

ANALISA POTENSI ENERGI AIR PADA KANAL PLTA LARONA UNTUK IMPLEMENTASI TURBIN HIDROKINETIK

TF 185471

ANDI SUNTORO NRP. 0231165002025

DOSEN PEMBIMBING Dr. Ridho Hantoro., ST., MT. NIP. 196761223200501 1 001

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA ENERGI TERBARUKAN
JURUSAN TEKNIK FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Andi Suntoro

NRP. 02311650022025

Tanggal Ujian: Januari 2019 Periode Wisuda: Maret 2019

Disetujui oleh:

- Dr. Ridho Hantoro, ST., M.T.
 NIP. 19761223 200501 1 001
- Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.
 NIP. 19771127 200212 1 002
- Dr. Imam Abadi, S.T, M.T
 NIP. 19761006 199903 1 002

Rembimbing 1)

(Penguji 1)

(Penguji 2)

Dekan Fakultas Teknologi Industri,

Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

NIP: 19690507 1995121 001

ANALISA POTENSI ENERGI AIR PADA KANAL PLTA LARONA UNTUK IMPLEMENTASI TURBIN HIDROKINETIK

Nama Mahasiswa : Andi Suntoro NRP : 0231165002025

Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, ST., MT.

ABSTRAK

PT Vale Indonesia Tbk perusahaan penambangan biji Nikel yang berpusat di Brasil. Lokasi penambangan terdapat di pulau Sulawesi yang telah ditentukan wilayah explorasinya berdasarkan perjanjian Kontrak Karya dengan pemerintah. Dalam proses pengolahan biji Nikel di butuhkan energi yang besar, di dalam tungku peleburannya. Sumber energi sebagian besar dihasilkan dari Pusat Pembangkit Tenaga Air dari tiga danau yang ada di lingkungan operasi. Salah satu PLTA memiliki kanal sepanjang kurang lebih 7 km, untuk memaksimalkan kinerja pembangkit listrik tenaga air di Larona dimanfaatkan potensi aliran pada kanal menuju PLTA melalui konversi turbin hidrokinetik menjadi topik utama penelitian yang akan dilakukan.

Jenis turbin akan digunakan dalam kanal Larona adalah *vertical axis hydrokinetic turbine* (VAHT) dan *horizontal axis hydrokinetic turbine* (HAHT). Analisa wake, *blockage ratio* dan fluktuasi yang terjadi, sangat penting diketahui untuk menghilangkan efek yang terjadi pada pengoperasian kanal, tanpa menganggu aliran sistem terhadap pembangkit utama akibat pemasangan turbin. Hasil simulasi menunjukan bahwa nilai kecepatan aliran air berbeda karena dipengaruhi bentuk dari kanal, yakni kanal lurus bagian hulu , dan kanal lurus bagian hilir, serta bentuk belokan kanal. Gangguan terhadap dinding kanal akan terjadi ketika *blockage ratio* tinggi sehingga mengakibatkan peningkatan kecepatan aliran di dinding kanal dan peningkatan gaya drag pada turbin hidrokinetik. Simulasi dalam penelitian ini menggunakan software Ansys-Fluent dengan data validasi disesuaikan dengan nilai kecepatan sesuai pengukuran, dan dianggap valid ketika selisih yang didapat kurang dari 10%.

Nilai power yang dapat di bangkitkan dari energi kanal antara 170 W/m² - 200 W/m², hal ini terjadi karena perubahan kecepatan aliran air dalam kanal. Peningkatan level air tertinggi sebesar 0,288m dan hal ini tidak menimbulkan bahaya karena peningkatan ketinggian maksimum yang diizinkan setelah dipasangi turbin adalah 0.34 m. Pemasangan turbin juga akan mengakibatkan wake (olakan) dibelakang turbin. Selain itu mengakibatkan blockage efek yang berpengaruh ke dinding seperti peningkatan kecepatan aliran dan peningkatan tekanan. Pemasangan turbin jenis VAHT mengakibatkan ukuran wake lebih panjang daripada pemasangan jenis turbin HAHT. Selain itu bentuk wake yang dihasilkan juga berbeda kemudian tekanan kearah dinding akibat pemasangan turbin juga meningkat.

Kata kunci: karakteristik kanal, potensi hidrokinetik, VAHT, HAHT

POTENSIAL ANALYSIS OF WATER ENERGY IN CANAL AT LARONA HYDRO POWER STATION TO IMPLEMENT HYDROKINETIC TURBINE

Name : Andi Suntoro NRP : 0231165002025

Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, ST., MT.

ABSTRACT

PT Vale Indonesia Tbk, Nickel ore mining company based in Brazil. Mining sites are located on the island of Sulawesi which has been determined for exploration based on the Contract of Work agreement with the government. In the process of processing Nickel ore, a large amount of energy is required for smelting furnace. Most energy generated from the Hydropower Electric Power Plant which connected from three lakes in the location area. One hydroelectric power plant has a canal with the length approximately 7 km, in order to maximize the performance of hydroelectric power plants in Larona, the potential flow in the canal to the hydropower plant. The conversion of hydrokinetic turbines is the main topic of the research to be conducted.

The type of turbine will be used in Larona canals are vertical axis hydrokinetic turbine (VAHT) and horizontal axis hydrokinetic turbine (HAHT). Wake analysis, blockage ratio and fluctuations that occured, are very important to know, so eliminate the effects on the canal operation, without disturbing the flow of the system to the main generator, due to the installation of hydrokinetic turbines. The simulation results show that the value of the water flow velocity is different because it is influenced by the shape of the canal, namely the upstream straight channel, and the downstream straight channel, as well as the channel bend shape. Interference with the canal wall will occur when the blockage ratio is high, resulting in increased flow velocities in the canal wall and increased drag forces in hydrokinetic turbines. The simulation in this study uses Ansys-Fluent software with validation data adjusted to the speed value according to measurements, and is considered valid when the difference obtained is less than 10%

The value of power that can be generated from canal flow energy is between $170\,\mathrm{W}/\mathrm{m2}$ - $200\,\mathrm{W}/\mathrm{m2}$, this occurs because of changes in the speed of water flow in the canal. The increase in the highest water level is $0.288\mathrm{m}$ and this does not cause harm because the maximum height increase allowed after the turbine is installed is $0.34\,\mathrm{m}$. Installation of the turbine will also result in a wake behind the turbine. In addition, it causes blockage of effects that affect the wall such as increased flow speed and increased pressure Installation of VAHT type turbines resulted in a longer wake size than the HAHT turbine type installation. Besides that the shape of the wake produced is also different and the pressure towards the wall due to the installation of the turbine also increases.

Keywords: channel characteristics, hydrokinetic potential, VAHT, HAHT

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul "Analisa Potensi Energi Air Pada Kanal PLTA Larona Untuk Implementasi Turbin Hidrokinetik". Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan tugas akhir untuk mencapai gelar Magister Teknik (MT) pada Program Magister Bidang Keahlian Rekayasa Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

Peneliti dengan segala kerendahan hati, pada kesempatan ini mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berperan dalam penyelesaian tesis ini, kepada:

- Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, PhD selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS, terimakasih atas segala dukungan dan fasilitas yang telah diberikan
- 2. Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST., MT. sebagai pembimbing I, yang telah banyak memberikan bimbingan dan waktu dalam penggalian ide untuk Tesis ini.
- 3. Bapak Gunawan Nugroho, ST, MT, PhD selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan, selaku dewan penguji tesis.
- 4. Bapak Dr. Imam Abadi, ST.MT selaku dewan penguji tesis.
- 5. Seluruh Dosen, Martha serta Staff dan jajaran pengelola Program Magister Bidang Keahlian Rekayasa Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- 6. Rekan- rekan Departemen Maintenance dan Utilities yang memberikan waktu , kesempatan dan membantu dalam penelitian ini.
- 7. Teman teman kelas MT VALE dan Musriyanto yang meluangkan waktu untuk proses selama kuliah, ujian dan penyelesaian Tesis ini dengan lancar.
- 8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak memberikan dukungan, baik materi dan doa kepada penulis.

Terakhir ucapan terima kasih kepada Ibu Ny Anarsiati Soenardi, istriku Judith Maramis, putriku Rezqi Andithika Putri dan Devitha Widanti Putri serta putraku Al-Ferro Yudisthira Putra beserta saudara-saudara peneliti atas bantuan, doa, nasihat dan motivasi yang diberikan selama penelitian Tesis ini.

Semoga semua pihak mendapat kebaikan dari-Nya atas segala bantuan yang diberikan sehingga hasil dari penelitian Tesis dapat terlaksana dengan baik.

Hasil penelitian Tesis ini jauh dari kesempurnaan, walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya penulis berharap agar Tesis ini bermanfaat bagi orang banyak.

Surabaya, November 2018

Peneliti

DAFTAR ISI

ABSTRAK	V
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	XV
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Sistematika Laporan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Energi Hidrokinetik	7
2.2 Turbin Hidrokinetik	8
2.3 Konsep Lift dan Drag	10
2.4 Aliran Kanal Terbuka	12
2.4.1 Pertimbangan Energi	14
2.4.2 Aliran Kanal dengan Kedalaman Seragam	14
2.5 Aliran pada dinding	15
2.6 Fluktuasi permukaan bebas	17
2.7 Pengukuran Kecepatan	18
2.8 Computational Fluid Dynamic (CFD)	19
BAB III METODOLOGI	21
3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.2 Pengambilan Data Primer dan Data Sekunder	22
3.2.1 Geometri Kanal	23
3.2.2 Posisi Pengukuran	25
3.2.3 Data Aktual Karakteristik dan Fluktuasi Aliran	26

3.3 Simulasi dan Validasi Profil Aliran menggunakan Computational	Fluids
Dynamic (CFD)	30
3.3.1 Pembuatan Geometri	30
3.3.2 <i>Meshing</i>	32
3.3.3 Processing	33
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Validasi Hasil Penelitian	35
4.2 Hasil Pengukuran dan Simulasi	37
4.2.1 Panel 24	38
4.2.2 Panel 53	41
4.2.3 Panel 81	42
4.2.4 Panel 159	44
4.2.5 Panel 382	46
4.3 Penilaian Potensi Hidrokinetik	49
4.3.1 Power Density	49
4.3.2 Pembangkitan Daya Setiap Panel	53
4.3.3 Analisa Potensi Peletakan Turbin	54
4.4 Fluktuasi pada Vertical Axis Hydrokinetic Turbine (VAHT)	54
4.5 Fluktuasi pada Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine (HAHT)	57
4.6 Profil Wake Pada Vertical Axis Hydrokinetic Turbine (VAHT)	60
4.7 Profil Wake Pada Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine (HAHT)	61
4.8 Blockage Effect Pada Vertical Axis Hydrokinetic Turbine (VAHT)	63
4.8.1 Distribusi Kecepatan	63
4.8.2 Distribusi Tekanan	64
4.9 Blockage Effect Pada Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine (HAHT)	68
4.9.1 Distribusi Kecepatan	69
4.9.2 Distribusi Tekanan	71
4.10 Pemasangan Hidrokinetik	74
4.11 Perkiraan Biaya Ekstrasi Daya	75
4.11.1 Biaya Komponen Terbesar	75
4.11.2 Biaya Proyek Pemasangan	76
4.11.3 Ringkasan Tahunan	77

BAB V KESIMPULAN	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	85
BIODATA PENULIS	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kanal: Aliran air dari bendungan Batubesi menuju Larona gen	
Gambar 2. 1 Hidrokineik turbin (a) verikal axis hidrokinetik turbine (b) horiz	
axis hidrokinetik turbine (Pham, 2016)	
Gambar 2. 2 Angle of attack turbin (Birjandi, 2012)	
Gambar 2. 3 (a) angle of attack sebagai fungsi TSR dan azimuth angle (b) az	
angle pada maksimum angle of attack akibat TSR (Birjandi, 2012)	
Gambar 2. 4 Gaya yang bekerja pada blade (Birjandi, 2012)	
Gambar 2. 5 Kanal terbuka (Muhson, 2009)	
Gambar 2. 6 Garis energi pada kanal terbuka (Muhson, 2009)	14
Gambar 2. 7 Aliran seragam (Muhson, 2009)	15
Gambar 2. 8 Distribusi kecepatan dan tekanan akibat adanya solid blockag	ge dan
wake blockage (Deepak , 2004)	16
Gambar 2. 9 Vortex sistem yang terbentuk (Taqia, 2016)	17
Gambar 2. 10 Fluktuasi yang terjadi (Yan & Deng, 2016)	17
Gambar 2. 11 Current meter digital	18
Gambar 2. 12 Struktur computational grid sekitar blade (Masoud Ghase	mian,
2017)	19
Gambar 3. 1 Diagram aliran penelitian	21
Gambar 3. 2 Layout Tampak Depan Kanal	23
Gambar 3. 3 Detail Pondasi Kanal	23
Gambar 3. 4 Kanal Larona Intake panel 24	24
Gambar 3. 5 Kanal Larona panel 53 dan 81	
Gambar 3. 6 Kanal Larona panel 159	25
Gambar 3. 7 Kanal Larona panel 382	25
Gambar 3. 8 Luas penampang kanal larona	26
Gambar 3. 9 Iterasi yang didapat	29
Cambar 3 10 Salah satu Geometri	31

Gambar 3. 11 Meshing geometri di salah satu kanal (a) tanpa turbin	(b) dengan
turbin	33
Gambar 4. 1 Kecepatan aliran Kanal Larona	37
Gambar 4. 2 Profil kecepatan penampang panel 24	39
Gambar 4. 3 Profil tekanan panel 24	40
Gambar 4. 4 Profil tekanan panel 24 tampak atas	41
Gambar 4. 5 Profil kecepatan pada panel 53	41
Gambar 4. 6 Profil tekanan panel 53	42
Gambar 4. 7 Profil kecepatan panel 81	43
Gambar 4. 8 Profil tekanan panel 81	43
Gambar 4. 9 Profil kecepatan panel 159	44
Gambar 4. 10 Profil tekanan panel 159	45
Gambar 4. 11 Profil kecepatan karakteristik lurus-tengah kanal Larona	46
Gambar 4. 12 Profil tekanan karateristik lurus-bagian tengah kanal Lar	ona46
Gambar 4. 13 Profil kecepatan panel 382	47
Gambar 4. 14 Profil tekanan panel 382	48
Gambar 4. 15 Power Density panel 24	50
Gambar 4. 16 Power Density panel 53	50
Gambar 4. 17 Power Density panel 81	51
Gambar 4. 18 Power Density panel 159	52
Gambar 4. 19 Power Density Kanal Larona panel 382	52
Gambar 4. 20 Volume fraction pada kanal larona panel 24 sebelum dipa	sang turbin
	55
Gambar 4. 21 Volume fraction pada kanal larona panel 24 (a)sisi kanan	(b)sisi kiri
(c) sisi tengah	55
Gambar 4. 22 Volume fraction untuk larona panel 53(a)sisi kanan (b)	sisi kiri (c)
sisi tengah	56
Gambar 4. 23 Volume fraksi kanal larona 24 setelah diberi turbin(a)sisi kanan
(b)sisi kiri (c) sisi tengah	58
Gambar 4. 24 Volume fraction kanal larona 53 setelah diberi turbin (a)	
(b) sisi kiri (c) sisi tengah	
Gambar 4. 25 Distribusi kecepatan untuk panel larona 24	

Gambar 4. 26 Distribusi kecepatan pada kanal larona 53
Gambar 4. 27 Kecepatan untuk larona panel 24
Gambar 4. 28 Kecepatan untuk larona panel 53
Gambar 4. 29 Distribusi kecepatan untuk larona panel 24
Gambar 4. 30 Distribusi kecepatan untuk larona panel 53
Gambar 4. 31 Distribusi tekanan kanal larona panel 24 tanpa turbin (a) wall tampak
atas (b) tampak atas dengan ketinggian 3 meter (c) sisi kiri (d) sisi kanan 65
Gambar 4. 32 Distribusi tekanan untuk larona panel 24 (a) tampak atas (b) tampak
samping kanan (c) tampak samping kiri
Gambar 4. 33 Distribusi tekanan untuk kanal larona panel 53 (a) tampak atas
dengan ketinggian 3 meter (b) wall tampak atas (c) wall sisi kanan (d) wall sisi kiri
67
Gambar 4. 34 Distribusi tekanan kanal larona 53 (a) tampak atas (b) tampak
samping kanan (c) tampak samping kiri
Gambar 4. 35 Kecepatan untuk larona panel 24
Gambar 4. 36 Kecepatan untuk larona panel 53
Gambar 4. 37 Peningkatan kecepatan (a) sisi kanan (b) sisi kiri
Gambar 4. 38 Distribusi tekanan untuk larona panel 24 (a) sisi kanan(b) sisi kiri
(c) tampak atas
Gambar 4. 39 Distribusi tekanan untuk larona panel 53 (a) sisi kanan(b) sisi kiri
(c) tampak atas
Gambar 4. 40 Peningkatan tekanan (a) sisi dekat turbin (b) sisi dekat dinding 74
Gambar 4. 41 Pemasangan Hidrokinetik Tipe VAHT

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Contoh penulisan tabel data primer	26
Tabel 3. 2 Data pengukuran yang di dapat	27
Tabel 3. 3 Parameter yang digunakan	27
Tabel 3. 4 Kondisi batas tanpa ada turbin	28
Tabel 3. 5 Kondisi batas dengan turbin	28
Tabel 3. 6 Spesifikasi turbin jenis VAHT	31
Tabel 3. 7 Spesifikasi turbin jenis HAHT	31
Tabel 4. 1 Data Validasi Kanal Larona	35
Tabel 4. 2 Pengukuran Kecepatan Aliran Kanal Larona	37
Tabel 4. 3 Kecepatan dan Tekanan Aliran Kanal	49
Tabel 4. 4 Simulasi daya yang dihasilkan setiap Turbin	53
Tabel 4. 5 Kenaikan level untuk kanal larona panel 24	56
Tabel 4. 6 Kenaikan level untuk kanal larona panel 53	57
Tabel 4. 7 Kenaikan level untuk kanal larona panel 24	58
Tabel 4. 8 Kenaikan level untuk kanal larona panel 53	59
Tabel 4. 9 Biaya Komponen Terbesar	76
Tabel 4. 10 Biaya Pemasangan	76
Tabel 4. 11 Biaya Pembangkitan dan Pengoperasian per tahun	77

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring meningkatnya biaya energi, konsumsi dan rencana menaikkan jumlah produksi pada PT. Vale Indonesia Tbk, sehingga terdapat tuntutan untuk menempatkan perhatian pada upaya peningkatan kapasitas suplai listrik melalui penggunaan sumber daya yang tersedia, berkelanjutan dan terbarukan.

Secara umum kebijakan energi nasional bertumpu pada energi yang berasal dari fosil, terutama bahan bakar minyak, demikian juga PT Vale saat ini, masih mengandalkan pembangkitan listriknya dengan menggunakan minyak solar untuk penambahan energi yang di butuhkan. Sedangkan tenaga listrik tersebut termasuk sumber daya yang tidak bisa di perbarui. Berbagai sumber energi alternative yang ramah lingkungan sudah dikembangkan. Salah satunya peluang yang tertinggi adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).

Sumber Daya Terintegrasi (Integrated Resource Plan/ IRP) yang diprogramkan PT Vale Indonesia Tbk (PT Vale) sebagai potensi suplai energi tambahan saat ini, salah satunya adalah potensi pemanfaatan turbin hidrokinetik pada kanal bendungan tenaga air yang telah ada. PT Vale Indonesia Tbk merupakan perusahaan yang mendapat lisensi dari Pemerintah Indonesia untuk melakukan eksplorasi, penambangan, pengolahan dan produksi biji nikel. Sejak awal beroperasi PT Vale Indonesia Tbk telah memegang visi sebagai perusahaan tambang yang peduli terhadap kelangsungan alam. Setelah lebih dari empat dasawasarsa beroperasi, kini memiliki tiga PLTA yakni, Larona, Balambano, dan Karebbe yang berfungsi sebagai pamasok tenaga listrik untuk mengoperasikan furnace (tanur peleburan dan pengolahan bijih nikel) di pusat pengolahan (process plant) di Sorowako. Untuk sumber tenaganya, PLTA disuplai dari tiga danau yang berada di Luwu Timur, yakni Matano, Mahalona, dan Towuti yang mengalirkan air melalui Sungai Larona menuju turbin.

Studi potensi pembangkitan energi hidrokinetik pada arus sungai/ kanal terbuka saat ini telah dilakukan oleh para peneliti pada lokasi yang berbeda-beda (Khan et al,2009), (Guney dan Kaygusuz, 2010), (Kumar dan Sakar, 2016). Sebuah

laporan yang memperkirakan ketersediaan nasional daya kinetik dalam arus sungai alami (Musial,2008). Dalam survei mereka, ditentukan untuk sungai dengan debit lebih besar dari 113 m3/s dan kecepatan diatas 1.3 m/s (Bedard et al,2009) Pemanfaatan energi dari aliran discharge pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dikanal dan analisanya (Liu dan Packey,2014). Untuk menilai potensi sumber daya sehingga perlu dilakukan penelitian dan menganalisis karakteristik kanal, serta menentukan kerapatan energi dan hasil energi tahunan (Khan et al,2008). Penentuan kerapatan energi lokasi potensial memerlukan informasi sifat aliran temporal dan spasial (fluktuasi aliran tahunan) dari kanal beserta perubahan kedalaman, belokan dan penampangnya.

