

**PENGARUH PASIR KUARSA TERHADAP LAJU ABRASI PADA SUDU
PENGARAH TURBIN AIR JENIS FRANCIS**



LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
diploma tiga (D-3) Program Studi Teknik Konversi Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

SURYA FREDERICK LAMBE'
NUR HALIZHA ERIL

342 16 010
342 16 012

**PROGRAM STUDI D-3 TEKNIK KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir dengan judul **Pengaruh Pasir Kuarsa terhadap Laju Abrasi pada Sudu Pengarah Turbin Air Jenis Francis** oleh **Surya Frederick Lambe'** (342 16 010) dan **Nur Halizha Eril** (342 16 012) telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya pada Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Agustus 2019

Menyetujui,

Pembimbing I,



Sri Suwasti, S.ST., M.T.
Nip. 19741123 200112 2 001

Pembimbing II



Dr. Ir. Firman, M.T.
Nip. 19641231 199103 1 028

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Mub. Yusuf Firman, S.ST., M.T.
Nip. 19800829 200501 1 001



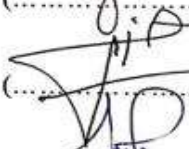



JURUSAN
T. MESIN

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, tanggal Agustus 2019, Tim penguji ujian sidang Laporan Tugas Akhir telah menerima dengan baik Laporan Tugas Akhir oleh mahasiswa : Surya Frederick Lambe' NIM 342 16 010 dan Nur Halizha Eril NIM 342 16 012 dengan judul “ Pengaruh Pasir Kuarsa terhadap Laju Abrasi pada Sudu Pengarah Turbin Air Jenis Francis”

Makassar, Agustus 2019

Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir

- | | | |
|------------------------------------|-----------------|---|
| 1. Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. | (Ketua) | (..... ) |
| 2. Gusri Emiyati Ali, S.Pd., M.Pd. | (Sekretaris) | (..... ) |
| 3. Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D. | (Anggota I) | (..... ) |
| 4. Ir. Andreas Pangkung, M.T. | (Anggota II) | (..... ) |
| 5. Sri Suwasti, S.ST., M.T. | (Pembimbing I) | (..... ) |
| 6. Dr. Ir. Firman, M.T | (Pembimbing II) | (..... ) |

KATA PENGANTAR

Puji Syukur senantiasa kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir kami dengan judul “Pengaruh Pasir Kuarsa Terhadap Laju Abrasi pada Sudu Pengarah Turbin Air Jenis Francis”

Laporan Tugas Akhir ini kami laksanakan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Politeknik Negeri Ujung Pandang dan untuk memperoleh gelar Ahli Madya pada Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Kami menyadari bahwa dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir ini banyak sekali pihak yang telah terlibat dan berperan serta untuk mewujudkan selesainya Tugas Akhir ini. Untuk itu, penghargaan dan terima kasih kami berikan kepada :

1. Kedua orang tua yang kami hormati dan cintai juga kepada saudara kami atas dukungan doa, semangat, kasih sayang dan materinya yang tak terhingga nilainya.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Dr. Jamal, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Ibu Yiyin Klistafani, S.T., M.T. selaku Wali Kelas III-A Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

6. Ibu Sri Suwasti, S,ST., M.T. selaku pembimbing I pada penyusunan tugas akhir ini.
7. Bapak Dr. Ir. Firman, M.T. selaku pembimbing II pada penyusunan tugas akhir ini.
8. Segenap Dosen Jurusan Teknik Mesin pada umumnya dan Program Studi Teknik Konversi Energi pada khususnya yang selama kurun waktu 3 tahun dengan ikhlas dan penuh kerelaan hati telah mendidik dan mengajar kami, serta para staf dan teknisi Program Studi Teknik Konversi Energi.
9. Kemenristekdikti yang telah memberikan dana dalam Program Kreatifitas Mahasiswa (PKM) pendanaan tahun 2019 .
10. Rekan-rekan mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya kelas III-A Teknik Konversi Energi yang telah 3 tahun lamanya bersama-sama dalam menimba ilmu di Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah bersedia bekerja sama dan banyak memberikan bantuan serta semangat baik secara langsung maupun tidak langsung.

Kami menyadari bahwa laporan tugas akhir ini belum sempurna. Oleh karena itu, kami mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi pembacanya.

Makassar, Septmber 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	hal.
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
SURAT PERNYATAAN.....	xii
RINGKASAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
1.4.1. Tujuan Penelitian.....	3
1.4.2. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	5
2.1.1 Bagian-bagian PLTA.....	5
2.1.2 Jenis-jenis PLTA.....	8
2.2. Turbin Air.....	12
2.2.1. Jenis-jenis Turbin Air.....	12

2.2.2. Bagian-bagian dari Turbin Air	14
2.3. Sudu Pengarah	18
2.3.1. Fungsi Sudu Pengarah	18
2.3.2. Aus pada Sudu Pengarah	18
2.4. Sifat Material Sudu Pengarah	19
2.5. Laju Abrasi pada Sudu Pengarah.....	21
BAB III METODE KEGIATAN.....	22
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.2. Diagram Alir Kegiatan Tugas Akhir.....	22
3.3. Desain Alat Pengujian dan Peralatan yang Digunakan.....	23
3.4. Prosedur Penelitian	25
3.5. Teknik Analisis Data.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1. Hasil Pengujian	28
4.1.1 Data Kuantitatif.....	28
4.1.2 Data Kualitatif.....	32
4.2. Deskripsi Kegiatan	33
BAB V PENUTUP	41
5.1. Kesimpulan	41
5.2. Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	45

DAFTAR TABEL

	hal.
Tabel 2.1 Pengelompokan Jenis Turbin berdasarkan <i>Head</i>	14
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Material Stainless Steel SUS 304.....	19
Tabel 2.3 Karakteristik Silika Dioksida (SiO ₂).....	20
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Konsentrasi Pasir	28
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Variasi Debit dan Sudut α	29
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Variasi Sudut α Dengan Q Konstan.....	29
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sieving	30
Tabel 4.5 Hasil Analisis Laju Abrasi Sudu Pengarah.....	31
Tabel 4.6 Hasil Analisis laju Abrasi Sudu Pengarah Variasi Debit dan Sudut α	32
Tabel 4.7 Hasil Analisis Laju Abrasi Sudu Pengarah Variasi Sudut α dengan Q Konstan	32



DAFTAR GAMBAR

	hal.
Gambar 2.1 Bendungan.....	5
Gambar 2.2 Terowongan pacu hulu.....	6
Gambar 2.3 Tangki pendatar	6
Gambar 2.4 Pipa pesat	7
Gambar 2.5 PLTA jenis terusan air	8
Gambar 2.6 PLTA jenis bendungan/dam.....	9
Gambar 2.7 PLTA <i>jenis run off river</i>	9
Gambar 2.8 PLTA dengan kolam pengatur	10
Gambar 2.9 PLTA jenis waduk.....	11
Gambar 2.10 PLTA jenis pompa.....	11
Gambar 2.11 Runner turbin.....	15
Gambar 2.12 Bantalan turbin	15
Gambar 2.13 Sudu pengarah pada turbin Francis	16
Gambar 2.14 Rumah turbin.....	17
Gambar 2.15 <i>Draft tube</i>	17
Gambar 2.16 Aus yang terjadi pada sudu pengarah	19
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian Abrasi pada Sudu Pengarah	22
Gambar 3.2 Alat Pengujian Laju Abrasi Sudu Pengarah Turbin Air	23
Gambar 3.3 (a) Desain sudu pengarah sebagai benda uji	24
Gambar 3.3 (b) Tampak depan sudu pengarah.....	25
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Analisis Data Pengujian Sudu Pengarah.....	27

Gambar 4.1 Pengujian material <i>stainless</i> steel dengan konsentrasi air : pasir 90 : 10 % untuk pengujian ke-1 (a) sebelum pengujian (b) sesudah pengujian.....	32
Gambar 4.2 Pengujian material <i>stainless</i> steel dengan konsentrasi air : pasir 90 : 10 % untuk pengujian ke-2 (a) sebelum pengujian (b) sesudah pengujian.....	33
Gambar 4.3 Pengujian material <i>stainless</i> steel dengan konsentrasi air : pasir 90 : 10 % untuk pengujian ke-3 (a) sebelum pengujian (b) sesudah pengujian.....	33
Gambar 4.4 Grafik perbandingan antara laju abrasi ($g/cm^2.jam$) terhadap lamanya pengujian (jam) pada pengujian konsentrasi pasir	34
Gambar 4.5 Grafik perbandingan antara total massa yang hilang (g) pada sudut pengarah terhadap lamanya pengujian (jam) pada pengujian konsentrasi pasir.....	35
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara laju abrasi rata-rata ($g/cm^2.jam$) pada sudut pengarah terhadap total lamanya pengujian pada pengujian konsentrasi pasir.....	36
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara total massa yang hilang pada sudut pengarah dengan bukaan sudut 22,5° dan 24° terhadap debit air pada pengujian variasi debit dan variasi sudut α	37
Gambar 4.8 Grafik hubungan antara laju abrasi pada sudut pengarah dengan bukaan sudut 22,5° dan 24° terhadap debit air pada pengujian variasi debit dan variasi sudut	38
Gambar 4.9 Grafik hubungan antara laju abrasi pada sudut pengarah terhadap bukaan sudut su pengarah pada pengujian variasi sudut α dengan Q = konstan.....	39
Gambar 4.10 Grafik hubungan antara total massa hilang pada sudut pengarah terhadap total lamanya pengujian yang dilakukan pada pengujian variasi sudut α dengan Q = konstan.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

	hal.
Lampiran A. Data Hasil Pengujian	46
Lampiran B. Hasil Analisa Data	50
Lampiran C. Dokumentasi Kegiatan	62
Lampiran D. Gambar Alat Pengujian	68



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Surya Frederick Lambe'

NIM : 342 16 010

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul PENGARUH PASIR KUARSA TERHADAP LAJU ABRASI PADA SUDU PENGARAH TURBIN AIR JENIS FRANCIS merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Agustus 2019



(Surya Frederick Lambe')
NIM. 342 16 010

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nur Halizha Eril

NIM : 342 16 012

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul PENGARUH PASIR KUARSA TERHADAP LAJU ABRASI PADA SUDU PENGARAH TURBIN AIR JENIS FRANCIS merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Agustus 2019



(Nur Halizha Eril)
NIM. 342 16 012

PENGARUH PASIR KUARSA TERHADAP LAJU ABRASI PADA SUDU

PENGARAH TURBIN AIR JENIS FRANCIS

RINGKASAN

Peningkatan volume sedimen yang sangat cepat mengakibatkan kerusakan terhadap komponen turbin. Komponen turbin yang mengalami kerusakan karena sedimen ialah sudu gerak. Air yang masuk bersamaan dengan sedimen yang mengandung pasir kuarsa dimana komposisi terbesar pasir kuarsa ialah silikon oksida (SiO_2) yang menyebabkan abrasi dan erosi pada sudu pengarah turbin air. Penelitian terakhir oleh Pratiwi dkk. (2016) menyatakan bahwa semakin besar diameter partikel dan konsentrasi sedimen semakin besar pula tingkat kerusakan yang terjadi pada sudu gerak turbin. Peneliiian tersebut sifatnya kualitatif, akibatnya untuk mengetahui kerusakan sudu gerak turbin secara kuantitatif masih sulit ditentukan. Dalam hal ini diperlukan penelitian lebih lanjut khususnya pengaruh konsentrasi pasir kuarsa (SiO_2) terhadap laju kerusakan sudu pengarah turbin air secara kuantitatif.

Tujuan dilakukan penelitian ini ialah untuk menentukan pengaruh pasir kuarsa terhadap laju abrasi pada sudu pengarah turbin air jenis francis. Langkah yang dilakukan di pengujian ini ialah menghitung laju abrasi sudu pengarah turbin air dengan memvariasikan konsentrasi pasir kuarsa (90% : 10%, 80%:20%, dan 70%:30%), debit dan sudut untuk data kuantitatif. Sedangkan untuk mengetahui kerusakan pada permukaan yaitu untuk data kualitatifnya digunakan Microscopy Digital Akuisisi Data.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara kuantitatif dan kualitatif, semakin besar konsentrasi pasir kuarsa, debit air dan sudut yang diberikan pada waktu yang sama, maka semakin besar laju abrasi yang terjadi pada sudu pengarah turbin air jenis francis. Laju abrasi yang terbesar adalah 5,10 ($\text{g/cm}^2 \times \text{jam}$) pada pengujian variasi sudut α dengan Q konstan dan perbandingan air : pasir 70% : 30%.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PLTA sebagai salah satu jenis pembangkit listrik yang banyak dioperasikan di Indonesia memiliki banyak komponen-komponen yang penting didalamnya. Salah satu dari sekian banyak komponen itu adalah turbin air yang merupakan penggerak utama pada generator PLTA. Turbin air didefinisikan sebagai mesin yang mengkonversi energi hidrolis menjadi energi mekanik dimana energi mekanik ini akan dikonversi lagi menjadi energi listrik melalui poros yang dihubungkan ke generator (Bansal, 2010).

Secara umum dikenal 2 jenis turbin air yaitu *turbin air impuls* dan *turbin air reaksi*. Menurut Musa (2008) turbin air dibagi lagi menjadi turbin air kelas utama, turbin air berdasarkan arah aliran air, turbin air berdasarkan posisi poros dan turbin air berdasarkan ketinggian *head*. Turbin air tipe Francis digolongkan ke dalam tipe turbin reaksi, sedangkan berdasarkan ketinggian *head* digolongkan ke dalam tipe *head* sedang. Ohans (2010) menjelaskan bahwa desain asli turbin air tipe Francis dirancang untuk aliran air *inward* yang berarti air yang masuk turbin tegak lurus terhadap poros dan dibelokkan oleh *runner* sehingga air yang keluar dari turbin sejajar dengan poros turbin. Pada turbin Francis ini sendiri terdiri dari empat bagian utama di dalamnya yaitu : runner yang terdiri dari sudu tetap (*stationary blade*) dan sudu jalan/sudu gerak (*guide vane*), guide mechanism, pipa pelepasan (*draft tube*), dan rumah turbin (*spiral casing*).

Di Indonesia beberapa PLTA dioperasikan di daerah yang memiliki kandungan sedimentasi di dalamnya sehingga mengakibatkan terjadinya aus pada komponen PLTA itu sendiri contohnya pada PLTA Bakaru. Komponen yang mengalami keausan yang paling besar adalah turbin air beserta komponen didalamnya, salah satunya adalah sudu gerak (*guide vane*). Sedimentasi ini terdiri dari banyak komponen salah satunya adalah *pasir kuarsa*. Menurut Prayogo (2009) pasir kuarsa yang terkandung dalam sedimen memiliki komposisi kimia SiO_2 55,30 – 99,37% dan sisanya Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , dll. Adapun untuk hasil pengujian berupa penelitian yang menunjukkan bahwa sedimen di Dam PLTA Bakaru terdiri atas 47% pasir kuarsa dan 53% pasir halus (Pratiwi, 2015). Pasir kuarsa mengandung SiO_2 sebanyak 53.64%, Al_2O_3 22.93%, Fe_2O_3 9.24%, MgO 4.0%, K_2O 3.84%, Na_2O 2.4%, CaO 1.71%, dan TiO_2 sebesar 1.06% (Firman, 2016). Dari hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa kandungan terbesar pada pasir kuarsa adalah silikon oksida (SiO_2). Dampak yang diakibatkan pasir kuarsa pada sudu gerak turbin adalah abrasi dan erosi. Menurut Pratiwi (2016) semakin besar diameter partikel dan konsentrasi sedimen semakin besar pula tingkat keausan yang terjadi pada sudu gerak turbin yang akhirnya akan merusak sudu gerak turbin air. Kesimpulan dari hasil penelitian tersebut masih bersifat kualitatif karena didapatkan dari hasil pengujian berupa gambar hasil pengujian. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut yang bersifat kuantitatif untuk menentukan laju abrasi yang terjadi pada turbin air Francis, khususnya pada sudu gerak (*guide vane*). Penelitian ini dikhususkan pada model turbin air Francis PLTA Bakaru yang bertipe poros tegak (*vertical*). Penelitian ini penting untuk

dilakukan karena berkaitan terhadap pemilihan material turbin air pada PLTA khususnya pemilihan material pada sudu pengarah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka masalah penelitian dirumuskan sebagai berikut :

- Bagaimana pengaruh pasir kuarsa terhadap laju abrasi pada sudu pengarah turbin air jenis Francis?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penelitian ini, penulis memberikan batasan masalah untuk lebih memfokuskan kegiatan penelitian sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya membahas pasir kuarsa sebagai penyebab laju abrasi pada sudu pengarah turbin air jenis Francis.
2. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Penelitian dilakukan selama 24 jam dengan variasi konsentrasi pasir, sudut sudu pengarah dan bukaan katup (debit).

