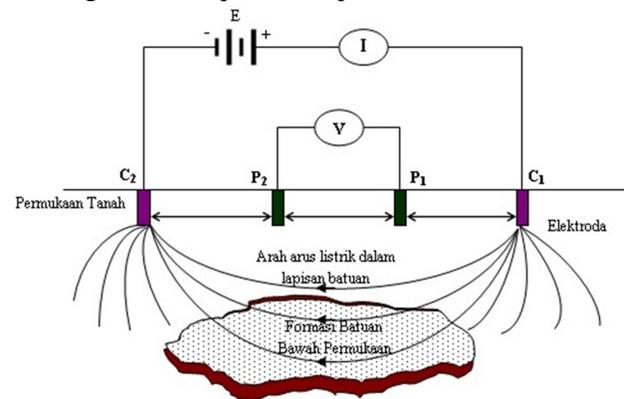
Salah satu desa yang sering terdampak kekeringan adalah Desa Srowot, Kecamatan Kalibagor, Kabupaten Banyumas. Pada saat musim kemarau, debit mata air mulai berkurang dan banyak sumber air di daerah tersebut mulai mengering [3]. Selama musim kemarau, sebagian besar masyarakat di Desa Srowot mengandalkan pasokan air bersih dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Banyumas dan Proyek Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (PAMSIMAS). Namun pasokan air tersebut belum mencukupi bagi masyarakat untuk keperluan sehari-hari. Mayoritas penduduk di desa ini bekerja sebagai petani, dimana mereka juga membutuhkan sumber air yang lain untuk mengairi sawah dan lahan pertanian lain ketika memasuki musim kemarau. Oleh sebab itu, untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan usaha untuk tetap memenuhi kebutuhan air. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan eksplorasi sumber air tanah baru dengan memanfaatkan potensi air bawah permukaan tanah di daerah tersebut. Sehubungan dengan hal tersebut gambaran struktur lapisan bawah permukaan tanah perlu diketahui, sehingga dapat diidentifikasi lapisan akuifer yang ada di Desa Srowot.

Salah satu metode geofisika yang dapat diterapkan untuk memperoleh gambaran dan informasi lapisan batuan bawah permukaan termasuk lapisan akuifer air tanah adalah metode geolistrik resistivitas [4]. Metode ini merupakan salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui keberadaan akuifer. Metode geolistrik resistivitas didasarkan pada fakta bahwa batuan bawah permukaan yang berbeda akan mempunyai nilai resistivitas yang berbeda jika dialiri arus listrik. Prinsip kerjanya dengan cara menginjeksikan arus ke bawah permukaan bumi sehingga diperoleh beda potensial yang kemudian akan didapatkan informasi tentang resistivitas batuan [5]. Metode ini sangat baik dimanfaatkan untuk mengetahui kondisi atau struktur geologi bawah permukaan berdasarkan variasi resistivitasnya [6]. Metode geolistrik resistivitas cukup baik diterapkan untuk eksplorasi dangkal, yaitu sekitar 100 meter [7]. Jika kedalaman lapisan lebih dari harga tersebut, informasi yang diperoleh kurang akurat, hal ini akibat melemahnya arus listrik untuk jarak bentangan yang semakin besar.

LANDASAN TEORI

A. Metode Geolistrik Resistivitas

Geolistrik merupakan salah satu metoda geofisika yang dapat dimanfaatkan untuk mengetahui perubahan resistivitas batuan bawah permukaan tanah dengan cara menginjeksikan arus listrik searah (DC) bertegangan tinggi ke dalam tanah. Injeksi arus listrik dilakukan melalui dua buah elektroda C_1 dan C_2 yang ditancapkan di permukaan tanah dengan jarak tertentu. Semakin panjang jarak bentangan elektroda arus, semakin dalam arus listrik menembus lapisan batuan bawah permukaan. Aliran arus listrik menimbulkan polarisasi listrik di dalam tanah. Beda potensial yang terjadi akibat polarisasi listrik pada permukaan tanah ini, diukur melalui dua buah elektroda potensial di titik P_1 dan P_2 . Jika jarak bentangan elektroda arus diubah menjadi lebih besar, beda potensial yang terukur juga ikut berubah sesuai dengan jenis batuan yang terinjeksi arus listrik pada kedalaman tertentu [8]. Skema pengukuran nilai resistivitas dalam survei geolistrik dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Skema survei geolistrik untuk mengukur nilai resistivitas batuan bawah permukaan [9].

Setelah arus (I) dan beda potensial (ΔV) terukur pada alat, kemudian nilai resistivitas semu (*apparent resistivity*) untuk masing-masing lapisan batuan dapat dihitung menggunakan persamaan [10]:

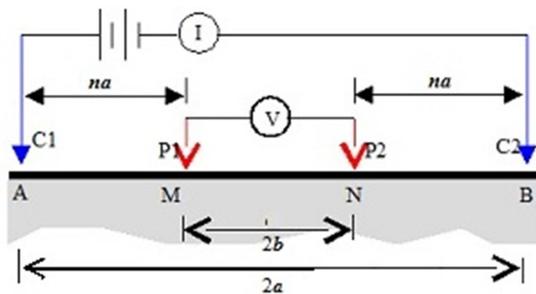
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

di mana K adalah faktor geometri, yang nilainya tergantung dari konfigurasi elektroda yang diterapkan di dalam akuisisi data resistivitas. Untuk konfigurasi Schlumberger, susunan

elektrodanya didesain sebagaimana terlihat pada **Gambar 2**, dengan nilai faktor geometri dapat dirumuskan [10]:

$$K_{Sch} = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB}\right)} = \pi \left(\frac{a^2 - b^2}{2b}\right) \quad (2)$$

Resistivitas semu terjadi sebagai akibat kerak bumi tersusun atas lapisan-lapisan batuan dengan nilai resistivitas (ρ) yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur dipengaruhi oleh lapisan-lapisan tersebut. Oleh sebab itu nilai resistivitas yang terukur bukan nilai resistivitas untuk sebuah lapisan saja, terutama untuk jarak bentangan antar elektroda yang lebar [11].



Gambar 2. Skema peralatan pengukuran teknik geolistrik dengan konfigurasi Schlumberger [11].

Survei geolistrik dengan teknik konfigurasi Schlumberger memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya adalah dapat digunakan untuk mendeteksi adanya non-homogenitas lapisan batuan di bawah dan dekat permukaan, yaitu dengan membandingkan nilai resistivitas semu pada saat jarak antar elektroda potensial MN/2 berubah. Adapun kelemahannya adalah pembacaan beda potensial pada elektroda MN lebih kecil terutama pada saat jarak elektroda AB yang relatif jauh [12]. Konfigurasi Schlumberger biasanya digunakan untuk sounding, yaitu pengambilan data resistivitas batuan bawah permukaan yang difokuskan secara vertikal, sehingga sering disebut teknik *Vertical Electrical Sounding* (VES). Contoh penerapannya adalah untuk mendeteksi kedalaman air tanah dalam rangka pembuatan sumur [13].

B. Akuifer Air Tanah

Akuifer merupakan formasi geologi yang jenuh sehingga dapat dijadikan sumber air dalam jumlah yang cukup untuk berbagai keperluan

seperti domestik, pertanian, peternakan, industri, kesehatan, dan lainnya. Mengingat fungsinya yang penting, formasi batuan ini didesain mampu menyimpan dan dilewati air dalam jumlah besar. Akuifer juga didefinisikan sebagai satuan geologi yang jenuh yang berfungsi memasok air ke dalam sumur atau mata air sehingga dapat digunakan sebagai sumber air bagi manusia dan makhluk hidup lain. Akuifer kadang disebut sebagai formasi yang mengandung air tanah (*groundwater bearing formation*) atau reservoir air tanah (*groundwater reservoir*). Agar dapat berfungsi sebagai akuifer, suatu batuan harus berpori atau berongga dan terkait satu dengan lain, sehingga bisa menyimpan dan meloloskan air tanah untuk bergerak dari rongga ke rongga lain atau dari bagian ke bagian lain di dalam suatu lapisan batuan. Akuifer dapat dibedakan menjadi tiga kelompok besar [14]:

1. Akuifer bebas (*unconfined aquifer*) merupakan suatu akuifer yang hanya memiliki sebuah lapisan pembatas kedap air yang terletak di bagian bawahnya. Dengan kata lain muka air tanah merupakan bidang batas di sebelah atas dari daerah jenuh air. Akuifer ini disebut sebagai *phreatic aquifer*.
2. Akuifer tertekan (*confined aquifer*) merupakan suatu akuifer jenuh air yang pada lapisan atas dan lapisan di bawahnya merupakan lapisan yang bersifat kedap air. Pada lapisan pembatasnya tersebut tidak terdapat air yang mengalir. Pada akuifer ini, tekanan airnya lebih besar daripada tekanan atmosfer, sehingga akuifer ini disebut juga dengan *pressure aquifer*.
3. Akuifer semi-tertekan (*semiconfined aquifer*) adalah akuifer yang seluruhnya bersifat jenuh air, dimana di bagian atasnya dibatasi oleh lapisan semi kedap dan bagian bawahnya merupakan lapisan kedap air.

Secara alami tidak semua batuan dapat bertindak sebagai akuifer, tergantung porositas dan permeabilitasnya. Batuan pasir dan batu sedimen yang tersusun atas butiran kasar umumnya memiliki persyaratan tersebut, terutama beberapa batuan yang belum terkompakan (*unconsolidated rock*). Itu artinya faktor umur batuan juga berpengaruh. Batuan-batuan yang berumur tua umumnya telah mengalami kompaksi dan sementasi, sehingga ruang antar butiran menjadi rapat dan termampatkan. Hal ini mengakibatkan batuan ini tidak dapat menyimpan dan meloloskan air

tanah dalam jumlah banyak. Batuan dengan karakteristik seperti ini memiliki porositas dan permeabilitas yang kecil. Pada zona seperti ini, agak sulit ditemukan air tanah, kecuali lapisan batuan yang memiliki banyak rekahan yang sering disebut sebagai akuifer rekahan (*fracture aquifer*) [15].

METODE PENELITIAN

A. Persiapan

Beberapa kegiatan yang dilakukan pada tahap persiapan adalah melakukan survei geologi dan survei pendahuluan di lokasi penelitian, menyiapkan peralatan resistivitymeter dan peralatan pendukungnya, membentuk tim survei geolistrik di lapangan, mengkaji peta topografi melalui *Google Map* dan peta geologi untuk menentukan letak titik-titik *sounding* dan lintasan survei geolistrik di lokasi penelitian. Seperangkat peralatan Naniura Resistivity-meter yang digunakan dalam akuisisi data resistivitas ditunjukkan pada **Gambar 3**.

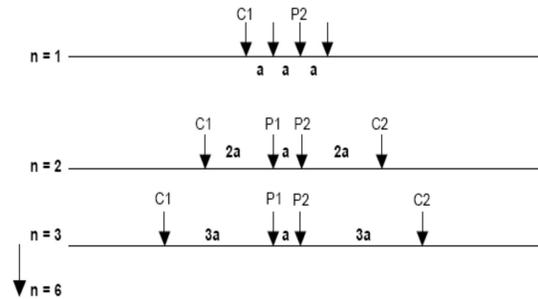


Gambar 3. Peralatan Naniura Resistivity meter yang digunakan dalam akuisisi data resistivitas.

B. Pelaksanaan

Akuisisi data resistivitas yang diterapkan di dalam survei geolistrik menggunakan teknik *Vertical Electrical Sounding* (VES) dengan konfigurasi Schlumberger. Teknik akuisisi ini dilakukan dengan memvariasi jarak bentangan elektroda C_1 terhadap P_1 , dan C_2 terhadap P_2 seperti ditunjukkan pada **Gambar 4**. Pada awalnya jarak bentangan masing-masing elektroda dibuat sama, misalnya a . Kemudian dilakukan pengukuran kuat arus, beda potensial, serta jarak $\frac{1}{2}AB$ dan $\frac{1}{2}MN$. Pada saat pengukuran berikutnya, jarak elektroda C_1 diperlebar terhadap P_1 dan elektroda C_2 diperlebar terhadap P_2 , misalnya $2a$. Demikian seterusnya, sehingga pengukuran data mencapai satu lintasan. Jarak bentangan antar elektroda

potensial (P_1 dan P_2) dapat diperlebar secara perlahan pada saat jarak bentangan antar elektroda arus (C_1 dan C_2) sudah sedemikian besar, asalkan terpenuhi syarat $AB \geq 5MN$ [6]. Variasi jarak antar elektroda secara gradual dilakukan untuk mendapatkan data kedalaman dan jenis-jenis batuan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas yang terukur secara vertikal (*vertical sounding*). Semakin panjang bentangan elektroda, maka informasi struktur dan jenis lapisan batuan bawah permukaan yang diperoleh juga semakin dalam [12].



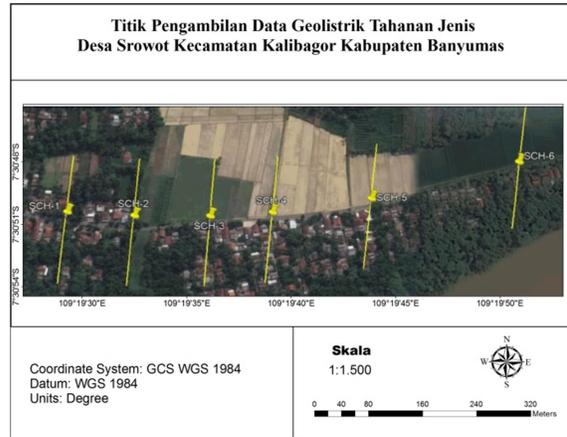
Gambar 4. Pergerakan elektroda arus dan elektroda potensial dalam survei geolistrik resistivitas konfigurasi Schlumberger.

Hasil akuisisi data resistivitas menggunakan teknik VES di lapangan adalah nilai resistivitas semu. Nilai resistivitas semu ini, kemudian di-plot di dalam sebuah grafik sehingga diperoleh kurva logaritmik antara resistivitas semu masing-masing lapisan (ρ_a) versus jarak bentangan elektroda arus ($\frac{1}{2}AB$). Selanjutnya kurva logaritmik ini dijadikan sebagai dasar untuk pemodelan, sehingga diperoleh kurva logaritmik resistivitas sebenarnya (*true resistivity*, ρ) versus jarak $\frac{1}{2}AB$ dan \log resistivitas lapisan-lapisan batuan dilengkapi dengan kedalamannya. Secara litologis, \log resistivitas diinterpretasi sehingga diperoleh \log litologi batuan bawah permukaan di daerah penelitian. Proses interpretasi dilakukan berdasarkan tabel resistivitas batuan dan informasi geologi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data resistivitas telah selesai dilakukan di daerah penelitian sesuai dengan desain survei seperti terlihat pada **Gambar 5**. Setelah dilakukan akuisisi data resistivitas maka diperoleh sejumlah data mentah (*raw data*) yang terdiri atas data beda potensial (ΔV), kuat arus (I), dan jarak bentangan elektroda (a). Faktor geometri (K) dihitung menggunakan persamaan

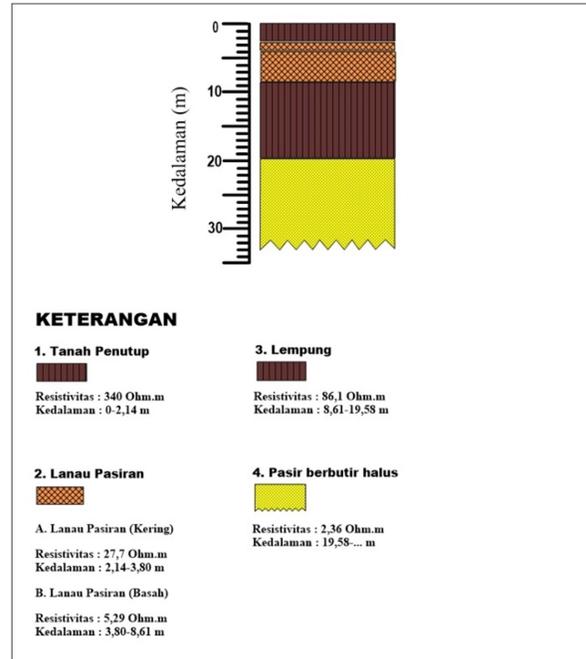
(2). Sedangkan nilai resistivitas semu (ρ_a) batuan bawah permukaan dihitung menggunakan persamaan (1). Proses pengolahan data pada konfigurasi ini telah dilakukan menggunakan aplikasi IPI2Win 3.0. Adapun pemodelan dan interpretasi data resistivitas telah dilakukan menggunakan aplikasi Surfer 10 sehingga diperoleh kontur resistivitas satu dimensi (1D) batuan bawah permukaan.



Gambar 5. Desain survei geolistrik resistivitas dengan teknik VES di daerah penelitian [18].

Titik Sounding SR-1

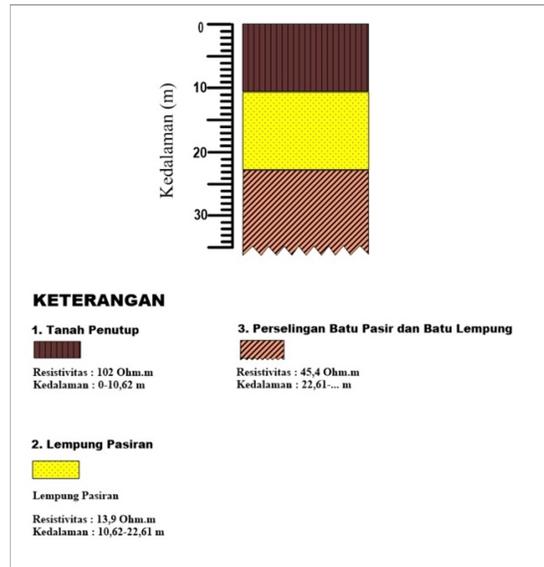
Titik *sounding* SR-1 terletak pada posisi - 7,51423° LS dan 109,324985° BT. Hasil pemodelan inversi menunjukkan lima lapisan batuan seperti terlihat pada **Gambar 6**. Lapisan ke-1 memiliki nilai resistivitas 340,0 Ω m dengan kedalaman 0–2,14 m yang diinterpretasi sebagai tanah/batuan penutup. Lapisan ke-2 memiliki nilai resistivitas 27,7 Ω m dengan kedalaman 2,14–3,80 m yang diinterpretasi sebagai lanau pasiran kering. Lapisan ke-3 memiliki nilai resistivitas 5,29 Ω m dengan kedalaman 3,80–8,61 m yang diinterpretasi sebagai lanau pasiran basah. Lapisan ke-4 memiliki nilai resistivitas 86,1 Ω m dengan kedalaman 8,61–19,58 m yang diinterpretasi sebagai lempung. Dan lapisan ke-5 memiliki nilai resistivitas 2,36 Ω m pada kedalaman \geq 19,58 m yang diinterpretasi sebagai pasir berbutir halus.



