
Penggunaan Resistivity Meter Berbasis *Boost converter* Untuk Identifikasi Batuan Dasar Pancang Pondasi Bangunan di Pulau Tarakan

Abdul Muis Prasetya¹, Rachmad Aidil², Rahmat Faizal³

¹Program Studi Teknik Elektro, FT UBT, Tarakan

^{2,3}Program Studi Teknik Sipil, FT UBT, Tarakan

Email: ¹prasetya.electric@borneo.ac.id, ³rahmatfaizal@borneo.ac.id

Received 12 September 2018; Reviewed 19 September 2018; Accepted 02 November 2018

<http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/borneoengineering>

Abstract

The strength of the building foundation is strongly influenced by the type of soil layer that used as a foundation laying place. The higher the building to be built, the stronger the foundation to be made. This research was conducted to identify the bedrock of the existing soil layer in Tarakan City by using a boost converter-based resistivity meter with aim to minimize the impact of building damage caused by soil structure. Boost converter is a step-up DC-DC converter. Boost converter is able to produce an output voltage value greater than the input voltage without the need of transformer. The boost converter design is started by determining parameter based on the needs of resistivity meter. Resistivity data acquisition has been conducted at several points in Universitas Borneo Tarakan by using the Schlumberger configuration. Data processing has been done by using a matching curve. The results of the interpretation of the processing of geoelectric data are 4 soil layers with a depth of 12 meters. In the geoelectric estimation investigation area has a type of resistance between 6.08 - 169.79 Ohm-meters. The layer that is expected to act as a bedrock is sand at a depth of 13.81 meters and sandstone sand at a depth of ± 8 meters, with these conditions, the construction of a foundation for the construction of lightweight buildings can already be built.

Keywords : *Boost converter, Foundation, Resistivity meter.*

Abstrak

Kekuatan pondasi bangunan sangat dipengaruhi oleh jenis lapisan tanah yang digunakan sebagai tempat peletakan pondasi. Semakin tinggi bangunan yang akan dibangun, maka pondasi yang dibuat juga harus kuat. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi batuan dasar lapisan tanah yang ada di Kota Tarakan dengan menggunakan resistivity meter berbasis boost converter dengan tujuan untuk meminimalisir dampak kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh struktur tanah. Boost converter adalah konverter DC-DC jenis penaik tegangan. Boost converter mampu menghasilkan nilai tegangan output yang lebih besar dari tegangan input tanpa membutuhkan transformator. Desain boost converter diawali dengan penentuan parameter berdasarkan pada kebutuhan resistivity meter. Akuisisi data resistivitas telah dilakukan di Universitas Borneo Tarakan dengan menggunakan konfigurasi Schlumberger. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan matching curve. Hasil interpretasi dari pengolahan data geolistrik terdapat 4 lapisan tanah dengan kedalaman 12 meter. Di daerah penyelidikan pendugaan dengan geolistrik mempunyai tahanan jenis antara 6.08 - 169.79 Ohm-meter. Lapisan yang diharapkan dapat bertindak sebagai bedrock adalah pasir pada kedalaman 13.81 meter dan pasir batupasir pada kedalaman ± 8 meter, dengan kondisi tersebut maka pembuatan pondasi untuk konstruksi bangunan ringan sudah dapat dibangun.

Kata Kunci : *Boost converter, Pondasi, Resistivity meter.*

1. Pendahuluan

Pulau Tarakan secara administrasi termasuk dalam wilayah Provinsi Kalimantan Utara yang merupakan salah satu provinsi yang baru terbentuk. Secara geografis menjadikan Kota Tarakan sebagai pintu gerbang masuk ke wilayah Kalimantan Utara, sekaligus merupakan kota yang berada pada daerah perbatasan, untuk itu pemerintah daerah terus berbenah disegala bidang, salah satunya adalah dibidang infrakstruktur bangunan.

