

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kajian Pustaka

Perkembangan tentang turbin pelton skala mikro telah banyak dilakukan penelitian. Berikut ini merupakan beberapa hasil penelitian yang berkaitan dengan pengaruh variasi bukaan *nozzle* terhadap kinerja pada turbin pelton skala mikro. Berdasarkan (Assauri, 2017) menunjukkan adanya pengaruh variasi bukaan *nozzle* pada kinerja turbin pelton, sehingga dapat disimpulkan bahwa:

Dari hasil pengujian pengaruh variasi jumlah *nozzle* dan bukaan katub terhadap daya listrik yang di hasilkan *prototype* turbin pelton dengan memvariasi jumlah *nozzle* yang digunakan yaitu 1 *nozzle*, 2 *nozzle*, dan 3 *nozzle*, serta bukaan katub 30 , 60 , dan 90 , dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jadi banyaknya *nozzle* yang digunakan mempengaruhi kinerja *prototype* turbin Pelton, terbukti pada penggunaan 3 *nozzle* menghasilkan daya listrik yang paling efektif dibanding penggunaan 1 *nozzle*, 2 *nozzle*.
2. Dari ketiga variasi jumlah *nozzle* yang digunakan. daya listrik yang paling efektif yaitu pada penggunaan 3 *nozzle* dan bukaan katub 90 dengan kecepatan aliran fluida 91,71 m/s, dan 411 rpm putaran puli runner menghasilkan daya listrik sebesar 10,5357 Watt. Berdasarkan penelitian (Wahab, 2019) dengan judul Pengaruh Variasi Jarak *Nozzle* Pada Model Sudu Turbin Pelton Berbahan Acrilyc Terhadap Daya Turbin didapatkan hasil penelitian sebagai berikut :

1. Perbedaan jarak semprot *nozzle* dan bukaan katup sangat mempengaruhi putaran poros turbin, poros alternator dan daya listrik yang di hasilkan. Perolehan laju putaran runner turbin pelton yang paling tertinggi di dapatkan dengan jarak semprot *nozzle* 50 mm saat pembukaan valve 90° dengan laju putaran alternator 2369 rpm, menghasilkan daya listrik sebesar 58,03 watt dengan debit aliran fluida (Q) yang di hasilkan sebanyak  $15,2 \cdot 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s sedangkan untuk di putaran rendah terdapat di jarak sembur 70 mm di pembukaan valve 30 ° dengan laju putaran alternator 918 rpm menghasilkan

daya listrik 10,20 watt, dengan debit aliran fluida ( $Q$ ) yang di hasilkan sebanyak  $10,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ .

2. Harga tertinggi untuk perolehan kecepatan aliran fluida di dapatkan pada jarak sembur *nozzle* 50 di pembukaan valve  $90^\circ$  ialah 16,67 m/s.
3. Semakin besar pembukaan valve maka makin besar laju aliran massa fluida yang di hasilkan, nilai paling tinggi di laju aliran *massa* fluida yaitu pada jarak 50 mm saat bukaan katup  $90^\circ$  memperoleh laju aliran *massa* fluida sebesar 1,51 kg/s dan menghasilkan debit aliran  $15,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ .
4. Pada nilai bilangan renold yang di hasilkan pada setiap percobaan yang mempengaruhi besar dan kecil bilangan renold ialah dari kecepatan fluida dan bukaan katup. kecepatan aliran fluida akan semakin besar dan jarak semprot nilai terbesar di dapatkan saat jarak semprot *nozzle* 50 mm di saat pembukaan valve  $90^\circ$ . Dan terbukti dari hasil analisa dari setiap pengambilan data percobaan, semua aliran yang di butuhkan untuk memutar *runner* turbin pelton.

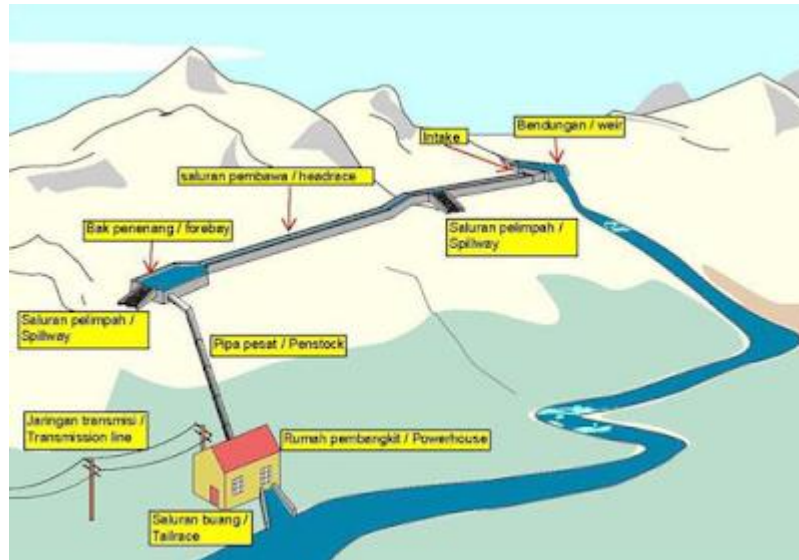
Berdasarkan penelitian Ari Aswari Purba, 2021 berjudul studi eksperimental pengaruh penggunaan jarum *Nozzle* terhadap unjuk kerja turbin pelton skala mikro, yaitu :