Gambar 6. Model litologi 1D pada titik *sounding* SR-1

Titik Sounding SR-2

Titik *sounding* SR-2 terletak pada posisi - 7,51426° LS dan 109,325868° BT. Berdasarkan hasil pemodelan inversi terhadap data resistivitas, telah diperoleh tiga lapisan batuan bawah permukaan. Lapisan ke-1 diinterpretasi sebagai tanah penutup (*top soil*) dengan nilai resistivitas 102,0 Ω m pada kedalaman 0–10,62 m. Lapisan ke-2 diinterpretasi sebagai lempung pasiran dengan nilai resistivitas 13,9 Ω m pada kedalaman 10,62–22,61 m. Dan lapisan ke-3 diinterpretasi sebagai perselingan batupasir dan batulempung dengan nilai resistivitas 45,4 Ω m pada kedalaman lebih dari 22,61 m. Model litologi hasil pemodelan pada titik SR-1 ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Model litologi 1D titik sounding SR-2

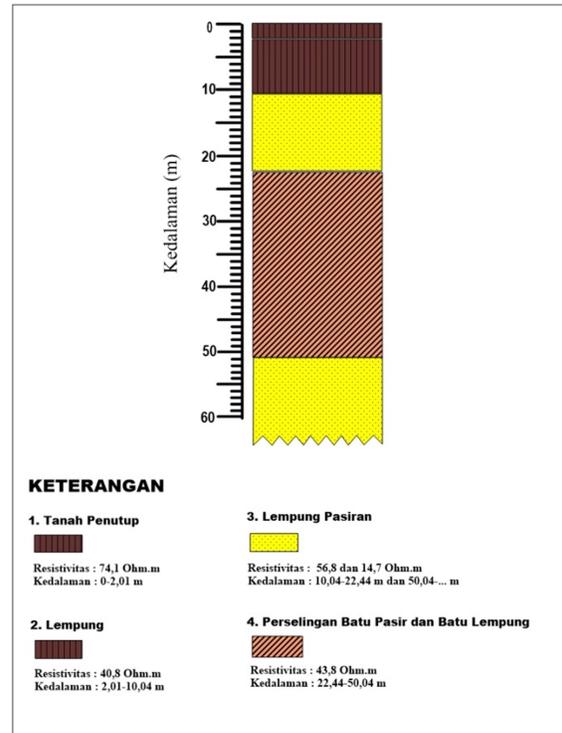
Titik Sounding SR-3

Titik sounding SR-3 terletak pada posisi - 7,514168° LS dan 109,327682° BT. Hasil pemodelan inversi menunjukkan lima lapisan batuan bawah permukaan seperti terlihat pada **Gambar 8**. Lapisan ke-1 memiliki nilai resistivitas 74,10 Ωm dengan kedalaman 0 – 2,01 m dan diinterpretasi sebagai tanah penutup (*top soil*). Lapisan ke-2 memiliki nilai resistivitas 40,80 Ωm dengan kedalaman 2,01 – 10,04 m yang diinterpretasi sebagai lempung. Lapisan ke-3 memiliki nilai resistivitas 56,80 Ωm dengan kedalaman 10,04–22,44 m yang diinterpretasi sebagai lempung pasiran. Lapisan ke-4 memiliki nilai resistivitas 43,80 Ωm dengan kedalaman 22,44–50,04 m yang diinterpretasi sebagai perselingan batupasir dan batu lempung. Adapun lapisan ke-5 memiliki nilai resistivitas 14,70 Ωm dengan kedalaman ≥ 50,04 m yang diinterpretasi sebagai lempung pasiran.

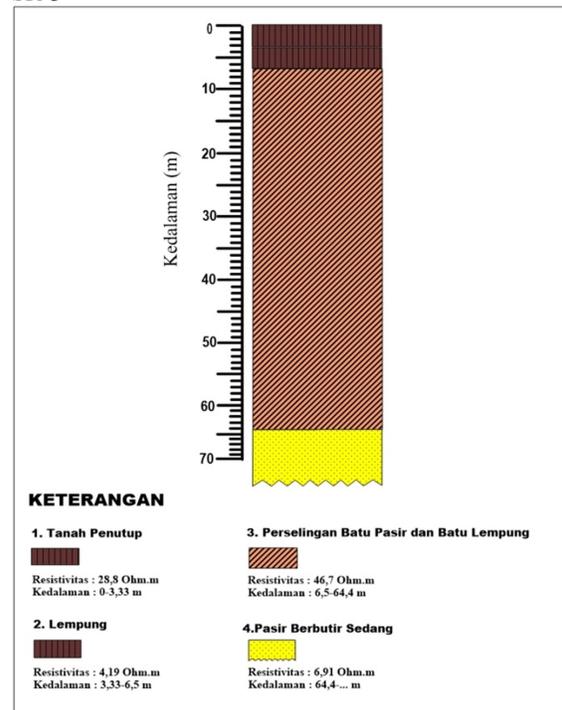
Titik Sounding SR-4

Titik sounding SR-4 terletak pada posisi - 7,51424° LS dan 109,326863° BT. Berdasarkan hasil pemodelan secara inversi, terdapat empat lapisan batuan seperti ditunjukkan pada **Gambar 9**. Lapisan ke-1 diinterpretasi sebagai tanah penutup (*top soil*) dengan nilai resistivitas 28,8 Ωm pada kedalaman 0–3,33 m. Lapisan ke-2 diinterpretasi sebagai lempung dengan nilai resistivitas 4,19 Ωm dan kedalaman 3,33–6,50 m. Lapisan ke-3 memiliki nilai resistivitas 46,7

Ωm dengan kedalaman 6,5–64,4 m, diinterpretasi sebagai perselingan batupasir dan batulempung. Sedangkan lapisan ke-4 memiliki nilai resistivitas 6,91 Ωm dengan kedalaman ≥ 64,40 m, diinterpretasi sebagai pasir berbutir.



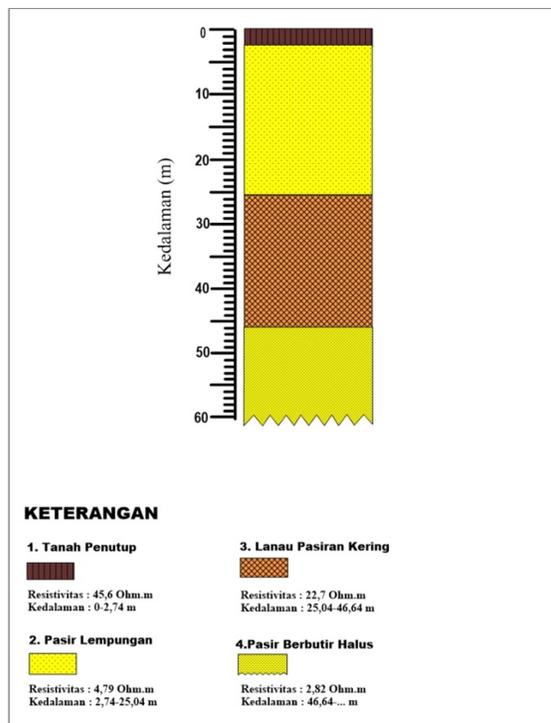
Gambar 8. Model litologi 1D pada titik sounding SR-3



Gambar 9. Model litologi 1D pada titik *sounding* SR-4

Titik *Sounding* SR-5

Titik *sounding* SR-5 terletak pada posisi - 7,51426° LS dan 109,325868° BT. Berdasarkan hasil pemodelan inversi, terdapat empat lapisan batuan bawah permukaan. Lapisan ke-1 diinterpretasi sebagai tanah penutup (*top soil*) dengan nilai resistivitas 45,6 Ω m dan kedalaman 0–2,74 m. Lapisan ke-2 diinterpretasi sebagai pasir lempungan dengan nilai resistivitas 4,79 Ω m dan kedalaman 2,74–25,04 m. Lapisan ke-3 diinterpretasi sebagai lanau pasiran kering dengan nilai resistivitas 22,7 Ω m dan kedalaman 25,04–46,64 m. Adapun lapisan ke-4 diinterpretasi sebagai pasir berbutir halus dengan nilai resistivitas 2,82 Ω m pada kedalaman lebih dari 46,64 m. Model litologi hasil pemodelan pada titik SR-5 ditunjukkan pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Model litologi 1D pada titik *sounding* SR-5

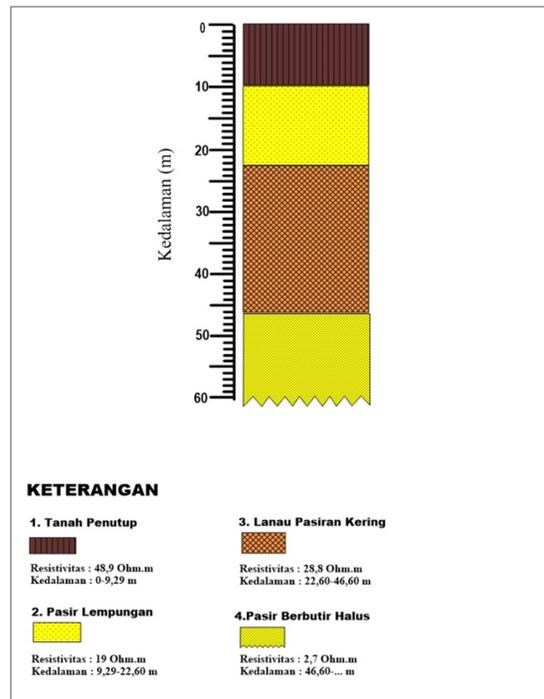
Titik *Sounding* SR-6

Titik *sounding* SR-6 terletak pada posisi - 7.51423° LS dan 109.324985°. Berdasarkan hasil pemodelan inversi, terdapat empat lapisan batuan bawah permukaan. Lapisan ke-1 yang

memiliki nilai resistivitas 48,9 Ω m diinterpretasi sebagai tanah penutup pada kedalaman 0 – 9,29 m. Lapisan ke-2 yang memiliki nilai resistivitas 19,0 Ω m diinterpretasi sebagai pasir lempungan dengan kedalaman 9,29 – 22,60 m. Lapisan ke-3 yang memiliki nilai resistivitas 28,8 Ω m diinterpretasi sebagai lanau pasiran kering pada kedalaman 9,29 – 46,60 m. Sedangkan lapisan ke-4 yang memiliki nilai resistivitas 2,7 Ω m diinterpretasi sebagai pasir berbutir halus dengan kedalaman lebih dari 46,60 m. Model litologi hasil pemodelan pada titik SR-6 ditunjukkan pada **Gambar 11**.

Korelasi Titik *Sounding* SR-1 sampai SR-6

Korelasi bertujuan untuk mengetahui keterhubungan antar masing-masing lapisan yang memiliki kesamaan litologi di setiap titik *sounding*. Kesamaan litologi ini ditandai dengan hasil interpretasi yang sama terhadap nilai-nilai resistivitas batuan bawah permukaan. Hasil korelasi ditunjukkan pada **Gambar 12**. Berdasarkan hasil pengolahan dan pemodelan inversi menggunakan aplikasi *IPI2Win* serta hasil korelasi diketahui bahwa lapisan tersebut didominasi oleh lempung pasiran, serta perselingan antara batupasir dan batulempung. Sedangkan yang diindikasikan sebagai lapisan akuifer air tanah pada umumnya berada pada lapisan yang mengandung pasir [16]. Lapisan pasir mempunyai potensi kandungan air tanah yang cukup besar sebab lapisan pasir umumnya dapat menyimpan cadangan air dalam jumlah yang melimpah. Lapisan ini terdapat pada kedalaman lebih dari 50 m.



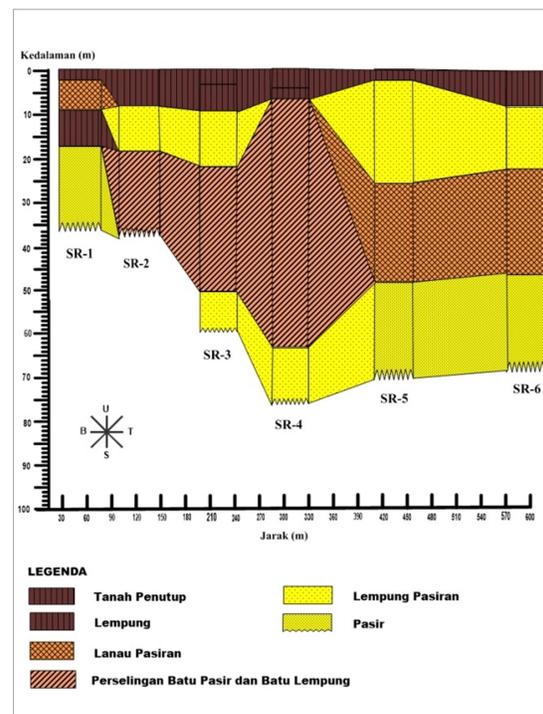
Gambar 11. Model litologi 1D pada titik sounding SR-6

Analisis dan Diskusi

Pemodelan data resistivitas telah menghasilkan beberapa lapisan batuan bawah permukaan pada setiap titik sounding yang berbeda nilai resistivitasnya. Hasil-hasil pemodelan dilengkapi dengan jenis litologi, ketebalan, dan kedalaman masing-masing lapisan. Namun demikian nilai resistivitas yang diperoleh tidak mesti mewakili satu jenis litologi. Hal ini karena nilai resistivitas suatu jenis batuan merupakan nilai kisaran atau rentang. Selain itu, untuk menginterpretasi jenis litologi, tidak hanya didasarkan pada nilai resistivitas, tetapi juga didasarkan atas peta geologi baik lokal maupun regional wilayah setempat.

Berdasarkan informasi geologi [17] dan tabel resistivitas batuan [10], lapisan batuan bawah permukaan di daerah penelitian terdiri atas tanah penutup (*top soil*) dengan nilai resistivitas berkisar 28,80–340,00 Ω m, lempung dengan nilai resistivitas berkisar 4,19–86,10 Ω m, lanau pasiran dengan nilai resistivitas berkisar 5,29–28,80 Ω m, lempung pasiran dengan nilai resistivitas berkisar 13,90–56,80 Ω m, pasir lempungan dengan nilai resistivitas berkisar 4,79–19,00 Ω m, perselingan antara batupasir dan batulempung dengan nilai resistivitas berkisar 43,80–46,70 Ω m, serta pasir

dengan nilai resistivitas 2,36–6,91 Ω m. Berdasarkan hasil interpretasi ini, lapisan batuan bawah permukaan yang paling potensial berperan sebagai akuifer air tanah adalah lapisan pasir [16]. Hasil korelasi antar lapisan menunjukkan bahwa akuifer yang berupa pasir berbutir sedang terdapat pada titik sounding SR-1 dan SR-4. Masing-masing terdapat pada kedalaman lebih dari 19,58 m dan 64,40 m. Sedangkan lapisan akuifer yang berbentuk pasir berbutir halus terdapat pada titik sounding SR-5 dan SR-6 dengan kedalaman lebih dari 46,60 m.



Gambar 12. Korelasi lapisan-lapisan batuan yang memiliki kesamaan litologi pada titik sounding SR-1 hingga SR-6.

Berdasarkan jenis lapisan penyusunnya, akuifer pada titik sounding SR-1 termasuk jenis akuifer tertekan (*confined aquifer*) sebab lapisan batuan di bagian atas lapisan akuifer tersebut merupakan lapisan yang kedap air (*impermeable*) sehingga memiliki tekanan lebih besar daripada tekanan atmosfer. Dengan demikian air tanah di dalam lapisan ini cenderung tertekan ke permukaan sesuai dengan persamaan fluida [18]. Kendala pengukuran geolistrik di lokasi titik sounding SR-1 adalah keterbatasan panjang bentangan kabel elektroda arus akibat terpotong Sungai Serayu. Akibatnya lapisan akuifer tertekan ini tidak dapat terinterpretasi hingga batas bawah secara jelas.

Selain itu, kesinambungan lapisan akuifer tertekan juga tidak terdeteksi akibat kurangnya titik *sounding* dalam survei geolistrik ini.

Lapisan akuifer bebas (*unconfined aquifer*) terdapat pada titik *sounding* SR-2 hingga SR-6, kecuali SR-4. Sedangkan lapisan akuifer semi tertekan (*semiconfined aquifer*) terdapat pada titik *sounding* SR-3 hingga SR-6. Berdasarkan hasil interpretasi, tidak ditemukan adanya lapisan kedap air pada bagian atas akuifer-akuifer tersebut. Akuifer semi tertekan masih berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber air bersih dalam skala besar, seperti menjadi sumber air bersih dalam program Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Masyarakat (PAMSIMAS). Adapun pemanfaatan akuifer bebas terbatas untuk memenuhi kebutuhan skala kecil. Tinggi rendahnya muka air tanah dalam akuifer bebas serta debit air dan luas penyebarannya dipengaruhi oleh musim, curah hujan, dan kondisi lingkungan setempat. Oleh karena itu, saat musim hujan ketinggian muka air akan tinggi sehingga debitnya besar, namun saat musim kemarau ketinggian muka airnya turun sehingga debitnya kecil [14].

KESIMPULAN

Survei geolistrik resistivitas menggunakan konfigurasi Schlumberger telah dilakukan di Desa Srowot, Kecamatan Kalibagor, Kabupaten Banyumas. Berdasarkan hasil survei, diperoleh variasi nilai resistivitas batuan bawah permukaan, yang terdiri atas tujuh jenis lapisan batuan. Secara litologi, lapisan batuan tersebut diinterpretasi sebagai tanah penutup (*top soil*) dengan nilai resistivitas berkisar 28,80 – 340,00 Ωm , lempung dengan nilai resistivitas berkisar 4,19–86,10 Ωm , lanau pasir dengan nilai resistivitas berkisar 5,29 – 28,80 Ωm , lempung pasir dengan nilai resistivitas berkisar 13,90 – 56,80 Ωm , pasir lempungan dengan nilai resistivitas berkisar 4,79–19,00 Ωm , perselingan antara batupasir dan batulempung dengan nilai resistivitas berkisar 43,80–46,70 Ωm , serta pasir dengan nilai resistivitas berkisar 2,36–6,91 Ωm .

