



## Analisa Pergeseran Bentang untuk Menghindari Sumber Mata Air Pada Jembatan Ranowulu di Ruas Tol Manado Bitung

Anang Sudarwanto\*, Syafrudin, M. Arief Budihardjo

Program Studi Program Insinyur, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Indonesia 50275

\*Corresponding author: [anangsudarwanto@student.undip.ac.id](mailto:anangsudarwanto@student.undip.ac.id)

(Received: August 15 2023; Accepted: September 20, 2023)

### Abstract

*Analysis of Span Shift to Avoid Springs at Ranowulu Bridge on the Manado-Bitung Toll Road Section. The Manado-Bitung Toll Road Section II construction project aims to increase road capacity and stimulate economic growth in North Sulawesi. This project involves large-scale earthworks and concrete works, including the construction of several significant bridges. One of the main challenges of the project is the construction of the Ranowulu Bridge, which crosses a spring used by the indigenous Danowudu community. To address this issue, an in-depth study is needed regarding the safety of the spring and adjustments to the bridge design, such as span shifting. Data collection was carried out using a total station and drone for situational data, as well as boring tests and geoelectric tests. This study concludes that to protect the spring and accommodate the construction of the Ranowulu Bridge, the pile cap needs to be shifted 20 meters. The bridge superstructure will use steel girders to reduce weight and facilitate installation. Land-use changes around the spring are the biggest threat that needs to be anticipated.*

**Keywords:** *Ranowulu Bridge, spring, boring test, geoelectric*

### Abstrak

Proyek pembangunan Jalan Tol Manado-Bitung Seksi II bertujuan untuk meningkatkan kapasitas jalan dan mendorong pertumbuhan ekonomi di Sulawesi Utara. Proyek ini melibatkan pekerjaan tanah dan beton skala besar, termasuk pembangunan sejumlah jembatan signifikan. Salah satu tantangan utama proyek adalah pembangunan Jembatan Ranowulu yang melintasi sumber mata air masyarakat adat Danowudu. Untuk mengatasi permasalahan ini, perlu dilakukan kajian mendalam terkait keamanan sumber mata air dan penyesuaian desain jembatan, seperti pergeseran bentang. Pengumpulan data dilakukan dengan pengumpulan data situasi menggunakan alat *total station* dan *drone*, pengujian *boring*, dan pengujian geolistrik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa untuk melindungi sumber mata air dan mengakomodasi pembangunan Jembatan Ranowulu, perlu dilakukan pergeseran pilecap sejauh 20 meter. Struktur atas jembatan akan menggunakan girder baja untuk mengurangi bobot dan memudahkan pemasangan. Alih fungsi lahan di sekitar sumber mata air merupakan ancaman terbesar yang perlu diantisipasi.

**Kata kunci:** *Jembatan Ranowulu, sumber mata air, uji boring, geolistrik*

**How to Cite This Article:** Sudarwanto, A., Syafrudin, S., Budihardjo, M. A. (2023). Analisa Pergeseran Bentang untuk Menghindari Sumber Mata Air Pada Jembatan Ranowulu di Ruas Tol Manado Bitung. *JPII*, 1(7), 225-234 DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2023.19233>

## PENDAHULUAN

Pekerjaan Pemborongan dan Penyusunan Desain Pembangunan Jalan Tol Manado – Bitung STA 14+900 – STA 39+900 (Seksi II) merupakan bagian dari pembangunan jalan tol Manado Bitung. Jalan Tol Manado Bitung ini terdiri dari 2 seksi yaitu seksi I yang dikerjakan oleh Pemerintah Provinsi Sulawesi Utara dan Seksi II yang dikerjakan oleh PT Jasamarga Manado – Bitung. Lokasi proyek dari seksi II yaitu di Kabupaten Minahasa Utara sampai dengan Kota Bitung.

Pembangunan Jalan Tol Manado – Bitung didasarkan atas ketidakmampuan Jalan Nasional Sulawesi Utara dalam menampung kendaraan yang melintas terutama dari arah Pelabuhan Bitung ke arah Kota Manado. Selain itu, pembangunan Jalan Tol Manado – Bitung ini bertujuan untuk mendongkrak perekonomian Provinsi Sulawesi Utara.



**Gambar 1.** Peta *layout* Jalan Tol Manado Bitung STA 0+000 – 39+823

Lingkup pekerjaan pada proyek ini mayoritas pekerjaan tanah dan pekerjaan beton. Pekerjaan tanah meliputi pekerjaan galian sebesar 10,6 juta m<sup>3</sup> (galian tanah biasa, galian tanah berbatu dan galian batu) dan pekerjaan timbunan sebesar 5,4 juta m<sup>3</sup>. Pekerjaan beton meliputi pekerjaan beton perkerasan (*Lean Concrete* dan *Rigid Pavement*) sepanjang 39 km dan pekerjaan beton struktur yang terdiri dari 62 buah *box culvert*, 19 buah *underpass*, 12 buah *overpass* dan 4 jembatan tinggi yaitu Jembatan Kauditan (85 m), Jembatan Tendeki (305 m), Jembatan Pinokalan (261 m), Jembatan Ranowulu (231 m).

Pada proses pelaksanaan proyek ini mengalami kendala dalam proses pelaksanaan pada Jembatan Ranowulu. Jembatan Ranowulu tersebut melewati sumber mata air masyarakat adat Danowudu. Masyarakat adat Danowudu tersebut tidak setuju dengan adanya pembangunan Jembatan Ranowulu di lokasi tersebut karena ditakutkan mata air tersebut akan berhenti setelah adanya pembangunan jembatan tersebut. Salah satu solusi yang akan dilakukan adalah pergeseran (penambahan) bentang ke arah Bitung.

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui keamanan sumber mata air terhadap pelaksanaan Jembatan Ranowulu berdasarkan arah aliran, mengetahui panjang pergeseran/penambahan bentang yang diperlukan, dan mengetahui desain struktur atas

yang digunakan untuk mengakomodir pergeseran bentang tersebut.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Lokasi penyelidikan merupakan area jalan tol Manado-Bitung yang dibangun oleh PT PP (Persero) Tbk Divisi Infrastruktur 1 di daerah Ranowulu, Kota Bitung, Sulawesi Utara. Sebagian besar area merupakan tanah kosong dan pohon aren dengan kondisi geologi merupakan batuan vulkanik dan sedimen.