Dengan tingkat variabilitas yang terjadi karena musim dan beban pemakaian pada PLTA sehingga data yang dibutuhkan untuk pengembangan lokasi pembangkit energi hidrokinetik menjadi sangat spesifik. Penilaian sumber hidrokinetik semacam itu terbatas, namun tetap meningkat. Pada tahun 2008 EPRI (M.Presivis et al,2008) melakukan penilaian sumber daya untuk menentukan kelayakan penerapan perangkat hidrokinetik turbin di lokasi di Alaska. Para penulis mencatat bahwa tingkat ketidakpastian yang cukup tinggi disebabkan karena kurangnya studi yang mendalam potensi aliran air pada sungai/ kanal hidrokinetik. (Thielmann, 2009) melakukan sebuah penilaian sumber air hidrokinetik yang tersedia di lateral trapesium yang merupakan bagian dari sistem Irigasi Basin Columbia. Kemungkinan ditawarkan dengan memanfaatkan tiga lokasi melalui penggunaan turbin hidrokinetik dipelajari dan dibandingkan dengan potensi penggunaan turbin tenaga air low head konvensional. Secara umum, menggunakan turbin low head menawarkan peningkatan yang signifikan dalam jumlah daya yang dapat dimanfaatkan, bervariasi antara 10 sampai 50 kali yang diharapkan dari perangkat hidrokinetik. Namun, untuk memanfaatkan potensi penuh, proyek low head ini juga menghadirkan kenaikan biaya modal di muka, sekitar 10 sampai 30 kali lebih banyak dari yang diperkirakan untuk penerapan hidrokinetik. Memiliki akses ke kanal yang lebih besar dengan laju alir yang lebih tinggi dan kecepatan yang lebih cepat bisa terbukti bermanfaat.

Penelitian lain oleh (Lalande,2011) dilakukan dalam upaya untuk melakukan pengujian ekstraksi energi hidrokinetik dan pemodelan numerik dari lokasi yang

dipilih. Hasil simulasi ekstraksi daya dari aliran yang melewati saluran kanal menunjukkan ekstraksi daya 100 kW dari tiga turbin yang ditempatkan 400 m ke hilir dari pembangkit tenaga listrik dan empat lagi di dekat pintu masuk danau, sekitar 1 km ke hilir, menyebabkan kenaikan permukaan air yang dihitung sebesar 0,02 m di hulu dari rangkaian turbin pertama. Fluktuasi tingkat permukaan akibat tahap danau dilaporkan menjadi lebih besar, berkisar antara ± 0.2 m, sehingga memiliki dampak lebih signifikan pada *head* yang tersedia di pembangkit listrik tenaga air dibagian hulu. Dengan menggunakan pengukuran lapangan dan model numerik 2-D untuk mensimulasikan jangkauan, kerapatan daya rata-rata 4.500 W/m² dihitung pada debit sungai sebesar 1.141 m³/s. Data kecepatan rata-rata, debit spesifik, dan fluktuasi kecepatan dihitung dengan menggunakan Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP).

Jenis turbin yang sering digunakan dalam perairan adalah *horizontal axis hydrokinetic turbine* (HAHT) dan *vertical axis hydrokinetic turbine* (VAHT), yang rata rata mempunyai efisiensi 70 %.

Analisa wake, blockage ratio dan fluktuasi yang terjadi, sangat penting untuk mengetahui efek yang terjadi setelah pemasangan turbin. Dan wake perlu dianalisa ketika aliaran air mengenai turbin. Terkait susunan turbin yang optimal telah dilakukan penelitian sebelumnya dengan penyelesaian menggunakan simulasi (Septyaningrum, 2015). Dalam suatu kanal terbuka, turbin akan mengalami fluktuasi pada permukaan bebas. Tahun 2014 telah dilakukan penelitian tentang fluktuasi yang terjadi pada kanal terbuka skala labotarotorium (Zhao,2014), dan didapatkan empat jenis fluktuasi yang terjadi, yakni permukaan bidang datar, permukaan osilasi tranversal, longitudinal dan permukaan gangguan lokal. Sedangkan efek dinding terhadap turbin telah dilakukan dengan variasi turbin pada penelitian tahun 2016 (Taqia, 2016). Efek *blockage* tergantung pada *blockage ratio* dalam kanal. Jika tinggi akan menyebabkan peningkatan kecepatan aliran di dinding kanal dan pengingkatan gaya drag pada turbin. Karenanya penelitian ini juga bertujuan mengetahui efek dinding dan fluktuasi yang terjadi dan tidak ada pengaruhnya dengan pemasangan turbin.

Untuk mendapatkan informasi yang detail terhadap rencana pembangkitan energi hidrokinetik pada kanal menuju PLTA Larona sehingga studi potensi menjadi penting untuk dikaji lebih dalam.

Power Canal berbentuk semi octagonal dengan tembok berdirinya setinggi 3.4 m, tembok miringnya setinggi 1.6 m. Jadi kedalaman kanal adalah 5 m.

Panjang kanal mulai dari *Canal Intake* sampai ke *Lower Canal* adalah 6969 m dengan perbedaan kemiringan dari hulu hingga ke hilir adalah 2.4 m. Kanal terdiri dari panel-panel yang panjangnya rata-rata 20 m, jumlah keseluruhan panel sebanyak 469 buah, sebelum *Lower Canal*. Bangunan kanal terdiri dari panel-panel beton yang disambung-sambung yang setiap sambungan memakai karet. Lebar kanal bervariasi mulai dari *Canal Intake* selebar 18 m kemudian mengecil menjadi 14.4 m dan di *Lower Canal* melebar lagi dengan ukuran 48 m x 210.4 m. *Lower Canal* ini berfungsi sebagai waduk kecil bagi *Power Station*, dengan normal level operasi 314.50 – 317.45 m.



Gambar 1. 1 Kanal: Aliran air dari bendungan Batubesi menuju Larona generator

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

a. Bagaimana karakteristik aliran pada kanal PLTA Larona sebagai potensi pembangkitan energi hidrokinetik?

- b. Bagaimana menganalisis potensi ekstraksi daya potensial hidrokinetik dari kanal melalui pendekatan teoritis dan variasi pemilihan turbin hidrokinetik generik yang tersedia secara komersial.
- c. Perkiraan biaya ekstraksi daya berdasarkan informasi yang tersedia dari aplikasi hidrokinetic dan hydropower terkait.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1. Mengetahui hal dibawah ini akibat aliran pada kanal PLTA Larona sebagai potensi pembangkitan energi hidrokinetik.
 - a. Karakteristik aliran
 - b. Efek dinding terhadap aliran
 - c. Fluktuasi permukaan aliran
- Mengetahui analisa potensi ekstraksi daya potensial hidrokinetik, dari kanal melalui pendekatan teoritis dan variasi pemilihan turbin hidrokinetik generik yang tersedia secara komersial.
- 3. Menentukan perkiraan biaya ekstraksi daya berdasarkan informasi yang tersedia dari aplikasi hidrokinetic dan hydropower terkait.

1.4 Batasan Masalah

- Lokasi studi merupakan wilayah kerja PLTA Larona PT Vale Indonesia Tbk.
- Menggunakan data data aliran kanal, penstock flow, dan head pond level melalui pengukuran sepanjang kanal dan level danau serta curah hujan sebagai database sekunder.
- 3. Analisis tidak mengakomodasi aspek lingkungan.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan Tugas akhir ini tersusun dari 5 bab dengan rincian sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Penjelasan latar belakang yang mendukung dilakukannya penelitian tesis, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah serta sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Penjelasan beberapa teori singkat yang mendasari penelitian tesis. Teori singkat yang dijelaskan pada bab ini adalah energi hidrokinetik, turbin hidrokinetik, konsep *lift* dan *drag*, aliran kanal terbuka, teknologi konversi energi kanal.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini dijelaskan mengenai tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian tesis. Tahapan pembuatan simulasi (cara pembuatan geometri, meshing, preprocessing, processing, postprocessing) serta kondisi-kondisi yang diberikan untuk menentukan boundary saat simulasi hingga diperoleh hasil yang sesuai.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Menampilkan proses validasi hasil simulasi dengan data primer untuk mengetahui nilai eror. Menganalisa data yang diperoleh dari hasil simulasi sesuai tujuan. Beberapa hal yang dibahas pada bab ini antara lain fluktuasi yang dihasilkan oleh turbin diberbagai titik oleh VAHT dan HAHT, profil wake dan blockage effect yang dihasilkan pada tiap variasi. Perkiraan biaya ekstraksi daya.

BAB V PENUTUP

Bab V merupakan bagian akhir dalam penyusunan tesis ini. Berisikan kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian thesis serta saran yang diberikan oleh peneliti. Dengan adanya saran ini, diharapkan penelitian selanjutnya dapat lebih detail dan mampu memberikan dampak besar terhadap implementasi hidrokinetik di aliran kanal.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Hidrokinetik

Energi air yang terjadi pada aliran kanal memanfaatkan aliran air dari masukan kanal bagian atas yakni bendungan Batubesi ke kanal bagian bawah sebelum menuju pipa pesat yaitu *head pond*.

Energi hidrokinetik adalah energi yang dihasilkan dengan pemasangan turbin hidrokinetik pada aliran kanal. Turbin hidrokinetik merubah aliran kanal atau energi kanal sehingga menjadi energi listrik. Perubahan energi diperoleh dari kecepatan arus kanal yang melintasi turbin hidrokinetik yang terpasang, sehingga energi yang dihasilkan dapat menggerakan generator. Dengan berputarnya turbin hidrokinetik yang dihubungkan dengan generator, sehingga pergerakkan generator ini dapat menghasilkan energi listrik.

Persamaan (2.1) digunakan untuk menghitung debit yang mengalir dari sebuah aliran dalam luas permukaan yang terukur dengan prinsip kontinuitas (Anderson,1997) persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Q = \dot{V} = v x A \tag{2.1}$$

Debit merupakan aliran volume dalam satuan waktu \dot{V} atau bisa dianggap sebagai suatu penampang (A) yang mempunyai kecepatan air (v). Sehingga aliran masa dapat di temukan dengan mengalikan luas penampang, kecepatan air dan massa jenis air.

Prinsip energi hidrokinetik dalam aliran air sama dengan yang ada pada energi angin. Melalui konversi energi, daya yang ada pada suatu titik di daerah penampang aliran air yang mengalir pada kecepatan tertentu yang telah diketahui adalah setengah dari perkalian massa dan kuadratik kecepatan, sehingga didapatkan persamaan (2.2)

$$P = \frac{1}{2} x \rho x A x v^3 \tag{2.2}$$

Dimana P (W) adalah daya dalam arus, ρ (kg/m³) adalah densitas air, A_c (m²) adalah luas penampang melintang, dan v (m/s) adalah kecepatan titik yang tidak terganggu oleh aliran yang datang pada penampang.

Karena daya sebanding dengan pangkat tiga kecepatan, sehingga menjadi potensi menarik untuk mengidentifikasi zona di dalam jalur/kanal air yang memiliki kecepatan tinggi dan kedalaman yang memadai. Identifikasi lokasi yang tepat akan memungkinkan fungsi konversi energi yang optimal dan menentukan kelayakan ekonomi. Hal ini ditentukan oleh kerapatan daya di suatu lokasi.(Anderson, 1997)

Untuk daya yang dihasilkan oleh rotor tubin diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$T = r \times \sum F_T \tag{2.3}$$

$$P_t = \sum F_T x v = \frac{T}{r} x r x \omega = T x \omega$$
 (2.4)

Dari persamaan tersebut didapatkan bahwa daya yang diekstrak oleh turbin bergantung dengan torsi, gaya serta ukuran jari-jari yang dimiliki.

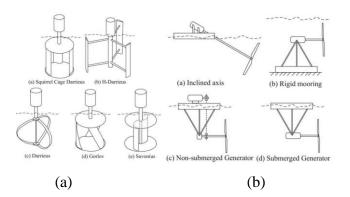
2.2 Turbin Hidrokinetik

Turbin hidrokinetik mempunyai prinsip kerja hampir sama dengan turbin angin. Persamaan power yang diekstrak dari air sesuai dengan Persamaan (2.2). Luas penampang yang digunakan adalah luas sapuan turbin yang berputar. (Birjandi,2012) persamaan (2.5) yang digunakan untuk turbin jenis *vertical axis* dan persamaan (2.6) untuk *horizontal axis* adalah

$$A = \pi DH \tag{2.5}$$

$$A = 2\pi r^2 \tag{2.6}$$

Berdasarkan klasifikasi turbin secara dasar dapat di bagi menjadi 2 yaitu horizontal axis dan vertical axis. Selain itu ada turbin yang memanfaatkan gaya drag dan gaya lift. Turbin yang memanfaatkan gaya drag dapat menurunkan 25% efisiensi energi yang dikonversi. Akan tetapi turbin kinetik akan mencapai 35% ketika memanfaatkan gaya lift ke torsi generator (Birjandi,2012).



Gambar 2. 1 Hidrokineik turbin (a) verikal axis hidrokinetik turbine (b) horizontal axis hidrokinetik turbine (*Pham, 2016*)

Gambar 2.1 menunjukan perbedaan bentuk dari jenis turbin *Horizontal axis hydrokinetic turbine* (HAHT) dan *vertical axis hydrokinetic turbine* (VAHT). VAHT dan HAHT dibedakan berdasarkan arah aliran air terhadap arah putaran turbin. Untuk VAHT arah putaran turbin searah dengan aliran air, sedangkan untuk HAHT tegak lurus dengan aliran air. Cara mengekstrak energi dari air dengan mereduksi kecepatan aliran. Akibat kecepatan aliran air menyebabkan blade berputar dengan kecepatan sudut tertentu, maka resultan dari kecepatan aliran tersebut menghasilkan gaya hidrodinamis berupa gaya angkat (*lift*) dan gaya hambat (*drag*). Untuk mendorong turbin bergerak maka torsi akibat gaya angkat yang dihasilkan harus lebih besar dari torsi yang dihasilkan oleh gaya hambat.

Parameter yang biasanya digunakan untuk mengukur performansi turbin (Guney,2011) adalah *coefficient performance* (Cp) yaitu perbandingan daya keluaran dengan daya akibat aliran. Selain itu ada juga *coefficient of torque* (Ct) yang menunjukan perbandingan torsi sebenarnya dan teori seperti pada Persamaan (2.7) dan (2.8) (Guney,2011). Persamaan yang digunakan adalah

$$C_p = \frac{P_T}{0.5\rho A v^2} \tag{2.7}$$

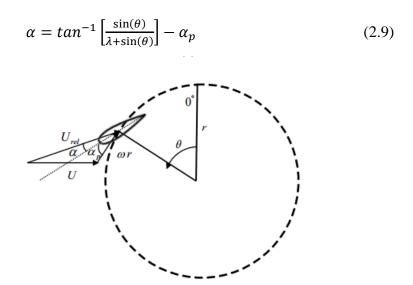
$$C_T = \frac{T}{0.5\rho A v^2} \tag{2.8}$$

Ada teoritical limit pada persentase dari energi kinetik yang dapat dipindahkan dari aliran fluida ke energi kinetik maksimum yang tersedia di fluida. Teori itu dikenal dengan nama Betz Limit. Betz Limit 59,3% untuk *single* dan *open actuator*. Untuk skala sungai yang kecil, turbin dapat mengalami *loses* mencapai 10-25% sehingga efisiensi yang ada sekitar 35%. Densitas untuk air sungai adalah 1000

kg/m³ dan air laut adalah 1030 kg/m³. Penggunaan hidrokinetik turbin secara komersial masih terkendala efisiensi yang rendah tetapi dengan biaya instalasi yang mahal. Berbagai penelitian dilakukan untuk mengurangi kekurangan tersebut. Dari berbagai penelitian menyimpulkan bahwa salah satu aspek yang mempengaruhi performa turbin adalah kecepatan aliran.

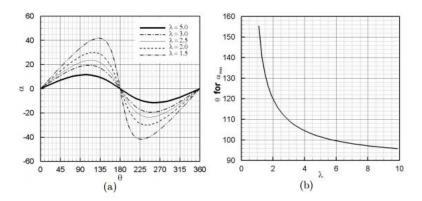
2.3 Konsep Lift dan Drag

Pada *vertical axis hydroniketic turbine* terdapat *angle of attack* dan relative velocity. *Angle of attack* adalah sudut yang terbentuk antara relative velocity dengan garis chord. Jika diasumsikan tidak ada loses pada momentum fluida yang berputar, maka persamaan yang didapat adalah



Gambar 2. 2 Angle of attack turbin (Birjandi, 2012)

Pada Gambar 2.2 menunjukan bahwa sudut yang dibentuk oleh chord dan arah aliran udara adalah sudut serang, sehingga Persamaan (2.9) digunakan untuk menghitung sudut serang yang dipengaruhi oleh TSR dan sudut pitch. Dimana $\lambda = \frac{\omega r}{U}$ atau tip speed rasio , θ adalah azimuth angle, α_p adalah sudut pitch. Pada downstream (belakang turbin) rotasi $180^\circ < \theta < 360^\circ \lambda$ lebih tinggi dari pada tip rasio pada upstream karena adanya konversi energi dari blade yang mengekstrak momentum air.



Gambar 2. 3 (a)angle of attack sebagai fungsi TSR dan azimuth angle (b) azimuth angle pada maksimum angle of attack akibat TSR (*Birjandi*, 2012)

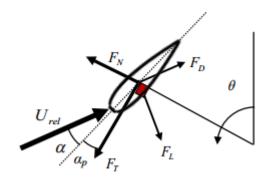
Gambar 2.3 menunjukan bahwa maksimum angle of attack muncul ketika azimuth angle $\theta_{\alpha_{max}} = cos^{-1} \left[-\frac{1}{\lambda} \right]$.

Gambar 2.4 mengacu pada koordinat blade, gaya yang bekerja pada blade dibagi menjadi 2 komponen yaitu gaya drag F_D dan gaya lift F_L (Birjandi, 2012). Koefisien dari masing-masing gaya tersebut dirumuskan menjadi:

$$C_L = \frac{F_L}{0.5\rho v^2 c} \tag{2.10}$$

$$C_D = \frac{F_D}{0.5\rho v^2 c} \tag{2.11}$$

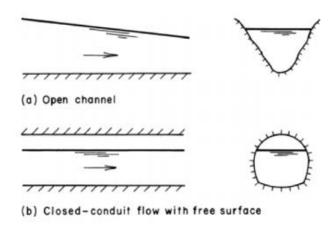
Dimana v adalah kecepatan dan c adalah chord yang digunakan untuk mewakili luas penampang. Pada Persamaan (2.10) dan (2.11) tersebut merupakan persamaan tak berdimensi yang digunakan untuk menentukan nilai perkiraan dengan cara-cara baik.



Gambar 2. 4 Gaya yang bekerja pada blade (Birjandi, 2012)

2.4 Aliran Kanal Terbuka

Aliran kanal terbuka adalah aliran yang pada dasarnya terdapat permukaan bebas yang mana permukaan tersebut sama dengan tekanan atmosfer lokal. Klasifikasi aliran kanal terbuka ada dua yaitu alami seperti sungai, dan buatan manusia seperti bendungan, irigasi dst. Dari aliran kanal terbuka buatan manusia, faktor geometri sangat penting untuk menunjukan profil kecepatan yang ditimbulkan dari masing-masing bentuk aliran kanal terbuka seperti Gambar 2.5 Pada gambar ini menunjukan bahwa aliran kanal terbuka juga dipengaruhi oleh kemiringan atau slope pada sepanjang aliran.



Gambar 2. 5 Kanal terbuka (Muhson, 2009)

Pada aliran terbuka melibatkan permukaan bebas yang berdeformasi dari komponen gravitasi sepanjang kanal bawah sehingga membentuk sebuah gelombang. Gelombang itu bergerak dengan kecepatan tergantung pada ukuran kanal dan sifat kanal. Parameter tak berdimensi ini disebut bilangan frounde dengan rumus (Linsley et al ,1992):

$$Fr = \frac{V}{(gl)^{1/2}} \tag{2.12}$$

Dimana V (m/s) adalah kecepatan rata-rata arus, g (m/s²) adalah percepatan gravitasi, dan h (m) adalah kedalaman air. Angka tersebut mewakili rasio gaya inersia dengan aliran gaya gravitasi yang bekerja pada fluida.

Jika aliran ditandai oleh Fr < 1, aliran dikatakan sub-kritis dan gelombang amplitudo kecil ini akan merambat turun dan ke hulu. Jika Fr > 1, aliran dikatakan sangat kritis dan gangguan permukaan akan disapu ke arah hilir karena kecepatan aliran lebih besar daripada kecepatan propagasi. Pada transisi Fr = 1 dan aliran dikatakan kritis.

Lokasi yang baik untuk turbin hidrokinetik, yang terbaik adalah menghindari arus super-kritis karena biasanya mengalami perubahan mendadak dari kedalaman dangkal dan kecepatan yang tinggi ke arus sub-kritis dengan kedalaman lebih besar dan kecepatan yang lebih lambat. Transisi terjadi ketika kedalaman aliran super kritis meningkat sampai ke kedalaman kritis, biasanya melalui hambatan yang disebabkan oleh gaya gesekan yang memperlambat arus. Transisi turbulen yang terjadi disebut sebagai 'hydraulic jump'. Lompatan ini selalu disertai dengan kehilangan energi yang signifikan dan pusaran rolling berlawanan arah jarum jam bergerak naik melalui kolom air dan muncul seperti upwellings di permukaan bebas. Keadaan turbulensi juga tergantung pada parameter Re. Reynolds Number adalah bilangan karakteristik yang memberikan informasi tentang keadaan turbulen dan didefinisikan sebagai berikut

$$Re = Vl/v \tag{2.13}$$

di mana l (m) adalah skala panjang karakteristik, dan v (m²/s) adalah viskositas kinematik fluida. Re number menunjukan bagaimana suatu arus berperilaku. Bila Re number besar maka tidak tergantung pada viskositasnya. Untuk aliran saluran terbuka, aturan umum adalah bahwa aliran turbulen jika > 2100. Panjang karakteristik yang digunakan untuk menentukan aliran saluran terbuka adalah diameter hidrolik, d_h (m), (Linsley,1992) yang didefinisikan sebagai

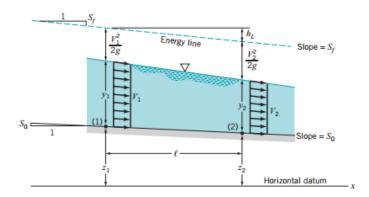
$$d_h = 4 * A_c / P_w (2.14)$$

di mana P_w (m) adalah total batas pembasahan dari luas penampang. Dengan mencatat bahwa jika penampang berbentuk melingkar dan keseluruhan penampang dibasahi, seperti pada aliran pipa, diameter hidrolik sama dengan $4\pi R^2/2\pi R$, sama dengan 2R, atau diameternya.

