

# ANALISIS PERBAIKAN STRUKTUR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO DI DESA TANGEB, KECAMATAN MENGWI, KABUPATEN BADUNG, BALI

I Gusti Ngurah Putu Dharmayasa<sup>1)</sup>, I Komang Agus Ariana<sup>2)</sup>

1) Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Nasional, Denpasar, Bali

[ngurah.dharmayasa@gmail.com](mailto:ngurah.dharmayasa@gmail.com)

## ABSTRACT

*Electricity supply is very important to improve people's lives. In Indonesia electricity is mostly generated by PLN as the state company that provide electricity for the entire people of Indonesia. PLN's load is very high to provide electricity and to reduce the load of PLN, the potential of the electricity source should be utilized. One of the locations that have been built and used for micro-hydro power plant is the irrigation canal in the Tangeb village, Mengwi, Badung, Bali. Since it was built in 2014, micro-hydro power plant is expected to be used to provide electricity to the Pura Dalem within 100 meters from the power plant site, but can not function as expected because some parts of the structure were damaged, particularly on the foundation. In order for micro-hydro power plants can be used there should be analysis of the feasibility of existing structures.*

*The research process begins with a review of the research sites, further soil sampling and ground testing in the field. The soil samples were tested in the laboratory. The test results of soil samples in the laboratory and field testing is used to calculate the carrying capacity of the land. The results of the soil bearing capacity were used to design the foundation. Analysis of the framework turbine is also conducted to determine whether the order turbines can still be used. Measurement of flow velocity is also performed to calculate the flow rate so that the electrical potential can be known.*

*The results of the analysis of the feasibility of power plant micro-hydro in the Tangeb village obtained subgrade on the location of the turbine has a high bearing capacity that obtained the lowest allowable bearing capacity ( $q_{all}$ ) = 36.763 t/m<sup>2</sup> based on test results in the laboratory, and the position of the hard soil in 1 meter depth. For steel frame buffer turbines, based on the results of the analysis with 9.7 ETABS program obtained that turbines are qualified or steel frame secure enough to support the movement of the turbine. The foundation of the turbine needs to be fixed with shallow foundation with a size of 0.95 m x 0.95 m, with a thickness 0.3 m and foundation depth of 1 meter. Reinforcement of foundation used for tension reinforcement  $\phi$  12 with a distance of 9 cm between the reinforcement and shrinkage reinforcement  $\phi$  12 with a distance of 18 cm. Potential electricity or power can be produced based on the calculation of the speed of the water, the water discharge resulting in low water level conditions is ( $W$ ) = 3.3 kW.*

Keyword: micro-hydro, soil bearing capacity, foundation design

## ABSTRAK

*Penyediaan tenaga listrik sangat penting untuk kemajuan masyarakat. Selama ini listrik di Indonesia sebagian besar dihasilkan oleh PLN sebagai perusahaan negara penyedia listrik bagi seluruh masyarakat Indonesia dan agar beban PLN bisa dikurangi, maka potensi tenaga listrik yang ada perlu dimanfaatkan. Salah satu lokasi yang telah dibangun dan dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga mikro hidro adalah saluran irigasi di Desa Tangeb, Kecamatan Mengwi, Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Sejak dibangun tahun 2014, pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini diharapkan dapat digunakan untuk menyediakan tenaga listrik bagi Pura Dalem yang jaraknya 100 meter dari lokasi pembangkit listrik, namun tidak dapat berfungsi sesuai harapan karena beberapa bagian struktur mengalami kerusakan, terutama pada bagian pondasi. Agar pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini dapat digunakan maka perlu dilakukan analisis mengenai kelayakan struktur yang telah ada.*

*Proses penelitian diawali dengan peninjauan lokasi penelitian, selanjutnya dilakukan pengambilan contoh tanah dan pengujian tanah di lapangan. Contoh tanah tersebut selanjutnya dilakukan pengujian di laboratorium. Hasil pengujian contoh tanah di laboratorium dan pengujian di lapangan selanjutnya digunakan untuk menghitung daya dukung tanah. Selanjutnya hasil daya dukung tanah dilakukan untuk mendesain pondasi. Analisis terhadap rangka turbin juga dilakukan untuk mengetahui apakah rangka turbin masih bisa digunakan. Pengukuran kecepatan aliran juga dilakukan tujuannya untuk menghitung debit aliran sehingga potensi listrik dapat diketahui.*

*Hasil analisis mengenai kelayakan pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Desa Tangeb yaitu tanah dasar pada lokasi turbin cukup tinggi daya dukungnya yaitu diperoleh nilai daya dukung ijin terendah ( $q_{all}$ ) = 36.763 t/m<sup>2</sup> berdasarkan hasil uji di laboratorium, serta letak tanah kerasnya cukup dangkal yaitu pada kedalaman 1 meter. Untuk rangka baja penyangga turbin, berdasarkan hasil analisis dengan program ETABS 9.7 diperoleh bahwa rangka turbin telah memenuhi syarat atau rangka baja cukup aman untuk mendukung pergerakan turbin. Perlu dilakukan perbaikan pada pondasi turbin dengan ukuran pondasi telapak yang diperlukan 0,95 m x 0,95 m, dengan ketebalan pondasi 0,3 m dan kedalaman pondasi 1 meter. Untuk tulangan pondasi digunakan tulangan tarik  $\phi$  12 dengan jarak antar tulangan 9,5 cm dan tulangan susut  $\phi$  12 dengan jarak 19 cm. Potensi listrik atau daya yang mampu dihasilkan berdasarkan perhitungan kecepatan air, debit air yang dihasilkan pada kondisi muka air terendah adalah  $W = 3,3$  kW.*

