

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab hasil pembahasan berisikan data hasil dari pengujian alat dan menjelaskan analisa data yang diperoleh ketika pengujian performa *test bed* turbin Pelton poros horizontal. Analisa data diperoleh dari perhitungan sesuai dengan persamaan-persamaan yang dirujuk pada bab sebelumnya. Analisa mengarah pada rumusan masalah yang diajukan selama pelaksanaan proyek akhir dengan topik yang dibahas yaitu “Rancang Bangun *Test Bed* Turbin Pelton Poros Horizontal untuk Laboratorium Konversi Energi”.

4.1 Hasil Perancangan dan Pabrikasi *Test Bed* Turbin Pelton Poros Horizontal

Setelah dilakukan semua proses perancangan sampai dengan pengujian *test bed*. Prototipe *test bed* turbin Pelton poros horizontal yang telah dirancang dapat dilakukan pengambilan data dan sebagai alat pembelajaran pada laboratorium. Pada *test bed* turbin Pelton ini, aliran air yang bekerja untuk menggerakkan *runner* turbin Pelton menggunakan sistem *closed loop flow*. Dimana aliran air disalurkan oleh pompa menuju pipa *penstock* dan disebarkan oleh *nozzle* ke turbin Pelton dan kemudian air kembali lagi menuju *storage water tank*. *Test bed* turbin Pelton ini memiliki komponen utama yang menunjang semua sistem dapat berjalan. Berikut ini merupakan spesifikasi dari komponen utama *test bed* turbin Pelton seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Dimensi dan spesifikasi *test bed* turbin Pelton poros horizontal

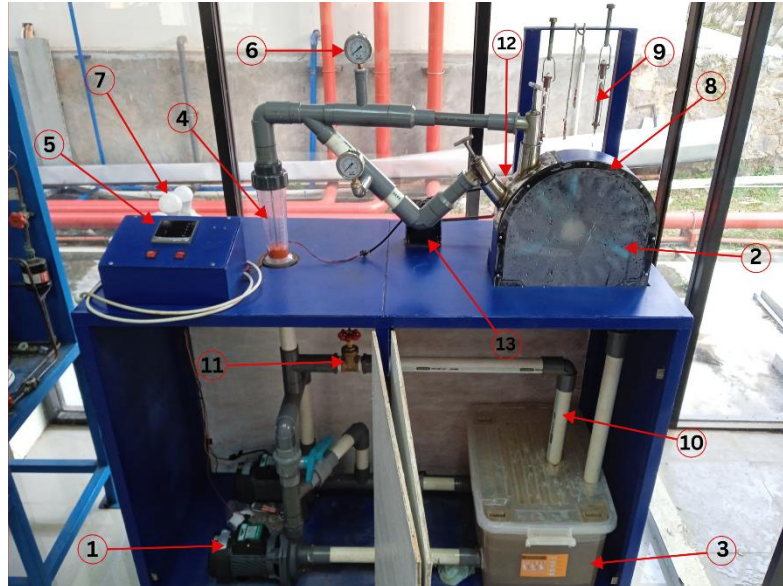
No.	Kondisi operasi komponen	Nilai
1.	Dimensi P x L x T	1,5 x 0,65 x 2 meter
2.	Debit	2 – 6 m^3/h
3.	<i>Head</i> operasional	8 – 20 meter
4.	Putaran turbin maksimum	650 rpm
5.	Jumlah <i>bucket</i>	21, 19, dan 17
6.	Diameter <i>runner</i>	329,6 mm
7.	Lebar <i>bucket</i>	72,6 mm
8.	<i>Angle of deflection</i>	8°
9.	Jumlah <i>nozzle</i>	2
10.	Diameter <i>nozzle</i>	23,5 mm
10.	Rasio transmisi	1 : 2
11.	Generator	AC generator 200 watt, 3000 rpm dengan permanen magnet

Test bed turbin Pelton memiliki komponen utama yang menjadi parameter dan memiliki fungsi penting pada sistem instalasi prototipe tersebut. Berikut ini merupakan komponen-komponen utama yang terdapat pada *test bed* turbin Pelton poros horizontal seperti yang dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1:

1. Pompa sentrifugal
2. *Runner* turbin Pelton
3. *Storage water tank*
4. *Flowmeter*
5. *Control panel*
6. *Pressure gauge*
7. Bohlam lampu
8. *Cassing turbin*
9. Newton meter
10. Pipa *bypass*
11. *Gate valve bypass*

12. Nozzle

13. Generator



Gambar 4.1 *Test bed* turbin Pelton poros horizontal

4.2 Data Penelitian

Proses pengambambilan data penelitian *test bed* turbin Pelton poros horizontal disajikan dalam bentuk tabel untuk mempermudah proses perhitungan serta analisis. Data penelitian yang telah dikumpulkan kemudian dilakukan perhitungan sehingga mendapatkan parameter yang akan dibahas seperti torsi, daya hidrolis, daya turbin, daya generator, efisiensi, dan lain-lain. Hasil pengambilan data tersebut dapat dilihat pada Lampiran 6.

4.3 Pengolahan Data

Pengolahan data merupakan bentuk kalkulasi data yang telah didapat dari perhitungan menggunakan persamaan yang dirujuk dari tinjauan pustaka.

Pengolahan data ini bertujuan untuk mengetahui hasil akhir dari *output* turbin Pelton sesuai dengan rumusan masalah yang diajukan. Penulis mengambil contoh perhitungan uji performa *test bed* turbin Pelton poros horizontal dengan menggunakan jumlah *bucket* 19, *head* 10 meter, dan variasi debit $5 \text{ m}^3/\text{h}$. Berikut ini merupakan proses pengolahan data unjuk kerja *test bed* turbin Pelton poros horizontal:

4.3.1 Perhitungan *Head*

Tinggi air jatuh (*head*) ini dihitung menggunakan parameter tekanan pada bagian *inlet nozzle*. Besarnya *head* akan berpengaruh terhadap daya hidrolis yang dimiliki oleh aliran fluida. Berikut ini merupakan Persamaan (2.8) yang digunakan untuk menghitung *head* dari sistem *test bed* turbin Pelton (Fahrudin and Mulyadi, 2018).

$$P_0 = \rho \cdot g \cdot H$$

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g}$$

Diketahui bahwa,

$$P : 1 \text{ kg/cm}^2 = 98066,5 \text{ N/m}^2$$

$$\rho : 998,7 \text{ kg/m}^3$$

$$g : 9,81 \text{ m/s}^2$$

sehingga,

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g}$$

$$H = \frac{98066,5 \text{ N/m}^2}{9,81 \text{ m/s}^2 \times 998,7 \text{ kg/m}^3}$$

$$H = 10 \text{ m}$$

pada perhitungan ini didapatkan nilai *head* sebesar 10 m. Secara keseluruhan dari hasil perhitungan *head* aktual yang digunakan untuk pengambilan semua data yaitu pada *head* 10 meter.