1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini ialah menentukan pengaruh pasir kuarsa terhadap laju abrasi pada sudu pengarah turbin air jenis Francis.

1.4.2. Manfaat Kegiatan

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini ialah:

1. Dapat dijadikan sebagai acuan dalam pemeliharaan PLTA secara umum, dan secara khusus mencegah terjadinya abrasi pada sudu pengarah turbin air jenis Francis yang disebabkan oleh pasir kuarsa.
2. Sebagai referensi dalam pengembangan ilmu dan teknologi di bidang desain dan pemeliharaan PLTA yang menggunakan turbin Francis.
3. Sebagai referensi bagi mahasiswa dan peneliti lain untuk penelitian yang berkaitan dengan topik penelitian laju abrasi yang diakibatkan pasir kuarsa terhadap turbin air Francis.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) bekerja dengan cara merubah energi potensial (dari dam atau air terjun) menjadi energi mekanik (dengan bantuan turbin air) dan dari energi mekanik menjadi energi listrik (dengan bantuan generator) Pembangkit listrik tenaga air konvensional bekerja dengan cara mengalirkan air dari dam ke turbin setelah itu air dibuang. Pada saat beban puncak air dalam lower reservoir akan di pompa ke upper reservoir sehingga cadangan air pada waduk utama tetap stabil. (Halfiz dkk, 2015).

2.1.1 Bagian – Bagian PLTA

1. Bendungan

Bendungan atau *Dam* adalah suatu bangunan menahan laju air sehingga mencapai ketinggian tertentu agar menghasilkan energi yang besar saat air dialirkan. Dam berfungsi untuk menampung air dalam jumlah besar karena turbin memerlukan pasokan air yang cukup dan stabil, dan untuk pengendalian banjir.



Gambar 2.1 Bendungan
Sumber : Michele, 2013

2. Terowongan pacu hulu

Terowongan pacu hulu berfungsi mengalirkan air dari bendungan menuju rumah pembangkit melewati tangki pendatar untuk selanjutnya masuk ke pipa penstock.



Gambar 2.2 Terowongan pacu hulu
Sumber : Nevihidayanti, 2013

3. Tangki pendatar

Tangki pendatar pada PLTA berfungsi untuk meredam terjadinya hentakan air (water hammer) apabila ada tekanan balik dari pipa penstock apabila *inlet valve* ditutup pada rumah pembangkit.



Gambar 2.3 Tangki Pendatar
Sumber: Nevihidayanti, 2013

4. Pipa pesat

Pipa pesat (penstock) berfungsi untuk menyalurkan dan mengarahkan air ke cerobong turbin. Salah satu ujung pipa pesat dipasang pada bak penenang.



Gambar 2.4 Pipa pesat
Sumber : Nevihidayanti, 2013

5. Turbin

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Air akan memukul sudu-sudu dari turbin sehingga turbin berputar. Perputaran turbin ini di hubungkan ke generator. Turbin terdiri dari berbagai jenis seperti turbin Francis, Kaplan, Pelton, dan lain-lain. Turbin memiliki prinsip kerja yakni sebagai berikut gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar. Turbin air kebanyakan seperti kincir angin, dengan menggantikan fungsi dorong angin untuk memutar baling-baling digantikan air untuk memutar turbin. Selanjutnya turbin merubah energi.

6. Generator

Generator dihubungkan ke turbin dengan bantuan poros dan gearbox. Memanfaatkan perputaran turbin untuk memutar kumparan magnet didalam generator sehingga terjadi pergerakan elektron yang membangkitkan arus AC.

7. Transformator

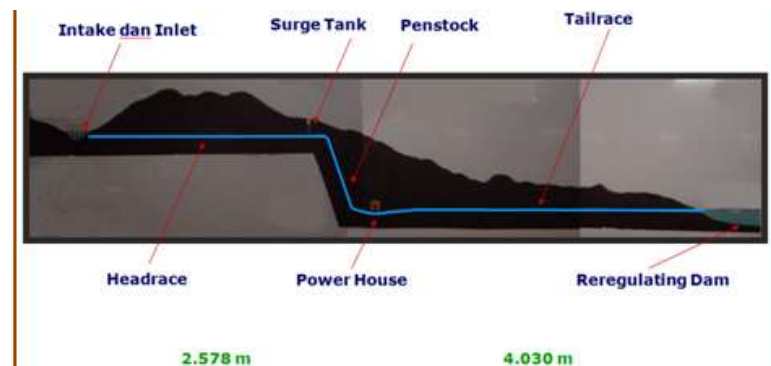
Berfungsi untuk mentransmisikan dan mengubah energi dari ukuran satu keukuran yang lain. Transformator yang digunakan adalah transformator step up. Karena digunakan untuk mengubah energi yang dihasilkan generator menjadi energi yang lebih besar ukuranya. (Musa, 2008)

2.1.2. Jenis – Jenis PLTA

1. Berdasarkan Tinggi Terjun PLTA

- PLTA jenis terusan air (water way)

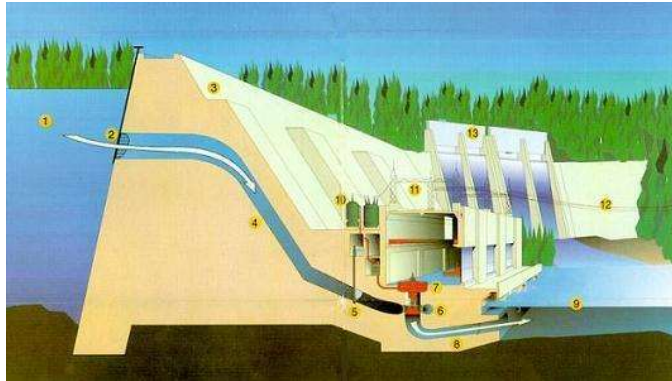
Adalah pusat listrik yang mempunyai tempat ambil air (intake) di hulu sungai dan mengalirkan air ke hilir melalui terusan air dengan kemiringan (gradient) yang agak kecil. Tenaga listrik dibangkitkan dengan cara memanfaatkan tinggi terjun dan kemiringan sungai.



Gambar 2.5 PLTA jenis terusan air
Sumber : Nur, 2017

- PLTA jenis Bendungan/Dam

Adalah pembangkit listrik dengan bendungan yang melintang disungai, pembuatan bendungan ini dimaksudkan untuk menaikkan permukaan air dibagian hulu sungai guna membangkitkan energi potensial yang lebih besar sebagai pembangkit listrik.



Gambar 2.6 PLTA jenis bendungan/dam
 Sumber : Nur, 2017

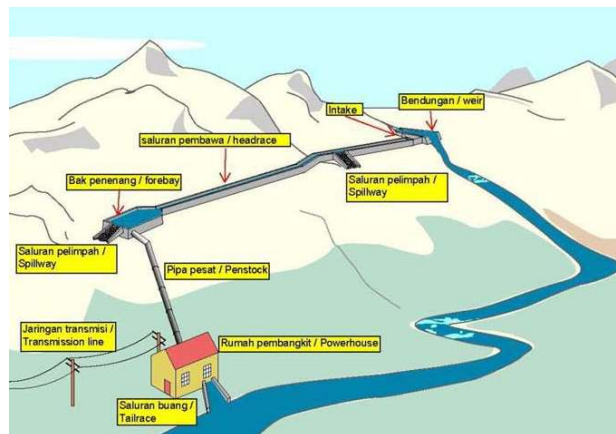
- PLTA jenis Terusan dan Dam (Campuran)

Adalah pusat listrik yang menggunakan gabungan dari dua jenis sebelumnya, jadi energi potensial yang diperoleh dari bendungan dan terusan.

2. PLTA Berdasarkan Aliran Sungai

- PLTA jenis aliran sungai langsung (run of river)

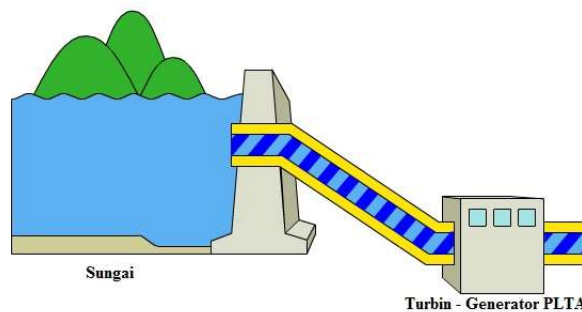
Banyak dipakai dalam PLTA saluran air/terusan, jenis ini membangkitkan listrik dengan memanfaatkan aliran sungai itu sendiri secara alamiah.



Gambar 2.7 PLTA jenis *run off river*
 Sumber : Surkardi, 2018

- PLTA dengan kolam pengatur (regulating pond)

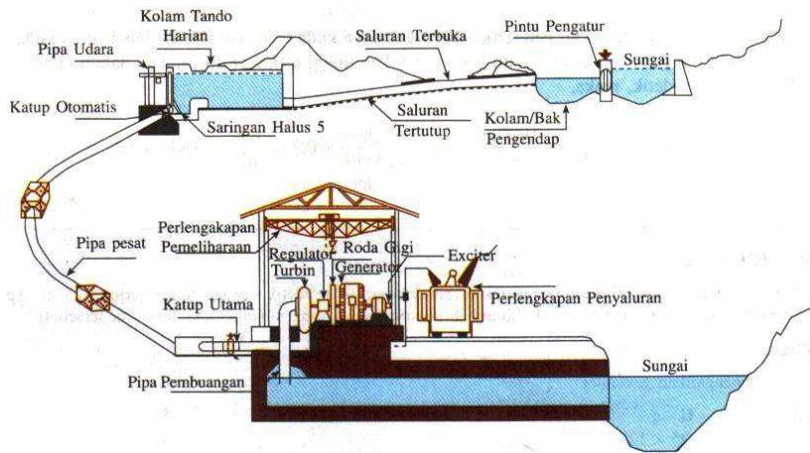
Mengatur aliran sungai setiap hari atau setiap minggu dengan menggunakan kolam pengatur yang dibangun melintang sungai dan membangkitkan listrik sesuai dengan beban. Disamping itu juga dibangun kolam pengatur di hilir untuk dipakai pada waktu beban puncak (peaking power plant) dengan suatu waduk yang mempunyai kapasitas besar yang akan mengatur perubahan air pada waktu beban puncak sehingga energi yang dihasilkan lebih maksimal.



Gambar 2.8 PLTA dengan kolam pengatur
Sumber : Nur, 2017

- PLTA jenis waduk (reservoir)

Dibuat dengan cara membangun suatu waduk yang melintang sungai, sehingga terbentuk seperti danau buatan, atau dapat dibuat dari danau asli sebagai penampung air hujan sebagai cadangan untuk musim kemarau.

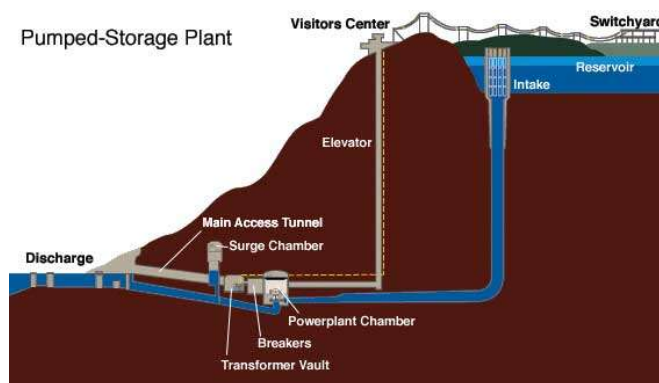


Gambar 2.9 PLTA jenis waduk

Sumber : Nur, 2017

- PLTA jenis pompa (pumped storage)

Adalah jenis PLTA yang memanfaatkan tenaga listrik yang berlebihan ketika musim hujan atau pada saat pemakaian tenaga listrik berkurang saat tengah malam, pada waktu ini sebagian turbin berfungsi sebagai pompa untuk memompa air yang di hilir ke hulu, jadi pembangkit ini memanfaatkan kembali air yang dipakai saat beban puncak dan dipompa ke atas lagi saat beban puncak terlewati. (Nur, 2017)



Gambar 2.10 PLTA jenis pompa

Sumber : Nur, 2017

2.2 Turbin Air

Turbin air adalah peralatan utama selain generator dalam sejarah perkembangan pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Turbin air digolongkan dalam mesin konversi energi karena mengubah energi translasi gerak lurus menjadi energi gerak rotasi. Energi air termasuk relatif dan mudah didapat. Energi gerak air terjadi karena adanya beda potensial atau tinggi permukaan dan secara umum dikatakan bergerak dari tempat tinggi menuju tempat yang rendah dan dari tekanan yang tinggi menuju tekanan yang rendah. (Wicaksana dkk, 2015). Energi gerak air berupa energi potensial dan energi kinetik inilah yang dimanfaatkan dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) untuk menghasilkan daya listrik.

2.2.1 Jenis - Jenis Turbin Air

Berdasarkan model aliran air masuk runner maka turbin air dibagi menjadi 3 jenis yaitu :

1. Turbin aliran tangensial

Pada turbin ini aliran air masuk runner adalah arah tangensial atau tegak lurus dengan poros runner sehingga runner ikut berputar. Contohnya adalah turbin Pelton dan turbin Cross-flow.

2. Turbin aksial

Pada turbin ini arah aliran air yang masuk dan keluar runner turbin dari arah aksial atau sejajar dengan poros runner. Contohnya adalah turbin Kaplan dan Propeller.

3. Turbin aksial-radial

Aliran air yang masuk ke runner turbin datang dari arah radial dan keluar turbin dengan arah aksial sejajar dengan poros. Contoh dari turbin aliran ini adalah turbin Francis.

Sedangkan jika dilihat dari prinsip kerja turbin air dalam mengubah energi potensial menjadi energi kinetik turbin impuls dan turbin reaksi.

1. Turbin Impuls

Turbin impuls bekerja dengan merubah seluruh energi air (energi potensial + tekanan + kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan putaran. Pada turbin impuls energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozzle. Air yang keluar dari nozzle berkecepatan tinggi, dan setelah air ini menumbu sudu turbin energi kinetik pada air diubah menjadi energi tumbukan dan terjadi perubahan momentum (impuls).

2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air mejadi energi kinetik. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan inilah yang memberikan gaya pada sudu sehingga runner pada turbin berputar.

Umumnya pada penggunaan head yang tinggi digunakan Turbin Impuls dan pada head rendah dan menengah digunakan Turbin Reaksi. (Wicaksana dkk, 2015).