**Kata kunci:** mikro hidro, daya dukung tanah, desain pondasi

## 1 PENDAHULUAN

Listrik di Indonesia sebagian besar dihasilkan oleh PLN sebagai perusahaan negara penyedia listrik bagi seluruh masyarakat Indonesia dan agar beban PLN bisa dikurangi, maka potensi tenaga listrik yang ada perlu dimanfaatkan. Sumber tenaga listrik yang banyak dimanfaatkan karena banyak tersedia adalah pembangkit listrik tenaga air atau dalam ukuran yang lebih kecil sebagai pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

Salah satu lokasi yang telah dibangun dan dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga mikro hidro adalah saluran irigasi di Desa Tangeb, Kecamatan Mengwi, Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Sejak dibangun tahun 2014, pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini diharapkan dapat menyediakan tenaga listrik untuk Pura Dalem yang jaraknya 100 meter dari lokasi pembangkit listrik, namun tidak dapat berfungsi sesuai harapan karena beberapa bagian struktur mengalami kerusakan, terutama pada bagian pondasi yang tidak direncanakan dengan baik.

Agar pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini dapat digunakan maka perlu dilakukan analisis mengenai kelayakan struktur pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang telah ada yaitu

daya dukung tanah dasar, kondisi pondasi, kondisi struktur rangka turbin dan potensi listrik yang dapat dibangkitkan.

## 2 KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Penyelidikan Tanah

Tujuan dari penyelidikan tanah adalah untuk mengetahui letak atau posisi lapisan tanah yang memenuhi syarat daya dukung, berdasarkan sifat dan karakteristiknya untuk keperluan rekayasa. Penyelidikan tanah meliputi penyelidikan lapangan dan penyelidikan laboratorium.

### 2.2 Daya Dukung Tanah dan Pondasi

Tanah merupakan pendukung pondasi dan pondasi merupakan bagian dari struktur yang menyalurkan beban langsung ke lapisan tanah di bawahnya. Pondasi harus memenuhi dua persyaratan dasar:

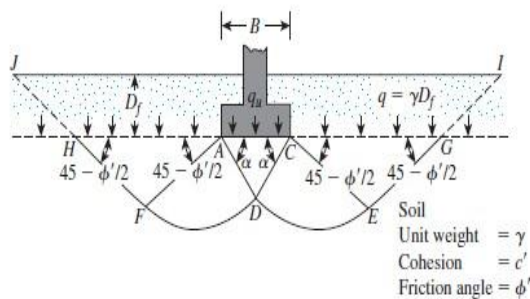
1. Aman terhadap keruntuhan geser dari tanah pendukung, biasanya nilai keamanannya antara 2.5-3.
2. Penurunan pondasi terjadi pada batas toleransi dan tidak menyebabkan kerusakan serius sehingga mempengaruhi fungsi struktur.

Daya dukung izin ( $q_{all}$ ) didefinisikan sebagai tekanan maksimum yang bisa pada pondasi sehingga kedua kondisi di atas terpenuhi.

Sedangkan daya dukung ultimit ( $q_u$ ) didefinisikan sebagai tekanan terkecil yang dapat menyebabkan keruntuhan geser pada tanah pendukung tepat di bawah dan di sekeliling pondasi (Craig, 1984).

Terzaghi pertama kali menyatakan teori tentang kapasitas daya dukung ultimit pondasi dangkal. Menurut teori ini, suatu pondasi dapat disebut pondasi dangkal apabila kedalaman pondasi ( $D_f$ ) jika kurang atau sama dengan lebar pondasi. Penelitian lebih lanjut menyatakan walaupun kedalaman pondasi ( $D_f$ ) sama dengan 3-4 kali lebar pondasi suatu pondasi dapat dinyatakan sebagai pondasi dangkal.

Analisis daya dukung didasarkan kondisi general shear failure, yang dikemukakan Terzaghi dengan anggapan pondasi berbentuk memanjang tak terhingga dengan lebar  $B$  dan terletak di atas tanah homogen.



**Gambar 1. Bentuk keruntuhan dalam analisis daya dukung**

Terzaghi menyatakan kapasitas daya dukung ultimit dengan persamaan:

$$q_{ult} = c N_c + D_f \gamma N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma \dots \dots \dots (1)$$

dengan:

$q_{ult}$  = daya dukung ultimit/batas

$c$  = kohesi

$D_f$  = kedalaman pondasi

$B$  = lebar pondasi

$\gamma$  = berat volume tanah

$N_c, N_q, N_\gamma$  = faktor daya dukung tanah (Tabel 1)

Untuk pondasi berbentuk bujur sangkar dan lingkaran, persamaan daya dukung batas yang disarankan oleh Terzaghi adalah sebagai berikut:

1. Pondasi bujur sangkar:

$$q_{ult} = 1.3 c N_c + D_f \gamma N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma \dots \dots \dots (2)$$

2. Pondasi lingkaran:

$$q_{ult} = 1.3 c N_c + D_f \gamma N_q + 0.3 \gamma B N_\gamma \dots \dots \dots (3)$$

dengan  $B$  adalah diameter pondasi (untuk lingkaran).

