

Analisis Performa Pompa Air DAB Tipe DB-125b Sebagai Turbin Dengan Variasi Head Dinamik

Meinase K. Nabuasa¹, Verdy A. Koehuan¹, Nurhayati¹, Muhamad Jafri¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana

Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp: (0380)881597

E-mail: verdy.koehuan@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Penelitian dilakukan melalui eksperimen terhadap pompa yang difungsikan sebagai turbin dalam penelitian ini adalah pompa regeneratif atau *peripheral pump*, yaitu pompa air DAB tipe DB-125B. *Peripheral pump* adalah pompa sentrifugal yang impelernya memiliki sudu-sudu radial dalam jumlah banyak 41 sudu. Kinerja atau performa sistem PAT pompa regeneratif atau *peripheral pump*, yaitu pompa air DAB tipe DB-125B sebagai pembangkit daya tenaga air dianalisis dengan variasi debit aliran 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt. Kinerja atau performa sistem PAT pompa regeneratif atau *peripheral pump*, yaitu pompa air DAB tipe DB-125B sebagai pembangkit daya tenaga air skala kecil dari hasil eksperimen dengan variasi debit aliran menunjukkan daya poros maksimum sebesar 5,849 W dengan debit awal saat tanpa beban sebesar 40ltr/mnt. Penambahan daya air secara langsung dapat meningkatkan putaran poros PAT, begitu juga dengan penambahan debit aliran pada head, putaran rotor turbin juga meningkat. Sedangkan penambahan debit aliran maka daya output dan efisiensi PAT maksimum cenderung terjadi pada putaran yang lebih tinggi dari pada debit aliran yang rendah. Efisiensi PAT pada variasi debit aliran ini mencapai nilai maksimum pada putaran turbin 850,3 rpm sebesar 17,39 %, kemudian diikuti oleh variasi debit aliran 45 ltr/mnt dan 35 ltr/mnt, masing-masing sebesar 11,14 % pada putaran 566,3 rpm dan 8,74 % pada putaran 1440,7 rpm.

ABSTRACT

The research was conducted through experiments on pumps that functioned as turbines in this study, namely regenerative pumps or peripheral pumps, namely the DAB water pump type DB-125B. Peripheral pump is a centrifugal pump whose impeller has radial blades in bulk of 41 blades. The performance or performance of the PAT system for regenerative pumps or peripheral pumps, namely the DAB type DB-125B water pump as a hydroelectric power plant, was analyzed with variations in flow rates of 35 ltr/min, 40 ltr/min, and 45 ltr/min. The performance or performance of the PAT system of regenerative pumps or peripheral pumps, namely the DAB type DB-125B water pump as a small-scale hydroelectric power plant from experimental results with variations in flow rate shows a maximum shaft power of 5.849 W with an initial discharge at no-load of 40ltr/min. The addition of water power can directly increase the rotation of the PAT shaft, as well as with the addition of the flow rate at the head, the rotation of the turbine rotor also increases. While the addition of the flow rate, the maximum output power and PAT efficiency tend to occur at higher rotations than at low flow rates. The efficiency of PAT in this flow discharge variation reaches its maximum value at turbine rotation of 850.3 rpm of 17.39%, followed by variations of flow rate of 45 ltr/min and 35 ltr/min, each of which is 11.14% at 566.3 rpm and 8.74% at 1440.7 rpm.

Keywords: Regenerative Pumps, Radial Flow, Pumps As Turbines, Water Power, Flow Discharge

PENDAHULUAN

Salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan adalah tenaga air. Tenaga dari air ini dimodifikasi sedemikian rupa hingga dapat menghasilkan energi listrik. Banyak pembangkit-pembangkit listrik tenaga air

yang sudah dibangun dalam pemenuhan kebutuhan energi setiap manusia. Menurut Hantarum *et al* [1], Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) di Indonesia berpotensi mencapai 70.000 MW. Dengan demikian, setidaknya pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dapat

menyumbangkan pasokan listrik ke daerah-daerah yang terpencil.

Prinsip dasar dari tenaga air, jika air dapat disalurkan dari ketinggian tertentu ke tingkat yang lebih rendah, maka head air yang dihasilkan dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan. Penggunaan tersebut dapat menggerakkan komponen mekanik (turbin air) menjadi energi putaran yang disalurkan pada poros untuk menggerakkan sebuah generator untuk membangkitkan listrik. Turbin air itu sendiri merupakan salah satu komponen pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang dapat mengubah energi potensial dan kinetik air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator.

Dalam pemanfaatan tenaga air, perhatian khusus terhadap pembangkit listrik skala rumah tangga pun mulai dilakukan. Saat ini para peneliti mulai melakukan eksperimen dalam mengembangkan pembangkit listrik skala rumah tangga ini. Salah satu pembangkit listrik skala rumah tangga ini adalah *pikohidro*. Pembangkit *pikohidro* merupakan pembangkit listrik tenaga air yang menghasilkan keluaran daya listrik tidak lebih dari 5kW. Pembangkit listrik tenaga air skala piko pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air yang kecil seperti yang terdapat pada aliran air saluran irigasi, anak sungai atau air terjun [2].