Dalam teknik sipil kualitas sebuah bangunan ditentukan oleh kekuatan strukturnya, baik struktur bangunan itu sendiri maupun struktur tanah bangunan berdiri yang biasa disebut pondasi (Surendra, 2015). Kekuatan pondasi bangunan sangat dipengaruhi oleh jenis lapisan tanah yang digunakan sebagai tempat peletakan pondasi. Ketika pondasi berada pada bagian tanah yang keras atau *bedrock* akan bekerja mekanisme tumpu yang menopang bangunan di atasnya, sehingga proses penurunan tanah akibat pembebanan bangunan dapat diperkecil (Yohanella, 2010). Perencanaan pembangunan yang cukup matang diperlukan untuk mencegah timbulnya kerusakan bangunan yang disebabkan oleh faktor pondasi yang tidak tepat (Herawati, 2014).

Salah satu metode yang populer untuk melihat struktur bawah permukaan sebelum melakukan konstruksi adalah dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas melalui resistivity meter. Dalam survei metode geolistrik akan diperoleh nilai beda potensial, kuat arus dan nilai tahanan jenis batuan. Tahanan jenis batuan diproses melalui pengolahan data lebih lanjut untuk mendapatkan nilai tahanan jenis tiap lapisan batuan. Dengan demikian lapisan bawah permukaan tanah dapat digambarkan dengan perbedaan nilai tahanan jenis dari masing-masing lapisan tersebut (Hutagalung, 2013). Hasil pemetaan lapisan bawah tanah menjadi gambaran untuk melakukan perencanaan pondasi yang disesuaikan dengan kebutuhan. Metode ini juga memiliki beberapa kelebihan yaitu bersifat tidak merusak lingkungan (Broto, 2008), pengoperasian mudah dan cepat, biaya murah, dan dapat mengidentifikasi jenis tanah sampai beberapa meter ke dalam permukaan bumi (Gijoh, 2017).

Perancangan resistivity meter pernah dilakukan oleh Safitri (2014), dalam rancang bangun alat ukur resistansi substrat tanah menggunakan probe sebanyak empat buah. Prosedur pengukuran dilakukan dengan menggunakan 2 pasang probe terpisah untuk mengukur arus dan tegangan yang bertujuan agar pengukuran lebih akurat. Rancang bangun alat ukur resistivity dengan menggunakan *inverter* sebagai sumber arus mempunyai efisiensi konversi energi yang kecil. Proses *step up* dengan menggunakan trafo memiliki kendala terkait rugi-rugi yang muncul, seperti rugi tembaga, rugi besi, flux bocor dan lain-lain (Nurhidayat, 2014).

Pada dasarnya potensial listrik yang diinduksikan ke lapisan tanah adalah berbentuk *Direct Current* (DC) (Nisa, 2012). Perkembangan penerapan DC-DC *converter* telah memungkinkan suatu perangkat elektronika dapat berfungsi dengan sumber energi yang berukuran kecil, dimana tegangan keluarannya dapat diubah-ubah sesuai kebutuhan. *Boost converter* merupakan salah satu konverter pengubah tegangan DC-DC dengan tegangan keluarannya bernilai lebih tinggi jika dibandingkan tegangan masukannya (Rosas-Caro, 2010). Nilai tegangan keluaran dapat dinaikkan dengan cara mengubah nilai *duty cycle*.

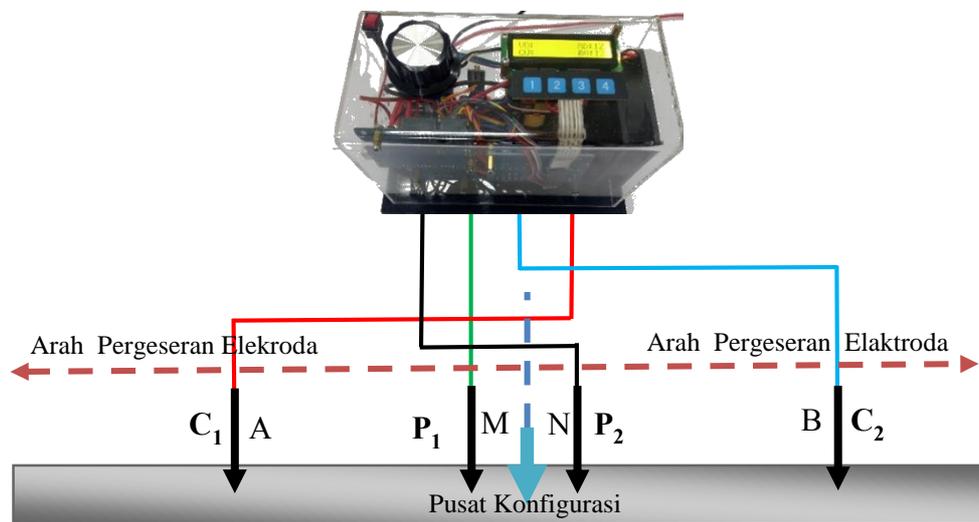
Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti menerapkan keunggulan *boost converter* pada desain resistivity meter untuk identifikasi batuan dasar lapisan tanah yang ada di Kota Tarakan. Pada penelitian ini diperoleh data yang dapat menggambarkan struktur bawah permukaan, dapat juga dijadikan acuan dalam melakukan perencanaan pembangunan infrakstruktur di Kota Tarakan, sehingga dapat meminimalisir dampak kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh struktur tanah melalui resistivity meter berbasis *boost converter*.