**Gambar 2.** Lokasi pengukuran geolistrik

### Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dalam pengumpulan data diperlukan adanya 3 jenis pengujian/pengambilan data yaitu:

a. Pengambilan data situasi

Pada pengambilan data situasi ini dilakukan agar mendapatkan data topografi/kontur dan foto udara di lokasi Jembatan Ranowulu yang sebagai dasar dalam penempatan dalam pergeseran bentang. Dalam pengambilan data topografi dilaksanakan dengan menggunakan alat *total station*.



**Gambar 3.** *Total station*

Adapun metode pengambilan data topografinya sebagai berikut

1. Pasang alat ukur teodolit tepat diatas patok (yang diketahui koordinatnya)
2. Atur sumbu satu vertikal.
3. Ukur tinggi alat.
4. Arahkan teropong ke titik pengukuran lain yang diketahui koordinatnya (patok nomor sebelumnya atau nomor sesudahnya), tepatkan pada target, baca dan catat bacaan sudut horizontalnya.
5. Tempatkan rambu ukur secara vertikal pada titik detail yang akan diukur.
6. Arahkan teropong pada rambu tersebut, kuatkan klem vertikal dan horizontal, tepatkan dengan

penggerak halus verikal dan horizontal. Baca dan catat bacaan rambu meliputi benang atas benang tengah dan benang bawah. Baca dan catat juga bacaan sudut vertikal dan horizontalnya.

7. Pindahkan rambu ke titik detail lain yang akan diukur.
8. Lepas klem vertikal dan horizontal, arahkan teodolit ke rambu.
9. Arahkan teropong pada rambu tersebut kuatkan klem vertikal dan horizontal, tepatkan dengan penggerak halus verikal dan horizontal. Baca dan catat bacaan rambu meliputi benang atas benang tengah dan benang bawah. Baca dan catat juga bacaan sudut vertikal dan horizontalnya.
10. Ulangi untuk titik detail yang lain, setiap mengukur titik detail harus dibuat sketsanya.

Sedangkan untuk pengambilan foto udara bertujuan mengetahui situasi sekitar jembatan dari ketinggian tertentu. Pengambilan Foto udara menggunakan bantuan *drone*. Situasi tersebut dapat digunakan sebagai gambaran dalam penentuan arah aliran mata air.



Gambar 4. Drone

b. Pengujian boring

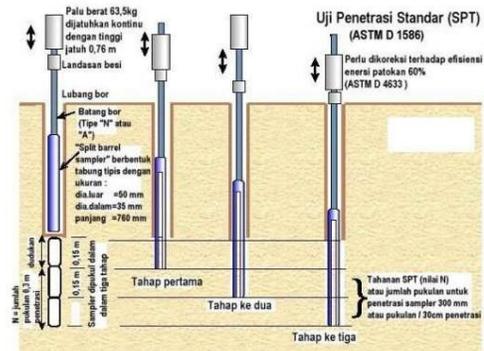
Pemboran teknik dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pelapisan tanah (pengambilan *coring*), pengambilan contoh tanah (*Undisturb Sample*, UDS) dan mengetahui parameter tanah dari hasil uji lapangan (seperti *Standard Penetration Test*, SPT; uji tinggi muka air). Tanah yang didapatkan dari pengambilan *coring* ditempatkan dalam *core box*. Dibuat *boring log* secara visual yang dilengkapi dengan data dari uji lapangan dan laboratorium.

Metode yang digunakan yaitu metode pengeboran inti. Pengeboran inti menggunakan mesin bor *rotary*. Untuk tabung tunggal tidak memerlukan sirkulasi air dan untuk tabung ganda atau triple memerlukan sirkulasi air. Kelebihan dan kekurangan dari pengeboran inti adalah: dapat digunakan pada batuan, dapat mengidentifikasi tanah secara langsung, tidak sesuai untuk pengeboran pada tanah lunak dapat mengganggu struktur tanah. Sebuah standar untuk pencatatan dan interpretasi dari pemboran inti (*core drilling*) diberikan pada SNI 03-2436-2008.

Dalam pelaksanaan *boring* inti selain mencari karakteristik tanah juga dapat melaksanakan Uji SPT sekaligus. SPT (*standard penetration test*) adalah metoda

pengujian di lapangan dengan memasukkan (memancangkan) sebuah *Split Spoon Sampler* (tabung pengambilan contoh tanah yang dapat dibuka dalam arah memanjang) dengan diameter 50 mm dan panjang 500 mm. *Split spoon sampler* dimasukkan (dipancangkan) ke dalam tanah pada bagian dasar dari sebuah lubang bor. Uji *Standard Penetration Test* (SPT) dilakukan pada setiap lubang bor teknik dengan interval pengujian setiap 2,0 m.

Pada uji SPT, indikasi tanah keras diartikan sebagai lapisan tanah dengan nilai SPT di atas 50 pukulan/30,0 cm sebanyak 3 (tiga) kali pada 3 (tiga) kedalaman berturut turut. Prinsip pelaksanaan uji penetrasi standar (SPT) yaitu dengan memukul sebuah tabung standar ke dalam lubang bor sedalam 450 mm menggunakan palu 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm. Yang dihitung adalah jumlah pukulan untuk melakukan penetrasi sedalam 150 mm. Jumlah yang digunakan adalah pada penetrasi sedalam 300 mm terakhir. Pengujian SPT mengacu pada SNI 4153:2008 dan ASTM D1586-67.



Gambar 5. Skema urutan uji penetrasi standar (SPT) (SNI 4153-2008)

Peralatan yang diperlukan dalam uji penetrasi dengan SPT adalah sebagai berikut:

- a. Mesin bor yang dilengkapi dengan peralatannya;
- b. Mesin pompa yang dilengkapi dengan peralatannya;
- c. *Split barrel sampler*;
- d. Palu dengan berat 63,5 kg dengan toleransi meleset  $\pm 1\%$ ;
- e. Alat penahan (*tripod*);
- f. Rol meter;
- g. Alat penyipat datar;
- h. Kerekan;
- i. Kunci-kunci pipa;
- j. Tali yang cukup kuat untuk menarik palu;
- k. Perlengkapan lain.