Hasil-hasil interpretasi menunjukkan keberadaan lapisan akuifer di daerah penelitian. Lapisan akuifer ditemukan pada titik *sounding* SR-1 hingga SR-6. Lapisan akuifer di daerah penelitian diinterpretasi terdiri atas akuifer tertekan, akuifer bebas dan akuifer semi tertekan. Akuifer tertekan ditemukan pada titik *sounding* SR-1 dengan kedalaman 19,58 m hingga batas yang tidak diketahui. Akuifer

bebas ditemukan pada titik SR-2 pada kedalaman 10,62–22,61 m, titik SR-4 pada kedalaman 2,73–25,04 m, titik SR-5 pada kedalaman 2,73–25,04 m, dan titik SR-6 pada kedalaman 9,29–22,60 m. Adapun akuifer semi tertekan ditemukan di titik SR-3 pada kedalaman lebih dari 50,04 m, titik SR-4 pada kedalaman lebih dari 64,40 m, titik SR-5 pada kedalaman lebih dari 46,64 m, dan titik SR-6 pada kedalaman lebih dari 46,60 m

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Laboratorium Elektronika, Instrumentasi, dan Geofisika Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman atas peralatan Resistivity-meter merk NANIURA yang digunakan dalam akuisisi data. Terimakasih juga disampaikan kepada tim survei geolistrik yang telah bersusah payah dan bersinergi dalam melakukan akuisisi data resistivitas di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kodoatie, R., Roestam, dan Sjarief., *Tata Ruang Air*, Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2010.
- [2] H. Hendrayana, *Hidrogeologi Mata Air*, Lecture note. Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta, 2013.
- [3] R. Prasetyo, Radio Republik Indonesia. Diakses September 21, 2019, dari <http://www.rri.co.id/purwokerto/post/berita/>.
- [4] H. Bakri, H., J. R. Husain, dan Firdaus, “Pendugaan Air Tanah dengan Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis di Desa Tellumpanua Kec. Tanete Rilau Kab. Barru Sulawesi Selatan”, *Jurnal Geomine* 3(1) (2015) 165-169.
- [5] A.A. Aning, N. Sackey, I.S. Jakalia, O. Sedoawu, E. H. Tetteh, G. Hinson, R. Akorlie, D. Appiah, E. Quaye, “Electrical Resistivity as a Geophysical Mapping Tool; A Case Study of the New Art Department Knust-Ghana. International”, *Journal of Scientific and Research Publication* 4(1) (2014) 1-7.
- [6] A. Lutan, “Metode Pengukuran Tahanan Jenis Bawah Permukaan Tanah”, DikLat

- Geofisika Eksplorasi Terbatas. Lembaga Fisika Nasional, LIPI, Jakarta, 1981.
- [7] Sehad, Hartono, Z. Irayani, dan U.N. Prabowo, "Designing Aquifer Model for the Banks of the Serayu River, Sokawera, Somagede, Banyumas, Indonesia by Means of 1D-Electrical Resistivity Data", *J. Math. Fund. Sci.* 53(3) (2021) 344-357.
- [8] M.R.S.S. Kumar and G. Swathi, "Vertical Electrical Sounding (VES) for Subsurface Geophysical Investigation Inkanigiri Area, Prakasam District, Andhra Pradesh, India", *Advances in Applied Science Research* 5(5) (2014) 82-86.
- [9] D. Hanifa, I. Sota, dan S. Siregar, "Penentuan Lapisan Akuifer Air Tanah dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger di Desa Sungaijati Kecamatan Mataram Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan", *Jurnal Fisika Flux* 13 (1) (2016) 30-39.
- [10] W. M. Telford, L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, *Applied Geophysics*, Cambridge University, New York, USA, 1990.
- [11] E. Minarto, "Pemodelan Inversi Data Geolistrik untuk Menentukan Struktur Perlapisan Bawah Permukaan Daerah Panasbumi Mataloko", *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 3(2) (2011) 1-5.
- [12] AGI. *Schlumberger Array: Electrical Resistivity Methods, Part2*. Sumber: <https://www.agiusa.com/schlumberger-array>. Diakses: 3 Feb 2021.
- [13] Sehad, Wihantoro, U.N. Prabowo, "Sosialisasi dan Realisasi Hasil Pengukuran Geolistrik untuk Eksplorasi Sumber Air Tanah di Desa Metenggeng, Kecamatan Bojongsari Kabupaten Purbalingga", *Jurnal PKM Serambi Abdimas* 2(2) (2021) 83-88.
- [14] Indarto, *Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*, PT. Bumi Aksara, Jakarta, 2012.
- [15] H. Bouwer, *Groundwater Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1978.
- [16] E.O. Joshua, O.O. Odeyemi, O.O. Fawehinmi, "Geoelectric Investigation of the Groundwater Potential of Moniya Area", *Ibadan. Journal of Geology and Mining Research* 3(3) (2011) 54-62.
- [17] M. Djuri, T. Samodra, S. Amin, S., Gafoer, *Peta Geologi Lembar Purwokerto dan Tegal, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1996.
- [18] M.H. Syahrudin, "Persamaan Aliran Air dalam Media Berpori sebagai Aliran Airtanah (Groundwater)", *Simposium Fisika Nasional 2014 (SFN XXVII)*, Denpasar-Bali, 16-17 Oktober 2014.

Pengaruh temperatur pembakaran dan volume surfaktan pada proses sintesis graphene oxide (GO) dari limbah tulang ayam broiler

Aura Salvia Gayatri*, Arif Tjahjono

Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta
Jl.Ir.H.Juanda No. 95, Cemp. Putih, Kec. Ciputat Timur, Kota Tangerang Selatan, Banten

*email: aurasalviagayatri1@gmail.com

Abstrak – Limbah tulang ayam broiler bermanfaat dalam perkembangan industri graphene oxide (GO) karena limbah tersebut mengandung senyawa karbon yang dapat dijadikan sebagai salah satu sumber bahan baku pembuatan graphene oxide (GO) yang bermanfaat dalam pengembangan teknologi penyimpanan energi. Penelitian ini menggunakan metode liquid phase exfoliation dengan variasi temperatur pembakaran arang pada 400°C dan 600°C serta variasi volume surfaktan pada 0,76 ml; 0,96 ml dan 1,16 ml. Variasi dilakukan untuk mengetahui temperatur pembakaran dan komposisi volume surfaktan yang paling optimum untuk membentuk GO. Hasil pengujian EDX diketahui pembakaran pada temperatur 400°C menghasilkan natural graphite paling murni dengan kandungan karbon sebesar 21,09 %wt (weight percent) atau 33,59 %at (atomic percent). Dari hasil spektra UV-Vis diketahui pada temperatur pembakaran 400°C serta volume surfaktan 1,16 ml menghasilkan GO paling optimum dengan panjang gelombang 230 nm dan nilai absorbansi 10. Berdasarkan spektra FTIR terlihat variasi temperatur pembakaran dan volume surfaktan tidak mempengaruhi gugus fungsi yang terbentuk, namun mempengaruhi besar persentase transmisi yang menunjukkan kekuatan gugus fungsi dalam berikatan.

Kata kunci: Blender, furnace, limbah tulang ayam, liquid phase exfoliation, surfaktan

Abstract – Broiler chicken bone waste is useful in the development of the graphene oxide (GO) industry because the waste contains carbon compounds that can be used as a source of raw material for the manufacture of graphene oxide (GO) which is useful in developing energy storage technology. This study used the liquid phase exfoliation method with variations in charcoal burning temperature at 400 C and 600 C and variations in surfactant volume at 0.76 ml; 0.96 ml and 1.16 ml. Variations were made to determine the optimum combustion temperature and volume composition of the surfactant to form GO. The results of the EDX test show that combustion at a temperature of 400 C produces the purest natural graphite with a carbon content of 21.09 %wt (weight percent) or 33.59%at (atomic percent). From the results of UV-Vis spectra it is known that at a combustion temperature of 400 C and a surfactant volume of 1.16 ml produces the most optimum GO with a wavelength of 230 nm and an absorbance value of 10. Based on the FTIR spectra, it can be seen that variations in combustion temperature and surfactant volume do not affect the functional groups formed, but affects the % transmittance which indicates the ability of the functional group to bind.

Key words: Blender, furnace, Poultry chicken bone waste, liquid phase exfoliation, Surfactant

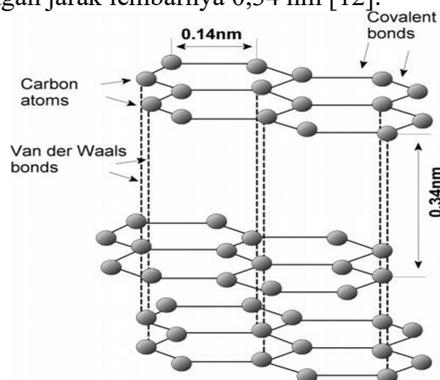
PENDAHULUAN

Karbon merupakan unsur yang tersedia dalam jumlah banyak di bumi yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar dalam hal inovasi teknologi penyimpanan energi [1]. Graphene merupakan lapisan tipis selapis berbentuk susunan karbon heksagonal dua dimensi yang cukup kuat. Tumpukan dari lebaran graphene dinamakan graphite. Graphite merupakan atom karbon (C) yang tersusun bertumpuk [2]. Graphene dapat dimanfaatkan dalam bidang baterai, perangkat penyimpanan energi (ultrakapasitor), transistor, dan sebagai elektroda konduktor transparan [1,3]. Sintesis graphene oxide (GO) yang

memanfaatkan limbah tulang ayam dengan variasi volume surfaktan dilakukan untuk mengetahui temperatur pembakaran tulang ayam dan komposisi volume surfaktan yang paling optimum dalam sintesis GO. Metode liquid phase exfoliation cukup ramah lingkungan karena tidak menghasilkan gas yang berbahaya selama proses sintesis GO karena tidak menggunakan natrium nitrat (NaNO₃) sehingga tidak memproduksi gas beracun seperti nitrogen dioksida (NO₂) dan dinitrogen tetraoksida (N₂O₄) [3,4]. Eswariah Varrla et al [5] telah melakukan penelitian terkait pengelupasan dari graphene menggunakan detergent rumah tangga dan blender dapur. Hasilnya graphite dapat dikelupas dan menghasilkan graphene

berkualitas tinggi menggunakan *blender*. Limbah tulang ayam broiler dipilih karena mudah dijumpai dan minim pemanfaatan. Kandungan karbon pada tulang ayam berasal dari kolagen yang berada pada matriks tulang organik [6,7].

GO disintesis menggunakan limbah tulang ayam sebagai bahan dasarnya dengan temperatur pembakaran yang paling optimum untuk mendapatkan *natural graphite* dengan kualitas yang terbaik. Karbon terdiri dari beberapa material *allotrope* yang memiliki sifat-sifat yang sangat bervariasi [8]. Karbonisasi merupakan proses perubahan zat organik ke dalam karbon pada saat proses pembuatan arang [9]. Kualitas arang ditentukan oleh perlakuan temperatur karbonisasi [10]. *Graphene* atau *graphite* monoatomik memiliki ukuran nano [3,11]. Pada kisi heksagonal *graphene* terdiri dari atom karbon sp^2 hibridisasi yang mana setiap karbon atom dalam lapisan membentuk sudut 120° dengan jarak antar atom karbon sebesar $1,42 \text{ \AA}$ ($0,142 \text{ nm}$) dan diikat dengan ikatan kovalen. Gambar 1 merupakan ilustrasi lembaran *graphene* pada *graphite* yang diikat dengan ikatan van der Waals pada tiap lembarannya dengan jarak lebarnya $0,34 \text{ nm}$ [12].



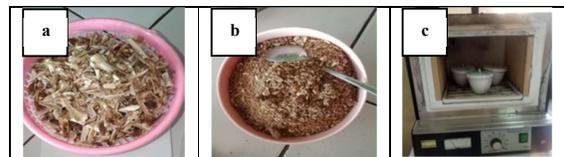
Gambar 1 Ilustrasi lembaran *graphene* pada *graphite* [13]

Graphene yang teroksidasi disebut *graphene oxide* (GO). Pada GO lembaran *graphite* monomolekul terdiri dari banyak gugus fungsi polar [14]. *Reduced graphene oxide* (rGO) adalah GO yang mana kandungan oksigennya dikurangi baik dengan metode termal, kimia, ataupun yang lainnya [15]. Konsep *liquid phase exfoliation* yaitu eksfoliasi dan oksidasi *graphite* yang terjadi di dalam fasa cair hingga menghasilkan suatu bentuk material GO [1,16]. Pada metode *liquid phase exfoliation* surfaktan merupakan agen penstabil permukaan yang dapat menyusup ke dalam lapisan *graphene* [4].

Surfaktan dapat menyesuaikan energi permukaan *graphene* agar terjadi proses dispersi yang stabil. Sementara mencegah aglomerasi *graphene*, efek volume dari surfaktan juga dapat menyebabkan jarak yang jauh antara lembaran *graphene* yang berdekatan, yang mempengaruhi konduktivitas *graphene* dan permeabilitas membran *graphene* dalam sistem dispersi [17].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan membersihkan limbah tulang ayam broiler dari sum-sum dan tulang rawannya sebelum dilakukan proses karbonisasi. Selanjutnya tulang ayam dilakukan proses dehidrasi selama 30 menit pada temperatur 200°C untuk mereduksi kandungan air yang terdapat dalam tulang [6]. Tulang yang sudah dilakukan proses dehidrasi kemudian dilanjutkan ke tahap karbonisasi selama 1 jam pada temperatur 400°C dan 600°C . Arang hasil karbonisasi kemudian diayak menggunakan saringan 200 mesh agar benar-benar halus dan ukurannya lebih merata. Gambar 2 menunjukkan tampilan tulang proses dehidrasi tulang ayam dan pembakaran tulang ayam di temperatur 400°C dan 600°C .



Gambar 2 Proses pembuatan arang (a) tulang hasil proses dehidrasi, (b) tulang yang sudah dihaluskan, (c) proses karbonisasi tulang dengan variasi temperatur

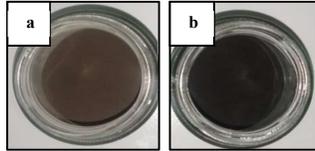
Masing-masing arang yang telah diayak dibagi menjadi 3 bagian dengan berat masing-masing 2 gram untuk dilakukan pencampuran dengan 250 ml aquades dengan variasi volume surfaktan, yaitu $0,76 \text{ ml}$; $0,96 \text{ ml}$ dan $1,16 \text{ ml}$. Proses pemblanderan dilakukan selama 3 jam lalu diendapkan selama 3 hari untuk memisahkan liquid dengan *graphene*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karbonisasi dan Sintesis GO Secara Observasi

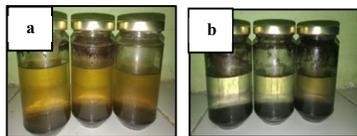
Secara visual arang hasil pembakaran temperatur 400°C memiliki warna coklat tua dengan massa awal 110 gram menjadi $63,5$

gram. Sedangkan arang hasil pembakaran pada temperatur 600 °C memiliki warna hitam pekat dengan massa awal 110 gram menjadi 56,98 gram. Gambar 3 menunjukkan tampilan arang hasil *furnace* dengan variasi temperatur pembakaran.



Gambar 3 Arang hasil *furnace* dengan variasi temperatur (a) 400 °C dan (b) 600 °C

Hasil sintesis GO secara visual menunjukkan sampel semakin keruh seiring dengan meningkatnya volume surfaktan. Kekeruhan pada sampel menunjukkan semakin banyaknya GO yang dihasilkan seperti terlihat pada **Gambar 4**.

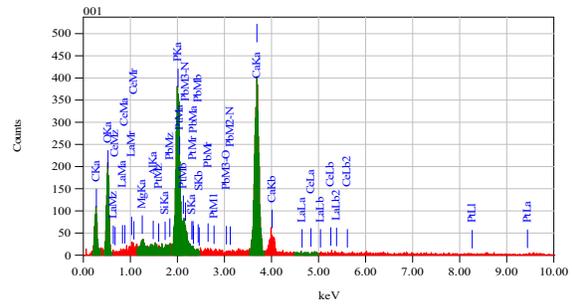


Gambar 4 Hasil sintesis GO dengan variasi volume surfaktan (a) temperatur 400 °C, (b) temperatur 600 °C

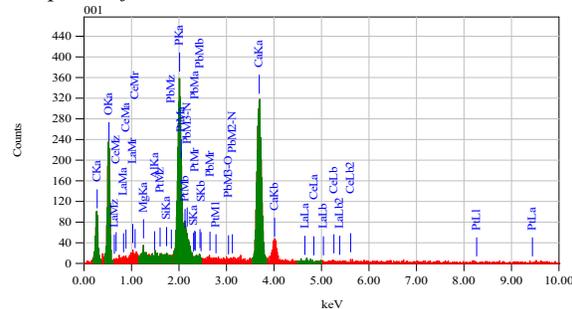
Hasil Karakterisasi EDX

Hasil uji EDX menunjukkan bahwa arang hasil pembakaran baik pada temperatur 400 °C maupun 600 °C memiliki komposisi unsur yang sama yaitu karbon, oksigen, fosfor dan kalsium. Namun, kadar unsur yang dihasilkan berbeda. Terlihat adanya penurunan persentase kandungan karbon pada arang 600 °C. Hal ini terjadi akibat semakin banyak karbon yang bereaksi menjadi gas CO₂ dan H₂ karena ruang *furnace* yang tidak dalam keadaan vakum.

Gambar 5 dan **Gambar 6** menyajikan spektrum EDX arang hasil *furnace* 400 °C dan 600 °C. **Tabel 1** dan **Tabel 2** menunjukkan informasi mengenai kandungan arang dengan variasi temperatur pembakaran.