Persamaan di atas digunakan dengan anggapan bahwa jenis keruntuhan tanah di bawah pondasi adalah keruntuhan geser umum (*general shear failure*). Sedangkan untuk kondisi keruntuhan geser setempat (*local shear failure*) persamaan untuk pondasi memanjang dinyatakan dengan:

$$q'_{ult} = c' N'_c + D_f \gamma N'_q + 0.5 \gamma B N'_\gamma \dots (4)$$

dengan  $c' = \frac{2}{3} c$  dan  $\tan \phi' = \frac{2}{3} \phi$

Sedangkan daya dukung batas dari tanah untuk pondasi dengan bentuk bujur sangkar dan lingkaran untuk kondisi keruntuhan geser setempat adalah sebagai berikut:

1. Pondasi bujur sangkar:

$$q'_{ult} = 1.3 c' N'_c + D_f \gamma N'_q + 0.4 \gamma B N'_\gamma \dots\dots\dots (5)$$

2. Pondasi lingkaran:

$$q'_{ult} = 1.3 c' N'_c + D_f \gamma N'_q + 0.3 \gamma B N'_\gamma \dots\dots\dots (6)$$

$N_c, N_q, N_\gamma, N'_c, N'_q, N'_\gamma$  adalah faktor daya dukung (Das,1990).

**Tabel 1. Nilai faktor daya dukung tanah Terzaghi**

$\phi$	Keruntuhan Geser Umum			Keruntuhan Geser Lokal		
	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$
0	5.7	1	0	5.7	1	0
5	7.3	1.6	0.5	6.7	1.4	0.2
10	9.6	2.7	1.2	8	1.9	0.5
15	12.9	4.4	2.5	9.7	2.7	0.9
20	17.7	7.4	5	11.8	3.9	1.7
25	25.1	12.7	9.7	14.8	5.6	3.2
30	37.2	22.5	19.7	19	8.3	5.7
34	52.6	36.5	35	23.7	11.7	9
35	57.8	41.4	42.4	25.2	12.6	10.1
40	95.7	81.3	100.4	34.9	20.5	18.8
45	172.3	173.3	297.5	51.2	35.1	37.7
48	258.3	287.9	780.1	66.8	50.5	60.4
50	347.6	415.1	1153.2	81.3	65.5	87.1

**2.3 Daya Dukung Berdasarkan Data Lapangan (Sondir) Untuk Pondasi Dangkal**

Untuk pondasi dangkal pada tanah pasir maupun lempung menurut Meyerhorf (1976) dihitung dengan

persamaan berikut (Fahriani, F. dan Apriyanti, Y., 2015):

$$q_{ult} = \frac{q_c \times B}{40} \left( 1 + \frac{D_f}{B} \right) \dots\dots\dots(7)$$

dengan:

- $q_{ult}$  = kapasitas dukung ultimit pondasi
- $q_c$  = nilai tahanan konus rata-rata dari sondir yaitu 0,5 meter diatas dan 1 meter dibawah pondasi
- $D_f$  = kedalaman pondasi
- $B$  = lebar pondasi

Setelah kita mendapatkan nilai daya dukung ultimit tanah ( $q_{ult}$ ), langkah selanjutnya menghitung daya dukung ijin tanah ( $q_{all}$ ). Pada perhitungan daya dukung biasanya diberikan faktor keamanan (FS)  $\geq 2$  untuk tanah pasir dan faktor keamanan (FS)  $\geq 3$  untuk tanah lempung (Redana, 2010).

$$q_{all} = \frac{q_{ult}}{SF} \dots\dots\dots(8)$$

dengan:

- $q_{all}$  = daya dukung ijin tanah
- $q_{ult}$  = daya dukung tanah ultimit
- SF = faktor keamanan nilainya diambil

3

**2.4 Debit Aliran dan Potensi Daya Listrik**

Debit adalah besar atau jumlah air yang mengalir dalam satuan volume per waktu. Debit merupakan satuan besaran air

yang keluar dari suatu saluran yang dihitung dalam meter kubik per detik ( $m^3/det$ ). Debit pada suatu saluran tergantung pada lebar saluran, ketinggian air pada saluran dan kecepatan aliran air.

Kecepatan aliran pada saluran diperoleh dari rata-rata kecepatan aliran pada tiap bagian penampang sungai tersebut. Idealnya, kecepatan aliran rata-rata diukur dengan mempergunakan *flow probe* atau *current meter*. Alat ini dapat mengetahui kecepatan aliran pada berbagai kedalaman penampang. Namun apabila alat tersebut tidak tersedia, kecepatan aliran dapat diukur dengan metode apung.