Dalam pengujian *boring* ini selain karakteristik tanah dan SPT, dapat juga mengamati tinggi muka air di daerah tersebut. Untuk pengujian tinggi muka air harus diamati minimal 24 jam setelah pengeboran selesai.

## c. Pengujian geolistrik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui arah aliran air dari hulu mata air. Arah aliran tersebut sebagai dasar untuk pergeseran bentang Jembatan Ranowulu. Rencana lintasan yang digunakan adalah 5 lintasan yang saling berpotongan. Untuk pengambilan data memerlukan waktu 4 hari dengan rincian 2 hari dilakukan untuk membuat lintasan sedangkan 2 hari kemudian dilakukan pengukuran geolistrik. Peralatan yang digunakan dalam pengujian geolistrik sebagai berikut:

1. Satu unit *Resistivity Meter GeoResist*, terdiri dari satu buah main unit, *switch box*, 41 buah *electrode stainless*, kabel *mapping*, dan kabel-kabel konektor.
2. Dua buah GPS, digunakan untuk memandu pada saat *tracking* ke lokasi survei dan penanda posisi dan elektroda.
3. Satu buah *charger accu*, digunakan untuk melakukan pengisian *accu*.
4. Empat buah HT, digunakan untuk komunikasi ketika pelaksanaan pengukuran di lapangan.



**Gambar 6.** Peralatan geolistrik

Prosedur pengukuran geolistrik dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a) Mempersiapkan peralatan. Peralatan utama yang digunakan untuk akuisisi secara lateral *mapping* (2D) yaitu satu main unit *Earth Resistivity Meter GeoResist*, 1 buah *switch box*, beserta kabel konektornya, dua buah *accu* beserta kabel konektornya.
- b) Menancapkan elektroda di posisi yang sudah ditentukan.
- c) Menghubungkan kabel pada setiap elektroda, selanjutnya menghubungkan kabel ke *switch box* dan main unit.
- d) Setelah setiap kabel dan elektroda terhubung baik dengan alat (main unit), kemudian sambungkan alat dengan *accu*.
- e) Menyalakan alat pada posisi ON, lakukan pengukuran *contact resistance*, jika nilainya resistansinya bagus.
- f) Data yang didapatkan dari pengukuran geolistrik, yaitu: nilai potensial, arus, SP, dan *resistivity* semu.

**Metode Analisis Data****Analisis data situasi**

Data yang diperoleh dari pengambilan data situasi topografi yaitu berupa koordinat dan elevasi di daerah tersebut. Dari data tersebut diolah menggunakan bantuan aplikasi *Civil 3D*. *Output* dari aplikasi tersebut berupa kontur kontur yang dapat membantu dalam penggambaran baik potongan memanjang maupun melintang.

Sedangkan data foto udara yang diambil menggunakan bantuan *drone* digunakan untuk visualisasi bagaimana kondisi di sekitar jembatan yang dapat membantu dalam analisa arah aliran air berasal. Selain itu dari foto *drone* tersebut dapat diolah menggunakan bantuan aplikasi *Agisoft Photoscan*. Adapun langkah-langkah mengolah foto hasil *drone* untuk menghasilkan Visualisasi 3D sebagai berikut

- a. *Import* foto dan rekonstruksi jalur terbang
- b. *Align* foto  
*Align* foto digunakan untuk identifikasi titik-titik yang ada di gambar. Proses ini akan membuat *matching point* dari 2 atau lebih foto. Proses ini menghasilkan 3D model awal dan *sparse point clouds* yang akan digunakan untuk tahapan berikutnya.
- c. Pembuatan titik tinggi (*dense point clouds*)  
*Dense point clouds* adalah kumpulan titik tinggi dalam jumlah ribuan hingga jutaan titik. *Dense clouds* nantinya dapat diolah lebih lanjut untuk menghasilkan *digital surface model*, *digital terrain model* dan *orthophoto*.  
*Depth filtering* adalah tindakan yang kita gunakan untuk titik tinggi yang dianggap sebagai *noise* (*outliers*). Biasanya *noise* ini dikenal karena anomali, jauh tinggi dari titik lain disekitarnya.
- d. Pembuatan model 3D (*mesh*)  
*Mesh* atau 3D adalah modal untuk membuat DEM, baik DSM, DTM maupun *orthophoto*, Mesh juga bisa di-*export* ke dalam *software* lain seperti *sketchup*, *AutoCAD* atau *ArcGIS*.
- e. Pembuatan model *texture*  
*Texture* adalah model fisik 3D dari tampilan yang ada di area yang di-*cover* oleh foto udara. Model *texture* inilah yang akan ditampilkan dalam *software* seperti *arcgis*, *skectfab* dan lain-lain.
- f. Pembuatan DEM
- g. Pembuatan *orthophoto*

**Analisis Data Pengujian Boring**

Data yang diperoleh dari pengujian *boring* berupa lapisan/karakteristik jenis tanah, nilai SPT dan tinggi muka air. Untuk Nilai SPT digunakan sebagai dasar perhitungan kekuatan pondasi yang akan digunakan konstruksi Jembatan Ranowulu. Sedangkan untuk lapisan jenis tanah dan tinggi muka air diolah menjadi stratigrafi tanah dan dibuat dasar acuan untuk interpretasi jenis

tanah dari nilai resistivitas yang dihasilkan Alat *resistivity* meter.

**Analisis Data Geolistrik**

Data yang diperoleh dari pengukuran geolistrik yaitu resistivitas semu (*apparent resistivity*). Untuk mendapatkan nilai resistivitas sebenarnya maka dilakukan pemodelan menggunakan metode inversi dengan bantuan perangkat lunak *Res2DInv* dan *Oasis Montaj* untuk pemodelannya.