Luas penampang melintang yang besar dan *flow rate* sungai biasanya menempatkan aliran kanal terbuka dalam kelompok turbulen sebagai aliran sub-kritis. Menurut desain, beberapa bagian struktur hidrolik, seperti saluran pembuangan di bendungan pembangkit listrik tenaga air, arus sangat kritis, dengan mengontrol hidrolik *jump* menuju hilir (Linsley,1992). Secara umum area ini harus dihindari untuk penyebaran turbin hidrokinetik.

2.4.1 Pertimbangan Energi

Kemiringan pada aliran kanal terbuka ditunjukan pada gambar berikut:



Gambar 2. 6 Garis energi pada kanal terbuka (Muhson, 2009)

Gambar 2.6 menunjukan bahwa head loss yang ditimbulkan semakin besar sepanjang aliran kanal terbuka. Head loss ini karena efek viskos saat aliran bergerak menuju hilir. Persamaan (2.15) dan (2.16) menyebutkan bahwa kemiringan dari dasar kanal (atau kemiringan dasar), $S_0 = (z_1-z_2)/\ell$, diasumsikan konstan sepanjang segmen (Muhson, 2009). Untuk kebanyakan aliran kanal terbuka, nilai S_0 sangat kecil karena dasarnya hampir horizontal.

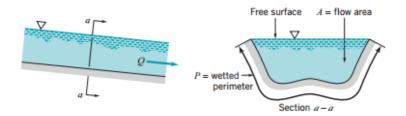
$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{{V_1}^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{{V_2}^2}{2g} + z_2 + h_L \tag{2.15}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + S_0 \ell = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$
 (2.16)

2.4.2 Aliran Kanal dengan Kedalaman Seragam

Aliran kanal dengan kedalaman seragam (dx/dy=0) dapat diperoleh dengan mengatur kemiringan dasar kanal S₀, sehingga kemiringan itu tepat sama dengan

kemiringan garis energi , S_f , yang artinya $S_0 = S_f$. Meninjau dari fluida yang mengalir di dalam sebuah kanal terbuka dengan bentuk dan ukuran penampang yang konstan sehingga kedalaman dari aliran tetap konstan. Luas penampang adalah A dan keliling terbasahi (*wetted perimeter*) yaitu panjang dari keliling pada penampang yang bersentuhan langsung dengan fluida. Keliling terbasahi diberi symbol P. Interaksi antara atmosfer dengan permukaan bebas dapat diabaikan sehingga bagian itu tidak termnasuk ke dalam keliling terbasahi.



Gambar 2. 7 Aliran seragam (Muhson, 2009)

Gambar 2.7 menunjukan bahwa aliran seragam ditandai dengan ketinggian fluida pada sepanjang aliran adalah sama dan tidak berubah. Akan tetapi karena fluida mengikuti permukaan padat, distribusi kecepatan aktual dalam sebuah kanal terbuka tidak seragam. Kecepatan maksimum sering dijumpai agak di bawah permukaan bebas dan kecepatan fluida nol pada keliling terbasahi, dimana suatu tegangan geser dinding terbentuk.

2.5 Aliran pada dinding

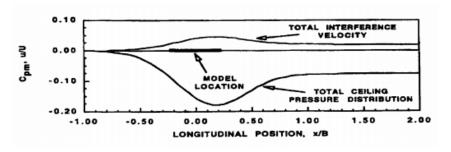
Efek pada dinding dan dasar kanal yang menyebabkan terjadinya gaya perlawanan atau resistansi pada benda yang bergerak biasanya disebut dengan *blockage effect*. Variasi kecepatan atau timbulnya gaya perlawanan akibat dinding atau batas pada kanal sebagian besar dipengaruhi oleh *blockage ratio*. Persamaan yang digunakan adalah

$$\varepsilon = \frac{A_t}{A_C} \tag{2.17}$$

Dimana A_t adalah luas sapuan turbin dan A_c adalah luas permukaan kanal (Groude & Olov Agren, 2013). Persamaan ini menerangkan bahwa luasan sapuan turbin berpengaruh terhadap seberapa besar menghalangi aliran pada kanal.

Umumnya studi mengenai blockage effect bertujuan untuk menentukan seberapa besar peningkatan kecepatan aliran disekitar turbin. Blockage effect dapat dikategorikan menjadi 3 komponen, yakni solid blockage, wake blockage yang menyebabkan kecepatan aliran disekitar turbin meningkat, dan boundary yang menyebabkan timbulnya wake yang berhubungan dengan peningkatan gaya drag. Seperti pada Gambar 2.8 menunjukan bahwa Solid blockage terjadi ketika aliran yang menuju downstream mengalami peningkatan kecepatan lokal dan dinding di sekitar turbin. Selain itu juga mengakibatkan gradasi tekanan simetris dan peningkatan hambatan. Peningkatan kecepatan aliran lokal juga mempengaruhi lapisan batas di permukaan turbin yang menyebabkan peningkatan ketebalan lapisan batas. Fenomena ini biasanya disebut wake blockage. Fenomena ini mengakibatkan gradasi tekanan asimetris dan peningkatan hambatan (Aan, 2015). Gradasi tekanan yang dihasilkan karena sumber wake blokage yang bekerja pada volume model yang mengakibatkan kenaikan drag yang diinduksi oleh wake.

Masalah lain yang muncul dari turbin adalah wake. Wake merupakan penurunan kecepatan yang cukup besar dan peningkatan level turbulensi. Penurunan yang besar akan mengakibatkan penurunan energi yang terekstrak. Salah satu fenomena yang dapat di gunakan untuk menganalisa wake adalah pembentukan *tip vortex*



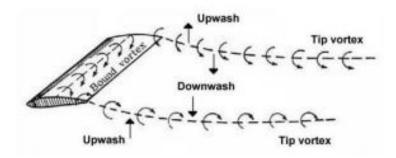
Gambar 2. 8 Distribusi kecepatan dan tekanan akibat adanya solid blockage dan wake blockage (Deepak, 2004)

Tip vortex menyebabkan munculnya separasi aliran yang memisahkan antara aliran wake bertubulensi tinggi dengan aliran disekelilingnya seperti pada Gambar 2.9

Karakteristik wake tip-vortex harus diukur dan diprediksi secara akurat serta dikurangi atau dihilangkan jika memungkinkan. *Downstream* dari trailing edge

sayap, proses *roll-up shear layer* mengakibatkan vortisitas dari *shear layer* yang meninggalkan *trailing edge* untuk dibawa ke wilayah inti pusaran.

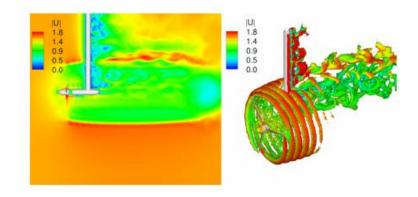
Selain itu di bagian turbin terjadi fenomena stall ketika sudut serang (angle of attack) atau kecepatan aliran sangat besar sehingga udara tidak bisa mengalir secara laminar. Oleh karena itu aliran udara tidak bisa menyentuh bagian belakang *blade* sehingga terjadi separasi aliran pada bagian belakang *blade*. Setelah melewati turbin, akan terjadi aliran turbulen di bagian belakang turbin, fenomena inilah yang disebut sebagai wake.



Gambar 2. 9 Vortex sistem yang terbentuk (Taqia, 2016)

2.6 Fluktuasi permukaan bebas

Fluktuasi adalah terjadinya perubahan ketinggian fluida pada suatu waktu. Fluktuasi permukaan air sungai menunjukkan adanya perubahan kecepatan aliran dan debitnya. Debit air yang mengalir dari kanal dipengaruhi curah hujan atau musim. Pada musim kemarau akan mengakibatkan penurunan debit yang ada pada kanal, sehingga permukaan bebas mungkin dapat berada di bawah *top plate* turbin (Amir Hossein Birjandi, 2013).



Gambar 2. 10 Fluktuasi yang terjadi (Yan & Deng, 2016)

Hydraulic jump merupakan loncatan aliran akibat adanya aliran subkritis berubah menjadi superkritis kemudian kembali lagi ke keadaaan sub kritis. Permasalahan yang sering muncul akibat fenomena ini adalah gerusan-gerusan yang diakibatkan pembuangan energi aliran terbuka yang sangat besar. Bendungan adalah contoh yang paling mengesankan untuk pembentukan loncatan hidrolik di kanal dimana aliran mengalami kecepatan tinggi di bawah bendungan. Ketika loncatan hidrolik mendekati bendungan, aliran meningkat sampai bendungan terendam. Hal ini terjadi akibat penurunan kecepatan di bawah bendungan saat lewat (El-Seddik, 2016).

2.7 Pengukuran Kecepatan

Kecepatan aliran pada kanal dan sungai dilakukan dengan current meter dan Acoustic Doppler Current Profiler (ADCPs). Current meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan arus aliran pada 1 titik untuk setiap pengukuran. ADCP adalah alat umum dalam penelitian oseanografi. Untuk akurasi instrumen yang berbeda dan ukuran sensor, alat ini mampu mengukur dari beberapa meter kedalaman air.



Gambar 2. 11 Current meter digital

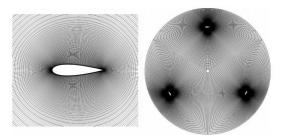
Gambar 2,11 adalah gambar dari *current meter digital* yang digunakan untuk mendaptakan kecepatan aliran di kanal. ADCP memancarkan pulsa akustik (ping) yang dipantulkan oleh pemancar. Energi dalam sinyal kembali adalah intensitas gema. Sinyal kembali memiliki frekuensi yang berbeda dari yang dipancarkan. Karena efek Doppler, ini sebanding dengan kecepatan. Untuk mengurangi

ketidakpastian statistik, ADCP rata-rata koleksi ping dan ping rata-rata merupakan ansambel. Interval ensemble adalah waktu antara ensemble. Selanjutnya, ADCP mengukur seluruh kedalaman. Kisaran pengukuran dibagi menjadi segmen seragam yang disebut data kotor. ADCP juga memiliki kompas built-in. Secara keseluruhan, ADCP mengukur seluruh kolom air yang menghasilkan profil vertikal atau profil horizontal, tergantung pada model, dari kecepatan dan arah arus dari waktu ke waktu.

2.8 Computational Fluid Dynamic (CFD)

Ada berbagai teknik simulasi yang berkembang diantaranya *vortex model*, *Blade Element Momentum (BEM)*, *Multiple Steamtube* model dan *Computational Dynamics Fluid* (CFD). CFD adalah metode numerik dan algoritma untuk memecahkan masalah yang melibatkan dari aliran fluida tersebut. Properti yang digunakan sangat cepat dan mudah diakses menggunakan grid node. Tetapi sangat sulit untuk menciptakan struktur grid untuk geometri kompleks.

Gambar 2.12 menunjukan salah satu tahapan dalam simulai yaitu meshing yang dilakukan sebelum melakukan perhitungan. Pada simulasi CFD membutuhkan beberapa cara solusi persamaan aliran fluida agar menghasilkan konvergen.



Gambar 2. 12 Struktur computational grid sekitar blade (Masoud Ghasemian, 2017)

Konservasi keseimbangan masa pada inlet dan outlet sangat dibutuhkan untuk memverifikasi data. Berbagai persamaan yang digunakan untuk menentukan grid finite adalah k- ε , k- ω (SST), SST transition, Large Eddy simulation and Hybrid RANS-LES (Masoud Ghasemian, 2017). Persamaan umum yang digunakan dalam CFD adalah persamaan Navier-Stokes sebagai berikut:

a. Persamaan kontinuitas/massa
$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \frac{\delta(\rho u)}{\delta x} + \frac{\delta(\rho v)}{\delta y} + \frac{\delta(\rho w)}{\delta z} = 0$$
 (2.18)

b. Persamaan momentum ke arah sumbu X
$$\rho \left(\frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta u}{\delta y} + z \frac{\delta u}{\delta z} \right) = -\frac{\delta P}{\delta x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 v}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 w}{\delta z^2} \right)$$
(2.19)

Dimana:

X adalah koordinat sumbu X

Y adalah koordinat sumbu Y

Z adalah koordinat sumbu Z

U adalah komponen kecepatan sumbu X

V adalah komponen kecepatan sumbu Y

W adalah komponen kecepetan sumbu Z

t adalah waktu

 ρ adalah densitas

P adalah tekanan

g adalah gravitasi

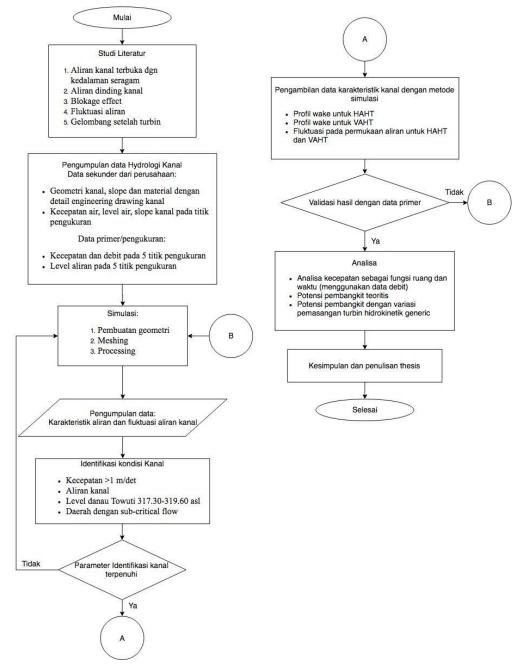
Pada Persamaan (2.18) menunjukan tentang hukum kekekalan masa terhadap arah aliran. Ketika luas penampang yang dilewati pasa setiap sumbu berbeda, maka kecepatannya berbeda agar mempertahannya massa yang terlewat. Pada Persamaan (2.19) menerangkan bahwa kekekalan momentum berkaitan erat dengan gaya yang terjadi pada aliran fluida. Pada aliran ini, gaya dipengaruhi oleh 3 jenis yaitu gaya akibat massa sehingga muncul adanya gravitasi, dipengaruhi oleh tekanan dan dipengaruhi oleh gesek sehingga muncul viskositas aliran. Ada 3 teknik solusi numeric aliran yang berbeda yaitu finite difference, finite element dan finite volume methods.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir mengenai tahapan-tahapan pelaksanaan tesis ini sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram aliran penelitian

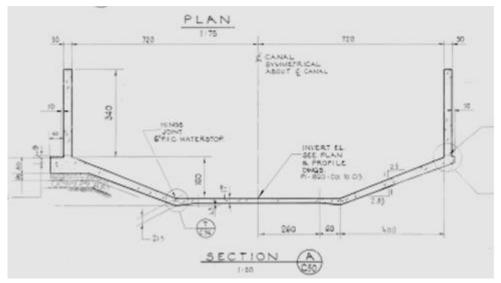
Tesis ini diawali dengan studi literatur. Studi literatur dilakukan agar dapat memahami konsep dan dasar-dasar tesis. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara mempelajari jurnal maupun buku yang berkaitan dengan thesis. Beberapa teori dasar tentang aliran kanal terbuka dengan kedalaman seragam, aliran yang terjadi pada dinding kanal, fluktuasi aliran serta gelombang setelah turbin. Adapun yang dipelajari pada studi literatur ini mengenai pembangkit listrik hidrokinetik, turbin hidrokinetik, vertical aksis hidrokinetik turbin, horizontal aksis hidrokinetik turbin, lift dan drag pada turbin, fenomena wake, dan blockage effect. Selanjutnya dilakukan proses simulasi dengan menggunakan software Ansys yang diawali dengan pembuatan geometri turbin, meshing, pre-processing dan post processing dengan menggunakan data hasil pengukuran. Dari hasil simulasi didapatkan data berupa kontur kecepatan dan kontur tekanan pada turbin dengan variasi bentuk turbin (VAHT dan HAHT) dan karakteristik lokasi. Kemudian dilakukan validasi antara data simulasi dengan data pengukuran dengan menggunakan data kecepatan pada 9 lokasi titik yang telah ditentukan di setiap panelnya. Masing masing titik diambil 5 kali data dan jarak masing masing data 5 detik. Apabila hasil simulasi mencapai eror dibawah 10% maka dapat dilakukan analisa sesuai dengan tujuan thesis ini. Bagian methodologi tentang studi literature ini sudah dibahas di BAB II, Tinjauan Pustaka.

3.2 Pengambilan Data Primer dan Data Sekunder

Data primer diambil di kanal Larona pada panel 24, panel 53, panel 81, panel 159 dan panel 382. Panel-panel tersebut dianggap mempunyai potensi, dan kanal Larona panel 24 dianggap untuk mewakili karakteristik lurus, serta kanal Larona panel 53 dan 81 digunakan mewakili karakteristik belokan. Sedangkan panel 159 dan panel 382 mewakili panel lurus yang jauh dari kanal intake sehingga menunjukkan aliran air di area hilir. Pada lokasi lokasi tersebut, aliran kanal Larona mempunyai spesifikasi laminar dan transisi. Dengan demikian pada kanal ini dianggap tidak berbahaya jika dipasangi turbin. Kanal ini dirancang dengan kemampuan aliran 60 -155 cumes.

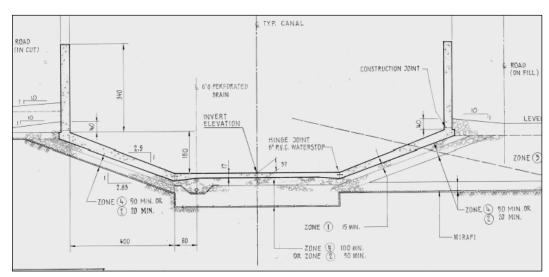
3.2.1 Geometri Kanal

Gambar 3.2 dibawah menunjukkan gambar teknik tampak depan dari kanalkanal yang dilakukan penelitian untuk tesis ini.



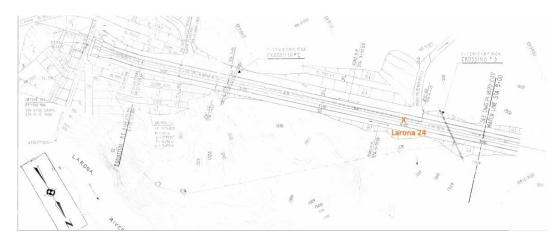
Gambar 3. 2 Layout Tampak Depan Kanal

Gambar 3.3 dibawah menunjukkan pondasi dari bangunan kanal, dimana terdapat bagian yang lebih rendah, yang berfungsi untuk mengumpulkan bocoran air dari kanal, dan dialirkan sesuai dengan jalurnya, sehingga aman untuk pondasi kanal secara keseluruhan. Material yang digunakan adalah *aggregate* dengan ukuran maksimum 3/4 inchi, sebagai bahan dasar *concrete*.



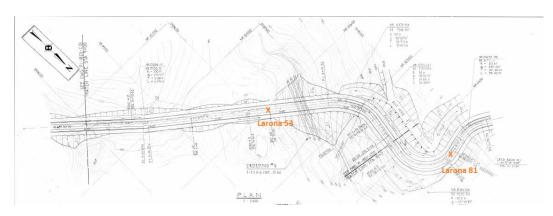
Gambar 3. 3 Detail Pondasi Kanal

Gambar 3.4 dibawah ini menunjukkan tampak atas panel 24 yang berbentuk lurus dan didaerah hilir, dan mewakili panel lurus lainnya dalam penelitian ini.



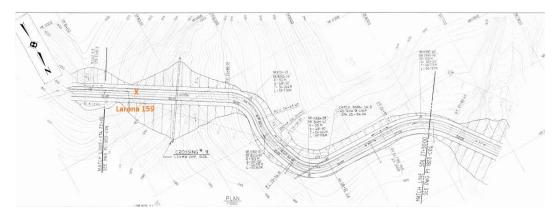
Gambar 3. 4 Kanal Larona Intake panel 24

Gambar 3.5 dibawah ini menunjukkan tampak atas panle 53 dan 81, mewakili bentuk kanal yang tidak lurus atau belokan. Pengukuran di panel 81, untuk mengetahui aliran setelah belokan, dan panel 53 mengetahui aliran sebelum terjadi belokan aliran.



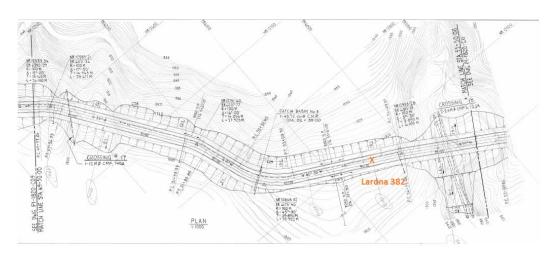
Gambar 3. 5 Kanal Larona panel 53 dan 81

Gambar 3.6. dibawah ini adalah gambar tampak atas panel 159 lurus di pertengahan arah hilir kanal secara keseluruhan dan sebelum terjadi belokan dari aliran. Panel ini jauh dari kanal intake dan memunyai spesifikasi laminar dan transisi.



Gambar 3. 6 Kanal Larona panel 159

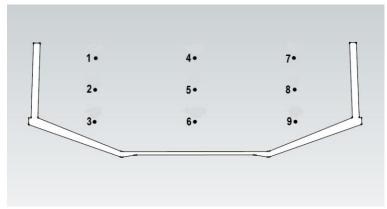
Gambar 3.7 dibawah ini adalah gambar tampak atas dari panel 382, dimana panel tersebut mewakili panel lurus di daerah hilir dan jauh dari kanal intake.