Pengukuran kecepatan dilakukan dengan jalan mengapungkan suatu benda misalnya bola tennis, pada lintasan tertentu sampai dengan suatu titik yang telah diketahui jaraknya. Pengukuran dilakukan oleh tiga orang yang masing-masing bertugas sebagai pelepas pengapung di titik awal, pengamat di titik akhir lintasan dan pencatat waktu perjalanan alat pengapung dari awal sampai titik akhir. Kecepatan aliran merupakan hasil bagi antara jarak lintasan dengan waktu tempuh atau dapat dituliskan dengan persamaan (Rahayu dkk, 2009):

$$v = \frac{L}{t} \dots\dots\dots(9)$$

dengan:

- V = kecepatan (m/detik)
- L = panjang lintasan (m)
- T = waktu tempuh (detik)

Perhitungan debit dilakukan berdasarkan rumus:

$$Q = v \times A \dots\dots\dots(10)$$

dengan:

- Q = debit air ( $m^3/s$ )
- v = kecepatan aliran (m/s)
- A = luas penampang basah saluran ( $m^2$ )

Potensi tenaga listrik yang dihasilkan dirumuskan (Subekti, 2010):

$$P = g \times \gamma_{air} \times Q \times h \dots\dots\dots(11)$$

dengan:

- P = potensi daya listrik
- g = gravitasi ( $9.8 m^2/s$ )
- $\gamma_{air}$  = berat volume air ( $kg/m^3$ )
- Q = debit air ( $m^3/s$ )
- H = head/ketinggian potensial air pada saluran (m)

## 2.5 Analisis Struktur Baja

Analisis rangka baja struktur bangunan dirancang mampu menahan gempa rencana sesuai peraturan yang berlaku yaitu SNI 03-1726-2002 tentang Tatacara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung dan SNI 03 - 1729- 2002 tentang Cara Perencanaan

Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (BSN, 2002).

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 digunakan parameter daktilitas sebagian dengan nilai reduksi gempa ( $R$ ) = 5.6. Sedangkan untuk kombinasi beban berdasarkan SNI 03 - 1729- 2002, tetapi beban angin diabaikan karena struktur yang tidak terlalu tinggi dan beban hidup selama perawatan juga diabaikan sehingga digunakan kombinasi beban:

$$1.4D \dots\dots\dots(12)$$

$$1.2D + 1.6 L \dots\dots\dots(13)$$

$$1.2D \pm 1.0 E + 1.0 LL \dots\dots\dots(14)$$

$$0.9D \pm 1.0E \dots\dots\dots(15)$$

## 2.6 Desain Pondasi

Perancangan struktur pondasi didasarkan pada beban momen dan beban aksial yang terjadi sehingga mengakibatkan terjadinya gaya tekan pada dasar pondasi yang disalurkan ke tanah tanah. Dalam analisis ini, dianggap bahwa pondasi sangat kaku dan tekanan pondasi didistribusikan secara linier pada dasar pondasi.

Persamaan untuk daya dukung pondasi adalah:

$$\sigma_{\text{maksimum}} = \frac{V}{bx by} + \frac{M}{\frac{1}{6} bx^2 by} \dots\dots\dots(16)$$

$$\sigma_{\text{minimum}} = \frac{V}{bx by} - \frac{M}{\frac{1}{6} bx^2 by} \dots\dots\dots(17)$$

Bila diatas pelat pondasi terdapat beban merata akibat beban tanah, maka persamaan menjadi:

$$\sigma_{\text{maksimum}} = \frac{V}{bx by} + \frac{M}{\frac{1}{6} bx^2 by} + q \dots\dots\dots(18)$$

$$\sigma_{\text{minimum}} = \frac{V}{bx by} - \frac{M}{\frac{1}{6} bx^2 by} + q \dots\dots\dots(19)$$

dengan:

$V$  = beban vertikal

$\sigma$  = jumlah gaya pada dasar pondasi

$bx$  = lebar pondasi arah x

$by$  = lebar pondasi arah y

$M$  = momen terhadap sumbu koordinat

$q$  = beban merata

Nilai  $\sigma_{\text{minimum}} \geq 0$ , agar pada dasar pondasi terjadi tegangan desak saja karena tanah tidak bisa menerima tegangan tarik (Gunawan, 1991).

## 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Pengambilan Contoh Tanah dan Menghitung Daya Dukung Tanah

Langkah pertama untuk melakukan analisis ini adalah melakukan pengambilan contoh tanah. Selanjutnya contoh tanah dilakukan pengujian di laboratorium untuk diketahui sifat mekanik tanah melalui pengujian geser langsung (*direct shear test*) dan untuk mengetahui sifat-sifat fisik tanah yaitu pengujian kadar air dan berat volume tanah. Hasil pengujian tanah di lapangan dan di laboratorium digunakan untuk menghitung nilai daya dukung

tanah. Perhitungan daya dukung tanah menggunakan metode Terzaghi.

### 3.2 Pengukuran Debit dan Potensi Tenaga Listrik

Pengukuran ketinggian air pada saluran dilakukan ketika kondisi tidak hujan atau musim kemarau sehingga diharapkan diperoleh ketinggian air minimum pada saluran sehingga diperoleh potensi tenaga listrik minimum.

### 3.3 Perhitungan Struktur Rangka Penyangga Turbin

Analisis kelayakan struktur rangka penyangga turbin dilakukan dengan bantuan software ETABS 9.7. Beban putaran turbin diasumsikan sebagai beban gempa yang bekerja pada struktur rangka turbin. Analisis gempa dilakukan dengan analisis dinamik *Response Spectrum Analysis*. Berdasarkan pembagian Wilayah Gempa, lokasi bangunan di Bali, termasuk wilayah gempa 5. Selanjutnya hasil analisis digunakan untuk mendesain pondasi.