Gambar 5 Spektrum EDX arang dengan perlakuan temperatur *furnace* 400 °C



Gambar 6 Spektrum EDX arang dengan perlakuan temperatur *furnace* 600 °C

Tabel 1 Kandungan sampel tulang ayam broiler dengan perlakuan temperatur *furnace* 400 °C

Unsur	% massa	% atom
C	21,09	33,59
O	37,74	45,11
P	12,94	7,99
Ca	26,62	12,71

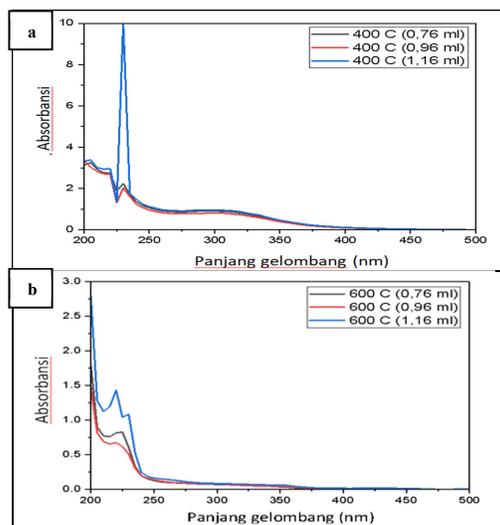
Tabel 2 Kandungan sampel tulang ayam broiler dengan perlakuan temperatur *furnace* 600 °C

Unsur	% massa	% atom
C	20,75	31,78
O	43,53	50,04
P	12,07	7,17
Ca	23,07	10,59

Hasil Karakterisasi UV-Vis

Berdasarkan hasil karakterisasi UV-Vis sampel hasil sintesis GO pada arang 400 °C dengan volume surfaktan 0,76 ml memiliki puncak absorbansi tertinggi sebesar 3,259 pada panjang gelombang 205 nm yang mana belum bisa dikategorikan sebagai GO. Terdapat pula puncak minor dengan absorbansi sebesar 2,24 pada panjang gelombang 230 nm yang menunjukkan sampel arang 400 °C dengan

volume surfaktan 0,76 ml mengandung GO yang absorbansinya tidak jauh berbeda dengan absorbansi pada panjang gelombang 205 nm. Sampel dengan volume surfaktan 0,96 ml dan 1,16 ml dapat menghasilkan *graphene oxide* karena puncak serapan tertinggi berada pada panjang gelombang 230 nm. Intensitas absorbansi merepresentasikan seberapa banyak GO yang dapat dihasilkan [18]. Puncak absorbansi pada panjang gelombang 230 nm dikatakan sebagai GO dan puncak minor pada panjang gelombang 290 nm dan 300 nm dikatakan sebagai rGO [19]. Puncak absorbansi tertinggi pada panjang gelombang 205 nm mungkin dikategorikan sebagai *graphite oxide*. **Gambar 7** menunjukkan hasil UV-Vis GO berdasarkan variasi volume surfaktan pada arang 400 °C dan 600 °C.



Gambar 7 Hasil UV-Vis sintesis GO variasi volume surfaktan (a) arang 400 °C, (b) arang 600 °C.

Sampel sintesis GO dengan temperatur pembakaran *natural graphite* 600 °C terjadi efek hiperkromik (*blueshift*) pada sampel dengan volume surfaktan 0,76 ml. Lalu terjadi efek hipsokromik pada sampel dengan volume surfaktan 1,16 ml jika dibandingkan dengan sampel volume surfaktan 0,76 ml dan 0,96 ml. Puncak absorbansi tertinggi pada sampel sintesis GO menggunakan *graphite* 600 °C tidak berada pada panjang gelombang 230. Sehingga dapat dikatakan GO belum terdispersi dengan sempurna menjadi lapisan yang lebih tipis. Puncak serapan maksimum *graphene oxide* berada pada panjang gelombang sekitar 220-270 nm dengan karakter *graphene oxide* sebagai *graphene multilayer* [16]. **Tabel 3** dan **Tabel 4**

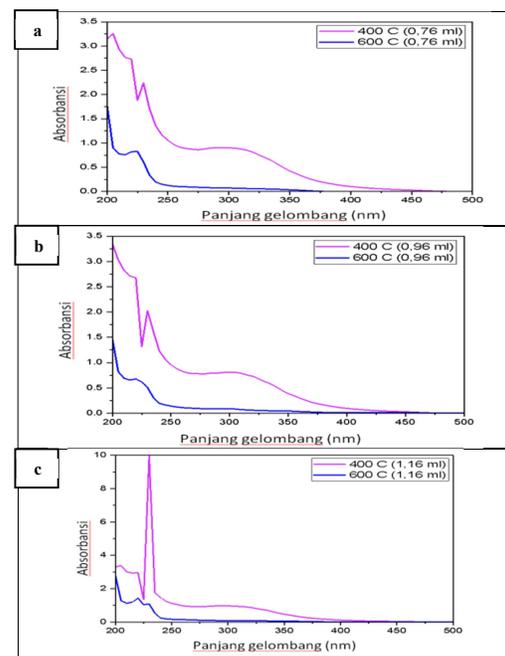
menginformasikan besar absorbansi dan panjang gelombang pada tiap sampel secara detail.

Tabel 3 Panjang gelombang dan absorbansi sampel hasil sintesis *graphene oxide* menggunakan arang 400 °C

Arang hasil pembakaran pada suhu 400 °C					
Surfaktan 0,76 ml		Surfaktan 0,96 ml		Surfaktan 1,16 ml	
λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs
205	3,259	230	2,027	205	3,388
230	2,241	300	0,809	220	2,955
290	0,905	-	-	230	10
-	-	-	-	290	0,987

Tabel 4 Panjang gelombang dan absorbansi sampel hasil sintesis *graphene oxide* menggunakan arang 600 °C

Arang hasil pembakaran pada suhu 600 °C					
Surfaktan 0,76 ml		Surfaktan 0,96 ml		Surfaktan 1,16 ml	
λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs	λ (nm)	Abs
225	0,828	225	1,320	220	1,433
-	-	-	-	230	1,088



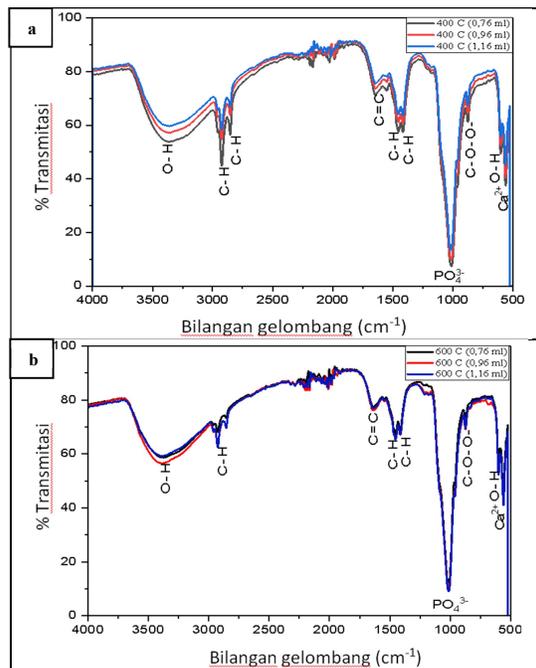
Gambar 8 Spektrum UV-Vis perbandingan temperatur pembakaran arang berdasarkan volume surfaktan (a) 0,76 ml, (b) 0,96 ml, (c) 1,16 ml

Dari **Gambar 8** terlihat intensitas absorbansi sampel temperatur hasil pembakaran temperatur 400 °C lebih tinggi dibandingkan dengan sampel temperatur pembakaran 600 °C dengan puncak absorbansi lebih dari satu jenis panjang gelombang tiap sampelnya. Hal ini karena adanya perbedaan energi untuk eksitasi yang mempengaruhi panjang gelombang. Pada panjang gelombang 230 nm terjadi transisi

elektron $\pi \rightarrow \pi^*$ yang mana ΔE lebih besar jika dibandingkan pada panjang gelombang 300 nm yang terjadi transisi elektron $n \rightarrow \pi^*$ [20].

Hasil Karakterisasi FTIR

Secara keseluruhan gugus fungsi yang dihasilkan pada endapan GO baik menggunakan *natural graphite* hasil pembakaran 400°C maupun 600°C menunjukkan volume surfaktan tidak mempengaruhi jenis gugus fungsi yang dihasilkan melainkan mempengaruhi persentase transmisinya. Hal ini karena belum adanya perbedaan senyawa yang berikatan akibat perbedaan suhu pembakaran *natural graphite* dan volume surfaktan. Perbedaan transmisi akibat dari perbedaan kekuatan senyawa dalam berikatan saat terjadi vibrasi akibat serapan energi radiasi inframerah [21].



Gambar 9 Hasil FTIR GO variasi volume surfaktan a) arang 400°C b) arang 600°C

Gambar 9 menunjukkan hasil analisis endapan pada sampel tidak terdapat adanya gugus fungsi karbon yang berikatan dengan oksigen. Hal ini mengindikasikan bahwa pada sampel 400°C dan 600°C dengan variasi volume surfaktan endapan tidak terdapat *graphene oxide*. Endapan hasil sintesis *graphene oxide* menggunakan *natural graphite* hasil pembakaran di suhu 400°C menghasilkan 10 daerah serapan. Sedangkan endapan hasil

sintesis *graphene oxide* menggunakan *natural graphite* hasil pembakaran di suhu 600°C menghasilkan 9 daerah serapan. Perbedaan jumlah daerah serapan dimungkinkan karena adanya pengaruh suhu pembakaran pada *natural graphite*. Namun secara keseluruhan, gugus fungsi yang dihasilkan pada endapan *graphene oxide* baik menggunakan *natural graphite* hasil pembakaran 400°C maupun 600°C hampir memiliki kesamaan. Daerah serapan sampel hasil pembakaran pada suhu 400°C dan suhu 600°C diinformasikan pada **Tabel 5** dan **Tabel 6**.

Tabel 5 Nilai pita serapan dari gugus fungsi endapan *graphene oxide* menggunakan *natural graphite* 400°C

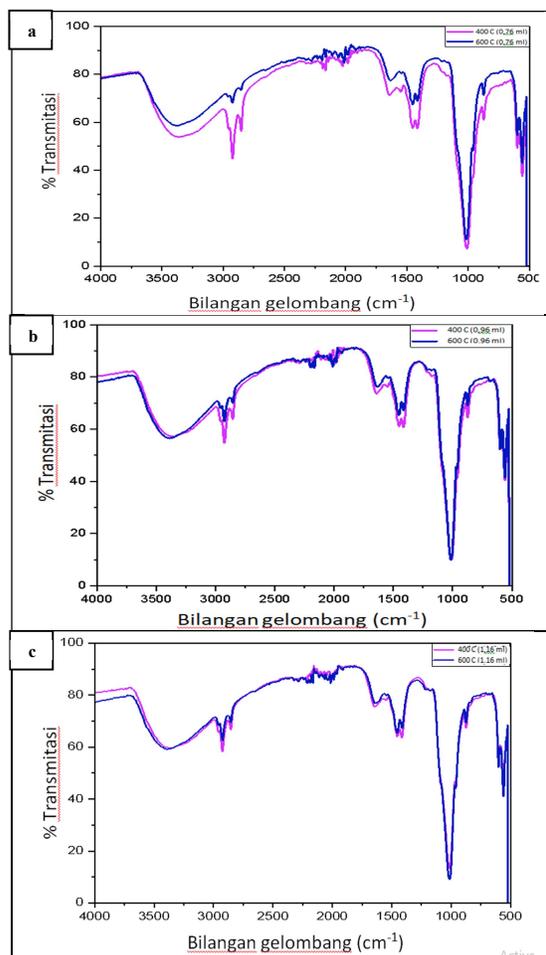
Gugus Fungsi	Bilangan gelombang sampel (cm ⁻¹)			Bilangan gelombang literatur (cm ⁻¹) [9][21][22]
	0,76 ml	0,96 ml	1,16 ml	
O-H stretch	3363,76	3368,65	3360,49	3750-3000
C-H stretch asym	2923,54	2924,47	2924,63	2935-2915
C-H stretch sym	2853,43	2854,36	2854,13	2865-2845
C=C stretch	1643,46	1641,64	1643,52	1680-1620
C-H bending	1452,44	1451,79	1452,53	1485-1445
C-H in plane bending	1414,54	1414,69	1414,31	1420-1410
PO ₄ ³⁻	1009,79	1012,39	1016,40	1000-1100
C-O-O	872,84	872,75	873,31	890-820
O-H out of plane bending	599,12	599,52	599,73	720-590
Ca ²⁺	558,09	558,37	559,89	500-610

Tabel 6 Nilai pita serapan dari gugus fungsi endapan *graphene oxide* menggunakan *natural graphite* 600°C

Gugus Fungsi	Bilangan gelombang sampel (cm ⁻¹)			Bilangan gelombang literatur (cm ⁻¹) [9][21][22]
	0,76 ml	0,96 ml	1,16 ml	
O-H stretch	3373,15	3387,73	3384,96	3750-3000
C-H stretch asym	2925,37	2924,71	2924,41	2935-2915
C=C stretch	1632,82	1629,26	1633,41	1680-1620
C-H bending	1452,60	1452,97	1453,14	1485-1445
C-H in plane bending	1413,84	1413,70	1413,27	1420-1410
PO ₄ ³⁻	1015,25	1014,79	1012,85	1000-1100
C-O-O	873,25	873,48	873,61	890-820
O-H out of plane bending	599,53	599,42	599,93	720-590
Ca ²⁺	560,08	559,89	559,85	500-610

Gambar 10 menampilkan perbandingan grafik hasil karakterisasi FTIR pada gugus fungsi berdasarkan perbedaan perlakuan suhu *furnace* pada arang. Berdasarkan grafik diketahui bahwa variasi suhu *furnace* pada arang tulang ayam

broiler mengakibatkan perbedaan % transmitasi. Perbedaan % transmitasi menunjukkan perbedaan kekuatan setiap gugus fungsi untuk berikatan. Selain itu perbedaan suhu *furnace* mempengaruhi vibrasi gugus fungsi yang mana pada sampel dengan *furnace* 400°C memiliki gugus fungsi C-H *sym*, sedangkan pada sampel dengan gugus fungsi 600°C tidak memiliki gugus fungsi C-H *sym*. Namun, hal ini tidak mempengaruhi kualitas endapan *graphene oxide*. Gugus fungsi C-H *sym*. dan *asym*. hanya dibedakan berdasarkan arah vibrasinya saja [20].



Gambar 10 Spektrum FTIR perbandingan temperatur arang berdasarkan volume surfaktan (a) 0,76 ml, (b) 0,96 ml, (c) 1,16 ml

KESIMPULAN

Graphene oxide dapat disintesis dari limbah tulang ayam boiler menggunakan metode *liquid phase exfoliation*. Sampel *graphene oxide* ditemukan pada sampel yang memiliki fasa cair. Sampel *graphene oxide* yang paling optimum terbentuk pada *graphite* dengan suhu

pembakaran 400°C dengan volume surfaktan sebesar 1,16 ml. Berdasarkan hasil karakterisasi UV-Vis semakin besar volume surfaktan yang diberikan maka semakin besar pula tingkat absorbansi yang dihasilkan. Kemudian suhu berpengaruh terhadap panjang gelombang *graphene oxide* yang dihasilkan. Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR terlihat bahwa variasi volume surfaktandan suhu pembakaran *natural graphite* tidak mempengaruhi jenis gugus fungsi yang dihasilkan melainkan mempengaruhi besar transmitasi yang dihasilkan. Berdasarkan gugus fungsi pada sampel endapan menginformasikan bahwa *graphene oxide* tidak terdapat di dalam endapan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. E. T. Thebora, K. N. Ningsih, dan M. I. Shalihin, "Sintesis Grafena Dari Limbah Pelepah Sawit (*Elaeis Sp.*) Dengan Metode Reduksi Grafit Oksida Menggunakan Pereduksi Zn", *Khazanah Intelekt.* 3 (2019) 462–476.
- [2] Darmito, M. A. Bagqiya, dan R. Asih, *Pengembangan Bahan Karbon dari Biomassa*, ITS Press, Surabaya, 2018.
- [3] A. Hidayat, S. Setiadji, dan E. P. Hadisantoso, "Sintesis Oksida Grafena Tereduksi (rGO) Dari Arang Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*)", *alKimiya* 5 (2019) 1–6.
- [4] Y. L. Zhong, Z. Tian, G. P. Simon, and D. Li, "Scalable production of graphene via wet chemistry: Progress and challenges", *Mater. Today* 18(2) (2015) 2–6, doi: 10.5772/intechopen.86023.
- [5] E. Varrla et al., "Turbulence-assisted shear exfoliation of graphene using household detergent and a kitchen blender", *Nanoscale* 6(20) (2014) 11810–11819. doi:10.1039/c4nr03560g.
- [6] S. Wardani, E. Rosa, dan R. Mirdayanti, "Pengolahan Limbah Tulang Kambing Sebagai Produk Arang Aktif Menggunakan Proses Aktivasi Kimia dan Fisika", *Ilmu Lingkungan.* 18(1) (2020) 67–72, doi: 10.14710/jil.18.1.67-72.
- [7] S. A. Maftuhin, T.A. Hanifah, "Potensi Pemanfaatan Tulang Ayam Sebagai Adsorben Kation Timbal Dalam Larutan",

- Fak. Mat. dan Ilmu Pengetah. Alam*, pp. 1–8, 2014.
- [8] H. O. Pierson, *Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes, Processing Properties and Applications*, New Jersey, USA, 1993.
- [9] V. Amalia, F. A. L. Ayyinah, F. A. Z. Ahara, D. A. N. E. Ko, dan P. R. H. Adisantoso, “Potensi Pemanfaatan Arang Tulang Ayam Sebagai Adsorben Logam Berat Cu Dan Cd”, *al-Kimiya* 4(1) (2017) 31–37.
- [10] A. Sabit dan M. Tirono, “Efek Suhu Pada Proses Pengarangan Terhadap Nilai Kalor Arang Tempurung Kelapa (Coconut Shell Charcoal)”, *J. Neutrino* 3(2) (2012) 143–152, doi: 10.18860/neu.v0i0.1647.
- [11] D. A. P. Puspitasari, V. P. Bintoro, and B. E. Setiani, “The Soaking Effect On Different Hydrochloride Acid Level and Soaking Time On PH, Swelling Percentage and Collagen Yield Of Chicken Shank Bone”, *Fac. Anim. Agric. Sci.*, 2 (2013) 2–6.
- [12] H. Aoki, *Physics of Graphene*, Springer, Tokyo, 2014.
- [13] R. Lakshmanan and N. Maulik, Graphene-“Based Drug Delivery Systems In Tissue Engineering And Nanomedicine”, *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 96(9) (2018) 869–878, doi: 10.1139/cjpp-2018-0225.
- [14] S. Bhattacharjee, R. Joshi, and A. A. Chughtai, “Graphene Modified Multifunctional Personal Protective Clothing”, *Adv. Mater. Interfaces* 6(21) (2019), doi: 10.1002/admi.201900622.
- [15] R. Mmaduka Obodo, I. Ahmad, and F. Ezema, “Introductory Chapter: Graphene and Its Applications, Graphene Its Deriv”. *Synth. Appl.*, (2019), doi: 10.5772/intechopen.86023.
- [16] Y. I. Bete, M. Bukit, A. Z. Johannes, dan R. K. Pingak, “Kajian Awal Sifat Optik Graphene Oxide Berbahan Dasar Arang Tongkol Jagung Yang Disintesis Dengan Metode Liquid Phase Exfoliation (LPE)”, *J. Fis. Fis. Sains dan Apl.* 4(2) (2019) 114–120, doi: 10.35508/fisa.v4i2.1832.
- [17] L. Li et al., “Research Progress of the Liquid-Phase Exfoliation and Stable Dispersion Mechanism and Method of Graphene”, *Front. Mater.* 6 (2019)1–25, doi: 10.3389/fmats.2019.00325.
- [18] I. R. Solo, M. Bukit, dan A. Z. Johannes, “Kajian Awal Sifat Optik Graphene Oxide Berbahan Dasar Arang Sekam Padi Dengan Metode Liquid Phase Exfoliation Menggunakan Alat Bantu Blender Dan Ultrasonic Cleaner”, *J. Fis. Fis. Sains dan Apl.* 5(2) (2020) 1–4,
- [19] S. Uran, A. Alhani, and C. Silva, “Study of ultraviolet-visible light absorbance of exfoliated graphite forms”, *AIP Adv.* 035323(1) (2017) 1–10, doi: 10.1063/1.4979607.
- [20] T. Suhartati, *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis Dan Spektrometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*, Anugrah Utama Raharja, Bandar Lampung, 2017.
- [21] Dachriyanus, *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*, Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi, Padang, 2004.
- [22] A. B. D. Nandiyanto, R. Oktiani, and R. Ragadhita, “How to read and interpret flir spectroscopy of organic material.” *Indones. J. Sci. Technol.* 4(1) (2019) 97–118, doi: 10.17509/ijost.v4i1.15806.

