

DAFTAR ISI

Pendugaan sebaran intrusi air laut melalui sungai di desa Ujungmanik kecamatan Kawunganten kabupaten Cilacap menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner (Mitha Syahfitri*, Seha, Sunardi)	176
Estimasi ketebalan lapisan sedimen permukaan berdasarkan pengukuran mikrotremor di Pemalang, Jawa Tengah (Urip Nurwijayanto Prabowo*, Seha dan Akmal Ferdiyan)	187
Eksplorasi sumber air tanah bawah perbukitan kapur (<i>karst</i>) menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Schlumberger di desa Darmakradenan kecamatan Ajibarang kabupaten Banyumas (Hastani Ratsanjani dan Seha*)	194
Rancang bangun sistem peringatan kemiringan menara dan overload jembatan gantung berbasis sensor kemiringan dan sensor massa (Haris Saefurrahman*, Hartono, dan Farzand Abdullatif)	203
Rancang bangun sistem pendeteksi pergeseran bantalan jembatan berbasis resistor variabel (Kurniawan Findiatmaja*, Hartono, Abdullah Nur Aziz)	208

**Pendugaan sebaran intrusi air laut melalui sungai di desa Ujungmanik
kecamatan Kawunganten kabupaten Cilacap menggunakan
metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner**

Mitha Syahfitri*, Seha, Sunardi

*Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah
email: mithasyahfitri28@gmail.com*

Abstrak - Pendugaan sebaran intrusi air laut melalui sungai di Desa Ujungmanik Kecamatan Kawunganten Kabupaten Cilacap telah dilakukan menggunakan metode geolistrik resistivitas dengan konfigurasi Wenner. Penelitian bertujuan untuk melakukan pendugaan sebaran intrusi air laut melalui sungai di Desa Ujungmanik, Kecamatan Kawunganten, Kabupaten Cilacap berdasarkan data geolistrik resistivitas dan konduktivitas air tanah. Akuisisi data geolistrik dilakukan pada empat lintasan yaitu lintasan Wen1, lintasan Wen2, lintasan Wen3, dan lintasan Wen4. Setiap lintasan memiliki panjang bentangan sebesar 200 m. Hasil pengolahan data resistivitas menunjukkan struktur batuan bawah permukaan yang terdiri atas pasir, lempung, lempung pasir, dan pasir lempungan. Intrusi air laut diindikasikan telah terjadi di seluruh lintasan pada lapisan pasir, karena memiliki range nilai resistivitas yang sangat rendah, yaitu berkisar 0,20 – 2,79 Ω m. Pengambilan sampel air tanah dilakukan pada 15 titik dengan nilai konduktivitas bervariasi antara 1.363 – 4.145 μ S/cm sehingga dapat digolongkan ke dalam kelompok air tawar dan air agak payau, dikarenakan sampel-sampel air diambil pada musim hujan. Berdasarkan hasil penelitian, Desa Ujungmanik diperkirakan terintrusi air laut secara merata, khususnya pada koordinat 7°38'15.62" LS dan 108°57'20.89" BT hingga 7°39'22.86" LS dan 108°56'35.33" BT.

Kata kunci: intrusi air laut, metode geolistrik, Desa Ujungmanik, konduktivitas

Abstract – – The interpretation of the distribution of the sea water intrusion through the rivers in the Ujungmanik Village, Kawunganten District, Cilacap Regency has been done using the geoelectric resistivity method with Wenner configuration. This research aims to estimate the distribution of sea water intrusion through rivers in Ujungmanik Village, Kawunganten District, Cilacap Regency based on the subsurface rock resistivity data and groundwater conductivity data. The geoelectrical data acquisition was carried out on four lines. They were Wen1, Wen2, Wen3, and Wen4 trajectories. Each trajectory have a length of 200 m. The results of resistivity data processing showed that the subsurface rock structure consisted of sand, clay, sandy clay, and clayey sand. Seawater intrusion is indicated to have occurred throughout the trajectories in the sand layer, because it has a very low resistivity value range, which is around 0.20 – 2.79 Ω m. Groundwater samples was carried out at 15 points with the conductivity value varies between 1.363 – 4.145 μ S/cm so they can be classified into the freshwater and slightly brackish water groups, because the samples were taken during the rainy season. Based on the research results, it is estimated that Ujungmanik Village is evenly distributed by sea water, especially at coordinates of 7°38'15.62"S and 108°57'20.89"E to 7°39'22.86"LS and 108°56'35.33"BT.

Key words: seawater intrusion, geoelectric method, Ujungmanik Village, conductivity

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumberdaya alam yang sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup di permukaan bumi. Salah satu jenis air tawar yang digunakan manusia untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari adalah air tanah [1]. Air tanah banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya karena beberapa alasan, salah satunya adalah memiliki kualitas yang lebih baik serta lebih sulit mengalami pencemaran daripada air

permukaan [2]. Namun demikian ada beberapa kelemahan jika terjadi pengambilan air tanah yang berlebihan, yaitu (1) penurunan ketersediaan air tanah dan berkurangnya debit air di dalam lapisan akuifer sehingga mengurangi produksi air tanah, (2) penurunan muka air tanah secara besar-besaran sehingga air sulit dan mahal didapatkan, (3) intrusi air laut, (4) terjadinya longsor dan retakan di permukaan tanah [3].

Intrusi air laut merupakan suatu peristiwa penyusupan atau peresapan air laut ke lapisan

akuifer air tanah. Kasus intrusi air laut merupakan masalah yang sering terjadi di daerah pesisir pantai. Selain terjadi di daerah pesisir, intrusi air laut juga bisa terjadi di daerah muara sungai yang dekat dengan laut [2]. Intrusi air laut melalui sungai diduga terjadi di Desa Ujungmanik, Kecamatan Kawunganten, Kabupaten Cilacap [4]. Beberapa sumur penduduk di Desa Ujungmanik khususnya sekitar sungai, airnya terasa asin [5]. Di sekitar Sungai Ujungmanik ini juga ditumbuhi tanaman mangrove yang biasanya hidup di habitatnya. yaitu kawasan pesisir. Kondisi ini mengindiskan air sumur dan daerah di sekitar sungai tersebut telah terintrusi air laut. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui titik-titik akuifer lain yang terintrusi air laut.

Persebaran daerah yang terkena intrusi air laut melalui sungai dapat diidentifikasi menggunakan salah satu survei geofisika yaitu metode geolistrik resistivitas. Survei metode resistivitas merupakan salah satu metode geofisika yang mempelajari sifat resistivitas batuan di dalam bumi. Prinsip metode resistivitas adalah dengan mengalirkan arus listrik ke dalam bumi melalui kontak dua elektroda arus, kemudian diukur distribusi potensial yang dihasilkan [6]. Konfigurasi yang digunakan di dalam penelitian ini adalah konfigurasi Wenner. Konfigurasi Wenner merupakan metode resistivitas *mapping* sehingga cocok digunakan untuk mengidentifikasi sebaran intrusi air laut dan model penampang batuan bawah permukaan [7]. Untuk memperkuat hasil-hasil penelitian, uji konduktivitas terhadap beberapa sampel air tanah dilakukan. Selanjutnya untuk menggambarkan seberapa jauh intrusi air laut terjadi di daerah penelitian, maka dilakukan korelasi penampang litologi batuan bawah permukaan antar lintasan.

LANDASAN TEORI

A. Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk menggambarkan keberadaan batuan atau mineral di bawah permukaan berdasarkan sifat kelistrikan batuan atau mineral. Salah satu metode geolistrik yang sering digunakan untuk mengetahui sifat tahanan jenis atau resistivitas batuan bawah permukaan adalah metode geolistrik resistivitas. Metode resistivitas

dilakukan dengan cara menginjeksikan arus listrik melalui dua buah elektroda arus ke permukaan bumi yang kemudian diukur nilai beda potensialnya melalui dua buah elektroda potensial. Secara umum pendekatan yang digunakan untuk mendapatkan nilai resistivitas setiap medium di bawah permukaan bumi yaitu dengan mengasumsikan bahwa bumi adalah suatu medium yang homogen isotropis. Bumi diasumsikan sebagai suatu medium yang homogen isotropis artinya bumi memiliki distribusi batuan yang merata dan seragam sehingga arus yang dialirkan melalui sebuah elektroda di permukaan akan tersebar ke seluruh arah dengan besar yang sama [8]. Nilai resistivitas yang dihasilkan merupakan nilai resistivitas semu yang dapat dihitung dengan persamaan [9]:

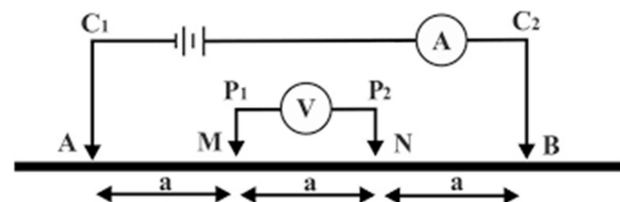
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

di mana ρ_a adalah resistivitas semu, K adalah faktor geometri, ΔV adalah beda potensial, dan I adalah kuat arus. Besar faktor geometri tergantung dari jenis konfigurasi yang digunakan. Konfigurasi Wenner mempunyai susunan jarak spasi antar elektroda sama panjang seperti pada **Gambar 1**. Besarnya faktor geometri untuk konfigurasi Wenner dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$K = 2\pi a \quad (2)$$

dimana a adalah spasi antar elektroda yang digunakan. Dari persamaan (1), nilai resistivitas semu konfigurasi Wenner dapat dituliskan :

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (3)$$



Gambar 1. Susunan elektroda konfigurasi Wenner yang digunakan pada saat akuisisi data geolistrik resistivitas [10].

Nilai resistivitas sebenarnya (*true resistivity*) dihasilkan melalui pemodelan terhadap resistivitas semu menggunakan perangkat lunak (*software*) tertentu. Nilai resistivitas yang diperoleh selanjutnya diinterpretasi untuk

menafsirkan jenis litologi masing-masing lapisan batuan bawah permukaan. Interpretasi ini didasarkan atas informasi geologi setempat dan tabel nilai resistivitas batuan seperti ditunjukkan pada **Tabel 1** [9]. Tabel tersebut menunjukkan hasil pengukuran nilai resistivitas batuan dan material lain di laboratorium dan bukan di lapangan. Umumnya pengukuran nilai resistivitas di lapangan dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah heterogenitas lapisan batuan. Oleh sebab itu di dalam proses interpretasi litologi, informasi dan analisis geologi sangat diperlukan.

Tabel 1. Tabel resistivitas batuan dan material lain [9]

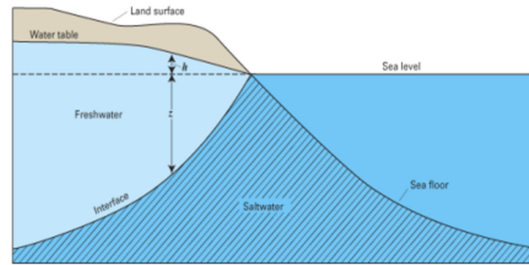
Material	Resistivitas (Ωm)
Udara	~
Kuarsa	500 – 800.000
Garam batu	$30 - 1 \times 10^{13}$
Granit	200 – 10.000
Andesit	1.700 – 45.000
Basaltik	200 – 100.000
Gamping	500 – 10.000
Batupasir	200 – 8.000
Pasir	1 – 1.000
Lempung	1 – 100
Air tanah	0,5 – 300
Air asin	0,2
Kerikil kering	600 – 10.000
Alluvium	10 – 800
Kerikil	100 – 600

B. Intrusi Air Laut

Intrusi air laut adalah menyusupnya air laut ke dalam pori-pori batuan dan mencemari air tanah yang terkandung di dalamnya sehingga mengakibatkan air tanah berubah menjadi air payau atau bahkan asin [11]. Hubungan antara air asin dengan air tawar seperti ditunjukkan pada **Gambar 2** yang memenuhi persamaan hidrostatik fluida:

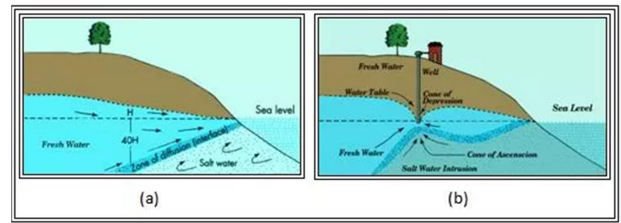
$$\rho_s g z = \rho_f g (z + h) \quad (4)$$

di mana ρ_f adalah densitas air tawar (kg/m^3), ρ_s adalah densitas air asin (kg/m^3), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), z adalah kedalaman *interface* air tanah-air asin dari *mean sea level* (m) dan h adalah ketinggian muka air tanah dari *mean sea level* (m).



Gambar 2. Hubungan antara air tawar dengan air asin [12]

Pada kondisi normal air laut tidak dapat masuk jauh ke daratan sebab airtanah memiliki *piezometric* yang menekan lebih kuat daripada air laut, sehingga terbentuklah *interface* sebagai batas antara air tanah dengan air laut. Keadaan tersebut merupakan keadaan kesetimbangan antara air laut dan air tanah. Namun pada saat keadaan kesetimbangan ini terganggu, maka air laut terus mendesak air tanah semakin ke hulu sehingga terjadi intrusi air laut [13]. Keadaan *interface* secara normal dan *interface* mengalami intrusi dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. (a) Keadaan *interface* alami, (b) *Interface* mengalami intrusi [14]

C. Konduktivitas Air Tanah

Konduktivitas adalah gambaran numerik kemampuan air untuk meneruskan aliran listrik. Pengukuran konduktivitas air tanah dilakukan dengan alat *Electric Conductivity* (EC) meter, satuan yang umum digunakan adalah mikro Siemen per centimeter ($\mu\text{S/cm}$) yang setara dengan $\mu\text{mhos/cm}$ [15]. Klasifikasi air tanah berdasarkan nilai konduktivitas listrik tercantum pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Klasifikasi air tanah berdasarkan konduktivitas listrik [16]

Sifat Air	Daya Hantar Listrik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Air Tawar	<1.500
Air Agak Payau	1.500-5000
Air Payau	5.000-15.000
Air Asin	15.000-50.000

D. Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Pangandaran [17], formasi batuan Desa Ujungmanik Kecamatan Kawunganten Kabupaten Cilacap terdiri dari:

a. Endapan Aluvial (Qa)

Formasi ini merupakan endapan permukaan yang terdiri atas lumpur, pasir, kerikil, dan kerakal

b. Formasi Halang (Tmph)

Formasi ini merupakan endapan turbidit yang terdiri atas perselingan antara batunapal, kalkarenit, batupasir sela, konglomerat dengan sisipan batugamping, dan batupasir kerikil di bagian bawah, batunapal semakin dominan di bagian atas.

Dua formasi batuan ini dijadikan acuan pada saat dilakukan proses pemodelan dan interpretasi.

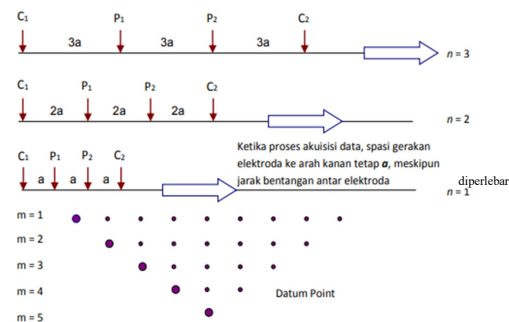
METODE PENELITIAN

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Januari 2020 hingga Juli 2020. Akuisisi data geolistrik dilakukan di Desa Ujungmanik Kecamatan Kawunganten Kabupaten Cilacap menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner. Lintasan yang diambil sebanyak 4 lintasan dengan panjang bentangan setiap lintasan yaitu 200 m seperti pada **Gambar 4**. Peralatan yang digunakan pada survei resistivitas adalah *Resistivitymeter* merk NANIURA model NRD-22S lengkap dengan alat-alat pendukungnya, *Global Positioning System* (GPS), peta geologi, lembar kerja data penelitian, alat tulis, aplikasi *google earth*, laptop, *software Res2Dinv 3.54.44*, *software Voxler 4.0*, *software Surfer 10*, dan sebagainya.



Gambar 4. Desain akuisisi data geolistrik konfigurasi Wenner di Desa Ujungmanik Kecamatan Kawunganten Kabupaten Cilacap

Akuisisi data geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner dimulai dengan pemasangan elektroda arus dan elektroda potensial yang disusun seperti **Gambar 5**. Spasi bentangan antar elektroda sebesar a , akan menghasilkan data level pengukuran $n = 1$. Nilai kuat arus dan beda potensial yang terukur diperoleh dengan cara menginjeksikan arus ke dalam permukaan bumi melalui elektroda arus. Akibat injeksi arus, maka timbul beda potensial batuan yang diterima elektroda potensial. Akuisisi selanjutnya dilakukan dengan menggeser elektroda ke arah kanan sebesar a hingga jarak maksimum bentangan. Untuk menghasilkan data level pengukuran $n = 2, 3, 4$, dst dilakukan dengan cara mengubah spasi antar elektroda sebesar $2a, 3a, 4a$ dst.



Gambar 5. Pergerakan elektroda arus dan elektroda potensial metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner [9]

Data yang diperoleh di setiap lintasan pada saat akuisisi data berupa kuat arus listrik (I), beda potensial (ΔV), dan jarak antar elektroda (a). Adapun faktor geometri (K) dan nilai resistivitas semu (ρ_a) untuk setiap pengukuran data dihitung berdasarkan persamaan (2) dan

(3). Pemodelan struktur batuan bawah permukaan secara 2D ini dilakukan menggunakan *software Res2Dinv 3.54.44*. Pemodelan yang digunakan pada *software* tersebut yaitu metode *last-squares inversion* dengan mencocokkan kurva model dengan kurva observasi [18]. Persamaan matematis yang digunakan pada metode *last-square inversion* yaitu:

$$(J^T T + \mu F) \mathbf{d} = J^T \mathbf{g} - \mu F \mathbf{r} \quad (5)$$

di mana $F = f_x f_x^T + f_z f_z^T$ dengan f_x adalah *filter flatness horizontal*, f_z adalah *filter flatness vertical*, J adalah matriks dari turunan parsial, μ adalah faktor damping, $\mathbf{d}$ adalah vektor perturbasi dari model, $\mathbf{g}$ adalah vektor discrepancy, dan $\mathbf{r}$ adalah vektor yang logaritma dari nilai [19].

Langkah selanjutnya yaitu melakukan interpretasi untuk menentukan jenis-jenis struktur batuan penyusun bawah permukaan menggunakan *software Res2Dinv 3.54.44*. Pendugaan struktur batuan penyusun bawah permukaan dapat dilakukan dengan cara pendekatan nilai resistivitas batuan pada tabel standar nilai resistivitas dan informasi kondisi geologi daerah penelitian. Hasil interpretasi tiap lintasan selanjutnya dikorelasikan agar diketahui pola aliran intrusinya. Korelasi antar lintasan dilakukan menggunakan *software Voxler 4.0* untuk menghasilkan model penampang resistivitas dan litologi batuan secara 3D.