### 3.4 Perhitungan Desain Pondasi

Perhitungan desain pondasi berdasarkan perhitungan daya dukung tanah dasar dan beban berdasarkan perhitungan struktur hasil analisis ETABS. Pondasi yang digunakan adalah pondasi dangkal yaitu pondasi telapak. Perhitungan

penulangan pondasi berdasarkan SNI 03-2847-2002 yaitu tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.

## 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Penelitian Kondisi Tanah

Berdasarkan penelitian di lapangan dari dua titik pengambilan contoh tanah, diperoleh posisi tanah keras adalah pada kedalaman 1 meter. Berikut ini adalah hasil pengujian sondir di lapangan yang diperlihatkan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Sedangkan untuk hasil pengujian di laboratorium diperlihatkan pada Tabel 4.

**Tabel 2. Hasil pengujian contoh tanah di lokasi titik 1, di laboratorium**

Kedalaman (meter)	Nilai Konus (Cw) (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-rata konus (qc) (kg/cm <sup>2</sup> )	Total hambatan (Tf) (kg/cm)
0			
0.2	<b>50</b>		<b>20</b>
0.4	<b>50</b>		<b>100</b>
0.6	<b>120</b>	134	<b>120</b>
0.8	<b>200</b>		<b>220</b>
1	<b>250</b>	190	<b>220</b>
1.2			
1.4			
1.6		250	

**Tabel 3. Hasil pengujian contoh tanah di lokasi titik 2, di laboratorium**

Kedalaman (meter)	Nilai Konus (Cw) (kg/cm <sup>2</sup> )	Rata-rata konus (qc) (kg/cm <sup>2</sup> )	Total hambatan (Tf) (kg/cm)
0			
0.2	<b>10</b>		<b>20</b>
0.4	<b>110</b>		<b>40</b>
0.6	<b>150</b>	144	<b>140</b>
0.8	<b>200</b>		<b>240</b>
1	<b>250</b>	200	<b>240</b>
1.2			
1.4			
1.6		250	



**Tabel 4. Hasil pengujian contoh tanah di lokasi titik 1 dan 2 di laboratorium**

Data tanah		Titik Bor	
		1	2
Kedalaman sampel	(m)	1	1
Kedalaman muka air tanah	(m)	-	-
Berat Volume tanah	(gr/cm <sup>3</sup> )	1.585	1.632
Kohesi tanah (c)	(kg/cm <sup>2</sup> )	0	0.010
Sudut geser (φ)		37.5	38.6

Berdasarkan hasil pengujian di atas maka digunakan nilai rata-rata berat volume ( $\gamma$ ) = 1.609 gr/cm<sup>3</sup>, nilai kohesi (c) = 0 dan nilai rata-rata sudut geser ( $\phi$ ) = 38°.

#### 4.2 Penelitian Kecepatan Air, Debit Aliran dan Potensi Daya Listrik

Untuk melakukan perencanaan perbaikan pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Tangeb, untuk mengetahui potensi listrik yang dapat dibangkitkan perlu dilakukan perlu dilakukan penelitian mengenai kecepatan air (v), ketinggian muka air dan debit aliran (Q).



**Gambar 2. Turbin pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Tangeb**

Kecepatan aliran air rata-rata dari hasil pengukuran adalah (v) adalah 0.46

m/det, lebar penampang sungai adalah 2.7 m, tinggi muka air adalah 18cm, ketinggian air terjun (h) adalah 1,5, sehingga debit air pada sungai (Q) adalah:

$$Q = v \times A \\ = 0.224 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Daya yang dapat dibangkitkan (W):

$$W = 9.8 \times \gamma_{\text{air}} \times Q \times h \\ = 3292.8 \text{ watt} \\ = 3.3 \text{ kW}$$

#### 4.3 Daya Dukung Tanah Berdasarkan Hasil Penyondiran

Berdasarkan data sondir pada dua titik diperoleh posisi tanah keras berada di kedalaman 1 meter. Untuk lebar pondasi direncanakan dengan pondasi telapak ukuran 0.8 × 0.8 m<sup>2</sup>.

Nilai daya dukung tanah berdasarkan data sondir untuk titik 1.

$$q_c (0.5 \text{ m di atas pondasi}) = 134 \text{ kg/cm}^2 \\ q_c (1 \text{ m di bawah pondasi}) = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_c = \frac{134 + 250}{2} = 192 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lebar pondasi (B)} = 0.8 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman pondasi (D}_f) = 1 \text{ m}$$

$$q_{\text{ult}} = \frac{q_c \times B}{40} \left( 1 + \frac{D_f}{B} \right)$$

$$= 8640000 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{\text{all}} = 2880000 \text{ kg/m}^2$$

Nilai daya dukung tanah berdasarkan data sondir untuk titik 2.

$$q_c (0.5 \text{ m di atas pondasi}) = 144 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_c (1 \text{ m di bawah pondasi}) = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_c = \frac{144 + 250}{2} = 197 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Lebar pondasi (B)} = 0.8 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman pondasi (Df)} = 1 \text{ m}$$

$$q_{ult} = \frac{qc \times B}{40} \left( 1 + \frac{Df}{B} \right)$$

$$= 8860000 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{all} = 2955000 \text{ kg/m}^2$$

#### 4.4 Daya Dukung Tanah Berdasarkan Data Hasil Pengujian Laboratorium

Nilai daya dukung tanah berdasarkan data laboratorium untuk titik 1.