Perancangan reaktor plasma CVD untuk deposisi lapisan karbon

Mira Setiana^{1*}, D J Djoko H Santjojo²

¹ Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Yogyakarta
Jl. IKIP PGRI I No.117, Kab. Bantul –D.I Yogyakarta

² Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran, Malang –Jawa Timur

*email : mirasetiana@upy.ac.id

Abstrak - Penggunaan plasma untuk “mengaktifkan” prekursor uap kimia (Plasma Chemical Vapor Deposition (CVD)) memungkinkan proses deposisi berlangsung pada suhu yang lebih rendah daripada proses deposisi menggunakan teknik CVD konvensional. Sistem plasma CVD telah dirancang untuk deposisi lapisan karbon di atas substrat kaca. Bagian utama dari reaktor plasma CVD ini meliputi tutup reaktor, chamber reaktor dan konfigurasi elektroda Capacitively Coupled Discharge (CCD). Chamber reaktor dibuat dari desikator, sementara elektroda dibuat dari stainless steel tipe SS 304. Tingkat vakum pada sistem ini adalah medium vakum (3,090295 Torr). Heater Cartridge digunakan sebagai pemanas elektroda bagian bawah (meja sampel). Gas yang digunakan terdiri dari gas Argon sebagai carrier gas, Blue Gaz sebagai sumber karbon yang akan dideposisikan. Parameter reaktor yang dapat dikontrol adalah laju aliran gas. Perbandingan laju alir gas Argon: Blue Gaz optimal yang digunakan adalah (25: 24,2) mL/min. Plasma yang dihasilkan dari sistem ini adalah *plasma glow discharge*.

Kata Kunci: Plasma CVD, *Capacitively Coupled Discharge* (CCD), *plasma glow discharge*

Abstract – The use of plasma to “activate” chemical vapor precursors (Plasma CVD) allows the deposition process to take place at a lower temperature than the deposition process without the use of plasma (CVD). The Chemical Vapor Deposition (CVD) plasma system has been designed for the deposition of a carbon layer on a glass substrate. The main part of this CVD plasma reactor includes the reactor cover, the reactor chamber and the Capacitively Coupled Discharge (CCD) electrode configuration. The reactor chamber is made of a desiccator, while the electrode is made of SS 304 stainless steel. The vacuum level in this system is a medium vacuum (3.090295 Torr). The Heater Cartridge is used as a heater for the lower electrode (sampling table). The gas used consists of argon gas as a carrier gas, blue gas as a carbon source to be deposited. The reactor parameter that can be controlled is the gas flow rate. The plasma produced by this system is glowing discharge plasma.

Key words: Plasma CVD, *Capacitively Coupled Discharge* (CCD), *plasma glow discharge*

PENDAHULUAN

Saat ini, teknologi lapisan tipis semakin menjadi perhatian. Hal tersebut dikarenakan teknologi ini menawarkan efisiensi yang lebih besar jika dibandingkan teknologi pemrosesan bahan menggunakan *bulk*. Salah satu teknik pelapisan yang saat ini tengah menarik perhatian para peneliti adalah teknik pelapisan menggunakan plasma. Plasma dapat didefinisikan sebagai gas yang terionisasi, yang mana merupakan fase ke empat dari materi, selain materi cair, padat, dan gas[1,2]. Teknik deposisi menggunakan plasma dapat dilakukan dalam ruang vakum maupun non-vakum[3,4]. Dari kedua teknik tersebut, teknik deposisi menggunakan ruang vakum lebih diminati, karena lebih mudah untuk mengontrol spesies yang ada di dalam ruang.

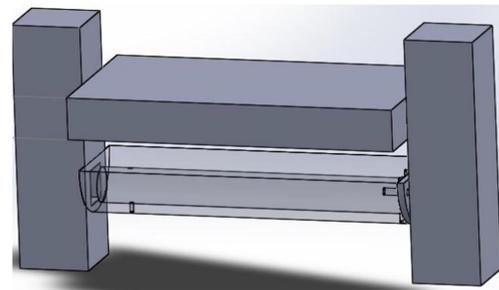
Teknik pelapisan menggunakan ruang vakum dapat dilakukan dengan menguapkan padatan atau cairan dalam ruang vakum sehingga uap mengendap sebagai atom atau molekul di permukaan sampel. Teknik deposisi menggunakan ruang vakum dibagi menjadi dua, yaitu Plasma Chemical Vapor Deposition dan Physical Vapor Deposition[5–7]. Kedua teknik ini sama-sama melibatkan gas dalam prosesnya. Namun, pada Plasma Physical Vapor Deposition, gas yang digunakan berperan sebagai materi yang akan menembaki bahan target, sementara pada plasma CVD, gas yang digunakan berperan sebagai carrier gas dan sumber bahan yang akan dideposisikan. Dari kedua teknik tersebut, teknik Plasma CVD lebih banyak diminati. Hal ini karena teknik Plasma CVD memanfaatkan spesies reaktif untuk

deposisi lapisan, sehingga memungkinkan penggunaan temperatur rendah [8–11] dari temperatur yang digunakan pada proses PVD dan CVD standar [12, 13]. Selain itu, teknik ini juga memerlukan biaya yang lebih murah dibandingkan dengan PVD, serta dapat digunakan untuk produksi skala industri atau skala besar [14, 15]. Proses deposisi menggunakan teknik Plasma CVD dapat dilakukan pada ruang vakum. Selama proses deposisi berlangsung, *carrier gas* dan gas utama yang unsurnya akan dideposisikan, mengalami berbagai reaksi. Reaksi-reaksi tersebut meliputi disosiasi, ionisasi, rekombinasi, eksitasi, deeksitasi, radiasi, dan reaksi kimia ion [16].

METODE PENELITIAN

Desain Reaktor

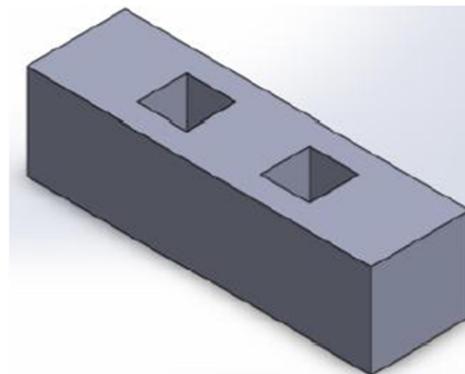
Desain reaktor plasma dilakukan dengan menggunakan bantuan software Solid Works 2013. Desain utama dari reaktor plasma CVD ini meliputi tutup reaktor, *chamber* reaktor, dan konfigurasi elektroda *Capacitively Coupled Discharge* (CCD). Tutup reaktor dibuat dari bahan teflon, sementara *chamber* reaktor dibuat dari desikator, dan elektroda sistem dibuat dari bahan stainless. *Chamber* reaktor yang digunakan memiliki diameter 13,3 cm. Penyangga elektroda yang digunakan berasal dari bahan keramik. Lubang yang dibuat pada penyangga elektroda ini berukuran 1 cm x 1 cm dengan kedalaman 1 cm. Ukuran penyangga elektroda yang digunakan adalah 7 cm x 2 cm dengan tebal sebesar 1,9 cm. Elektroda sistem dibuat dari bahan stainless steel tipe SS 304, dengan bentuk elektroda bagian atas adalah balok, sementara elektroda bagian bawah berbentuk setengah silinder (**Gambar 1**). Ukuran permukaan masing-masing elektroda adalah 9,5 cm x 3 cm. Agar dinding *chamber* tidak terkena panas dari elektroda, pemasangan elektroda dikaitkan pada penyangga elektroda (**Gambar 2**). *Heater cartridge* ditanam di dalam elektroda setengah silinder, sebagai pemanas meja substrat. Untuk jalur perpipaan (**Gambar 4**), selang gas yang digunakan adalah berbahan teflon, dengan ukuran diameter dalam selang gas masuk sebesar 3 mm, sedangkan untuk gas keluar adalah sebesar 6 mm. Gas yang digunakan adalah Gas Argon (*carrier gas*) dan Blue Gaz (sumber karbon).



Gambar 1. Elektroda Sistem Plasma CVD

Perakitan Sistem Plasma CVD

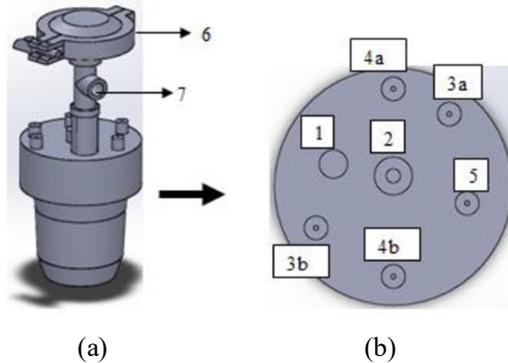
Perakitan sistem plasma CVD diawali dengan mempersiapkan alat-alat yang akan dirangkai. Kemudian dilanjutkan dengan perakitan reaktor plasma, yang terdiri dari tutup reaktor (**Gambar 3**), sepasang elektroda, selang kecil untuk gas masuk, dan selang besar untuk gas keluar. Cabang aliran gas masuk terdiri dari cabang Blue Gaz dan gas Argon. Selang besar dihubungkan ke pompa vakum untuk gas keluaran dan gas masukan ke *flowmeter*. Masing-masing elektroda dihubungkan dengan generator plasma. Jarak antar elektroda pada sistem reaktor plasma diatur sebesar 1,5 cm. Tujuan pembuatan jarak 1,5 cm ini adalah memaksimalkan plasma yang akan terbentuk, dengan mempertimbangkan juga kemungkinan terjadinya loncatan elektron antar plat elektroda, yang biasa disebut dengan *arc discharge*.



Gambar 2. Desain Penyangga Elektroda

Pada tutup reaktor, arus yang dihantarkan oleh generator cukup besar karena generator yang digunakan adalah generator *Low Frequency* (LF). Oleh karena itu, untuk meminimalisasi terjadinya hubung singkat, tutup atas reaktor dibuat dari bahan teflon. Selain itu, upaya untuk meminimalisasi hubung singkat arus dari generator dilakukan dengan

menempatkan masing masing kabel generator dengan jarak yang sejauh mungkin, agar elektron tidak loncat dan menyebabkan hubung singkat arus.

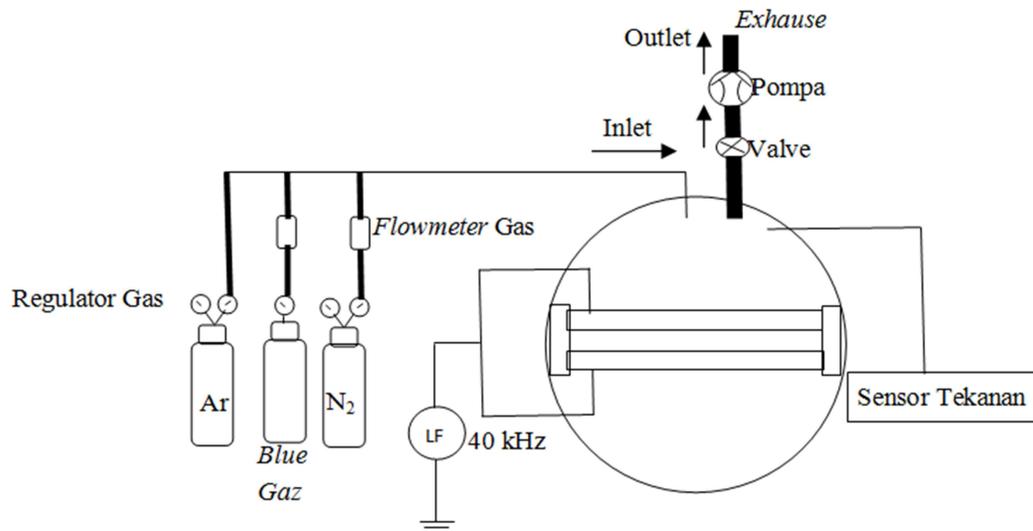


Keterangan:
 1. Selang gas masuk.
 2. Selang gas keluar.
 3. Terminal pemanas.
 4. Terminal power plasma.
 5. Termokopel.
 6. Sensor tekanan.
 7. Pompa vakum.

Gambar 3. Tampilan tutup reaktor: (a) Tampilan tutup secara keseluruhan, (b) tampilan tutup dari sisi atas

Untuk menghindari kebocoran reaktor, antara tutup asli reaktor dengan tutup teflon diberi O-ring, sedangkan lubang-lubang keluaran gas dan terminal-terminal ditutup dengan lem epoxy. Selanjutnya, di antara tutup reaktor dengan tutup badan reaktor diberi karet silikon dan grease untuk meminimalisasi terjadinya kebocoran melalui daerah tersebut.

Meja substrat dihubungkan dengan termokopel untuk menganalisa suhu katoda. Pada tutup reaktor plasma dipasang sensor tekanan untuk menganalisa tekanan dalam *chamber*. Setelah proses perakitan selesai, pengaturan laju alir gas dapat dilakukan. Pengaturan laju alir dapat dilakukan dengan memvariasikan laju gas pada *flowmeter*. Rancangan lengkap sistem plasma CVD dapat dilihat dari **Gambar 4**.



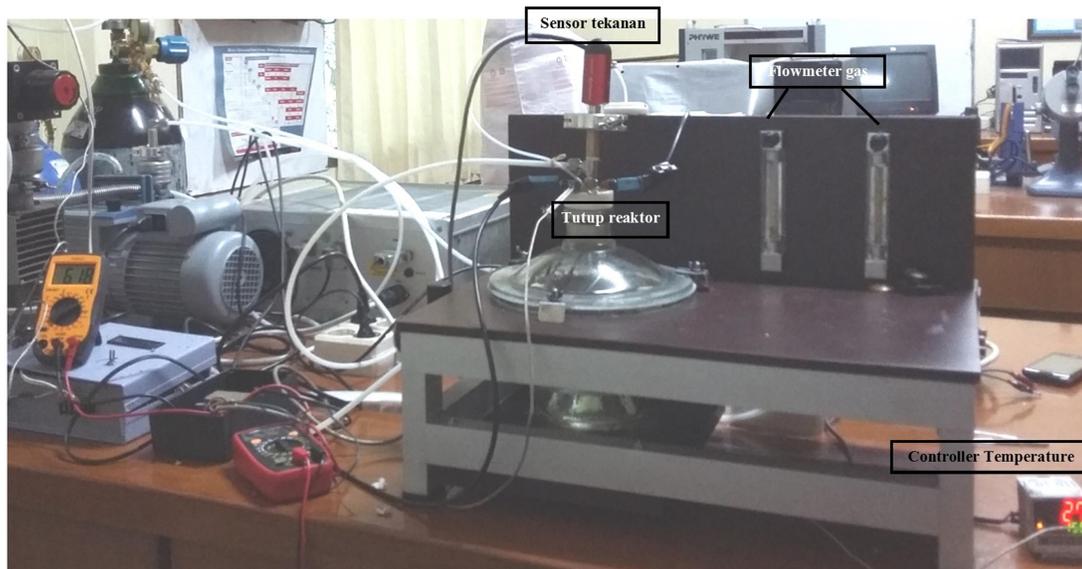
Gambar 4. Rancang bangun sistem plasma CVD

Pada penelitian ini flowmeter yang digunakan memiliki tekanan maksimum 0,1 Mpa, tekanan keluaran Gas Argon diatur sebesar 0,1 bar. Sumber energi yang digunakan pada sistem ini adalah Generator Low Frequency (LF).

HASIL DAN PEMBAHASAN

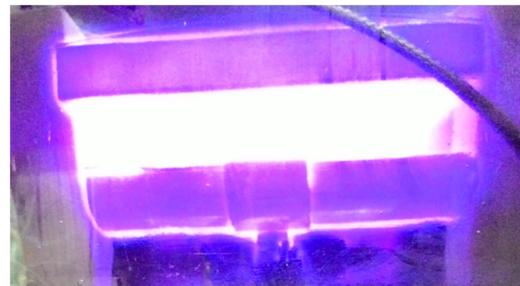
Pengujian pertama pada sistem reaktor ini adalah uji tingkat vakum chamber (**Gambar 5**). Pada pengujian ini, pemvakuman chamber

dilakukan selama 30 menit. Tekanan maksimum chamber setelah pemvakuman adalah sebesar 3,090295 Torr. Berdasarkan tekanan chamber setelah pemvakuman ini dapat diasumsikan bahwa di dalam chamber masih terjadi kebocoran. Jika chamber tidak mengalami kebocoran, maka tekanan di dalam chamber akan bernilai mendekati tekanan maksimum yang mampu dicapai pompa, yaitu sebesar 4×10^{-4} mbar atau $3,000255 \times 10^{-7}$ Torr.