4.3.2 Perhitungan Daya Hidrolis

Daya hidrolis merupakan daya teoritis yang dapat dihasilkan oleh suatu fluida yang mengalir pada *head* dan debit tertentu. Setelah mengetahui parameter *head* dan debit aliran fluida, selanjutnya menghitung daya hidrolis pada sistem *test bed*. Berikut ini merupakan Persamaan (2.10) yang digunakan untuk menghitung daya hidrolis (Zhang, 2016).

$$P_0 = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Diketahui bahwa,

$$Q : 5 \text{ m}^3/h = 0,001388 \text{ m}^3/s$$

$$H : 10 \text{ m}$$

$$g : 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\rho : 998,7 \text{ kg/m}^3$$

sehingga,

$$P_0 = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

$$P_0 = 998,7 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,001388 \text{ m}^3/s \cdot 10 \text{ m}$$

$$P_0 = 136,34 \text{ watt}$$

pada perhitungan daya hidrolis diatas didapatkan nilai 136,34 watt. Secara keseluruhan hasil perhitungan secara lengkap dari daya hidrolis pengambilan data dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan daya hidrolis *test bed* turbin Pelton
pada *head* 10 meter

Jumlah <i>bucket</i>	Debit (m^3/h)	Daya hidrolis (watt)
<i>Head</i> 10 meter		
21	2	54,54
	2,5	68,17
	3	81,81
	3,5	95,44
	4	109,07
	4,5	122,71
	5	136,34
	5,5	149,98
	6	163,61
19	2	54,54
	2,5	68,17
	3	81,81
	3,5	95,44
	4	109,07
	4,5	122,71
	5	136,34
	5,5	149,98
	6	163,61
17	2	54,54
	2,5	68,17
	3	81,81
	3,5	95,44
	4	109,07
	4,5	122,71
	5	136,34
	5,5	149,98
	6	163,61

4.3.3 Perhitungan Torsi

Nilai torsi dapat diketahui dari beban gaya yang dapat dibebankan oleh turbin Pelton dan jari-jari dari permukaan kontak beban seperti yang dapat ditunjukkan dalam Persamaan (2.15). Torsi ini merupakan hal penting untuk menentukan daya turbin dan kebutuhan dari generator yang akan dipakai pada sistem *test bed* turbin Pelton ini. Berikut merupakan proses perhitungan dari torsi turbin Pelton (Khurmi and Gupta, 2005).

$$T = \Delta F \times r$$

Diketahui bahwa,

$$\Delta F : 3,9 \text{ N}$$

$$r : 0,0508 \text{ m}$$

sehingga,

$$T = \Delta F \times r$$

$$T = 3,9 \text{ N} \times 0,0508 \text{ m}$$

$$T = 0,198 \text{ Nm}$$

nilai torsi yang digerakkan oleh turbin Pelton dari hasil perhitungan didapatkan nilai 0,198 Nm. Berikut ini merupakan nilai keseluruhan dari torsi yang digerakkan oleh turbin Pelton seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan torsi *test bed* turbin Pelton
pada *head* 10 meter

Jumlah <i>bucket</i>	Debit (m^3/h)	Torsi (Nm)
<i>Head</i> 10 meter		
21	2	0,178
	2,5	0,193
	3	0,198
	3,5	0,198
	4	0,193
	4,5	0,188
	5	0,188
	5,5	0,203
	6	0,229
19	2	0,1727
	2,5	0,1829
	3	0,1880
	3,5	0,1981
	4	0,1829
	4,5	0,1930
	5	0,1981
	5,5	0,2032
	6	0,2134
17	2	0,173
	2,5	0,188

Tabel 4.3 Hasil perhitungan torsi *test bed* turbin Pelton
pada *head* 10 meter (lanjutan)

Jumlah <i>bucket</i>	Debit (m^3/h)	Torsi (Nm)
<i>Head</i> 10 meter		
17	3	0,198
	3,5	0,203
	4	0,173
	4,5	0,193
	5	0,203
	5,5	0,208
	6	0,218

4.3.4 Perhitungan Daya Turbin

Setelah diketahui torsi yang dapat digerakkan oleh turbin dengan putaran tertentu, selanjutnya mencari daya yang dapat dihasilkan oleh turbin Pelton dengan jumlah *bucket* 19, *head* 10 meter, dan variasi debit $5 m^3/h$. Berikut ini merupakan proses perhitungan daya turbin menggunakan Persamaan (2.16) dan (2.17) (Khurmi and Gupta, 2005; Wicaksana and Istiqlaliyah, 2023).

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60}$$

$$P_t = T \times \omega$$

Diketahui bahwa,

$$N : 225,3 \text{ rpm}$$

sehingga,

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3,1429 \times 225,3 \text{ rpm}}{60}$$

$$\omega = 23,603 \text{ rad/s}$$

didapatkan nilai kecepatan sudut sebesar 23,603 rad/s sehingga dapat dihitung sebagai berikut.

$$P_t = T \times \omega$$

$$P_t = 0,198 \text{ Nm} \times 23,603 \text{ rad/s}$$

$$P_t = 4,676 \text{ watt}$$

Dari hasil perhitungan daya turbin Pelton dengan menggunakan jumlah *bucket* 19, *head* 10 meter, dan variasi debit 5 m^3/h didapatkan hasil 4,676 watt. Secara keseluruhan hasil perhitungan daya turbin yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan daya turbin *test bed* pada *head* 10 meter

Jumlah <i>bucket</i>	Debit (m^3/h)	Daya turbin (<i>watt</i>)
<i>Head</i> 10 meter		
21	2	2,157
	2,5	4,217
	3	5,563
	3,5	6,768
	4	6,953
	4,5	3,917
	5	4,606
	5,5	5,452
	6	7,486
19	2	2,168
	2,5	4,113
	3	5,421
	3,5	6,986
	4	7,125
	4,5	4,152
	5	4,676
	5,5	5,273
	6	6,652
17	2	1,515
	2,5	3,678
	3	5,818
	3,5	6,744
	4	6,453
	4,5	3,590
	5	4,622

Tabel 4.4 Hasil perhitungan daya turbin *test bed* pada *head* 10 meter (lanjutan)

Jumlah <i>bucket</i>	Debit (m^3/h)	Daya turbin (<i>watt</i>)
<i>Head</i> 10 meter		
17	5,5	5,592
	6	6,964

4.3.5 Perhitungan Daya Generator

Daya generator merupakan daya akhir hasil *output* turbin Pelton yang berfungsi untuk menghasilkan arus listrik. Daya generator memiliki parameter tegangan, kuat arus, dan frekuensi yang dihasilkan oleh generator. Daya generator ini dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.18) berikut (A. Imran, 2024).