2. Metode Penelitian

Batuan adalah suatu material alam yang terbentuk melalui proses alamiah. Terbentuknya batuan dapat dijelaskan secara garis besar yaitu dimulai dari membekunya magma panas yang keluar dari

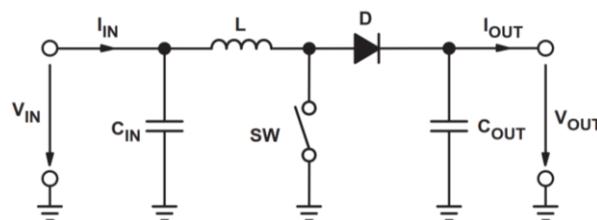
permukaan bumi dan mengeras karena pendinginan. Ketika berada dipermukaan bumi terjadi proses lanjutan, yaitu terjadi proses pelapukan dan terurai menjadi material yang lebih halus atau disebut sebagai tanah. Tanah selalu mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri (Soetojo, 2009). Apabila di dalam bawah tanah yang dangkal (hingga maksimum sekitar 75 m) terdapat suatu lapisan batuan (atau suatu bidang yang terdiri dari batuan keras), maka di situlah pondasi dipasang. Berbagai kendala yang umum terjadi pada lapisan batuan tentu saja bisa muncul. Yang terpenting adalah penentuan kedalaman yang tepat dan mengetahui sifat dari permukaan batuan (Hutagalung, 2013).

Resistivity meter merupakan salah satu alat yang sering digunakan dalam survei geofisika yang bertujuan untuk mengetahui perubahan tahanan jenis lapisan batuan di bawah permukaan dengan cara mengalirkan arus listrik DC yang mempunyai tegangan tinggi kedalama tanah (Nisa, 2012). Prinsip kerja resistivity meter yaitu menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah melalui 2 buah elektroda arus C1 dan C2, dengan adanya aliran arus listrik tersebut akan menimbulkan tegangan listrik didalam tanah, tegangan listrik dapat diukur melalui dua buah elektroda tegangan P1 dan P2 yang jaraknya lebih pendek dari jarak elektroda C1 dan C2 (Dengen, 2012).



Gambar 1. Ilustrasi Pengukuran resistivitas dilapangan (Dengen, 2012)

Boost converter adalah konverter DC-DC jenis penaik tegangan atau *step up*. *Boost converter* mampu menghasilkan nilai tegangan *output* yang lebih besar dari tegangan *input* tanpa membutuhkan *transformator* (Fathurachman, 2015). Rangkaian *boost converter* ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Rangkaian *boost converter* (Fathurachman, 2015)

Boost converter ini bekerja pada mode *continuous conduction mode* (Cheng, 2016), sehingga didapatkan nilai tegangan *output* seperti pada Persamaan (1) berikut.