Tabel 2.1 Pengelompokan jenis turbin berdasarkan head

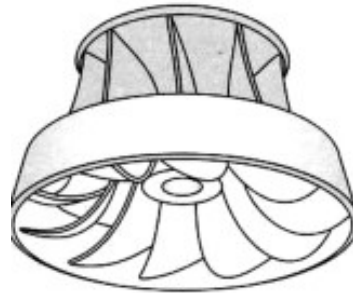
	High Head	Middle Head	Low Head
Impulse Turbine	Turgo Pelton	Multi-jet Pelton Turgo Cross-flow	Cross-flow
Reaction Turbine		Francis	Propeller Kaplan

Sumber : Wicaksana dkk, 2015

2.2.2 Bagian - Bagian dari Turbin Air

1. Runner

Runner adalah roda turbin yang di dalamnya terdapat sudu-sudu jalan. Runner inilah yang berfungsi meneruskan energi kinetis yang dihasilkan dari perubahan energi potensial ke poros turbin. Di sisi atas dan di sisi bawah runner terdapat perapat (runner seal), yang berfungsi sebagai penyekat air yang bertekanan (air masuk) dan perubahan energi potensial dapat dilakukan semaksimal mungkin. Melihat fungsinya sangat dominan, maka celah perapat ini terbatas, hal ini perlu sekali diamati atau diukur pada saat-saat periode tertentu dalam melakukan pemeliharaan. Disamping itu perlu diadakan pemeriksaan piting kavitasi setiap kali ada waktu pemeriksaan karena untuk turbin jenis Francis faktor kavitasinya tidak dapat dihindari dan hal ini sangat membahayakan karena adanya kavitasi ini sebagai sumber keretakan sudu turbin.



Gambar 2.11 Runner Turbin
Sumber : Sunyoto dkk, 2008

2. Poros

Poros ini berfungsi meneruskan daya turbin ke generator untuk selanjutnya diubah menjadi energi listrik. Oleh karena itu pemeriksaan keretakan atau deformasi poros harus selalu dilaksanakan. Ada dua bagian penting yang menempel pada permukaan poros yaitu bantalan dan perapat poros.

3. Bantalan

Pada turbin yang dipasang vertikal, bantalan yang dipasang pada poros turbin adalah bantalan hantar (guide bearing) serta bantalan aksial/tekan (thrust bearing). Walaupun kerja bantalan hantar tidak seberat bantalan aksial tetapi tetap diperhatikan unjuk kerja bantalan, untuk menunjang kinerja bantalan perlu disediakan pelumas dan pendingin yang baik. Biasanya pada turbin Francis menggunakan sistem pelumasan celup dan pendinginan air loop terbuka.



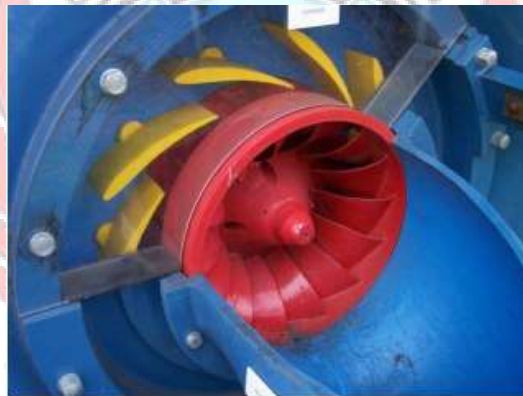
Gambar 2.12 Bantalan turbin
Sumber : Marfizal, 2015

4. Perapat Poros

Perapat poros dipasang pada runner yang fungsinya adalah sebagai penyekat bagian dalam dari turbin dengan udara luar agar kerja turbin benar-benar efisien. Karena kerja perapat tersebut selalu bersentuhan dengan material yang bergesekan sehingga perlu adanya pendingin, pendingin ini dilakukan dengan cara mengalirkan air dengan tekanan tertentu kedalam perapat poros tersebut.

5. Sudu Pengarah (guide vane)

Sudu pengarah berfungsi sebagai pembagi dan pengarah awal masuknya air ke runner dan merubah energi potensial menjadi energi kinetis.



Gambar 2.13 Sudu pengarah pada turbin Francis
Sumber : Michele, 2013

6. Rumah Siput (rumah turbin)

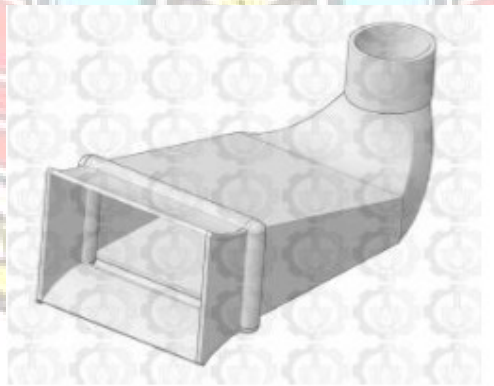
Rumah turbin berfungsi sebagai tempat *runner*, sudu pengarah dan mengalirkan air secara merata pada sekeliling runner.



Gambar 2.14 Rumah turbin
Sumber : Husain dkk, 2008

7. Pipa Pelepasan (*draft tube*)

Pipa pelepasan dipasang disisi luar runner sampai kesaluran pembuangan, sehingga dapat memperlancar laju aliran, konstruksinya dirancang sedemikian rupa agar dapat menambah efisiensi turbin.



Gambar 2.15 *Draft tube*
Sumber : Marfizal, 2015

8. Katup penambah udara

Katup ini berfungsi untuk mengatur banyak sedikitnya udara luar yang dimasukkan ke dalam sisi keluaran dari runner yang bertujuan untuk memperhalus laju aliran air yang keluar dari runner pada beban-beban tertentu. (Musa, 2008).

2.3 Sudu Pengarah

Sudu pengarah (guide vane) merupakan bagian dari turbin air yang fungsi utamanya adalah mengubah energi tekanan cair menjadi energi momentum. (Marfizal, 2015)

2.3.1 Fungsi Sudu Pengarah

Sudu pengarah berfungsi sebagai pintu masuk air dari *spiral casing* menuju *runner blade* dan juga berfungsi sebagai distributor agar air disekeliling *runner* mempunyai debit yang sama rata, debit yang rata berguna sebagai pengaman turbin pada terjadi gangguan. (Husain dkk, 2008)

2.3.2 Aus pada Sudu Pengarah

Keausan yang disebabkan oleh sedimen mengakibatkan abrasi dan erosi terhadap turbin air merupakan masalah global yang dihadapi oleh PLTA yang mempengaruhi operasi dan pemeliharaan serta akhirnya akan mengarah kepada kerugian ekonomis. Dampak yang ditimbulkan oleh sedimen tidak hanya abrasi dan erosi terhadap lingkungan, melainkan juga terjadi abrasi dan erosi pada sudu gerak turbin air. Menurut Gogstad (2012) konsentrasi sedimen yang tinggi dapat mengakibatkan abrasi dan erosi pada sudu gerak turbin air. Selain konsentrasi, ukuran sedimen juga dapat menimbulkan mikroerosi pada sudu gerak turbin air (Karelin, 2004). Pratiwi (2016) melaporkan bahwa semakin besar diameter dan konsentrasi partikel semakin besar pula tingkat keausan yang terjadi pada sudu gerak turbin.

Disamping aus karena kavitasi, sejumlah faktor dapat mempengaruhi keausan pada sudu pengarah turbin air termasuk sedimen dan karakteristiknya

(bentuk, ukuran, kekerasan, konsentrasi, dll). Gambar 2.16 menunjukkan keausan yang terjadi pada permukaan guide vane (sudu pengarah) yang disebabkan oleh tumbukan partikel sedimen.



Gambar 2.16 Aus yang terjadi pada sudu pengarah

2.4 Sifat Material Sudu Pengarah

Stainless steel adalah paduan besi dengan minimal 12 % kromium, komposisi ini membentuk protective layer (lapisan pelindung anti korosi) hasil oksidasi terhadap krom yang terjadi secara spontan. Stainless steel kelas SUS 304 tergolong sebagai austenitic yang mengandung sedikitnya 16 % chrom dan 6 % Nickel (Purwanti, 2013).

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Material Stainless Steel SUS 304

Grade	Tensile Strength (Mpa) Min	Yield Strength 0.2% Proof (Mpa) Min	Elongation(% in 50mm) min	Hardness	
				Rockwell B (HR B) max	Brinell (HB) Max
304	515	205	40	92	201

Sumber : Purwanti, 2013

Silika mineral adalah senyawa yang banyak ditemui dalam bahan tambang/galian yang berupa mineral seperti pasir kuarsa, granit, dan feldspar yang mengandung kristal-kristal silika (SiO_2).

Tabel 2.3 Karakteristik Silika Dioksida (SiO_2)

Nama lain	Silikon Dioksida
Rumus Molekul	SiO_2
Berat jenis (g/cm^3)	2,6
Bentuk	Padat
Daya larut dalam air	Tidak Larut
Titik cair ($^{\circ}C$)	1610
Titik didih ($^{\circ}C$)	2230
Kekerasan (Kg/mm^2)	650
Kekerasan tekuk (Mpa)	70
Kekerasan tarik (Mpa)	110
Modulus elastisitas (Gpa)	73-75

Sumber: Surdia, 2000

Silika Dioksida terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat serta memiliki struktur dengan empat atom oksigen terikat pada posisi sudut tetrahedral di sekitar atom pusat yaitu atom silikon.

Dari kedua tabel tersebut menunjukkan karakteristik SiO_2 memiliki kekerasan 650 kg/mm^2 , sedangkan stainless steel SUS 304 yang merupakan material sudu gerak turbin air memiliki kekerasan 201 kg/mm^2 . Dari beberapa pernyataan sebelumnya, menjelaskan bahwa keausan pada sudu pengarah turbin air yang dipengaruhi oleh konsentrasi sedimen pasir kuarsa. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengetahui pengaruh konsentrasi pasir kuarsa terhadap laju abrasi pada sudu pengarah pada turbin air jenis Francis. Menurut Gogstad (2012)

menyatakan bahwa abrasi terjadi jika kekerasan partikel sama atau lebih besar dari kekerasan permukaan material sudu gerak.

2.5 Laju Abrasi pada Sudu Pengarah

Salah satu parameter keausan pada sudu pengarah ialah terjadinya abrasi pada material sudu pengarah. Menurut Farrel (2003) laju abrasi yang terjadi diawali dengan terjadinya korosi pada sudu pengarah turbin air dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$\text{Laju Abrasi} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \text{ (g/cm}^2 \cdot \text{jam)} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

K = Konstanta laju abrasi ($1 \times 10^4 \times D$) (g/cm³)

T = Waktu Pengujian (jam)

A = Luas penampang (cm²)

W = Massa yang hilang (gram)

D = Massa jenis stainless steel SUS 304 (g/cm³) dimana massa jenis stainless steel SUS 304 adalah $7930 \text{ kg/m}^3 = 7,93 \text{ g/cm}^3$



BAB III METODE KEGIATAN

3.1 Tempat Dan Waktu Kegiatan

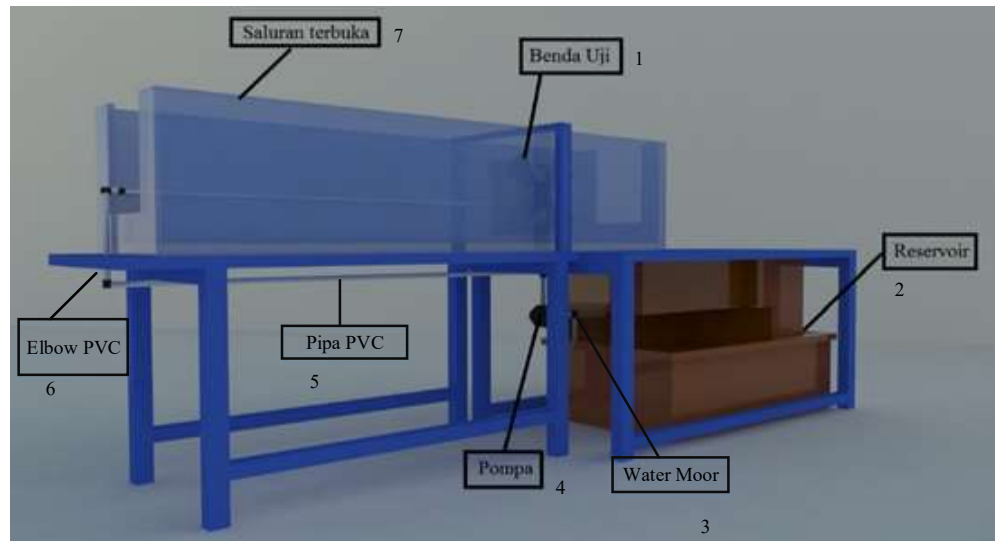
Penelitian “Pengaruh Pasir Kuarsa Terhadap Laju Abrasi Pada Sudu Pengarah Turbin Air Jenis Francis”. Akan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang selama 4,5 bulan, yaitu mulai bulan April sampai Agustus 2019.

3.2 Diagram Alir Kegiatan Tugas Akhir



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian Laju Abrasi pada Sudu Pengarah

3.3 Desain Alat Pengujian dan Peralatan yang Digunakan



Gambar 3.2 Alat Pengujian Laju Abrasi Sudu Pengarah Turbin Air

Keterangan :

1. Benda Uji berupa Sudu Pengarah dari material *stainless steel* SUS 304
2. Reservoir
3. Water Moor
4. Pompa Air dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tipe pompa : Pompa Rumah Tangga Model SAN-EI SE-125A

Head pompa (H) : 33 m

Head suction (H_s) : 9 m

Head delivery (H_d) : 24 m

Putaran pompa (N) : 2850 rpm

Tekanan keluaran : 3,3 bar

Tekanan hisap : - 0,18 bar

Kapasitas maks (Q) : $30 \frac{l}{min} = 0,0005 \text{ m}^3/s$

Suhu maks (T) : 35 °C

Ukuran pipa : 1 inch x 1 inch

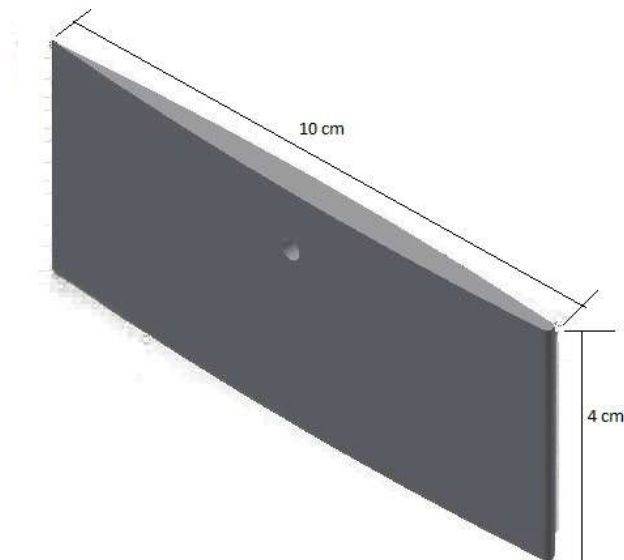
5. Pipa PVC
6. Elbow PVC
7. Saluran Faberglass
8. Screen (Saringan)

Alat Ukur yang digunakan :

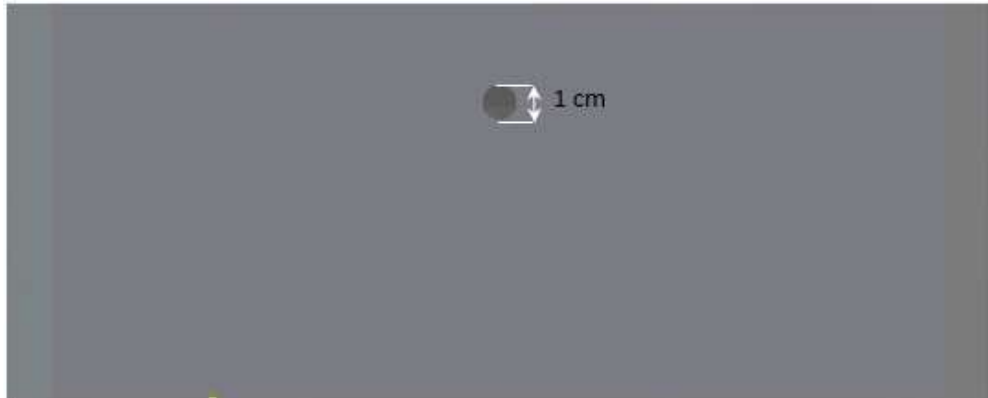
1. Timbangan digital
2. Flowmeter tipe rotameter
3. Termometer air raksa

Bahan penelitian :

1. Pasir kuarsa (SiO_2)
2. Besi plat sebagai rangka
3. Lem pipa



Gambar 3.3 (a) Desain sudu pengarah sebagai benda uji



Gambar 3.3 (b) Tampak depan sudu pengarah

Catatan :

Karena didasarkan pada model turbin air Francis poros tegak yang digunakan di PLTA Bakaru sehingga runner dan sudu pengarahnya vertical sehingga pada saat pengujian sudu pengarah berada pada posisi sejajar dan segaris dengan arah datangnya aliran air.