$$\gamma = 1.585 \text{ gr/cm}^3 = 1585 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 37.5^\circ$$

Karena kondisi tanah cukup padat dan keras digunakan kondisi keruntuhan geser umum. Untuk  $\phi = 37.5^\circ$ , maka nilai:

$$N_{c(37.5)} = 67.275$$

$$N_{q(37.5)} = 51.375$$

$$N_{\gamma(37.5)} = 56.9$$

$$q_{ult} = 1.3 c N_c + D_f \gamma N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

$$= 110289 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{all} = 36763 \text{ kg/m}^2$$

Nilai daya dukung tanah berdasarkan data laboratorium untuk titik 2.

$$\gamma = 1.632 \text{ gr/cm}^3 = 1632 \text{ kg/m}^3$$

$$c = 0.01 \text{ kg/cm}^2 = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$\phi = 38.6^\circ$$

Karena kondisi tanah cukup padat dan keras digunakan kondisi keruntuhan geser umum. Untuk  $\phi = 38.6^\circ$ , maka nilai:

$$N_{c(38.6)} = 71.444$$

$$N_{q(37.5)} = 55.764$$

$$N_{\gamma(37.5)} = 63.28$$

$$q_{ult} = 1.3 c N_c + D_f \gamma N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

$$= 133341 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{all} = 44447 \text{ kg/m}^2$$

Berdasarkan perhitungan daya dukung tanah berdasarkan data sondir dan data laboratorium maka digunakan nilai daya dukung ijin tanah terendah yaitu  $q_{all} = 36763 \text{ kg/m}^2 = 36.763 \text{ t/m}^2$ .

#### 4.5 Analisis Struktur Rangka dengan ETABS



**Gambar 3. Tumpuan pada pondasi yang telah terlepas**

Perhitungan struktur rangka menggunakan program ETABS dengan memperhatikan dan menyesuaikan dengan struktur yang telah dibangun di lapangan dan memperkirakan beban-beban yang

akan membebani struktur rangka tersebut sehingga dapat diperkirakan apakah rangka penyokong cukup layak digunakan. Beban-beban yang bekerja dan perkiraan besarnya adalah:

1. Beban turbin

$$\begin{aligned} W_{\text{turbin}} &= \text{Vol plat turbin } (V_b) \times \gamma_{\text{baja}} \\ &= \pi \times 1.25 \times 0.01 \times 3.7 \times 8000 \\ &= 1162.4 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk sudu diperkirakan beratnya sepertiga dari berat turbin sehingga berat sudu adalah:

$$\begin{aligned} W_{\text{sudu}} &= 0.33 \times 1162.4 \\ &= 383.6 \text{ kg} \end{aligned}$$

Total beban turbin:

$$\begin{aligned} W_{\text{tot}} &= 1162.4 + 383.6 \\ &= 1545.99 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Beban air

Beban air diperhitungkan mengisi sepertiga dari volume turbin ketika air telah mengalir kedalam tabung turbin. Sehingga berat air yang mengisi turbin adalah:

$$\begin{aligned} V_{\text{turbin}} &= 0.25 \times \pi \times d^2 \times l \\ &= 4.5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{air}} &= 0.33 \times V_{\text{turbin}} \times \gamma_{\text{air}} \\ &= 1485 \text{ kg} \end{aligned}$$

3. Beban akibat gerakan turbin

Beban akibat gerakan turbin dianggap sebagai beban gempa yang bekerja pada turbin dengan

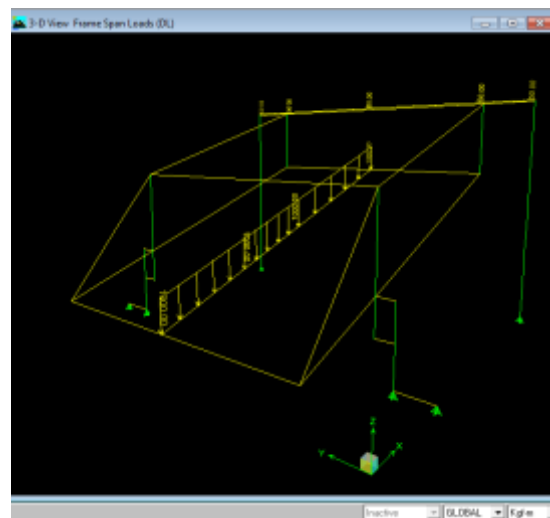
memperhitungkan zone gempa untuk lokasi turbin yaitu zone gempa daerah Bali.

Berdasarkan perhitungan maka beban total yang bekerja pada rangka turbin adalah:

$$\begin{aligned} W_{\text{tot turbin}} + W_{\text{air}} &= 1545.99 + 1485 \\ &= 3030.99 \text{ kg} \end{aligned}$$

Karena panjang turbin adalah 3.7 meter, maka beban total yang bekerja adalah beban merata sepanjang poros turbin dan besarnya adalah:

$$\begin{aligned} W_{\text{merata turbin}} &= 3030.99 / 3.7 \\ &= 819 \text{ kg/m} \end{aligned}$$



**Gambar 4. Pembebanan pada model dengan ETABS**

Berdasarkan hasil analisis dengan ETABS diperoleh hasil, rangka penyangga turbin masih mampu digunakan untuk menyokong turbin selama beroperasi.