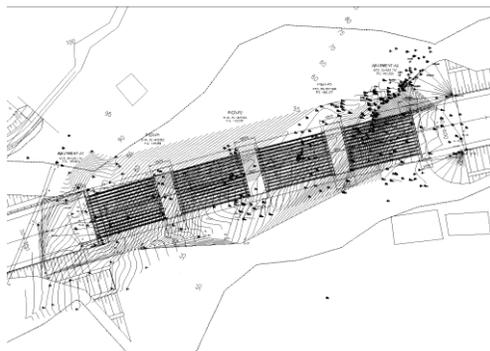
Secara umum, pemodelan data resistivitas dilakukan dengan cara melakukan pemodelan inversi, yaitu mengkalkulasi nilai observasi (alat) dan kalkulasi (matematis) sehingga didapatkan nilai yang mendekati dengan tingkat *error* yang relatif kecil dan dilakukan secara berulang (iterasi). Untuk alur pekerjaannya sebagai berikut:

1. Data dalam format \*.txt merupakan data mentah hasil akuisisi alat resistivity meter.
2. Data dalam format \*.txt selanjutnya dikonversi menjadi \*.dat kemudian digabungkan dengan data topografi.
3. Setelah data dilengkapi data topografi, data *resistivity* diproses menggunakan program inversi, sehingga didapatkan penampang resistivitas (resistivitas sebenarnya) dalam skala vertikal dan kedalaman.
4. Pengeditan data dilakukan secara berulang, untuk menghilangkan gangguan-gangguan (*noise*) yang ada, sampai menghasilkan data yang relatif bagus.
5. Hasil data yang sudah diinversi dilakukan interpretasi dan pemodelan 2D untuk mengetahui jalur sumber mata air dan pelapisan *subsurface*-nya.

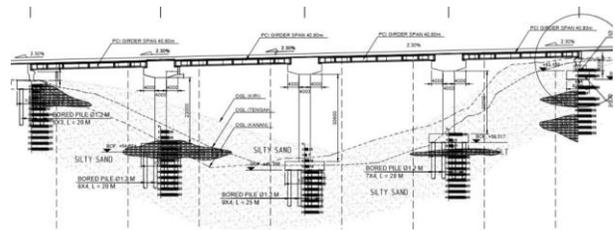
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Analisis Data Situasi**

Dari pengambilan data situasi menggunakan *total station* dan sudah diolah menggunakan *Autocad Civil 3D* didapatkan hasil profil elevasi memanjang dan melintang jembatan.



**Gambar 7.** Plan jembatan beserta hasil kontur dari data situasi



**Gambar 8.** Potongan memanjang Jembatan Ranowulu

Untuk pengambilan data situasi menggunakan *drone* menghasilkan foto udara sebagai gambaran kawasan sekitar Jembatan Ranowulu tersebut. Selain itu hasil *drone* tersebut dikombinasikan data situasi dari *total station* diolah menggunakan *Agisoft Photoscan* menghasilkan visualisasi 3D Jembatan Ranowulu baik dari *plan* dari atas, potongan memanjang maupun melintang.



**Gambar 9.** Foto udara sekitar jembatan Ranowulu



**Gambar 10.** Visualisasi plan dari atas Jembatan Ranowulu



**Gambar 11.** Visualisasi potongan memanjang Jembatan Ranowulu

Dari data di atas dapat dilihat posisi A2 dari Jembatan Ranowulu tepat di atas mata air Aer Ujang. Selain itu *pilecap* A2 dari hasil situasi terlihat ujung kiri *pilecap* terlihat menggantung. Keadaan tersebut sangat membahayakan kekuatan struktur pondasi apabila tidak ditambahkan pondasi dalam atau ditambahkan timbunan tanah. Namun karena lokasinya tepat di atas mata air apabila ditambahkan pondasi dalam seperti *bore pile* akan merusak mata air yang di bawahnya dan apabila

ditambahkan tanah timbunan maka tanah timbunan tersebut akan menutupi mata air tersebut.

Dengan keadaan tersebut dengan memperhatikan kondisi sekitar maka diperlukan pergeseran ke arah Bitung sekitar 20 m. Selain itu, dilihat dari foto udara bahwa Gunung Dua Saudara terletak pada timur laut dari jembatan. Arah aliran mata air tersebut kemungkinan besar dari arah tersebut dan pada arah tersebut kondisi eksistingnya masih alami.

**Analisis Data Pengujian Boring**

Dari pengujian *boring* di dapatkan hasilnya sebagai berikut.

**Tabel 1. Borlog DB 1**

DEPTH BORING				POINT No : DB1 (A2)								
PROJECT : PENYELIDIKAN TANAH				DATE of TEST : 20 Februari 2020								
LOCATION : TOL BITUNG - MANADO												
DEPTH (m)	WATER LEVEL	SOIL CHART SYMBOL	SOIL DESCRIPTION			SPT - N VALUE					N Value Graphic	
			SORT	COLOUR	ADJECTIVE	DEPTH	Blow count (cm)	Blow count (30 cm)	Blow count (60 cm)	Blow count (90 cm)		N VALUE
0.00						0.00						
1.00						2.00	15	19	19	18	37	
2.00						4.00	15	20	18	17	35	
3.00			SAND	GREY	NON PLASTIC	4.00	15	22	20	19	39	
4.00						8.00	15	25	25	25	50	
5.00						10.00	15	25	25	25	50	
6.00			BOULDER	GREY	NON PLASTIC	12.00	15	20	19	19	38	
7.00						14.00	15	22	21	21	42	
8.00			GRAVEL SAND	GREY	NON PLASTIC	14.00	15	28	27	27	54	
9.00						18.00	15	29	29	29	58	
10.00			BOULDER	GREY	NON PLASTIC	20.00	15	30	30	30	60	
11.00												
12.00												
13.00												
14.00												
15.00												
16.00												
17.00												
18.00												
19.00												
20.00												