Gambar 5. Proses Pengujian Tekanan Chamber

Pengujian kedua adalah uji pembangkitan dan kestabilan plasma. Selama proses vakum, pemanas yang ada di dalam elektroda mulai dinyalakan. Setelah 30 menit, gas mulai dialirkan, dan generator dinyalakan. Setelah proses tersebut, plasma mulai dapat dibangkitkan (**Gambar 6**). Elektron pertama dari plasma dihasilkan dari polarisasi molekul gas karena adanya medan listrik. Perlu diperhatikan bahwa, diameter selang untuk gas masuk dan gas keluar tidak boleh sama. Diameter selang untuk gas masuk harus lebih kecil dari diameter selang gas keluar. Hal ini dikarenakan selang yang kecil menghasilkan tekanan yang lebih besar. Selain itu, ukuran diameter selang yang kecil juga dapat menghambat aliran gas, sehingga aliran gas ke dalam ruang/chamber dapat lebih terkontrol.



Gambar 6. Plasma pada laju alir argon, Blue Gaz (25: 24,2) mL/min.

Pengujian ketiga adalah uji intensitas dan kestabilan plasma. Pengujian intensitas plasma dilakukan dengan memvariasikan laju alir Gas Argon dan Blue Gaz yang dialirkan ke dalam chamber, sementara pengujian kestabilan plasma dilakukan dengan cara pembangkitan plasma selama 4 jam. Pada pengujian ini, Gas Argon dan Blue Gaz dialirkan ke dalam ruang/chamber, dengan memvariasikan laju alir

Blue Gaz. Semakin besar flowrate gas, maka semakin banyak pula gas yang dialirkan ke dalam chamber. Hal ini menyebabkan semakin banyak tumbukan antar spesies plasma, sehingga intensitas plasma yang dihasilkan akan semakin besar (**Gambar 6**). Pada penelitian ini, intensitas plasma yang dibangkitkan adalah stabil selama waktu pembangkitan empat jam. Gambar 6 menunjukkan plasma yang berhasil dibangkitkan dari sistem plasma CVD ini. Pada gambar tersebut terlihat plasma yang dihasilkan berwarna ungu. Warna ungu ini menunjukkan warna plasma dari Gas Argon. Dikarenakan tekanan ruang/chamber hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tekanan ruang/chamber setelah divakum masih jauh dari nilai tekanan maksimum yang dapat dicapai pompa, maka dapat dikatakan bahwa plasma yang dihasilkan pada sistem ini tidak murni campuran dari Gas Argon dan Blue Gaz. Hal ini dikarenakan masih terdapat banyak pengotor atau senyawa lain dari udara luar yang terjebak di dalam ruang/chamber.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut. Reaktor plasma *Chemical Vapor Deposition* (CVD) berhasil dibuat dari desikator, dengan bahan teflon untuk tutup atas reaktor, bahan keramik sebagai penyangga elektroda, dan bahan isolator setrika sebagai resistansi listrik antara elektroda dengan termokopel. Plasma yang dihasilkan dari penelitian ini adalah plasma *glow discharge*. Plasma yang dihasilkan dari penelitian ini stabil, namun tidak murni plasma campuran antara Gas Argon dan Blue Gaz.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua anggota Laboratorium Research Center for Advanced System and Material Technology, Universitas Brawijaya dan Tim yang telah membantu mengimplementasikan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] K. T. A. L. Burm, "Plasma: The Fourth State of Matter", pp. 401–407, 2012, doi: 10.1007/s11090-012-9356-1.

- [2] N. Nandkumar, "Plasma: The fourth state of matter," *Br. Plast. Rubber* 3(FEB) (2007) 6, doi: 10.1119/1.2351410.
- [3] Quintino, *Overview of coating technologies*, Woodhead Publishing Limited, 2014.
- [4] T. Neubert, "Organic optical coatings," (2013), doi: 10.1533/9780857097316.3.427.
- [5] D. M. Mattox, *The Foundations of Vacuum Coating Technology*, 2003.
- [6] T. Dunn, "Overprint Varnishes and Coatings," *Flex. Packag.* (2015). 227–232, doi: 10.1016/b978-0-323-26436-5.00027-8.
- [7] A. Guglya and E. Lyubchenko, *Ion-beam-assisted deposition of thin films*, Elsevier Inc., 2018.
- [8] S. Shahidi, J. Wiener, and M. Ghoranneviss, *Plasma-Enhanced Vapor Deposition Process for the Modification of Textile Materials*.
- [9] D. K. W. Lam, "Low temperature plasma chemical vapor deposition of silicon oxynitride thin-film waveguides," *Appl. Opt.*, 23(16) (1984) 2744, doi: 10.1364/ao.23.002744.
- [10] S. Peter, M. Günther, D. Hauschild, and F. Richter, "Low temperature plasma enhanced chemical vapor deposition of thin films combining mechanical stiffness, electrical insulation, and homogeneity in microcavities," *J. Appl. Phys.*, 108(4) (2010), doi: 10.1063/1.3474989.
- [11] J. H. Warner, F. Schäffel, A. Bachmatiuk, and M. H. Rummeli, *Methods for Obtaining Graphene*, 2013.
- [12] K. Gupta, N. K. Jain, and R. Laubscher, "Surface Property Enhancement of Gears," *Adv. Gear Manuf. Finish.* (2019) 167–196, doi: 10.1016/b978-0-12-804460-5.00006-7.
- [13] P. H. Li, P. K. Chu, and H. Kong, *Thin film deposition technologies and processing of biomaterials*, 2016, doi: 10.1016/B978-1-78242-453-6.00001-8.
- [14] Y. Hamedani, P. Macha, T. J. Bunning, R. R. Naik, and M. C. Vasudev, *Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition: Where we are and the Outlook for the Future*.

- [15] Y. Liu and Y. Chen, "Synthesis of large scale graphene oxide using plasma enhanced chemical vapor deposition method and its application in humidity sensing," *J. Appl. Phys.* 119(10) (2016) 1–7, doi: 10.1063/1.4942999.
- [16] Y. A. Mankelevich, M. N. R. Ashfold, and J. Ma, "Plasma-chemical processes in microwave plasma-enhanced chemical vapor deposition reactors operating with C/H/Ar gas mixtures," *J. Appl. Phys.*, 104(11) (2008), doi: 10.1063/1.3035850.

Identifikasi frekuensi bunyi gambang laras slendro gamelan Jawa menggunakan jaringan syaraf tiruan pada Matlab

Salma Sukmawati Nur Aisah, Farzand Abdullatif*, Hartono

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

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

*email: farzand@unsoed.ac.id

Abstrak – Penalaan gambang laras slendro selama ini dilakukan dengan mempertimbangkan perasaan yaitu perasaan enak atau tidak enak bunyi didengar. Dengan cara ini, keselarasan dapat berubah seiring dengan perasaan pengrajin, selain itu akan berbeda pula antara pengrajin satu dengan pengrajin lainnya. Penelitian bertujuan untuk membuat sistem yang mampu menggantikan orang dalam penalaan nada berdasarkan Artificial Intelligence. Sistem menganalisis karakteristik tiap nada bilah dengan meninjau frekuensi fundamental menggunakan algoritma Fast Fourier Transform (FFT) yang dimiliki oleh software Matlab, dan meninjau hubungan antara ukuran bilah dan frekuensi yang dihasilkan. Sebuah program Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dibuat untuk membantu dalam identifikasi. Untuk mempermudah menjalankan program dibuat tampilan sederhana menggunakan GUI (Graphical User Interface). Hasil penelitian menunjukkan bahwa frekuensi fundamental dapat ditentukan dari puncak tertinggi dalam sebuah spektrum frekuensi dan ukuran bilah berpengaruh terhadap nada yang dihasilkan. Sistem penala gambang laras slendro menggunakan JST dapat mendeteksi secara benar 47,5% sampel dalam pengujian.

Kata Kunci: Gambang laras slendro, Frekuensi, Jaringan Syaraf Tiruan, *Fast Fourier Transform*, Matlab.

Abstract – The tuning of the slendro gambang by considering the feelings, namely good or bad feelings about the sound product. In this way the harmony can change along with the feelings of the craftsman, but it also differ from one craftsman to another. The research aims to create a system capable of replacing people in tone tuning based on artificial intelligence. The system, analyzes the characteristics of each blade tone by reviewing the fundamental frequency using the Matlab's Fast Fourier Transform (FFT) algorithm, and examining the relationship between blade size and the resulting frequency. An Artificial Neural Network (ANN) program was created to assist in identification and to make it easier to run the program, a simple display is made using a GUI (Graphical User Interface). The results showed that the fundamental frequency can be determined from the highest peak in a frequency spectrum and the blade size has an effect on the production of the tone. The slendro gambang tuning system with ANN can correctly detected 47.5% of the samples in the test.

Key words: Slendro Gambang, Frequency, Artificial Neural Network, Fast Fourier Transform, Matlab

PENDAHULUAN

Gamelan Jawa merupakan salah satu alat musik dalam kesenian yang lahir dari masyarakat Jawa. Sejak dulu hingga sekarang, gamelan Jawa dibuat berdasarkan perasaan dalam penyetaraan nada yaitu perasaan enak atau tidak enak bunyi didengar. Dengan cara ini keselarasan dapat berubah seiring dengan perasaan pengrajin, selain itu akan berbeda pula antara pengrajin satu dengan pengrajin lainnya. Terkait hal tersebut, bidang fisika dapat masuk dalam persoalan ini untuk membantu penalaan nada.

Bunyi merupakan fenomena fisika yang kita jumpai setiap saat dan dimanapun. Bunyi merupakan sebuah gelombang longitudinal atau gelombang akustik yang terbentuk akibat adanya

sebuah benda yang bergetar dengan besaran-besaran fisika seperti periode, amplitudo, panjang gelombang, cepat rambat, dan frekuensi [1]. Besaran-besaran tersebut dapat diukur menggunakan instrumen ukur yang sesuai. Frekuensi menjadi besaran yang akan diukur dalam penelitian ini sebagai acuan menala nada untuk mengganti parameter perasaan pembuatan gamelan.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menganalisis frekuensi dari tiap-tiap jenis gamelan seperti saron demung laras pelog oleh Mitrayana dan Cyitasari [2] dan gong laras slendro oleh Trisnowati [3]. Jenis gamelan Jawa lain yang belum diteliti yaitu gambang laras slendro model Banyumas. Hal ini perlu

dilakukan untuk mengungkap kekhasan jenis gamelan ini.

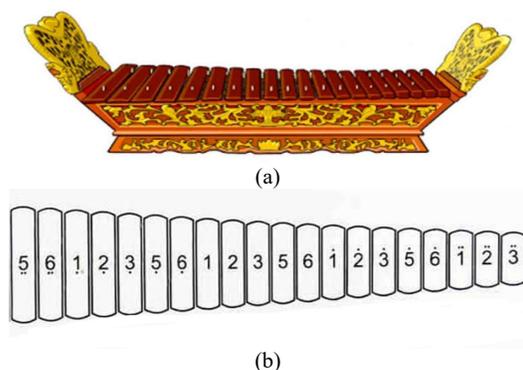
Identifikasi bunyi dapat memanfaatkan *Artificial Intelligence* (AI), metode ini sudah banyak digunakan dalam pengenalan suara menggunakan algoritma *backpropagation neural network* [4]. Sistem identifikasi bunyi gambang ini menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) *Backpropagation* dengan tampilan sistem menggunakan *Graphical User Interface*.

LANDASAN TEORI

Gambang Laras Slendro

Gambang merupakan gamelan Jawa yang terdiri atas tiga rancak (tempat) gambang yaitu gambang laras slendro, gambang laras pelog bem, dan gambang laras pelog barang. Gambang memiliki lebih banyak nada daripada gamelan lain dengan jumlah 18 hingga 22 bilah [5]. Gambang yang digunakan dalam penelitian ini merupakan gambang kayu terbuat dari kayu jati terdiri atas 20 bilah. Gambang dimainkan dengan cara dipukul menggunakan tabuh terbuat dari kayu, bambu, atau tanduk kerbau yang dikesilkan dan berbentuk bundar dilapisi oleh kain atau karet agar menghasilkan bunyi lebih lembut. Tabuh ini diberi tangkai sebagai pegangan.

Laras slendro dan laras pelog memiliki nada dengan suasana berbeda. Laras slendro menghasilkan suasana yang gembira, ringan, dan terasa lebih damai. Namun, laras slendro juga dapat memberikan suasana sedih, romantis, dan rindu. Slendro memiliki lima nada per oktaf, yaitu 1 2 3 5 6 dengan interval yang sama. Bentuk khas gambang laras slendro diperlihatkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Gambang laras slendro; (a) Gambang, (b) Bilah gambang.

Gelombang Bunyi

Bunyi gamelan merupakan gelombang akustik, atau gelombang bunyi. Gelombang bunyi mampu merambat melalui zat padat, cair, maupun gas yang diakibatkan adanya transmisi gelombang oleh partikel zat (bahan) berupa rambatan osilasi di dalam arah penjalaran gelombang [1]. Gelombang yang periodik akan menimbulkan suatu sensasi yang menyenangkan (jika intensitasnya tidak terlalu tinggi) seperti bunyi musik, sedangkan bunyi yang mempunyai gelombang tidak periodik akan terdengar sebagai derau (*noise*) [6]. Pada contoh bunyi alat musik, dihasilkan warna bunyi yang bagus dan teratur untuk didengarkan dan dinikmati. Hal ini disebabkan bunyi yang terbentuk berfrekuensi tetap sehingga keharmonisannya juga teratur [7].

Getaran ketika bilah dipukul akan menghasilkan suatu gelombang bunyi, dan akan membuat molekul penyusun kayu ikut bergetar. Pulsa gelombang akan menjalar di sepanjang batang zat padat (atau kayu). Persamaan gelombang tersebut :

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2}, \quad (1)$$

dengan $c^2 = Y/\rho$. Berdasarkan perumusan tersebut, c sebagai cepat rambat gelombang pada batang bergantung pada modulus Young Y dan massa jenis batang ρ [8]. Cepat rambat gelombang dipengaruhi oleh panjang gelombang dan frekuensi, $c = \lambda f$. Massa jenis dipengaruhi oleh volume dan massa batang, $\rho = m/V$. Sehingga dari persamaan tersebut, didapatkan :

$$(\lambda f)^2 = YV/m. \quad (2)$$

Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) merupakan sebuah algoritma yang digunakan untuk menghitung *Discrete Fourier Transform* (DFT) dalam pemrosesan sinyal digital secara *real time*. DFT merupakan metode transformasi matematis untuk sinyal waktu diskret menjadi domain frekuensi. Adapun FFT merupakan algoritma untuk membantu transformasi tersebut. FFT digunakan untuk mengurangi kompleksitas transformasi pada DFT [9]. Persamaan FFT sebagai berikut :

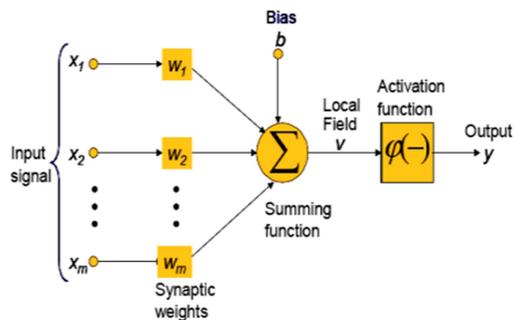
$$F(f_n) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} g(t_k) e^{i2n\pi k / N}, \quad (3)$$

dengan $F(f_n)$ sebagai amplitudo sumber frekuensi ($n=1,2,3,\dots$), f_n sebagai frekuensi ke- n ($f_n = n/N$), $F(t_k)$ merupakan amplitudo sebagai fungsi waktu, N merupakan jumlah data, k merupakan data ke- k , t_k keterangan waktu, $W^n = e^{i2n\pi/N}$ sebagai konstanta DFT, dan nilai Δt sebagai selang waktu [10].

Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

Jaringan Syaraf Tiruan merupakan suatu sistem pemrosesan informasi yang mempunyai karakteristik menyerupai jaringan syaraf manusia [11]. Dalam pemrosesan informasi digunakan metode komputasi yang memiliki karakteristik pengolahan paralel (pengolahan data secara bersama agar meningkatkan kecepatan pengolahan data), pengolahan unsur dalam jumlah besar, dan toleransi kesalahan dengan batas nilai menggunakan fungsi *Mean Square Error* (MSE). Jaringan syaraf tiruan ini diasumsikan sebagai berikut.

1. Pemrosesan informasi terjadi pada elemen sederhana yang disebut neuron.
2. Isyarat mengalir di antara sel syaraf/neuron melalui suatu sambungan penghubung. Setiap sambungan penghubung memiliki bobot yang bersesuaian.
3. Setiap sel syaraf merupakan fungsi aktivasi terhadap isyarat hasil penjumlahan berbobot yang masuk kepadanya untuk menentukan isyarat keluarannya.



Gambar 2. Model Jaringan Syaraf Tiruan [12]

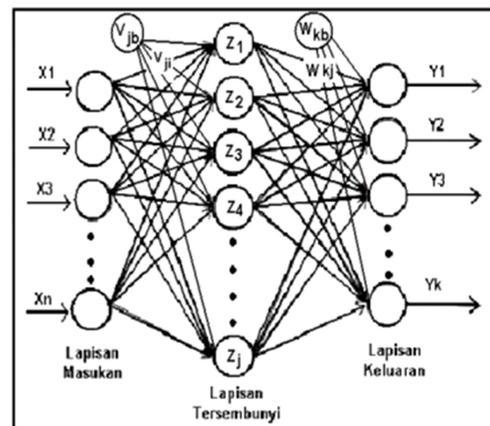
Jaringan syaraf tiruan memiliki sebuah aturan yang bersifat menyeluruh (*general rule*) sehingga model jaringan memiliki konsep dasar yang sama. Model sebuah Jaringan Syaraf Tiruan memiliki struktur umum yang diperlihatkan pada **Gambar 2**. Arsitektur

jaringan akan menentukan keberhasilan target karena tidak semua permasalahan dapat diselesaikan dengan arsitektur yang sama [13]. Pemilihan arsitektur jaringan disesuaikan dengan mempertimbangkan efektivitas kinerja jaringan yaitu ketepatan mengenali *input* dan kesesuaian dengan target serta kecepatan dalam memproses sinyal.