$$P_g = V \times I$$

Diketahui bahwa,

$$V : 3,828 \text{ Volt}$$

$$I : 0,665 \text{ A}$$

sehingga,

$$P_g = V \times I$$

$$P_g = 3,828 \text{ Volt} \times 0,665 \text{ A}$$

$$P_g = 2,544 \text{ watt}$$

hasil perhitungan daya generator yang didapatkan dari pengambilan data didapatkan nilai daya generator sebesar 2,544 watt. Berikut ini merupakan daya generator keseluruhan pengambilan data *test bed* turbin Pelton poros horizontal yang dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan daya generator *test bed* turbin Pelton
pada *head* 10 meter

Jumlah <i>bucket</i>	Debit (m^3/h)	Daya generator (<i>watt</i>)
<i>Head</i> 10 meter		
21	2	0
	2,5	0
	3	2,544
	3,5	3,219
	4	3,778
	4,5	2,236
	5	2,705
	5,5	3,219
	6	3,588
19	2	0
	2,5	0
	3	2,705
	3,5	3,219
	4	3,778
	4,5	2,236
	5	2,544
	5,5	3,044
	6	3,219
17	2	0
	2,5	0
	3	2,705
	3,5	3,219
	4	3,401
	4,5	2,544
	5	3,044
	5,5	3,401
	6	3,778

4.3.6 Perhitungan Efisiensi Hidrolik

Setelah menghitung daya hidrolik dan daya turbin, langkah selanjutnya menghitung efisiensi hidrolik yang dihasilkan oleh *test bed* turbin Pelton poros horizontal. Efisiensi hidrolik merupakan perbandingan *presentase* antara daya turbin dengan daya hidrolik dari aliran fluida. Berikut ini merupakan proses perhitungan efisiensi hidrolik menggunakan Persamaan (2.19) (Handayani, 2014).

$$\eta_h = \frac{P_t}{P_0} \times 100$$

Diketahui bahwa,

$$P_t : 4,676 \text{ watt}$$

$$P_0 : 136,34 \text{ watt}$$

sehingga,

$$\eta_h = \frac{P_t}{P_0} \times 100$$

$$\eta_h = \frac{4,676 \text{ watt}}{136,34 \text{ watt}} \times 100$$

$$\eta_h = 3,43 \%$$

dari hasil perhitungan efisiensi hidrolik turbin Pelton dengan menggunakan jumlah *bucket* 19, *head* 10 meter, dan variasi debit $5 \text{ m}^3/\text{h}$ didapatkan hasil 3,43 %. Secara keseluruhan hasil perhitungan efisiensi hidrolik yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan efisiensi hidrolik *test bed* turbin Pelton pada *head* 10 meter

Jumlah <i>bucket</i>	Debit (m^3/h)	Efisiensi hidrolik (%)
<i>Head</i> 10 meter		
21	2	3,955
	2,5	6,185
	3	6,800
	3,5	7,092
	4	6,374
	4,5	3,192
	5	3,378
	5,5	3,635
	6	4,576
19	2	3,975

Tabel 4.6 Hasil perhitungan efisiensi hidrolik *test bed* turbin Pelton
pada *head* 10 meter (lanjutan)

Jumlah <i>bucket</i>	Debit (m^3/h)	Efisiensi hidrolik (%)
<i>Head</i> 10 meter		
19	2,5	6,034
	3	6,627
	3,5	7,320
	4	6,533
	4,5	3,384
	5	3,430
	5,5	3,516
	6	4,066
17	2	2,777
	2,5	5,396
	3	7,112
	3,5	7,066
	4	5,916
	4,5	2,925
	5	3,390
	5,5	3,729
	6	4,256

4.3.7 Perhitungan Efisiensi Mekanis

Efisiensi mekanis merupakan *presentase* antara daya yang dihasilkan generator dengan daya turbin. Efisiensi mekanis ini menunjukkan seberapa efektif transmisi antara turbin dengan generator. Menurunnya efisiensi mekanis ini dipengaruhi oleh faktor kerugian-kerugian gesekan akibat transmisi. Berikut ini merupakan proses perhitungan dari efisiensi mekanis menurut Persamaan (2.20) (Handayani, 2014).

$$\eta_m = \frac{P_g}{P_t} \times 100$$

Diketahui bahwa,

$$P_g : 2,544 \text{ watt}$$

$$P_t : 4,676 \text{ watt}$$

sehingga,

$$\eta_m = \frac{P_g}{P_t} \times 100$$

$$\eta_m = \frac{2,544 \text{ watt}}{4,676 \text{ watt}} \times 100$$

$$\eta_m = 54,403 \%$$

hasil perhitungan efisiensi mekanis dari pengambilan data ini didapatkan nilai 54,403 %, dan keseluruhan hasil efisiensi mekanis dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan efisiensi mekanis *test bed* turbin Pelton pada *head* 10 meter

Jumlah <i>bucket</i>	Debit (m^3/h)	Efisiensi mekanis (%)
<i>Head</i> 10 meter		
21	2	0
	2,5	0
	3	45,735
	3,5	47,559
	4	54,340
	4,5	57,097
	5	58,723
	5,5	59,045
19	6	47,925
	2	0
	2,5	0
	3	49,892
	3,5	46,076
	4	53,025
	4,5	53,862
	5	54,403
17	5,5	57,720
	6	48,392
	2	0
	2,5	0
	3	46,489

Tabel 4.7 Hasil perhitungan efisiensi mekanis *test bed* turbin Pelton pada *head* 10 meter (lanjutan)

Jumlah <i>bucket</i>	Debit (m^3/h)	Efisiensi mekanis (%)
<i>Head</i> 10 meter		
17	3,5	47,732
	4	52,707
	4,5	70,871
	5	65,855
	5,5	60,813
	6	54,255

4.3.8 Perhitungan Efisiensi Energi

Efisiensi energi merupakan keseluruhan perhitungan dari hasil konversi menjadi listrik. Efisiensi energi ini dapat diketahui dari perbandingan antara daya listrik yang dihasilkan oleh generator dengan daya hidrolis dari semburan air pada sistem turbin Pelton. Berikut ini merupakan contoh perhitungan dari efisiensi energi pada jumlah *bucket* 19, *head* 10 meter, dan variasi debit 5 m^3/h menggunakan Persamaan (2.21).

$$\eta = \frac{P_g}{P_0} \times 100$$

Diketahui bahwa,

$$P_0 : 136,34 \text{ watt}$$

$$P_g : 2,544 \text{ watt}$$

sehingga,

$$\eta = \frac{P_g}{P_0} \times 100$$

$$\eta = \frac{2,544 \text{ watt}}{136,34 \text{ watt}} \times 100$$

$$\eta = 1,866 \%$$

hasil perhitungan efisiensi energi dari pengambilan data ini didapatkan nilai 1,866 %, dan keseluruhan hasil efisiensi energi dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil perhitungan efisiensi energi *test bed* turbin Pelton pada *head* 10 meter