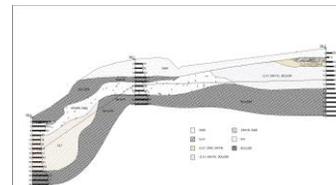
**Tabel 2. Borlog DB 2**

DEPTH BORING				POINT No : DB2 (F3)								
PROJECT : PENYELIDIKAN TANAH				DATE of TEST : 20 Februari 2020								
LOCATION : TOL BITUNG - MANADO												
DEPTH (m)	WATER LEVEL	SOIL CHART SYMBOL	SOIL DESCRIPTION			SPT - N VALUE					N Value Graphic	
			SORT	COLOUR	ADJECTIVE	DEPTH	Blow count (cm)	Blow count (30 cm)	Blow count (60 cm)	Blow count (90 cm)		N VALUE
0.00						0.00						
1.00			BOULDER	GREY	NON PLASTIC	2.00	15	38	33	35	70	
2.00			CLAY BOULDER	GREY BROWN	Plastic	4.00	15	35	33	27	60	
3.00			SAND GRAVEL	GREY	NON PLASTIC	8.00	15	35	30	30	60	
4.00						8.00	15	25	20	20	40	
5.00						10.00	15	20	19	19	38	
6.00			SELT	BLACK BROWN	NON PLASTIC	12.00	15	22	20	18	38	
7.00						14.00	15	24	22	20	42	
8.00						14.00	15	22	21	21	42	
9.00			SELT	WHITE YELLOW	NON PLASTIC	18.00	15	25	23	22	45	
10.00						20.00	15	24	23	21	44	
11.00						22.00	15	26	25	25	50	
12.00						24.00	15	29	25	24	49	
13.00						28.00	15	39	37	36	73	
14.00			BOULDER	GREY	NON PLASTIC	28.00	15	40	36	35	71	
15.00						30.00	15	40	37	36	73	

**Tabel 3. Borlog DB 3**

DEPTH BORING				POINT No : DB3								
PROJECT : PENYELIDIKAN TANAH				DATE of TEST : 2020								
LOCATION : TOL BITUNG - MANADO												
DEPTH (m)	WATER LEVEL	SOIL CHART SYMBOL	SOIL DESCRIPTION			SPT - N VALUE					N Value Graphic	
			SORT	COLOUR	ADJECTIVE	DEPTH	Blow count (cm)	Blow count (30 cm)	Blow count (60 cm)	Blow count (90 cm)		N VALUE
0.00						0.00						
1.00						2.00	15	15	14	14	28	
2.00			Coarse Sand	Dark Grey	Non Plastic	4.00	15	8	7	7	14	
3.00						6.00	15	16	15	15	30	
4.00			Clay	Dark Brown	Plastic	8.00	15	17	17	17	34	
5.00			Clay, Sand, Gravel	Brown, Grey	Plastic	10.00	15	19	18	18	36	
6.00						12.00	15	19	19	19	38	
7.00						14.00	15	18	18	18	36	
8.00			Clay, Gravel, Boulder	Brown, Grey	Plastic	16.00	15	21	20	20	40	
9.00						18.00	15	20	20	20	40	
10.00						20.00	15	28	27	27	54	
11.00						22.00	15	29	28	28	56	
12.00						24.00	15	30	30	30	60	
13.00						26.00	15	31	31	31	62	
14.00			Boulder	Grey	Non Plastic	28.00	15	33	32	32	64	
15.00						30.00	15	33	32	32	64	

Dari hasil borlog tersebut dimodelkan menjadi stratigrafi jenis tanah di lokasi tersebut. Stratigrafi akan lebih akurat dengan mengkombinasikan data elevasi yang didapatkan dari hasil situasi.



**Gambar 12. Stratigrafi tanah pada Jembatan Ranowulu**

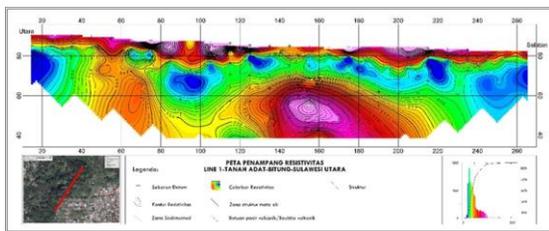
Dari hasil stratigrafi di atas bahwa dapat dilihat dari posisi DB 3 dan DB 1 lapisan atasnya merupakan lapisan pasir yang berfungsi sebagai resapan air sehingga aliran permukaan akan langsung meresap ke dalam tanah dan berubah menjadi aliran bawah tanah sampai dengan mencapai lapisan kedap air berupa *clay* atau *bolder*.

Hal ini dikaitkan juga dengan kedalaman *Ground Water Level* setiap titik bor seperti pada DB 3 mempunyai kedalaman GWL sekitar 14 m, untuk DB 1 sekitar 11 m dan untuk DB 2 sekitar 17 m. Dari data di atas dapat menggambarkan jenis-jenis tanah yang ada di lokasi Jembatan Ranowulu, untuk selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk analisis data geolistrik untuk menganalisa lebih dalam lagi terkait pola dan arah mata air Aer Ujang tersebut.

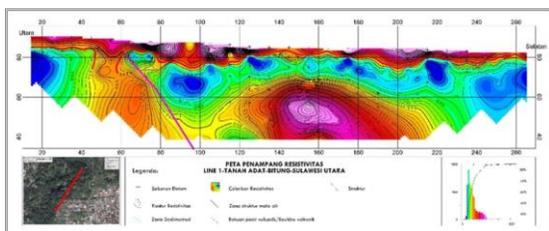
**Analisis Data Pengujian Geolistrik**

Pada model 2D mempunyai sebaran nilai resistivitas yang bervariasi dari bagian selatan ke utara ataupun timur ke barat. Nilai resistivitas di area tersebut terbilang tinggi dari 0 ohm sampai puluhan ribu. Nilai resistivitas di atas 500 ohm mempunyai korelasi dengan batuan beku baik yang berasal dari letusan gunung berapi atau intrusi dari bawah. Secara geologi perlapisan batuan di area tersebut dibagi menjadi 3 golongan utama, yaitu batuan atau sedimen yang berasal dari gunung berapi yang berada di sekitar permukaan 0 m sampai -10 m lebih tergantung topografi permukaan. Batuan kedua yang terdapat di area tersebut adalah pola perlapisan sedimen yang berada di bawah sedimen atau *bolder-bolder* yang kedalamannya kisaran 10 m sampai 30 m bahkan lebih yang kondisinya menghampar luas dari timur ke barat atau utara ke selatan. Sedangkan yang ketiga adalah batuan beku yang lebih kompak dari batuan *bolder* yang di permukaan dengan kedalaman sekitar 30 m ke bawah. Posisi batuan yang paling bawah ini jika dilihat dari data tidak menghampar luas tetapi hanya *spot* dengan ukuran yang besar.