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{(1-D)} \quad (1)$$

dimana D adalah *Duty cycle*. Dengan menggunakan metode *voltage-second balance*, maka besarnya nilai tegangan pada induktor dapat dirumuskan sesuai Persamaan (2).

$$\int_0^T V_L dt = 0 \quad (2)$$

Arus yang mengalir pada induktor mempunyai nilai sama dengan arus *input*. Maka arus rata-rata *boost converter* ini dapat diperoleh dari Persamaan (3) sebagai berikut (Widowati, 2014).

$$I_L = \frac{V_{in}}{(1-D)^2 R} \quad (3)$$

Dengan I_L Arus rata-rata yang mengalir pada induktor. Perbandingan nilai antara waktu saklar menyala dengan periode pensaklaran (T) disebut *duty cycle* (D), kondisi ini dijelaskan pada Persamaan (4).

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (4)$$

Jumlahan dari lama waktu saklar menyala dan lama waktu saklar mati disebut periode, sesuai Persamaan (5).

$$T = t_{on} + t_{off} \quad (5)$$

Dari Persamaan (4) dan Persamaan (5) dapat diperoleh Persamaan (6).

$$t_{off} = T - t_{on} \text{ dan } t_{off} = T(1 - D) \quad (6)$$

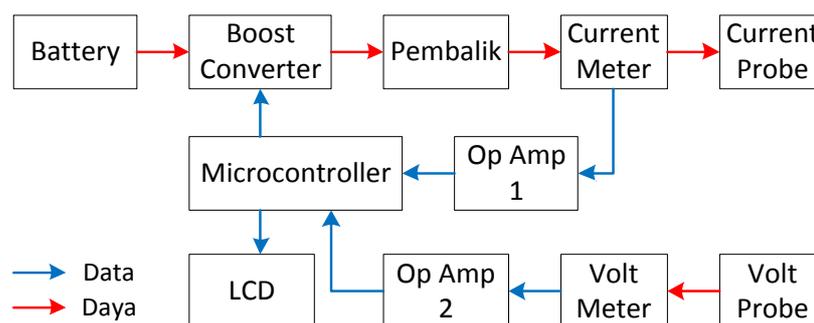
Sedangkan untuk mencari nilai induktor dan kapasitor pada *boost converter* dapat diperoleh menggunakan Persamaan (7) dan Persamaan (8) berikut (Widowati, 2014).

$$L_{min} = \frac{Dx(1-D)^2 x R_{out}}{2fs} \quad (7)$$

$$L = 10L_{min} \quad (8)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{R_{out} C fs} \quad (9)$$

Dengan L_{min} Nilai minimum induktor, L Induktor, ΔV_o Ripple tegangan, V_o Tegangan *ouput*, D *Duty cycle*, R_{out} Resistansi *ouput*, C Kapasitansi Kapasitor, dan Fs Frekuensi.

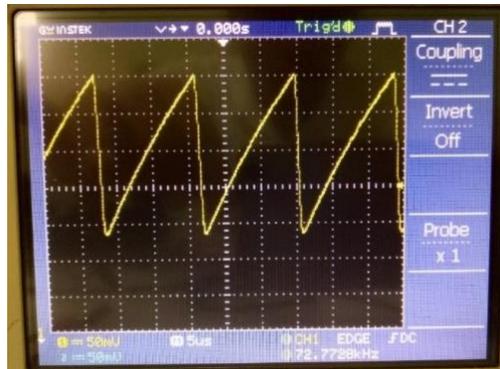


Gambar 3. Diagram sistem resistivity meter

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian *boost converter* dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pengujian rangkaian pembangkit sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) dan *output* tegangan yang dihasilkan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui bentuk gelombang tegangan keluaran *boost converter*. Pada kondisi aktual diperlukan

pengujian *deadtime* untuk memastikan bahwa *boost converter* yang digunakan telah terhindar dari arus *shoot-through*. Pengujian *boost converter* diawali dengan pengujian sinyal pensaklaran. Sinyal pensaklaran pada *boost converter* ditunjukkan pada **Gambar 4** dengan nilai frekuensi 72.77 KHz .



Gambar 4. Respon sinyal PWM untuk *boost converter*

Adapun hasil pengujian tegangan menunjukkan hasil 5 kali lebih tinggi dari yang direncanakan, perubahan ini didasarkan karena pada resistivity meter industri rata-rata menggunakan tegangan 500 Volt, keluaran *boost converter* yang telah didesain menghasilkan tegangan sebesar 577 Volt.