3.4 Prosedur Penelitian

- a. Mengisi reservoir / tangki dengan air sebanyak 150 liter dengan konsentrasi pasir kuarsa sebanyak 90% : 10%.
- b. Menimbang benda uji sebelum dilakukan pengujian.
- c. Memasang benda uji pada titik pengujian pada saluran terbuka.
- d. Menjalankan pompa dengan bukaan katup penuh untuk mengalirkan air dari reservoir ke saluran terbuka.
- e. Mengatur bukaan katup air yang masuk ke saluran terbuka.
- f. Mengukur temperatur air ($^{\circ}\text{C}$).
- g. Mengukur laju aliran air pada saluran terbuka (m^3/s).

Catatan :

Dik:

diameter nozzle (d_1) = 15 mm = 0,015 m

diameter nozzle (d_2) = 10 mm = 0,01 m

Maka luas penampang nozzle (A)

$$A_1 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (d_1^2)$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,015 \text{ m})^2$$

$$= 1,77 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (d_2^2)$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,01 \text{ m})^2$$

$$= 7,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A = A_1 - A_2 = (1,77 \times 10^{-4} - 7,85 \times 10^{-5}) \text{ m}^2$$

$$A = 9,85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$Q = V \cdot A$$

Maka

untuk $Q = 30 \text{ lpm} = 0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$

$$V_{\text{nozzle}} = \frac{Q}{A} = \frac{0,0005 \text{ m}^3/\text{s}}{1,9625 \times 10^{-5} \text{ m}^2} = 5,076 \text{ m/s} = 5,08 \text{ m/s}$$

- h. Pengujian dilakukan selama 24 jam untuk 1x pengambilan data dengan 3x pengulangan.
- i. Menimbang dan mencatat berat benda uji setelah pengujian
- j. Prosedur (a) sampai (i) diulangi untuk konsentrasi pasir kuarsa sebanyak 80% : 20% dan 70% : 30% .

- k. Mengulangi prosedur (a) sampai (i) dengan memvariasikan bukaan katup (debit) dan sudut sudu pengarah (α) dengan konsentrasi pasir kuarsa sebanyak 70% : 30%,
- l. Setiap pengujian dilakukan pengulangan sebanyak 2x dengan catatan dilakukan pengadukan pada reservoir setiap 1 atau 2 jam sekali dengan pengadukan secara manual untuk mencegah semua pasir dalam reservoir mengendap ke dasar reservoir.

3.5 Teknik Analisis Data



Gambar 3.4 *Flowchart* Analisis Data Pengujian Sudu Pengarah

BAB IV HASIL DAN DESKRIPSI KEGIATAN

4.1 Hasil Kegiatan

4.1.1 Data Kuantitatif

Setelah melakukan pengambilan data dalam pengujian laju abrasi pada sudu pengarah turbin air didapatkan data kuantitatif yang disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini :

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Konsentrasi Pasir

Konsentrasi air : pasir (%)	m_{pasir} (g)	V_{air} (l)	Q_{air} (m^3/s)	Waktu Pengujian		T_{air} ($^{\circ}C$)	$m_{benda\ kerja}$ (g)		Massa hilang (g)	Total massa hilang (g)
				Tanggal (2019)	Jam (Wita)		$m_{sebelum}$	$m_{sesudah}$		
90 : 10	15	150	$4,67 \times 10^{-4}$	22-23 Juni	18:45 – 06:45	29	108	107,92	0,08	0,08
				23-24 Juni	13:00 – 01:00					
				3 Juli	07:15 – 19:15	30	107,53	107,48	0,05	0,13
				4 Juli	08:11 – 20:11					
				5 Juli	08:15 – 20:15	30	107,48	107,45	0,03	0,16
6 Juli	07:15 – 19:15									
80 : 20	30	150	$4,67 \times 10^{-4}$	8 Juli	08:15 – 20:15	29	107,45	107,39	0,06	0,06
				9 Juli	09:10 – 21:10					
				11 Juli	15:15 – 19:15	29	107,39	107,34	0,05	0,11
				12 Juli	09:20 – 17:20					
				13 Juli	09:15 – 20:15	28	107,34	107,29	0,05	0,16
				14 Juli	14:00 – 17:00					
				15 Juli	13:43 – 20:10					
16 Juli	12:15 – 21:00	29	107,29	107,21	0,08	0,08				
17 Juli	09:23 – 18:15									
70 : 10	45	150	$4,67 \times 10^{-4}$	18 Juli	09:30 – 20:00	29	107,29	107,21	0,08	0,08
				19 Juli	07:20 – 21:00					
				20 Juli	10:30 – 21:00	28	107,21	107,15	0,06	0,14
				21 Juli	10:00 – 18:00					
				22 Juli	11:25 – 16:55	29	107,15	107,11	0,04	0,18
				22 Juli	17:58 – 21:08					
23 Juli	10:20 – 20:00									
24 Juli	08:40 – 20:00									

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Variasi Debit dan Sudut α

Konsentrasi air : pasir (%)	V_{air} (ltr)	Q (m^3/s)	α ($^\circ$)	Waktu Pengujian (jam)		T_{air} ($^\circ\text{C}$)	Massa benda kerja (g)		Massa hilang (g)	Total massa hilang (g)
				Tanggal (2019)	Jam (Wita)		Sebelum	Sesudah		
70 : 30	150	$4,67 \times 10^{-4}$	24	26 Juli	18.11 – 21.11	30	246,78	246,64	0,14	0,14
				27 Juli	06.36 – 21.08					
				28 Juli	07.52 – 13.20					
			22,5	28 Juli	13.48 – 21.48	31	246,64	246,49	0,15	0,29
				29 Juli	06.45 – 21.45					
				30 Juli	06.37 – 07.37					
70 : 30	150	$4,33 \times 10^{-4}$	24	31 Juli	21.30 – 23.30	30	246,36	246,22	0,14	0,14
				1 Agustus	06.30 – 23.30					
				2 Agustus	07.00 – 14.00					
			22,5	2 Agustus	14.30 – 22.30	30	246,22	246,17	0,05	0,19
				3 Agustus	07.00 – 23.00					
70 : 30	150	4×10^{-4}	24	4 Agustus	10.00 – 23.00	28	246,17	246,11	0,06	0,06
				5 Agustus	07.00 – 18.00					
			22,5	5 Agustus	18.30 – 23.30	31	246,11	246,04	0,07	0,13
				6 Agustus	08.52 – 23.32					
				7 Agustus	06.58 – 19.58					

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Variasi Sudut α dengan Q Konstan

Konsentrasi air : pasir (%)	V_{air} (ltr)	Q (m^3/s)	α ($^\circ$)	Waktu Pengujian (jam)		T_{air} ($^\circ\text{C}$)	Massa benda kerja (g)		Massa hilang (g)	Total massa hilang (g)
				Tanggal (2019)	Jam (Wita)		Sebelum	Sesudah		
70 : 30	150	$4,67 \times 10^{-4}$	24	26 Juli	18.11 – 21.11	30	246,78	246,64	0,14	0,14
				27 Juli	06.36 – 21.08					
				28 Juli	07.52 – 13.20					
			22,5	28 Juli	13.48 – 21.48	31	246,64	246,49	0,15	0,29
				29 Juli	06.45 – 21.45					
				30 Juli	06.37 – 07.37					
			15	7 September	07.00 – 19.00	32	246,04	245,98	0,06	0,35
				8 September	07.00 – 19.00					
			10	9 September	07.00 – 19.00	31	245,98	245,91	0,07	0,42
				10 September	07.00 – 19.00					
5	11 September	07.30 – 19.30	29	245,91	245,84	0,07	0,49			
	12 September	07.30 – 19.30								

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sieving

Konsentrasi Pasir dalam satuan berat (%)	Berat pasir (kg)	Berat Air (kg)	Diameter Partikel (μm)
0,03	0,045	150	105 -125
0,02	0,030		105 - 125
0,01	0,015		25 - 125

(* Untuk mendapatkan berat air adalah $m = \rho \cdot V$ maka,

$V = 150 \text{ liter} = 0,15 \text{ m}^3$ dan $\rho \text{ air} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$m = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,15 = 150 \text{ kg}$)

Dari pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang diperoleh hasil ukuran ketiga sampel yaitu mulai 60 – 140 mesh. Sehingga ukuran yang akan digunakan untuk pengujian laju abrasi adalah 120 mesh (125 μm)

Untuk menghitung laju abrasi pada sudu pengarah menggunakan rumus (2.1) seperti yang telah dipaparkan diatas dengan mengambil 1 data sebagai contoh analisis.

Diketahui :

Data no 1 percobaan ke-1 pada Tabel 4.1

Lama pengujian (T) = 24 jam

Massa yang hilang (W) = $m_{\text{sebelum}} - m_{\text{sesudah}}$
 = 108 g – 107,92 g = 0,08 g

Massa jenis benda kerja (D) = 7,93 g/cm^3

Luas penampang benda kerja *stainless steel* (A) = 4 cm x 10 cm = 40 cm^2

Konstanta laju abrasi (K) = (1 x 10⁴ x D)
 = 1 x 10⁴ x 7,93 g/cm^3
 = 79300 g/cm^3

Maka akan didapat laju abrasi

$$\text{Laju abrasi} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} = \frac{79300 \text{ g/cm}^3 \times 0,08 \text{ g}}{40 \text{ cm}^2 \times 24 \text{ jam} \times 7,93 \text{ g/cm}^3} = 0,8333 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{jam}$$

Untuk data hasil analisa laju abrasi selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.5.

Adapun untuk menghitung tekanan yang mengenai sudu pengarah adalah sebagai berikut :

Diketahui :

$$\rho \text{ (massa jenis air)} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$h_1 = h_2 = 1,24 \text{ m}$$

$$P_1 \text{ (tekanan pipa masuk nozzle)} = 3,3 \text{ bar} = 300.000 \text{ Pa}$$

$$V_1 \text{ (kecepatan aliran pada pipa)} = 3,95 \text{ m/s}$$

$$V_2 \text{ (kecepatan pada nozzle)} = 5,097 \text{ m/s}$$

Ditanyakan : P_2 (tekanan keluaran nozzle yang sampai di sudu pengarah)

Maka

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 - \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

$$P_2 = 3 \times 10^5 \text{ Pa} + \left(\frac{1}{2} \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 3,949^2\right) - \left(\frac{1}{2} \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 5,097^2\right)$$

$$P_2 = 3 \times 10^5 + (7801,25) - (12550,05) = 282704,15 \text{ Pa} = 2,82704 \text{ bar}$$

$$P_2 = P_{\text{atm}} + P_{\text{teoritis}} = 1,01325 \text{ bar} + 2,82704 \text{ bar} = 3,84029 \text{ bar}$$

Tabel 4.5 Hasil Analisis Laju Abrasi Sudu Pengarah

Konsentrasi air : pasir (%)	K ($1 \times 10^4 \times D$) (g/cm^3)	D (g/cm^3)	W (g)	W rata ² (g)	A (cm^2)	T (jam)	Laju abrasi ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{jam}$)	Laju abrasi rata ² ($\text{g/cm}^2 \cdot \text{jam}$)
90 : 10	79300	7,93	0,08	0,053	40	24	0,83	0,55
	79300	7,93	0,13		40	24	1,35	
	79300	7,93	0,16		40	24	1,67	
80 : 20	79300	7,93	0,06	0,053	40	24	0,63	0,55
	79300	7,93	0,11		40	24	1,15	
	79300	7,93	0,16		40	24	1,67	
70 : 30	79300	7,93	0,08	0,06	40	24	0,83	0,63
	79300	7,93	0,14		40	24	1,46	
	79300	7,93	0,18		40	24	1,88	

Tabel 4.6 Hasil Analisis Laju Abrasi Sudu Pengarah Variasi Debit dan Sudut α

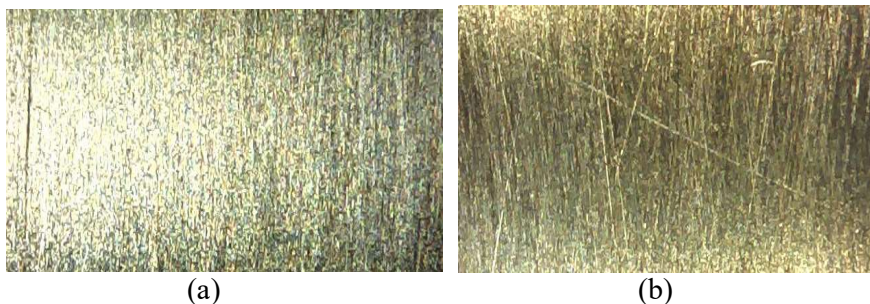
Konsentrasi air : pasir (%)	Q (m ³ /s) (x 10 ⁻⁴)	α (°)	K ((1x10 ⁴).D) (g/cm ³)	D (g/cm ³)	W (g)	W rata ² (g)	A (cm ²)	T (jam)	Laju abrasi (g/cm ² .jam)	Laju abrasi rata ² (g/cm ² .jam)	
70 : 30	4,67	24	79300	7,93	0,14	0,15	40	24	1,46	1,56	
		22,5	79300	7,93	0,29		40	24	3,02		
	4,33	24	79300	7,93	0,14	0,10	40	24	1,46	1,04	
		22,5	79300	7,93	0,19		40	24	1,98		
	4	4	24	79300	7,93	0,06	0,07	40	24	0,63	0,73
			22,5	79300	7,93	0,13		40	24	1,35	

Tabel 4.7 Hasil Analisis Laju Abrasi Sudu Pengarah Variasi Sudut α Dengan Q Konstan

Konsentrasi air : pasir (%)	Q (m ³ /s) (x10 ⁻⁴)	α (°)	K (1 x 10 ⁴ x D) (g/cm ³)	D (g/cm ³)	W (g)	A (cm ²)	T (jam)	Laju abrasi (g/cm ² .jam)
70 : 30	4,67	24	79300	7,93	0,14	40	24	1,46
		22,5	79300	7,93	0,29	40	24	3,02
		15	79300	7,93	0,35	40	24	3,65
		10	79300	7,93	0,42	40	24	4,38
		5	79300	7,93	0,49	40	24	5,10

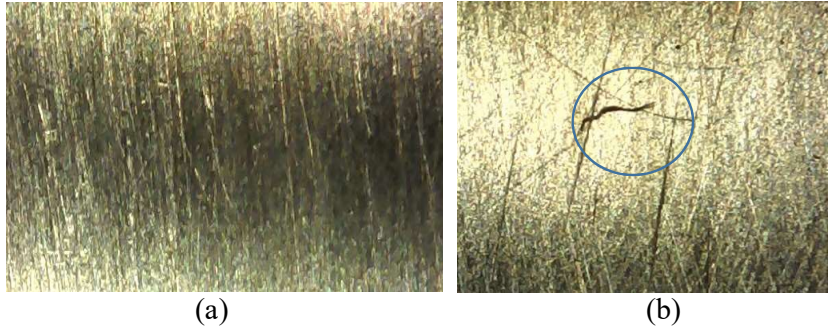
4.1.2 Data Kualitatif

Data kualitatifnya sendiri disajikan dalam bentuk gambar yang didapatkan dengan menggunakan *microscopy digital* dengan spesifikasi *USB Digital Microscope "Scorpio"* 500x pembesaran, dengan resolusi 1600 x 1200 dan dilengkapi dengan 8 LED untuk penerangan rekaman. Untuk data berupa gambar/foto hasil mikroskopnya disajikan dibawah ini.