Backpropagation

Backpropagation merupakan sebuah algoritma dan juga merupakan sebuah pola atau arsitektur jaringan yang digunakan untuk pelatihan jaringan. Model jaringan terdiri dari lapisan *input*, lapisan tersembunyi, dan lapisan *output* dengan setiap lapisan terdiri atas neuron-neuron. Penentuan jumlah neuron ditentukan secara eksperimental (*random*), karena belum ada pedoman pasti untuk menentukan jumlah neuron.

Backpropagation dengan lapisan tunggal memiliki keterbatasan dalam pengenalan pola. Keterbatasan ini dapat ditanggulangi dengan menambahkan satu atau beberapa lapisan tersembunyi. Algoritma ini memiliki kemampuan untuk mengenali arsitektur jaringan dengan cara melatih jaringan mendapat keseimbangan dan kemampuan untuk memberikan respon yang benar terhadap pola masukan serupa dengan pola yang dipakai selama pelatihan [12].



Gambar 3. Model jaringan backpropagation [12]

Pelatihan *backpropagation* meliputi 3 fase. Fase pertama adalah fase maju. Pola masukan dihitung maju mulai dari lapisan masukan hingga lapisan keluaran menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Fase kedua adalah fase mundur. Selisih antara keluaran jaringan dengan target yang diinginkan. Selisih ini disebut

dengan error atau kesalahan. Kesalahan tersebut dipropagasikan mundur, dimulai dari sambungan yang berhubungan langsung dengan unit-unit di lapisan keluaran. Fase ketiga adalah modifikasi bobot untuk menurunkan kesalahan. Ketiga fase tersebut diulang-ulang terus hingga kondisi penghentian dipenuhi. Umumnya kondisi penghentian yang sering dipakai adalah jumlah iterasi atau kesalahan. Iterasi akan dihentikan jika jumlah iterasi yang dilakukan sudah melebihi jumlah maksimum iterasi yang ditetapkan, atau jika kesalahan yang terjadi sudah lebih kecil dari toleransi yang diijinkan [14].

METODE PENELITIAN

Prosedur penelitian identifikasi frekuensi bunyi gambang laras slendro dibagi menjadi empat tahap, yaitu pengambilan data, pengolahan data, pemodelan JST, dan pengujian sistem.

Tahap Pengambilan Data

Pengambilan data diawali dengan melakukan pengukuran bilah untuk panjang, lebar, dan tebalnya (tinggi) pada dua gambang yang berbeda. Pengambilan data dengan cara memukul bilah gambang slendro menggunakan tabuh. Kemudian bunyi ditangkap oleh mikrofon dan direkam melalui perangkat lunak Nuendo. Pemukulan berada di tengah-tengah bilah dan dilakukan secara berulang untuk setiap bilah untuk mendapatkan nilai yang lebih dekat dengan nilai sebenarnya. Dalam penelitian ini perulangan dilakukan sebanyak 5 kali. Posisi peletakan mikrofon berada di depan bilah yang dipukul. Hal ini bertujuan untuk mengurangi *noise* terlalu banyak yang disebabkan oleh pantulan bunyi jika mikrofon berada di atas bilah. Susunan alat dalam pengambilan data diperlihatkan pada **Gambar 4**. Sampel dalam bentuk audio disimpan dalam format *.wav. Rentang waktu sampel disamakan agar mudah untuk dianalisis menggunakan Audacity dan perlakuan ini tidak mempengaruhi analisis akhir.



Gambar 4. Rancangan pengambilan data

Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini, pengolahan rekaman nada bilah untuk dijadikan data latih JST melalui tahap perhitungan frekuensi dengan FFT. Audio hasil rekaman masih dalam bentuk domain waktu, sehingga belum dapat diketahui nilai frekuensinya. Hal yang perlu dilakukan yaitu dengan cara mengubah audio domain waktu menjadi audio domain frekuensi menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Data diabsolutkan terlebih dahulu agar data tidak bernilai negatif. Plot data dalam grafik untuk mengetahui frekuensi fundamental/dominan atau *pitch* paling tinggi, dapat dilakukan perbesaran hingga terlihat jelas nilainya. Penentuan frekuensi fundamental dilakukan dengan bantuan software Audacity.

Tahap Pemrosesan dengan JST

Tahap analisis berlanjut pada pemrosesan dengan JST menggunakan algoritma *backpropagation* dengan jumlah neuron yang bervariasi. Penentuan jumlah neuron belum dapat ditentukan karena belum terdapat pedoman yang pasti, sehingga dalam menentukan jumlah neuron dilakukan secara eksperimental (*random*). Variasi jumlah neuron bertujuan untuk mengetahui keakuratan jaringan oleh data yang diujikan. Penelitian ini memvariasikan jumlah neuron yaitu 80, 90, 100, 110, dan 120. Keakuratan tersebut dapat diketahui dari nilai MSE (*Mean Square Error*). Semakin rendah MSE, maka semakin pintar jaringan yang tersusun dari neuron-neuron tersebut. Nilai ini ditampilkan oleh JST ketika pelatihan jaringan selesai.

Tahap Pengujian Sistem

Pengujian sistem sangat diperlukan untuk mengetahui apakah sistem dapat bekerja dengan baik atau tidak. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui performa sistem dalam mengenali *input* yang diberikan.

Pengujian dapat dikatakan berhasil apabila sistem mampu mengenali nada sesuai dengan penala. Dengan kata lain, apabila penala menetapkan sampel sebagai gambang bagus (tidak sumbang) dan sistem mengidentifikasinya sebagai gambang bagus, maka sistem sesuai dengan penala. Apabila penala menetapkan sampel sebagai gambang tidak bagus (sumbang) dan sistem mengidentifikasinya sebagai gambang tidak bagus, maka sistem sesuai dengan penala. Pengujian dikatakan gagal

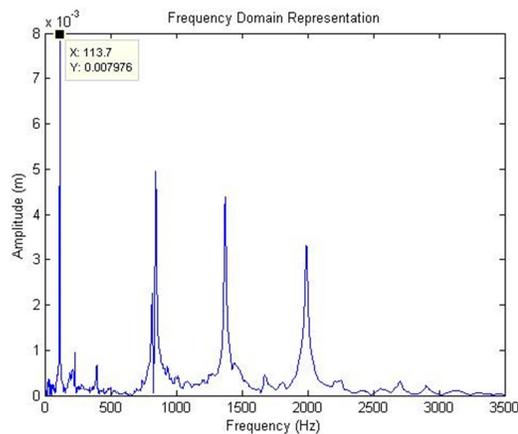
apabila sistem tidak mampu mengenali sampel yang diberikan dan tidak sesuai dengan penala. Sehingga dari pengujian tersebut dapat diperoleh tingkat kesesuaian antara sistem dan penala.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spektrum Frekuensi Antar Sampel

Grafik amplitudo terhadap frekuensi yang menampilkan spektrum frekuensi sampel oleh Matlab diperlihatkan pada **Gambar 5**. Untuk mempermudah analisis dalam menentukan nada menggunakan software Audacity dengan meninjau frekuensi fundamental pada grafik ditandai dengan *pitch* tertinggi.

Sampel Bilah 1 Gambar 1



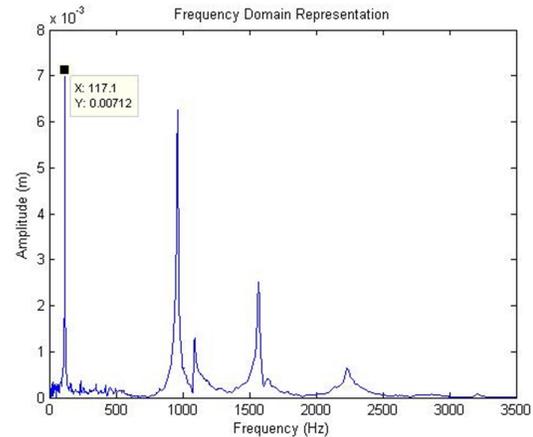
Gambar 5. Hasil analisis sampel bilah 1 gambar 1

Berdasarkan **gambar 5** hasil analisis *Fast Fourier Transform* yang dilakukan terhadap sampel di atas. Terdapat puncak frekuensi pertama (frekuensi fundamental), yang jelas muncul pada 113,7 Hz nada A#2 pada kelima sampel. Terdapat puncak kedua, ketiga, keempat, kelima, dan keenam dengan amplitudo yang lebih kecil pada kelima sampel terletak pada frekuensi 227,4 Hz nada A#3; 395,0 Hz nada G4; 843,8 Hz G#5; 1.371,0 Hz F6; dan 1991 Hz nada B6. Pola suara seperti ini dalam laras slendro disebut nada 5̣.

Sampel Bilah 1 Gambar 2

Berdasarkan **gambar 6** hasil analisis *Fast Fourier Transform* yang dilakukan terhadap sampel di atas. Terdapat puncak frekuensi pertama (frekuensi fundamental) yang jelas muncul pada 117,1 Hz nada A#2 pada kelima

sampel. Terdapat puncak kedua, ketiga, keempat, dan kelima dengan amplitudo yang lebih kecil pada kelima sampel terletak pada frekuensi 963,0 Hz nada B5; 1.090,0 Hz nada C#6; 1.569,0 Hz G#6; dan 2235 Hz C#7. Pola suara seperti ini dalam laras slendro disebut nada 5̣.



Gambar 6. Hasil analisis sampel bilah 1 gambar 2

Perbandingan Spektrum Frekuensi Gambar 1 dan Gambar 2

Untuk membandingkan spektrum frekuensi kedua gambar, diambil contoh bilah 1 pada kedua sampel yang memiliki frekuensi fundamental pada 113,7 Hz nada A#2 dan 117,1 Hz nada A#2. Kedua sampel memiliki nada yang sama tetapi memiliki spektrum yang berbeda. Pengrajin yang membuat kedua gambar ketika melaras nada menganggap bahwa keduanya adalah sama, yaitu mempunyai bunyi yang sama. Dalam hal ini dapat diartikan bahwa ketika suatu bunyi memiliki frekuensi fundamental yang sama atau nada yang sama, maka hal tersebut juga berlaku terhadap pola spektrum bunyinya, dianggap sama. Dengan kemampuan mendengar dan mengingat *pitch* yang relatif, manusia dapat mendengar nada satu oktaf dan masih dapat mendengar nada pada oktaf yang berbeda. Perubahan frekuensi terkecil yang dapat dideteksi oleh orang dewasa dengan pendengaran normal termasuk dalam 0,2-0,3% untuk frekuensi di antara 250-4.000 Hz dan meningkat cepat dengan peningkatan frekuensi di atas 4 kHz [15].

Dalam hal ini dapat diketahui bahwa manusia lebih sensitif untuk mendengar nada murni atau *pitch* tertinggi (frekuensi fundamental) dibandingkan dengan *pitch*s lainnya yang

muncul. Oleh karena itu, pada nada yang sama tetapi spektrum frekuensi (warna bunyi) berbeda dianggap sama oleh manusia.

Frekuensi Fundamental

Frekuensi tiap-tiap bilah gambang dapat dilihat dalam **Tabel 1**. Frekuensi fundamental ditandai

dengan pitch tertinggi yang dapat dilihat dalam grafik. Sepuluh sampel dari 2 gambang slendro yang sudah diketahui nilai frekuensi fundamentalnya, kemudian dihitung nilai rata-rata populasi dan standar deviasinya. Standar deviasi diperlukan sebagai nilai toleransi agar mengetahui angka penting dalam rentang frekuensi tersebut.

Tabel 1. Frekuensi fundamental

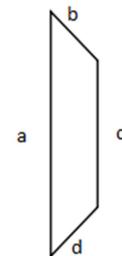
Bilah	Frekuensi Sampel (Hz)										Frekuensi Rata-rata (Hz)	Standar Deviasi (Hz)	Frekuensi Fundamental (Hz)
	Gambang 1					Gambang 2							
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5			
1	113,722	113,722	113,722	113,722	113,722	117,087	117,760	117,087	117,760	117,760	115,606	2,001	115,6 ± 2,0
2	119,106	119,106	119,106	119,106	119,106	127,180	127,180	127,180	127,180	127,180	123,143	4,255	123,1 ± 4,2
3	137,947	137,947	137,947	137,947	137,947	139,293	139,293	139,293	139,293	139,293	138,620	0,709	138,6 ± 0,7
4	154,770	154,770	154,770	154,770	154,770	158,807	158,134	158,134	158,807	158,807	156,654	2,001	156,6 ± 2,0
5	181,686	181,686	181,686	181,686	181,686	176,303	176,303	176,303	176,303	176,303	178,995	2,837	178,9 ± 2,8
6	198,509	198,509	198,509	198,509	198,509	203,220	203,220	203,220	203,893	203,220	200,932	2,562	200,9 ± 2,5
7	230,136	230,809	230,136	230,809	230,136	236,865	236,865	236,865	236,865	236,865	233,635	3,413	233,6 ± 3,4
8	269,838	269,838	269,838	269,165	269,838	273,203	273,203	273,203	273,203	273,875	271,520	1,936	271,5 ± 1,9
9	318,288	318,288	318,288	318,288	318,288	317,615	317,615	317,615	317,615	317,615	317,952	0,355	317,9 ± 0,3
10	359,335	359,335	359,335	359,335	360,008	365,392	365,392	365,392	365,392	365,392	362,431	3,128	362,4 ± 3,1
11	411,150	411,150	411,150	411,150	411,150	414,514	414,514	414,514	414,514	414,514	412,832	1,773	412,8 ± 1,7
12	482,478	482,478	482,478	482,478	482,478	483,151	483,151	483,151	483,151	483,151	482,815	0,355	482,8 ± 0,3
13	547,751	547,751	547,751	547,751	547,751	554,480	554,480	554,480	554,480	554,480	551,116	3,546	551,1 ± 3,5
14	625,136	625,136	625,136	625,136	625,136	629,846	630,519	629,846	629,846	629,846	627,558	2,561	627,5 ± 2,5
15	728,091	728,091	728,091	728,091	728,091	732,129	732,129	732,129	732,129	732,129	730,110	2,128	730,1 ± 2,1
16	848,543	848,543	847,870	848,543	847,870	849,216	849,216	849,216	849,216	849,216	848,745	0,554	848,7 ± 0,5
17	956,209	956,882	956,882	956,209	956,209	974,377	974,377	974,377	974,377	974,377	965,428	9,437	965,4 ± 9,4
18	1088,100	1088,100	1088,100	1088,770	1088,770	1090,120	1090,120	1090,120	1090,120	1090,120	1089,244	0,955	1089,2 ± 0,9
19	1255,650	1255,650	1255,650	1255,650	1255,650	1254,980	1254,980	1254,980	1254,980	1254,980	1255,315	0,353	1255,3 ± 0,3
20	1483,100	1483,770	1483,770	1483,770	1483,770	1479,060	1478,390	1478,390	1478,390	1479,060	1481,147	2,643	1481,1 ± 2,6

Berdasarkan **Tabel 1**, frekuensi fundamental yang didapat dari hasil analisis yaitu 115,6 ± 2,0 Hz bilah 1; 123,1 ± 4,2 Hz bilah 2; 138,6 ± 0,7 Hz bilah 3; 156,6 ± 2,0 Hz bilah 4; 178,9 ± 2,8 Hz bilah 5; 200,9 ± 2,5 Hz bilah 6; 233,6 ± 3,4 Hz bilah 7; 271,5 ± 1,9 Hz bilah 8; 317,9 ± 0,3 Hz bilah 9; 362,4 ± 3,1 Hz bilah 10; 412,8 ± 1,7 Hz bilah 11; 482,8 ± 0,3 Hz bilah 12; 551,1 ± 3,5 Hz bilah 13; 627,5 ± 2,5 Hz bilah 14; 730,1 ± 2,1 Hz bilah 15; 848,7 ± 0,5 Hz bilah 16; 965,4 ± 9,4 Hz bilah 17; 1.089,2 ± 1,0 Hz bilah 18; 1.255,3 ± 0,4 Hz bilah 19; dan 1481,1 ± 2,6 Hz bilah 20. Nilai tersebut digunakan sebagai batas nilai sistem dalam mengidentifikasi nada bilah gambang slendro. Sebagai contoh pada bilah 1 memiliki batas nilai 113,722-117,491 Hz ketika suatu nada memiliki frekuensi dalam rentang tersebut, sistem akan mengidentifikasinya sebagai bilah 1 gambang slendro.

Pengaruh Ukuran Bilah Terhadap Frekuensi

Bilah gambang ada yang berbentuk balok tipis dan prisma trapesium, tetapi untuk penelitian ini yang digunakan yaitu bilah bentuk prisma trapesium. Visualisasi bilah secara horizontal

pada **Gambar 7**. dengan *a* merupakan sisi panjang, *b* merupakan sisi miring atas, *c* merupakan sisi pendek, *d* merupakan sisi miring bawah, dan *t* merupakan tebal bilah.



Gambar 7. Bentuk bilah gambang

Berdasarkan persamaan 2.2, volume berbanding lurus dengan kuadrat frekuensi. Apabila variabel lain dianggap tidak berpengaruh (konstan). Semakin besar dan tipis bilah, maka frekuensi semakin rendah. Sedangkan semakin kecil dan tebal bilah, maka frekuensi semakin tinggi.

Ketika membuat bilah, penala tidak memperhitungkan volumenya. Namun, ukuran (panjang, lebar, dan tebal) bilah tetap menjadi acuan penala agar bilah berukuran seragam. Sehingga ukuran bilah pada **Tabel 2** dapat

dijadikan sebagai acuan ukuran bilah. Apabila meninjau luas permukaan bilah, semakin luas permukaan bilah frekuensi yang dihasilkan semakin rendah. Sedangkan sempit permukaan bilah frekuensinya semakin tinggi. Dalam menala nada, penala menipiskan bilah agar mendapatkan nada yang sesuai sehingga tebal bilah bervariasi. Ini yang mengakibatkan hubungan volume dan frekuensi tidak linear.

Proses pembuatan nada oleh penala juga tidak memperhitungkan jenis kayu, tetapi masih

berpegang pada kayu keras. Sampel gambang yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari kayu jati untuk bilahnya. Dengan menggunakan kayu jati, nada menjadi lebih harmoni.

Bilah kayu jati memiliki Modulus Young tinggi [16] dan densitas besar, sehingga menjadi kaku. Syarat utama pembuatan instrumen perkusi dari kayu yaitu kekerasan permukaan dan redaman internal rendah, sehingga nada dapat dipertahankan dengan baik [17].