Pengambilan sampel air tanah dilakukan di 15 titik sekitar lokasi daerah penelitian seperti pada **Gambar 6**. Peralatan yang digunakan pada pengambilan sampel air tanah yaitu botol, GPS, kamera. Sedangkan peralatan yang digunakan untuk uji konduktivitas sampel air tanah sampai dengan pengolahan data yaitu *conductivitymeter tipe TDSEC-2-DB*, alat tulis, laptop, *Microsoft Excel 2010*, *Software Surfer 10*.



Gambar 6. Titik-titik lokasi pengambilan sampel air tanah di Desa Ujungmanik Kecamatan Kawunganten Kabupaten Cilacap

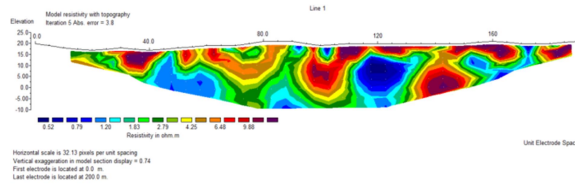
Sampel air tanah yang telah diambil kemudian dilakukan uji konduktivitasnya menggunakan alat EC-meter. Setelah didapatkan data konduktivitas, kemudian dilakukan analisis perubahan nilai konduktivitas sampel air tanah dengan jarak pengambilan sampel yang diukur dari tepi sungai dalam bentuk grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

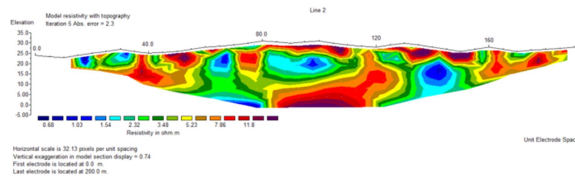
Akuisisi data geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner dan pengambilan sampel air tanah telah dilakukan di Desa Ujungmanik Kecamatan Kawunganten Kabupaten Cilacap. Akuisisi data geolistrik dilakukan pada empat lintasan yang berbeda yaitu lintasan Wen1 hingga lintasan Wen4. Lintasan Wen1 dan lintasan Wen2 berada di bagian utara sungai, adapun lintasan Wen3 dan lintasan Wen4 berada di bagian selatan. Posisi lintasan tegak lurus terhadap sungai dengan lintasan Wen1 dan lintasan Wen2 mengarah dari selatan ke utara, adapun lintasan Wen3 dan lintasan Wen4 mengarah dari utara ke selatan seperti pada **Gambar 4**.

Pemodelan resistivitas telah dilakukan dan menghasilkan penampang resistivitas batuan bawah permukaan seperti ditunjukkan pada **Gambar 7**, **Gambar 8**, **Gambar 9**, dan **Gambar 10**. Kedalaman maksimum hasil pemodelan adalah 28,7 meter pada semua lintasan. Penampang resistivitas 2D selanjutnya diinterpretasi untuk mendapatkan penampang litologi batuan bawah permukaan 2D. Hasil interpretasi penampang resistivitas 2D ditunjukkan pada **Gambar 11**, **Gambar 12**, **Gambar 13**, dan **Gambar 14**. Secara lebih lengkap, hasil interpretasi penampang resistivitas 2D dapat dilihat pada **Tabel 3**, **Tabel 4**, **Tabel 5**, dan **Tabel 6**. Proses interpretasi mengacu pada informasi geologi

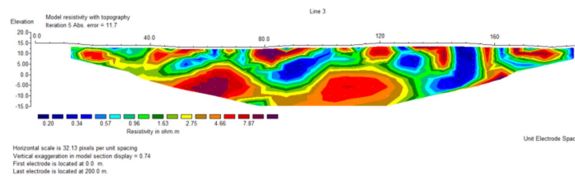
setempat [17] dan tabel resistivitas batuan sebagaimana telah dijelaskan di bagian Tinjauan Pustaka.



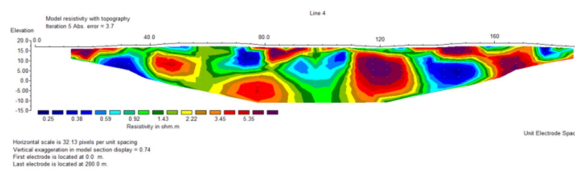
Gambar 7. Penampang resistivitas 2D Lintasan Wen1



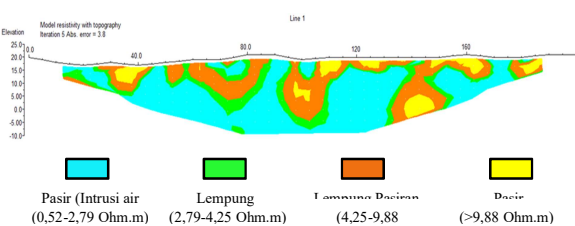
Gambar 8. Penampang resistivitas 2D Lintasan Wen2



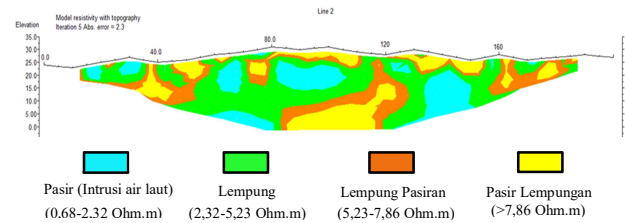
Gambar 9. Penampang resistivitas 2D Lintasan Wen3



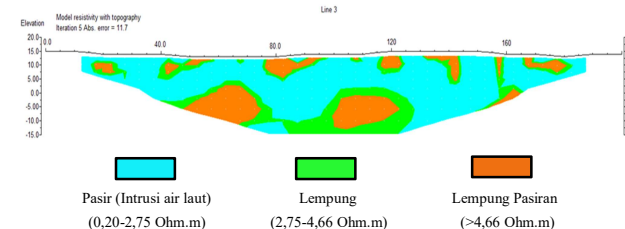
Gambar 10. Penampang resistivitas 2D Lintasan Wen4



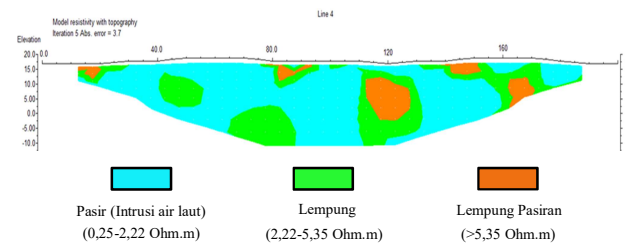
Gambar 11. Interpretasi penampang resistivitas 2D dengan kontur skala litologi batuan pada Lintasan Wen1



Gambar 12. Interpretasi penampang resistivitas 2D dengan kontur skala litologi batuan pada Lintasan Wen2



Gambar 13. Interpretasi penampang resistivitas 2D dengan kontur skala litologi batuan pada Lintasan Wen3



Gambar 14. Interpretasi penampang resistivitas 2D dengan kontur skala litologi batuan pada Lintasan Wen4

Tabel 3. Hasil interpretasi litologi terhadap penampang resistivitas pada lintasan Wen1

Lapisan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman ($\pm m$)	Litologi	Air tanah
1	> 9,88	1,25 – 23	Pasir Lempungan	Air Payau
2	4,25 – 9,88	1,25 – 25	Lempung Pasiran	Air Payau
3	2,79 – 4,25	1,25 – 28,7	Lempung	Air Asin
4	0,52 – 2,79	1,25 – 28,7	Pasir (Intrusi Air Laut)	Air Asin

Catatan: Posisi koordinat 7°38'30.17"LS 108°57'02.98"BT hingga 7°38'23.68"LS 108°57'03.02"BT

Tabel 4. Hasil interpretasi litologi terhadap penampang resistivitas pada lintasan Wen2

Lapisan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman ($\pm m$)	Litologi	Air tanah
1	> 7,86	1,25 – 28,7	Pasir Lempungan	Air Payau
2	5,23 – 7,86	1,25 – 28,7	Lempung Pasiran	Air Payau
3	2,32 – 5,23	1,25 – 28,7	Lempung	Air Asin
4	0,68 – 2,32	1,25 – 28,7	Pasir (Intrusi Air Laut)	Air Asin

Catatan: Posisi koordinat 7°38'21.86"LS 108°57'22.78"BT hingga 7°38'15.62"LS 108°57'20.89"BT

Tabel 5. Hasil interpretasi litologi terhadap penampang resistivitas pada lintasan Wen3

Lapisan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman ($\pm m$)	Litologi	Air tanah
1	> 4,66	1,25 – 26	Lempung Pasiran	Air Payau
2	2,75 – 4,66	1,25 – 28,7	Lempung	Air Asin
3	0,20 – 2,75	1,25 – 28,7	Pasir (Intrusi Air Laut)	Air Asin

Catatan: Posisi koordinat 7°38'51.46"LS 108°55'48.63"BT hingga 7°38'57.85"LS 108°55'47.51"BT

Tabel 6. Hasil interpretasi litologi terhadap penampang resistivitas pada lintasan Wen4

Lapisan	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman ($\pm m$)	Litologi	Air tanah
1	> 5,35	1,25 – 19,8	Lempung Pasiran	Air Payau
2	2,22 – 5,35	1,25 – 28,7	Lempung	Air Asin
3	0,25 – 2,22	1,25 – 28,7	Pasir (Intrusi Air Laut)	Air Asin

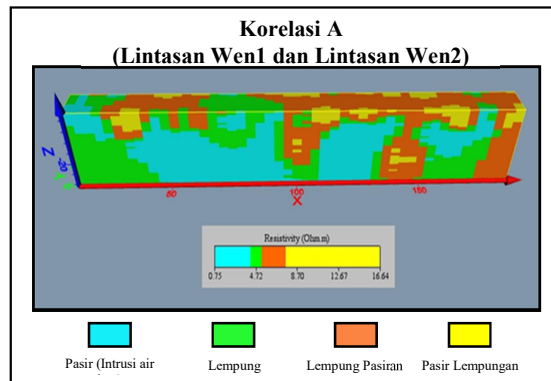
Catatan: Posisi koordinat 7°39'16.39"LS 108°56'36.12"BT hingga 7°39'22.86"LS 108°56'35.33"BT

Hasil interpretasi terhadap penampang resistivitas batuan bawah permukaan secara 2D menunjukkan bahwa lintasan Wen1 dan Wen2 tersusun dari empat lapisan batuan. Empat lapisan batuan tersebut yaitu pasir lempungan, lempung pasiran, lempung, dan pasir. Sedangkan hasil interpretasi terhadap penampang resistivitas 2D menunjukkan bahwa lintasan Wen3 dan lintasan Wen4 tersusun dari tiga lapisan batuan yang meliputi lempung pasiran, lempung, pasir.

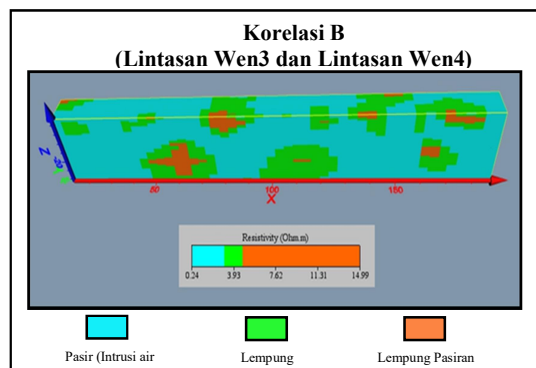
Lapisan pasir yang diduga terintrusi air laut memiliki nilai resistivitas terkecil dengan rentang nilai 0,20 – 2,79 Ωm . Hal ini didukung

dengan adanya penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Purnama dkk [2] menunjukkan bahwa pada *range* nilai resistivitas $\leq 3,00 \Omega m$ terjadi intrusi air laut. Lapisan lempung memiliki nilai resistivitas 2,22 – 5,35 Ωm . Hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Purnama dkk [2] yang menunjukkan bahwa pada *range* resistivitas 3,00 – 8,30 Ωm merupakan lapisan lempung [20]. Lapisan lempung pasiran mempunyai rentang nilai resistivitas 4,25 – 9,88 Ωm . Hal ini didukung hasil penelitian di Desa Kesugihan Kidul oleh Zen [21] yang lokasinya dekat dengan daerah penelitian yang menyatakan bahwa pada *range* resistivitas 7,50 – 12,4 Ωm merupakan lapisan lempung pasiran [21]. Lapisan pasir lempungan memiliki rentang nilai resistivitas > 7,86 Ωm . Jenis lapisan tersebut didukung oleh hasil penelitian sebelumnya di Desa Gombol Harjo Kecamatan Adipala oleh Rachman [22] yang lokasinya relatif berdekatan dengan daerah penelitian, yang menyatakan bahwa pada *range* resistivitas 11,43 – 29,53 Ωm merupakan lapisan pasir lempungan [22].

Jenis air tanah yang terkandung di dalam lapisan pasir lempungan dan lempung pasiran dengan *range* resistivitas 4,25 hingga > 7,86 Ωm merupakan air payau. Air tanah asin dengan *range* resistivitas 0,20 – 5,35 Ωm terkandung pada lapisan lempung dan lapisan pasir yang diduga terintrusi air laut. Klasifikasi jenis air tanah berdasarkan nilai resistivitas, pernah dilakukan Hazreek dkk [23] di area pesisir Malaysia, dimana diperoleh hasil bahwa air asin memiliki *range* nilai resistivitas 0,1 – 5 Ωm , sedangkan air payau memiliki *range* resistivitas 5 – 15 Ωm . Setelah didapatkan litologi batuan bawah permukaan di setiap lintasan, selanjutnya dilakukan korelasi antar lintasan untuk mengetahui persebaran intrusi air laut yang terjadi. Korelasi antar lintasan dilakukan pada lintasan Wen1, lintasan Wen2, lintasan Wen3, dan lintasan Wen4. Hasil korelasi antar lintasan menggunakan *software Voxler 4.0* ditunjukkan pada **Gambar 15** dan **Gambar 16**.



Gambar 15. Korelasi Lintasan Wen1 dan Lintasan Wen2 dalam bentuk penampang resistivitas 3D



Gambar 16. Korelasi Lintasan Wen3 dan Lintasan Wen4 dalam bentuk penampang resistivitas 3D

Korelasi A antara lintasan Wen1 dan Wen2 mempunyai lokasi yang berbeda dengan korelasi B antara lintasan Wen3 dan Wen4. Korelasi A berada di bagian utara sungai dengan arah bentangan lintasan relatif dari selatan menuju ke utara, adapun korelasi B berada di bagian selatan sungai dengan arah bentangan lintasan relatif dari utara menuju ke selatan. Pada **Gambar 15** dan **Gambar 16** terdapat tiga sumbu yaitu sumbu X,Y, dan Z. Sumbu X menyatakan panjang lintasan, sumbu Y menyatakan jarak antar lintasan, dan sumbu Z menyatakan kedalaman yang diperoleh dari penelitian. Hasil korelasi lintasan menunjukkan bahwa semua lintasan telah terintrusi air laut pada kedalaman $\pm 1,25$ m hingga $\pm 28,7$ m. Seluruh daerah penelitian telah terintrusi air laut secara merata baik di bagian utara maupun bagian selatan sungai. Intrusi air laut di Desa Ujungmanik diduga berasal dari sungai. Muara sungai yang berjarak ± 1000 meter dengan laut memungkinkan adanya gerakan air laut mendesak ke arah darat terutama saat terjadi gelombang pasang [2].

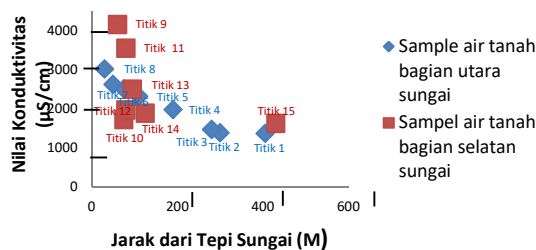
Hasil-hasil penelitian ini didukung oleh hasil pengujian konduktivitas terhadap beberapa sampel air tanah. Sampel air tanah diambil pada 15 titik di sekitar daerah penelitian dengan rincian 8 titik berada di bagian utara sungai dan 7 titik berada di bagian selatan sungai. Air tanah yang diambil berasal dari air sumur yang memiliki kedalaman rata-rata ≥ 5 meter. Sampel air tanah tersebut kemudian diukur nilai konduktivitasnya menggunakan alat EC-meter. Hasil dari pengujian konduktivitas sampel air tanah dapat dilihat pada **Tabel 7** dan grafik antara nilai konduktivitas sampel air terhadap jarak yang diukur dari tepi sungai dapat dilihat pada **Gambar 17**. Selain dibuat grafik, nilai konduktivitas sampel air tanah yang diuji, dipetakan melalui *software Surfer 10* sehingga menghasilkan peta kontur konduktivitas air tanah seperti **Gambar 18**.

Tabel 7. Data pengukuran nilai konduktivitas sampel air tanah

Titik Sampel Air Tanah	Koordinat	Uji Konduktivitas ($\mu\text{S}/\text{cm}$)				Jarak dari Tepi Sungai (m)
		1	2	3	Rata-rata	
1	7°38'35.06"LS 108°57'2.62"BT	1363	1360	1366	1363	405
2	7°38'38.94"LS 108°57'4.56"BT	1378	1378	1378	1378	300
3	7°38'39.55"LS 108°57'3.79"BT	1465	1468	1461	1465	280
4	7°38'42.06"LS 108°57'1.98"BT	1970	1972	1977	1973	190
5	7°38'45.01"LS 108°57'3.49"BT	2317	2317	2306	2313	110
6	7°38'45.44"LS 108°57'1.07"BT	2510	2489	2510	2503	75
7	7°38'46.54"LS 108°56'58.19"BT	3010	3014	3012	3012	30
8	7°38'44.83"LS 108°56'38.00"BT	2631	2606	2606	2614	50
9	7°38'52.23"LS 108°57'2.48"BT	1727	1725	1702	1718	75
10	7°38'51.92"LS 108°57'0.06"BT	3534	3523	3557	3538	80
11	7°38'50.84"LS 108°56'54.16"BT	4161	4144	4129	4145	60
12	7°38'52.38"LS 108°56'45.88"BT	1882	1883	1881	1882	125
13	7°38'50.34"LS 108°56'38.39"BT	1965	1962	1962	1963	80
14	7°38'49.58"LS 108°56'19.14"BT	2500	2489	2493	2494	95
15	7°38'59.27"LS 108°56'0.07"BT	1610	1615	1614	1619	430

Berdasarkan data hasil pengukuran konduktivitas air tanah seperti **Tabel 7**, diketahui bahwa sampel air tanah mempunyai rentang nilai 1.363 – 4.145 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Jika nilai

konduktivitas sampel air tanah yang didapat diklasifikasikan berdasarkan **Tabel 2**, terdapat dua kelompok air, yaitu kelompok air tawar dengan kisaran nilai 0 – 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan kelompok air agak payau dengan kisaran nilai 1.500 – 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Nilai konduktivitas sampel air tanah yang didapat tidak sesuai dengan hasil interpretasi resistivitas yang menunjukkan telah terjadi intrusi air laut. Hal ini disebabkan oleh pengambilan sampel air tanah pada saat musim hujan yaitu satu bulan sebelum akuisisi data. Sampel air tanah yang diambil bercampur dengan air hujan sehingga nilai konduktivitas berubah. Menurut informasi dari warga sekitar, pada saat musim kemarau air sumur terasa sangat asin tetapi apabila musim hujan tiba maka air sumur terasa sedikit tawar [5].