#### 4.6 Perhitungan Pondasi

Berdasarkan hasil perhitungan dengan ETABS diperoleh gaya-gaya yang bekerja pada pondasi yaitu beban aksial (V) yang bekerja pada pondasi adalah 2.1155 ton,  $M_x$  adalah 0.3118 tonm,  $M_y$  adalah = 0.28306 tonm dan lebar pondasi yang digunakan adalah 0.95 m.

Perhitungan pondasi dilakukan dengan menggunakan gaya-gaya maksimum yang bekerja pada tumpuan.

Menghitung beban merata diatas pondasi ( $q_{total}$ ):

$$\begin{aligned} q_{\text{pelat pondasi}} &= 0.72 \text{ t/m}^2 \\ q_{\text{tanah}} &= 1.1263 \text{ t/m}^2 \\ q_{\text{total}} &= 1.8463 \text{ t/m}^2 \\ \sigma_{\text{mak}} &= 8.476 \text{ t/m}^2 < q_{\text{all}} = 36.763 \\ &\text{t/m}^2 \text{ (OK)} \\ \sigma_{\text{min}} &= 0.151 \text{ t/m}^2 < q_{\text{all}} = 36.763 \\ &\text{t/m}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Ukuran pondasi 0.95 m × 0.95 m berdasarkan hasil perhitungan telah memenuhi syarat daya dukung tanah.

##### 4.6.1 Geser Lentur (Satu Arah)

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 300 - 60 \\ &= 240 \text{ mm} \\ &= 0.24 \text{ m} \\ a &= \frac{B}{2} - \frac{b}{2} - d \\ &= 0.06 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \sigma_{\text{min}} + (B-a) \times \left( \frac{\sigma_{\text{mak}} - \sigma_{\text{min}}}{B} \right) \\ &= 7.9508 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

##### 4.6.2 Gaya tekan keatas oleh tanah:

$$\begin{aligned} V_u &= [a \times B \times (\sigma_{\text{mak}} + \sigma_{\text{min}})]/2 \\ &= 0.468 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

##### 4.6.3 Gaya geser yang ditahan oleh beton:

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} B d \\ &= 1.2872 \text{ t/m}^2 \geq V_u = 0.468 \text{ t/m}^2 \\ &\text{(OK)} \end{aligned}$$

##### 4.6.4 Geser Dua Arah

Dimensi kolom:

$$\begin{aligned} b &= 300 \text{ mm} = 0.3 \text{ m} \\ h &= 300 \text{ mm} = 0.3 \text{ m} \\ bk + d &= 0.3 + 0.24 = 0.54 \text{ m} \\ hk + d &= 0.3 + 0.24 = 0.54 \text{ m} \end{aligned}$$

Gaya tekan keatas (geser pons)

$$\begin{aligned} V^u &= \left( B^2 - (bk+d)(hk+d) \right) \left( \frac{\sigma_{\text{mak}} + \sigma_{\text{min}}}{2} \right) \\ &= 2.6352 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\beta_c = \frac{hk}{bk} = \frac{0,3}{0,3} = 1$$

$$\begin{aligned} b_o &= 2[(bk + d) + (hk + d)] \\ &= 2[0.54+0.54] \\ &= 2.16 \text{ m} \end{aligned}$$

##### 4.6.5 Gaya geser yang ditahan beton

$$V_{c1} = \left( 1 + \frac{2}{\beta_c} \right) \left( \frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{6} \right) = 11.71 \text{ t/m}^2$$

$$\alpha_s = 30 \text{ (untuk kolom tepi)}$$

$$V_{c2} = \left(2 + \frac{\alpha_s \times d}{b_o}\right) \left(\frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{6}\right)$$

$$= 10.4063 \text{ t/m}^2$$

$$V_{c3} = \frac{\sqrt{f_c'} \times b_o \times d}{3} = 7.8047 \text{ t/m}^2$$

Maka digunakan nilai yang terkecil yaitu  $V_{c3} = 7.8047 \text{ t/m}^2$  sebagai nilai  $V_c$ , sehingga:

$$\phi V_c = 0.75 \times 7.8047$$

$$= 5.8535 \text{ t/m}^2 > V_u = 2.6352 \text{ t/m}^2$$

(OK)

#### 4.6.6 Perhitungan Penulangan Pondasi

$$x = \frac{B}{2} - \frac{hk}{2}$$

$$= 0.325 \text{ m}$$

$$\sigma_x = \sigma_{\min} + (B-x) \left(\frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{B}\right)$$

$$= 24.2378 \text{ t/m}^2$$

$$M_u = 0.5 \times \sigma_x \times x^2 + \left(\frac{\sigma_{\max} - \sigma_x}{3}\right) \times x^2$$

$$= 1.721 \text{ tonm}$$

$$K = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= 37.348 \text{ t/m}^2$$

$$\rho = 0.85 - \sqrt{0.72 - 1.7 \frac{K}{f_c'}} = 0,02$$

$$= 0.00125$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y}\right); \beta_1 = 0,85 \text{ untuk}$$

$$f_c' = 20 \text{ mpa}$$

$$= 0.02945$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \cdot \rho_b = 0.0220875$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = 0.0043$$

Pemeriksaan Rasio tulangan tarik:

$$\rho = 0.00125 < \rho_{\max} = 0.022 \text{ (OK)}$$

$$\rho = 0.00125 < \rho_{\min} = 0.0043$$

Karena rasio tulangan pakainya lebih kecil dari rasio tulangan minimum maka digunakan rasio tulangan minimum  $\rho_{\min} = 0.0043$ .