Tabel 2. Pengaruh ukuran bilah terhadap frekuensi

Bilah	Gambang 1					Volume (cm ³)	Luas Permukaan (cm ²)	Frekuensi (Hz)	Gambang 2					Volume (cm ³)	Luas Permukaan (cm ²)	Frekuensi (Hz)
	Ukuran (cm)								Ukuran (cm)							
	a	b	c	d	t				a	b	c	d	t			
1	56,3	6,9	54,4	6,6	1,4	378,30	55,33	113,722	55,4	6,6	54,5	7,0	1,5	361,8	55,0	117,491
2	54,4	6,2	53,2	6,2	1,1	331,99	53,80	119,106	54,1	7,3	52,6	7,5	1,6	387,4	53,4	127,180
3	53,0	6,4	51,8	5,9	1,4	333,88	52,40	137,947	52,1	6,6	50,5	6,7	1,7	336,1	51,3	139,293
4	51,1	6,1	50,2	6,0	1,5	308,12	50,65	154,770	50,2	6,6	48,8	6,3	1,9	324,9	49,5	158,538
5	49,5	6,2	47,9	6,0	1,5	299,42	48,70	181,686	48,5	6,4	47,2	6,7	1,5	304,7	47,9	176,303
6	48,0	6,0	46,3	6,1	1,6	280,05	47,15	198,509	47,3	6,2	45,4	6,2	1,9	284,0	46,4	203,355
7	46,1	5,7	44,9	5,7	1,5	257,91	45,50	230,405	44,5	5,8	44,2	5,8	1,9	257,1	44,4	236,865
8	44,4	6,3	43,5	5,1	1,6	276,18	43,95	269,703	43,7	6,0	42,6	5,5	2,0	257,8	43,2	273,337
9	42,8	5,6	41,4	5,7	1,6	233,91	42,10	318,288	41,7	5,1	41,2	5,6	1,9	211,1	41,5	317,615
10	41,3	6,0	39,8	6,1	1,5	241,39	40,55	359,469	40,8	5,2	39,6	5,4	2,0	207,6	40,2	365,392
11	40,0	5,8	38,2	5,9	1,8	224,03	39,10	411,150	39,5	5,0	38,2	5,1	1,9	192,3	38,8	414,514
12	37,3	5,5	36,5	5,1	1,2	202,41	36,90	482,478	38,2	5,6	36,5	5,4	2,1	206,7	37,4	483,151
13	36,8	5,2	35,5	5,3	1,2	186,49	36,13	547,751	36,6	5,5	35,2	5,5	2,0	195,8	35,9	554,480
14	34,9	5,8	33,8	5,9	1,3	198,33	34,35	625,136	34,9	5,4	34,0	5,2	1,8	185,4	34,5	629,981
15	33,5	5,2	31,8	5,6	2,0	167,50	32,65	728,091	33,7	5,7	32,3	5,4	2,0	186,6	33,0	732,129
16	32,1	5,8	30,4	5,6	1,9	179,29	31,25	848,274	32,2	5,3	30,7	4,7	2,0	165,0	31,5	849,216
17	30,3	5,2	29,0	5,0	2,1	151,48	29,65	956,478	30,9	5,1	29,5	5,2	2,0	152,6	30,2	974,377
18	29,0	5,0	27,8	4,8	1,2	140,97	28,40	1088,368	29,5	5,0	28,2	5,0	1,8	143,0	28,9	1090,120
19	26,9	5,3	25,8	5,4	1,9	138,90	26,35	1255,650	28,1	5,1	26,8	5,0	2,1	138,9	27,5	1254,980
20	26,2	4,5	25,4	4,2	2,2	115,64	25,80	1483,636	26,9	4,1	25,7	4,2	2,2	106,7	26,3	1478,658

Tabel 3. Hasil training JST dengan variasi neuron

Neuron	Training	Hasil Training			Rerata Hasil			Akurasi (%)
		MSE	Epochs	Waktu (s)	MSE	Epochs	Waktu (s)	
80	1	8,86E-05	133	3,752	9,094E-05	133	3,702	99,992
	2	9,44E-05	133	3,914				
	3	8,98E-05	133	3,439				
90	1	8,65E-05	118	2,882	8,752E-05	118	2,894	99,993
	2	8,85E-05	118	2,896				
	3	8,75E-05	118	2,903				
100	1	8,80E-05	106	2,862	8,725E-05	106	3,311	99,993
	2	8,68E-05	106	3,462				
	3	8,69E-05	106	3,611				
110	1	8,62E-05	96	2,668	8,529E-05	96	2,678	99,993
	2	8,11E-05	96	2,784				
	3	8,86E-05	96	2,582				
120	1	8,13E-05	88	2,558	7,992E-05	88	2,614	99,993
	2	7,96E-05	88	2,692				
	3	7,88E-05	88	2,592				

Model Jaringan Syaraf Tiruan

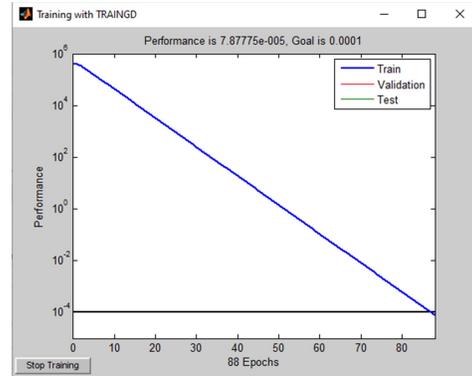
Penelitian ini menggunakan tiga lapisan yaitu satu lapisan *input*, satu lapisan tersembunyi, dan

satu lapisan *output*. Pada lapisan *input* dan lapisan *output* terdapat 20 neuron yang tidak berubah pada saat variasi neuron pada lapisan tersembunyi. Terdapat neuron pada layar

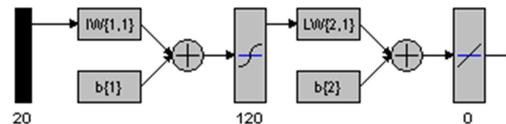
tersembunyi yang divariasikan, yaitu dari 80, 90, 100, 110, dan 120. Pelatihan menggunakan fungsi aktivasi “tansig” pada lapisan *input* menuju lapisan tersembunyi dan fungsi linear “purelin” pada lapisan tersembunyi menuju lapisan *output*, sedangkan fungsi transfer jaringan menggunakan “traingd”.

Training JST untuk satu variasi neuron dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan dengan tujuan untuk mengetahui presisi. Berdasarkan **Tabel 3**, pada 80 neuron MSE bernilai 9,094E-05, *epochs* atau iterasi sebanyak 133 kali, dan kecepatan kerja 3,7 detik; pada 90 neuron MSE bernilai 8,752E-05, *epochs* sebanyak 118 kali, dan kecepatan kerja 2,9 detik; pada 100 neuron MSE bernilai 8,725E-05, *epochs* sebanyak 106 kali, dan kecepatan kerja 3,3 detik; pada 110 neuron MSE bernilai 8,529E-05, *epochs* sebanyak 96 kali, dan kecepatan kerja 2,7 detik; pada 120 neuron MSE bernilai 7,992E-05, *epochs* sebanyak 88 kali, kecepatan kerja 2,6 detik dengan akurasi tertinggi.

Berdasarkan hasil tersebut, model JST yang digunakan dalam sistem penala nada gambang slendro terdiri atas satu lapisan *input* dengan 20 neuron, satu lapisan tersembunyi dengan 120 neuron, dan satu lapisan *output* dengan 20 neuron. Kinerja jaringan tersebut lebih cepat dari variasi neuron lain dengan *error* yang rendah, sehingga semakin tepat dalam mencapai target berdasarkan *input* yang diberikan. Hasil pelatihan pada model ini dapat dilihat dalam **Gambar 8** yang menunjukkan 88 *epochs* dan arsitektur jaringan pada **Gambar 9**.



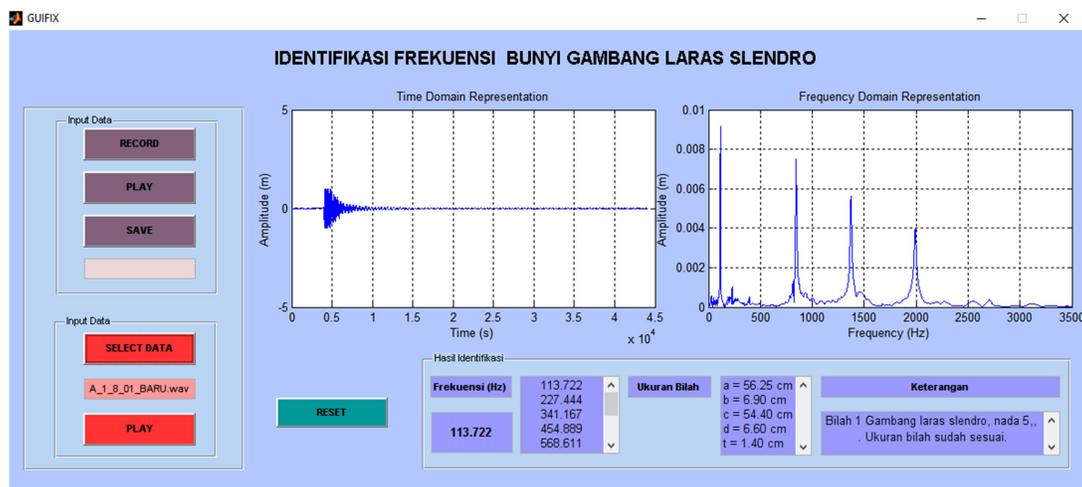
Gambar 8. Epochs pada 120 neuron



Gambar 9. Arsitektur jaringan

Hasil Pengujian Sistem

Dalam mempermudah penggunaan, tampilan sistem menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) yang dapat dilihat pada **Gambar 10**. Sistem penalaan gambang slendro mengacu pada frekuensi fundamental saja, sehingga frekuensi lain yang muncul setelah frekuensi fundamental belum dapat dideteksi. Keterbatasan ini mengakibatkan warna bunyi bilah tidak dapat teridentifikasi. Warna bunyi merupakan kajian penting dalam suatu bunyi untuk membedakan bunyi lainnya pada frekuensi yang sama. Akan tetapi penelitian ini tidak akan membuat warna bunyi seragam karena sensitivitas penala berbeda-beda.



Gambar 10. Hasil identifikasi oleh sistem

Pada penelitian ini, besar toleransi penala tidak diukur secara pasti. Oleh sebab itu, perlu meninjau secara kuantitatif besar toleransi penala. Apabila nilai toleransi dari beberapa

penala sudah diketahui, maka pentingnya standarisasi perlu dilakukan dan sistem ini berpotensi untuk dikembangkan menjadi perangkat standarisasi.

Tabel 4. Hasil pengujian sistem

Sampel	Penala	Sistem	Keterangan	Sampel	Penala	Sistem	Keterangan
1	1	1	Sesuai	21	1	0	Tidak sesuai
2	1	1	Sesuai	22	1	1	Sesuai
3	1	1	Sesuai	23	1	0	Tidak sesuai
4	1	1	Sesuai	24	1	0	Tidak sesuai
5	1	1	Sesuai	25	0	0	Sesuai
6	1	1	Sesuai	26	0	0	Sesuai
7	1	1	Sesuai	27	1	1	Sesuai
8	1	1	Sesuai	28	0	0	Sesuai
9	1	0	Tidak sesuai	29	1	0	Tidak sesuai
10	1	1	Sesuai	30	1	0	Tidak sesuai
11	1	1	Sesuai	31	1	0	Tidak sesuai
12	1	0	Tidak sesuai	32	1	0	Tidak sesuai
13	1	1	Sesuai	33	1	0	Tidak sesuai
14	1	1	Sesuai	34	1	0	Tidak sesuai
15	1	1	Sesuai	35	1	0	Tidak sesuai
16	1	0	Tidak sesuai	36	1	0	Tidak sesuai
17	1	1	Sesuai	37	1	0	Tidak sesuai
18	1	0	Tidak sesuai	38	1	0	Tidak sesuai
19	1	0	Tidak sesuai	39	1	0	Tidak sesuai
20	1	0	Tidak sesuai	40	1	0	Tidak sesuai

Keterangan :

1 = teridentifikasi sebagai gambang bagus

0 = teridentifikasi sebagai gambang tidak bagus (sumbang)

Berdasarkan **Tabel 4**, dapat diketahui bahwa 19 sampel atau 47,5% sampel dapat dideteksi benar dan 21 sampel atau 52,5% tidak dapat dideteksi benar oleh sistem. Sampel 1 hingga 20 menggunakan gambang yang sama ketika pelatihan, sehingga tingkat kesesuaian yang didapat lebih tinggi dibandingkan dengan sampel 21 hingga 40 yang menggunakan gambang lain oleh penala lain.

Sampel gagal dideteksi benar disebabkan memiliki frekuensi fundamental berbeda dari data latih, sehingga sistem menganggap bahwa sampel tersebut berasal dari gambang yang telah sumbang. Frekuensi fundamental yang dibaca oleh sistem memiliki toleransi yang kecil yakni 0,76% dan sesuai dengan pelatihan, sehingga sulit menggeneralisasi data uji. Sedangkan penala memiliki toleransi yang lebih lebar, sehingga hasil identifikasi sistem jauh lebih sempit.

Penyebab kinerja buruk pada *machine learning* adalah kelebihan atau kekurangan data. Sistem penala gambang slendro ini dibuat dengan data latih yang sedikit. Performa sistem bagus pada data pelatihan dan generalisasi buruk pada data baru, ini yang disebut *overfitting*. *Overfitting* terjadi ketika sistem mempelajari

detail dan *noise* dalam data latih sebagai konsep oleh sistem. Konsep ini tidak berlaku untuk data baru, sehingga kemampuan untuk menggeneralisasi sulit dilakukan [18] Oleh sebab itu, sistem ini mengalami *overfitting*. Rendahnya kesesuaian juga disebabkan oleh faktor lainnya, yaitu kondisi lingkungan sekitar. Kondisi yang dimaksud adalah tingkat kebisingan di sekitar pengujian. Sehingga disarankan ketika sistem digunakan untuk menala, maka kondisi seperti ini perlu diperhatikan.

KESIMPULAN

1. Spektrum frekuensi ditandai dengan adanya frekuensi fundamental dan diikuti oleh frekuensi lainnya. Frekuensi fundamental masing-masing bilah gambang laras slendro yaitu $115,6 \pm 2,0$ Hz bilah 1; $123,1 \pm 4,2$ Hz bilah 2; $138,6 \pm 0,7$ Hz bilah 3; $156,6 \pm 2,0$ Hz bilah 4; $178,9 \pm 2,8$ Hz bilah 5; $200,9 \pm 2,5$ Hz bilah 6; $233,6 \pm 3,4$ Hz bilah 7; $271,5 \pm 1,9$ Hz bilah 8; $317,9 \pm 0,3$ Hz bilah 9; $362,4 \pm 3,1$ Hz bilah 10; $412,8 \pm 1,7$ Hz bilah 11; $482,8 \pm 0,3$ Hz bilah 12; $551,1 \pm 3,5$ Hz bilah 13; $627,5 \pm 2,5$ Hz bilah 14; $730,1 \pm$

- 2,1 Hz bilah 15; $848,7 \pm 0,5$ Hz bilah 16; $965,4 \pm 9,4$ Hz bilah 17; $1.089,2 \pm 1,0$ Hz bilah 18; $1.255,3 \pm 0,4$ Hz bilah 19; dan $1.481,1 \pm 2$, Hz 6 bilah 20.
- Ukuran bilah berpengaruh terhadap frekuensi bunyi yang dihasilkan ditinjau dari luas permukaannya. Semakin lebar permukaan bilah, maka frekuensi semakin rendah. Sedangkan semakin sempit permukaan, maka frekuensi semakin tinggi.
 - Sistem penala gambang slendro menggunakan JST dapat mendeteksi secara benar 47,5% sampel dalam pengujian.

Untuk mendapatkan frekuensi fundamental yang lebih eksak perlu dilakukan pelatihan dengan jumlah sampel gambang dan penala yang lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- R. Resnick, dan D. Haliday, *Fisika*. (Diterjemahkan oleh Pantur Silaban dan Erwin Sucipto), Gelora Aksara, . Bandung, 1995
- Mitrayana dan V.J.Cytasari, “Pengukuran Frekuensi Bunyi Saron Demung Laras Pelog Gamelan Jawa Menggunakan Perangkat Lunak Visual Analyser”, *Jurnal Fisika Indonesia* 28(54) (2014).
- E. Trisnowati, “Analisis Frekuensi pada Gong Laras Slendro”, *Indonesian Journal of Sains and Education* 1(1) (2017).
- Faradiba, “Pengenalan Pola Sinyal Suara Manusia Menggunakan Metode Backpropagation Neural Network”, *Jurnal Edu. Math. Sains* 2(1) (2017).
- P.W. Arta, *Perakitan Gambang Kayu Versi Sudono Sebuah Kajian Organologis*, Institut Seni Indonesia Yogyakarta, Bantul, 2016.
- R. Resnick, dan D. Haliday, *Fisika Jilid 2*, Erlangga, Jakarta, 1997.
- D.C. Giancoli, *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1998.
- H.J. Pain, *The Physics of Vibrations and Waves Six Edition*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2005.
- H.Sujadi, I. Sopiandi, dan A. Mutaqin. *Sistem Pengenalan Suara Menggunakan Algoritma FFT (Fast Fourier Transform.)* Universitas Majalengka, Majalengka, 2017.
- E. Winayanti, *Analisis Karakteristik Spektrum Intensitas Akord Mayor dan Minor pada Alat Musik Gitar*, Skripsi, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, 2019.
- A. Hermawan, *Jaringan Saraf Tiruan, Teori dan Aplikasinya*, Andi Offset, Yogyakarta, 2006.
- A. Jumarwanto, R. Hartanti., D.Praستیyanto. “Aplikasi Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation untuk Memprediksi Penyakit THT di Rumah Sakit Mardi Rahayu Kudus”, *Jurnal Teknik Elektro* 1(1) (2007).
- F. Zola, G. W. Nurcahyo., dan J. Santony. “Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan Algoritma Backpropagation untuk Memprediksi Prestasi Siswa”, *Jurnal Teknologi dan Open Source* 1(1) (2018).
- J.J. Siang, *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab*, Andi, Yogyakarta, 2009.
- B. C. Moore, “Frequency Difference Limens for Short-duration Tones”, *J. Acoust. Soc. Am.* 54 (1973) 610-619.
- P. Rusnaldy dan N.Iskandar, “Pengukuran Modulus Elastisitas Berbagai Jenis Kayu Untuk Furnitur”, *Jurnal Rotasi* 11(4) (2009).