Gambar 17. Grafik perubahan nilai konduktivitas terhadap jarak dari tepi sungai

Gambar 17 menunjukkan perubahan nilai konduktivitas terhadap jarak pengambilan sampel air tanah yang diukur dari tepi sungai. Tren penurunan garis terlihat pada **Gambar 17** yang menandakan bahwa terdapat pengaruh jarak dari tepi sungai terhadap nilai konduktivitas sampel air tanah. Semakin jauh jarak dari tepi sungai, semakin kecil pula nilai konduktivitas sampel air tanah [24]. Berdasarkan **Gambar 4.13** konduktivitas air tanah pada titik-titik ukur di bagian selatan sungai relatif lebih tinggi daripada di bagian utara sungai. Hal ini menunjukkan bahwa arah aliran air tanah yang terintrusi air laut, sebagian besar ke arah selatan sungai karena topografi bagian selatan sungai relatif lebih rendah dibandingkan bagian utara sungai [25].

KESIMPULAN

Penelitian pendugaan sebaran intrusi air laut melalui sungai di Desa Ujungmanik Kecamatan Kawunganten Kabupaten Cilacap menggunakan metode resistivitas dengan konfigurasi *Wenner*

telah dilakukan. Hasil-hasil penelitian menunjukkan batuan penyusun bawah permukaan terdiri atas empat lapisan batuan penyusun bawah permukaan yaitu pasir, lempung, lempung pasir, dan pasir lempungan. Lapisan pasir yang diinterpretasi terintrusi air laut memiliki rentang nilai resistivitas 0,20 – 2,79 Ωm . Lapisan lempung memiliki rentang nilai resistivitas 2,22 – 5,35 Ωm . Lapisan lempung pasir memiliki rentang nilai resistivitas 4,25 – 9,88 Ωm . Lapisan pasir lempungan memiliki rentang nilai resistivitas > 7,86 Ωm .

Setelah penampang 2D litologi batuan bawah permukaan diperoleh, kemudian dilakukan korelasi antar lintasan untuk mengetahui seberapa jauh intrusi air laut yang terjadi. Hasil korelasi antar lintasan menunjukkan bahwa semua lintasan telah terintrusi air laut pada kedalaman $\pm 1,25$ m hingga $\pm 28,7$ m. Daerah penelitian telah terintrusi oleh air laut secara merata. Hasil uji konduktivitas terhadap 15 sampel air tanah yang diambil dari sumur-sumur warga di daerah penelitian menunjukkan bahwa sampel air tanah tersebut dikategorikan ke dalam air tawar dan air agak payau. Hasil tersebut belum menunjukkan terjadi intrusi air laut, karena pengambilan air tanah dilakukan ketika musim hujan. Namun indikasi intrusi air laut cukup kuat

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan yang besar kepada Kepala dan PLP Laboratorium Elektronika, Instrumentasi, dan Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, UNSOED atas peralatan Resistivitymeter dan seluruh instrumen pendukungnya yang disediakan. Terimakasih juga disampaikan kepada tim akuisisi data di lapangan yang telah bersusah payah membantu penulis melakukan akuisisi data resistivitas di Desa Ujungmanik, Kecamatan Kawunganten, Kabupaten Cilacap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Purnama, M. A. Marfai, Saline, "Water Intrusion Toward Groundwater: Issues and Its Control", *Journal of Natural Resources and Development* 2 (2012) 25-32.
- [2] S. Purnama, A. Cahyadi, E. Febriata, N. Khakhim, H. Prihatno, "Identifikasi Airtanah Asin Berdasarkan Pendugaan

- Geolistrik di Pesisir Kota Cilacap Jawa Tengah, *Geomedia* 11(2) (2013) 183-190.
- [3] S. K. Goyal, "Vulnerability and Sustainability of Groundwater Resource in India", *Cloud Publications International Journal of Advanced Earth Science and Engineering* 2 (1) (2013) 69-74.
- [4] T. K. Sidhy, *Bencana Kekeringan di Cilacap Meluas*, Cilacap: ANTARA (2018).
- [5] Karno, *Wawancara tentang Kondisi Sumur Warga. Desa Ujungmanik, Kecamatan Kawunganten, Kabupaten Cilacap*, 2019.
- [6] W. Sumartono, Y. Arman, Y. S. Putra, "Identifikasi Sebaran Bijih Besi di Kabupaten Bengkayang Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas", *Prisma Fisika* 1 (1) (2013) 14-21.
- [7] N. Muna, "Penentuan Zona Intrusi Air Laut Daerah Pantai Selatan Banyuwangi dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis (Studi Kasus Desa Sumber Sari Kecamatan Purwoharjo Kabupaten Banyuwangi)", *Skripsi*, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2017.
- [8] E. Yuliana, F. X. Tryono, E. Minarto, "Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk Identifikasi Zona Bidang Gelincir Tanah Longsor Studi Kasus Desa Nglajo Kec. Cepu Kab. Blora", *Sains dan Seni ITS* 6 (2) (2017) B37-B42.
- [9] W. Telford, L. Geldart, R. Sheriff, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University, New York, 1990.
- [10] M. H. Loke, R. D. Barker, *Rapid Least-Squares Inversion of Apparent Resistivity Pseudosection by A Quasi-Newton Method*, Geophysical Prospecting Press. Inc. , Orlando-Florida, 1996
- [11] M. Saila, Muhajir, Azmeri, "Pengaruh Intrusi Air Laut Terhadap Akuifer Pantai pada Kawasan Wisata Pantai Iboih Sabang", *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 24-26 Oktober 2013*, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2013, hal. 137-143.
- [12] P. M. Barlow, *Ground Water in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast*. USGS, 2003.
- [13] N. N. Pujianiki, N. N. Simpen, "Aplikasi Geolistrik pada Pemetaan Daerah Intrusi Air Laut di Pantai Candidasa", *Media Komunikasi Teknik Sipil* 24(1) (2018) 29-34.
- [14] J. Westra, J. Wals, "Overexploitation of coastal aquifers". *Cases in Bioplanet Earth* (2015) 7-12.
- [15] R. S. Waspodo, S. Kusumarini, V. A. Dewi, "Prediksi Intrusi Air Laut Berdasarkan Nilai Daya Hantar Listrik dan Total Dissolved Solid di Kabupaten Tangerang", *Teknik Pertanian Lampung* 8 (4) (2019) 243-250.
- [16] T. Edwin, R. A. Regia, F. Dibba, "Indikasi Intrusi Air Laut dari Konduktivitas Air Tanah Dangkal di Kecamatan Padang Utara", *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan II 19 Oktober 2016*, 2016, 152-156.
- [17] T. O. Simandjuntak, Surono, *Peta Geologi Lembar Pangandaran, Jawa*. Pangandaran. 1992.
- [18] E. A. Idogbe, A. L. Ahmed, K. M. Lawal, B. M. Ahmed, M. M. Isah, "2D Electrical Resistivity Imaging of Mine Workings at Odogbo, North Central Nigeria", *FUDMA Journal of Science* 3(3) (2019).
- [19] H. M. Loke, *Res2dinv Rapid 2D Resistivity & IP Inversion, for Windows XP/Vista*, Goetoma Software, Malaysia, 2009.
- [20] S. Purnama, E. Febriarta, A. Cahyadi, N. Khakhim, L. Ismail, H. Prihatno, "Analisis Karakteristik Akuifer Berdasarkan Pendugaan Geolistrik di Pesisir Kabupaten Cilacap Jawa Tengah", *Jurnal Geografi* 11 (22) (2013) 155-156.
- [21] M. T. Zen, *Investigasi Batuan Penyangga DAS Serayu Desa Kesugihan Kidul Kecamatan Kesugihan Kabupaten Cilacap Berdasarkan Survei Geolistrik Resistivitas*, *Skripsi*, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, 2007.
- [22] A. Rachman, *Pendugaan Intrusi Air Asin di Desa Gombol Harjo Kecamatan Adipala Kabupaten Cilacap Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Schlumberger*, *Skripsi*. Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, 2007.

- [23] Z. A. Hazreek, M. M. Hashim, A. M. Asmawisham, Z. M. Hafiz, Y. M. Fairus, K. A. Fahmy, "Seawater Intrusion Mapping Using Electrical Resistivity Imaging (ERI) at Malaysian Coastal Area", *International Journal of Civil Engineering and Technology* 9(9) (2018) 1185-1193.
- [24] D. Darmanto, A. Cahyadi, "Kajian Intrusi Air Laut Melalui Sungai di Pesisir Kabupaten Demak Jawa Tengah", *Majalah Geografi Indonesia* 27(1) (2013) 1-10.
- [25] Sebah, W. T. Cahyanto, Pengujian Daya Hantar Listrik Air Tanah di Sekitar Tempat Pembuangan Akhir Gunung Tugel Kabupaten Banyumas Menggunakan Prinsip *Jembatan Wheatstone*, *Molekul* 4(1) (2009) 39-47.

Estimasi ketebalan lapisan sedimen permukaan berdasarkan pengukuran mikrotremor di Pemalang, Jawa Tengah

Urip Nurwijayanto Prabowo*, Seha dan Akmal Ferdiyan

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Dr. Suparno No.61 Karangwangkal Purwokerto Jawa Tengah

*email: urip.np@unsoed.ac.id

Abstrak – Ketebalan lapisan sedimen permukaan merupakan salah satu parameter yang menggambarkan kondisi geologi permukaan suatu daerah saat mengalami gempa bumi. Ketebalan lapisan sedimen dapat diestimasi berdasarkan data pengukuran mikrotremor yang dianalisis menggunakan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr). Pada penelitian ini dilakukan pengukuran mikrotremor sebanyak 5 titik di wilayah Pemalang, Jawa Tengah yang secara geologi tersusun atas aluvium berumur kuartar. Hasil pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSr adalah frekuensi dominan daerah penelitian yang berkisar antara 1,56 – 11,56 Hz dan ketebalan lapisan sedimen permukaan berkisar antara 4,49 – 33,70 m. Ketebalan lapisan sedimen permukaan memiliki nilai yang semakin besar ke arah pantai (utara). Hasil analisis menunjukkan bahwa morfologi bedrock cenderung mengikuti pola dari ketebalan lapisan sedimen karena perbedaan elevasi permukaan yang relatif kecil pada titik pengukuran.

Kata kunci: mikrotremor, HVSr, ketebalan sedimen

Abstract – The thickness of the surface sediment layer is one of the parameters that describes the local site effect of an area when an earthquake occurred. The thickness of the sediment layer can be estimated based on microtremor measurements which were analyzed using the Horizontal to vertical Spectral Ratio (HVSr) method. In this study, 5 microtremor measurements were carried out in the Pemalang area, Central Java, which are geologically composed of quaternary alluvium. The result of microtremor data processing using the HVSr method were the dominant frequency of the study area which ranges from 1.56 - 11.56 Hz and the thickness of the surface sediment layer ranges from 4.49 - 33.70 m. The surface sediment layer is getting thicker towards the coast (north). The analysis results show that the bedrock morphology tends to follow the pattern of the thickness of the sediment layer due to the relatively small difference in surface elevation at the measurement point.

Key words: microtremor, HVSr, sediment layer

PENDAHULUAN

Gempabumi merupakan salah satu bencana alam yang menyebabkan kerusakan bangunan dan korban jiwa. Tingkat kerusakan akibat gempabumi di suatu daerah dipengaruhi beberapa faktor antara lain jarak dari sumber gempabumi, magnitudo gempabumi dan kondisi geologi permukaan [1].

Kondisi geologi permukaan berkaitan dengan karakteristik lapisan sedimen di permukaan yang dapat memperbesar guncangan gelombang gempabumi yang disebut sebagai amplifikasi [2]. Fenomena amplifikasi menyebabkan suatu daerah dapat mengalami kerusakan yang besar meskipun lokasinya relatif jauh dari sumber gempabumi [3]. Fenomena amplifikasi dan korelasinya dengan tingkat kerusakan akibat gempabumi telah diteliti di

beberapa lokasi antara lain di Meksiko [1], Kobe, Jepang [4], Yogyakarta [5].

Kondisi geologi permukaan yang mempengaruhi fenomena amplifikasi dan tingkat kerusakan adalah ketebalan dan tingkat kekompakan lapisan sedimen permukaan. Lapisan sedimen yang tebal menyebabkan suatu daerah menjadi rawan mengalami kerusakan bangunan akibat gempabumi [6]. Sedangkan tingkat kekompakan berkaitan dengan kekerasan batuan penyusun lapisan sedimen permukaan dimana daerah berbatuan lunak memperbesar efek amplifikasi dan menyebabkan kerusakan di daerah tersebut [1]. Lapisan sedimen permukaan dengan batuan yang lunak dapat berupa aluvium, tanah yang tebal, dan produk gunungapi yang belum terkonsolidasi [7]–[9].

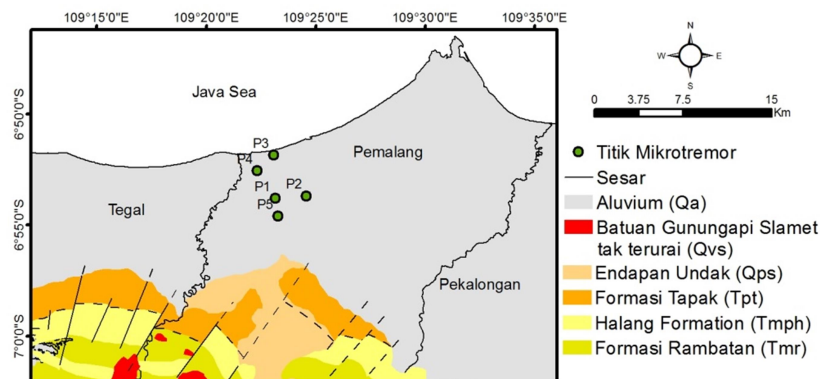
Penentuan kondisi geologi permukaan suatu daerah dapat menggunakan data

pengukuran mikrotremor yang diolah berdasarkan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Mikrotremor merupakan getaran yang konstan pada permukaan bumi dan berasal dari aktivitas manusia dan fenomena alam. Amplitudo getaran mikrotremor berkisar antara 10^{-7} - 10^{-5} m [10]. Sedangkan metode HVSr merupakan metode analisis data yang membandingkan spektrum mikrotremor vertikal dan horizontal [11]. Hasil analisis HVSr berupa kurva HVSr dimana tinggi puncak kurva disebut faktor amplifikasi dan frekuensi pada puncak kurva merupakan

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran mikrotremor di wilayah Pemalang, Jawa Tengah karena memiliki kondisi geologi yang tersusun atas batuan aluvium berumur kuartar yang terdiri atas kerikil, pasir, lanau dan lempung [18] (**Gambar 1**). Selain itu Pemalang merupakan ibu kota kabupaten yang juga termasuk dalam jalur lalu lintas Pantura (Pantai Utara Jawa) sehingga menjadi pusat

nilai frekuensi dominan lapisan sedimen permukaan di lokasi pengukuran [12], [13]. Frekuensi dominan merupakan frekuensi resonansi lapisan sedimen permukaan saat mencapai nilai amplifikasi maksimum. Nilai frekuensi dominan hasil pengukuran HVSr dapat digunakan untuk menyatakan ketebalan lapisan sedimen permukaan [14], [15] sedangkan nilai tinggi puncak kurva masih diragukan untuk dijadikan sebagai acuan tingkat amplifikasi karena amplifikasi dari puncak kurva HVSr berbeda dengan amplifikasi hasil seismogram [16], [17].

pemerintahan, industri, pendidikan dan jalur transportasi perdagangan yang terus berkembang. Pengukuran mikrotremor merupakan metode yang murah, mudah dan memiliki akurasi yang baik dalam menggambarkan kondisi geologi permukaan [19].



Gambar 1. Peta geologi daerah penelitian [18]

Analisis data hasil pengukuran mikrotremor di wilayah Pemalang menggunakan metode HVSr bertujuan untuk menentukan ketebalan lapisan sedimen permukaan yang menggambarkan kondisi geologi permukaan. Selain itu ketebalan lapisan sedimen juga dapat menjadi acuan kedalaman lapisan keras (*bedrock*) yang digunakan untuk keperluan geoteknik atau konstruksi [20]

METODE PENELITIAN

Data mikrotremor diperoleh dari hasil pengukuran pada bulan Juli 2018 sebanyak 5 titik lokasi di wilayah Pemalang dengan koordinat 109,372 – 109,409 BT dan 6,864 – 6,910 LS. Pengukuran mikrotremor menggunakan seismometer 3 komponen tipe

MAE dengan *sampling rate* 4 mS dan durasi pengukuran 20 menit pada tiap titik lokasi. Data kecepatan gelombang sekunder pada kedalaman 0-30 m (V_{s30}) didapatkan dari *United States Geological Survey* (USGS) yang merupakan nilai kecepatan rata-rata dari sedimen permukaan. Data ini akan digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan sedimen permukaan karena belum ada data pengukuran kecepatan gelombang sekunder di wilayah Pemalang.

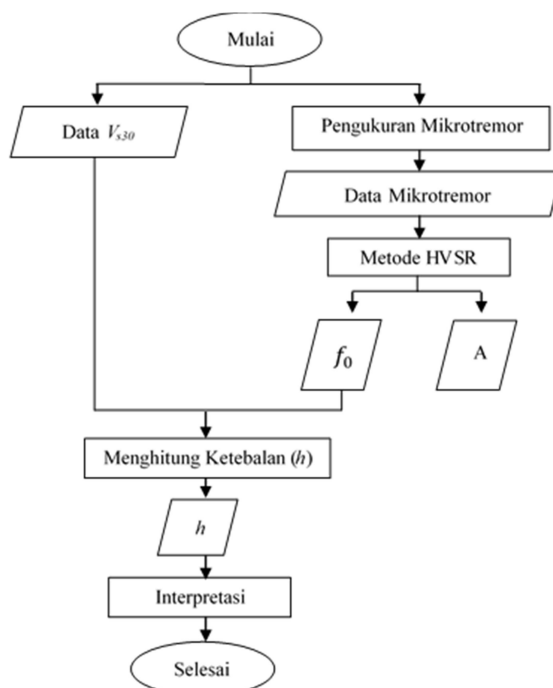
Gambar 2 memperlihatkan tahapan analisis data pada penelitian ini.