Pompa sentrifugal adalah suatu pompa yang memindahkan cairan dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran impeller. Seluruh pompa rotodinamik dari tipe aliran radial hingga aliran aksial dapat difungsikan sebagai turbin. Pompa yang digunakan sebagai turbin dalam penelitian ini adalah pompa regeneratif atau peripheral pump, yaitu pompa air DAB tipe DB-125B. Peripheral pump adalah pompa sentrifugal yang impellernya memiliki sudu-sudu radial dalam jumlah banyak 41 sudu. Dalam operasional pompa sebagai turbin, arah aliran dan putarannya berlawanan arah dengan operasi pompa. Desain yang baik dari pompa aliran radial selalu dapat dioperasikan sebagai turbin, tetapi tidak sebaliknya. Turbin yang

didesain pada efisiensi tinggi tidak selalu dapat beroperasi sebagai pompa.

Dalam penelitian ini, parameter head dinamik yang merupakan bagian dari head total turbin yang memiliki pengaruh terhadap performa turbin air akibat kecepatan aliran dalam pipa yang berubah mengikuti perubahan debit aliran. Oleh karena itu variabel head dinamik akan diteliti pengaruhnya terhadap performa pompa air DAB tipe DB-125B yang difungsikan sebagai turbin.

Hantarum, dkk. [1] melakukan penelitian tentang eksperimental optimasi tipe lekuk sudu pada pompa yang difungsikan sebagai turbin untuk pembangkit listrik tenaga pikohidro. Penelitian ini menekankan secara eksperimental pompa yang difungsikan sebagai turbin (PAT) dengan modifikasi sudut masuk dan keluar pada *blade* PAT. Sebuah pompa NS-50 *paddy* dengan kapasitas 563,22 lit/min dan head 20 m diuji di Laboratorium Universitas Sebelas Maret Surakarta. Dalam penelitian ini variabel yang digunakan adalah *head* 4 meter dan total variasi sudut pada *blade* masuk dan keluar sebanyak 7 spesimen dengan variasi bentuk *blade* persegi panjang, bulat dan oval. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi terbaik ada pada variasi sudut keluar dan masuk 30/30, rotasi yang terjadi sebesar 850 rpm dan daya yang dibangkitkan sebesar 90 Watt.

Fadjarin dan Asral [2] merancang dan menguji pompa sebagai turbin untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Perancangan dan pengujian pompa sebagai turbin bertujuan untuk menganalisis metode manufaktur dan proses pompa dirancang dengan pembelajaran. Perancangan pompa sebagai turbin terdiri dari pencarian nilai variabel awal, perhitungan dan desain. Dari pengujian pompa sebagai turbin yang telah dirancang, data menunjukkan bahwa terdapat potensial yang besar untuk tenaga air sebesar 3169 Watt dan potensial tenaga pompa sebesar 5003 Watt.

Made Suarda [3] melakukan pengujian terhadap performa (kinerja) pompa sebagai turbin air. Penelitian ini menguji unjuk kerja dua pompa kecil yaitu *diffuser-pump* dan

volute-pump sebagai turbin air dengan variasi debit dan *head* dari sumber air seperti daya output dan efisiensinya. Penelitian ini menunjukkan bahwa *centrifugal diffuser-pump* sebagai turbin air menghasilkan efisiensi maksimum 20,6 %, dimana sebagai pompa berdasarkan brosur menghasilkan efisiensi sekitar 47%. Sedangkan *centrifugal volute-pump* sebagai turbin air memberikan efisiensi maksimum sekitar 32% dimana sebagai pompa di brosur dicantumkan sekitar 26 %. Jadi, *centrifugal volut-pump* merupakan solusi alternatif yang potensial digunakan sebagai turbin air.

Tarang Agarwal [4] meninjau kembali pompa sebagai turbin (PAT) untuk pembangkit listrik mikrohidro. Tujuan dari studi ini adalah untuk memilih kriteria PAT untuk berbagi macam PLTA yang mempunyai potensial yang berbeda-beda. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa PAT adalah solusi yang luar biasa untuk mikrohidro khususnya di daerah terpencil. Biaya awal proyek menurun secara substansial yang membuat PAT menjadi lebih layak. Keterbatasan PAT dapat lebih dikurangi dengan memilih PAT yang tepat untuk situs tertentu.