Gambar 4.1 Pengujian material *stainless steel* dengan konsentrasi air :

pasir 90 : 10 % untuk pengujian ke-1 (a) sebelum pengujian
(b) sesudah pengujian



Gambar 4.2 Pengujian material *stainless steel* dengan konsentrasi air : pasir 90 : 10 % untuk pengujian ke-2 (a) sebelum pengujian
(b) sesudah pengujian



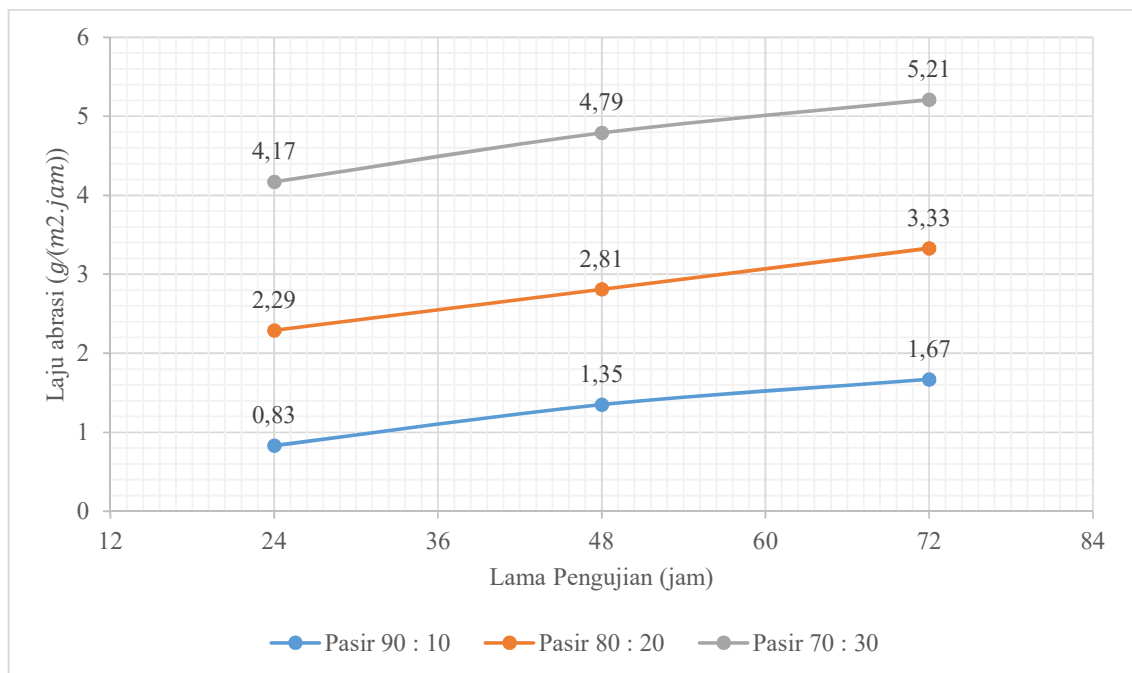
Gambar 4.3 Pengujian material *stainless steel* dengan konsentrasi air : pasir 90 : 10 % untuk pengujian ke-3 (a) sebelum pengujian
(b) sesudah pengujian

Untuk hasil selengkapnya berupa gambar/foto dari konsentrasi air : pasir 80 : 20 %, 70 : 30 % dan variasi debit dengan sudut *guide vane* dapat dilihat pada bagian Lampiran B.

4.2 Deskripsi Kegiatan

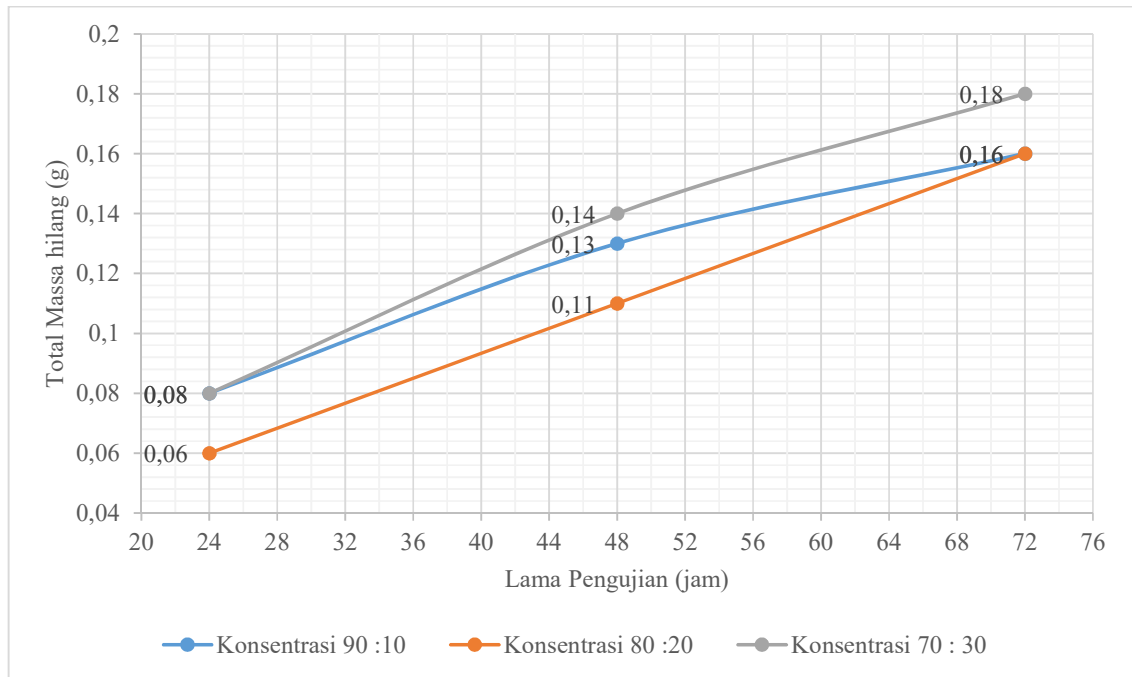
Pada perhitungan tekanan yang mengenai material sudu pengarah didapatkan bahwa tekanan yang sampai pada sudu pengarah adalah 3,80429 bar yang berarti tekanan keluaran dari nozzle lebih besar dari tekanan keluaran pompa. Ini menunjukkan bahwa tekanan yang mengenai sudu pengarah adalah salah satu faktor yang berperan besar mengikis permukaan material sehingga

mengakibatkan hilangnya massa material dan terjadinya abrasi pada material. Jika tekanan yang mengenai sudu lebih rendah dari tekanan atmosfer dan tekanan keluaran pompa maka tidak akan terjadi pengikisan pada permukaan material.



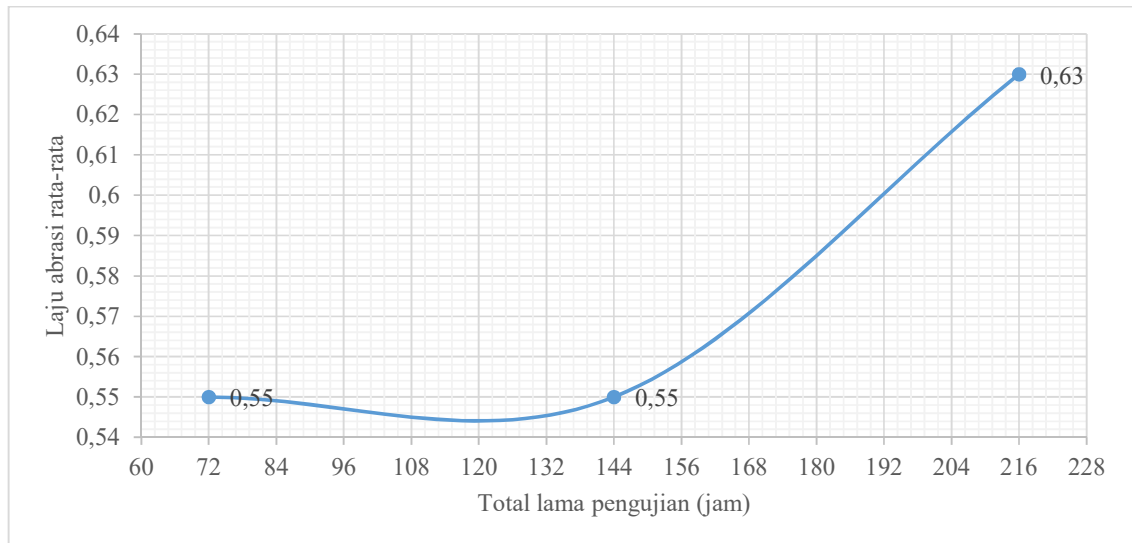
Gambar 4.4 Grafik perbandingan antara laju abrasi ($g/cm^2.jam$) terhadap lamanya pengujian (jam) pada pengujian konsentrasi pasir

Dari grafik pada gambar 4.4 terlihat hubungan antara nilai dari laju abrasi pada sudu pengarah terhadap lamanya pengujian adalah berbanding lurus atau linear, yang berarti bahwa semakin lamanya pengujian yang dilakukan terhadap material yang sama akan membuat semakin besarnya nilai dari laju abrasi pada sudu pengarah turbin air yang diakibatkan terkikisnya massa, tekanan dari air dan diameter partikel pasir.



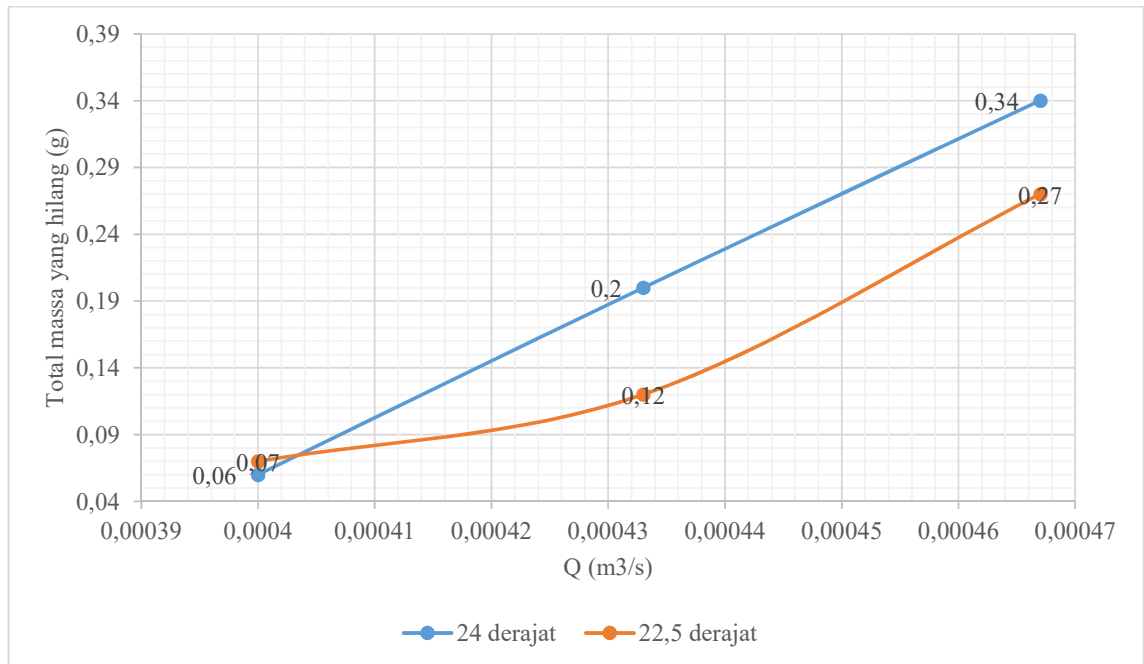
Gambar 4.5 Grafik perbandingan antara total massa yang hilang (g) pada suhu pengarah terhadap lamanya pengujian (jam) pada pengujian konsentrasi pasir

Pada grafik diatas terlihat hubungan antara total massa yang hilang pada material suhu pengarah terhadap lamanya pengujian adalah cenderung linear. Ini berarti bahwa pada material suhu pengarah semakin lama waktu ia dikenai oleh air pada saat pengujian semakin banyak massanya yang terkikis oleh air.



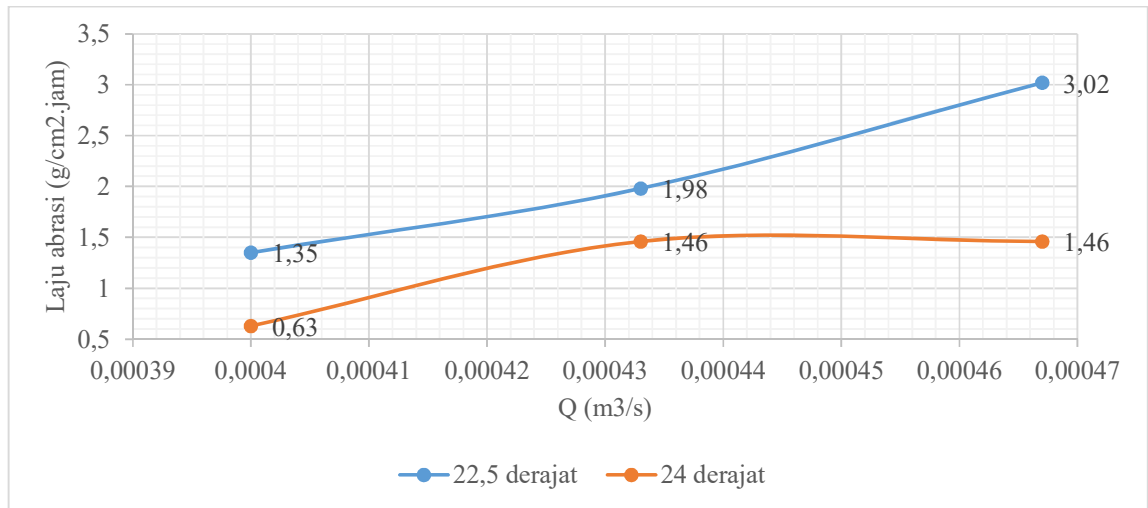
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara laju abrasi rata-rata ($g/cm^2.jam$) pada sudut pengarah terhadap total lamanya pengujian pada pengujian konsentrasi pasir

Pada grafik diatas dapat dilihat hubungan antara laju abrasi rata² pada sudut pengarah terhadap total lamanya pengujian pada pengujian konsentrasi pasir adalah cenderung naik, ini sebabkan karena pada pengujian konsentrasi air : pasir 90 : 10 dan 80 : 20 nilai rata² massa yang hilang adalah sama sehingga nilai laju abrasi rata²nya pun sama.