Metode HVSr

Pengolahan data mikrotremor dengan metode HVSR pada menggunakan *software Geopsy*. Tahapan awal pada metode HVSR adalah memilih sinyal rekaman mikrotremor 3 komponen yang *stasioner* dan tidak terpengaruh oleh *noise* atau sinyal dari lalu lintas dan aktivitas manusia di sekitar lokasi pengukuran. Sinyal *stasioner* yang dipilih selanjutnya dipotong (proses *windowing*) dengan lebar tiap *window* (I_w) 20 detik. Tiap data sinyal yang dipilih selanjutnya ditransformasikan dari domain waktu menjadi data dengan domain frekuensi melalui proses FFT (*Fast Fourier Transform*) dengan nilai *tapering* 5%. Data spektrum dalam domain frekuensi mengalami penghalusan (*smoothing*) dengan menggunakan metode Konno Omachi dengan konstanta $b = 40$ [16]. Kemudian dilakukan perbandingan data yang telah dihaluskan pada 3 komponen data mikrotremor berdasarkan persamaan 1 [11]

$$HVSR = \frac{\sqrt{H_{EW}^2 + H_{NS}^2}}{V} \quad (1)$$

dengan HVSR merupakan kurva hasil analisis, V adalah spektrum komponen vertikal, H_{EW} adalah spektrum komponen horizontal pada arah timur-barat, dan H_{NS} adalah spektrum komponen horizontal pada arah utara-selatan.



Gambar 2. Alur pengolahan data penelitian

Hasil kurva HVSR dibandingkan dengan kriteria pada **Tabel 1** untuk menentukan puncak kurva HVSR yang reliabel sehingga nilai frekuensi dominan pada puncak kurva tersebut dapat digunakan pada analisis selanjutnya [16].

Tabel 1. Kriteria puncak kurva HVSR reliabel [16]

Kriteria Puncak Kurva HVSR Reliabel	
1) $f_0 > \frac{10}{I_w}$	
2) $n_c(f_0) > 200$; $n_c(f_0) = I_w \cdot n_w \cdot f_0$	
3) $\sigma_A(f) < 2$ untuk $0,5f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 > 0.5$	
Atau	
$\sigma_A(f) < 2$ untuk $0,5f_0 < f < 2f_0$ jika $f_0 > 0.5$	
Dengan	
f = frekuensi	f_0 = frekuensi dominan
I_w = lebar <i>window</i>	n_w = Jumlah <i>window</i>
σ_A = standar deviasi dari tinggi kurva HVSR	

Perhitungan Ketebalan Lapisan Sedimen Permukaan

Ketebalan lapisan sedimen permukaan memiliki kaitan dengan frekuensi dominan berdasarkan kaidah pipa organa tertutup dimana pada ketebalan lapisan sedimen (h) bernilai $\frac{1}{4}$ panjang gelombang maka amplifikasi bernilai maksimum pada frekuensi resonansinya [14]. Berdasarkan prinsip tersebut maka ketebalan lapisan sedimen permukaan dapat ditentukan berdasarkan persamaan (2).

$$h = \frac{V_s}{4f_0} \quad (2)$$

dengan f_0 adalah frekuensi dominan, V_s adalah kecepatan gelombang sekunder dan h adalah ketebalan lapisan sedimen permukaan.

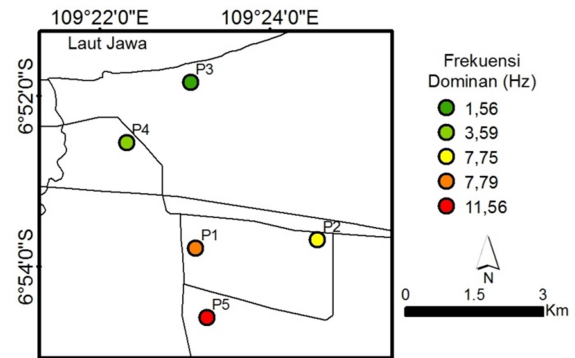
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis metode HVSR adalah kurva HVSR pada 5 titik pengukuran. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan kriteria pada **Tabel 1** sehingga dapat diketahui hasil puncak kurva yang reliabel dan dapat digunakan untuk tahapan analisis selanjutnya yaitu menentukan ketebalan lapisan sedimen permukaan.

Tabel 2 menunjukkan perbandingan kurva HVSR dengan kriteria puncak kurva HVSR reliabel dimana seluruh hasil kurva HVSR pada 5 titik pengukuran merupakan puncak kurva yang reliabel. Seluruh puncak kurva memenuhi kriteria reliabel yang pertama karena didapatkan nilai frekuensi yang berkisar antara 1,56 – 11,56 Hz yang lebih besar dari nilai $10/I_w = 0,5$. Pada kriteria kedua, seluruh hasil kurva juga memenuhi kriteria dengan nilai $n_c(f_0) > 200$. Pada kriteria ketiga digunakan syarat yang pertama karena seluruh hasil kurva memiliki nilai frekuensi dominan lebih besar 0,5 Hz. Terlihat dari **Tabel 2** bahwa nilai standar deviasi antara $0,5f_0 < f < 2f_0$ tidak ada yang melebihi nilai 2 sebagai syarat standar sehingga kriteria puncak kurva reliabel ketiga juga terpenuhi. Pada kelima titik pengukuran, standar deviasi kurva antara $0,5f_0 < f < 2f_0$ memiliki rentang antara 1,06 – 1,61 Hz.

Pada **Gambar 3** hasil HVSR menunjukkan nilai frekuensi dominan yang berkisar antara 1,56 – 11,56 Hz dengan nilai frekuensi yang

semakin rendah ke arah pantai. Daerah pesisir pantai memiliki yang tersusun oleh material aluvium cenderung memiliki periode dominan yang tinggi (frekuensi yang rendah) [3]. Nilai frekuensi yang semakin rendah juga menunjukkan bahwa ketebalan sedimen permukaan yang semakin besar [14], [15].



Gambar 3. Frekuensi dominan lokasi pengukuran mikrotremor

Tabel 2. Perbandingan kurva HVSR dengan kriteria kurva HVSR reliabel

Titik Mikrotremor	Bujur (°)	Lintang (°)	f_0 (Hz)	A	f_0	Kriteria puncak kurva reliabel			Keterangan
						$f_0 > \frac{10}{I_w}$	$n_c(f_0) = I_w \cdot n_w \cdot f_0$	$\sigma_A(f)$	
P1	109,386	-6,897	7,94	6,23	25	$f_0 > 0,5$	3970	1,11 – 1,25	Memenuhi kriteria reliabel
P2	109,409	-6,895	7,75	9,79	37	$f_0 > 0,5$	5735	1,12 – 1,23	Memenuhi kriteria reliabel
P3	109,385	-6,864	1,56	7,78	18	$f_0 > 0,5$	561,6	1,22 – 1,61	Memenuhi kriteria reliabel
P4	109,372	-6,876	3,59	6,47	18	$f_0 > 0,5$	1292,4	1,12 – 1,44	Memenuhi kriteria reliabel
P5	109,388	-6,910	11,56	19,59	12	$f_0 > 0,5$	2774,40	1,06 – 1,29	Memenuhi kriteria reliabel

Tabel 3 Perhitungan ketebalan lapisan sedimen permukaan

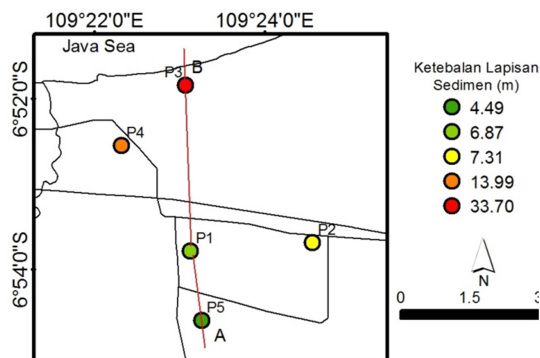
Titik Mikrotremor	Bujur (°)	Lintang (°)	f_0 (Hz)	V_{s30} (m/s)	h (m)
P1	109,386	-6,897	7,94	218,17	6,87
P2	109,409	-6,895	7,75	226,75	7,31
P3	109,385	-6,864	1,56	210,29	33,70
P4	109,372	-6,876	3,59	200,87	13,99
P5	109,388	-6,910	11,56	207,60	4,49

Tabel 3 menunjukkan ketebalan lapisan sedimen yang dihitung berdasarkan nilai frekuensi dominan dan V_{s30} dari USGS menggunakan persamaan (2). Nilai frekuensi dominan merupakan hasil dari metode HVSR

yang memenuhi kriteria puncak kurva yang reliabel. Nilai frekuensi dominan dan ketebalan lapisan sedimen yang didapatkan dari metode HVSR memberikan informasi penting dalam kajian kerentanan seismik [13], [21].

Gambar 4 menunjukkan sebaran nilai ketebalan lapisan sedimen permukaan di daerah penelitian dimana ketebalan lapisan sedimen permukaan semakin besar ke arah pantai (utara) yaitu pada titik P3 dengan ketebalan 33,70 m. Hal ini mengindikasikan kondisi geologi permukaan di titik P3 memiliki kemungkinan kerentanan kerusakan akibat gempa bumi dibandingkan titik lokasi pengukuran yang lainnya. Lapisan sedimen yang tebal akan mengalami guncangan yang terasa lebih lambat dan dalam durasi yang lebih lama saat mengalami gempa bumi sehingga nilai percepatan getaran tanahnya rendah [22]. Namun hal ini menyebabkan simpangan getarannya besar dan fenomena amplifikasi juga memperbesar getaran gempa bumi sehingga dapat menyebabkan kerusakan tanah permukaan maupun bangunan di atasnya.

Berdasarkan hasil analisis data, daerah penelitian bagian selatan memiliki nilai ketebalan sedimen yang paling besar. Namun batas ketebalan lapisan sedimen yang dapat menyebabkan kerusakan saat mengalami gempa bumi belum dapat ditentukan karena kerusakan akibat gempa bumi juga dipengaruhi oleh parameter kegempaan berupa magnitudo gempa bumi dan jarak sumber gempa bumi ke daerah penelitian,

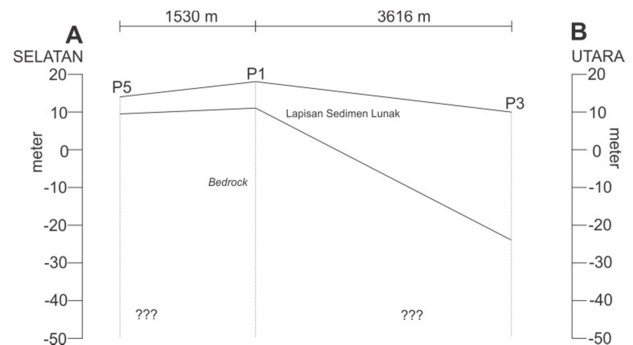


Gambar 4. Nilai ketebalan lapisan sedimen permukaan

Kedalaman dan profil dari *bedrock* dapat dilihat pada **Gambar 5** yang merupakan gambar sayatan profil A-B (utara-selatan) dari **Gambar 4**.

Berdasarkan **Gambar 5** daerah penelitian memiliki elevasi yang relatif sama karena berada pada dataran rendah sehingga ketinggian dan morfologi dari *bedrock* cenderung mengikuti pola dari sebaran ketebalan lapisan sedimen. Ketinggian *bedrock* terlihat semakin rendah ke arah utara mendekati pantai.

Pada metode HVSR, nilai amplifikasi menggambarkan kontras impedansi antara lapisan sedimen permukaan dengan lapisan batuan yang lebih keras di bawahnya (*bedrock*) [12]. Jenis batuan *bedrock* secara spesifik belum dapat ditentukan dari hasil metode HVSR sehingga pengukuran dengan metode lainnya perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih detail.



Gambar 5. Sayatan profil C-D (utara-selatan) dari **Gambar 4**

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran mikrotremor didapatkan nilai frekuensi dominan daerah penelitian berbanding terbalik dengan nilai ketebalan lapisan sedimen. Hasil perhitungan menunjukkan ketebalan lapisan sedimen permukaan berkisar antara 4,49 – 33,70 m dengan nilai yang semakin besar ke arah pantai (utara). Hasil analisis menunjukkan bahwa morfologi *bedrock* cenderung mengikuti pola dari ketebalan lapisan sedimen disebabkan perbedaan elevasi permukaan yang relatif kecil pada titik pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. D. Gurler, Y. Nakamura, J. Saita, T. Sato, "Local site effect of mexico city based on microtremor measurement," in Proceeding of 6th International Conference of Seismic Zonation, 2000.
- [2] U. N. Prabowo, Marjiyono, Sismanto, "Amplifikasi dan atenuasi gelombang seismik di lapisan sedimen permukaan," *Sciencetech* 2(1) (2016) 112–116,.

- [3] A. Tohari, "Seismic microzonation of soil amplification and liquefaction for Padang City," *E3S Web Conf.* 156, no. September 2009, , 2020, hal. 1–10.
- [4] Y. Nakamura, T. Sato, and M. Nishinaga, "Local Site Effect Of Kobe Based On Microtremor," in *Proceeding of the Sixth International Conference on Seismic Zonation EERI, Palm Springs California, 2000*, hal. 3–8.
- [5] Daryono, Sutikno, J. Sartohadi, Dulbahri, and K. S. Brotopuspito, "Efek Tapak Lokal (Local Site effect) di Graben Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor," in *International Conference Earth Science and Technology, 2009*, hal. 4–9.
- [6] S. B. J. Santosa, "Karakterisasi kurva Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur Dan Permodelan," *J. Neutrino* 4(1) (2011) 1–15.
- [7] Marjiyono and Afnimar, "Mikrozonasi bahaya gempa bumi di wilayah kota Bandung berdasarkan data mikrotremor," *Geo-Hazards* 21(1) (2011) 41–49.
- [8] R. W. P. Isburhan, G. Nuraeni, R. Verdhora Ry, T. Yudistira, A. Cipta, and P. Cummins, "Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSr) Method for Earthquake Risk Determination of Jakarta City with Microtremor Data," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 18(1) (2019).
- [9] D. Stanko, S. Markušić, M. Gazdek, V. Sanković, and I. Slukan, "Assessment of the Seismic Site Amplification in the City of Ivanec (NW Part of Croatia) Using the Microtremor HVSr Method and Equivalent-linear Site Response Analysis," *Geoscience* 9(213) (2019) 1–25.
- [10] H. Okada, "The Microtremor Survey Method," in *Geophysical Monograph Series Number 12, Amerika: Society of Exploration Geophysicists, 2003*.
- [11] Y. Nakamura, "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface," *QR RTR* 30(1) (1989) 25–33.
- [12] Y. Nakamura, "on the H / V Spectrum," *Proc. 14th world Conf. Earthq. Eng.*, 2008.
- [13] S. Y. Kang, K.-H. Kim, J.-M. Chiu, and L. Liu, "Microtremor HVSr analysis of heterogeneous shallow sedimentary structures at Pohang, South Korea," *J. Geophys. Eng.* (2020) 1–9.
- [14] M. I. Seht and J. Wohlenberg, "Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments," *Bull. Seismol. Soc. Am.* 89(1) (1999) 250–259.
- [15] Marjiyono, Ratdomopurbo, Suharna, M. H. H. Zajuli, and R. Setianegara, "Geologi bawah permukaan dataran klaten berdasarkan interpretasi data mikrotremor," *Geol. dan Sumberd. Miner.* 5(1) (2014) 3–10.
- [16] SESAME European Research Project, *Guidelines For The Implementation Of The H / V Spectral Ratio Technique On Ambient Vibrations Measurements , Processing And Interpretation, 2004*, pp. 1–62.
- [17] B. Hassani, H. Zafarani, J. Farjoodi, and A. Ansari, "Estimation of site amplification , attenuation and source spectra of S-waves in the East-Central Iran," *Soil Dyn. Earthq. Eng* 31(10) (2011) 1397–1413.
- [18] M. Djuri, H. Samodra, T. Amin, and S. Gafoer, "Geological Map of Purwokerto and Tegal Quadrangles, Java," Bandung, 1996.
- [19] A. Mohamed, S. M. Ali, and A. Mostafa, "Estimation of seismic site effect at the new Tiba City proposed extension , Luxor , Egypt," *NRIAG J. Astron. Geophys.* 9(1) (2020) 499–511.
- [20] A. Prabawa Arwananda, B. Aryaseta, H. Dezulfakar, Y. Fatahillah, and J. Pandu Gya Nur Rochman, "Horizontal-vertical Spectral Ratio Method in Microtremor to Estimate Engineering Bedrock Thickness at Sedati Mud Volcano," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 62(1) 2017.

- [21] N. Haerudin, Rustadi, F. Alami, and I B S Yog, "The effect site analysis based on microtremor data using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) method in the Bandar Lampung City," *J. Phys. Conf. Ser* 1257(2020).
- [22] M. A. Sari, N. B. Wibowo, and D. Darmawan, "Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum Dan Intensitas Gempabumi Di Kawasan Jalur Sesar Sungai Oyo Yogyakarta," *J. Fis.* 6(2) (2006) 101–107.

Eksplorasi sumber air tanah bawah perbukitan kapur (*karst*) menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Schlumberger di desa Darmakradenan kecamatan Ajibarang kabupaten Banyumas

Hastani Ratsanjani dan Sebah*

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman
Jalan Dr. Suparno No.61 Grendeng Purwokerto Jawa Tengah

*email: sebah@unsoed.ac.id

Abstrak – Penelitian menggunakan metode geolistrik resistivitas telah dilakukan untuk mengetahui struktur batuan bawah permukaan serta potensi air tanah di Desa Darmakradenan Kecamatan Ajibarang Kabupaten Banyumas. Konfigurasi yang digunakan pada metode ini adalah konfigurasi Schlumberger sebanyak lima titik VES dengan panjang lintasan masing-masing 200 m. Hasil pemodelan secara inversi telah menghasilkan log resistivitas yang terdiri atas enam lapisan batuan bawah permukaan. Lapisan batuan tersebut diinterpretasi sebagai tanah penutup dengan nilai resistivitas sebesar 206.8 – 1204.92 ohm m, batukapur dengan nilai resistivitas sebesar 767.51 – 1563.65 ohm m, kerikil dan pasir dengan nilai resistivitas sebesar 270.84 ohm m, lempung dengan nilai resistivitas sebesar 319.39 – 473.97 ohm m, batupasir gampingan dengan nilai resistivitas sebesar 17.22 ohm m, dan napal dengan nilai resistivitas sebesar 814.17 – 982.94 ohm m. Potensi sumber air tanah diperkirakan hanya terdapat di titik S-L1 dan S-L2 yang merupakan lapisan batupasir gampingan dengan nilai resistivitas 17.22 – 47.02 ohm m pada kedalaman 11.80 – 70.00 m dan diinterpretasi sebagai akuifer dangkal.

Kata kunci: geolistrik resistivitas, sumber air tanah, pegunungan kapur, Desa Darmakradenan

Abstract – Research using the geoelectric resistivity method has been conducted to determine the subsurface rock structure and the potential for groundwater in Darmakradenan Village, Ajibarang District, Banyumas Regency. The configuration used in this method is the Schlumberger configuration of five VES points with a tracks length of 200 m for each track. The results of inversion modeling have produced a resistivity log consisting of six subsurface rock layers. The rock layers are interpreted as top soil with a resistivity value of 206.8 – 1204.92 ohm m, limestone with a resistivity value of 767.51 – 1563.65 ohm m, sand and gravel with a resistivity value of 270.84 ohm m, clay with a resistivity value of 319.39 – 473.97 ohm m, limestone sandstones with a resistivity value of 17.22 ohm m, and marl with a resistivity value of 814.17 – 982.94 ohm m. Groundwater sources potential are estimated to only exist at points of S-L1 and S-L2 which are limestone sandstone layers with a resistivity value of 17.22 – 47.02 ohm m at a depth of 11.80 - 70.00 m and interpreted as shallow aquifer.