1. Putaran tercepat yang di hasilkan terjadi pada variasi bukaan 16 mm dari *nozzle* tertutup yaitu 586,6 rpm dan yang terkecil terjadi pada variasi tanpa *needle* yaitu 542,3 rpm.
2. Daya terbesar yang di hasilkan pada pengujian ini didapatkan pada variasi bukaan *nozzle* 16 mm sebesar 53,49 watt dan yang terkecil didapat dari pengujian tanpa *needle* yaitu 43 watt.

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Dari segi teknologi, PLTMH dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian

dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. (Mulyadi, 2017). Contoh dari prinsip kerja PLTMH diperlihatkan pada gambar 2.1.



(Sumber : Muchlisin, 2016)

**Gambar 2. 1** Prinsip Kerja PLTMH

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro dapat dipetakan sebagai suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen bangunan sipil serta komponen elektrikal dan mekanikal, sebagai berikut:

#### 1. Bendungan (Weir)

Bendungan (weir) atau waduk dapat adalah bangunan yang berada melintang sungai yang berfungsi untuk membelokkan arah aliran air. Konstruksi bendungan (weir) bertujuan untuk menaikkan dan mengontrol tinggi air dalam sungai secara signifikan sehingga elevasi muka air cukup untuk dialihkan ke dalam intake pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

#### 2. Saluran Penyadap

Saluran penyadap adalah bagian dari konstruksi sipil yang digunakan untuk masuknya air dari sungai menuju saluran pembawa dengan dilengkapi penghalang sampah.

### 3. Saluran Pembawa (Headrace)

Saluran pembawa berfungsi untuk mengalirkan air dari intake sampai ke kolam penenang. Selain itu, saluran ini juga berfungsi untuk mempertahankan kestabilan debit air. Saluran air untuk sebuah pembangkit skala kecil cenderung untuk memiliki bangunan yang terbuka.

### 4. Saluran Pelimpah (Spillway)

Saluran pelimpah berfungsi untuk mengurangi kelebihan air pada saluran pembawa.

### 5. Kolam Penenang (Forebay)

Kolam penenang berfungsi untuk mengendapkan dan menyaring kembali air agar kotoran tidak masuk dan merusak turbin. Selain itu, kolam penenang ini juga berfungsi untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke dalam pipa pesat.

### 6. Pipa Pesat (Penstock)

Pipa pesat (penstock) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari kolam penenang (forebay) menuju turbin air.

### 7. Rumah Pembangkit (Power House)

Pada rumah pembangkit ini terdapat turbin, generator dan peralatan lainnya. Bangunan ini menyerupai rumah dan diberi atap untuk melindungi peralatan dari hujan dan gangguan-gangguan lainnya.

### 8. Saluran Pembuang (Tailrace)

Saluran pembuang berfungsi untuk mengalirkan air keluar setelah memutar turbin.

### 9. Turbin

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Air akan memukul sudu-sudu dari turbin sehingga turbin berputar. Perputaran turbin ini dihubungkan ke generator. Turbin terdiri dari berbagai jenis seperti turbin Francis, Kaplan, Pelton, dan lain-lain.

## 10. Generator

Generator dihubungkan ke turbin dengan bantuan poros dan gearbox, memanfaatkan perputaran turbin untuk memutar kumparan magnet di dalam generator sehingga terjadi pergerakan elektron yang membangkitkan arus AC. Hampir semua energi listrik dibangkitkan dengan menggunakan mesin sinkron. Generator sinkron (sering disebut alternator) adalah mesin sinkron yang digunakan untuk mengubah daya mekanik menjadi daya listrik. Generator sinkron dapat berupa generator sinkron tiga fasa atau generator sinkron AC satu fasa tergantung dari kebutuhan.