Gambar 3. 7 Kanal Larona panel 382

3.2.2 Posisi Pengukuran

Variabel data yang diambil adalah kecepatan aliran yang berada di 5 lokasi panel yaitu panel 24, panel 53, panel 81, panel 159 dan panel 382. Pada pengukuran disetiap lokasi panel diambil 1 luas penampang untuk penentuan pengukuran kecepatan. Berikut adalah luas penampang pada kanal Larona. Disetiap lokasi pengukuran dibagi masing-masing menjadi tiga segmen secara vertikal dan secara horisontal. Lokasi pengambilan data terlihat seperti Gambar 3.8



Gambar 3. 8 Luas penampang kanal larona

Dan tiap segmen pengukuran dibagi menjadi 3 titik pengukuran yang diilustrasikan pada Tabel 3.1 sebagai berikut,

		Kecepatan (m/s)									
No	Lokasi	Kiri				Tengah			Kanan		
		Тор	Middle	Bottom	Тор	Middle	Bottom	Тор	Middle	Bottom	
1	Lokasi 1	I	II	III	IV	٧	VI	VII	VIII	IX	
2	Lokasi 2	I	II	III	IV	٧	VI	VII	VIII	IX	
3	Lokasi 3	I	II	III	IV	٧	VI	VII	VIII	IX	
4	n .		- 11		15.7	.,	\ //	\ //II	\ /III	137	

Tabel 3. 1 Contoh penulisan tabel data primer

Pada tabel diatas menunujukkan lokasi pengukuran kecepatan tiap segmen, tiap sel yang berisi angka romawi merupakan representasi nilai kecepatan arus. Terdapat tiga posisi, yaitu sebelah kiri, tengah, dan kanan. Setiap posisi memiliki tiga titik dengan perbedaan kedalaman untuk top sebesar 1 m, middle 2m, dam bottom 3m. Pembacaan arah aliran air untuk posisi kiri, tengah, dan kanan merupakan searah dengan arah pembaca.

3.2.3 Data Aktual Karakteristik dan Fluktuasi Aliran

Pada kondisi ini dilakukan setup untuk menentukan kondisi batas pada kasus yang akan disimulasikan. Pemilihan kondisi batas ini ada dua jenis yaitu jenis untuk menyesuaikan dengan pengukuran agar hasilnya valid dan untuk prediksi dalam pemasangan turbin. Untuk kondisi validasi digunakan nilai debit sebesar 142 cms

sesuai dengan kondisi pengukuran agar dapat mengetahui nilai kecepatan yang dimasukan. Kecepatan didapat dari nilai debit dibagi luas area basah, sehingga kecepatan dari tiap lokasi panel tergantung dengan luas penampang. Tabel 3.2 berikut adalah kondisi kecepatan dan tinggi permukaan air dari tiap lokasi pengukuran.

Tabel 3. 2 Data pengukuran yang di dapat

No	Lokasi	Kecepatan (m/s)	Free Surface (m)
1	Panel 24	2.41	4.7
2	Panel 53	2.24	4.7
3	Panel 81	2.34	4.7
4	Panel 159	2.34	4.7
5	Panel 382	2.37	4.2

Pada tahap ini simulasi akan diinterpretasikan ke dalam bentuk gambar, grafik maupun kontur. Tabel 3.3. adalah parameter-parameter yang digunakan dalam simulasi penelitian ini.

Tabel 3. 3 Parameter yang digunakan

Parameter	Jenis
Model Geometri	3D
Keadaan	Transient
Viscous model	Κ-ε,
Material properties	Fluid: air and water
	Solid : wall kanal

Selain parameter yang dimasukan diatas juga diperhatikan kondisi batas. Kondisi batas ini yang menentukan simulasi sudah sesuai dengan pengukuran atau belum. Kondisi batas sebelum dipasang turbin, yang digunakan untuk validasi seperti Tabel 3.4 sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Kondisi batas tanpa ada turbin

No	Kondisi Batas	Posisi	Kondisi
1	Inlet	Depan domain	Kecepatan sesuai dengan kecepatan
		Kanal	saat pengukuran dan mixture phase
			dengan ukuran free surface sesuai
			dengan tabel 3.4
2	Atmosfer	Atas domain kanal	Pressure outlet dengan mixture
			phase dengan ukuran free surface
			sesuai dengan tabel 3.4
3	Outlet	Belakang domain	Pressure outlet dengan mixture
		kanal	phase dengan ukuran free surface
			sesuai dengan tabel 3.4
4	Wall	Kanan, kiri dan	Stationary wall dengan roughness
		bawah domain	0,012
		kanal	

Setelah hasil simulasi sudah sesuai dengan data kecepatan yang diperoleh dari pengukuran maka dilakukan simulasi lagi untuk memprediksi setelah dipasangi turbin pada keempat bagian tersebut. Tabel 3.5 berikut adalah kondisi batas yang digunakan untuk pemasangan turbin.

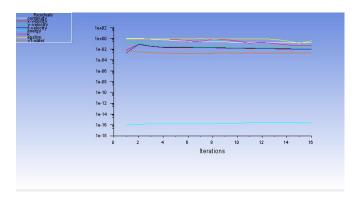
Tabel 3. 5 Kondisi batas dengan turbin

No	Kondisi Batas	Posisi	Kondisi				
	Domain kanal (Fluid Domain)						
1	Inlet	Depan domain	Kecepatan sesuai debit 80 cms				
		Kanal	karena probabilitas kemunculannya				
			95%				
			mixture phase dengan ukuran free				
			surface sesuai dengan tabl 3.4				
2	Atmosfer	Atas domain kanal	Pressure outlet dengan mixture				
			phase dengan ukuran free surface				
			sesuai dengan tabel 3.4				

Tabel 3. 5 Kondisi batas dengan turbin (Lanjutan)

No.	Kondisi Batas	Posisi	Kondisi
3	Outlet	Belakang domain	Pressure outlet dengan mixture
		kanal	phase dengan ukuran free surface
			sesuai dengan tabel 3.4
4	Wall	Kanan, kiri dan	Stationary wall dengan roughness
		bawah domain	0,012
		kanal	
	Γ	Domain Tabung (Fluid	Domain)
1	Interface	Atas, bawah dan	Rotating wall
		permukaan luar	
		tabung	
		Turbin (Solid)	
1	Turbin	Airfoil dan shaft	Wall

Dalam simulasi ini digunakan model turbulensi k- ε karena model turbulensi ini memberikan performa bagus untuk aliran yang melibatkan putaran untuk melihat laju pernyebaran fluida. Setelah menyelesaikan pre-processing, kemudian masuk processing. Pada tahap ini dilakukan iterasi agar mendapatkan nilai konvergen. Gambar 3.9 menunjukkan hasil iterasi yang didapat



Gambar 3. 9 Iterasi yang didapat

Hasil konvergensi ini ditandai RMS sebesar 10⁻⁴ atau kurang. Setelah hasil processing selesai maka diambil data kecepatan, profil tekanan dan *volume fraction water* dari hasil simulasi. Pengambilan data dilakukan berulang-ulang untuk kemudian dilakukan proses pengumpulan data dan selanjutnya dianalisa.

3.3 Simulasi dan Validasi Profil Aliran menggunakan Computational Fluids Dynamic (CFD)

Computational fluid Dynamics (CFD) adalah cabang mekanika fluida yang menggunakan analisis numerik dan struktur data untuk menganalisis dan memecahkan masalah yang melibatkan aliran fluida. Komputer digunakan untuk melakukan perhitungan yang diperlukan untuk mensimulasikan aliran fluida aliran bebas, dan interaksi fluida dengan permukaan yang ditentukan oleh kondisi batas. Karakteristik yang biasa ditinjau adalah kecepatan fluida, tekanan fluida, temperature fluida, dan arah gerak dari fluida. Dalam modul ini akan dibahas mengenai karaktersitik fisika fluida berupa kecepatan dan tekanan dari gangguan yang diberikan, dalam hal ini gangguan fluida yang diberikan adalah airfoil.

Dengan superkomputer berkecepatan tinggi, solusi yang lebih baik dapat dicapai, dan seringkali diperlukan untuk memecahkan masalah terbesar dan paling kompleks. Penelitian yang sedang berlangsung menghasilkan perangkat lunak yang meningkatkan akurasi dan kecepatan skenario simulasi yang kompleks seperti aliran transonik atau turbulen.

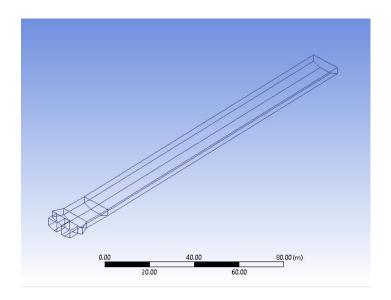
Dalam bagian ini akan dibahas mengenai bagaimana simulasi dengan software CFD digunakan beserta validasi yang dilakukan dengan menggunakan data primer yang telah tersedia.

3.3.1 Pembuatan Geometri

Geometri yang dibuat adalah kanal tanpa turbin dan kanal dengan turbin. Pembuatan geometri diawali dengan membuat geometri kanal sepanjang 7 kilometer, dibagi menjadi 2 buah bagian dengan 2 lokasi titik dengan karakteristik lurus dan karakteristik berbelok.

Pembuatan kanal menggunakan spesifikasi dari data sekunder yang didapatkan. Gambar 3.10 adalah geometri kanal dibuat dalam *Desain Modeller Fluent* berupa gambar profil penampang kanal kemudian dibuat gambar panjang. Untuk menghubungkan profil dengan panjang kanal menjadi bidang dan volume.

Untuk pembuatan geometri turbin diawali dengan mengimport airfoil ke dalam Desain Modeller Fluent. Airfoil yang berupa titik perlu dihubungkan hingga terbentuk garis, kemudian diubah menjadi bidang dan volume. Setelah *blade* terbentuk dilanjutkan dengan pembuatan *shaft*, domain tabung dan domain kanal yang sudah dibuat sebelumnya.



Gambar 3. 10 Salah satu Geometri

Spesifikasi turbin yang digunakan menggunakan turbin komersial yang mudah didapatkan dipasaran. Spesifikasinya pada Tabel 3.6 untuk turbin jenis VAHT dan Tabel 3.7 untuk turbin jenis HAHT

Tabel 3. 6 Spesifikasi turbin jenis VAHT

No	Besaran	Nilai
1	Diameter Turbin	4.8 m
2	Diameter Shaft	0.5 m
3	Panjang Turbin	2.4 m
4	Panjang Shaft	2.4 m
5	Jumlah blade	4 buah

Tabel 3. 7 Spesifikasi turbin jenis HAHT

No	Besaran	Nilai
1	Diameter Turbin	2.88 m
2	Diameter Nose-tail	0.28 m
3	Panjang Turbin	1.3 m

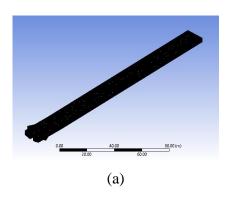
Tabel 3. 7 Spesifikasi turbin jenis HAHT (Lanjutan)

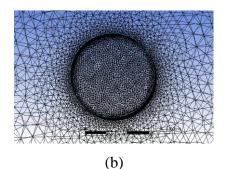
No	Besaran	Nilai
4	Panjang Nose-Tail	0.3 m
5	Jumlah Blade	2 buah

3.3.2 Meshing

Meshing adalah proses membagi ke bagian kecil-kecil dari suatu objek. Bagian tersebut disebut dengan control volume. Pada bagian kecil tersebut diberikan tiga perhitungan persamaan yaitu konservasi energi, momentum dan massa. Untuk kasus tertentu semakin kecil bagian maka semakin akurat tetapi komputasi yang dihasilkan akan semakin berat. Pembagian mesh dilakukan dengan ukuran yang berbeda-beda. Pada bagian kanal diatur dengan ukuran 0,7m -1.5 m sedangkan untuk bagian turbin dan poros diatur dengan ukuran 8 mm. Selain ukuran, bentuk meshing juga mempengaruhi kualitas yang dihasilkan. Ketika membuat bentuk mesh unstructured maka diharapkan setiap bagian unstructured. Untuk bagian turbin digunakan meshing tetrahendron karena bentuk ini termasuk unstructured dan kualitas yang diharapkan baik.

Kualitas pada meshing yang baik dapat dilihat dari nilai beberapa parameter. Nilai *skewness*, *orthogonality*, *aspect ratio dan elemen quality*. Nilai *skewness* berkualitas baik ketika mendekati nilai 0, nilai *aspect ratio* berkualitas baik ketika nilainya kurang dari 100, sedangkan nilai *elemen quality* dan *orthogonality* bernilai baik ketika nilai mendekati 1. Nilai *acceptable* pada *skweness* terdapat pada rentang 0,8 - 0,94, sedangkan untuk *elemen quality* dan *orthogonality* pada rentang 0,15 - 0,2. Terlihat pada Gambar 3.11





Gambar 3. 11 Meshing geometri di salah satu kanal (a) tanpa turbin (b) dengan turbin

3.3.3 Processing

Terdapat beberapa tahapan dalam melakukan analisa dengan metode CFD ini yaitu:

- a. Preprocessing, tahap ini terdiri dari tahap memasukkan kondisi-kondisi yang ditentukan oleh pengguna untuk mengetahui dampak yang dihasilkan. Persiapan drawing, meshing, dan setup pada tahap drawing merupakan desain menggunakan software CAD dari suatu geometri yang akan dilakukan simulasi. Dari sini, data dapat diproses secara tepat dan volume cairan di ekstrasi. Meshing merupakan tahap pemberian titik perhitungan setelah dilakukan drawing dengan cara membagi geometri menjadi bagianbagian yang lebih kecil. Volume yang ditempati oleh fluida dibagi menjadi sel-sel diskrit (mesh). Mesh dapat seragam atau tidak seragam, terstruktur atau tidak terstruktur, terdiri dari kombinasi unsur heksahedral, tetrahedral, prismatik, piramidal, ataupolihedral. Batasan-batasan kondisi fisik ditentukan oleh perilaku fluida dan sifat-sifat pada semua permukaan yang terikat dari sifat fluida.
- b. *Processing/Solver*, Langkah selanjutnya adalah menentukan parameter numerik, yaitu mengatur parameter solver, skema diskritisasi, dll. Tergantung pada jenis simulasi, setiap masalah memiliki struktur uniknya sendiri. Biasanya, satu masalah dapat diselesaikan dengan multiples solver dan dengan parameter solver yang berbeda; Namun, untuk menyelesaikan masalah secara efisien, sangat penting untuk memberikan parameter pemecah yang benar dan skema numerik.

c. *Post-processing*, merupakan salah satu bagian utama dari simulasi numerik adalah menginterpretasikan hasilnya. Ini dilakukan setelah pemrosesan. Bidang aliran dianalisis oleh filter yang berbeda seperti garis aliran, plot kontur, dan lain lain. Pasca-pemrosesan adalah langkah terakhir dalam alur kerja CFD, dan memungkinkan untuk memvisualisasikan hasil simulasi dengan membuat keputusan untuk optimasi desain.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Hasil Penelitian

Validasi merupakan proses membandingkan hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Proses validasi ini dianggap sudah valid ketika error yang didapatkan kurang dari 10%. Setiap titik pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali pengukuran, dan setiap pengukuran dengan pengukuran berikutnya berjarak 5 detik. Hasil keseluruhan lima kali pengukuran diambil rata rata untuk hasil pengukuran titik tersebut. Dari ke sembilan titik pengukuran dicari nilai rata-ratanya untuk dijadikan nilai validasi. Selama pengukuran dilakukan, aliran kanal dipertahankan 142 cumecs (cubic meter per second). Cara membandingkan nilai yang digunakan adalah dengan menggunakan rata-rata nilai kecepatan dari setiap panel kanal Larona. Hal ini karena untuk mencari nilai kecepatan pada titik di simulasi sangat sulit, sehingga untuk mendapatkan nilai yang valid menggunakan rata-rata.

Tabel 4. 1 Data Validasi Kanal Larona

	Nilai rata-rata kecepata		
Lokasi Panel	(m/s)	Error (%)
	Simulasi		
Panel 24	2.568	2.41	6.507
Panel 53	2.175	2.24	3.317
Panel 81	2.094	2.34	10.682
Panel 159	2.103	2.34	10.299
Panel 382	10.592		
	8.279		

Pada ke lima lokasi yang diambil didapatkan error dari masing-masing sebesar 6,507%, 3.317%, 10.682%, 10.299%, dan 10.592%, sehingga diperoleh nilai ratarata error dari keseluruhan model sebesar 8.279 %. Dimana error tersebut bernilai kurang dari 10% yang mana menunjukan bahwa kondisi batas yang digunakan telah sesuai dan mendekati kondisi pada pengukuran. Selain itu error dibawah 10% sudah dianggap valid untuk sebuah penelitian di komputasi fluid dinamik (Wiliam

, 2002). Error setiap panel ada yang mendekati 10% maupun 0%. Hal ini dipicu karena untuk pengambilan data dari setiap panel berselang waktu 1 jam - 1,5 jam. Pengukuran di panel 24 dilakukan pada tanggal 3 April 2018 pukul 08.00-16.00 WITA dengan kondisi canal flow sebesar 142 cumec. Pengambilan data pada kanal panel 53 dilakukan pada pukul 10.00 WITA, kanal panel 81 pada pukul 09.35 WITA, panel 159 pada pukul 09.00, sedangkan untuk panel 382 pada pukul 07.30 WITA. Sehingga error yang didapat bernilai besar karena data yang diambil tidak sewaktu pada setiap panel. Oleh karena itu eror dari setiap panel dirata-rata untuk mendapatkan eror penelitian sebesar 8.279%.

Perbedaan nilai pengukuran langsung dan hasil simulasi CFD yang dilakukan, hal ini bisa terjadi karena beberapa aspek, yakni:

- a. Geometri yang digunakan sebagai bahan dasar simulasi.
 - Gambar 3.2 yang digunakan dalam pembuatan simulasi berasal dari gambar Bechtel. (1978). *Final Geologic Report On Foundation Condition and Grouting, Soroako Nickel Project Larona Hydro Development*. Pada gambar menunjukkan permukaan panel kanal yang rata. Pada kenyataannya permukaan panel sudah korosi dan tidak rata, sehingga terjadi perbedaan simulasi dan pengukuran karena, jarak pengukuran yang berjarak per satu meter kedalaman diasumsikan merata dalam simulasi.
- b. Meshing yang belum optimal untuk meminimalkan perbedaan hasil yang didapat, dalam proses simulasi yang dilakukan pendekatan sekitar 2.8 juta element dengan ukuran mesh 0.1 1 meter, dan bentuk mesh yang digunakan serta jumlah inflasinya. Proses ini mempengaruhi iterasi perhitungan yang dapat membentuk terjadinya perbedaan hasil.
- c. Konvergensi. Pada proses perhitungan menggunakan nilai RMS 10⁻⁴, potensi akan menghasilkan lebih baik bila nilai RMS 10⁻⁶, tetapi bisa jadi tidak menghasilkan perbedaan yang signifikan.
- d. Alat ukur kecepatan air, berpotensi juga menyebabkan deviasi yang terjadi, ketidak lurusan posisi propeller sensor ketika melakukan pengukuran, bisa menyebabkan perbedaan hasil, meskipun dalam pengukuran ini setiap titik pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali pengukuran, dan setiap pengukuran dengan pengukuran berikutnya berjarak 5 detik. Hasil keseluruhan lima kali

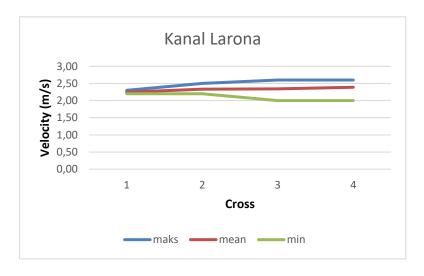
pengukuran diambil rata rata untuk hasil pengukuran titik tersebut. Unit ini dibeli di tahun 2017 dengan kondisi baru, tetapi di produksi di tahun 2012 dan tersertifikasi pada tahun tersebut.

Tabel 4. 2 Pengukuran Kecepatan Aliran Kanal Larona

		Kecepatan (m/s				(m/s)	(m/s)				
No	Lokasi		Kiri		Tengah			Kanan			Air
		Top	Middle	Bottom	Top	Middle	Bottom	Top	Middle	Bottom	(m)
1	Panel 24	2.3	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5	2.3	2.3	2.4	4.7
2	Panel 53	2.2	2.3	2.3	2.2	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	4.73
3	Panel 81	2.3	2.4	2.4	2.2	2.2	2.2	2.5	2.4	2.4	4.73
4	Panel 159	2.4	2.5	2.5	2.4	2.5	2.6	2	2.1	2.1	4.73
5	Panel 382	2	2.2	2.3	2.6	2.6	2.5	2.4	2.4	2.5	4.22

Kecepatan aliran pada kanal Larona relatif seragam dengan kecepatan maksimum terdapat pada panel 159 dan 382 yaitu 2.6 m/s, sedangkan kecepatan minimum juga berada pada panel 159 dan 382 sebesar 2 m/s. Kecepatan rata-rata pada kanal adalah 2.33 m/s.

Gambar 4.1, menunjukkan kecepatan aliran kanal Larona berdasarkan hasil pengukuran kecepatan



Gambar 4. 1 Kecepatan aliran Kanal Larona

4.2 Hasil Pengukuran dan Simulasi

Data-data primer yang telah didapat digunakan untuk memvalidasi hasil dari simulasi CFD, pada bagian ini akan dipaparkan sebagi berikut.

Pada aliran kanal terbuka laju aliran dipengaruhi oleh gaya gravitasi atau biasa disebut froud number. Jika nilai froud number sama dengan 1 maka aliran kritis, jikalau kurang dari 1 maka aliran tenang, sedangkan jikalau bernilai lebih dari 1 maka aliran superkritis.

Tekanan geser ini dipengaruhi oleh jenis material yang digunakan. Ketika jenis material mempunyai nilai kekasaran yang lebih tinggi maka profil aliran yang didapatkan tidak tenang atau cenderung kritis, sedangkan jika nilai kekasaran dari material yang berada di kanal Larona adalah 0,012. Nilai kekasaran ini didapat karena dinding dan dasar kanal Larona berbahan konkrit.