Key words: geoelectric resistivity, groundwater sources, karst mountains, Darmakradenan Village

PENDAHULUAN

Air permukaan dan air tanah merupakan sumber air utama yang digunakan oleh masyarakat untuk memenuhi berbagai kebutuhan hidup. Air tanah terdapat di dalam lapisan batuan yang mengandung air secara ekonomis, yang disebut akuifer [1]. Kedalaman air tanah di suatu daerah tidak sama dengan daerah lainnya, tergantung ketebalan lapisan penutup dan posisi lapisan akuifernya [2]. Untuk mendapatkan informasi tentang susunan lapisan batuan bawah permukaan termasuk lapisan akuifer, maka kegiatan penyelidikan bisa dilakukan, agar keberadaan akuifer, kedalaman dan ketebalannya dapat diidentifikasi dengan mudah. Beberapa teknik penyelidikan

keberadaan dan potensi air tanah yang bisa dilakukan antara lain adalah metode geologi, magnetik, gravitasi, seismik dan metode geolistrik. Diantara metode-metode tersebut, metode geolistrik merupakan metode yang banyak sekali digunakan untuk eksplorasi air tanah dimana hasilnya cukup baik sebab metode ini memiliki beberapa keunggulan daripada metode yang lain [3]. Keunggulan metode ini adalah peralatannya relatif murah dibandingkan dengan metode lain, biaya survei relatif murah, waktu yang dibutuhkan relatif cepat, dan bisa diterapkan untuk berbagai bidang, seperti bidang geoteknik, pertambangan, perminyakan, hidrologi dan lain-lain [4].

Geolistrik merupakan salah satu metode survei geofisika yang bertujuan untuk

mengidentifikasi sifat-sifat kelistrikan batuan bawah permukaan dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah. Geolistrik merupakan metode survei geofisika aktif, karena arus listrik ini berasal dari luar sistem [5]. Tujuan survei geolistrik adalah untuk memperoleh nilai resistivitas batuan. Resistivitas adalah besaran fisika yang menunjukkan tingkat hambatan benda terhadap arus listrik. Batuan yang memiliki nilai resistivitas besar, menunjukkan bahwa batuan tersebut sulit dialiri arus listrik. Resistivitas batuan dapat diukur dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah melalui dua elektrode di permukaan tanah dan mengukur beda potensial yang muncul di permukaan yang sama melalui dua elektrode pada titik yang lain [6]. Hasil pengukuran geolistrik-resistivitas dapat berupa peta sebaran resistivitas batuan baik secara *mapping* (horisontal) maupun *sounding* (vertikal). Penerapan pengukuran geolistrik secara *mapping* maupun *sounding* disesuaikan dengan kebutuhan dilakukannya akuisisi data resistivitas serta jenis konfigurasi yang digunakan [7].

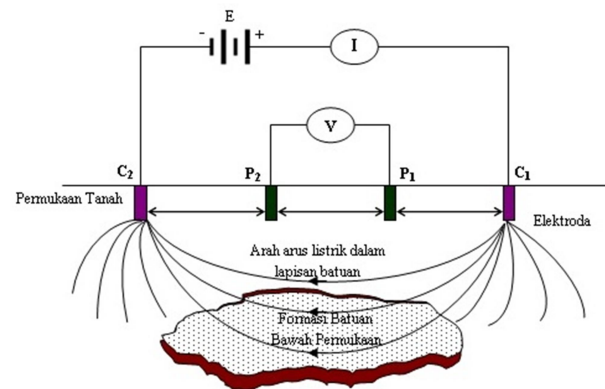
Darmakradenan merupakan salah satu desa di Kecamatan Ajibarang, Kabupaten Banyumas yang mempunyai potensi bahan tambang batukapur terbesar se-kabupaten. Di wilayah itu terdapat gugusan perbukitan batukapur yang memanjang kurang lebih empat kilometer melewati beberapa kecamatan, seperti Ajibarang, Gumelar, dan Pekuncen [8]. Berdasarkan data dari Dinas Pertambangan Kabupaten Banyumas jumlah cadangan batukapur (*limestone*) yang dapat dieksploitasi di daerah tersebut dapat mencapai 442.181.173 ton [9]. Jumlah tersebut hanya cadangan di Desa Darmakradenan, adapun di desa dan kecamatan lain tidak diperhitungkan [9]. Dengan demikian jumlah cadangan kapur di perbukitan tersebut jauh lebih besar daripada yang disampaikan Pemerintah Daerah. Awalnya penambangan batukapur masih dilakukan secara manual menggunakan cangkul, linggis, dan lain-lain, namun sekarang telah mengalami kemajuan dengan melibatkan alat berat. Apalagi saat ini telah berdiri pabrik semen yang juga menambang material batukapur di gugusan perbukitan kapur tersebut. Meskipun dampak positifnya sangat besar, namun kegiatan ini dikhawatirkan berdampak terhadap menurunnya fungsi akuifer air tanah, sehingga masyarakat mengalami kesulitan untuk mendapatkan sumber air bersih. Oleh sebab itu, survei resistivitas yang bertujuan untuk mengeksplorasi sumber-sumber air tanah (lapisan akuifer) perlu

dilakukan di kawasan perbukitan kapur (*karst*) tersebut.

LANDASAN TEORI

A. Metode Geolistrik Resistivitas

Geolistrik merupakan salah satu metoda geofisika untuk mengetahui perubahan resistivitas lapisan batuan di bawah permukaan tanah dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Injeksi arus listrik menggunakan 2 buah elektrode C_1 dan C_2 yang ditancapkan ke dalam tanah pada jarak tertentu. Semakin panjang jarak elektrode arus, akan mengakibatkan arus listrik menembus lapisan batuan lebih dalam. Dengan adanya aliran arus listrik tersebut, maka akan menimbulkan polarisasi listrik di dalam tanah. Beda potensial yang terjadi akibat polarisasi listrik pada permukaan ini diukur melalui dua buah elektrode potensial di titik P_1 dan P_2 . Apabila jarak bentangan elektrode arus diubah menjadi lebih besar, maka beda potensial yang terjadi juga ikut berubah sesuai dengan jenis batuan yang terinjeksi oleh arus listrik pada kedalaman tertentu [10]. Skema pengukuran resistivitas di dalam survei geolistrik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pengukuran resistivitas batuan bawah permukaan di dalam survei geolistrik [11].

Setelah diperoleh nilai arus (I) dan beda potensial (ΔV), maka resistivitas semu (*apparent resistivity*) untuk masing-masing lapisan batuan bisa dihitung dengan persamaan [12]:

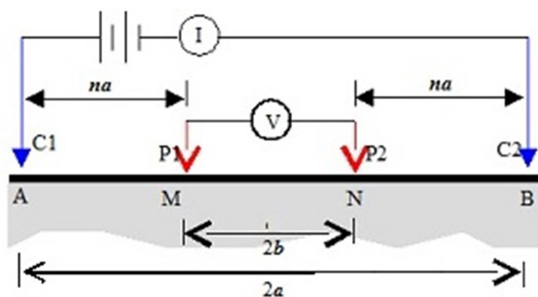
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

di mana K adalah faktor geometri. Besarnya faktor geometri tergantung dari konfigurasi elektrode yang digunakan dalam pengukuran geolistrik ini. Untuk konfigurasi Schlumberger, susunan dan jarak bentangan antar elektrode

didesain seperti terlihat pada **Gambar 2**, dengan nilai faktor geometri dapat dirumuskan sebagai berikut [12]:

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

Resistivitas semu terjadi karena bumi tersusun atas lapisan-lapisan batuan dengan nilai ρ yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur dipengaruhi lapisan-lapisan tersebut. Dengan demikian nilai resistivitas yang terukur bukan nilai resistivitas untuk sebuah lapisan saja, terutama untuk spasi elektroda yang lebar [13]. Nilai resistivitas beberapa jenis batuan dan mineral ditunjukkan pada **Tabel 1**.



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

Tabel 1. Tabel resistivitas batuan dan material lain [12]

Material	Resistivitas (Ωm)
Udara	~
Kuarsa	500 – 800.000
Garam batu	$30 - 1 \times 10^{13}$
Granit	200 – 10.000
Andesit	1.700 – 45.000
Basaltik	200 – 100.000
Gamping	500 – 10.000
Batupasir	200 – 8.000
Pasir	1 – 1.000
Lempung	1 – 100
Air tanah	0,5 – 300
Air asin	0,2
Kerikil kering	600 – 10.000
Alluvium	10 – 800
Kerikil	100 – 600

Konfigurasi Schlumberger pada survei geolistrik memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya adalah dapat untuk mendeteksi adanya non-homogenitas lapisan batuan di dekat dan bawah permukaan, yaitu dengan membandingkan nilai resistivitas semu ketika jarak bentangan elektroda potensial MN/2

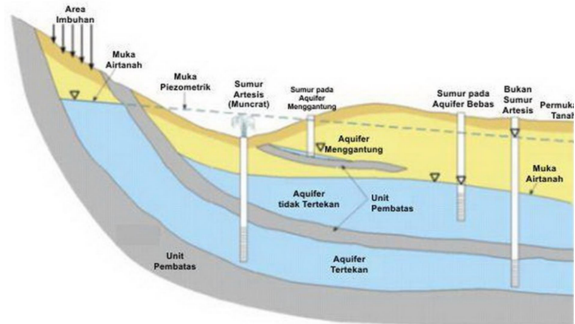
berubah. Tetapi kelemahan konfigurasi Schlumberger adalah pembacaan beda potensial pada elektroda MN lebih kecil terutama pada saat jarak elektroda AB yang relatif jauh [13]. Konfigurasi Schlumberger biasanya digunakan untuk *Sounding*, yaitu pengambilan data resistivitas batuan bawah permukaan yang difokuskan secara vertikal, sehingga sering disebut teknik *Vertical Electrical Sounding* (VES).

B. Akuifer Air Tanah

Akuifer merupakan formasi geologi yang jenuh sehingga dapat dijadikan pemasok air dalam jumlah yang ekonomis (jumlahnya cukup untuk suatu keperluan seperti domestik, pertanian, peternakan, industri, dan lainnya). Oleh sebab itu formasi ini harus mampu menyimpan dan melewatkan air. Akuifer juga diartikan suatu satuan geologi yang jenuh dan dapat memasok air ke dalam sumur atau mata air sehingga dapat digunakan sebagai sumber air manusia dan makhluk hidup lainnya. Akuifer disebut juga *water bearing formation* atau formasi yang mengandung air, dan disebut juga sebagai *groundwater reservoir* atau waduk air tanah. Untuk dapat berfungsi sebagai akuifer, suatu batuan haruslah berpori atau berongga yang berkaitan satu dengan lain, sehingga dapat menyimpan dan meloloskan air tanah untuk bergerak dari rongga ke rongga lain dalam lapisan batuan.

Air tanah adalah air yang tersimpan di bawah permukaan tanah, dimana pergerakannya mengikuti prinsip dasar fisika khususnya fluida [14]. Keberadaannya di permukaan bumi sangat tergantung dari ada tidaknya lapisan akuifer. Secara alami tidak seluruh batuan dapat bertindak sebagai akuifer, mengingat akuifer sangat bergantung terhadap ruang antar butiran (pori-pori batuan) dan permeabilitasnya. Batupasir atau batuan sedimen yang tersusun atas butir kasar memiliki persyaratan untuk itu, terutama beberapa batuan yang belum terkompakan (*unconsolidated rock*). karena itu juga sangat tergantung pada umur batuan. Batuan-batuan yang berumur tua biasanya telah mengalami kompaksi atau pemadatan dan sementasi sehingga ruang antar butiran menjadi rapat dan termampatkan. Hal ini menyebabkan batuan ini tidak dapat menampung dan meloloskan air dalam jumlah banyak dan bahkan cenderung kedap (*impermeable*). Batuan seperti ini memiliki permeabilitas dan porositasnya kecil, demikian juga halnya batuan beku dan batuan metamorf. Pada zona-zona

seperti ini sangat sulit diharapkan ada air tanah, kecuali pada batuan-batuan tersebut banyak ditemui rekahan yang sering disebut sebagai akuifer rekahan (*fracture aquifer*) [15]. Contoh lapisan akuifer ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Model penampang batuan bawah permukaan yang memperlihatkan lapisan akuifer air tanah [14].

METODE PENELITIAN

A. Persiapan

Pada tahap persiapan ini, kegiatan yang dilakukan adalah melakukan survei geologi pendahuluan di lokasi penelitian, menyiapkan peralatan resistivitymeter dan kelengkapannya, membentuk tim penelitian, khususnya tim akuisisi data di lapangan, mempelajari peta topografi dan peta geologi serta hasil survei pendahuluan untuk menentukan letak titik-titik *sounding* survei geolistrik di lokasi penelitian. Peralatan Naniura Resistivity-meter yang digunakan di dalam akuisisi data resistivitas ditunjukkan pada **Gambar 4**,

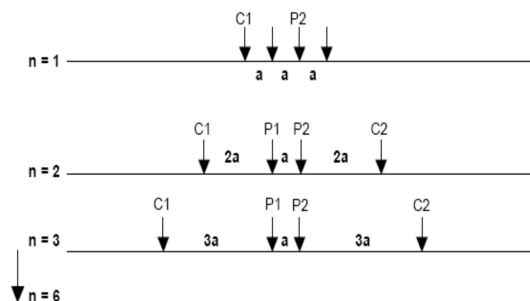


Gambar 4. Peralatan Naniura Resistivity meter yang digunakan dalam akuisisi data resistivitas.

B. Pelaksanaan

Teknik akuisisi data resistivitas yang digunakan di dalam survei geolistrik adalah teknik *Vertical Electrical Sounding* menggunakan konfigurasi Schlumberger. Teknik akuisisi ini dapat

dilakukan dengan cara memvariasi jarak bentangan elektroda C_1 terhadap P_1 , dan C_2 terhadap P_2 sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 5**. Mula-mula jarak bentangan antar masing-masing elektroda dibuat sama misalnya a . Lalu dilakukan pengukuran data yang meliputi kuat arus, beda potensial, dan jarak $\frac{1}{2}AB$ dan $\frac{1}{2}MN$. Pada saat pengukuran berikutnya jarak bentangan elektroda C_1 diperlebar terhadap P_1 dan C_2 diperlebar terhadap P_2 , misalnya $2a$. Demikian seterusnya sehingga pengukuran mencakup seluruh 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 jauh, asalkan terpenuhi syarat $AB \geq 5MN$ [16]. Pemvariasian jarak antar elektroda secara gradual dilakukan untuk memperoleh data kedalaman dan jenis batuan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas secara vertikal (*vertical sounding*). Semakin panjang jarak bentangan elektroda, maka informasi struktur dan jenis lapisan batuan bawah permukaan yang diperoleh juga semakin dalam [12].



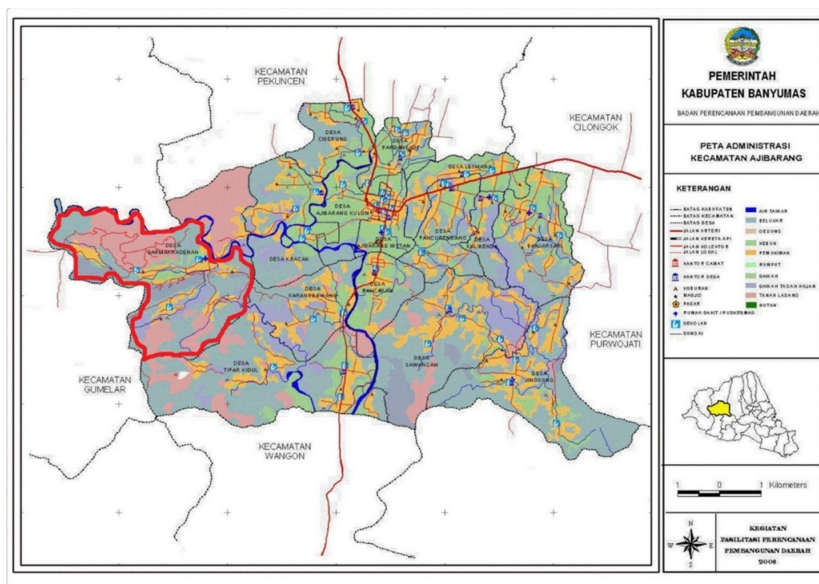
Gambar 5. Pergerakan elektroda arus dan elektroda potensial dalam survei geolistrik resistivitas konfigurasi Schlumberger.

Hasil akuisisi data resistivitas menggunakan teknik VES menghasilkan data resistivitas semu. Nilai resistivitas semu, selanjutnya diplot sehingga dapat diperoleh kurva logaritmik antara resistivitas semu masing-masing lapisan (ρ_a) versus jarak bentangan $\frac{1}{2}AB$. Kurva logaritmik tersebut digunakan sebagai dasar dalam pemodelan, sehingga diperoleh kurva resistivitas sesungguhnya (*true resistivity*) versus jarak $\frac{1}{2}AB$ dan $\log$ resistivitas lapisan-lapisan batuan dilengkapi dengan kedalamannya. *Log* resistivitas ini, selanjutnya diinterpretasi secara litologi sehingga diperoleh *log* litologi batuan bawah permukaan. Proses interpretasi dilakukan berdasarkan tabel resistivitas batuan dan informasi geologi daerah penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi data resistivitas dilakukan pada bulan April 2017 di Desa Darmakradenan, Kecamatan Ajibarang, Kabupaten Banyumas, dengan peta lokasi ditunjukkan pada **Gambar 5**. Berdasarkan informasi geologi, Desa Darmakradenan terdiri atas formasi Tapak (Tpt) dan anggota batugamping formasi Tapak (Tptl) [17]. Formasi Tapak mendominasi bagian utara yang tersusun atas batupasir kasar berwarna kehijauan dan konglomerat, serta breksi andesit

setempat. Pada bagian atas terdiri atas batupasir gampingan dan napal berwarna hijau yang mengandung kepingan moluska [17]. Adapun anggota batugamping dari Formasi Tapak terdapat di bagian selatan yang terdiri atas lensa-lensa batugamping yang tak berlapis, berwarna kelabu kekuningan [17]. Di desa Darmakradenan, cadangan batugamping terdapat di beberapa grumbul, antara lain di Pegawulan, Karangpucung, Angkruk dan Darma [9].