## 11. Sistem Kontrol

Sistem kontrol berfungsi untuk menyeimbangkan energi input dan energi output dengan cara mengatur input (flow) atau mengatur output (listrik) sehingga sistem akan seimbang. Perubahan beban terhadap waktu peran sistem kontrol sangat penting untuk menjaga stabilitas sistem terutama kualitas listrik yang di hasilkan pembangkit (tegangan dan frekuensi). Tujuan pengontrolan pada PLTMH adalah untuk menjaga sistem elektrik dan mesin agar selalu berada pada daerah kerja yang diperbolehkan. Flow control dapat diartikan sebagai pengaturan besarnya daya hidrolis berupa debit air yang masuk ke turbin dengan mengatur katup turbin (guide vane).

## 12. Panel Hubung dan Lemari Hubung

Jenis dan pengaturan suatu panel hubung (switch board) ditentukan dengan memperhatikan jumlah unit peralatan, jumlah rangkaian saluran transmisi, sistem kontrol, jumlah petugas kerja (operating personel) serta skala dan pentingnya pusat listrik yang bersangkutan.

## 13. Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi terdiri dari kawat penghantar, tiang, isolator, dan transformator. Jaringan tersebut dapat menggunakan kawat penghantar berbahan aluminium atau bahan campuran lain. Pada jaringan distribusi tegangan rendah biasanya digunakan kawat penghantar berisolasi. Tiang pada saluran distribusi dapat berupa tiang baja, beton atau kayu. Isolator digunakan untuk memisahkan bagian-bagian yang aktif

atau bertegangan jika penghantar yang digunakan merupakan konduktor tanpa isolasi.

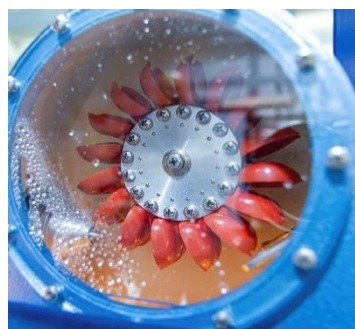
### 2.3 Turbin Air

Turbin air adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Turbin air digerakkan oleh air sebagai fluida kerjanya, air yang mengalir dari tempat yang lebih tinggi ketempat yang lebih rendah. Dalam hal ini air memiliki energi potensial diubah menjadi energi kinetic melalui aliran didalam pipa dan *nozzle*. Selanjutnya energi tersebut diubah lagi menjadi energi mekanis yang akan memutar poros turbin. (Mulyadi dkk., 2017)

Turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin implus dan turbin reaksi. .(Mahayana I Gusti Putu Andhita., 2020). Kedua jenis turbin ini mempunyai perbedaan pada prinsip konversi energi sehingga dapat dijelaskan sebagai berikut :

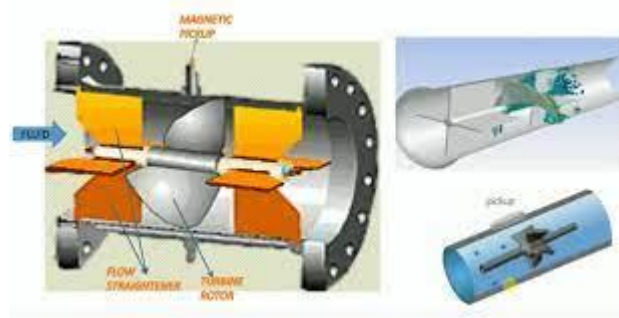
#### 1. Turbin impuls

Turbin impuls merupakan turbin air yang memiliki tekanan sama pada setiap sudu geraknya (runner). Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nosel. Air keluar nosel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls). Akibatnya roda turbin akan berputar. Jenis dari turbin impuls adalah turbin Pelton, turbin Turgo dan turbin Crossflow



(Sumber : [Armfield.co.uk](http://Armfield.co.uk))

**Gambar 2. 2** Turbin Pelton



(Sumber : prosesindustri.com)

**Gambar 2. 3** Turbin Pelton

## 2. Turbin reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Ciri turbin reaksi pada semua jenis turbin, baik turbin uap, turbin gas maupun turbin air, adalah bahwa Sebagian dan tekanan jatuh terjadi pada sudu tetap dan Sebagian lagi pada sudu berputar. Persamaan kontinuitas dapat digunakan pada perhitungan aliran melalui sudu berputar, karena seluruh fluida kerja memenuhi seluruh saluran sudu. Karena fluida masuk sudu berputar melalui seluruh tepi seksi masuk, maka untuk daya dan putaran yang sama, diameter nominalnya relatif kecil dibandingkan dengan turbin impuls. Contoh turbin reaksi adalah turbin Francis, Turbin Propeler, dan Turbin Kapla