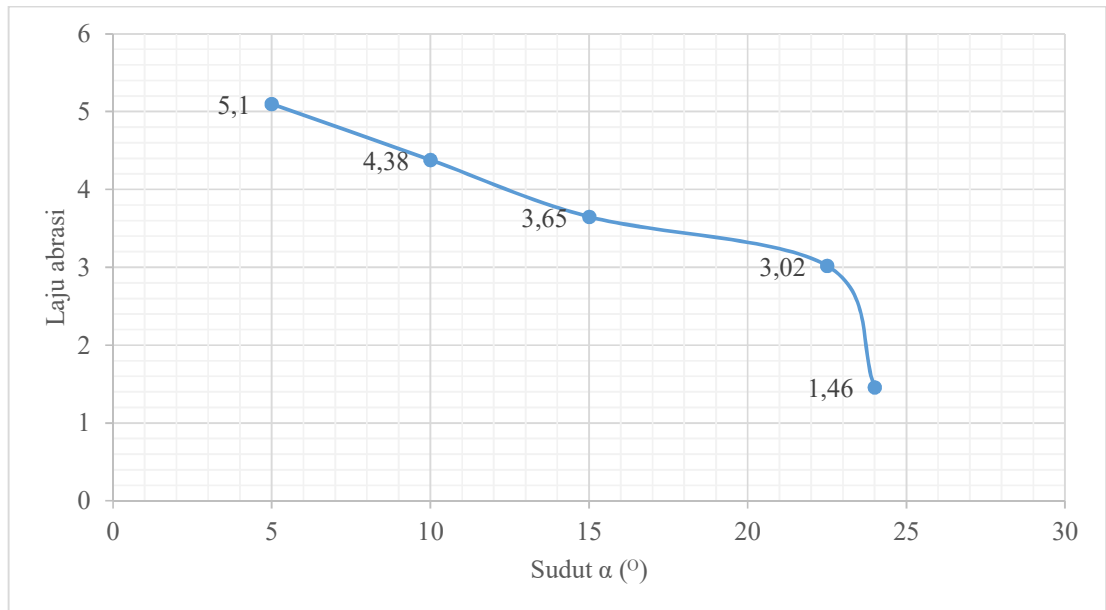
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara total massa yang hilang pada sudut pengarah dengan bukaan sudut 22,5° dan 24° terhadap debit air pada pengujian variasi debit dan variasi sudut α

Pada grafik diatas terlihat hubungan antara massa yang hilang pada sudut pengarah dengan sudut 24° dan 22,5° terhadap debit air. Terlihat bahwa pada total massa yang hilang adalah linear atau berbanding lurus terhadap debit air. Hal ini dipengaruhi oleh bukaan sudutnya dimana pada titik pertama terlihat bahwa bukaan sudut 22,5 lebih besar dari bukaan sudut 24, tetapi semakin naik grafiknya semakin terlihat bahwa total massa yang hilang pada sudut 24 lebih besar dari 22,5.



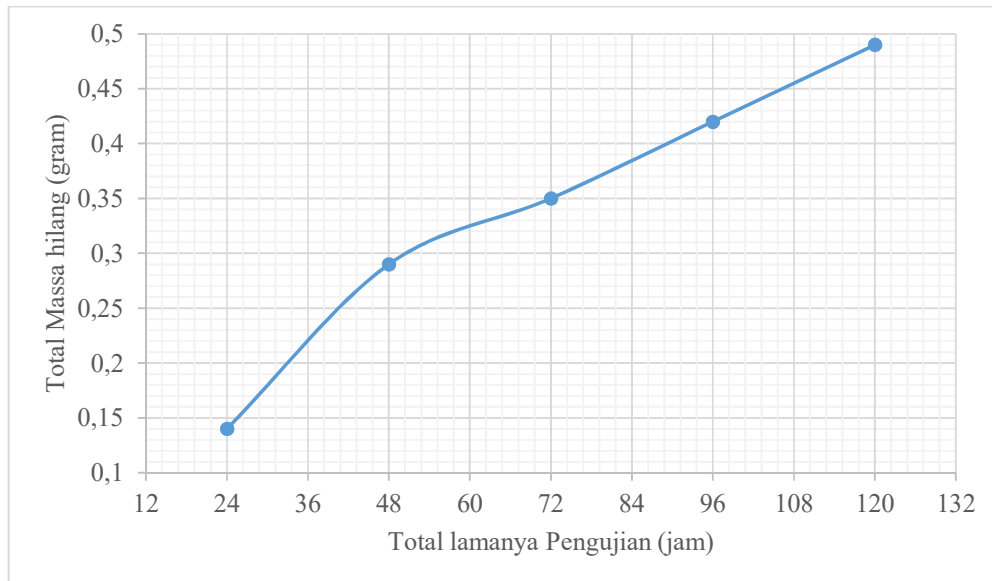
Gambar 4.8 Grafik hubungan antara laju abrasi pada sudut pengarah dengan bukaan sudut 22,5° dan 24° terhadap debit air pada pengujian variasi debit dan variasi sudut

Pada grafik diatas terlihat hubungan antara laju abrasi pada bukaan sudut 22,5° dan 24° terhadap debit air. Terlihat dari grafik diatas bahwa semakin besar debit air semakin besar pula laju abrasinya. Meskipun pada grafik sebelumnya total massa yang hilang pada sudut 24 lebih besar dari 22,5 tapi pada grafik ini laju abrasi pada sudut 22,5 lebih besar daripada sudut 24. Ini dikarenakan oleh karena pengaruh kecepatan aliran air dan tekanan keluaran dari nozzle.



Gambar 4.9 Grafik hubungan antara laju abrasi pada sudut pengarah terhadap bukaan sudut su pengarah pada pengujian variasi sudut α dengan $Q =$ konstan

Pada grafik diatas terlihat bahwa semakin besar sudut bukaan sudut pengarah semakin kecil pula laju abrasi yang terjadi. Hal ini dikarenakan akibat pengaruh tekanan dan kecepatan air yang mengenai sudut pengarah. Semakin besar sudut bukaan sudutnya semakin kecil perubahan momentum atau tumbukan pada material sudut yang dimana hal ini mempengaruhi terjadinya abrasi pada material. Hal lain yang juga mempengaruhi turunnya laju abrasi ini adalah total massa yang hilang pada sudut pengarah.



Gambar 4.10 Grafik hubungan antara total massa hilang pada sudu pengarah terhadap total lamanya pengujian yang dilakukan pada pengujian variasi sudut α dengan $Q = \text{konstan}$

Pada grafik diatas terlihat hubungan antara total massa yang hilang pada sudu pengarah terhadap total lama pengujian pada pengujian variasi sudut dengan debit dikonstantkan adalah cenderung meningkat. Hal yang mempengaruhi ini adalah bukaan sudut yang diberikan pada sudu pengarah dimana kalau bukaan sudutnya kecil maka total massa yang hilang akan besar sehingga laju abrasi yang terjadi juga besar. Sebaliknya jika bukaan sudut besar maka total massa yang hilang akan kecil sehingga laju abrasi juga akan menurun. Ini dikarenakan massa yang hilang dipengaruhi oleh tekanan dari air yang mengikis permukaan material, selain itu perubahan momentum pada saat tumbukan juga akan mempengaruhi ada tidaknya massa material yang akan terkikis.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan bahwa: Secara kuantitatif dan kualitatif, semakin besar konsentrasi dan diameter partikel pasir kuarsa, tekanan air dan sudut yang diberikan pada waktu yang sama, maka semakin besar laju abrasi yang terjadi pada sudu pengarah turbin air jenis francis. Laju abrasi yang terbesar adalah 5,10 ($\text{g/cm}^2 \times \text{jam}$) pada pengujian variasi sudut α dengan Q konstan dan perbandingan air : pasir 70% : 30%.

5.2 Saran

1. Diharapkan dalam penelitian selanjutnya dapat lebih difokuskan pada material yang lebih mudah diamati laju abrasinya secara langsung, seperti material *carbon steel*.
2. Diharapkan agar industri khususnya dibidang perencanaan, manufaktur dan PLTA lebih memperhatikan pemilihan material dengan memperhatikan data-data berupa kandungan sedimentasi, kekerasan material dan penelitian tentang turbin air khususnya turbin air Francis.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilianti, Anita Nur. 2017. Pembangkit Listrik Tenaga Air, (Online), ([https://www.academia.edu/34725781/PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR PLTA](https://www.academia.edu/34725781/PEMBANGKIT_LISTRIK_TENAGA_AIR_PLTA)), diakses 27 Maret 2019).
- Bansal, 2005. *Fluid Mechanics and Hydraulics Engineering*. Ed 9th. Laxmi Publication (P) Ltd. New Delhi, India
- Direktorat Jendral Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2014. *Statistik Ketenagalistrikan*.
- Farrel, A.J., B. Norton, D.M. Kennedy. 2003. Corrosive effects of salt hydrate Phase Change Materials used with aluminium and copper, 12th international scientific conference.
- Firman. 2016. Sediment Characteristic on Hydropower Plant Bakaru, South Sulawesi. International Conference on Engineering Science and Nanotechnology 2016. 3-5 Agustus 2016 Hotel The Alana di Solo.
- Gogstad, P.J. 2012. Hydraulic design of Francis turbine exposed to sediment erosion, Department of Energy and Process Engineering, Norwegian University of Science and Technology.
- Gregore, B., A. Predin, D. Fabijan, R. Klasine. 2011. Experimental Analysis of The Impact of Particles on the Cavitation Flow. *Journal of Mechanical Engineering* 58 (2012) 4,238-244.
- Halfiz, Muhammad. Dkk. 2015. Pembangkit Listrik Tenaga Air, (Online), (<https://docplayer.info/32449958-Makalah-pembangkit-listrik-%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20tenaga%20air.html>), diakses 27 Maret 2019).
- Husain Zoeb, Zulkifly Abdullah dan Zainal, Alimuddin. 2008. *Basic Fluid Mechanis and Hydraulics Machines*. Sultan Bazar : BS Publications.
- Karelin, V.Y. and C.G. Duan. 2002. Design of hydraulic machinery working in sandladenwater. Vol. 2 Imperial College Press, London, 1 edition, 2002.
- Michele Manno. 2013. *Hydraulics Turbines and Hydroelectrics Power Plant*. Roma : University of Rome.
- Marfizal. 2015. Perancangan Turbin Propeller dan Pengujian Pengaruh Bentuk

Penampang Sudu Turbin terhadap Efisiensi Turbin. Tesis. Padang : Jurusan Teknik Mesin Universitas Andalas.

Musa Laode. 2008. *Buku Ajar Mesin Fluida*. Politeknik Negeri Ujung Pandang. Makasar: (tidak diterbitkan).

Neopane Prasad, H. 2010. Sediment Erosion In Hydro Turbines. Thesis Submitted, Faculty of Engineering Science and Technology. Norwegian University of Science and Technology (NTHU). Norwegia.

Nevihidayanti.2013. Bendungan Saguling. (Online), (<https://www.scribd.com/document/169913987/BENDUNGANSAGULING>, diakses 9 April 2019).

Ohans Purage, dkk. *Textbook of Machine Hydraulics*. E-learning Unit Zagazig University. Faculty of Engineering Zagazig University.

Pratiwi,A.S., F. Mansur, F. Alihar. 2016. Analisa Kerusakan Sudu Gerak Turbin Francis Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) Dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Laporan Program Kreativitas Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Prayogo,T.,B.Budiman.2009. Survei Potensi Pasir Kuarsa di Daerah Ketapang Propinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. Vol. II (126-132).

PT PLN. 2010. *Ikhtisar Penjualan Tenaga Listrik - PT PLN (Persero) Tahun 1995 - 2009*. Jakarta.

Sukardi, 2018. Pembangkit Listrik Mikrohidro Tingkatkan Perekonomian Indonesia,(Online), (<https://indonesiadevelopmentforum.com/2019/ideas/4452-pembangkit-listrik-mikrohidro-tingkatkan-perekonomian-indonesia>, diakses 8 April 2019).

Sunyoto, Karnowoto dan Respati, S.M. Bondan. 2008. *Teknik Mesin Industri*. Jilid ke-3. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Surdia, T., dan Saito, S. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramida. Jakarta.

Suwanda. 2011. *Desain Eksperimen Untuk Penelitian Ilmiah*. Alfabeta. Bandung.

Tim Dosen. 2011. *Pedoman Penulisan Tugas Akhir*. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Wicaksana Christian Asri dan Faqih Fadillah. 2015. Turbin Air. (Online), (https://www.academia.edu/17716234/TURBIN_AIR, diakses 26 Maret 2019).



L

A

M

P

I

R

A

N





LAMPIRAN A
(DATA HASIL PENGUJIAN)

Lampiran A1

Tabel Hasil Pengujian Konsentrasi Pasir

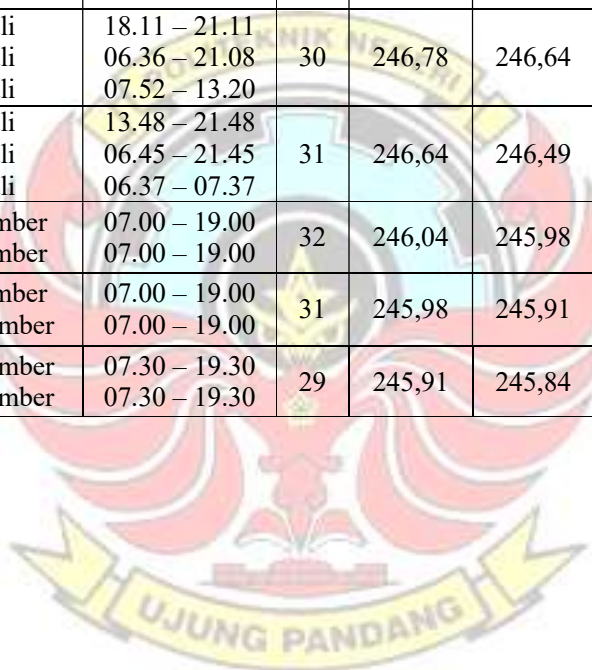
No	Konsentrasi air : pasir (%)	Berat pasir (g)	Volume air (ltr)	Debit (m ³ /s)	Lama pengujian (jam)	Waktu Pengujian		Temperatur air (°C)	Massa benda kerja (g)		Massa hilang (g)	Total Massa Hilang (g)
						Tanggal (2019)	Jam (Wita)		Sebelum	Sesudah		
1	90 : 10	15	150	4,67 x 10 ⁻⁴	24	22-23 Juni	18:45 – 06:45	29	108	107,92	0,08	0,08
						23-24 Juni	13.00 – 01:00					
						3 Juli	07:15 – 19:15					
2	80 : 20	30	150	4,67 x10 ⁻⁴	24	4 Juli	08:11 – 20:11	30	107,53	107,48	0,05	0,13
						5 Juli	08:15 – 20:15					
						6 Juli	07:15 – 19:15					
3	70 : 10	45	150	4,67 x10 ⁻⁴	24	8 Juli	08:15 – 20:15	29	107,45	107,39	0,06	0,22
						9 Juli	09:10 – 21:10					
						11 Juli	15:15 – 19:15					
2	80 : 20	30	150	4,67 x10 ⁻⁴	24	12 Juli	09:20 – 17:20	29	107,39	107,34	0,05	0,27
						13 Juli	09:15 – 20:15					
						14 Juli	14:00 – 17:00					
3	70 : 10	45	150	4,67 x10 ⁻⁴	24	15 Juli	13:43 – 20:10	28	107,34	107,29	0,05	0,32
						16 Juli	12:15 – 21:00					
						17 Juli	09:23 – 18:15					
3	70 : 10	45	150	4,67 x10 ⁻⁴	24	18 Juli	09:30 – 20:00	29	107,29	107,21	0,08	0,40
						19 Juli	07:20 – 21:00					
						20 Juli	10:30 – 21:00					
3	70 : 10	45	150	4,67 x10 ⁻⁴	24	21 Juli	10:00 – 18:00	28	107,21	107,15	0,06	0,46
						22 Juli	11:25 – 16:55					
						22 Juli	17:58 – 21:08					
3	70 : 10	45	150	4,67 x10 ⁻⁴	24	23 Juli	10:20 – 20:00	29	107,15	107,11	0,04	0,50
						24 Juli	08:40 – 20:00					