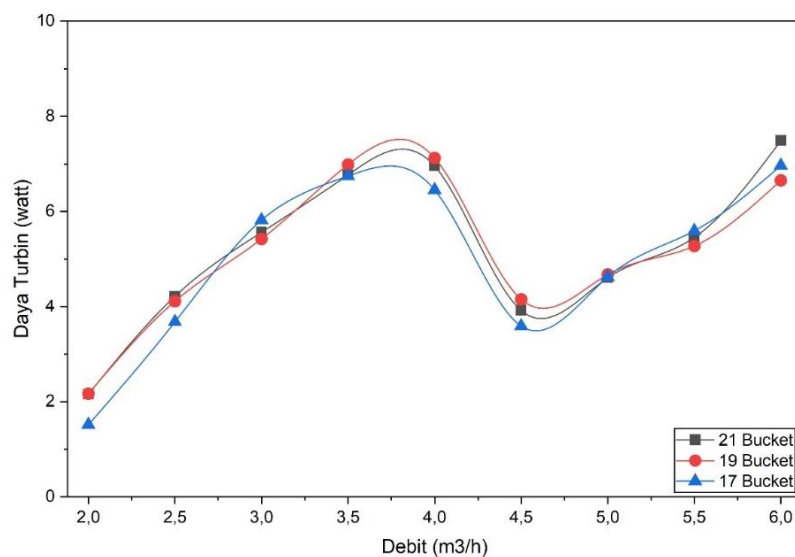
Jumlah <i>bucket</i>	Debit (m^3/h)	Efisiensi energi (%)
<i>Head</i> 10 meter		
21	2,5	0
	3	3,110
	3,5	3,373
	4	3,464
	4,5	1,822
	5	1,984
	5,5	2,146
	6	2,193
19	2	0
	2,5	0
	3	3,306
	3,5	3,373
	4	3,464
	4,5	1,822
	5	1,866
	5,5	2,029
17	6	1,967
	2	0
	2,5	0
	3	3,306
	3,5	3,373
	4	3,118
	4,5	2,073
	5	2,232
	5,5	2,268
	6	2,309

4.4 Pengaruh Debit terhadap Daya Turbin pada *Head* 10 Meter dan Jumlah

Bucket 17, 19, 21

Berdasarkan grafik pengaruh debit air terhadap daya turbin Pelton pada *head* 10 meter seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2, terlihat bahwa daya turbin

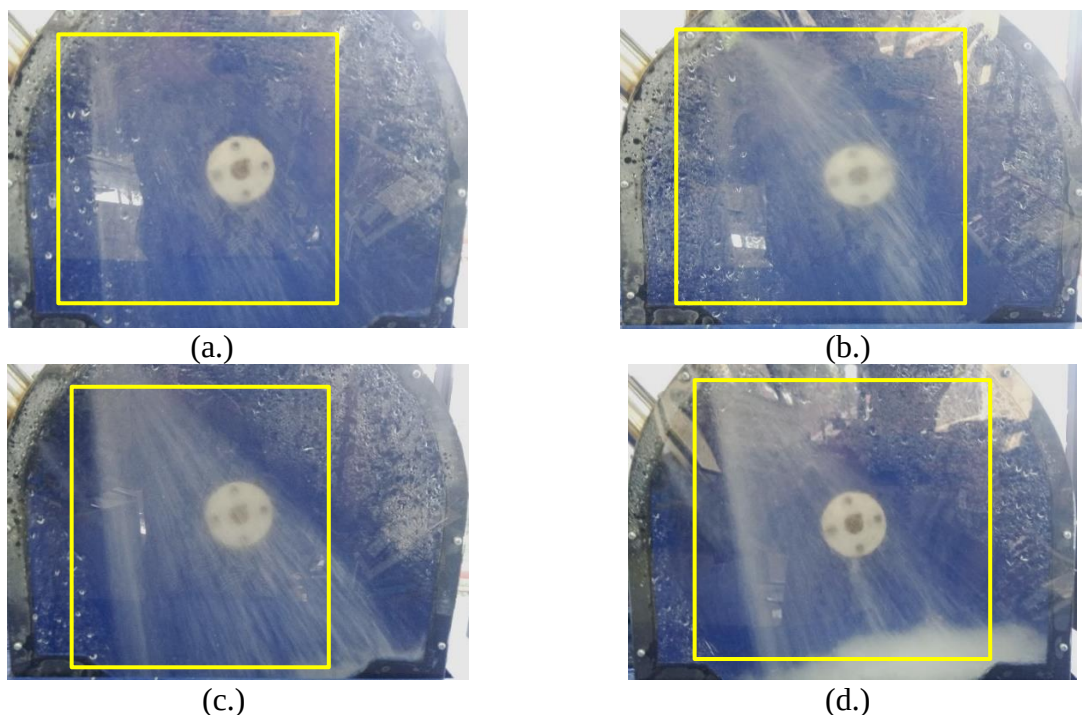
meningkat saat terjadi kenaikan debit. Nilai daya turbin tertinggi terjadi saat debit air $6 \text{ m}^3/\text{h}$ pada jumlah *bucket* 21 dengan nilai sebesar 7,486 watt. Sedangkan daya turbin terendah ditunjukkan pada percobaan debit $2 \text{ m}^3/\text{h}$ pada jumlah sudu 17 dengan nilai sebesar 2,03 watt. Daya turbin meningkat dari debit $2 \text{ m}^3/\text{h}$ sampai dengan debit $4 \text{ m}^3/\text{h}$ dengan nilai tertinggi 7,125 watt untuk jumlah *bucket* 19. Fenomena penurunan performa terjadi pada debit 4 sampai $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Kemudian daya turbin kembali naik pada penambahan debit selanjutnya sampai percobaan $6 \text{ m}^3/\text{h}$. Penelitian yang dilakukan oleh (Kholifah *et al.*, 2018) juga menunjukkan percobaan diameter *nozzle* 9 mm, *head* 3,6 dan 4,6 m pada debit $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$ secara menghasilkan daya tertinggi secara berturut-turut dengan nilai 13,65 watt dan 16,89 watt.