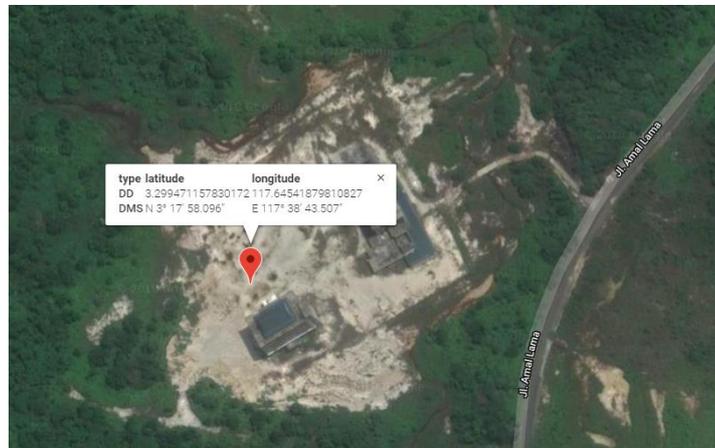
Gambar 5. Respon tegangan keluaran *boost converter*

Tabel 1. Data hasil kalibrasi sensor

No	Arus		Tegangan	
	ADC Sensor	Alat Ukur (mA)	ADC Sensor	Alat Ukur (mV)
1	1010	0	50	49
2	997	25	103	100
3	983	50	158	148
4	969	75	206	198
5	955	100	262	251
6	942	125	314	302
7	927	150	364	349
8	912	175	420	402
9	899	200	471	450
10	886	225	524	500
11	873	250	574	550
12	860	275	625	600
13	845	300	679	650

Langkah awal sebelum dilakukan kalibrasi adalah menghitung nilai perubahan sinyal *Analog to Digital Converter* (ADC) dari sensor yang akan masuk ke mikrokontroler. Perubahan ini diperlukan untuk melihat kejadian diluar mikrokontroler dari sebuah sensor atau rangkaian elektronik yang menghasilkan sinyal analog. Resolusi ADC mengacu jumlah bit keluaran ADC pada sebuah mikrokontroler, misalnya resolusi mikrokontroler dengan ADC 10 bit adalah nilai terkecil 0 (pada tegangan masukan 0 Volt) dan terbesar 1023 (pada tegangan masukan 5 Volt). Langkah kalibrasi selanjutnya dengan melakukan pengukuran menggunakan multimeter standar dan sensor dengan sumber arus DC yang berasal dari *boost converter*. Kalibrasi dilakukan dengan cara mengukur arus pada resistor yang dirangkai seri dengan injeksi arus dari *boost converter*.

Pengujian resistivity meter dilapangan dilakukan dengan mengambil beberapa titik pengukuran menggunakan konfigurasi *Schlumberger*, tujuannya untuk mengetahui berapa jauh bentangan elektroda arus yang dapat dicapai dan berapa tegangan pada elektroda potensial yang masih dapat terbaca nilainya. Pengujian dan pengambilan data resistivitas akan dilakukan di beberapa titik Kota Tarakan.