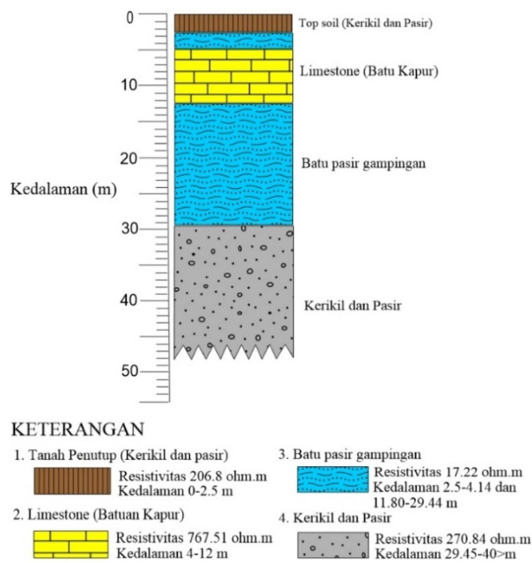


Gambar 5. Peta Kecamatan Ajibarang Kabupaten Banyumas; lokasi penelitian Desa Darmakradenan ditunjukkan di dalam garis merah [18].

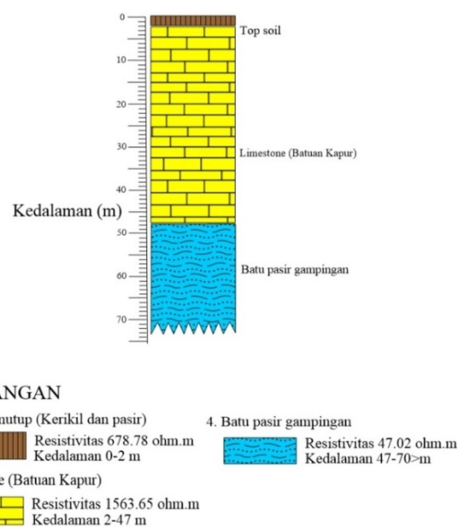
Pengolahan data kuat arus (I) dan beda potensial (ΔV) yang diperoleh dari akuisisi data resistivitas menggunakan alat Naniura Resistivimeter dilakukan untuk mendapatkan nilai resistivitas semu setiap segmen pengukuran. Hasil yang diperoleh adalah kurva resistivitas semu *versus* jarak $\frac{1}{2} AB$. Selanjutnya nilai resistivitas semu yang telah didapatkan ini dimodelkan secara inversi sehingga dapat diperoleh kurva resistivitas sesungguhnya (*true resistivity*) *versus* jarak $\frac{1}{2} AB$ dan *log* resistivitas seperti telah dijelaskan di bagian **Metode Penelitian**. *Log* resistivitas ini merepresentasikan jenis-jenis lapisan batuan bawah permukaan berdasarkan nilai tahanan jenisnya. Hasil interpretasi terhadap *log* resistivitas telah menghasilkan *log* litologi batuan bawah permukaan, seperti dapat dilihat pada **Gambar 7** hingga **Gambar 11**. Proses interpretasi mengacu pada informasi geologi setempat [17] dan tabel resistivitas batuan

sebagaimana telah dijelaskan di bagian Tinjauan Pustaka.

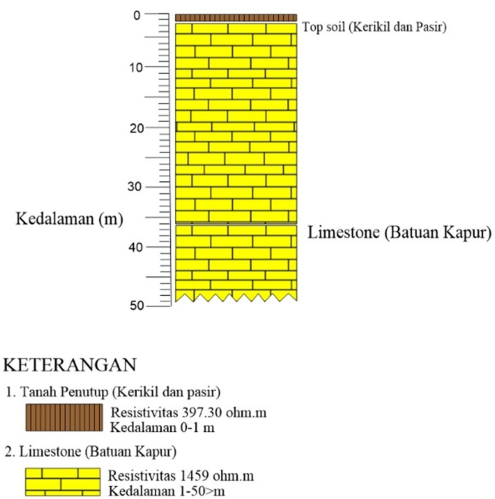
Titik *sounding* pertama (L1) berada pada posisi geografis $7^{\circ}25'21.31''$ LS dan $109^{\circ}2'21.01''$ BT dan terletak di bawah bukit kapur. Titik *sounding* kedua (L2) berada pada posisi geografis $7^{\circ}25'21.15''$ LS dan $109^{\circ}2'22.20''$ BT yang sejajar dengan titik L1. Titik *sounding* ketiga (L3) terletak relatif cukup jauh dari titik L2 pada posisi geografis $7^{\circ}25'29.29''$ LS dan $109^{\circ}2'19.70''$ BT. Kawasan antara titik L2 dan L3 tidak dapat diambil datanya, sebab kondisi topografi yang curam dan tidak terdapat area untuk membentangkan kabel sejauh 200 m secara lurus dan datar. Titik *sounding* keempat (L4) terletak pada koordinat $7^{\circ}25'30.79''$ LS dan $109^{\circ}2'19.43''$ BT. Sedangkan titik *sounding* kelima (L5) terletak pada posisi geografis $7^{\circ}25'31.59''$ LS dan $109^{\circ}2'20.66''$ BT. Selanjutnya hasil korelasi litologi lima titik *sounding* dapat dilihat pada **Gambar 12**.



Gambar 7. Log litologi hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas pada titik *sounding* L1.

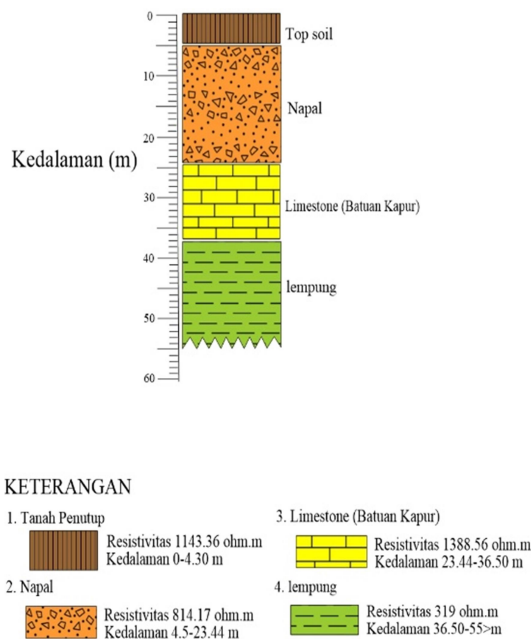


Gambar 8. Log litologi hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas pada titik *sounding* L2.



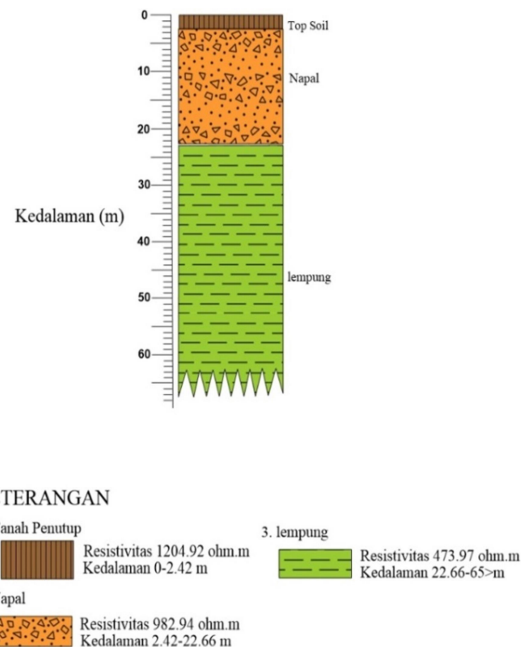
Gambar 9. Log litologi hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas pada titik *sounding* L3.

Hasil pemodelan dan interpretasi pada titik *sounding* L1 menunjukkan keberadaan lapisan batupasir gampingan pada kedalaman 11.80 – 29.44 m dengan nilai resistivitas sebesar 17.22 Ω m. Lapisan ini diestimasi sebagai lapisan akuifer air tanah. Lapisan ini diperkirakan menyambung dengan lapisan batupasir gampingan pada titik *sounding* L2, yang berada di kedalaman > 47 m dengan nilai resistivitas 47.02 Ω m. Nilai resistivitas yang relatif tinggi dikaitkan dengan kemampatan batupasir gampingan pada lokasi L2. Pada titik *sounding* L3, L4, dan L5, lapisan akuifer tidak bisa dideteksi berdasarkan hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas. Ini diduga akibat panjang bentangan kabel arus hanya 200 m, sehingga kedalaman maksimum yang terdeteksi hanya 100 m [12]. Di kawasan perbukitan karst sebenarnya sering dijumpai sungai bawah tanah yang menjadi pemasok ketersediaan air tanah yang sangat dibutuhkan di kawasan yang berada di atasnya. Umumnya kedalaman sungai-sungai tersebut sangat besar, sehingga sulit terdeteksi pada penelitian ini. Namun hal ini tidak menunjukkan bahwa di bawah perbukitan *karst* daerah penelitian ini terdapat sungai bawah tanah. *Karst* memiliki gaya permeabilitas yang relatif lamban dan didominasi oleh pori-pori mikro [18].



Gambar 10. Log litologi hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas pada titik *sounding* L4.

Hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas di titik *sounding* L1 hingga *sounding* L4 menunjukkan keberadaan lapisan batuan kapur (*limestone*). Batukapur ini sudah mulai terdeteksi pada kedalaman 1 m dengan nilai resistivitas yang berkisar 767.51 – 1563.65 Ω m. Bahkan pada titik *sounding* L2 dan L3 batukapur cukup dominan. Oleh sebab itu daerah yang terletak di antara titik L2 dan L3 diestimasi didominasi oleh batukapur, meskipun di kawasan tersebut tidak terdapat titik *sounding* data [19]. Hal ini terlihat pada hasil korelasi *log-log* litologi seperti ditunjukkan pada **Gambar 12**.



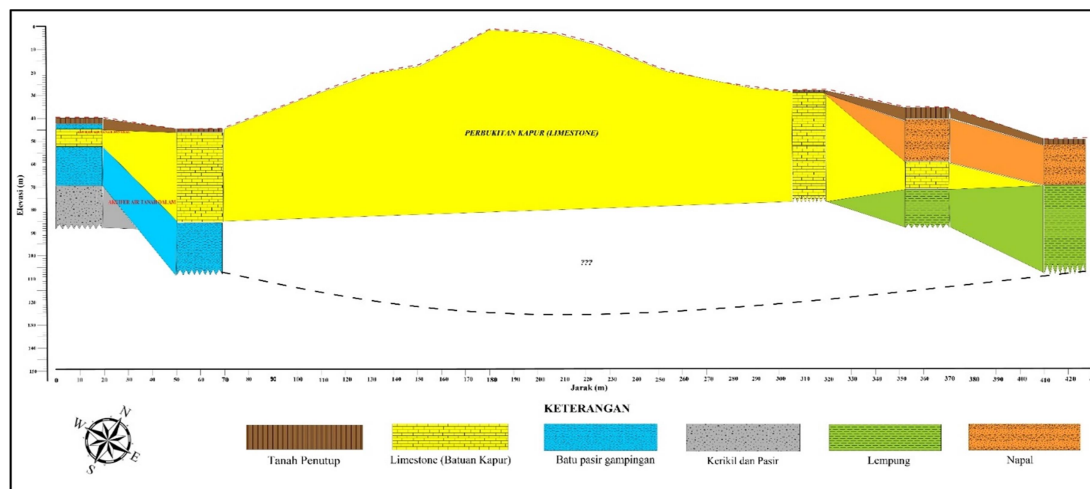
Gambar 11. Log litologi hasil pemodelan dan interpretasi data resistivitas pada titik *sounding* L5.

Selain batukapur yang menjadi sumberdaya alam utama di daerah penelitian, lapisan batuan lain yang diperoleh dari pemodelan dan interpretasi adalah kerikil dan pasir, napal, dan lempung. Kerikil dan pasir dijumpai pada titik *sounding* L1 dengan nilai resistivitas sebesar 270.84 Ω m. Tingginya nilai resistivitas menunjukkan bahwa lapisan batuan relatif mampat dan padat, sehingga kandungan airnya sangat kecil. Selanjutnya batuan napal dan lempung ditemukan pada titik *sounding* L4 dan L5, dengan nilai resistivitas yang berkisar 814.17 – 982.94 Ω m untuk napal dan 319.00 – 473.97 Ω m untuk lempung. Nilai resistivitas yang sangat tinggi tersebut mengindikasikan bahwa kedua jenis batuan dalam kondisi kering atau mampat sehingga tidak berpotensi mengandung air tanah secara signifikan [20].

Seluruh log litologi dan korelasinya menunjukkan bahwa potensi air tanah di daerah penelitian diperkirakan kecil. Log litologi yang menunjukkan keberadaan akuifer hanya ada di titik *sounding* L1 dan L2, namun nilai resistivitasnya cukup besar, berkisar 17,22 – 47,02 Ω m. Secara litologi, batuan ini diinterpretasi sebagai batupasir gampingan. Nilai resistivitas yang besar mengindikasikan bahwa kandungan air di dalam lapisan batuan tersebut umumnya kecil [20]. Kemungkinan lapisan akuifer pada dua titik *sounding* tersebut merupakan jalur bagi air permukaan untuk mengalir menuju ke akuifer dalam atau sungai di

bawah perbukitan *karst* yang biasanya sangat dalam. Hasil-hasil pemodelan data resistivitas dengan panjang bentangan 200 m sebagaimana penelitian ini, secara teoritis hanya dapat menjangkau kedalaman maksimum 100 m [12]. Hasil pemodelan dan interpretasi pada penelitian ini tidak menemukan keberadaan akuifer dalam

dan/atau sungai bawah tanah. Oleh sebab itu sumber-sumber air tanah yang potensial di daerah penelitian tidak ditemukan berdasarkan hasil eksplorasi menggunakan metode geolistrik resistivitas dengan panjang bentangan elektroda arus sebesar 200 m.



Gambar 12. Penampang litologi batuan bawah permukaan hasil korelasi antar log litologi pada masing-masing titik *sounding*.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang eksplorasi sumber air tanah bawah perbukitan kapur (*karst*) menggunakan metode geolistrik resistivitas dengan konfigurasi Schlumberger yang dilaksanakan di Desa Darmakradenan Kecamatan Ajibarang Kabupaten Banyumas dapat disimpulkan:

1. Struktur batuan bawah permukaan di daerah penelitian terdiri atas enam satuan litologi, yaitu: tanah penutup (206.80 – 1204.93 Ωm), batukapur (767.51 – 1563.65 Ωm), batupasir gampingan (17.22 – 47.02 Ωm), pasir dan kerikil (270.84 Ωm), napal (814.17 – 982.94 Ωm), dan lempung (319.00 – 473.97 Ωm).
2. Lapisan yang diduga mengandung air hanya ditemukan pada titik *sounding* L1 dan L2 pada lapisan batupasir gampingan dengan nilai resistivitas 17.22 – 47.02 Ωm . Namun lapisan batuan ini diperkirakan bukan akuifer yang potensial, dan diestimasi merupakan jalur bagi air permukaan untuk mengalir menuju ke akuifer dalam atau sungai bawah perbukitan *karst*.
3. Eksplorasi menggunakan metode geolistrik resistivitas dengan panjang bentangan

elektroda arus 200 m tidak menemukan keberadaan sumber-sumber air tanah yang potensial di daerah penelitian.

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] H. Bouwer, *Groundwater Hydrology*. McGraw-Hill Book Company, New York, 1978.
- [2] I. I. S. Purnama, “Ketersediaan dan Kualitas Airtanah pada Akuifer Tidak Tertekan di Kecamatan Jawilan dan Kopo Kabupaten Serang”, *Majalah Geografi Indonesia* 33(1) (2019) 16-25.
- [3] M.R.S.S. Kumar, 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.
- [4] 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.
- [5] A.S. Wijaya, “Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner untuk Menentukan Struktur Tanah di Halaman Belakang SCC ITS Surabaya”, *Jurnal Fisika Indonesia* 19(55) (2015) 1-5.
- [6] P. Lepong, Supriyanto, S. Wahyuningsih, Hardiyanto, “Appli-cation of Multi-Array Electrical Resistivity Tomography in PT. Bukit Baiduri Energi Coal Mining-East Kalimantan”, *Indonesian Mining Journal* 21(1) (2018) 1-7.
- [7] M.A. Khalil, F.A.M. Santos, “2D and 3D Resistivity Inversion of Schlumberger Vertical Electrical Soundings in Wadi El Natrun, Egypt: A Case Study”, *Journal of Applied Geophysics* 89 (2013) 116-124.
- [8] Tempo.co, Spiderman di atas Bukit Kapur. Edisi: Senin, 24 September 2012. Sumber: <https://nasional.tempo.co/read/43-1411/spiderman-di-atas-bukit-kapur>, Diakses: 3 Feb 2021.
- [9] R. Hutamadi, Mulyana. “Evaluasi Sumberdaya dan Cadangan Bahan Galian untuk Pertambangan Skala Kecil Daerah Kabupaten Banyumas Provinsi Jawa Tengah”, Badan Geologi. Kementerian ESDM, Jakarta, 2011.
- [10] 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.
- [11] Seha, A. N.Aziz, “Pendugaan Kedalaman Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger di Desa Bojongsari Kecamatan Alian Kabupaten Kebumen”, *Jurnal Neutrino* 8(2) (2016) 41-49.
- [12] W. M. Telford, L. P. Geldart, R. E. Sheriff, *Applied Geophysics*, Cambridge University, New York. USA, 1990.
- [13] AGI. Schlumberger Array: Electrical Resistivity Methods, Part2. Sumber: <https://www.agiusa.com/schlumberger-array>. Diakses: 3 Feb 2021.
- [14] 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.
- [15] H. Hendrayana, *Hidrogeologi Mata Air. Lecture note. Teknik Geologi*, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada (UGM). Yogyakarta, 2013.
- [16] Lutan, A, *Metode Pengukuran Tahanan Jenis Bawah Permukaan Tanah. DikLat Geofisika Eksplorasi Terbatas*, Lembaga Fisika Nasional, LIPI, Jakarta, 1981.
- [17] M. Djuri, H. Samodra, S. Gafoer, Peta Geologi Lembar Purwokerto – Tegal Jawa; Skala 1:100,000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G), Bandung, 1996.
- [18] S. Sarminah, Indirwan, “Kajian Laju Infiltrasi pada Beberapa Tutupan Lahan di Kawasan Karst Sangkulirang-Mangkalihat Kabupaten Kutai Timur”, *Jurnal AGRIFOR* 16(2) (2017) 301-310.
- [19] R.F. Aziz, “Arahan Teknik Reklamasi Tambang Batugamping Berdasarkan Tingkat Kerusakan Lahan di Desa Darmakrade-nan, Kec. Ajibarang, Kab. Banyumas Jawa Tengah”, Skripsi. Program Studi Teknik Lingkungan, FTM, UPN “Veteran” Yogyakarta, Desember, 2017.
- [20] K.M. Arsyad, *Modul Geologi dan Geoteknik: Pelatihan Perencanaan Embung. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumberdaya Air dan Konstruksi. Badan Pengembangan Sumberdaya Manusia. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*, Bandung, 2017.