Gambar 4.2 Grafik pengaruh debit air terhadap daya turbin pada *head* 10 meter

Penurunan daya secara drastis seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.2 terjadi pada debit $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$ untuk semua variasi jumlah *bucket* dengan nilai daya turbin rata-rata 3,886 watt. Pada umumnya, seiring dengan penambahan

debit air yang terjadi akan meningkatkan daya turbin yang dihasilkan. Hal ini berkebalikan dengan penelitian yang dilakukan ketika pada debit tertentu kondisi daya turbin yang dihasilkan justru menurun. Penurunan daya turbin ini diakibatkan oleh ketidaksempurnaan *nozzle* saat mengenai permukaan *bucket* turbin Pelton seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 serta keterbatasan pada *test bed* turbin Pelton yang telah dirancang. Sejalan dengan penelitian dan simulasi yang dilakukan oleh (Jung *et al.*, 2019) menunjukkan nilai ketidaksejajaran sumbu pada *nozzle* dengan *adjustment* sebesar 0,24 mm sampai dengan 1,24 mm mengakibatkan semburan air pada *outlet nozzle* kurang maksimal. Semburan air yang kurang maksimal berdampak secara signifikan pada performa turbin Pelton. Hal ini menegaskan pentingnya perancangan *nozzle* yang memiliki semburan optimal untuk mendapatkan daya turbin yang maksimal.

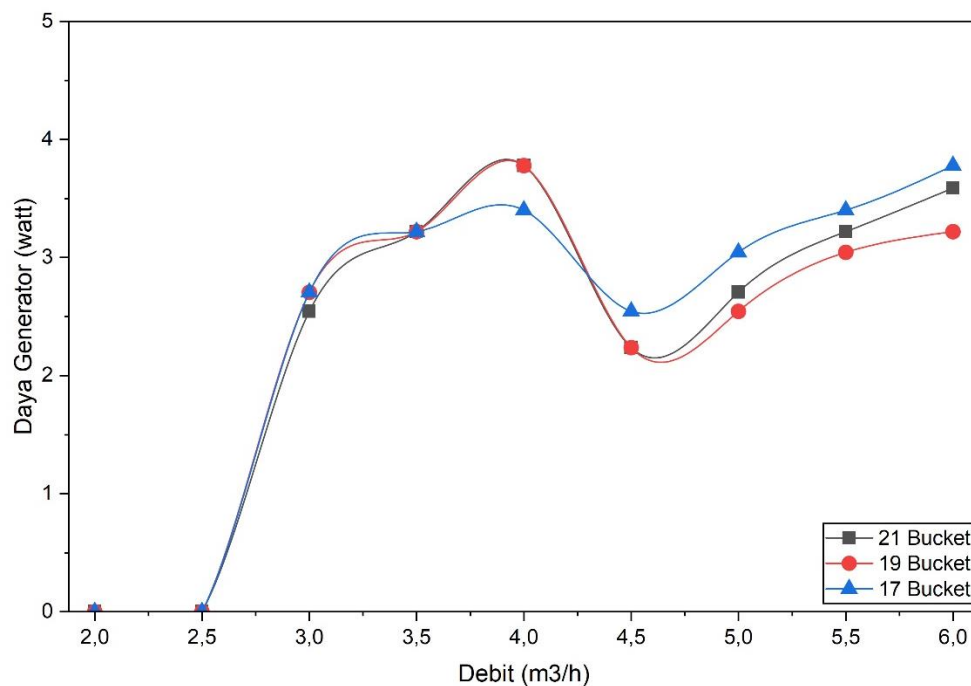


Gambar 4.3 Semburan air pada *outlet nozzle* dengan berbagai kondisi debit (a.) semburan *nozzle* pada debit air $2 \text{ m}^3/\text{h}$, (b.) semburan *nozzle* pada debit air $3 \text{ m}^3/\text{h}$, (c.) semburan *nozzle* pada debit air $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$, dan (d.) semburan *nozzle* pada debit air $6 \text{ m}^3/\text{h}$.

4.5 Pengaruh Debit terhadap Daya Generator pada *Head* 10 Meter dan Jumlah *Bucket* 17, 19, 21

Dari pengaruh debit terhadap grafik daya generator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4, terlihat bahwa kenaikan debit air akan meningkatkan daya generator yang dihasilkan. Pada saat percobaan dengan menggunakan debit 2 dan $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ tidak ada energi listrik yang dihasilkan oleh generator, akan tetapi generator berputar dengan kecepatan dibawah 160 rpm. Daya listrik yang dihasilkan oleh generator pada semua jenis percobaan variasi jumlah *bucket* ketika percobaan debit aliran $3 \text{ m}^3/\text{h}$, dan $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ memiliki nilai yang sama secara berturut-rurut 2,705 watt dan 3,219 watt. Daya listrik tertinggi yang dihasilkan oleh generator yaitu pada debit $4 \text{ m}^3/\text{h}$ bernilai 3,778 watt dengan jumlah *bucket* 19 dan 21. Penurunan daya generator juga terjadi pada pola yang sama dengan daya turbin yaitu pada debit $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$ memiliki nilai terendah sebesar 2,236 watt. Kenaikan daya generator terjadi kembali pada percobaan debit $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$ sampai $6 \text{ m}^3/\text{h}$. Sebagai contoh pada percobaan $6 \text{ m}^3/\text{h}$ variasi jumlah *bucket* 17 memiliki daya generator sebesar 3,778 watt.

Selain itu, penelitian yang telah dilakukan (Kholifah *et al.*, 2018) dengan menggunakan diameter *bucket* 17 mm, jumlah sudu 22, diameter *runner* 300 mm, rasio transmisi 1:2, dan menggunakan generator permanen magnet AC 200 watt menunjukkan daya listrik yang dihasilkan oleh turbin Pelton mengalami penurunan pada debit tertentu. Menurut penelitian ini, daya terbesar yang dihasilkan oleh turbin Pelton terjadi pada kondisi *head* 4,6 meter dan diameter *nozzle* 9 mm dengan nilai 16,89 watt. Sedangkan daya terendah didapatkan nilai 7,73 watt pada kondisi *head* 3,6 meter dan diameter *nozzle* 5 mm.