Gambar 6. Lokasi pengambilan data

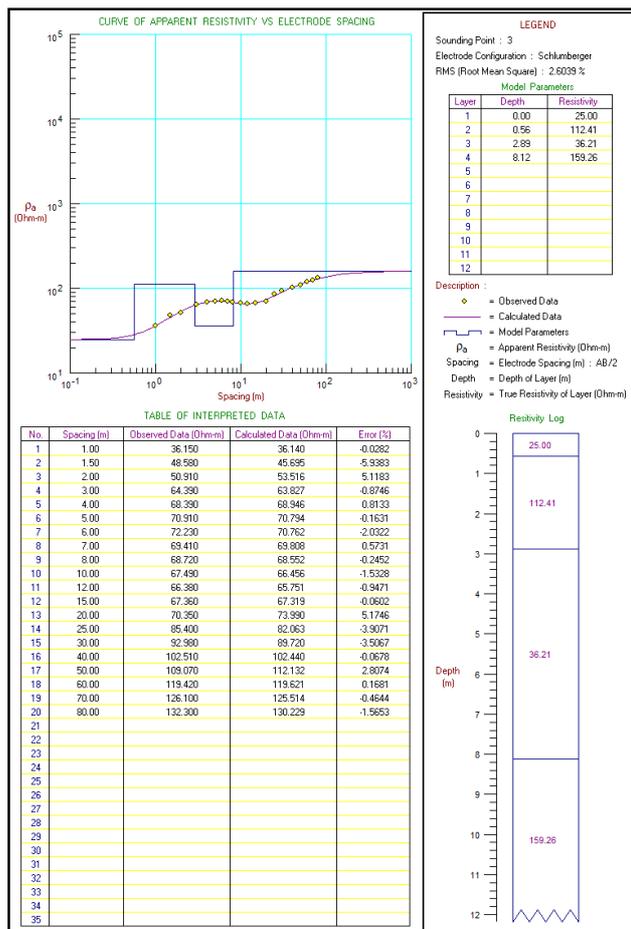
Data yang diperoleh dari resistivity meter berbasis *boost converter* yaitu berupa data tegangan (V) dan arus (I). Dari data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan tahanan jenis (ρ), kedalaman (h), dan dengan menggunakan *software progress* didapatkan penampang 1 dimensi dari tiap-tiap lapisan batuan, kemudian hasil keduanya dicocokkan dengan data geologi untuk membantu dalam melakukan interpretasi.

Tabel 2. Data hasil pengukuran

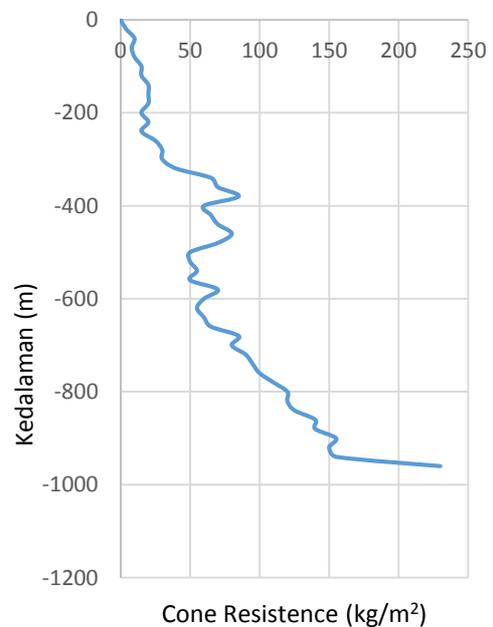
No	a	b	V(mV)	I(mA)
1	1	0.2	40.3	8.4
2	1.5	0.3	36.1	8.4
3	2	0.3	20.9	8.4
4	3	0.3	11.6	8.4
5	4	0.3	6.9	8.4
6	5	0.3	16.7	30.7
7	6	0.3	11.8	30.7
8	6	1.2	41.1	30.7
9	7	1.2	28.7	30.7
10	8	1.2	21.6	30.7
11	10	1.2	22.5	51.3
12	12	1.2	15.3	51.3
13	15	1.2	9.9	51.3

14	20	1.2	5.8	51.3
15	25	1.2	4.5	51.3
16	30	1.2	3.4	51.3
17	30	6	44	51.3
18	40	6	26.8	51.3
19	50	6	18.1	51.3
20	60	6	13.7	51.3
21	70	6	10.6	51.3
22	80	6	8.5	51.3

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *matching curve* model inversi untuk pendekatan harga resistivitas antara kurva lapangan dan kurva teori yang paling cocok. Dari hasil interpretasi pendugaan geolistrik dan telah dikorelasikan dengan data geologi dan hidrogeologi setempat, pada titik pendugaan di koordinat 3° 17' 58.096" N dan 117° 38' 43.507" E dengan arah bentangan timur laut-barat daya berlokasi di Jl. amal lama No. 1 Kelurahan Pantai Amal, Tarakan Timur, Kota Tarakan, Kalimantan Utara terdapat 4 lapisan tanah dengan kedalaman 12 meter. Di daerah penyelidikan pendugaan geolistrik ini bertahanan jenis antara 6.08 – 159.26 Ohm-meter seperti terlihat pada **Gambar 7(a)**. Dari kisaran harga tahanan jenis tersebut secara umum dapat dikelompokkan dengan berdasarkan perbedaan kontras harga tahanan jenisnya.