Luas tulangan:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0.0043 \times 1000 \times 240 = 1032 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan  $\phi 12$  dengan luas tulangan:

$$A_{s(1)} = 0.25 \times \pi \times d$$

$$= 0.25 \times \pi \times 12$$

$$= 113.04 \text{ mm}^2$$

Diperlukan jumlah tulangan:

$$n = \frac{A_s}{A_{s(1)}} = 9.129 \text{ buah} \sim 10 \text{ batang}$$

tulangan

Jarak antar tulangan:

$$s = \frac{950 - (2 \times 6)}{10} = 94 \text{ mm} = 9 \text{ cm}$$

Untuk tulangan susut digunakan luas tulangan setengah dari tulangan tarik.

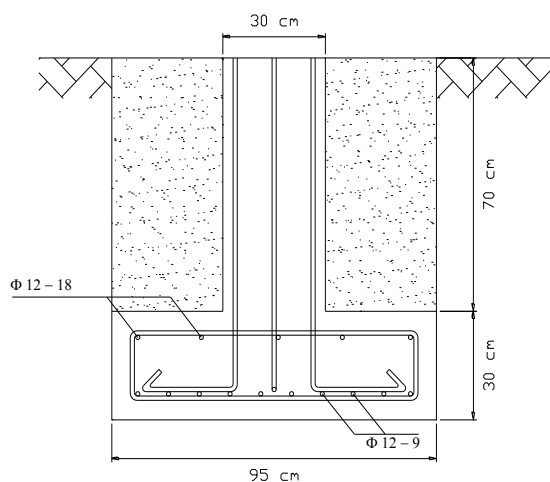
$$n = \frac{A_s}{A_{s(1)}} = 4.56 \text{ buah} \sim 5 \text{ batang}$$

tulangan

Jarak antar tulangan:

$$s = \frac{950 - (2 \times 6)}{5} = 94 \text{ mm} = 9 \text{ cm}$$

Digunakan tulangan Ø12 dengan jarak  $s = 18 \text{ cm}$ . Desain pondasi sesuai dengan Gambar 5.



**Gambar 5. Detail penulangan pondasi**

## 5 KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis mengenai kelayakan pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Desa Tangeb maka dapat dihasilkan kesimpulan yaitu:

1. Tanah dasar pada lokasi turbin cukup tinggi daya dukungnya yaitu diperoleh nilai daya dukung ijin terendah ( $q_{all}$ ) =  $36763 \text{ kg/m}^2 = 36.763 \text{ t/m}^2$  berdasarkan hasil uji di laboratorium, serta letak tanah

kerasnya cukup dangkal yaitu pada kedalaman 1 meter.

2. Untuk rangka baja penyangga turbin, berdasarkan hasil analisis dengan program ETABS 9.7 diperoleh bahwa rangka turbin telah memenuhi syarat atau rangka baja cukup aman untuk mendukung pergerakan turbin.
3. Potensi listrik atau daya yang mampu dihasilkan berdasarkan perhitungan kecepatan air, debit air yang dihasilkan pada kondisi muka air terendah adalah  $W = 3.3 \text{ kW}$ .
4. Perlu dilakukan perbaikan pada pondasi turbin dengan ukuran pondasi telapak yang diperlukan  $0.95 \text{ m} \times 0.95 \text{ m}$ , dengan ketebalan pondasi  $0.3 \text{ m}$  dan kedalaman pondasi  $1 \text{ meter}$ . Untuk tulangan pondasi digunakan tulangan tarik Ø12 dengan jarak antar tulangan  $9 \text{ cm}$  dan tulangan susut Ø12 dengan jarak  $18 \text{ cm}$ .

## 6 DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2002). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung. SNI 03-1726-2002.

- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03 - 1729- 2002. Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton*. SNI 03-2847-2002. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung.
- Craig, R.F. (1984). *Mekanika Tanah*, Edisi ke-4, Diterjemahkan oleh: Budi Susilo S., Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M. (1990). *Principles of Foundation Engineering*. Second Edition, PWS-KENT Publising Company, Boston.
- Fahriani, F. dan Apriyanti, Y. (2015). Analisis Daya Dukung Tanah dan Penurunan Pondasi Pada Daerah Pantai Utara Kabupaten Bangka. *Jurnal Fropil, Vol 3, Nomor 2, Juli-Desember 2015*.
- Gunawan, R. (1991). *Pengantar Teknik Fondasi*. Cetakan Kelima. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Rahayu, S, Widodo R. H., van Noordwijk M., Suryadi, I. dan Verbist, B.(2009). *Monitoring air di daerah aliran sungai*. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre - Southeast Asia Regional Office. 104 p.
- Redana, I W. (2010). *Teknik Pondasi*. Universitas Udayana, Denpasar
- Subekti, R.A.(2010). Survey Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Kuta Malaka Kabupaten Aceh Besar Propinsi Nanggroe Aceh Darussalam. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology, Vol. 01, No. 1, 2010*, Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik – LIPI, Bandung, Jawa Barat 40135.