Dari pantauan orientasi dan tinjauan umum, kondisi mata air yang berada di area lokasi mengalir di sela-sela batuan beku yang kemungkinan besar ada rongga atau retakan struktur. Aliran air di mata air mempunyai kedalaman (dilihat dari permukaan) sekitar 10-15 m sehingga tidak memungkinkan sumber air dari batuan sedimen dikarenakan posisi batuan sedimen di bawah sumber mata air sehingga disimpulkan sumber mata air tersebut merupakan aliran air yang berasal dari sumber mata air yang lokasinya lebih tinggi yang mengalir melalui retakan-retakan pada batuan beku.



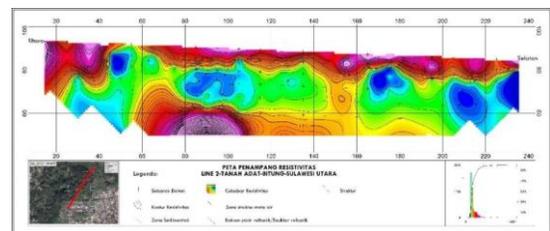
**Gambar 13.** Hasil pengukuran *line 1*



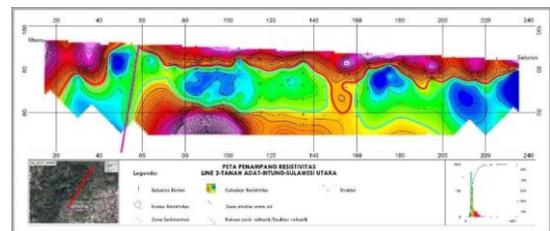
**Gambar 14.** Pola sebaran batuan dan sedimen *line 1*

Pada Gambar 13 dan 14 merupakan hasil dari pengukuran geolistrik yang menampilkan kondisi sebaran nilai resistivitas dari permukaan ke bawah

permukaan sampai kedalaman lebih dari 40 m dan sepanjang lintasan dari utara ke selatan. Warna merah dan kuning yang berada di permukaan sepanjang lintasan (dari utara ke selatan) menggambarkan batuan *bolder* dan sedimen pasir vulkanik dengan kedalaman yang bervariasi, sedangkan warna biru ke hijau merupakan sedimentasi batuan pasir yang tercampur dengan batuan lempung dan terletak di bawah *bolder-bolder* dan pasir vulkanik. Warna merah dan ungu yang berada di kedalaman paling bawah mengindikasikan batuan vulkanik atau batuan beku yang lebih *fresh* atau kompak dengan kondisi tidak menghampar di semua lokasi. Garis ungu yang merupakan legenda dari struktur mengindikasikan adanya jalur struktur yang berkorelasi dengan sumber mata air.

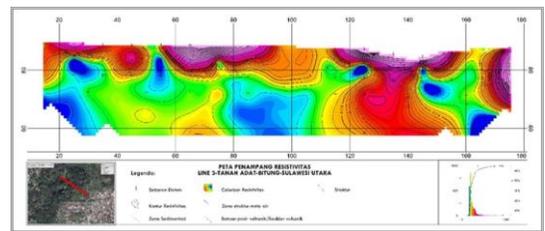


**Gambar 15.** Hasil pengukuran *line 2*

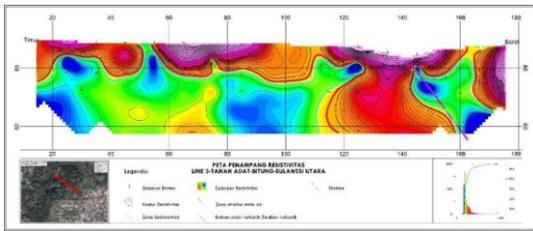


**Gambar 16.** Pola sebaran batuan dan sedimen *line 2*

Pada *line 2* menunjukkan kondisi nilai resistivitas dan kondisi bawah permukaan yang relatif sama dengan batuan *bolder* di kedalaman 0 sampai sekitar 10 m, sedangkan batuan sedimen berada di bawahnya antara 10 m sampai 30 m. Batuan vulkanik yang dimensinya lebih besar terdapat sekitar 30 m lebih. Baik batuan sedimen atau batuan *bolder* yang di permukaan menghampar dari bagian utara ke selatan seperti halnya pada lintasan 1. Pada lintasan 2 ini tidak terlihat adanya pola struktur pada batuan beku seperti pada lintasan 1 karena posisinya lebih mengarah ke timur dengan topografi yang lebih rendah.



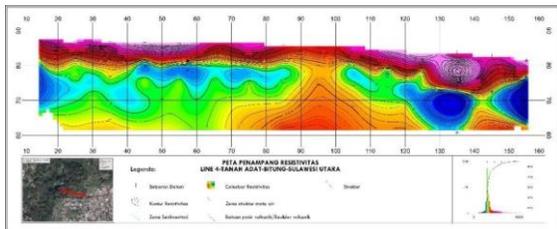
**Gambar 17.** Hasil pengukuran *line 3*



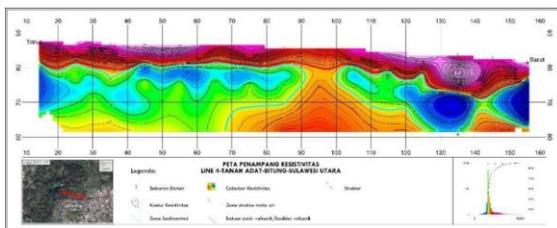
Gambar 18. Pola sebaran batuan dan sedimen line 3

Lintasan 3 arahnya berbeda dengan lintasan 1 dan 2 karena dari hasil kedua lintasan tersebut hanya menampilkan adanya sedimentasi dan sebaran batuan-batuan *bolder* vulkanik di permukaan sehingga diputuskan untuk meng-*cross* lintasan yang memotong lintasan 1 dan 2, karena di lintasan 1 terdapat adanya struktur yang berada di bagian utara dan juga mempunyai topografi yang lebih tinggi dari bagian selatan.