(a)



(b)

Gambar 7 (a) Matching curve model inversi, (b) Cone resistance di titik 1

Tabel 3. Hasil Penafsiran dan korelasi antara geologi dan pendugaan geolistrik di titik 1

Lapisan	Hasil penafsiran		Perkiraan Litologi
	Kedalaman	Tahanan Jenis	
1	0.00 - 0.56	25	Tanah penutup
2	0.56- 2.89	112.41	Lempung
3	2.89 -8.12	36.21	Pasir
4	8.12 - ~	159.26	Batupasir kuarsa

Setelah data pengukuran dikorelasikan dengan data geologi dan hidrogeologi setempat. Data pengukuran juga dilakukan korelasi dengan data sondir atau boring yang diperoleh dari Laboratorium Teknik sipil Universitas Borneo Tarakan. **Gambar 7(b)** menunjukkan diagram *cone resistance* hasil sondir untuk daerah sekitar.

Berdasarkan pengamatan data terlihat bahwa *Cone resistance* bernilai rendah ketika perkiraan litologi pada posisi tanah penutup dan lempung. Pada kedalaman 4 meter *cone resistance* sempat membesar karena secara litologi menunjukkan pasir yang mempunyai arti bahwa ketika pasir kondisi basah akan mengalami pemadatan sehingga dapat meningkatkan nilai *cone resistance*. Untuk kedalam tanah lebih dari 8 meter *cone resistance* mengalami peningkatan, pada kedalaman 9.6 m mendapat *cone resistance* sebesar 230 kg/m² dengan litologi adalah batupasir kuarsa. Berikut ini merupakan hasil Penafsiran dan korelasi antara geologi dan pendugaan geolistrik di semua titik.

Tabel 4. Hasil Penafsiran serta korelasi antara geologi dan pendugaan geolistrik di semua titik pengambilan data

Titik	Lapisan	Hasil Penafsiran		Perkiraan Litologi
		Kedalaman	Tahanan Jenis	
1	1	0.00 - 0.56	25	Tanah penutup
	2	0.56 - 2.89	112.41	Lempung
	3	2.89 - 8.12	36.21	Pasir
	4	8.12 - ~	159.26	Batupasir kuarsa
2	1	0.00 - 2.23	28.92	Tanah penutup
	2	2.23 - 9.67	212.42	Batupasir lempung
	3	9.67 - 13.81	94.01	Lempung
	4	13.81 - ~	42.26	Pasir
3	1	0.00 - 0.89	24.98	Tanah penutup
	2	0.89 - 3.60	37.40	Pasir
	3	3.60 - 8.72	108.80	Lempung
	4	8.72 - ~	564.30	Batupasir lempung

Berdasarkan pengamatan data hasil penafsiran dan korelasi antara geologi, pendugaan geolistrik serta data sondir di semua titik pengambilan data didapatkan hasil bahwa *cone resistance* akan mengalami penurunan nilai ketika berada pada lapisan tanah jenis lempung. Pada pengambilan data di titik 1 lapisan lempung bernilai 112.41 Ohm-meter, untuk titik 2 lapisan lempung bernilai 94.01 Ohm-meter dan pada titik 3 lapisan lempung bernilai 108.80 Ohm-meter.

Untuk perubahan peningkatan nilai *cone resistance* dipengaruhi kontur tanah berupa pasir, batupasir lempung dan batupasir kuarsa. Pada pengambilan data di titik 1 lapisan *cone resistance* meningkat