Tabel Hasil Pengujian Variasi Debit dan Sudut α

No	Konsentrasi air : pasir (%)	Volume air (ltr)	Lama Pengujian (jam)	Debit (m ³ /s)	Sudut α (°)	Waktu Pengujian (jam)		Temperatur air (°C)	Massa benda kerja (g)		Massa Hilang (g)	Total Massa Hilang (g)
						Tanggal (2019)	Jam (Wita)		Sebelum	Sesudah		
1	70 : 30	150	24	$4,67 \times 10^{-4}$	24	26 Juli	18.11 – 21.11	30	246,78	246,64	0,14	0,14
						27 Juli	06.36 – 21.08					
			24		22,5	28 Juli	07.52 – 13.20	31	246,64	246,49	0,15	0,29
						29 Juli	06.45 – 21.45					
2	70 : 30	150	24	$4,33 \times 10^{-4}$	24	30 Juli	06.37 – 07.37	30	246,36	246,22	0,14	0,43
						31 Juli	21.30 – 23.30					
			24		22,5	1 Agustus	06.30 – 23.30	30	246,22	246,17	0,05	0,48
						2 Agustus	14.30 – 22.30					
3	70 : 30	150	24	4×10^{-4}	24	3 Agustus	07.00 – 23.00	28	246,17	246,11	0,06	0,54
						4 Agustus	10.00 – 23.00					
			24		22,5	5 Agustus	07.00 – 18.00	31	246,11	246,04	0,07	0,61
						6 Agustus	18.30 – 23.30					
					7 Agustus	08.52 – 23.32						
						06.58 – 19.58						

Tabel Hasil Pengujian Variasi Sudut α dengan $Q = \text{konstan}$

Konsentrasi air : pasir (%)	V_{air} (ltr)	Q (m^3/s)	α ($^\circ$)	Waktu Pengujian (jam)		T_{air} ($^\circ\text{C}$)	Massa benda kerja (g)		Massa hilang (g)	Total massa hilang (g)
				Tanggal (2019)	Jam (Wita)		Sebelum	Sesudah		
70 : 30	150	$4,67 \times 10^{-4}$	24	26 Juli	18.11 – 21.11	30	246,78	246,64	0,14	0,14
				27 Juli	06.36 – 21.08					
				28 Juli	07.52 – 13.20					
			22,5	28 Juli	13.48 – 21.48	31	246,64	246,49	0,15	0,29
				29 Juli	06.45 – 21.45					
				30 Juli	06.37 – 07.37					
			15	7 September	07.00 – 19.00	32	246,04	245,98	0,06	0,35
				8 September	07.00 – 19.00					
			10	9 September	07.00 – 19.00	31	245,98	245,91	0,07	0,42
				10 September	07.00 – 19.00					
5	11 September	07.30 – 19.30	29	245,91	245,84	0,07	0,49			
	12 September	07.30 – 19.30								



The logo of Politeknik Negeri Ujung Pandang is a circular emblem. At the top, a yellow banner contains the text "POLITEKNIK NEGERI". The central part of the logo features a blue gear with a yellow sunburst in the center, set against a red background with stylized, flame-like patterns. At the bottom, another yellow banner contains the text "UJUNG PANDANG".

LAMPIRAN B
(HASIL ANALISA DATA)

Lampiran B1

Tabel Hasil Analisa Data

a. Tabel Hasil Analisa Pengujian Konsentrasi Pasir

Konsentrasi air : pasir	K	Massa yg hilang (g)	Massa rata2 (g)	W (g)	A (cm ²)	(T) (jam)	D (g/cm ³)	Laju abrasi (g/cm ² .jam)	Laju abrasi rata2
90%: 10 %	79300	0,08	0,053	0,08	40	24	7,93	0,83	0,55
	79300	0,05		0,13	40	24	7,93	1,35	
	79300	0,03		0,16	40	24	7,93	1,67	
80% : 20%	79300	0,06	0,053	0,06	40	24	7,93	0,63	0,55
	79300	0,05		0,11	40	24	7,93	1,15	
	79300	0,05		0,16	40	24	7,93	1,67	
70%: 30%	79300	0,08	0,060	0,08	40	24	7,93	0,83	0,63
	79300	0,06		0,14	40	24	7,93	1,46	
	79300	0,04		0,18	40	24	7,93	1,88	

b. Tabel Hasil Analisa Pengujian Pengujian Variasi Debit dan Sudut α

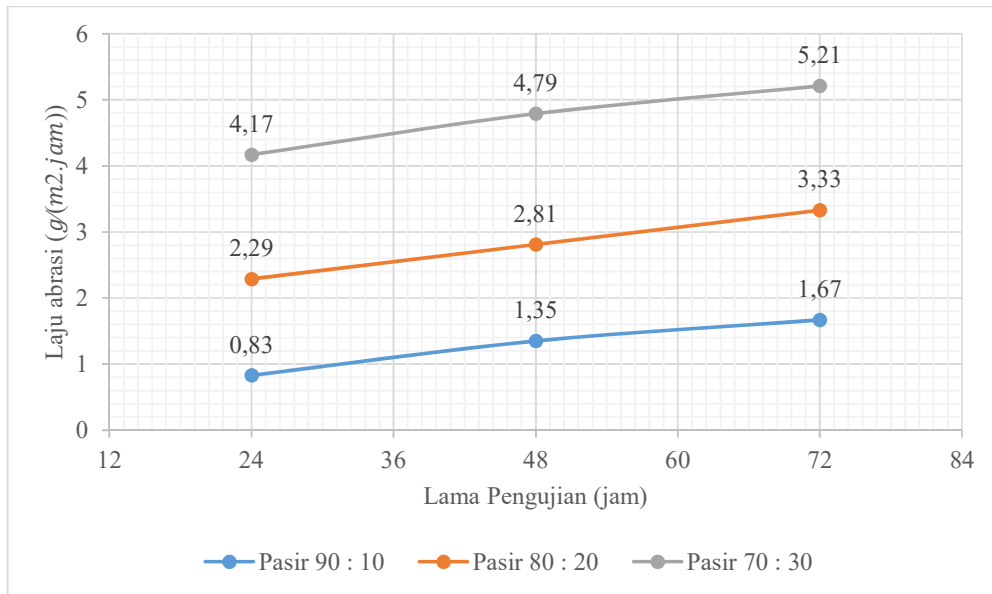
Q	α	K	Massa yg hilang (W) (g)	W (g)	A (cm ²)	(T) (jam)	D (g/cm ³)	Laju abrasi (g/cm ² . jam)	Laju abrasi rata2
4,67 x 10 ⁻⁴	24	79300	0,14	0,14	40	24	7,93	1,46	1,56
	22,5	79300	0,15	0,29	40	24	7,93	3,02	
4,33 x 10 ⁻⁴	24	79300	0,14	0,14	40	24	7,93	1,46	1,04
	22,5	79300	0,05	0,19	40	24	7,93	1,98	
4 x 10 ⁻⁴	24	79300	0,06	0,06	40	24	7,93	0,63	0,73
	22,5	79300	0,07	0,13	40	24	7,93	1,35	

c. Tabel Hasil Analisa Pengujian Pengujian Variasi Sudut α dengan Q = Konstan

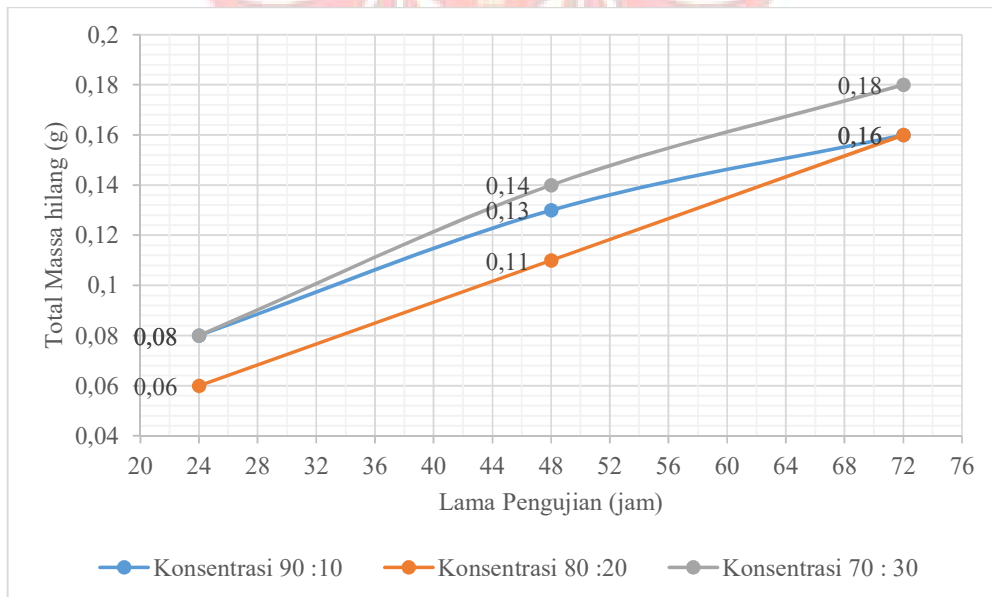
Q	A	K	Massa yg hilang (W) (g)	(W) g	A (cm ²)	T (jam)	D (g/cm ³)	Laju abrasi (g/cm ² .jam)
4,67 x 10 ⁻⁴	24	79300	0,14	0,14	40	24	7,93	1,46
	22,5	79300	0,15	0,29	40	24	7,93	3,02
	15	79300	0,06	0,35	40	24	7,93	3,65
	10	79300	0,07	0,42	40	24	7,93	4,38
	5	79300	0,07	0,49	40	24	7,93	5,10

Lampiran B2
Grafik Hasil Analisis Data

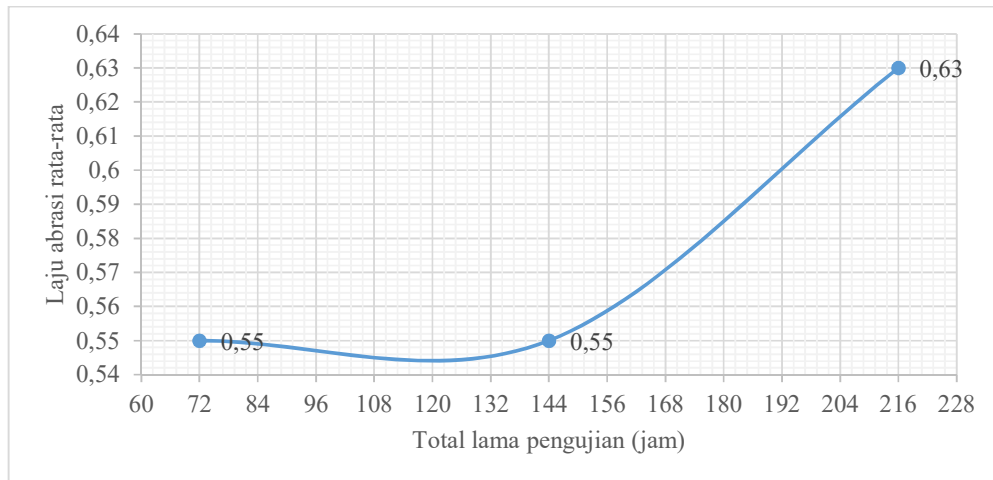
a. Pengujian dengan konsentrasi pasir



Grafik perbandingan antara laju abrasi ($g/cm^2 \cdot jam$) terhadap lamanya pengujian (jam) pada pengujian konsentrasi pasir

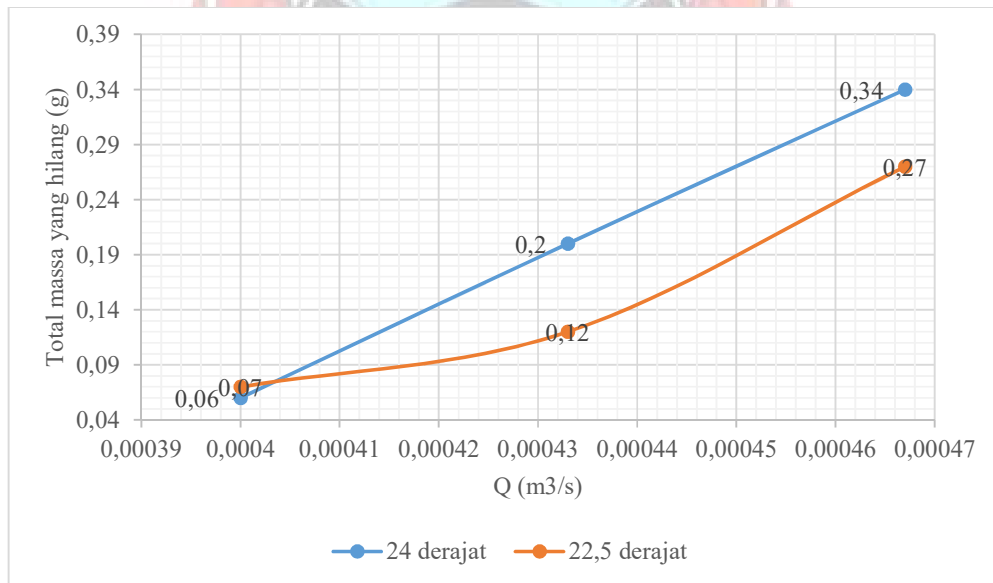


Grafik perbandingan antara total massa yang hilang (g) pada sudut pengarah terhadap lamanya pengujian (jam) pada pengujian konsentrasi pasir

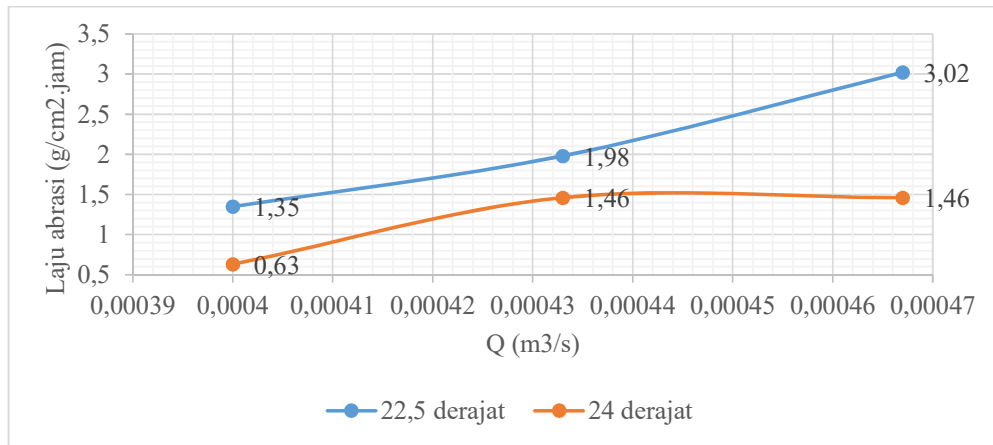


Grafik hubungan antara laju abrasi rata-rata ($g/cm^2.jam$) pada sudut pengarah terhadap total lamanya pengujian pada pengujian konsentrasi pasir

b. Pengujian dengan variasi Sudut α dan Debit Air

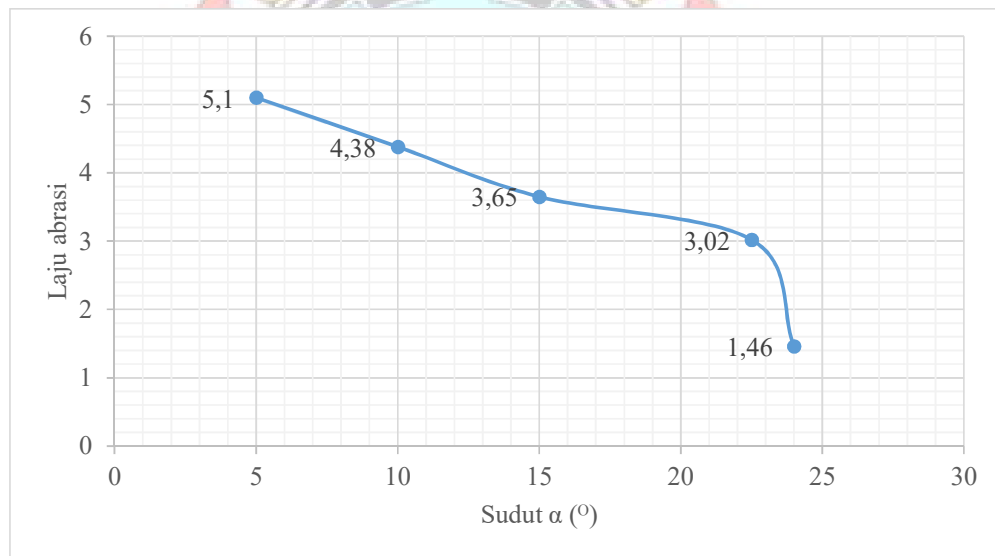


Grafik hubungan antara total massa yang hilang pada sudut pengarah dengan bukaan sudut 22,5° dan 24° terhadap debit air pada pengujian variasi debit dan variasi sudut α