Rancang bangun sistem peringatan kemiringan menara dan overload jembatan gantung berbasis sensor kemiringan dan sensor massa

Haris Saefurrahman*, Hartono, dan Farzand Abdullatif

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Jalan Dr. Suparno No.61 Grendeng Purwokerto Jawa Tengah

*email: harissaefurrahman22@gmail.com

Abstrak - Jembatan gantung sangat penting sebagai sarana transportasi. Namun perlu pemantauan agar konstruksi jembatan aman bagi pengguna. Akibat beban lebih seringkali jembatan gantung mengalami kemiringan bahkan roboh. Oleh karena itu perlu sistin peringatan dini. Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem peringatan kemiringan dan overload pada jembatan gantung secara otomatis. Rancangan sistem memanfaatkan sensor Load Cell sebagai alat pengukur massa dan sensor kemiringan MPU6050 sebagai alat pengukur kemiringan. Disamping itu memanfaatkan mikrokontrol arduino sebagai pusat kendali sistem elektronika, sekaligus sebagai pengatur fungsi logika peringatan untuk mengaktifkan LED, buzzer dan LCD. Hasil pengujian karakteristik statik sensor kemiringan dan sensor massa memiliki rata-rata nilai akurasi sebesar 96,39% dan 99,55%, presisi sebesar 96,33% dan 99,55%, error sebesar 3,61% dan 0,45% serta waktu respon sebesar 1 detik dan 2 detik. sensor load cell dan sensor kemiringan memiliki sensitifitas tinggi. Hasil rancang bangun sistem peringatan kemiringan menara dan overload jembatan gantung menggunakan sensor kemiringan dan sensor massa dapat bekerja dengan baik. Uji coba menunjukkan kedua sensor telah mampu memberikan peringatan dini apabila sensor mendeteksi kemiringan melebihi $1,11^\circ$ dan beban melebihi 500 gram.

Kata Kunci: kapasitansi, larutan elektrolit, membran

Abstract - Suspension bridges are very important as a means of transportation. However, monitoring is needed so that the bridge construction is safe for users. As a result of more loads, suspension bridges often tilt and even collapse. Therefore, an early warning system is needed. The purpose of this study is to design a slope and overload warning system on a suspension bridge automatically. The system design utilizes the Load Cell sensor as a mass measuring device and the MPU6050 tilt sensor as a slope measuring device. Besides that, it utilizes the Arduino microcontroller as the control center of the electronic system, as well as controlling the warning logic function to activate the LED, buzzer and LCD. The results of testing the static characteristics of the tilt sensor and mass sensor have an average accuracy value of 96.39% and 99.55%, a precision of 96.33% and 99.55%, an error of 3.61% and 0.45% and response time of 1 second and 2 seconds. load cell sensor and tilt sensor have high sensitivity. The results of the design of the tower slope warning system and suspension bridge overload using tilt sensors and mass sensors can work well. Tests show that both sensors have been able to provide early warning if the sensor detects a slope exceeding 1.11° and a load exceeding 500 grams.

Keywords: Slope of towers, suspension bridge, overload, MPU6050 sensors, load cell sensor.

PENDAHULUAN

Jembatan gantung adalah jembatan yang berfungsi sebagai penghubung dua bagian jalan yang terputus oleh sungai atau jurang. Ketersediaan jembatan gantung sebagai salah satu prasarana transportasi diperlukan guna menunjang kelancaran arus lalu lintas di daerah-daerah. Guna menjamin keselamatan dan kenyamanan pengguna diperlukan peninjauan kelayakan konstruksi jembatan gantung tersebut. Peninjauan rutin jembatan berkontribusi terhadap umur jembatan. Disamping itu masih ada faktor lain yang menyebabkab pengurangan umur jembatan [1].

Salah satu faktor yang dapat mengurangi umur jembatan menjadi tidak sesuai dengan umur rencana awal yaitu *overload*. Pembebanan berlebih (*overload*) terjadi karenat pengguna jembatan mengabaikan beban yang dibawanya. Dampak dari pembebanan berlebih jembatan dapat mengalami kemiringan bahkan keruntuhan [2]. Seperti yang terjadi pada jembatan gantung Kutai Kartanegara yang mengalami keruntuhan. Menara jembatan Kutai Kartanegara mengalami kemiringan sebesar $1,11^\circ$ [3]. Pengawasan jembatan gantung selama ini dilakukan dengan cara manual sehingga pengguna jembatan yang muatan lebih tidak dapat dipantau dengan akurat. Oleh karena itu,

diperlukan sistem peringatan yang dapat memantau kondisi jembatan baik itu beban pengguna jembatan gantung maupun kondisi menara jembatan gantung.

Pada penelitian ini akan dibuat sistem peringatan kemiringan menara dan *overload* jembatan gantung berbasis sensor kemiringan dan sensor massa. Sensor kemiringan yang digunakan yaitu *accelerometer*, serta sensor *Load Cell* digunakan sebagai sensor deteksi beban sebagai beban bergerak atau beban hidup.

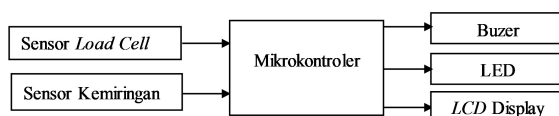
METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Elektronika Instrumentasi dan Geofisika dan Laboratorium Fisika Dasar, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Soedirman. Penelitian dilakukan mulai November 2020 hingga Februari 2021.

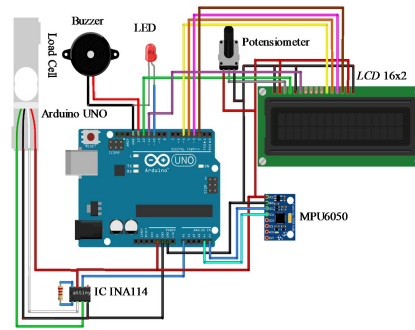
Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari arduino UNO, laptop, arduino IDE, busur, dan neraca digital. Bahan-bahan yang digunakan terdiri dari sensor kemiringan MPU6050, sensor *load cell*, *buzzer*, LCD 16 x 2, potensiometer, IC INA 114, LED dan. papan tripleks.

Penelitian dibagi menjadi empat tahapan. Pertama pengujian karakteristik statik sensor, yang terdiri dari pengujian massa terhadap tegangan keluaran sensor *load cell* dan pengujian sudut terhadap nilai ADC sensor kemiringan.

Tahap kedua adalah perancangan alat dan perangkaian sistem. Guna mempermudah dan memandu dalam merangkai komponen elektronika maka dibuat diagram blok seperti **Gambar 1**. Sensor *Load Cell* dan sensor kemiringan sebagai *input* sistem. Mikrokontroler berfungsi sebagai pengkondisi sinyal. *Output* dari sistem ditampilkan pada *buzzer*, *LED* (*Light Emitting Diode*), dan *LCD*. Realisasi rangkaian sistem elektronika berdasarkan blok diagram pada Gambar 1 ditunjukkan pada **Gambar 2**.

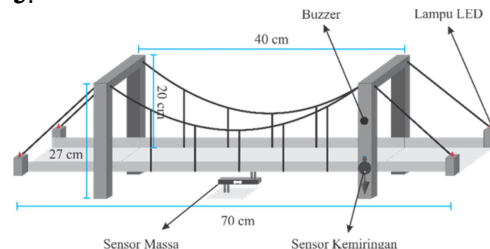


Gambar 1. Diagram blok guna memandu pembuatan sistem elektronika



Gambar 2. Rancangan rangkaian sistem elektronika peringatan kemiringan menara dan *overload* jembatan gantung

Selanjutnya rangkaian sistem elektronika dirangkai pada jembatan gantung. LED dirancang menyala dan buzzer berbunyi apabila terjadi kelebihan beban dan kemiringan yang membahayakan. Desain sistem peringatan jembatan gantung diperlihatkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Desain sistem peringatan jembatan gantung

Pada tahap ketiga dilakukan pembuatan program arduino. Program arduino dibuat menggunakan program Arduino IDE (Integrated Development Environment). Arduino diprogram pada keadaan tertentu agar memberikan sinyal ke aktuator. Terdapat 4 keadaan pada sistem logika program arduino.

Tahap terakhir yaitu pengujian sistem untuk memastikan bahwa seluruh rangkaian berjalan dengan baik. Komponen pertama yang diuji adalah sensor *Load cell* dengan membandingkan nilai massa dari sensor dengan neraca digital terkalibrasi. Serta komponen kedua yang diuji adalah sensor kemiringan seri MPU6050 dengan membandingkan nilai sudut dari sensor dengan sudut dari busur.

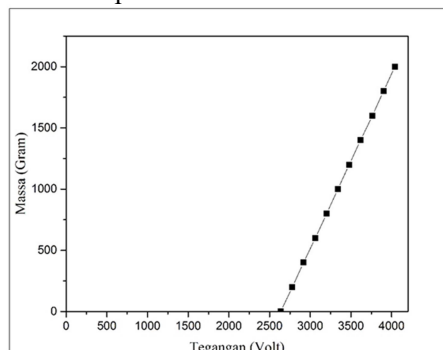
Uji model jembatan dilakukan pada skala laboratorium. Batas beban yang digunakan yaitu 500 gram, diasumsikan ketika beban melebihi 500 gram akan menyebabkan jembatan dalam kondisi bahaya. Batas kemiringan yang

digunakan yaitu $1,11^\circ$ dengan mengacu pada kasus Jembatan Kutai Kartanegara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sensor Load cell dan sensor kemiringan

Pengujian sensor *Load cell* dilakukan dengan menguji pengaruh beban terhadap tegangan keluaran sensor. Pengujian dilakukan bervariasi beban pada rentang 0 g sampai 2000 g. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh akurasi sensor *Load Cell* sebesar 98,83% dan presisi 98,18%. Hasil pengujian pembebanan terhadap tegangan keluaran sensor diperoleh kurva kalibrasi pada **Gambar 4**.



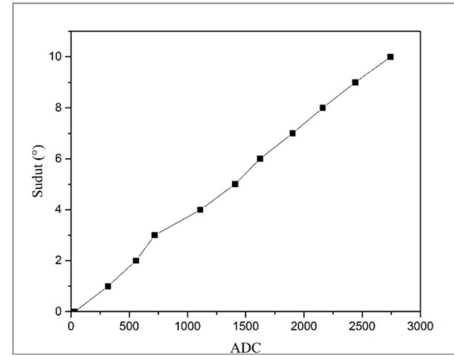
Gambar 4. Grafik fungsi kalibrasi sensor *Load cell*

Fungsi kalibrasi dari sensor *Load Cell* dapat diperlihatkan pada persamaan (4.1).

$$massa = (1425,5 \times tegangan) - 3760,2 \quad (4.1)$$

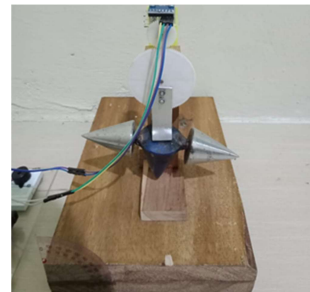
Sensor *Load Cell* bekerja dengan baik dan memiliki nilai korelasi yang tinggi yaitu 1 Hasil yang diperoleh sesuai penelitian sebelumnya [4].

Pada pengujian sensor kemiringan MPU6050 dilakukan dengan mengukur ADC keluaran dari sensor. Sudut penyimpangan sensor divariasikan mulai dari 0° hingga 10° dengan interval 1° . Pengulangan dilakukan sebanyak 20 kali. Hasil pengujian rata-rata akurasi sensor kemiringan sebelum ditambahkan *gear box* sebesar 98,06% dan presisi 97,31%. Hasil pengujian hubungan antara ADC keluaran sensor terhadap nilai sudut, diperoleh grafik kalibrasi seperti diperlihatkan pada **Gambar 5**.



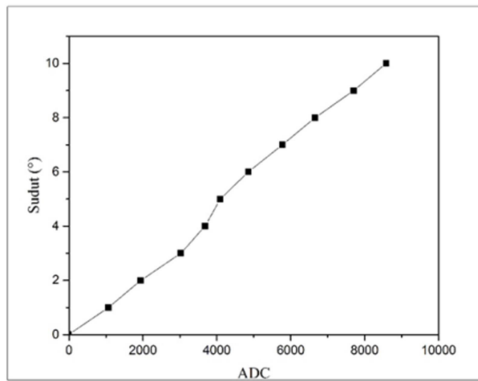
Gambar 5. Grafik fungsi kalibrasi sensor kemiringan

Sensor memiliki sensitivitas sebesar $271,2^\circ$. Korelasi antara data yang didapatkan dengan fungsi liniernya sebesar 0,998. Batas kemiringan yang diizinkan adalah $1,11^\circ$. Dikarenakan batas sudut yang diizinkan sangat kecil maka sensitivitas sensor perlu ditingkatkan, yaitu dengan menambahkan *gear box* seperti pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Sensor yang sudah ditambahkan *gear box*

Sensor yang telah di tambahkan *gear box* memiliki rasio 1:3. Artinya perubahan 1° pada busur sama dengan perubahan 3° pada sensor. Hasil pengujian sensor setelah ditambahkan *gear box* menunjukkan rata-rata nilai akurasi sebesar 96,39% dan presisi 96,33%. Hubungan antara perubahan sudut dan ADC keluaran sensor didapatkan fungsi kalibrasi. Fungsi kalibrasi sensor ditunjukkan **Gambar 7**.



Gambar 7. Grafik fungsi kalibrasi sensor kemiringan MPU6050

Sensitivitas sensor meningkat dari 271,2° menjadi 859,96°. *Gear box* ditambahkan berhasil menjadikan sensor mendeteksi setiap perubahan 1° lebih sensitif. Fungsi kalibrasi dari sensor kemiringan MPU6050 dapat dilihat pada persamaan (4.2).

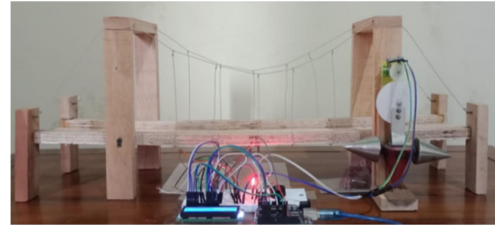
$$\text{sudut} = (0,0012 \times \text{ADC}) - 0,2098 \quad (4.2)$$

Pengujian program Arduino

Hasil pengujian program Arduino dibuat menggunakan *software* Arduino IDE telah berjalan dengan baik. Arduino diprogram untuk beberapa fungsi. *LED* dan *buzzer* akan aktif apabila kemiringan terdeteksi melebihi 1,11° dan nilai massa melebihi 500 gram. Fungsi logika telah berhasil memerintahkan untuk menyalakan *LED*, *buzzer*, dan menampilkan keterangan 'Kondisi: Aman' dan 'Kondisi: Bahaya' pada *LCD*. Program telah siap aplikasikan dalam sistem peringatan overload dan kemiringan jembatan gantung.

Pengujian sistem peringatan overload dan kemiringan jembatan gantung

Pembuatan model sistem peringatan kemiringan menara dan *overload* jembatan gantung dibagi menjadi beberapa tahapan. Pertama yaitu integrasi/ perangkaian komponen elektronika yang digunakan. Komponen tersebut dirangkai sesuai dengan skema rangkaian sistem elektronika pada **Gambar 8**. Tahap selanjutnya yaitu perangkaian keseluruhan komponen rancang bangun sistem.



Gambar 8. Model sistem peringatan kemiringan menara dan *overload* jembatan gantung skala laboratorium

Setelah semua komponen sudah terintegrasi, selanjutnya dilakukan pengujian sistem dalam dua tahap. Tahap pertama yaitu menguji waktu respon serta notifikasi logika. Tahap kedua yaitu menguji sistem logika yang sudah ditetapkan pada kedua sensor.

Hasil pengujian sistem sensor *Load Cell* menunjukkan sistem bekerja dengan baik seperti penelitian yang dilakukan peneliti sebelumnya [4]. *LED* dan *buzzer* aktif pada pembacaan massa lebih dari 500 gram. Sistem peringatan *overload* jembatan gantung dengan sensor *Load Cell* memiliki akurasi rata-rata sebesar 99,55%, presisi rata-rata sebesar 99,55%, dan *error* rata-rata yang dimiliki sebesar 0,45%.

Hasil pengujian sistem sensor kemiringan MPU6050 pada sistem peringatan kemiringan menara jembatan menunjukkan sistem bekerja dengan baik seperti penelitian sebelumnya [5]. *LED* dan *buzzer* aktif pada pembacaan sudut lebih dari 1,11°. Sistem peringatan kemiringan menara jembatan gantung dengan sensor MPU6050 memiliki akurasi rata-rata sebesar 96,39%, presisi rata-rata sebesar 96,33%, dan *error* rata-rata yang dimiliki sebesar 3,61%.

Hasil pengujian sistem logika setelah divariasikan antara massa beban dan sudut kemiringan, menunjukkan hasil sistem logika yang dibuat dapat bekerja dengan baik sesuai fungsi logika yang dibuat. Fungsi logika yang pertama adalah jika massa beban terbaca oleh sensor massa kurang dari 500 gram dan kemiringan terbaca sensor kemiringan kurang dari 1,11° maka *LED* dan *buzzer* tidak aktif serta *LCD* menampilkan status aman. Fungsi logika kedua jika massa beban melebihi 500 gram dan kemiringan melebihi 1,11° maka *LED* dan *buzzer* aktif serta *LCD* menampilkan status bahaya. Fungsi logika ketiga jika massa kurang dari 500 gram dan kemiringan lebih dari 1,11° maka *LED* dan *buzzer* aktif serta *LCD* menampilkan status bahaya. Fungsi logika

terakhir jika massa beban melebihi 500 gram dan kemiringan kurang dari $1,11^\circ$ maka *LED* dan *buzzer* aktif serta *LCD* menampilkan status bahaya. Hasil dari pengujian sistem ini menunjukkan bahwa sistem dapat dijadikan sistem peringatan kemiringan menara dan *overload* jembatan gantung secara dini dengan baik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Sistem peringatan kemiringan menara dan *overload* jembatan gantung menggunakan sensor kemiringan dan sensor massa skala laboratorium telah berhasil dibuat dan dapat bekerja dengan baik. sehingga dapat memberikan peringatan dini dengan baik setelah sudut terbaca melebihi $1,11^\circ$ dan beban melebihi 500 gram

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang sudah membantu terlaksananya penelitian ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Elektronika Instrumentasi dan Geofisika dan Laboratorium Fisika Dasar Jurusan Fisika FMIPA Unsoed yang sudah menyediakan fasilitas untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Munawir, Nasution, N. C., “Pengaruh Suspender Tipe Vertical dan Inclined Terhadap Kestabilan Jembatan Gantung”, *Jurnal Teknik Sipil dan Konstruksi* 3(2) (2017) 13-22.
- [2] R. Firdaus, L. Lufti, M. H. Anshor, dan R. Kurnia, “Otomatisasi Sensor Load Cell untuk Mengatasi Overload Kendaraan”, *Jurnal Nasional Teknik Elektro* 8(2) (2019) 81-88.
- [3] S. P. Mangkoesoebroto, “Keruntuhan Jembatan Gantung Kartanegara Tragedi dalam Proses Rancang Bangun Infrastruktur”, *Jurnal Teknik Sipil* 19(3) (2012) 207-220.
- [4] W. T. Atmojo, Rancang Bangun Sistem Pengukuran Viskositas Metode Bola Jatuh Berbasis Sensor Proximity dan Load Cell, Universitas Jenderal Soedirman , Purwokerto, 2020
- [5] D. Q. A. R. Pahlawan, Rancang Bangun Sistem Pengukuran Kemiringan Lahan Berbasis Sensor GY-521 Gyro-Accelerometer MPU-6050, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, 2020.