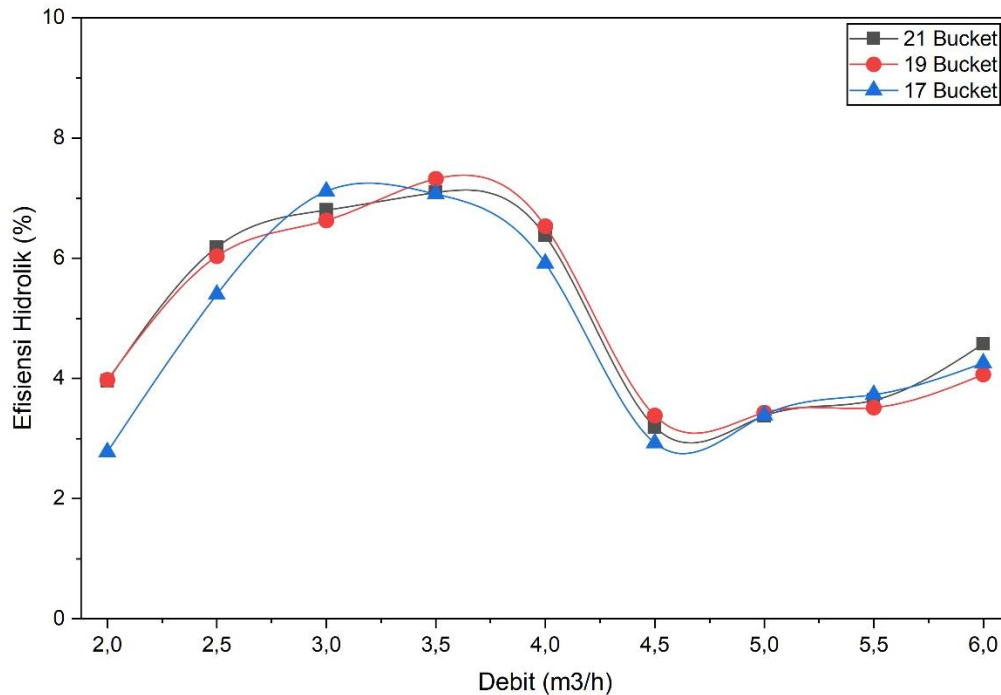


Gambar 4.4 Grafik pengaruh debit air terhadap daya generator pada *head* 10 meter

4.6 Pengaruh Debit terhadap Efisiensi Hidrolik pada *Head* 10 Meter dan Jumlah *Bucket* 17, 19, 21

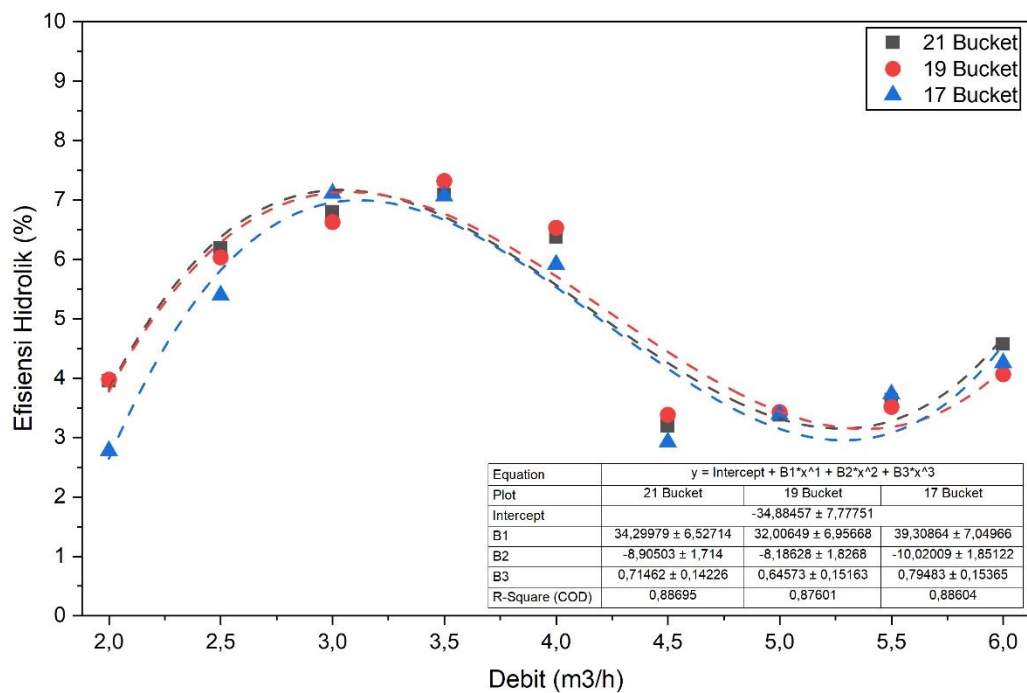
Dari grafik pengaruh debit terhadap efisiensi hidrolik yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 efisiensi hidrolik mengalami penurunan secara signifikan pada percobaan debit $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$ dikarenakan semburan air kurang efektif mengenai sudu turbin. Nilai efisiensi hidrolik mengalami penurunan disebabkan nilai daya turbin yang dihasilkan lebih jauh kecil dibandingkan *input* daya hidrolik. Efisiensi hidrolik paling tinggi dihasilkan pada percobaan debit $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$ jumlah *bucket* 19 dengan nilai 7,32%. Sedangkan efisiensi hidrolik terendah ditunjukkan pada percobaan debit $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$, dan jumlah *bucket* 17 dengan nilai 2,93%. Studi yang dilakukan oleh (Rafae Alomar *et al.*, 2022) menunjukkan, nilai efisiensi hidrolik pada percobaan dengan menggunakan daya turbin konstan 20 watt dengan

debit 85 liter/menit, dan menggunakan diameter *nozzle* 12,5 mm menghasilkan nilai efisiensi daya terendah 2,5%.



Gambar 4.5 Grafik pengaruh debit terhadap efisiensi hidrolik pada *head* 10 meter

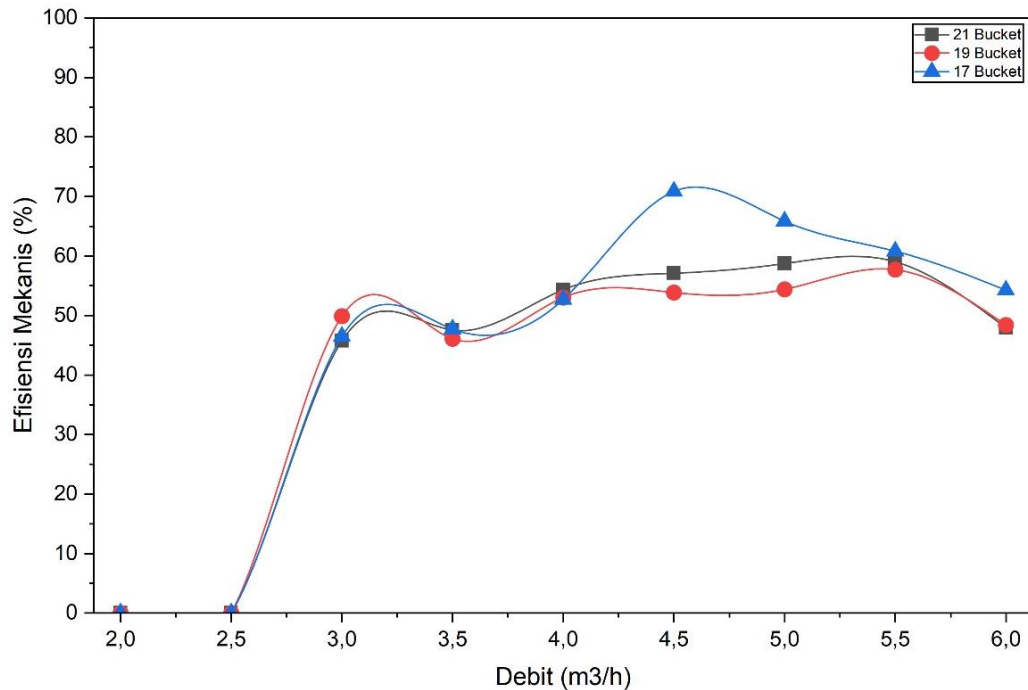
Berdasarkan grafik *trendline* efisiensi hidrolik yang dapat dilihat pada Gambar 4.6, menunjukkan tren kenaikan efisiensi hidrolik terjadi pada saat debit 2,5 sampai 4 m^3/h . Tren kenaikan ini terjadi saat semburan air maksimum mengenai *runner* turbin Pelton dan menghasilkan daya turbin secara optimal. Sedangkan tren penurunan efisiensi terjadi pada debit 4,5 m^3/h dan mengalami kenaikan kembali untuk penambahan debit di percobaan selanjutnya. Nilai *R-Square* rata-rata pada grafik *trendline* efisiensi hidrolik ini yaitu 0,883 disebabkan karena adanya parameter lain yang dapat mempengaruhi efisiensi hidrolik selain debit air.