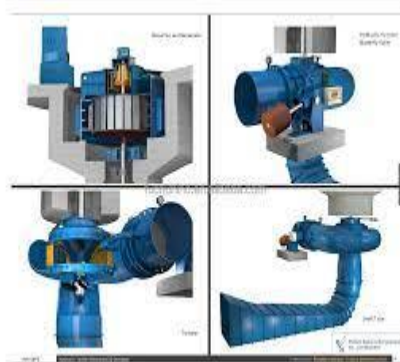
(Sumber : blog.wakafquran)

**Gambar 2. 4** Turbin *Propeller*



(Sumber : ciko.hydro energy)

**Gambar 2. 5** Turbin *Francis*



(Sumber : Wikimedia.com)

**Gambar 2. 6** Turbin Kaplan

#### 2.4 Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan salah satu jenis turbin impuls yang mana digerakan oleh energi kinetik air. *Nozzle* air yang berkecepatan tinggi mengenai *bucket runner* dan setelah menggerakkan *runner* air keluar pada kecepatan rendah, yang berarti air yang keluar Sebagian energinya tidak diserap oleh *runner*.

Turbin pelton ini diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih *Nozzle*. Aliran fluida yang ada di dalam pipa yang di hasilkan dari *head* akan keluar dengan kecepatan tinggi melalui *nozzle*. Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Tekanan air diubah menjadi kecepatan, pancaran air akan mengenai bagian tengah tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik. Prinsip kerja dari turbin pelton ini adalah mengubah gaya potensial air menjadi gaya mekanis yang terjadi akibat reaksi impuls pada *runner* turbin yang mana menyebabkan *runner* turbin berputar selagi ada pancaran air yang menyemprot sudu. Air disemprotkan



dari *nozzle* mengenai sudusudu turbin, maka *runner* dapat berputar untuk memutar *pulley* turbin yang terhubung ke *pulley* generator menggunakan *belt* sehingga generator dapat berputar.

Adapun kelebihan yang dimiliki turbin pelton dibandingkan dengan jenis turbin lain yaitu :

1. Daya yang di hasilkan turbin cukup besar
2. Konstruksi yang sederhana
3. Mudah dalam perawatan

Turbin pelton ini mempunyai 3 bagian utama,yaitu *Nozzle*, *runner*, dan sudu

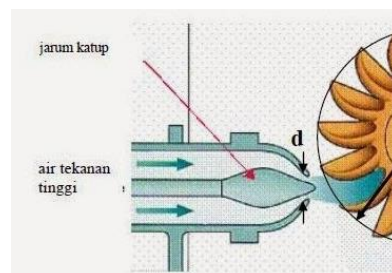
#### 1. *Nozzle*

Terdapat beberapa fungsi dari *nozzle*,yaitu :

1. Mengarahkan pancaran air ke sudu turbin
2. Mengubah tekanan menjadi energi kinetic
3. Mengatur kapasitas air yang masuk turbin

Pada *nozzle* terdapat jarum yang berfungsi untuk mengatur kapasitas dan mengkonsentrasikan air yang terpancar dimulut *nozzle*. Panjang jarum sangat menentukan tingkat konsentrasi air,makin Panjang jarum air makin terkonsentrasi. Untuk turbin pelton skala kecil / skala laboratorium, debit bisa diatur dengan hanya menggeser kedudukan jarum sudu.

Tujuan pengaturan ini adalah agar dapat menghindari terjadinya tekanan tumbukan yang besar dalam pipa pesat yang timbul akibat penumpukan *nozzle* secara tiba tiba Ketika beban turbin berkurang dengan tiba tiba,untuk mengurangu putaran turbin pada kondisi atas,pembelokkan pancaran akan berayun kedepan jarum *nozzle* terlebih dahulu sehingga pancaran air dari *nozzle* berbelok Sebagian.



(Sumber : PintarElektro.com)

**Gambar 2.7** *Nozzle*

## 2. *Runner*

Runner/roda jalan berfungsi sebagai roda yang memutar poros dari tekanan yang ditimbulkan air. Runner mempunyai jumlah sudu yang variatif terhadap diameter runner itu sendiri. Di bagian runner terdapat sudu-sudu yang berfungsi sebagai penampung tekanan air dari nosel sehingga air dapat dikonsentrasikan menjadi putaran.