Prinsip Bernoulli adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini sebenarnya merupakan penyederhanaan dari persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama. Prinsip ini diambil dari nama ilmuwan Belanda/Swiss yang bernama Daniel Bernoulli. Aliran kanal termasuk aliran tak termampatkan, karena tidak ada perubahan masa jenis cairan. Bentuk persamaannya sebagai berikut (Muhson,2009)

$$p + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 = tetap \tag{4.1}$$

dengan:

v =kecepatan fluida

g = percepatan gravitasi

h = relatif terhadap suatu acuan

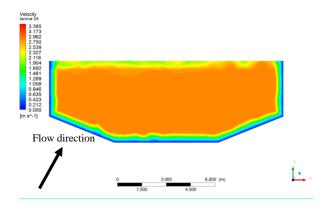
p = tekanan fluida

 ρ = massa jenis fluida

4.2.1 Panel 24

a. Profil kecepatan

Gambar 4.2 profil kecepatan pada kanal panel 24 merupakan persebaran kecepatan pada setiap titik-titik atau control volume yang telah ditentukan sehingga didapatkan profil kecepatan. Dari hasil kontur kecepatan menunjukan bahwa dengan nilai total discharge 142 cms didapatkan nilai kecepatan rata-rata sebesar 2.568 m/s. Pada persebaran kecepatan berada di bagian tengah yang paling besar nilainya 2.4 m/s. Semakin mendekati kesamping kanan dan kiri nilai kecepatan semakin menurun. Hal ini dikarenakan kecepatan aliran berinteraksi dengan dinding sehingga menimbulkan gesekan dan terjadi tegangan geser di bagian dinding.



Gambar 4. 2 Profil kecepatan penampang panel 24

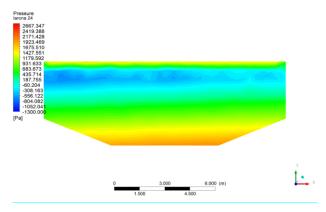
Di sepanjang aliran dari kanal panel 24 menunjukan adanya kecepatan yang hampir sama pada ketinggian 3m dari dasar. Akan tetapi untuk kecepatan dengan ketinggian 0.1 m menunjukan nilai dengan gesekan di dasar sungai dan semakin ke atas nilai distribusi kecepatan semakin beragam. Nilai kecepatan yang menurun selain diakibatkan dengan head juga diakibatkan dengan belokan pada kanal.

b. Profil tekanan

Gambar 4.3 profil tekanan pada kanal Larona panel 24 didapatkan pada penampang dan profil tekanan pada ketinggian 3m.

Pada profil tekanan didapatkan nilai maksimum berada di bagian bawah kanal dan sebesar 2419,388 Pa. Tekanan yang dialami beberapa bagian kanal bernilai negative, hal in menunjukan back pressure. Lokasi ini

terdapat pada aliran sebelum belokan dan tekanan aliran membesar disalah satu dinding kanal, sedangkan untuk yang lain mengalami back pressure.

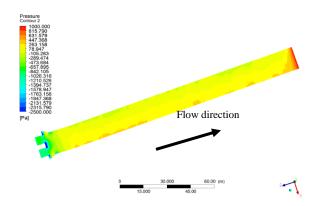


Gambar 4. 3 Profil tekanan panel 24

Tekanan pada kanal ini berasal dari tekanan normal dinding, tekanan geser maupun tekanan akibat interaksi dengan udara di free surface. Pada tekanan luas penampang, nilai tekanan paling besar berada didasar atau di dinding, hal ini karena nilai tekanan geser lebih besar dari pada yang lain. Selain itu posisi tekanan yang besar tidak semua memenuhi di posisi kanan maupun kiri, karena dilihat dari geometrinya sendiri ada yang berada dibelokan dan slope dari kanal sendiri.

c. Profil tekanan tampak atas

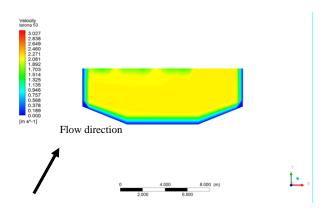
Gambar 4.4 profil tekanan jika dilihat dari tampak atas, pada sepanjang kanal larona Intake menunjukan bahwa bagian kanan menunjukan tekanan yang lebih besar dari tekanan bagian kiri di kanal Larona Intake. Hal ini karena disalah satu dinding kanal mengalami gesekan lebih besar dari sisikan bagian kiri. Selain itu belokan sebesar 13° berbelok ke arah kanan, sehingga bagian sedikit lebih besar dari sisi bagian kiri. Tekanan pada kanal ini berasal dari tekanan normal dinding, tekanan geser.



Gambar 4. 4 Profil tekanan panel 24 tampak atas

4.2.2 Panel 53

a. Profil kecepatan



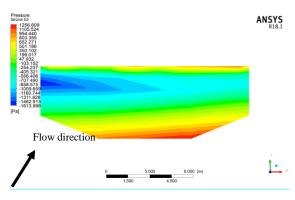
Gambar 4. 5 Profil kecepatan pada panel 53

Pada Gambar 4.5 dari hasil kontur kecepatan menunjukan bahwa dengan nilai total discharge 142 cms didapatkan nilai kecepatan rata-rata sebesar 2.175 m/s. Pada persebaran kecepatan berada di bagian tengah yang paling besar nilainya 2.35 m/s. Semakin mendekati kesamping kanan-kiri dan bawah nilai kecepatan semakin menurun.

Hal ini dikarenakan kecepatan aliran berinteraksi dengan dinding sehingga menimbulkan gesekan dan terjadi tegangan geser di bagian dinding. Untuk bagian kiri-atas mengalami penurunan kecepatan karena interaksi dengan udara, saat bercampur udara akan mendorong air kemudian kecepatan air akan menurun.

b. Profil tekanan

Gambar 4.6 menggambarkan profil tekanan didapatkan nilai maksimum berada di bagian bawah kanal dan sebesar 1256.609 Pa. Tekanan yang dialami beberapa bagian kanal bernilai negative, hal in menunjukan back pressure. Lokasi ini terdapat pada aliran sebelum belokan dan tekanan aliran membesar disalah satu dinding kanal, sedangkan untuk yang lain mengalami back pressure.



Gambar 4. 6 Profil tekanan panel 53

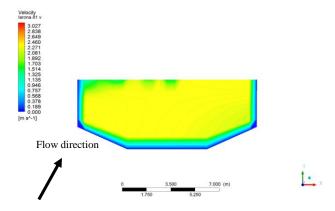
Tekanan pada kanal ini berasal dari tekanan normal dinding, tekanan geser maupuan tekanan akibat interaksi dengan udara di free surface. Pada tekanan luas penampang, nilai tekanan paling besar berada didasar atau di dinding, hal ini karena nilai tekanan geser lebih besar dari pada yang lain. Selain itu posisi tekanan yang besar tidak semua memenuhi di posisi kanan maupun kiri, karena dilihat dari geometrinya sendiri ada yang berada dibelokan dan slope dari kanal sendiri.

4.2.3 Panel 81

a. Profil kecepatan

Gambar 4.7 menunjukkan hasil kontur kecepatan menunjukan bahwa dengan nilai total discharge 142 cms didapatkan nilai kecepatan rata-rata sebesar 2.094 m/s. Pada persebaran kecepatan berada di bagian tengahbawah dan kanan-atas yang paling besar nilainya 2.3 m/s. Semakin mendekati kesamping kanan-bawah nilai kecepatan semakin menurun. Hal ini dikarenakan kecepatan aliran berinteraksi dengan dinding sehingga

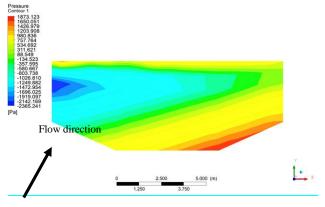
menimbulkan gesekan dan terjadi tegangan geser di bagian dinding. Untuk bagian kiri-atas mengalami penurunan kecepatan karena interaksi dengan udara sehingga ketika udara dan air bercampur, udara akan mendorong air kemudian kecepatan air akan menurun.



Gambar 4. 7 Profil kecepatan panel 81

b. Profil tekanan

Gambar 4.8 menunjukkan profil tekanan panel 81 didapatkan nilai maksimum berada di bagian bawah-kanan kanal dan sebesar 1873.123 Pa. Tekanan yang dialami beberapa bagian kanal bernilai negative, hal in menunjukan back pressure. Lokasi ini terdapat pada aliran sebelum belokan dan tekanan aliran membesar disalah satu dinding kanal, sedangkan untuk yang lain mengalami back pressure.



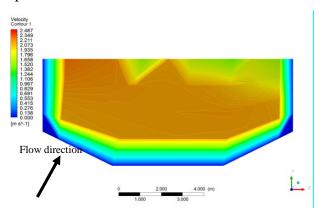
Gambar 4. 8 Profil tekanan panel 81

Tekanan pada kanal ini berasal dari tekanan normal dinding, tekanan geser maupuan tekanan akibat interaksi dengan udara di free surface. Pada tekanan luas penampang, nilai tekanan paling besar berada didasar atau di

dinding, hal ini karena nilai tekanan geser lebih besar dari pada yang lain. Selain itu posisi tekanan yang besar tidak semua memenuhi di posisi kanan maupun kiri, karena dilihat dari geometrinya sendiri ada yang berada dibelokan dan slope dari kanal sendiri.

4.2.4 Panel 159

a. Profil kecepatan



Gambar 4. 9 Profil kecepatan panel 159

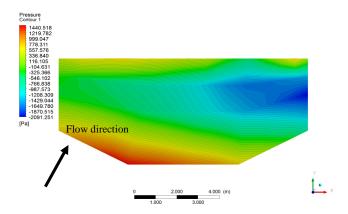
Gambar 4.9 menggambarkan hasil kontur kecepatan menunjukkan bahwa dengan nilai total discharge 142 cms didapatkan nilai kecepatan ratarata sebesar 2.103 m/s. Pada persebaran kecepatan berada di bagian tengah yang paling besar nilainya 2.34 m/s. Semakin mendekati kesamping kanankiri dan bawah nilai kecepatan semakin menurun. Hal ini dikarenakan kecepatan aliran berinteraksi dengan dinding sehingga menimbulkan gesekan dan terjadi tegangan geser di bagian dinding.

Untuk bagian kanan-atas mengalami penurunan kecepatan karena interaksi dengan udara, saat bercampur udara akan mendorong air kemudian kecepatan air akan menurun. Pada bagian yang paling besar terdapat di sebagian kecil saja di bagian tengah dengan kepatan 2.51 m/s.

b. Profil tekanan

Gambar 4.10 menunjukkan profil tekanan panel 159 didapatkan nilai maksimum berada di bagian bawah-kiri kanal dan sebesar 1440,518 Pa. Tekanan yang dialami beberapa bagian kanal bernilai negative, hal ini

menunjukan back pressure. Tekanan aliran membesar disalah satu dinding kanal, sedangkan untuk yang lain mengalami back pressure.



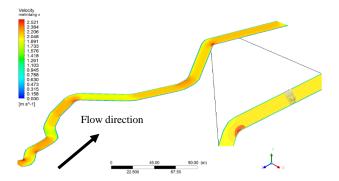
Gambar 4. 10 Profil tekanan panel 159

Tekanan pada kanal ini berasal dari tekanan normal dinding, tekanan geser maupuan tekanan akibat interaksi dengan udara di free surface. Pada tekanan luas penampang, nilai tekanan paling besar berada didasar atau di dinding, hal ini karena nilai tekanan geser lebih besar dari pada yang lain. Selain itu posisi tekanan yang besar tidak semua memenuhi di posisi kanan maupun kiri, karena dilihat dari geometrinya sendiri ada yang berada dibelokan dan slope dari kanal sendiri.

c. Profil kecepatan karakteristik lurus-tengah kanal Larona

Pada Gambar 4.11 di sepanjang aliran dari kanal Larona panel 159 menunjukan adanya kecepatan yang beragam pada ketinggian 3m dari dasar karena banyak belokan yang menyebabkan kecepatan mengalami penurunan dan peningkatan kecepatan sesuai dengan geometri belokan kanal Larona. Nilai kecepatan pada bagian sebelum belokan besar ketika melewati belokan akan berangsur kembali membesar lagi.

Pada kanal Larona 159 terdapat belokan sehingga perubahan kecepatan pada belokan signifikan. Pada bagian belokan aliran bersifat superkritis dengan turbulensi yang lumayan besar karena belokan rata-rata lebih besar dari 45°.

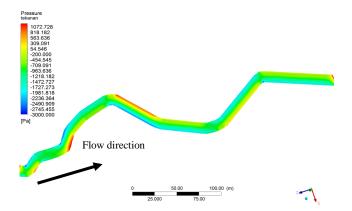


Gambar 4. 11 Profil kecepatan karakteristik lurus-tengah kanal Larona

d. Profil tekanan karateristik lurus-bagian tengah kanal Larona

Gambar 4.12 bahwa sepanjang kanal Larona panel 159 menunjukkan bahwa dibeberapa bagian sisi tekanan yang lebih besar dari tekanan sisi yang lain. Hal ini karena disalah satu dinding kanal mengalami gesekan lebih besar dari sisi yang lain. Selain itu belokan rata-rata lebih besar 45° untuk belokannya.

Pada bagian yang secara langsung menabrak dinding akan mengalami tekanan yang lebih besar dari sisi yang lainnya. Tekanan pada kanal ini berasal dari tekanan normal dinding, dan tekanan geser. Tekanan geser ini dipengaruhi oleh jenis material yang digunakan.



Gambar 4. 12 Profil tekanan karateristik lurus-bagian tengah kanal Larona4.2.5 Panel 382

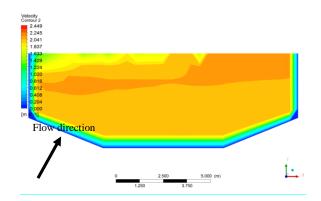
a. Profil kecepatan

Gambar 4.13 bahwa dari hasil kontur kecepatan menunjukan dengan nilai total discharge 142 cms didapatkan nilai kecepatan rata-rata sebesar

2.116 m/s. Pada persebaran kecepatan berada di bagian tengah yang paling besar nilainya 2.2 m/s. Semakin mendekati kesamping kanan-kiri dan bawah nilai kecepatan semakin menurun. Hal ini dikarenakan kecepatan aliran berinteraksi dengan dinding sehingga menimbulkan gesekan dan terjadi tegangan geser di bagian dinding.

Untuk bagian kiri-atas mengalami penurunan kecepatan karena interaksi dengan udara, saat bercampur udara akan mendorong air kemudian kecepatan air akan menurun. Nilai terbesar dan nilai rata-rata dari bagian ini juga semakin menurun hal ini terjadi karena lokasi ini berada hamper berada di hilir atau dekat dengan bak penenang. Selain itu juga menunjukan bahwa aliran mengalami loss dari hulu ke hilir.

Di sepanjang aliran dari kanal Larona panel 382 menunjukan adanya kecepatan yang beragam pada ketinggian 3m dari dasar karena banyak belokan yang menyebabkan kecepatan mengalami penurunan dan peningkatan kecepatan sesuai dengan geometri belokan kanal Larona. Nilai kecepatan pada bagian sebelum belokan besar ketika melewati belokan akan berangsur kembali membesar lagi.

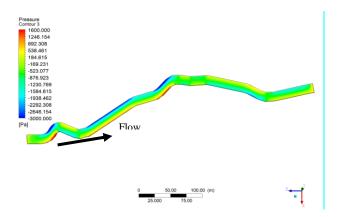


Gambar 4. 13 Profil kecepatan panel 382

Pada kanal Larona 382 terdapat belokan sehingga perubahan kecepatan pada belokan signifikan. Pada bagian belokan aliran bersifat superkritis dengan turbulensi yang lumayan besar karena belokan rata-rata lebih besar dari 45° dan mendekati 90°. Untuk kecepatan yang menabrak langsung ke dinding belokan kecepatannya paling tinggi dan terjadi turbulensi dibagian tersebut.

b. Profil tekanan

Gambar 4.14 di sepanjang kanal larona lokasi ini menunjukan bahwa dibeberapa bagian menunjukan sisi tekanan yang lebih besar dari tekanan sisi yang lain. Hal ini karena disalah satu dinding kanal mengalami gesekan lebih besar dari sisi yang lain akibat di berbagai belokan. Selain itu belokan bernilai 45° –90° dibeberapa tempat. Pada bagian yang secara langsung menabrak dinding akan mengalami tekanan yang lebih besar dari sisi yang lainnya.



Gambar 4. 14 Profil tekanan panel 382

Di profil tekanan kanal Larona didapatkan nilai maksimum berada di bagian bawah-kanan kanal dan sebesar 928,572 Pa. Tekanan yang dialami beberapa bagian kanal bernilai negative, hal in menunjukan back pressure. Lokasi ini terdapat pada aliran sebelum belokan dan tekanan aliran membesar disalah satu dinding kanal, sedangkan untuk yang lain mengalami back pressure.

Tekanan pada kanal ini berasal dari tekanan normal dinding, tekanan geser maupuan tekanan akibat interaksi dengan udara di free surface. Pada tekanan luas penampang, nilai tekanan paling besar berada didasar atau di dinding, hal ini karena nilai tekanan geser lebih besar dari pada yang lain. Selain itu posisi tekanan yang besar tidak semua memenuhi di posisi kanan maupun kiri, karena dilihat dari geometrinya sendiri ada yang berada dibelokan dan slope dari kanal sendiri.

Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan antara kecepatan dan tekanan aliran air. Hukum Bernaulli menyatakan bahwa peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Penjelasan korelasi antara kecepatan dan tekanan aliran di masing masing panel ada di bagian sub bab 4.2 hasil pengukuran dan simulasi, persamaan 4.1.

Tabel 4. 3 Kecepatan dan Tekanan Aliran Kanal

Lokasi Panel	Nilai kecepatan da	Keterangan	
Lokasi i anci	Kecepatan (m/s)	Tekanan (Pa)	Reterangun
Panel 24	2.568	-308 - 2419	Lurus Hilir
Panel 53	2.175	-1460 - 1256	Sebelum Belokan Hilir
Panel 81	2.094	-2142 - 1873	Setelah Belokan Hilir
Panel 159	2.103	-2000 - 1441	Lurus
Panel 382	2.116	-2000 - 929	Lurus Hulu

Pada dasarnya setiap titik simulasi terjadi tekanan negatif yang artinya *back pressure*, dan tekanan positif menjadi tinggi hanya didaerah yang mendekati permukaan dinding kanal.

4.3 Penilaian Potensi Hidrokinetik

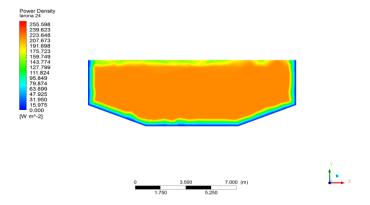
Pada simulasi yang telah disampaikan, selanjutnya akan ditunjukkan profil dan nilai dari power density di setiap lokasi pengukuran

4.3.1 Power Density

a. Panel 24

Gambar 4.15 dibawah ini menunjukkan kontur power density didapatkan nilai power yang dapat dibangkitkan dari energi kanal sebesar 200 - 220 W/m². Jadi nilai power density yang paling besar berada di bagian tengah. Persebaran nilai power density disetiap segmen hampir sama dengan kontur persebaran kecepatan karena hubungan power density dengan kecepatan adalah sebanding. Jadi perubahan kecepatan juga akan

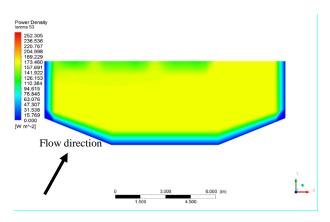
mempengaruhi perubahan power density di segmen tersebut. Ketika dapat dilihat nilai power density yang digunakan bisa diprediksikan bagian mana yang berpotensi dan baik untuk memasang turbin pada bagian tengah.



Gambar 4. 15 Power Density panel 24

b. Panel 53

Gambar 4.16 dibawah menunjukkan kontur power density didapatkan nilai power yang dapat dibangkitkan dari energi kanal sebesar 160 - 180 W/m2. Jadi nilai power density yang paling besar berada di bagian tengah. Persebaran nilai power density disetiap segmen hampir sama dengan kontur persebaran kecepatan karena hubungan power density dengan kecepatan adalah sebanding.

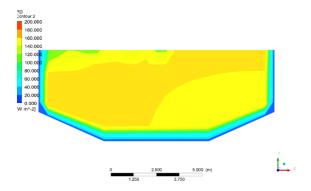


Gambar 4. 16 Power Density panel 53

Jadi perubahan kecepatan juga akan mempengaruhi perubahan power density di segmen tersebut. Ketika dapat dilihat nilai power density yang digunakan bisa diprediksikan bagian mana yang berpotensi dan baik untuk memasang turbin.

c. Panel 81

Gambar 4.17 menunjukkan kontur power density didapatkan nilai power yang dapat dibangkitkan dari energi kanal sebesar 140 - 180 W/m2. Jadi nilai power density yang paling besar berada di bagian kiri bawah. Persebaran nilai power density disetiap segmen hampir sama dengan kontur persebaran kecepatan karena hubungan power density dengan kecepatan adalah sebanding. Jadi perubahan kecepatan juga akan mempengaruhi perubahan power density di segmen tersebut.



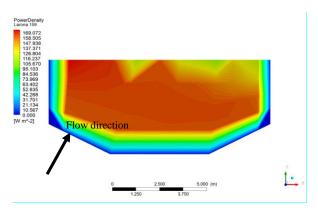
Gambar 4. 17 Power Density panel 81

Nilai power density yang bisa digunakan untuk prediksi bagian mana yang berpotensi dan baik untuk memasang turbin. Kontur powes density yang dihasilkan berbeda dari kanal Larona panel yang lainnya karena pada lokasi ini termasuk lokasi yang setelah belokan. Dengan demikian masih ada pengaruh dari velocity yang tidak tenang di sini sehingga hanya sebagian saja yang nilai power densitynya besar.

d. Panel 159

Gambar 4.18 dibawah ini menunjukkan kontur power density didapatkan nilai power yang dapat dibangkitkan dari energi kanal sebesar 140 - 170 W/m2. Jadi nilai power density yang paling besar berada di bagian tengah. Persebaran nilai power density semakin ke samping dan kebawah maupun keatas mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena faktor tekanan di dinding dan aliran kecepatan yang biasanya berkecepatan tinggi di bagian tengah.