Rancang bangun sistem pendeteksi pergeseran bantalan jembatan berbasis resistor variabel

Kurniawan Findiatmaja*, Hartono, Abdullah Nur Aziz

Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Jl Dr. Suparno 61 Grendeng, Purwokerto (53123)

*email: kurniawan.findiatmaja@mhs.unsoed.ac.id

Abstrak – Kasus robohnya jembatan cukup banyak terjadi di Indonesia, hal ini terjadi karena pembuatan jembatan tidak diiringi dengan pemeliharaan yang bagus. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu teknologi yang dapat memantau kesehatan jembatan secara real-time. Salah satunya adalah dengan menerapkan sistem pendeteksi pergeseran bantalan jembatan. Rancang bangun sistem pendeteksi pergeseran bantalan jembatan dibuat memanfaatkan sensor resistor variabel dengan roda gigi dan rel sebagai sistem mekaniknya. Resistor variabel dirangkai pada rangkaian pembagi tegangan agar nilai keluaran sensor berupa nilai tegangan sehingga dapat terbaca oleh Arduino. Hasil pengukuran ditampilkan pada LCD. Hasil penelitian yang diperoleh adalah model sistem pendeteksi pergeseran bantalan jembatan menggunakan sensor resistor variabel dengan jangkauan pergeseran dari 0 mm hingga 30 mm. Sistem telah melewati dua tahap pengujian. Pertama, pengujian karakteristik sensor dengan membandingkan hasil pengukuran sensor dengan hasil pada mistar. Sistem memiliki karakteristik yang baik dengan akurasi rata-rata sebesar 98,50%, presisi rata-rata sebesar 99,27%, error rata-rata sebesar 1,50% dan waktu respon sebesar 0,14 s. Kedua, pengujian logika sistem ketika sensor mendeteksi pergeseran melebihi 24 mm dan mengaktifkan buzzer. Pengujian dilakukan dengan membuat sistem berada pada kondisi tidak aman yaitu melebihi batas 24 mm. Sistem dapat mendeteksi pergeseran dan dapat mengaktifkan buzzer ketika pergeseran yang terbaca telah melampaui batas yaitu 24 mm. Batas diambil berdasarkan ukuran bantalan jembatan yang sering digunakan $480 \times 380 \times 73$ mm dengan batas geser maksimumnya sebesar 24 mm. Sistem diharapkan dapat digunakan untuk mempermudah dalam pemantauan kesehatan jembatan sehingga dapat mengurangi kasus robohnya jembatan yang ada di Indonesia.

Kata Kunci: resistor variabel, pergeseran bantalan jembatan, karakteristik.

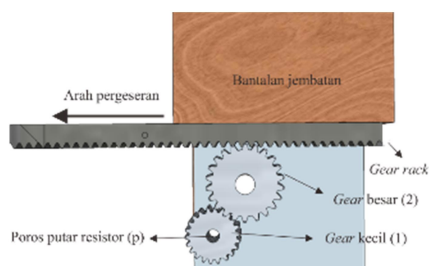
Abstract – Cases of bridge collapse are quite common in Indonesia, this happens because the construction of bridges is not accompanied by good maintenance. Therefore, we need technology that can unify health in real-time. One of them is by implementing a bridge-bearing shift detection system. The design of the bearing shift system is made using a variable sensor resistor with gears and rails as the mechanical system. Variable resistors are arranged in a voltage divider circuit so that the sensor output value is a voltage value so that it can be read by Arduino. The results are displayed on the LCD. The results obtained are a model of the bridge-bearing shift detection system using a variable resistor sensor with a range of 0 mm to 30 mm. The system has passed two stages of testing. First, test the sensor's characteristics by comparing the sensor measurement results with the results on the ruler. The system has good characteristics with an average accuracy of 98.50%, an average precision of 99.27%, an average error of 1.50%, and a response time of 0.14 s. Second, testing the system logic when the sensor detects a shift exceeding 24 mm and activates the buzzer. The test is carried out by making the system unsafe, exceeding the 24 mm limit. The system can detect shifts and can activate a shift buzzer that reads that it has exceeded the limit of 24 mm. The limit is taken based on the size of the bridge bearing which is often used $480 \times 380 \times 73$ mm with a maximum shear limit of 24 mm. The system is expected to be used to facilitate monitoring of bridge health to reduce cases of bridge collapse in Indonesia.

Key words: variable resistor, bridge bearing shift, characteristics

PENDAHULUAN

Pemeliharaan kesehatan jembatan menjadi kunci kelayakan suatu jembatan. Di Indonesia, pembuatan jembatan kebanyakan tidak diiringi dengan pemeliharaan yang bagus, sehingga terjadi penurunan daya layan jembatan. Hal ini berpotensi menyebabkan jembatan runtuh sebelum umur rencana layanan yang telah diperkirakan [1]. Teknologi yang menjadi solusi pemantauan kesehatan jembatan ini muncul dengan nama teknologi Pemantauan Kesehatan Struktural atau biasa disebut Structural Health Monitoring system (SHMS) [2]. Salah satu aspek dalam sistem ini adalah pendeteksian pergeseran bantalan jembatan. Sistem pendeteksi pergeseran pada bantalan jembatan ini digunakan untuk memantau pergeseran bantalan yang terjadi karena adanya gaya horizontal akibat dari kendaraan yang melintas [3]. Adapun alat yang pernah dibuat sebelumnya yaitu sistem deteksi pergeseran pada rangka jembatan menggunakan sensor serat optik. Sensor ini membutuhkan perangkat tambahan sehingga akan kurang tepat apabila diterapkan pada bantalan jembatan yang mempunyai tempat terbatas. Oleh karena itu, membutuhkan penelitian lebih lanjut terkait alternatif sensor yang lebih simpel dan tepat. Salah satu alternatifnya adalah menggunakan sensor resistor variabel.

Resistor jenis ini merupakan resistor yang nilai resistansinya dapat diubah-ubah dengan cara memutar porosnya melalui tuas yang telah tersedia [4]. Berdasarkan hal tersebut resistor variabel dimodifikasi sehingga apabila terdapat suatu pergeseran maka akan terjadi perputaran tuas resistor variabel yang menyebabkan perubahan resistansi. Sistem yang digunakan agar resistor variabel mendeteksi adanya pergeseran adalah dengan menerapkan sistem roda gigi [5].



Gambar 1. Sistem mekanik r esistor variabel.

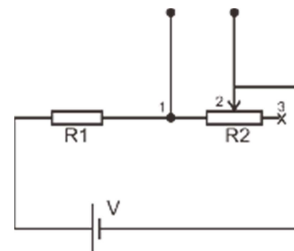
Hubungan antara roda gigi (2) dan roda gigi (1) yang saling bersinggungan memiliki arah putar berlawanan dan memiliki kelajuan linear v yang sama. Kelajuan linier itu sendiri merupakan perkalian antara kecepatan sudut ω dan jari-jari r :

$$v_1 = v_2 \text{ atau } \omega_1 r_1 = \omega_2 r_2 \quad (1)$$

Sedangkan hubungan yang dimiliki oleh roda gigi (1) dengan tuas resistor variabel merupakan hubungan dua roda gigi yang seporos. Hubungan antar roda gigi ini memiliki arah putar dan kecepatan sudut yang sama. Dengan kata lain kecepatan sudut roda gigi (1) sama dengan kecepatan sudut tuas resistor ω_p [6].

$$\omega_1 = \omega_p \quad (2)$$

Perubahan resistansi pada resistor variabel tidak dapat diproses langsung oleh Arduino. Maka, dibutuhkan rangkaian pembagi tegangan sederhana yang dapat mengubah nilai resistansi menjadi tegangan. Salah satu kelebihan dari rangkaian pembagi tegangan sederhana ini adalah nilai yang stabil dan bernilai positif. Dengan digunakannya rangkaian ini, keluaran resistansi tersebut akan diubah menjadi nilai tegangan yang akan diolah oleh Arduino.



Gambar 2. Rangkaian pembagi tegangan

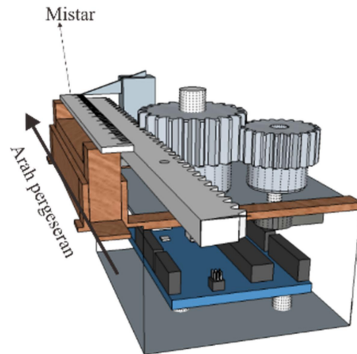
Gambar 2 merupakan rangkaian pembagi tegangan dengan resistor variabel (R_2). Apabila resistansi pada R_2 berubah maka terjadi perubahan tegangan keluaran pada rangkaian. Besarnya tegangan keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian pembagi tegangan adalah:

$$V_{out} = R_2 / ((R_2 + R_1)) V_{in} \quad (3)$$

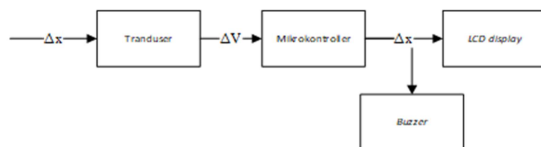
METODE PENELITIAN

Penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan. Tahapan awal adalah persiapan alat dan bahan serta perangkaian sistem pendeteksi. Jenis resistor variabel yang digunakan adalah resistor variabel putar atau potensiometer. Agar

potensiometer dapat mendeteksi perubahan pergeseran maka perlu ditambahkan roda gigi pada tuas resistor tersebut dan rel sebagai penggerakanya seperti **Gambar 3**. Sedangkan secara rangkaian keseluruhan sistem dapat ditunjukkan dengan diagram blok pada **Gambar 4**.

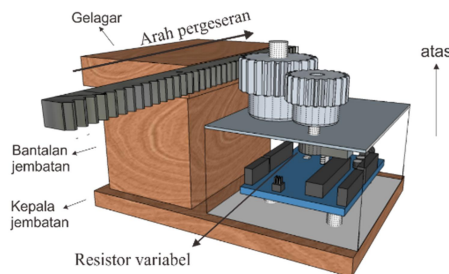


Gambar 3. Rangkaian karakterisasi sensor



Gambar 4. Diagram blok sistem deteksi pergeseran.

Selanjutnya, pengujian sensor atau karakterisasi sensor. Pengujian bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran yang dapat dihasilkan oleh resistor variabel. Sistem dirangkai seperti pada **Gambar 3**. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan pergeseran dari 0 mm hingga 52 mm dengan interval 1 mm sebanyak lima kali pengulangan.



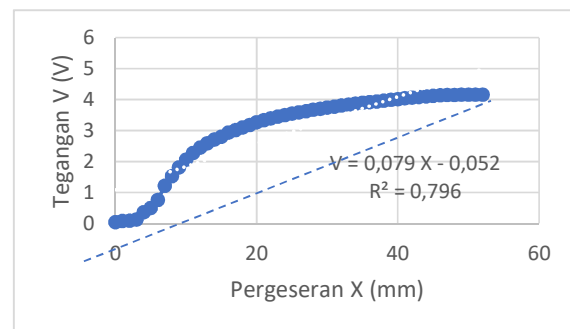
Gambar 5. Rancangan sistem deteksi.

Setelah pengujian sensor, tahap terakhir melakukan perangkaian sistem deteksi seperti pada **Gambar 5**. Kemudian dilakukan pengujian kembali dengan tujuan untuk mengetahui nilai karakteristiknya. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan pergeseran dari 0 mm hingga 30 mm. Selanjutnya, hasil pengujian ini

dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan mistar sehingga didapatkan nilai karakteristiknya. Sistem deteksi ini dapat dikatakan berhasil apabila sistem dapat mendeteksi pergeseran dengan benar dan ketika pergeseran melebihi 24 mm maka sistem dapat memberikan sinyal bahaya berupa buzzer.

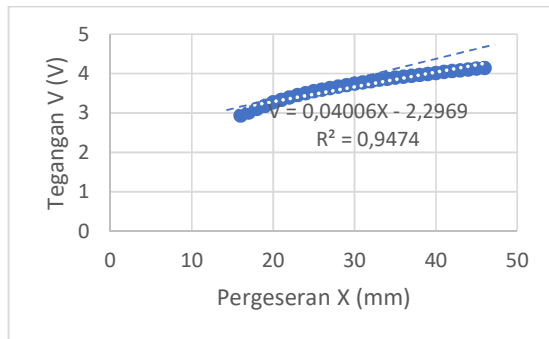
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sensor diawali dengan merangkai seperti pada **Gambar 3**. Pergeseran rel divariasikan sehingga memutar tuas resistor variabel. Variasi pergeseran tersebut dimulai dari 0 mm hingga putaran maksimum potensiometer yaitu 52 mm. Hasil pengujian sensor terhadap pergeseran dapat dilihat pada **Gambar 6**.



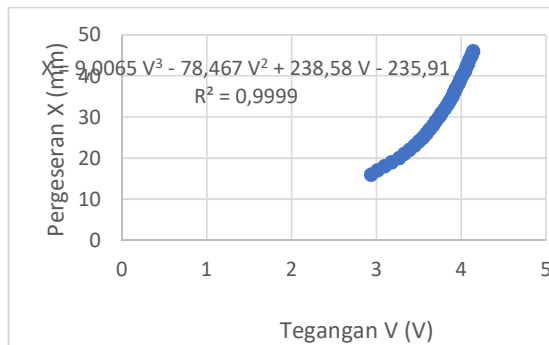
Gambar 6. Respon sensor terhadap pergeseran.

Sensor memiliki sensitivitas sebesar 0,079 V/mm atau perubahan rata-rata setiap 1 mm adalah 0,079 V. Korelasi antara data pengukuran dengan fungsi linearnya sebesar 0,796. Grafik berbentuk tidak linear karena perangkaian resistor variabel pada rangkaian pembagi tegangan. Merujuk ke persamaan (3), rangkaian pembagi tegangan memiliki karakteristik yang tidak linear. Batas pergeseran yang menjadi acuan adalah 24 mm. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat, maka digunakan respon sensor dengan korelasi terbaik. Respon sensor tersebut dari rentang 16 mm hingga 46 mm.



Gambar 7. Respon sensor pada 16 mm hingga 46 mm.

Gambar 7 menunjukkan respon sensor pada 16 mm hingga 46 mm. Grafik terlihat cukup linear dengan sensitivitas sebesar 0,04006 V/ mm. Korelasi sensor sebesar 0,947 jauh lebih baik dari pada sebelumnya. Sistem sensor sudah dapat dikatakan ideal karena nilai korelasi yang mendekati nilai 1. Respon ini yang akan digunakan untuk acuan sensor pergeseran bantalan jembatan.



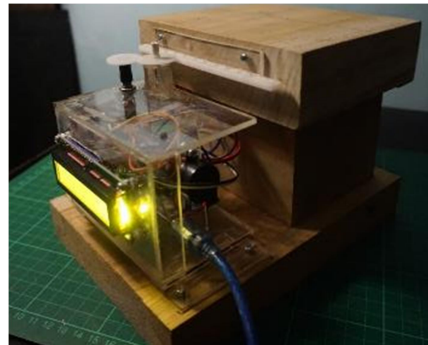
Gambar 8. Fungsi kalibrasi.

Gambar 8 menunjukkan grafik fungsi kalibrasi sensor resistor variabel. Berdasarkan grafik tersebut didapatkan fungsi kalibrasi. Bentuk fungsi kalibrasi yang digunakan adalah bentuk polinomial pangkat 3 dengan alasan untuk mendapatkan akurasi yang baik dengan korelasi antar data mendekati sempurna atau nilai 1. Nilai 16 mm diproyeksikan menjadi 0 mm yang akan digunakan untuk titik awal pembacaan sensor. Sehingga, didapatkan fungsi kalibrasi sensor resistor variabel yaitu :

$$x = 9,00065V^3 - 78,567V^2 + 23,58V - 235,91 \quad (4)$$

Tahap selanjutnya adalah perangkaian sistem serta membuat program. Pembuatan program dilakukan dengan menggunakan Arduini IDE. Program tersebut terdiri dari perintah pembacaan sensor dan fungsi logika sistem

sebagai peringatan ketika pergeseran melebihi batas. Berikut adalah hasil perangkaian sistem secara keseluruhan.



Gambar 10. Rancang bangun sistem deteksi.

Tahap terakhir adalah melakukan pengujian sistem dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik dan fungsi logika dapat berjalan dengan baik. Hasil pengujian karakteristik sistem memiliki akurasi rata-rata sebesar 98,50%, presisi rata-rata sebesar 99,27%, error rata-rata sebesar 1,50% dan waktu respon sebesar 0,14 s. Sedangkan untuk pengujian fungsi logika dapat berkerja dengan baik, sistem dapat menyalakan buzzer Ketika pergeseran melebihi 24 mm atau 25 mm hingga 30 mm.

Nilai karakteristik resistor variabel pada sistem deteksi kemiringan yaitu akurasi sebesar 89,34%, presisi 91,07%, error 10,66%, dan waktu respon 4,13 s [5]. Apabila dibandingkan dengan karakteristik sensor diatas, hasil yang diperoleh pada penelitian ini dapat disimpulkan lebih bagus daripada karakteristik sensor pada penelitian sebelumnya.

KESIMPULAN

Resistor variabel dapat digunakan sebagai sensor pada sistem pendeteksi pergeseran bantalan jembatan dengan menambahkan sistem mekanik berupa roda gigi dan rel. Sistem deteksi dapat mendeteksi pergeseran dengan rentang 0 mm hingga 30 mm. Karakteristik sistem deteksi adalah akurasi 98,5 %, presisi 99,27 %, dan error 1,50.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada pihak-pihak yang sudah membantu terlaksananya penelitian ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Elektronika Instrumentasi dan Geofisika

Jurusan Fisika FMIPA Unsoed yang sudah menyediakan fasilitas untuk penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Purbasari, “Pertanggungjawaban Terhadap Runtuhnya Jembatan kutai Kartanegara”, *Jurnal Hukum UII*, 2015.
- [2] E. Amalina, “Desain Topologi Komunikasi Wireless Sensor Network (WSN) Pada Aplikasi Sistem Structrual Health Monitoring (SHM) Jembatan”, *Jurnal Ilmu komputer dan DKV* 1(1) (2016) 11-23.
- [3] BSN, Pembebanan untuk jembatan,BSN, Jakarta, 2016.
- [4] I. Muda, Elektronika Dasar, Gunung Samudera, Malang, 2013.
- [5] R. Pahlevi, “Sistem Monitoring Kemiringan Gedung Berbasis Resistor Variabe”, *Jurnal Teras Fisika* 3 (1) (2020) 124-129.
- [6] D. Giancoli, *Fisika Jilid I Edisi Kelima*. Erlangga, Jakarta, 2007.