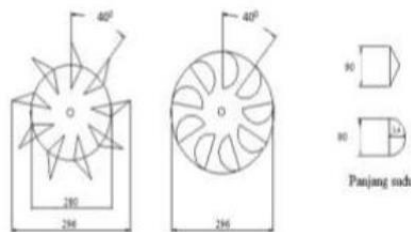


(Sumber : Wan,2019)

**Gambar 2. 8 Runner**

## 3. Sudu

Sudu turbin pelton berbentuk seperti mangkuk dengan bagian dalam yang melengkung ke arah dalam dan bagian atasnya berbentuk runcing. Pemanfaatan tinggi air jatuh (head) memiliki hubungan yang erat dengan bentuk sudu turbin. Untuk head jatuh air yang tinggi kelengkungan sudu akan lebih tajam semakin tinggi head jatuh air bentuk sudu akan semakin melengkung kedalam. Untuk tinggi air jatuh yang rendah kelengkungan sudu tidak terlalu melengkung.



(Sumber : Wiyono, 2018)

**Gambar 2. 9 Sudu**

## 2.5 Analisa Dimensi

Untuk merancang prototype Pembangkit listrik Tenaga Mikro Hidro skala laboratorium pada penelitian ini, di perlukan metode perbandingan kebutuhan yang dapat di aplikasi kan dilapangan dengan keadaan laboratorium sehingga di dapatkan

skala yang sesuai untuk dapat melakukan rancang bangun prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Laboratorium.

## 2.6 Prosedur Analisa Data

### 1. Menghitung kapasitas air (Q)

Daya air dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$Q=A.v.....(2.2)$$

Keterangan :

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/s)

v = Kecepatan aliran air (m/s<sup>2</sup>)

A = Luas penampang basah (m<sup>2</sup>)

### 2. Luas penampang ujung *nozzle* (A)

Untuk menghitung luas ujung *nozzle* yang menumbuk sudu turbin digunakan persamaan dibawah ini:

$$A =1/4 d^2.....(2.3)$$

Keterangan :

A = Luasan ujung *nozzle* (m)<sup>2</sup>

d = Diameter dalam *nozzle* (m)<sup>2</sup>

### 3. Kecepatan aliran (v)

Untuk menghitung kecepatan aliran, digunakan dengan persamaan dibawah ini:

$$v=\frac{Q}{A}.....(2.4)$$

Keterangan :

v = Kecepatan aliran (m/s)

Q = Debit aliran air (m<sup>3</sup>/s)

A = Luasan ujung *nozzle*

### 4. Perhitungan daya :

a. Daya hidrolis; Ph (Watt) adalah Potensi daya yang di hasilkan akibat tekanan hidrolis yang diukur dengan persamaan dibawah ini (Wiranto,2018) :

$$Ph = \rho. g. Q.H.....(2.5)$$

Keterangan :

Ph= Daya hidrolis (Watt)

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

$g$  = Gaya gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$Q$  = Debit aliran air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$H$  = Head turbin (m)

b. Daya kinetik jet air;  $P_k$  (Watt) dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

$P_k$  = Daya kinetis air (Watt)

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

$A$  = Luas penampang *nozzle* turbin ( $\text{m}^2$ )

$v$  = Kecepatan aliran (m/s)

#### 5 . Efisiensi turbin

Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$\pi = \frac{P_k}{P_h} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

$\pi$  = Efisiensi turbin (%)

$P_k$  = Daya kinetik (Watt)

$P_h$  = Daya hidrolis air (Watt)

#### 6. Hukum Kontinuitas

Secara matematis Hukum Kontinuitas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q_1 = Q_2$$

$$Q_2 = Q_3 + Q_4$$

Keterangan :

$Q_1$  = Debit aliran yang masuk sebelum bangunan penangkap air

$Q_2$  = Debit aliran setelah melalui bangunan penangkap air

$Q_3$  = Debit aliran yang melalui bangunan penangkap air

$Q_4$  = Debit aliran yang melimpas tidak melalui bangunan penangkap air

Debit atau  $Q$  merupakan jumlah volume fluida yang mengalir per satuan waktu atau secara matematis ditulis :

$$Q = \frac{V}{t}$$

Maka Hukum Kontinuitas dapat dituliskan juga menjadi :

$$A_1v_1=A_2v_2=\dots = \text{Konstan} \dots\dots\dots(2.8)$$

Setelah dihitung dengan persamaan diatas, didapat lah nilai nilai yang diinginkan sehingga dapat dibuat grafik hubungan antara debit air menggunakan penangkap air dan debit air tidak menggunakan penangkap air,serta hubungan debit air dengan pengaruh bukaan *nozzle*, serta model penangkap air untuk mendapat hasil yang optimal dari uji coba tersebut.