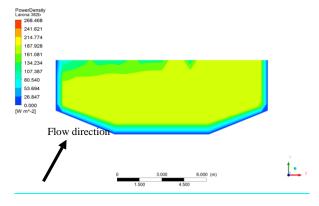
Persebaran nilai power density hampir sama dengan kontur persebaran kecepatan karena hubungan power density dengan kecepatan adalah sebanding. Jadi perubahan kecepatan juga akan mempengaruhi perubahan power density di segmen tersebut.



Gambar 4. 18 Power Density panel 159

Ketika dapat dilihat nilai power density yang digunakan bisa diprediksikan bagian mana yang berpotensi dan baik untuk memasang turbin.

e. Panel 382



Gambar 4. 19 Power Density Kanal Larona panel 382

Gambar 4.19 diatas menunjukkan kontur power density didapatkan nilai power yang dapat dibangkitkan dari energi kanal sebesar 130 – 180 W/m2. Jadi nilai power density yang paling besar berada di bagian tengah. Persebaran nilai power density jika dekat dengan dinding akan mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena faktor tekanan di dinding.

Persebaran nilai power density hampir sama dengan kontur persebaran kecepatan karena hubungan power density dengan kecepatan adalah sebanding. Jadi perubahan kecepatan juga akan mempengaruhi perubahan power density di segmen tersebut. Ketika dapat dilihat nilai power density yang digunakan bisa diprediksikan bagian mana yang berpotensi dan baik untuk memasang turbin.

4.3.2 Pembangkitan Daya Setiap Panel

Berdasarkan perhitungan simulasi diatas dan dengan menggunakan Vertical Axis Hydrokinetic Turbine VAHT, dimana memiliki diametr 4,8 m dan tinggi 2,4 m, seperti gambar di Lampiran, maka pembangkitan daya yang di hasilkan di setiap turbin di masing masing panel seperti pada Tabel 4.4.

Seperti persamaan 2.2 melalui konversi energi, daya yang ada pada suatu titik di daerah penampang aliran air yang mengalir pada kecepatan tertentu yang telah diketahui adalah setengah dari perkalian massa dan kuadratik kecepatan. Dan Hukum Bernaulli menyatakan bahwa peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Dengan dua pernyataan diatas maka terjadi korelasi antara kecepatan lairan, tekanan aliran dan kemampuan power density yang dibangkitakan dalam setiap lokasi panel pengukuran.

Tabel 4. 4 Simulasi daya yang dihasilkan setiap Turbin

	Nilai power yang da	Total Power	
Lokasi Panel	Simulasi	Speed	Watt
	W/m2	m/s	Rata-rata
Panel 24	200 - 220	2.41	7235
Panel 53	160 - 180	2.24	6222
Panel 81	140 - 180	2.34	6258
Panel 159	140 - 170	2.34	6149
Panel 382	130 - 180	2.37	6149

4.3.3 Analisa Potensi Peletakan Turbin

Berdasarkan hasil kontur power density yang berada di kanal Larona Intake dan kanal Larona menunjukan bahwa beberapa potensi yang bisa dipakai. Pada kanal Larona intake bisa dipasang turbin Vertikal Axis Hydrokinetic Turbine (VAHT) maupun Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine (HAHT) dengan ukuran diameter 4.8 m untuk VAHT dan 2.8 m untuk HAHT ditengah dengan posisi 0.9 m dari dasar kanal atau dengan ukuran diameter 2.88 dipasang parallel yang berjarak 5R dengan ketinggian 2,75 m dari dasar kanal.

Pada kanal Larona untuk panel 53 bisa dipasang turbin Vertikal axis hydrokinetic turbine maupun horizontal axis hydrokinetic turbine dengan ukuran diameter 4.8 m untuk VAHT dan 2.8 m untuk HAHT ditengah dengan posisi 0.9 m dari dasar kanal atau dengan ukuran diameter 2.8 m dipasang parallel yang berjarak 5R dengan ketinggian 1.6 m dari dasar kanal.

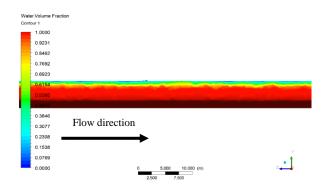
Untuk kanal Larona panel 81 bisa dipasang turbin Vertikal axis hydrokinetic turbine maupun horizontal axis hydrokinetic turbine dengan ukuran diameter 4.8 m m untuk VAHT dan 2.8 m untuk HAHT dibagian kiri dengan posisi 1m dari dasar kanal atau dengan ukuran diameter 2.8 dipasang parallel yang berjarak 5R dengan ketinggian 1 m dari dasar kanal.

Pada kanal Larona untuk panel 159 bisa dipasang turbin Vertikal axis hydrokinetic turbine maupun horizontal axis hydrokinetic turbine dengan ukuran diameter 4.8 m untuk VAHT dan 2.8 m untuk HAHT dibagian tengah dengan posisi 1.6 m dari dasar kanal atau dengan ukuran diameter 2.8 m dipasang parallel yang berjarak 5R dengan ketinggian 1 m dari dasar kanal.

Pada Kanal Larona panel 382 bisa dipasang turbin Vertikal axis hydrokinetic turbine maupun horizontal axis hydrokinetic turbine dengan ukuran diameter 4.8 m m untuk VAHT dan 2.8m untuk HAHT dibagian tengah dengan posisi 1.5 m dari dasar kanal atau dengan ukuran diameter 2.8 m dipasang parallel yang berjarak 5R dengan ketinggian 1 m dari dasar kanal.

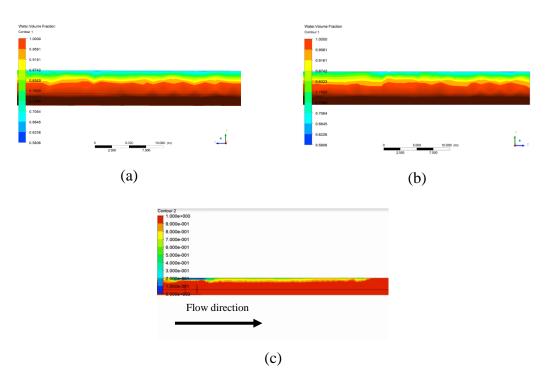
4.4 Fluktuasi pada Vertical Axis Hydrokinetic Turbine (VAHT)

Berikut adalah volume fraction sebelum dipasangi turbin



Gambar 4. 20 Volume fraction pada kanal larona panel 24 sebelum dipasang turbin

Dari Gambar 4.20 diatas menunjukan bahwa sebelum diberi turbin, fluktuasi yang ada di sisi kanan maupun di kiri, dinding aliran mempunyai aliran yang sama dengan ketinggian yang hampir sama yaitu 4.7 m.



Gambar 4. 21 Volume fraction pada kanal larona panel 24 (a)sisi kanan (b)sisi kiri (c) sisi tengah

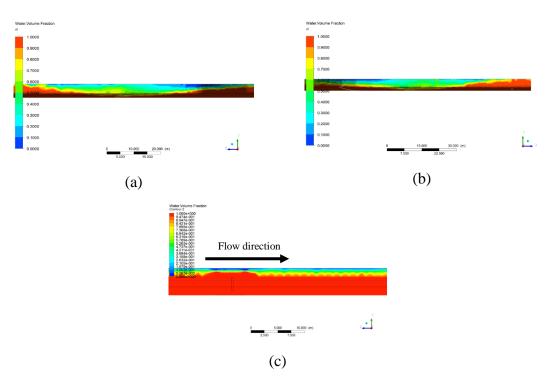
Gambar 4.21 menunjukkan kenaikan level diakibatkan volume yang masuk kedalam aliran kanal. Pada bidang tengah mengalami kenaikan level akibat turbin yang dimasukan. Selain itu ketinggian yang berada di dinding kanal mengakibatkan

kenaikan tetapi yang tidak signifikan. Hal ini dikarenakan jarak antara turbin ke dinding. Semakin jauh maka ketingggian level air yang naik juga tidak besar.

Tabel 4. 5 Kenaikan level untuk kanal larona panel 24

Posisi	Selisih level (m)	Selisih sebelum dan dikasih turbin (%)
Sebelum naik	0.126123	3.562794
Ditengah/naik	0.28871	7.611811
Setelah naik/turun	-0.0914	-2.36364

Tabel 4.5 menunjukkan kenaikan level sebesar 0.288 m atau naik sebesar 7.611% dari sebelum dikasih turbin. Atau jika dibandingkan dengan diameter turbin sebesar melebar sebesar 9.19 m.



Gambar 4. 22 Volume fraction untuk larona panel 53(a)sisi kanan (b)sisi kiri (c) sisi tengah

Pada Gambar 4.22 sama seperti Gambar 4.20 sebelum dipasangai turbin, permukaan bebas pada kanal terjadi pada ketinggian 4.7m setelah dipasang turbin mengakibatkan kenaikan level permukaan bebas. Kenaikan level air ini diakibatkan volume yang masuk ke dalam aliran kanal. Pada bidang tengah mengalami

kenaikan level akibat turbin yang dimasukan. Selain itu ketinggian yang berada di dinding kanal mengakibatkan kenaikan tetapi yang tidak signifikan. Hal ini dikarenakan jarak antara turbin ke dinding. Semakin jauh maka ketingggian level air yang naik juga tidak besar. Pada daerah dinding volume air yang terlihat semakin sedikit karena volume fraksi dengan nilai 1 menurun. Hal ini diakibatkan ketika air yang bergerak berinteraksi dengan udara sehingga udara ada yang masuk ke dalam air sehingga seolah-olah pada bagian dinding air menyurut. Kenaikan level permukaan air seperti pada Tabel 4.6

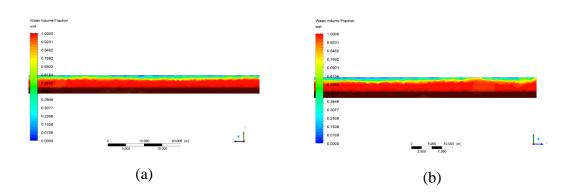
Tabel 4. 6 Kenaikan level untuk kanal larona panel 53

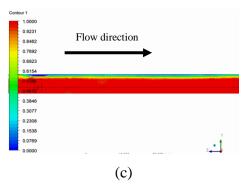
Posisi	Selisih level (m)	Selisih sebelum dan dikasih turbin (%)
Sebelum naik	0.0802426	2.24679349
Ditengah/naik	0.0086164	0.211103
Setelah naik/turun	0.5187652	14.9526415

Kenaikan level sebesar 0.0086 m atau naik sebesar 0.211% dari sebelum dikasih turbin. Atau jika dibandingkan dengan diameter turbin melebar sebesar 10.2 m.

4.5 Fluktuasi pada Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine (HAHT)

Gambar 4.23 jika dibandingkan dengan gambar 4.20 bahwa kenaikan level diakibatkan seberapa besar volume yang masuk ke dalam aliran kanal. Pada bidang tengah mengalami kenaikan level akibat turbin yang dipasang. Selain itu ketinggian yang berada di dinding kanal juga ikut naik tetapi dengan kenaikan yang tidak signifikan.





Gambar 4. 23 Volume fraksi kanal larona 24 setelah diberi turbin(a)sisi kanan (b)sisi kiri (c) sisi tengah

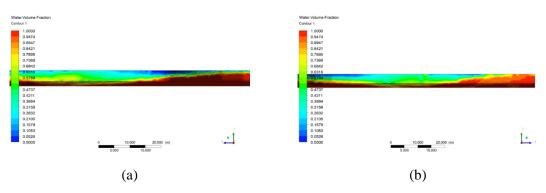
Hal ini dikarenakan jarak antara turbin ke dinding. Semakin jauh jaraknya maka ketingggian level air yang naik semakin sedikit atau berbanding terbalik.

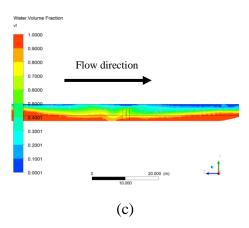
Pada pemasangan turbin HAHT mengakibatkan kenaikan level air yang lebih sedikit daripada pemasngan turbin VAHT. Hal ini dikarenakan ukuran serta luas sapuan turbin yang digunakan. Semakin besar maka semakin meningkat pula perubahan level air yang dihasilkan. Kenaikan permukaan level air seperti pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4. 7 Kenaikan level untuk kanal larona panel 24

Posisi	Selisih level (m)	Selisih sebelum dan dikasih turbin (%)
Sebelum naik	0.39692	11.21242
Ditengah/naik	0.099098	2.612713
Setelah naik/turun	0.036272	0.938017

Kenaikan level sebesar 0.09 m atau naik sebesar 2.61% dari sebelum dikasih turbin. Atau jika dibandingkan dengan diameter turbin menyempit sebesar 2.41m.





Gambar 4. 24 Volume fraction kanal larona 53 setelah diberi turbin (a) sisi kanan (b) sisi kiri (c) sisi tengah

Gambar 4.24 kenaikan level diakibatkan seberapa besar volume yang masuk ke dalam aliran kanal. Pada bidang tengah mengalami kenaikan level akibat turbin yang dimasukan. Selain itu ketinggian yang berada di dinding kanal mengakibatkan kenaikan tetapi yang tidak signifikan. Hal ini dikarenakan jarak antara turbin ke dinding. Semakin jauh maka ketingggian level air yang naik juga tidak besar. Akibat dari interaksi dengan udara, volume air yang terkandung juga mengalami penurunan. Selain itu adanya putaran akibat turbin yang bergerak atau sapuan turbin menyebabkan udara ada yang masuk ke dalam aliran air.

Pada pemasangan tubrin HAHT mengakibatkan kenaikan level air yang lebih sedikit daripada pemasngan turbin VAHT. Hal ini dikarenakan ukuran serta luas sapuan turbin yang digunakan. Semakin besar maka semakin meningkat pula perubahan level air yang dihasilkan, seperti ditunjukkan di Tabel 4.8.

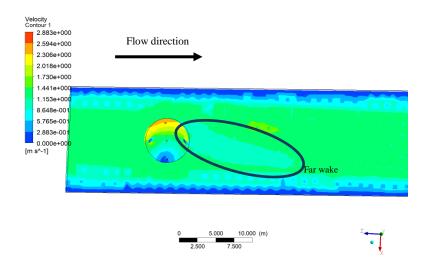
Tabel 4. 8 Kenaikan level untuk kanal larona panel 53

Posisi	Selisih Level	Selisih Sebelum Dan Dikasih Turbin (%)
Sebelum naik	-2.4033	-67.2924
Ditengah/naik	-2.69739	-66.0861
Setelah naik/turun	-2.04643	-58.9853

Penurunan level sebesar 2.69 m atau turun sebesar 66.08% dari sebelum dikasih turbin. Atau jika dibandingkan dengan diameter turbin menyempit sebesar 1.98 m

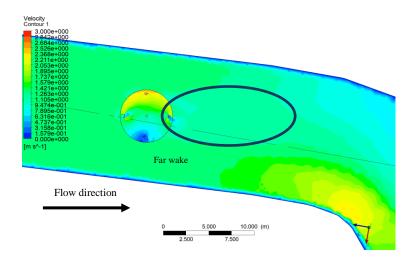
4.6 Profil Wake Pada Vertical Axis Hydrokinetic Turbine (VAHT)

Wake atau olakan adalah salah satu masalah yang terjadi ketika fluida melewati benda padat terutama pada turbin yang berputar. Wake ini terjadi akibat adanya interaksi akibat ektraksi energy air yang bertemu dengan turbin. Wake biasanya terjadi di belakang turbin atau di daerah downstream. Pada daerah ini akan terbentuk vortex di belakang turbin. Wake terjadi akibat adanya turbulence mixing antara aliran dengan kecepatan rendah di belakang turbin dan aliran dengan kecepatan tinggi dari lingkungan. Turbulence mixing akan mengakibatkan terjadinya pertukaran energi dari lingkungan ke daerah wake sehingga kecepatan pada daerah wake perlahan – lahan akan kembali menyesuaikan kecepatan lingkungan. Fenomena ini dinamakan recovery wake yang mana panjang wake maksimal agar aliran dapat kembali seperti semula atau sesuai dengan lingkungannya.



Gambar 4. 25 Distribusi kecepatan untuk panel larona 24

Gambar 4.25 menunjukkan fenomena wake yang terjadi mengakibatkan penurunan kecepatan pada belakang turbin. Penurunan kecepatan di daerah near wake menjadi 0 m/s sedangkan untuk daerah far wake menghasilkan nilai kecepatan 0,5 m/s. Daerah konservasi wake dapat dilihat ketika nilai kecepatan perlahan sudah meningkat kembali ke kecepatan awal atau kecepatan lingkungan. Pada pada daerah ini menunjukan bahwa wake terkonservasi sepanjang 2D atau sejauh 9.76 m. Bentuk wake yang dihasilkan adalah asimetris pada near wake maupun far wake.



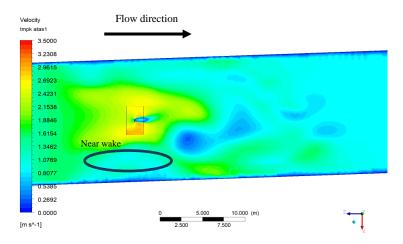
Gambar 4. 26 Distribusi kecepatan pada kanal larona 53

Gambar 4.26 menunjukkan fenomena wake yang terjadi mengakibatkan penurunan kecepatan pada belakang turbin. Penurunan kecepatan di daerah near wake menjadi 0 m/s sedangkan untuk daerah far wake menghasilkan nilai kecepatan 0,75 m/s. Daerah konservasi wake dapat dilihat ketika nilai kecepatan perlahan sudah meningkat kembali ke kecepatan awal atau kecepatan lingkungan. Pada pada daerah ini menunjukan bahwa wake terkonservasi sepanjang 3D atau sejauh 14,4 m. Pada daerah karakteristik berbelok juga menghasilkan wake yang asimetris juga pada daerah wake maupun far wake, tetapi nilai wake hampir tersebar ke dinding akibat perubahan aliran arah.

4.7 Profil Wake Pada Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine (HAHT)

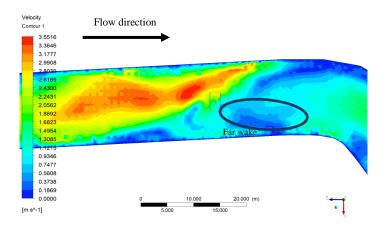
Wake atau olakan adalah salah satu masalah yang terjadi ketika fluida melewati benda padat terutama pada turbin yang berputar. Wake ini terjadi akibat adanya interaksi akibat ektraksi energy air yang bertemu dengan turbin. Wake biasanya terjadi di belakang turbin atau di daerah downstream. Pada daerah ini akan terbentuk vortex di belakang turbin. Wake terjadi akibat adanya turbulence mixing antara aliran dengan kecepatan rendah di belakang turbin dan aliran dengan kecepatan tinggi dari lingkungan. Turbulence mixing akan mengakibatkan terjadinya pertukaran energi dari lingkungan ke daerah wake sehingga kecepatan pada daerah wake perlahan – lahan akan kembali menyesuaikan kecepatan lingkungan. Fenomena ini dinamakan recovery wake yang mana

panjang wake maksimal agar aliran dapat kembali seperti semula atau sesuai dengan lingkungannya.



Gambar 4. 27 Kecepatan untuk larona panel 24

Gambar 4.27 menunjukkan fenomena wake yang terjadi mengakibatkan penurunan kecepatan pada belakang turbin. Penurunan kecepatan di daerah near wake menjadi 0 m/s sedangkan untuk daerah far wake menghasilkan nilai kecepatan 0,8 m/s. Daerah konservasi wake dapat dilihat ketika nilai kecepatan perlahan sudah meningkat kembali ke kecepatan awal atau kecepatan lingkungan. Pada daerah ini menunjukan bahwa wake terkonservasi sepanjang R atau sejauh 1.35 m. Bentuk wake yang dihasilkan adalah simetris pada near wake.



Gambar 4. 28 Kecepatan untuk larona panel 53

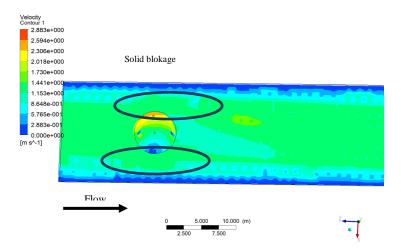
Gambar 4.28, fenomena wake yang terjadi mengakibatkan penurunan kecepatan pada belakang turbin. Penurunan kecepatan di daerah near wake menjadi

0 m/s sedangkan untuk daerah far wake menghasilkan nilai kecepatan 0,6 m/s. Daerah konservasi wake dapat dilihat ketika nilai kecepatan perlahan sudah meningkat kembali ke kecepatan awal atau kecepatan lingkungan. Pada daerah ini menunjukan bahwa wake terkonservasi sepanjang 10R atau sejauh 13.5 m. Bentuk wake yang dihasilkan adalah simetris pada near wake kemudian akan berbentuk asimetris pada far wake apalagi pada lokasi ini berkarakteristik belok sehingga bentuk far wake sangat asimetris.

4.8 Blockage Effect Pada Vertical Axis Hydrokinetic Turbine (VAHT)

Blockage effect merupakan efek atau gaya hambat oleh fluida yang disebabkan adanya interaksi fluida disekitar model dengan fluida disekitar dinding kanal sehingga menyebabkan terjadinya perubahan pola pada aliran free stream. Blockage effect terbagi menjadi 3 jenis yakni solid blockage, wake blockage dan boundary blockage. Blockage efek dapat diketahui dengan melihat parameter blockage ratio. Blockage ratio adalah perbandingan antara luas kanal dengan luas hidrolik turbin.