Dari hasil lintasan 3 terlihat adanya pola struktur di bagian barat yang lokasinya berada di jalur struktur yang ada di lintasan 1. Di bagian timur masih terlihat adanya pola sebaran batuan *bolder* dan sedimentasi tetapi kondisinya berbeda dengan bagian barat yang polanya relatif tidak beraturan yang mengindikasikan adanya pola struktur batuan.



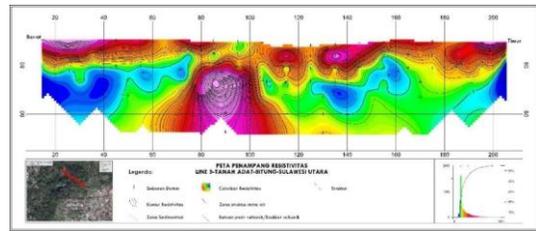
Gambar 19. Hasil pengukuran line 4



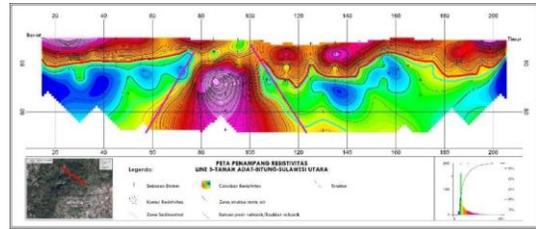
Gambar 20. Pola sebaran batuan dan sedimen line 4

Lintasan 4 berada di tengah-tengah yang memotong *ash* dari rencana jembatan dari bagian timur ke barat sampai pinggir jurang. Lintasan ini bertujuan untuk memastikan tidak adanya jalur struktur batuan beku yang mengarah ke bagian selatan atau bagian timur yang peruntukannya dengan rencana pembangunan jembatan.

Seperti pada Gambar 21 dan Gambar 22 hanya ada pola sebaran sedimen dari timur ke barat dengan sebaran batuan *bolder* di atasnya.



Gambar 21. Hasil pengukuran line 5



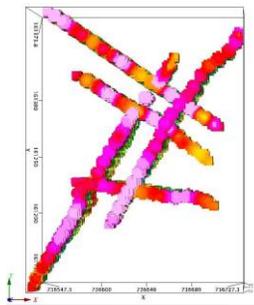
Gambar 22. Pola sebaran batuan dan sedimen line 5

Lintasan 5 merupakan lintasan yang sejajar dengan lintasan 3 yang mengarah timur barat dan berada di atas lokasi sumber mata air. Dari hasil lintasan 5 terdapat pola sebaran baik batuan *bolder* ataupun sedimen tetapi tidak menerus, di tengah-tengah yang lebih ke arah barat terdapat struktur yang merupakan satu kesatuan dengan lintasan 3 dan batuan beku yang ada di sumber mata air.

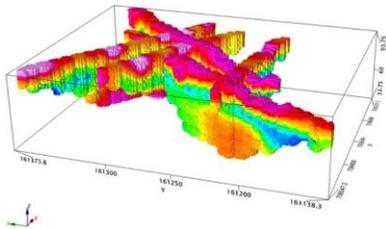


Gambar 23. Gambaran pola struktur dan jalur aliran air mata air Aer Ujang

Dari hasil geolistrik di atas, jalur mata air berdasarkan pola struktur batuan dapat digambarkan pada gambar di atas. Bagian timur dan selatan dominan batuan sedimen yang berada di tengah-tengah (kisaran 10 m sampai 30 m), sedangkan di permukaan tersebar batuan *bolder* yang berasal dari batuan vulkanik dan pasir vulkanik. Di bagian utara dan barat topografinya lebih tinggi dan ditemukan pola struktur dari beberapa lintasan yang memotong area tersebut.

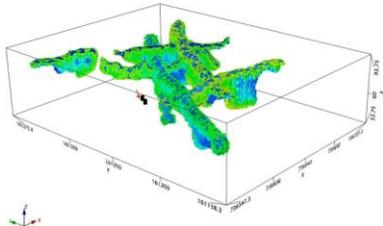


**Gambar 24.** Distribusi resistivitas dalam 3-D



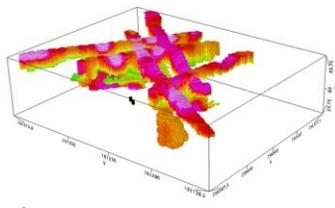
**Gambar 25.** Distribusi resistivitas dalam 3-D

Gambar 25 sampai 26 merupakan gabungan lintasan geolistrik dengan gambaran nilai resistivitas tinggi (warna merah) yang berada di area permukaan dan di bawahnya. Warna biru ke hijau merupakan nilai resistivitas rendah yang berasosiasi dengan batuan sedimen (pasir), sedangkan warna merah berasosiasi dengan batuan vulkanik (warna merah di permukaan: *boulder*, warna merah di bawah permukaan setelah sediment: batuan vulkanik *fresh*).

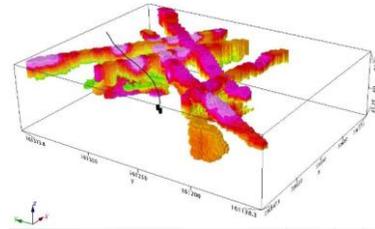


**Gambar 26.** Distribusi resistivitas dalam 3-D

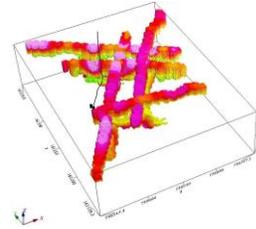
Gambar 26 merupakan sebaran sedimen yang terdistribusi di semua lintasan dan hampir semua terdapat di semua bagian baik utara-selatan maupun barat-timur.