Gambar 4.6 Grafik *trendline* efisiensi hidrolik pada *head* 10 meter

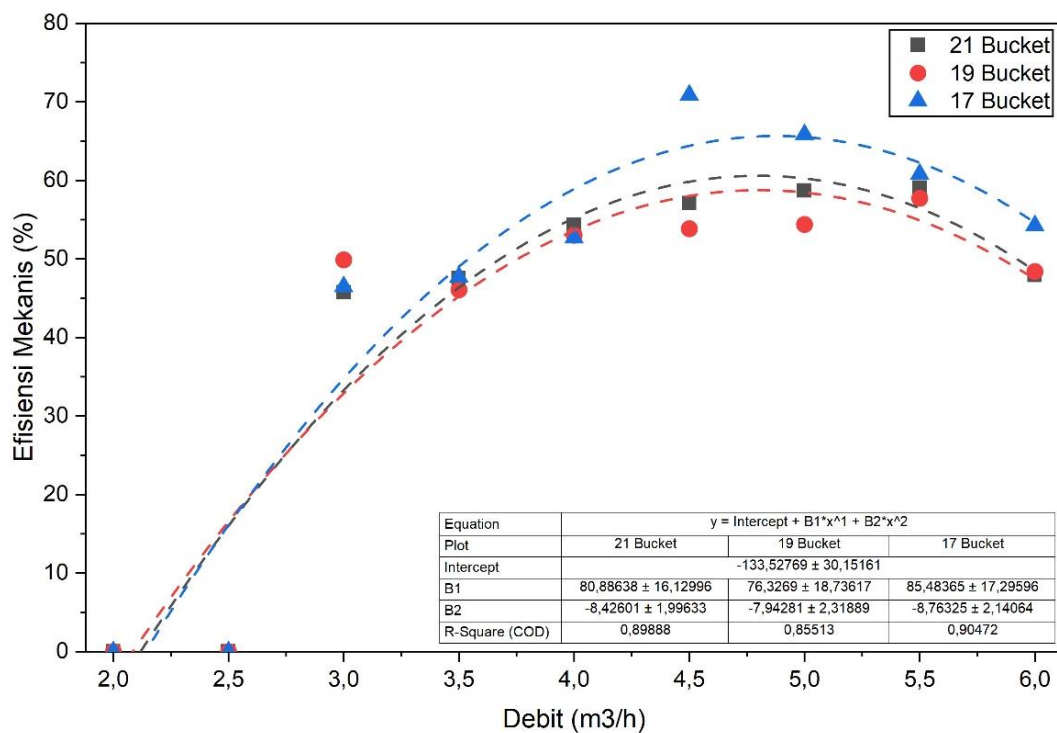
4.7 Pengaruh Debit terhadap Efisiensi Mekanis pada *Head* 10 Meter dan Jumlah *Bucket* 17, 19, 21

Berdasarkan grafik hubungan debit terhadap efisiensi mekanis pada *head* 10 meter dan variasi jumlah *bucket* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7, menjelaskan bahwa nilai efisiensi mekanis pada percobaan debit 2 m^3/h dan 2,5 m^3/h memiliki nilai 0 dikarenakan generator pada saat pengambilan data tersebut tidak menghasilkan daya listrik. Sedangkan pada nilai selanjutnya efisiensi mekanis naik dengan nilai efisiensi mekanis tertinggi pada percobaan 4,5 m^3/h dengan jumlah *bucket* 17 yang memiliki nilai 70,87%. Nilai rentang efisiensi mekanis yang telah didapatkan dari hasil percobaan relatif sama pada rentang 46,07% sampai 70,87%. Efisiensi mekanis terendah yang didapatkan yaitu sebesar 46,07% pada percobaan 3,5 m^3/h dengan jumlah *bucket* 19.



Gambar 4.7 Grafik pengaruh debit terhadap efisiensi mekanis pada *head* 10 meter

Berdasarkan dari grafik *trendline* yang dapat dilihat pada Gambar 4.8, menunjukkan tren kenaikan efisiensi mekanis terjadi pada saat debit 3 sampai 5 m^3/h . Tren kenaikan ini terjadi saat konvergen energi yang dilakukan oleh generator menghasilkan *output* daya listrik yang optimal. Daya listrik yang mengalami kenaikan dikarenakan rotasi generator yang cukup tinggi dari percobaan sebelumnya. Sedangkan tren penurunan efisiensi mekanis ini terjadi pada debit 5,5 sampai 6 m^3/h . Nilai *R-Square* rata-rata pada grafik *trendline* efisiensi hidrolis ini yaitu 0,886.