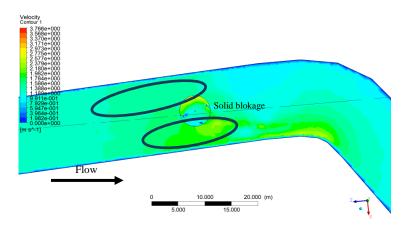
4.8.1 Distribusi Kecepatan



Gambar 4. 29 Distribusi kecepatan untuk larona panel 24

Pada Gambar 4.29 diatas, karakteristik aliran yang lurus blockage efek timbul ketika aliran melewati luas penampang yang lebih kecil. Hal ini mengakibatkan kecepatan aliran menjadi lebih besar dan dengan kecepatan sebesar 1.5 m/s pada sisi kanan dan 1,55 m/s untuk sisi kiri. Hal ini menunjukan kesesuaian dengan teori

yang menunjukan prinsip kontinuitas yang mana nilai kecepatan akan membesar ketika ada penurunan luas penampang. Selain itu besarnya nilai peningkatan sebelah kanan dan sebelah kiri berbeda akibat arah putar turbin anticlockwise. Peningkatan kecepatan pada sisi kanan sebesar 0.2m/s dan sisi kiri sebesar 0.25m/s.

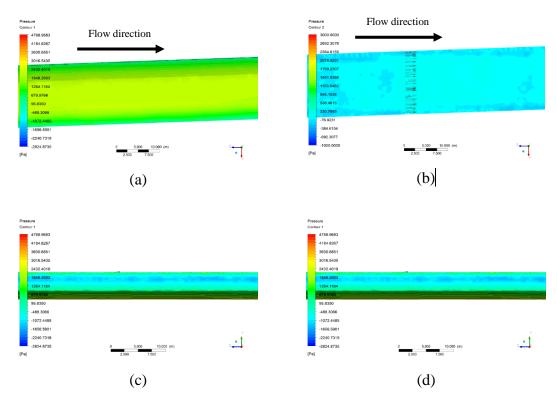


Gambar 4. 30 Distribusi kecepatan untuk larona panel 53

Sedangkan Gambar 4.30 diatas, menunjukkan karakteristik kanal berbelok akan mengakibatkan blockage efek timbul ketika aliran melewati luas penampang yang lebih kecil. Hal ini menunjukan kesesuaian dengan teori yang menunjukan prinsip kontinuitas yang mana nilai kecepatan akan membesar ketika ada penurunan luas penampang. Fenomena ini mengakibatkan kecepatan aliran menjadi lebih besar dan dengan kecepatan sebesar 1.8 m/s untuk sisi kanan sedangkan 1,5 m/s untuk sisi kiri. Selain itu ketika setelah aliran ada belokan maka kecepatan semakin meningkat karena adanya efek aliran yang berubah arah secara mendadak yaitu belokan ke kanan. Peningkatan kecepatan pada sisi kanan sebesar 0.5m/s dan sisi kiri sebesar 0.3m/s.

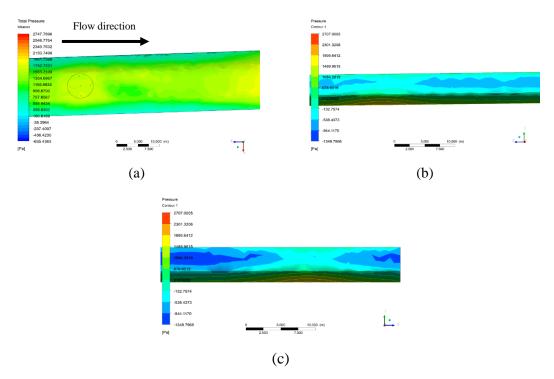
4.8.2 Distribusi Tekanan

Selain kecepatan, *blockage effect* juga mempengaruhi distribusi tekanan. Berikut adalah distribusi tekanan untuk lokasi kanal Larona panel 24 dan panel 53. Gambar 4.31 menggambarkan tekanan yang ada di kanal Larona panel 24 hampir seragam pada setiap lokasi sebesar 230 Pa dan dinding -600 Pa.. Nilai yang hampir sama menunjukan bahwa tekanan yang didapat pada wall seragam berasal dari *shear stress* dan tekanan normal yang berada pada sepanjang kanal.



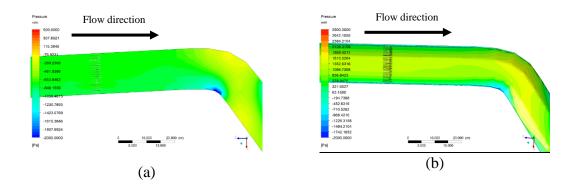
Gambar 4. 31 Distribusi tekanan kanal larona panel 24 tanpa turbin (a) wall tampak atas (b) tampak atas dengan ketinggian 3 meter (c) sisi kiri (d) sisi kanan

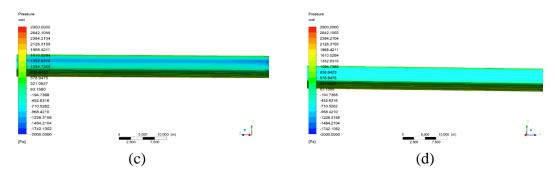
Sedangkan Gambar 4.32 menggambarkan distribusi tekanan, ketika aliran melewati turbin akan menyebabkan tekanan meningkat seiring melewati luas permukaan yang semakin kecil. Selain itu akan mengalami konservasi tekanan lagi setelah melewati turbin. Ketika aliran melewati turbin dengan kecepatan di dekat dinding meningkat, akan mengakibatkan tekanan perlahan menurun dan kemudian akan terkonservasi lagi sepanjang dengan perubahan nilai kecepatan. Tekanan dinding yang dihasilkan sebesar -300 Pa. Akan tetapi tekanan yang berada didekat turbin yang menuju ke arah dinding kecepatannya semakin besar dengan nilai 1553 Pa. Hal ini disebabkan pada saat dinding kanal menyempit maka aliran secara dominan akan terhalangi oleh turbin sehingga tekanan aliran mengenai turbin membesar dan ke arah dinding juga mengalami peningkatan. Selain itu untuk yang berada di dinding kanan dan di dinding kiri mengalami peningkatan tekanan dari yang sebelumnya akibat turbin yang berputar, selain itu tekanan dari atas ke bawah mengalami kenaikan akibat kedalaman sebanding dengan tekanan.



Gambar 4. 32 Distribusi tekanan untuk larona panel 24 (a) tampak atas (b) tampak samping kanan (c) tampak samping kiri

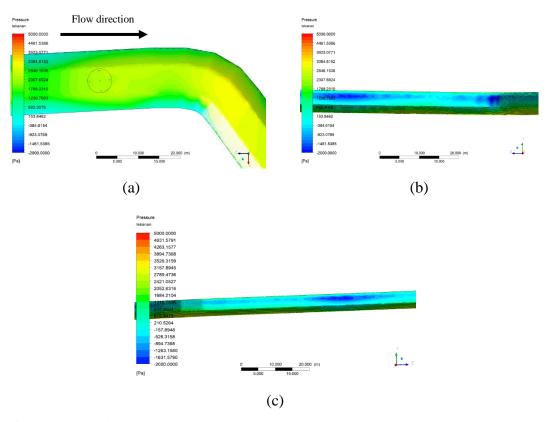
Peningkatan tekanan yang di dapat jika dibandingkan tanpa menggunakan turbin sebesar 1323 Pa untuk yang berada di dekat turbin dan peningkatan sebesar 300 Pa untuk dekat wall. Jika dibandingkan dengan karakteristik kanal yang berbelok adalah sebagai berikut.





Gambar 4. 33 Distribusi tekanan untuk kanal larona panel 53 (a) tampak atas dengan ketinggian 3 meter (b) wall tampak atas (c)wall sisi kanan (d) wall sisi kiri

Gambar 4.33 menunjukkan distribusi tekanan yang ada di kanal larona panel 53 hampir seragam pada setiap lokasi sebesar -460 Pa dan pada dinding sebesar -550 Pa. Nilai yang hampir sama menunjukan bahwa tekanan yang didapat pada wall seragam berasal dari *shear stress* dan tekanan normal yang berada pada sepanjang kanal.



Gambar 4. 34 Distribusi tekanan kanal larona 53 (a) tampak atas (b) tampak samping kanan (c) tampak samping kiri

Gambar 4.34 menggambarkan distribusi tekanan, ketika aliran melewati turbin akan menyebabkan tekanan meningkat seiring melewati luas permukaan yang semakin kecil. Selain itu akan mengalami konservasi tekanan lagi jauh setelah melewati turbin. Ketika aliran melewati turbin dengan kecepatan di dekat dinding meningkat, akan mengakibatkan tekanan perlahan menurun dan kemudian akan terkonservasi lagi sepanjang dengan perubahan nilai kecepatan. Nilai tekanan dinding yang didapat sebesar -270 Pa. Akan tetapi tekanan yang berada didekat turbin yang menuju ke arah dinding kecepatannya semakin besar dengai nilai 2500 Pa. Hal ini disebabkan pada saat dinding kanal menyempit maka aliran secara dominan akan terhalangi oleh turbin sehingga tekanan aliran mengenai turbin membesar dan ke arah dinding juga mengalami peningkatan. Pada lokasi ini tekanan lebih mengarah ke samping kiri dan tekanan setelah belokan meningkat signifikan. Arah aliran yang berbelok mengakibatkan pusaran turbulen dan tekanan melonjak. Selain itu untuk yang berada di dinding kanan dan didinding kiri mengalami peningkatan tekanan dari yang sebelumnya akibat turbin yang berputar, selain itu tekanan dari atas ke bawah mengalami kenaikan akibat kedalaman sebanding dengan tekanan.

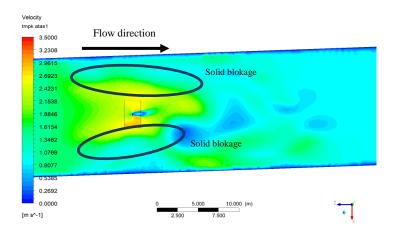
Peningkatan tekanan yang didapat jika dibandingkan tanpa menggunakan turbin sebesar 2960 Pa untuk yang berada di dekat turbin dan peningkatan sebesar 280 Pa dekat wall.

4.9 Blockage Effect Pada Horizontal Axis Hydrokinetic Turbine (HAHT)

Blockage effect merupakan efek atau gaya hambat oleh fluida yang disebabkan adanya interaksi fluida disekitar model dengan fluida disekitar dinding kanal sehingga menyebabkan terjadinya perubahan pola pada aliran free stream. Blockage effect terbagi menjadi 3 jenis yakni solid blockage, wake blockage dan boundary blockage. Blockage efek dapat diketahui dengan melihat parameter blockage ratio. Blockage ratio adalah perbandingan antara luas kanal dengan luas hidrolik turbin.

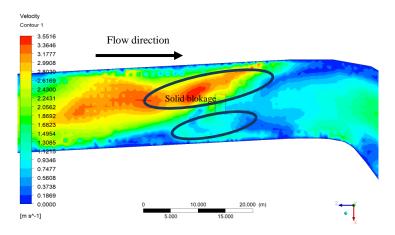
4.9.1 Distribusi Kecepatan

Gambar 4.35 menunjukkan karakteristik aliran yang lurus blockage efek timbul ketika aliran melewati luas penampang yang lebih kecil. Hal ini mengakibatkan kecepatan aliran menjadi lebih besar dan dengan kecepatan sebesar 1.6 m/s pada sisi kanan dan sebesar 1,65 m/s untuk pada sisi kiri.



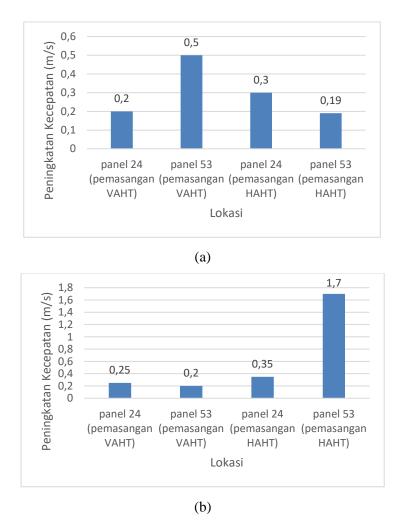
Gambar 4. 35 Kecepatan untuk larona panel 24

Hal ini menunjukan kesesuaian dengan teori yang menunjukan prinsip kontinuitas yang mana nilai kecepatan akan membesar ketika ada penurunan luas penampang. Peningkatan kecepatan pada sisi kanan sebesar 0.3m/s dan sisi kiri sebesar 0.35m/s.



Gambar 4. 36 Kecepatan untuk larona panel 53

Gambar 4.36 menggambarkan karakteristik aliran yang lurus blockage efek timbul ketika aliran melewati luas penampang yang lebih kecil. Hal ini mengakibatkan kecepatan aliran menjadi lebih besar dan dengan kecepatan sebesar 1.49 m/s pada sisi kanan dan sebesar 3 m/s untuk pada sisi kiri. Hal ini menunjukan kesesuaian dengan teori yang menunjukan prinsip kontinuitas yang mana nilai kecepatan akan membesar ketika ada penurunan luas penampang. Peningkatan kecepatan pada sisi kanan sebesar 0.19 m/s dan sisi kiri sebesar 1.7 m/s.

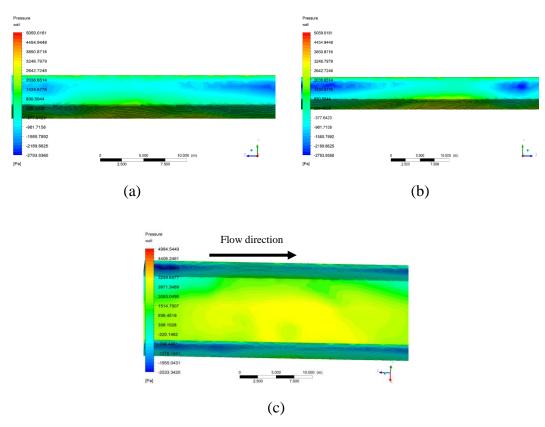


Gambar 4. 37 Peningkatan kecepatan (a) sisi kanan (b) sisi kiri

Gambar 4.37 menunjukkan peningkatan sisi kanan dan kiri berbeda diakibatkan oleh putaran turbin serta karakteristik lokasi yang ditempati. Lokasi yang berkelok sangat mempengaruhi sisi dinding mana yang lebih besar kecepatannya, karena kondisi ini juga mengakibatkan aliran menjadi semakin membesar.

4.9.2 Distribusi Tekanan

Selain kecepatan, blockage effect juga mempengaruhi distribusi tekanan. Berikut adalah distribusi tekanan untuk lokasi kanal Larona panel 24 dan panel 53.

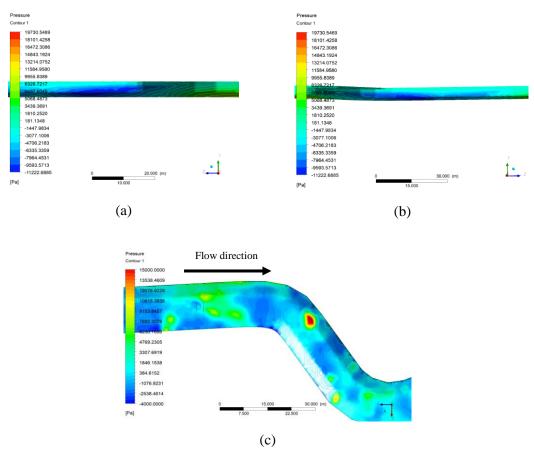


Gambar 4. 38 Distribusi tekanan untuk larona panel 24 (a) sisi kanan(b) sisi kiri (c) tampak atas

Gambar 4.38 menunjukkan distribusi tekanan, ketika aliran melewati turbin akan menyebabkan tekanan meningkat seiring melewati luas permukaan yang semakin kecil. Selain itu akan mengalami konservasi tekanan lagi jauh setelah melewati turbin. Ketika aliran melewati turbin dengan kecepatan di dekat dinding meningkat, akan mengakibatkan tekanan perlahan menurun dan kemudian akan terkonservasi lagi sepanjang dengan perubahan nilai kecepatan. Nilai tekanan yang didapat pada dinding sebesar -400 Pa. Akan tetapi tekanan yang berada didekat turbin yang menuju ke arah dinding kecepatannya semakin besar dengai nilai 2050 Pa. Hal ini disebabkan pada saat dinding kanal menyempit maka aliran secara dominan akan terhalangi oleh turbin sehingga tekanan aliran mengenai turbin membesar dan ke arah dinding juga mengalami peningkatan. Selain itu untuk yang

berada di dinding kanan dan di dinding kiri mengalami peningkatan kecepatan dari yang sebelumnya akibat turbin yang berputar, selain itu tekanan dari atas ke bawah mengalami kenaikan akibat kedalaman sebanding dengan tekanan.

Jika dibandingkan dengan nilai sebelum dipasangi turbin seperti pada Gambar 4.31 maka mengalami peningkatan tekanan sebesar 1820 Pa, tetapi untuk bagian dinding mengalami peningkatan 200 Pa. Hal ini menunjukan bahwa dengan pemasangan jenis turbin HAHT tekanan di dinding mengalami penurunan berbeda dengan jenis VAHT yang arah sapuan HAHT tegak lurus dengan aliran sehingga tekanan yang mngenai dinding akan berkurang . Jika dibandingkan dengan karakteristik kanal yang berbelok adalah sebagai berikut.

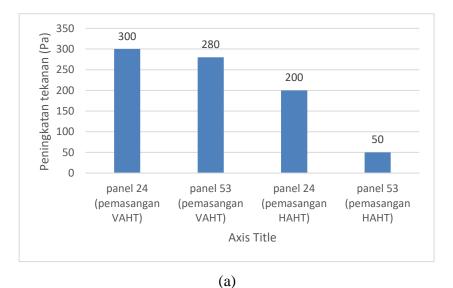


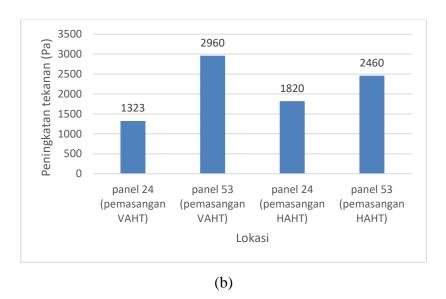
Gambar 4. 39 Distribusi tekanan untuk larona panel 53 (a) sisi kanan(b) sisi kiri (c) tampak atas

Gambar 4.39 menunjukkan distribusi tekanan, ketika aliran melewati turbin akan menyebabkan tekanan meningkat seiring melewati luas permukaan yang semakin kecil. Selain itu akan mengalami konservasi tekanan lagi jauh setelah

melewati turbin. Ketika aliran melewati turbin dengan kecepatan di dekat dinding meningkat, akan mengakibatkan tekanan perlahan menurun dan kemudian akan terkonservasi lagi sepanjang dengan perubahan nilai kecepatan. Nilai tekanan yang didapat pada dindidng sebesar -500 Pa, sedangkan nilai tekanan yang berada didekat turbin yang menuju ke arah dinding sebesar 2000 Pa. Hal ini disebabkan pada saat dinding kanal menyempit maka aliran secara dominan akan terhalangi oleh turbin sehingga tekanan aliran mengenai turbin membesar dan ke arah dinding juga mengalami peningkatan. Pada lokasi ini tekanan lebih mengarah ke samping kiri dan tekanan setelah belokan meningkat signifikan. Arah aliran yang berbelok mengakibatkan pusaran turbulen dan tekanan melonjak. Selain itu untuk yang berada di dinding kanan dan didinding kiri mengalami peningkatan kecepatan dari yang sebelumnya akibat turbin yang berputar, selain itu tekanan dari atas ke bawah mengalami kenaikan akibat kedalaman sebanding dengan tekanan.

Jika dibandingkan dengan nilai sebelum dipasangi turbin seperti pada Gambar 4.31 maka mengalami peningkatan tekanan sebesar 2460 Pa, tetapi untuk bagian dinding mengalami penurunan 50 Pa. Gambar 4.40 menunjukkan peningkatan tekanan yang di dapat berbeda-beda tergantung dari jenis pemasangan turbin serta lokasi yang ditempati dengan karakteristik lurus maupun berbelok. Pada pemasangan turbin yang sama maka peningkatan maupun penurunan tekanan berbanding terbalik pada sisi dekat dinding maupun dekat turbin.





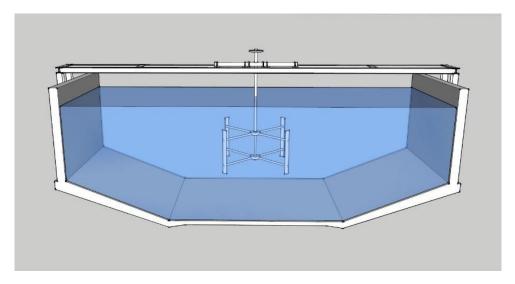
Gambar 4. 40 Peningkatan tekanan (a) sisi dekat turbin (b) sisi dekat dinding

4.10 Pemasangan Hidrokinetik

Pemasangan turbin hidrokinetik dengan menggunakan struktur besi yang melintang diantara kedua sisi kanal. Generator akan tersambung secara mekanikal di permukaan air.

Pemasangan hidrokinetik secara seri dalam satu kanal, telah di lakukan di kanal Chilla yang terletak di India Utara. Kanal yang saat ini memasok air untuk pembangkit listrik tenaga air yang sudah ada sepanjang 14 km, estimasi jumlah hidrokinetiks turbin yang akan terpasang sebanyak 400 unit.

Dengan spesifikasi dari VAHT yang digunakan dalam penelitian ini, yang memiliki turbin diameter 4.8 m dan berdasarkan beberapa penelitian yang menyatakan, bahwa kondisi teraman untuk memasang turbin secara seri tanpa mengganggu turbin berikutnya adalah 5 kali diameter turbin. Kanal Larona yang memiliki panjang 6969 meter, asumsi bahwa 90 % dari panjang kanal bisa dipasang hidrokinetik turbin yakni 6272 meter, dengan jarak aman masing masing turbin adalah 24 meter dan jarak antar titik pusat hidrokinetik 28,8 m. Maka banyaknya hidrokinetik turbin yang bisa terpasang adalah 210 unit dengan pembulatan, jarak masing masing titik pusat hidrokinetik setiap 30 meter.