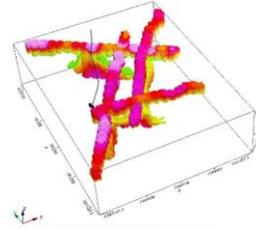
**Gambar 27.** Distribusi resistivitas dalam 3-D



**Gambar 28.** Distribusi resistivitas dalam 3-D



**Gambar 29.** Distribusi resistivitas dalam 3-D



**Gambar 30.** Distribusi resistivitas dalam 3-D

Gambar 27 sampai 30 merupakan jalur struktur yang merupakan jalur aliran mata air. Sumber utama dari aliran air mengikuti struktur bawah permukaan yang arahnya tenggara ke utara (dari titik hitam: tandon air). Dengan dilihat arah aliran mata air bahwa struktur jembatan tidak mengganggu aliran mata air “Aer Ujang”. Namun mata air tersebut dapat terganggu apabila ada alih fungsi lahan pada hulu arah aliran mata air aliran tersebut yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 31.** Lokasi yang harus dilindungi dari alih fungsi lahan

Daerah tersebut harus dilindungi dari alih fungsi lahan dikarenakan daerah tersebut merupakan daerah resapan yang merupakan sumber dari mata air tersebut. Apabila daerah tersebut berubah fungsi menjadi perumahan maka resapan yang ada di lokasi tersebut menjadi berkurang dan berubah menjadi aliran di atas

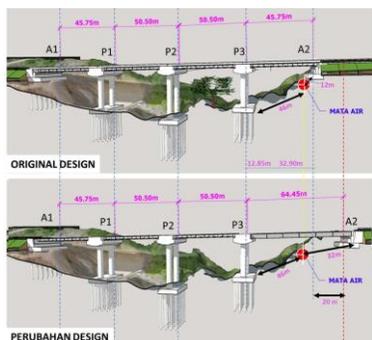
permukaan. Dengan berkurangnya resapan tersebut maka debit mata air tersebut akan berkurang.

**Analisis Pergeseran Bentang Jembatan Ranowulu**

Berdasarkan ketiga analisis di atas, didapatkan hasil bahwa memerlukan pergeseran bentang sekitar 20 m ke arah Bitung untuk mengamankan mata air karena posisi *pilecap* sudah mejauih dari awalnya 12 m menjadi 32 m. Selain itu, posisi *pilecap* sudah berada pada posisi datar dan dapat menggunakan pondasi telapak.



**Gambar 32.** Visualisasi Jembatan Ranowulu dengan penambahan bentang 20 m



**Gambar 33.** Perbandingan desain awal dengan perubahan

**Tabel 4.** Perbandingan desain awal dengan perubahan

NO	PARAMETER	ORIGINAL DESIGN	PERUBAHAN DESAIN
1	Tipe Jembatan	PCI Girder L = 40,8 m	PCI Girder L = 40,8 m Composite Girder L = 60 m
2	Panjang Bentang	P2 - P3	50,50 m
		P3 - A2	45,75 m
3	Jarak Pilecap terdekat ke Mata Air	12 m	32 m (Menjauh)
4	Konstruksi Pondasi Jalan Tol	Tidak mengganggu mata air	Tidak mengganggu mata air

Agar *pilecap* A2 tidak membesar ukuran dimensinya akibat pergeseran bentang tersebut maka struktur jembatan yang cocok yaitu menggunakan girder baja bentang 60 m yang beratnya lebih ringan dengan girder beton bentang 40 m.

**Tabel 5.** Perbandingan berat struktur atas

Jenis Struktur	Berat Struktur (Ton)
Girder Beton L = 40 m	90 Ton
Girder Baja L = 60 m	60 Ton

**KESIMPULAN**

Dari penelitian ini didapat beberapa kesimpulan yaitu:

1. *Pilecap* A2 Ranowulu memerlukan pergeseran/penambahan bentang sepanjang 20 m ke Arah Bitung.
2. Arah aliran mata air “Aer Ujang” berasal dari Timur Laut jembatan (Gunung Dua Saudara)/
3. Pondasi jembatan tidak mengganggu arah aliran mata air.
4. Gangguan terbesar yang dapat mengganggu aliran mata air yaitu alih fungsi lahan pada hulu arah aliran mata air (arah Gunung Dua Saudara).
5. Struktur atas yang digunakan untuk mengakomodir pergeseran bentang menggunakan struktur girder baja dengan sistem *launching*.
6. Struktur yang berubah hanya struktur atas saja dikarenakan berat girder baja lebih ringan dari pada girder beton.

**DAFTAR PUSTAKA**

Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Kota Bitung, 2010. *Pertambangan dan Geologi Kota Bitung*, Indonesia

Herlambang, A., 1996. *Kualitas Air Tanah Dangkal di Kabupaten Bekasi*. Program Pascasarjana, IPB. Bogor.

<https://id.wikipedia.org/wiki/Jembatan> (diakses pada tanggal 20 Mei 2020, 21.00).

Madden, T.R., 1976, *In Mining Geophysics*, Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.

Prastowo. 2008. *Penyelamatan, Tanah, Air, dan Lingkungan*. Arsyad S dan Rustiadi E (ed). Jakarta (ID): Yayasan Obor Indonesia.

Reynolds, J.M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley and Sons, England.

Robert, J. Kodoatie dan Roestam Sjarief. 2010. *Tata Ruang Air*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Rosmiati S, 2016. *Survei Sebaran Air Tanah dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis di Kelurahan Bonto Raya Kecamatan Batang Kabupaten Jeneponto*. Fakultas MIPA Universitas Negeri Makassar Jilid 12 No 3.

Sumi, F., 1965, *Prospecting for Non Metallic Minerals by Induced Polarization*, Geophysics Prospecting.

Summer, J.L. ---, *Principle of Induced Polarization for Geophysical Interpretation*. Elsevier. Amsterdam

Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E., 1990. *Applied Geophysics 2<sup>nd</sup> Edition*. Cambridge University Press, USA.