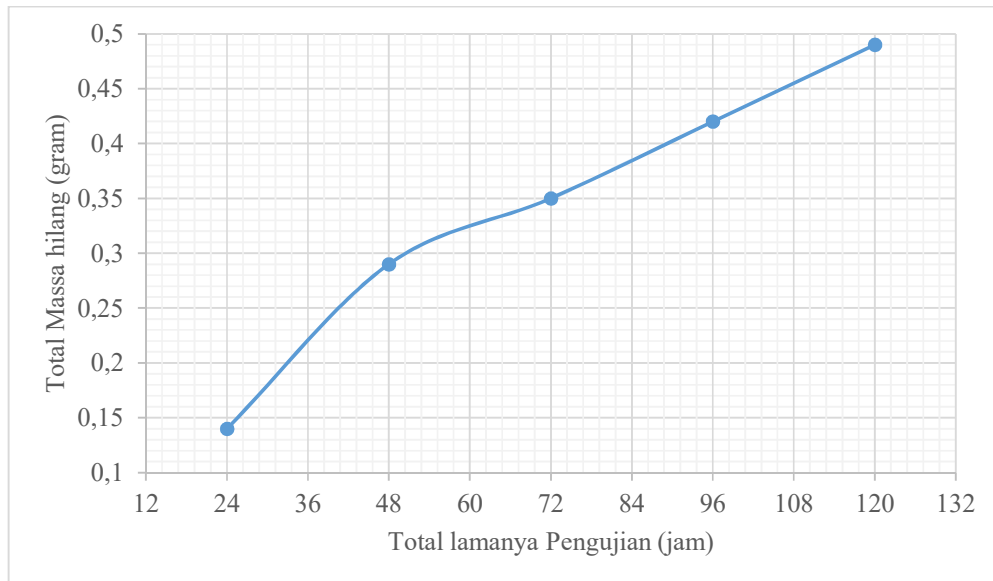


Grafik hubungan antara laju abrasi pada sudu pengarah dengan bukaan sudut 22,5° dan 24° terhadap debit air pada pengujian variasi debit dan variasi sudut α

c. Pengujian dengan variasi Sudut α dengan $Q = \text{konstan}$



Grafik hubungan antara laju abrasi pada sudu pengarah terhadap bukaan sudut pengarah pada pengujian variasi sudut α dengan $Q = \text{konstan}$



Grafik hubungan antara total massa hilang pada suhu pengarah terhadap total lamanya pengujian yang dilakukan pada pengujian variasi sudut α dengan $Q =$ konstan

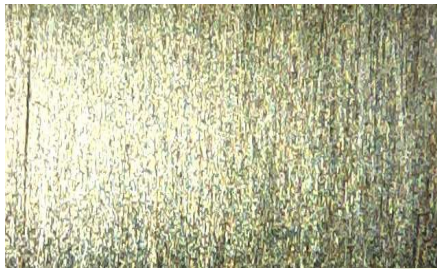


LAMPIRAN B3

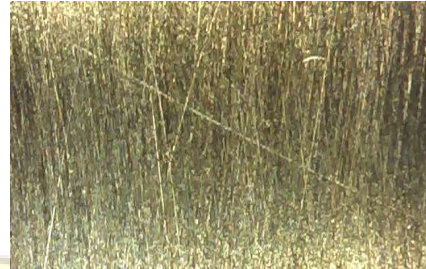
Hasil dari Mikroskop Digital Untuk Pengujian Konsentrasi Pasir

1. Konsentrasi Air : Pasir 90% : 10%

a. Pengulangan 1



Sebelum



Sesudah

b. Pengulangan 2



Sebelum

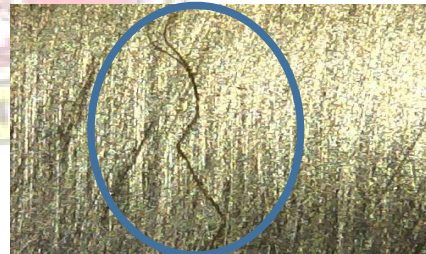


Sesudah

c. Pengulangan 3



Sebelum



Sesudah

2. Konsentrasi Air : Pasir 80% : 20%

a. Pengulangan 1

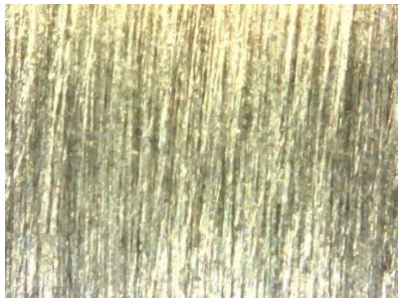


Sebelum



Sesudah

b. Pengulangan 2



Sebelum



Sesudah

c. Pengulangan 3



Sebelum



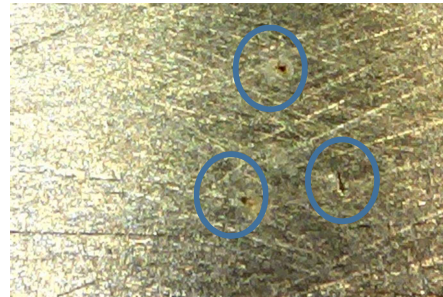
Sesudah

3. Konsentrasi Air : Pasir 70% : 30%

a. Pengulangan 1

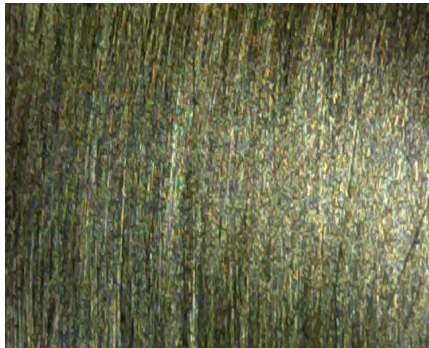


Sebelum

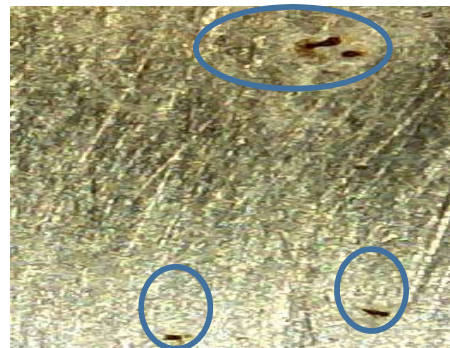


Sesudah

b. Pengulangan 2



Sebelum

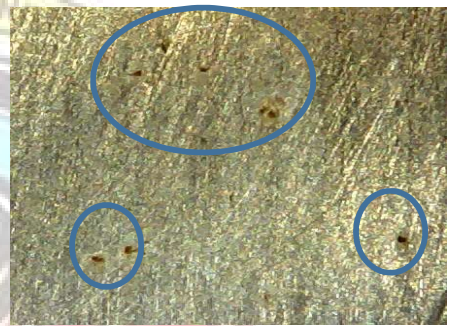


Sesudah

c. Pengulangan 3



Sebelum



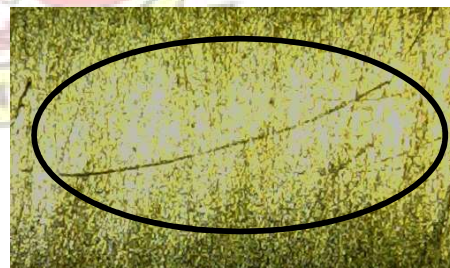
Sesudah

Hasil dari Mikroskop Digital Untuk Pengujian Variasi Debit dan Sudut α

1. $Q = 4,67 \times 10^{-4}$ dan $\alpha = 24^\circ$

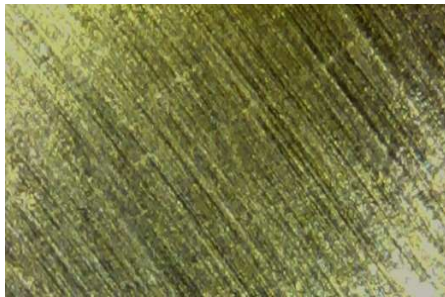


Sebelum

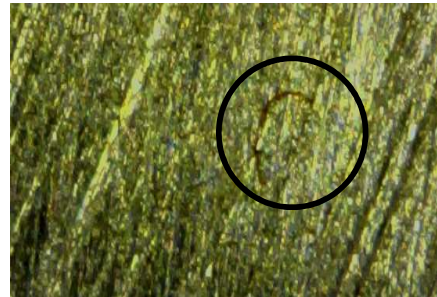


Sesudah

2. $Q = 4,67 \times 10^{-4}$ dan $\alpha = 22,5^\circ$



Sebelum

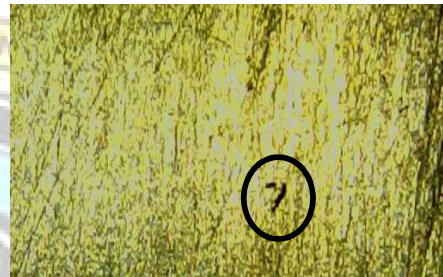


Sesudah

3. $Q = 4,33 \times 10^{-4}$ dan $\alpha = 24^\circ$

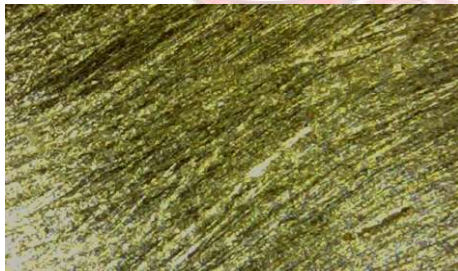


Sebelum



Sesudah

4. $Q = 4,33 \times 10^{-4}$ dan $\alpha = 22,5^\circ$



Sebelum

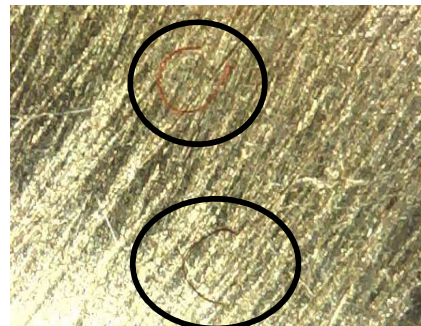


Sesudah

5. $Q = 4 \times 10^{-4}$ dan $\alpha = 24^\circ$



Sebelum

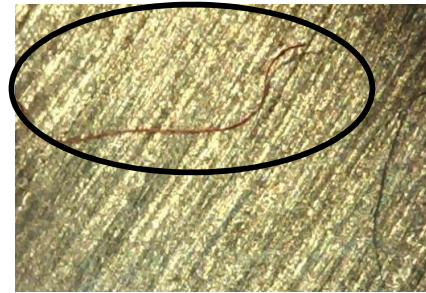


Sesudah

6. $Q = 4 \times 10^{-4}$ dan $\alpha = 22,5^\circ$



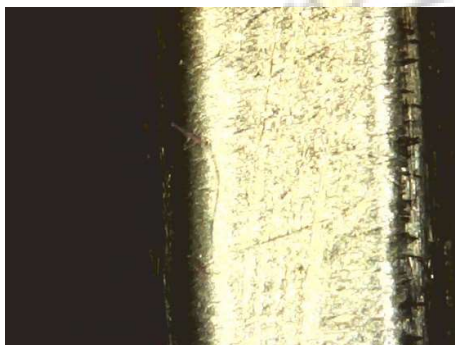
Sebelum



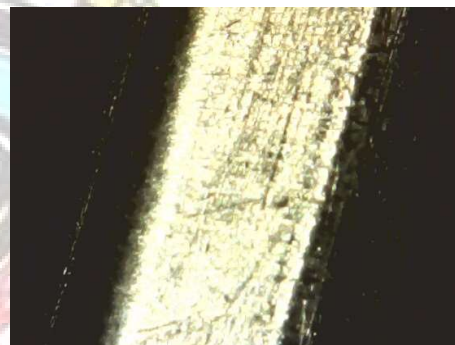
Sesudah

**Hasil dari Mikroskop Digital Untuk Pengujian Variasi Sudut α
Dengan $Q = \text{Konstan}$ ($4,67 \times 10^{-4}$ m/s)**

1. Sudut 5°



Sebelum

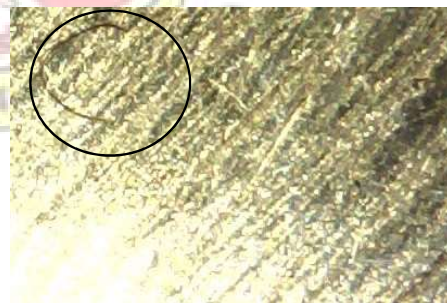


Sesudah

2. Sudut 10°

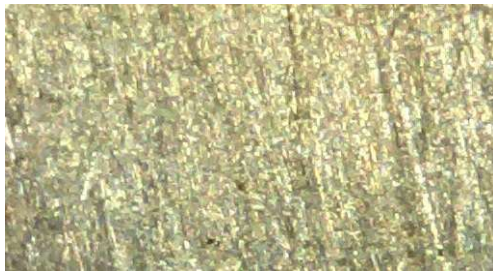


Sebelum

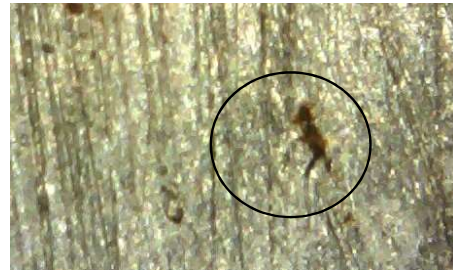


Sesudah

3. Sudut 15°



Sebelum



Sesudah

4. Sudut $22,5^\circ$



Sebelum



Sesudah

5. Sudut 24°



Sebelum



Sesudah

LAMPIRAN C
(DOKUMENTASI KEGIATAN)





Pengecatan rangka



Pengecatan *reservoir*



Pembuatan benda uji



Pemasangan saluran terbuka pada rangka



Perbaikan pompa



Pemasangan pompa



Pemasangan *flowmeter*



Pemasangan pipa



Pengisian air pada *reservoir*



Menimbang pasir



Menimbang benda uji sebelum dipasang pada alat pengujian



Pemasangan benda uji pada alat pengujian



Pengambilan data gambar dari mikroskop



The logo of Politeknik Negeri Ujung Pandang is a circular emblem. At the top, a yellow banner contains the text "POLITEKNIK NEGERI". The center features a blue gear with a yellow sunburst in the middle. Below the gear is a red and white stylized bird or flame-like shape. At the bottom, another yellow banner contains the text "UJUNG PANDANG".

LAMPIRAN D
(GAMBAR ALAT PENGUJIAN)



Tampak samping alat pengujian laju abrasi



Tampak depan pengujian laju abrasi