Gambar 4. 41 Pemasangan Hidrokinetik Tipe VAHT

4.11 Perkiraan Biaya Ekstrasi Daya

Dalam perhitungan pembiayaan ini mencakup biaya Engineering, Procurement dan Construction. Biaya hanya mencakup komponen komponen besar dalam satu unit turbin hidrokinetik, karena pemasangannya masih di daerah kontrak karya PT Vale. Energi listrik yang di bangkitkan akan digunakan dalam kalangan sendiri dengan subtitusi pengurangan energi listrik dari pembangkit diesel. Investasi dilakukan dengan pembiayaan sendiri, target pengembangan investasi selama 20 tahun

Perhitungan biaya dengan menggunakan mata uang US\$, yang kurs nya saat ini adalah Rp 15.000 /US\$. Landasan untuk perhitungan biaya investasi penelitian ini, mengacu pada biaya operasional dari *Thermal Plant*, dimana dalam pengoperasian pembangkitan litrik tenaga diesel diperlukan US\$ 0.214/Kwh atau kompensasi atas investasi ini adalah senilai biaya elektrifikasi yang berhasil di hemat setara dengan Rp 3.210/Kwh.

Pengoperasian pembangkitan, diperlukan biaya pemeliharaan, dan biaya pemeliharaan menggunakan angka yang sudah digunakan dalam pengoperasian generator Larona saat ini, yaitu sekitar US\$ 0.002 /KWh atau sekitar Rp 30/KWh

4.11.1 Biaya Komponen Terbesar

Komponen terbesar dari proyek pemasangan turbin hidrokinetik adalah seperti dalam Tabel 4.9

Tabel 4. 9 Biaya Komponen Terbesar

No	Material	Spesifikasi	Satuan	Harga
1	Generator, Turbin	Max Power Output: 25 KW Nominal Vel: 2,4 m/s Rotor Speed: 20 rpm Rotor Diameter: 4.8 m Rotor Height: 2.4 m Number of Blades: 4 Generator Output: 0-300 V, 3 phasa	unit	US\$ 100,000
2	Transformer	300V/11KV, 100 KVA	unit	US\$ 5,000
3	Switchboard	Arus Nominal 20A-100A Rating voltage : 17.5kV 1 sets cubicle include:Incoming and Outgoing Cubicle	unit	US\$ 20,000

4.11.2 Biaya Proyek Pemasangan

Pada proses pembiayaan ini, masing masing kegiatan memiliki biaya material selain biaya komponen besar, biaya tenaga kerja, dari urutan kerja yang akan ditentukan. Tabel 4.10 memperlihatkan biaya secara garis besar dalam masing masing disiplin. Biaya yang lebih rinci ada pada lampiran

Tabel 4. 10 Biaya Pemasangan

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan Bahan (US\$)	Upah (US\$)	Total Harga Satuan (US\$)
A	Mekanikal	lot	2,962.08	1,208.4	4,170.48
	Construction	lot		4,113.92	11,347.52
	Equipment	lot	7,233.60		
	Commisioning	lot		3,000	3,000
	Cotigency	lot		1,851	1,851
В	Electrical	lot	229,900	3,920	233,820
	Construction	lot		49,376	49,376
	Equipment	lot	400		400
	Total Mekanikal dan Elektrikal	lot			303,965

4.11.3 Ringkasan Tahunan

Dalam tahunan daya listrik yang di hasilkan seperti data pada Tabel 4.3 kecepatan aliran di masing masing panel, dan jumlah penghematan yang dihasilkan dari Thermal Plant seperti pada Tabel 4.11. Berdasarkan spesifikasi dari generator VAHT sesuai kurva kecepatan dan pembangkitan serta asumsi ketersediaan alat 95 %, maka daya yang dihasilkan oleh masing masing generator di setiap panelnya. Pengoperasian pembangkitan, diperlukan biaya pemeliharaan, dan biaya pemeliharaan menggunakan angka yang sudah digunakan dalam pengoperasian generator Larona saat ini, yaitu sekitar US\$ 0.002 /KWh atau sekitar Rp 30/KWh

Tabel 4. 11 Biaya Pembangkitan dan Pengoperasian per tahun

Lokasi Panel	Speed m/s	Power Kw	Produksi Generator PLTA (KWh)	Biaya Produksi Thermal Tahunan (Rp)	Biaya Tahunan Listrik PLTA(Rp)	Pendapatan Tahunan Listrik PLTA (Rp)
					` * ′	
24	2.41	12	99,864	320.563.440	(2.995.920)	317.567.520
53	2.24	6	49,932	160.281.720	(1.497.960)	158.783.760
81	2.34	7.5	62,415	200.352.150	(1.872.450)	198.479.700
159	2.34	7.5	62,415	200.352.150	(1.872.450)	198.479.700
382	2.37	8	66,576	213.708.960	(1.997.280)	211.711.680
Total untuk operasi 5 unit Hydrokinetik		341,202	1.095.258.420	(10.236.060)	1.085.022.360	

Halaman ini memang dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi dan analisa data yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil dari tesis ini adalah sebagai berikut:

- a. Kecepatan aliran kanal bagian tengah akan lebih rendah di daerah belokan akan tetapi terjadi peningkatan tekanan terhadap salah satu dinding kanal sebelum belokan dan sedangkan untuk yang lain mengalami back pressure. Kecepatan aliran meningkat makan tekanan di aliran tersebut akan turun.
 - b. Bahwa luasan sapuan turbin berpengaruh terhadap seberapa besar menghalangi aliran pada kanal. *Blockage effect* dapat dikategorikan menjadi 3 komponen, yakni *solid blockage*, *wake blockage* yang menyebabkan kecepatan aliran disekitar turbin meningkat. Aliran yang lurus blockage efek timbul ketika aliran melewati luas penampang yang lebih kecil.
 - c. Fluktuasi aliran bidang tengah mengalami kenaikan level akibat turbin yang dimasukan. Selain itu ketinggian yang berada di dinding kanal mengakibatkan kenaikan tetapi yang tidak signifikan. Hal ini dikarenakan jarak antara turbin ke dinding. Kenaikan tertinggi sebesar 0,288 m atau sebesar 7,61%. Diman tidak terjadi over flow dengan adanya pemasangan turbin hydrokinetic.
- Kerapatan energi dihasilkan adanya aliran kanal, dengan daya sebesar 200 220 W/m² didaerah hulu kanal panel 24, sedangkan ke arah hilir semakin mengecil dengan kerapatan 130 – 180 W/m² karena kecepatan aliran lebih kecil dari kecepatan hulu
- 3. Pemasangan *vertical axis hydrokinetic turbin* (VAHT) hasil simulasi menunjukan bahwa biaya terjadi adalah biaya komponen utama yaitu generator, turbin, transformer dan switchboard sebesar US\$ 125,000 dan biaya pemasangan sebesar US\$ 303,965. Jadi total pembiayaan untuk

pemasangan satu turbin hidrokinetik US\$ 428,965. Biaya pengoperasion 5 unit turbin hydrokinetic yang dipasang di 5 lokasi panel yang berbeda menghasilkan pemasukan sebesar Rp 1.095.258.420 per tahun dan biaya perawatan 5 unit turbin tersebut yakni Rp10.236.060 per tahun, sehingga pendapatan tahunan listrik turbin hydrokinetic Rp 1.085.022.360.

5.2 Saran

Perlu dilakukan studi kelayakan yang lebih detail dan menyeluruh mengenai potensi-potensi yang memungkinkan untuk mendapatkan pilihan yang optimum dari segi perancangan, pemilihan turbin, penghematan biaya, sehingga bisa didapatkan turbin hidrokinetik yang sesuai dan mempunyai efisiensi tinggi, tanpa membahayakan kondisi kanal Larona, ataupun peralatan yang ada di PLTA Larona.

Penentuan lokasi pemasangan turbin hidrokinetik, hendaknya dilakukan observasi menyeluruh, sehingga akan menghasilkan rancangan yang optimum, terhadap efisiensi dan kinerja turbin.

DAFTAR PUSTAKA

- Aan, H. (2015). *Investigation of blokage correction methods for full-scale wind tunnel testing of trucks.* KTH: Royal institute of Technology.
- Amir Hossein Birjandi, E. L. (2013). Power measurement of hydrokinetic turbines with free-surface and blockage effect. USA: Elsevier.
- Anderson, J.J. (1997) "Decadal climate cycle and declining Columbia River" *Salmon*.
- Bechtel. (1978). Final Geologic Report On Foundation Condition and Grouting, Soroako Nickel Project Larona Hydro Development.
- Bedard, R., Previsic, M., Hagerman, G., Polagye, B., Musial, W., Klure, J. et al (2007). *North American ocean energy status*-March. In Proc. EWTEC 2007, Porto, Portugal, 11-14 September 2007. [Online] Available from: http://oceanenergy.epri.com/attachments/ocean/reports/7th_EWTEC_Paper_FINAL_071707.pdf
- Bedard, R.J., Previsic, M. and Polagye, B.L. (2009) "Marine energy: how much development potential is there?" [Online] Available from: http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/04/marine-energy-how-muchdevelopment-potential-is-yhere
- Birjandi, A. H. (2012). Effect of Flow and Fluid Structures on the Performance of Vertical River Hydrokinetic Turbines. Winnipeg: University of Manitoba.
- Deepak, S. (2004). Wind Tunnel blokage corrections: a computational study. Texas USA: Texas Tech University.
- Kumar D, Sarkar S, (2016) "A review on the technology, performance, design optimization, reliability, techno-economics and environmental impacts of hydrokinetic energy conversion systems," *Renew. Sustain. Energy* Rev. 58 796-813.
- El-Seddik, M. M. (2016). *Hydraulic jump experiment in a rectangular open channel flume*. Egypt: Institute of Aviation Engineering and Technology (IAET).
- Groude, A., & Olov Agren. (2013). Simulations of a vertical acis turbine in a channel. Sweden: Elsevier.
- Guney, M. e. (2011). Evaluation and measures to increase performance coefficient of hydrokinetic turbines. Turkey: Elsevier.
- *International Energy Agency.* (2018, 3 5). Retrieved from Indonesia: Indicator for 2015: https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/

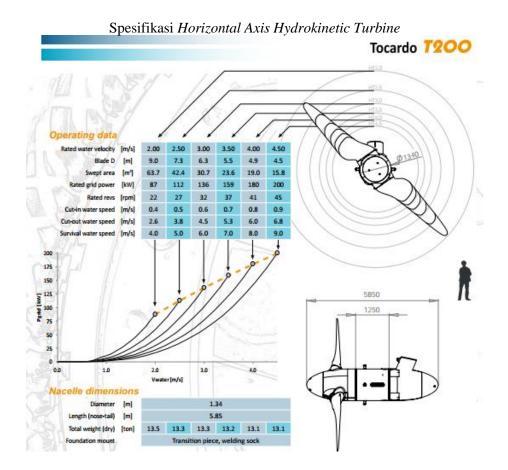
- Twidell J and Weir, T (2006) Renewable Energy Resources, London: New York,.
- Thielmann J ,(2009)"Power Extraction from Irrigation Laterals and Canals in the Columbia Basin project," WA, University of Washington,
- Khan MJ, Iqbal MT, Quaicoe JE.(2008) "River current energy conversion systems: progress, prospects and challenges." *Renew Sustain Energy* Rev; 12:2177-93.
- Lalande, E. and Leijon, M. (2011) In stream energy converter in a river Effects on upstream hydro power station, Renewable Energy, , 36 (1), pp399-404
- Masoud Ghasemian, N. A. (2017). A review on computational fluid dynamic simulation techniques for Darrieus vertical axis wind turbines. USA: Elsevier.
- Khan M J, G. B. (2009). Hydrokinetik energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review. Canada: Elsevier.
- Khan M J, Bhuyan G, Iqbal M T, Quaicoe J E (2009), "Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: a technology status review," *Appl. Energy* 86 1823-1835.
- Previsic M, Bedard R and Polagye B (2008), "System level design, performance, cost and economic assessment Alaska river in-stream power plants," EPRI, Alaska,.
- Guney, M.S, Kaygusuz K, (2010)"Hydrokinetic energy conversion systems: a technology status review," *Renew. Sustain. Energy* Rev. 14 2996-3004.
- Muhson, B. R. (2009). Mekanika fluida edisi 6. USA: Wiley.
- Musial, W. (2008)"Status of wave and tidal power technologies for the United States." *NREL Technical Report* NREL/TP-500-43240, August .
- Pham, L. T. (2016). *Riverine Hydrokinetic Technology: A Review*. Retrieved 12 15, 2017, from https://www.slideshare.net/jacksmtv/riverine-hydrokinetic-technology-a-review
- PT VALE INDONESIA. (2016,). Retrieved 1 10, 2017, from http://www.vale.com/indonesia/bh/business/energy/our-hydro-power-plant-in-indonesia/larona-hydroelectric-plant/pages/plta-larona.aspx
- Linsley R.K,. Franzini J.B and Freyberg D.L ,(1992) *Water-Resources Engineering*, USA: MCGraw-Hill, 1992.
- Septyaningrum, E. (2015). Analisis profil wake di belakang turbin arus laut tipe v-blade darrieus berbasis computational fluid dynamic. Surabaya: ITS.

- Taqia, F. Z. (2016). Analisis Profil Wake Turbin Hidrokinetik Tipe Darrieus Straight Blade Cascade Pada Kanal Menggunakan Cfd. Surabaya: ITS.
- Waluyo, J. (2014, Juli 2). *Kebijakan Pengembangan Tenaga Air*. Retrieved from EBTKE: http://ebtke.esdm.go.id/post/2014/07/02/628/kebijakan.pengembangan.ten aga.air
- Wiliam , L. O. (2002). *verification and validation in computational fluid dynamics*. USA: Elsevier.
- Liu Y, Packey DJ (2014), "Combined-cycle hydropower systems e the potential of applying hydrokinetic turbines in the tailwaters of existing conventional hydropower stations," *Renew. Energy* 66 228-231.
- ZHAO, K. (2014). Experimental study of free-surface fluctuations in open-channel flow in the presence of periodic cylinder arrays. UK: international Association for Hydro-Environment Engineering and Research.

LAMPIRAN

Spesifikasi Vertical Axis Hydrokinetic Turbine





ESTIMATE SHEET

Project Name

Kanal Larona Genset Installation

EWR#
Prepared by

-

				Labour Material						Eq	uipment		Other (tools)				Original		
No.	Sub-project Title	Description	Manhours	Rate	Cost	S/C	QTY	Unit	U/Price	Cost	QTY	Unit	U/Price	Cost	QTY	Unit	U/Price	Cost	Estimate
1.0	Electrical scope																		
1.1	Materials	Complete set Genset 25 kW Complete with Turbine	-				1	set	\$ 100,000,00	\$ 100.000.00									
		Cable Teck 15 Core 12AWG 1kVcontrol cable					8000	mtr	\$ 10.00										
		Cable Teck 4 Core 1 AWG 1kV					6500	mtr	\$ 15.00										
		Cable Teck 3 Core 8 AWG 5 kV					1500	mtr	\$ 30.00										
		Transformer 0.38/3.3kV 1KVA					1	ea	\$ 3,000,00										
		D/S 30 A					i	ea	\$ 300.00										
		Accessories Cable					1	lot	\$ 400.00	\$ 400.00									
		Sub Total 1.1			\$ -					\$ 326,200.00				\$ -				\$ -	\$ 326,2
										İ									
1.2	Construction	Overhead Cost	1	lot	\$ 7,000.00														
		civil work (install base support	1	lot	\$ 700.00														
		Installation of Genset	64	\$ 6.00	\$ 384.00														
		Crane	32	\$ 6.00	\$ 192.00						2	days	\$ 200.00	\$ 400.00					
		Control Cable Installation	2880	\$ 6.00	\$ 17,280,00					s -									
		LV Cable Installation	2240	\$ 6.00	\$ 13,440.00					\$ -									
		MV Cable Installation	1600	\$ 6.00	\$ 9,600,00					s -									
		Install Trransformer	80	\$ 6.00	\$ 480.00					\$ -									
		Testing and Commissioning	1	lot	\$ 300.00														
		Sub Total 1.2			\$ 49,376.00					\$ -				\$ 400.00				\$ -	\$ 49,7
1.3	Engineering Cost		-																
1.3	Lingingering COSt	- Electrical Engineer	160	\$ 14.00	\$ 2.240.00							 			 	 	1		
	+	- Electrical Designer	168	\$ 10.00															
	+	- Lieutrical Designer	100	g 10.00	φ 1,000.00							 			1	 	1		
	+	+										 							
	<u> </u>	Sub Total 1.3			\$ 3,920.00					s -		1		s -	 			s -	\$ 3,9
	-				- 0,520.00					1.*								•	1 - 0,0
		Total Electrical Cost			\$ 3,920.00					\$ 326,200.00				\$ 400.00				s -	\$ 379.8
_					- 0,020.00	$\overline{}$				- 020,200.00				7 400.00				•	7 070,0

			Labour			Mat	erial			Fanir	oment	J		Othe	r	l	Original
Description Work	Stock Code	Manhours	Rate	Cost	QTY		U/Price	Cost	QTY	Unit	U/Price	Cost	QTY	Unit	U/Price	Cost	Estimate
												1					
PROCUREMENT MECHANICAL				\$0.00 \$0.00				\$2,962.08 \$479.59				0.00 \$0.00		-		0.00 \$0.00	2,96
PIPE CARBON STEEL; 4IN X 20FT LG; STANDARD	610262103			\$0.00	3	LGH	133.25	\$479.59 \$399.75		+ +		\$0.00		-		\$0.00	\$47
LANGE PIPE 4IN SLIP ON; 150LBS; RAISED FAC	610254205			-	4	EA	19.96	\$79.84		+ +				+			
EARGE FIFE WIN SEIF ON, ISSEED, IONISED FAC	010204200					LA	13.30	₩73.0 1									
CIVIL				\$0.00		_		\$2,482.49		+ +		\$0.00		+		\$0.00	\$2,48
EAM W8 X 18LBS/FT X 20FT	613022003			\$0.00	4	LGH	233.25	\$933.00		+ +		\$0.00		1		\$0.00	V 2,11
EAM W6 X 15LBS/FT X 20FT	613021002				6	LGH	176.55	\$1,059.30						†		t	
IILD STEEL; 3/8IN(9MM) THK X 5FT W X 10FT LG	619025000				0.2	SHEET	295.33	\$59.07									
ONCRETE MIX 28MPA	000066233				2	M3	177.40	\$354.80									
13 MM; DEFORMED BAR; MILD STEEL	612080106				12	LGH	6.36	\$76.32									
ABRICATION BY				\$1,208.40		-		\$0.00		+		\$0.00				\$0.00	\$1,2
		(M.power x day x	hours/day)														
OREMAN		40	\$7.79	\$311.60													
ELDER		80	\$7.21	\$576.80													
ELPER		80	\$4.00	\$320.00													
								\$0.00									
								\$0.00									
								\$0.00		_		80.00		-			
										+		\$0.00		-			
						-						\$0.00 \$0.00					
ONSTRUCTION BY				\$4,113.92				\$0.00		+ +		\$7,233.60		-		\$0.00	\$11,34
CONSTRUCTION BT		(M.power x day x	houre/day)	\$4,113.32				\$0.00		+ +		\$1,233.00		+		\$0.00	\$11,04
NGINEER		(m.power x day x	\$18.89	\$0.00										1			
UPERVISOR/SAFETY OFFICER		56	\$13.74	\$769.44													
IGGER		40	\$5.09	\$203.60													
CAFFOLDER		80	\$5.09	\$407.20													
SAFETYMAN		56	\$5.09	\$285.04													
IASON		72	\$4.18	\$300.96													
ARPENTER		0	\$4.18	\$0.00													
EBARMAN		72	\$4.18	\$300.96													
LECTRICIAN		0	\$4.41	\$0.00													
URVEYOR		0	\$5.09	\$0.00													
OREMAN		48	\$7.79	\$373.92													
ELDER		80	\$7.21	\$576.80						+				_			
ELPER		224	\$4.00	\$896.00		-				+				-			
										+				-			
RANE GROVE 20T									40	HR	\$158.73	\$6,349.20		1			
5T ROUGH TERRAIN CRANE									0	HR	\$110.60	\$0.00					
OT DUMP TRUCK									24	HR	\$36.85	\$884.40					
DRKLIFT									0	HR	\$44.06	\$0.00					
VERHEAD 20%						+		+		+							\$2,26
HRECT COST				\$5,322.32		1		\$2,962.08				\$7,233.60				\$0.00	\$17,7
PROJECT HAND OVER (COMMISIONING)				\$3,000.00				\$0.00				\$0.00				\$0.00	\$3,0
CONTINGENCY (%)	10			\$832.23				296.21				723.36				-	\$1,8

88

\$23,000.00

BIODATA PENULIS



Nama penulis adalah Andi Suntoro, biasa dipanggil Andi, lahir di Banda Aceh pada 8 Mei. Penulis belajar di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember. Bidang minat yang menjadi fokusan penulis yaitu Rekayasa Energi Terbarukan. Pada bulan Januari 2019 penulis telah menyelesaikan tugas akhir dengan judul "Analisa Potensi Energi Air Pada Kanal PLTA Larona Untuk Implementasi Turbin Hidrokinetik". Selama

menjadi mahasiswa penulis aktif sebagai Karyawan PT Vale Indonesia, departemen *Maintenance dan Utilities*, dimana perusahaan bergerak di bidang pertambangan Nikel yang berada di Sorowako, Sulawesi Selatan. Keterkaitan dengan penghematan energi dan perawatan semua peralatan produksi, adalah spesialisasi penulis. Penulis beberapa kali menjadi pembicara dalam seminar Nasional ataupun Internasional dengan topik, *Energy Efficiency* (Sao Paulo, Brazil). Modifikasi Cuaca (Jakarta, Indonesia). Bendungan Besar Seminar Nasional (Denpasar, Indonesia), *Energy Best Practice and Cost Reduction*. (Toronto, Canada). Pembaca yang ingin berdiskusi dengan penulis, dapat menghubungi melalui e-mail: andisuntoro8@gmail.com

Halaman ini memang dikosongkan