berada pada lapisan batupasir kuarsa dengan nilai resistansi 159.26 Ohm-meter. Untuk titik 2 *cone resistence* meningkat berada pada lapisan pasir dengan nilai resistansi 42.26 Ohm-meter dan untuk titik 3 *cone resistence* meningkat berada pada lapisan batupasir lempung dengan nilai resistansi 564.30 Ohm-meter. Untuk daerah Kota Tarakan agar sebuah pondasi memiliki kekuatan harus pada bagian *bedrock* atau berada pada lapisan pasir atau batuan pasir.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa *boost converter* mampu menaikkan tegangan 12 VDC menjadi 577 VDC, sehingga nilai penguatan (gain) rangkaian adalah sebesar 48 kali. Sensor arus dan sensor tegangan berturut-turut mempunyai ketelitian 1.8 mA dan 2.3 mV. Pendugaan geolistrik telah dapat memberikan gambaran tentang keadaan lapisan batuan secara vertikal. Lapisan yang diharapkan dapat bertindak sebagai *bedrock* adalah pasir pada kedalaman 13.81 meter dan pasir batupasir pada kedalaman ± 8 meter, dengan kondisi tersebut maka pembuatan pondasi untuk konstruksi bangunan ringan sudah dapat dibangun.

Daftar Pustaka

- Broto, S., & Afifah, R. S. (2008). Pengolahan Data Geolistrik Dengan Metode Schlumberger. *Jurnal Teknik*, 120-128.
- Cheng, M., Liu, Z., & Zhang, Z. (2016). Continuous Conduction Mode Soft-Switching *Boost converter* and its Application in Power Factor Correction. *Journal of Power Electronics*, 1689-1697.
- Dengen, N. (2012). Pengolahan Data Geolistrik Pada Eksplorasi Sumber Air Tanah Kecamatan Kongbeng Kabupaten Kutai Timur Dengan Perangkat Lunak Res2dinv. *Jurnal Informatika Mulawarman*, 27-34.
- Fathurachman, A., Najmurokhman, A., & kusnandar. (2015). Perancangan *Boost converter* Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Seminar Nasional IPTEK Jenderal Achmad Yani. Cimahi.
- Gijoh, O. T., As'ari, & Pasau, G. (2017). Identifikasi Akuifer Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Dipol-Dipol Di Masjid Kampus Universitas Sam Ratulangi. *Jurnal MIPA UNSRAT ONLINE* 6, 17-20.
- Herawati, Akmam, & Sudiar, N. Y. (2014). Penentuan Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan Inversi Marquardt Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger di Desa Kampung Manggis Kecamatan Padang Panjang Barat. *Pillar of Physics*, 1-8.
- Hutagalung, R., & Bakker, E. (2013). Identifikasi Jenis Batuan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Dalam Perencanaan Pondasi Bangunan di Terminal Transit Desa Passo. *Prosiding FMIPA Universitas Pattimura*, (hal. 159-167).
- Nisa, K., Yulianto, T., & Widada, S. (2012). Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Untuk Menentukan Zona Intrusi Air Laut di Kecamatan Genuk Semarang. *Jurnal Berkala Fisika*, 7-14.
- Nurhidayat, A., Satriyadi, I. G., & Anam, S. (2014). Analisis Penggunaan Sistem Pendingin ONAN/ONAF untuk Meningkatkan Efisiensi Trafo Pada Beban Lebih di PLTA Sutami-Malang. *Jurnal Teknik POMITS*, 1-6.
- Rosas-Caro, J. C., Ramirez, J. M., Peng, F. Z., & Valderrabano, A. (2010). A DC-DC multilevel *boost converter*. *IET Power Electron*, 129-137.

- Safitri, J., Yusfi, M., & Astuti. (2014). Rancang Bangun Alat Ukur Resistivitas Pada Lapisan Tipis Menggunakan Metode 4 Probe Berbasis ATmega8535 Dengan Tampilan LCD karakter 2x16. *Jurnal Fisika Unand*, 65-73.
- Soetojo, M. (2009). *Teknik pondasi pada lapisan batuan*. Surabaya: ITS Press.
- Widowati, A., Riawan, D. C., & Musthofa, A. (2014). Rancang Bangun Multilevel *Boost converter* (MLBC) Sebagai Suplai DC Bus pada Inverter. *Jurnal Teknik POMITS*, 1-6.
- Yohanella, A., Legowo, B., & Darsono. (2014). Identifikasi Batuan Dasar menggunakan Metode Seismik Refraksi untuk Pondasi Bangunan di Universitas Sebelas Maret Kentingan Surakarta. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 10-13