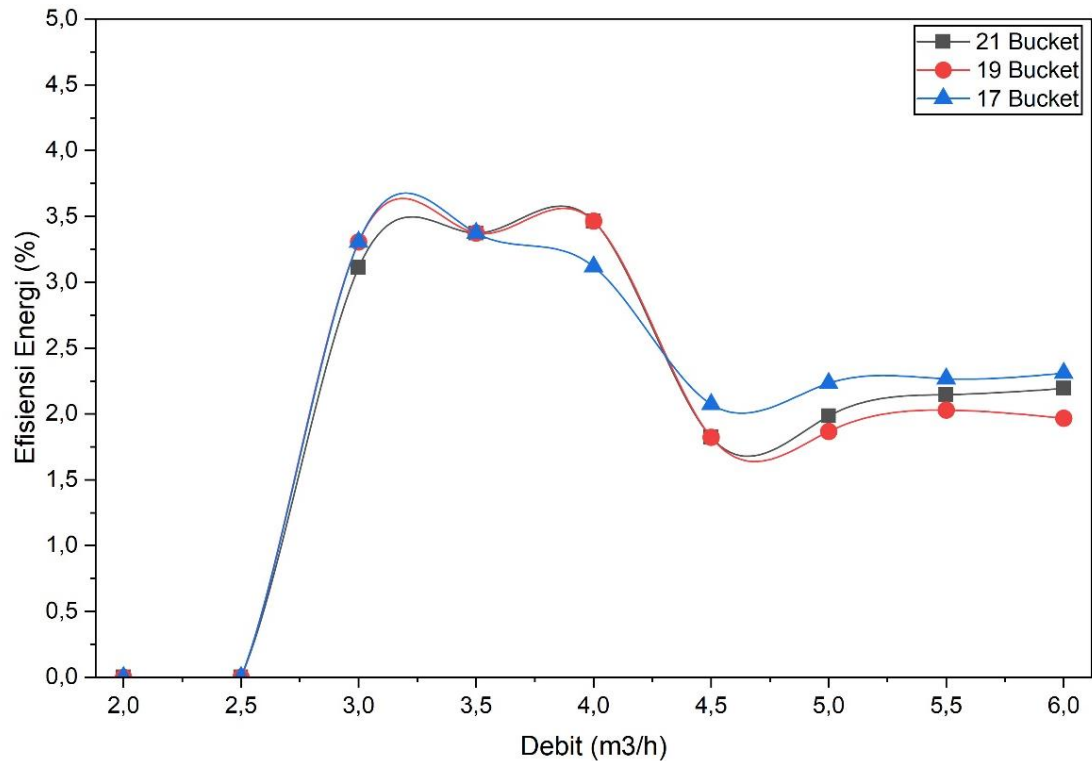


Gambar 4.8 Grafik *trendline* efisiensi mekanis pada *head* 10 meter

4.8 Pengaruh Debit terhadap Efisiensi Energi pada *Head* 10 Meter dan Jumlah *Bucket* 17, 19, 21

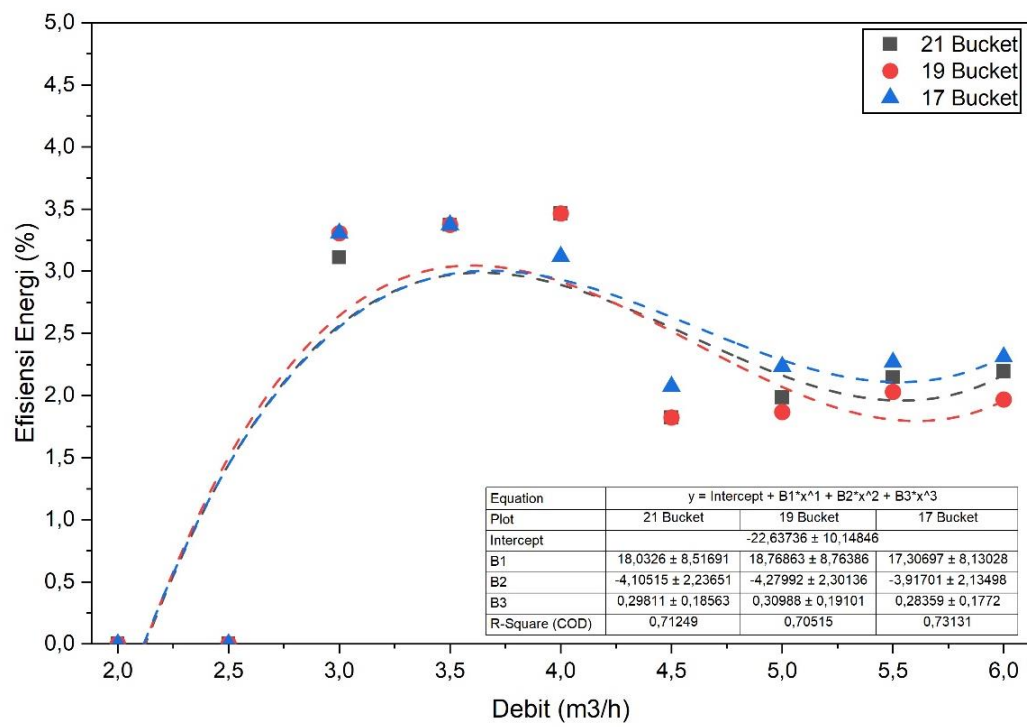
Berdasarkan grafik efisiensi energi yang dapat dilihat pada Gambar 4.9, menunjukkan nilai efisiensi energi pada percobaan debit $2 \text{ m}^3/\text{h}$ dan $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ memiliki nilai 0 dikarenakan generator pada saat pengambilan data tersebut tidak menghasilkan daya listrik sama sekali. Efisiensi energi mengalami kenaikan pada debit 2,5 sampai $4 \text{ m}^3/\text{h}$ dan efisiensi tertinggi pada percobaan debit $4 \text{ m}^3/\text{h}$ dengan jumlah *bucket* 21 yang memiliki nilai 3,46%. Sedangkan efisiensi energi mengalami penurunan pada percobaan debit $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$ dengan nilai terendah 1,82%, dan kemudian efisiensi energi melandai sampai dengan percobaan $6 \text{ m}^3/\text{h}$. Penelitian yang dilakukan oleh (Asrori, Adikusuma and Yudiyanto, 2022) pada *test bed* yang dirancang menunjukkan *head* 10 meter, dan jumlah *bucket* 17 memiliki

nilai efisiensi energi sebesar 24%. Oleh karena keterbatasan *test bed* yang dirancang, perlu dilakukan perbaikan dan penyempurnaan pada desain *nozzle* yang dibahas sebelumnya untuk memperoleh hasil efisiensi energi yang lebih optimal.



Gambar 4.9 Grafik pengaruh debit terhadap efisiensi energi pada *head* 10 meter

Dari grafik *trendline* yang dapat dilihat pada Gambar 4.10, menunjukkan tren kenaikan efisiensi energi terjadi pada saat debit 2,5 sampai dengan 4 m^3/h . Tren kenaikan ini terjadi saat konversi energi yang dilakukan oleh generator menghasilkan *output* daya listrik yang optimal. Sedangkan tren penurunan efisiensi energi ini terjadi pada debit 5,5 sampai 6 m^3/h . Tren penurunan ini diakibatkan oleh daya potensial yang tinggi, akan tetapi konversi energi menjadi energi listrik tidak optimal. Nilai *R-Square* rata-rata pada grafik *trendline* efisiensi hidrolik ini yaitu 0,716.



Gambar 4.10 Grafik *trendline* efisiensi energi pada *head* 10 meter