Palanisamy, dkk. [5] menginvestigasi pompa sentrifugal sebagai turbin dengan meninjau beberapa laporan yang terkait. Ditahun berikutnya Vasanthakumar, dkk. [6] melakukan investigasi eksperimental terhadap pompa sentrifugal sebagai turbin. Dalam penelitian ini, hasil penyelidikan eksperimental pompa sentrifugal yang bekerja sebagai turbin dilakukan. Sebuah pompa sentrifugal *monobloc AHC* diuji dalam mode turbin pada PAT *test rig*. Kecepatan spesifik pompa sentrifugal 23,5 (m, m³/s) telah diuji secara eksperimental dalam mode terbalik dan karakteristik kurva operasi direncanakan. Hasil jelas menunjukkan bahwa permasalahan mekanikal pompa sentrifugal dapat secara relatif beroperasi sebagai turbin. Efisiensi pompa sentrifugal ditunjukkan di atas 34,52% (mengingat kerugian mekanik dan pada pipa) tanpa beberapa modifikasi impeller dan *casing*, hasilnya dibandingkan dengan berbagai kerja peneliti.

Asep Rachmat dan Ali Hamdani [7] merancang pembangkit listrik dengan metode *Pump as Turbine* (PATs). Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis material yang dipilih untuk pembuatan rangka PATs, pompa sentrifugal seperti apa yang layak digunakan sebagai turbin dan tekanan air yang harus digunakan untuk memutar sudu-sudu pada pompa sentrifugal. Hasil perancangan menunjukkan bahwa desain dalam PATs yang dibuat menggunakan tekanan air yang dihasilkan dari pompa sentrifugal *engine* sebagai pengganti ketinggian air menjadi tekanan pada turbin. Hasil perhitungan faktor keamanan untuk konstruksi PATs dengan menggunakan baja ST37 didapatkan faktor keamanan sebesar 3,84. Pompa yang digunakan dalam pembuatan PATs yaitu pompa sentrifugal berkapasitas 40 m³/h dengan laju aliran 0,0065 m/s menghasilkan kecepatan putar 1912 rpm.

Ahmad I. Rifa'I dan Dwi A. Himawanto [8] mengkaji secara teoritik karakteristik *Pump as Turbine* (PAT) untuk pembangkit listrik mikrohidro. Penelitian ini mempresentasikan studi teoritik pada efisiensi operasi pompa yang digunakan sebagai turbin (PAT). Berdasarkan pada hasil dari studi tersebut, efisiensi PAT meningkat dengan kecepatan spesifik (Nsp) dan dengan impeller khusus akan menaikkan efisiensi 9,3%, 8,07% dan 5,45% dan efisiensi juga meningkat dengan modifikasi ketebalan *blade* pompa.

Arief, dkk, 2012, [9] melakukan pengujian performa pompa air DAB Type Db-125B yang difungsikan sebagai turbin impuls dibantu dengan 3 buah pompa yang dirangkai secara seri dan paralel menunjukkan bahwa daya maksimum pada debit atau Q = 38 lit/min, dan head atau H = 62,5 m, maka daya turbin yang dibangkitkan berada dari 354,623 Watt - 388,8035 Watt.

Penggunaan turbin dalam membangkitkan listrik menjadi suatu alasan penting yang harus dipertimbangkan. Kinerja turbin dengan sistem yang sederhana dapat meminimalisir kerugian yang ada. Pemanfaatan pompa sebagai turbin disini dapat diaplikasikan sebagai pembangkit listrik

skala rumah tangga. Hanya saja prestasi yang dihasilkan oleh penerapan pompa sebagai turbin ini perlu diteliti lebih lanjut. Prestasi (kinerja) dari PAT menjadi suatu parameter penting yang harus diperhatikan. Alasannya adalah karena kinerja dari suatu mesin yang baik dapat menggambarkan bahwa mesin (sistem) tersebut mempunyai performa yang memungkinkan. Beberapa modifikasi terhadap sistem PAT (*Pump as Turbine*) baik itu dari impellernya, ketinggian jatuh air maupun debit aliran ketika menyentuh impeller dapat memberikan dampak terhadap kinerja sistem PAT. Semua itu perlu diteliti lebih lanjut pengaruhnya terhadap kinerja sistem PAT.

Head dan debit aliran air menjadi suatu parameter penting dalam penelitian ini. Head total turbin terdiri atas head tekanan, head statik dan head dinamik. Pengaruh variasi debit aliran dengan head statik konstan namun head dinamik akan berubah terhadap variasi debit yang berpengaruh terhadap daya dan efisiensi sistem PAT menjadi suatu pertanyaan apakah kinerja yang dihasilkan baik atau tidak. Berapa besar daya yang dihasilkan dan efisiensi sistem PAT dari variasi debit aliran air dan head dinamik perlu untuk dianalisis secara eksperimen dan matematis untuk mengetahuinya. Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja sistem PAT pompa air DAB tipe DB-125B yang difungsikan sebagai turbin dengan variasi debit aliran dan head dinamik (head statik konstan) terhadap daya dan efisiensi sistem PAT.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan menguji kinerja pompa air DAB tipe DB-125B (Gambar 1) yang difungsikan sebagai turbin. Berkaitan dengan penelitian ini, peneliti terlebih dahulu akan membuat alat uji (sistem PAT) yang akan mendukung kelancaran penelitian. Kemudian dapat dilakukan analisis terhadap beberapa variabel yang telah ditentukan dalam penelitian.



(a)



(b)

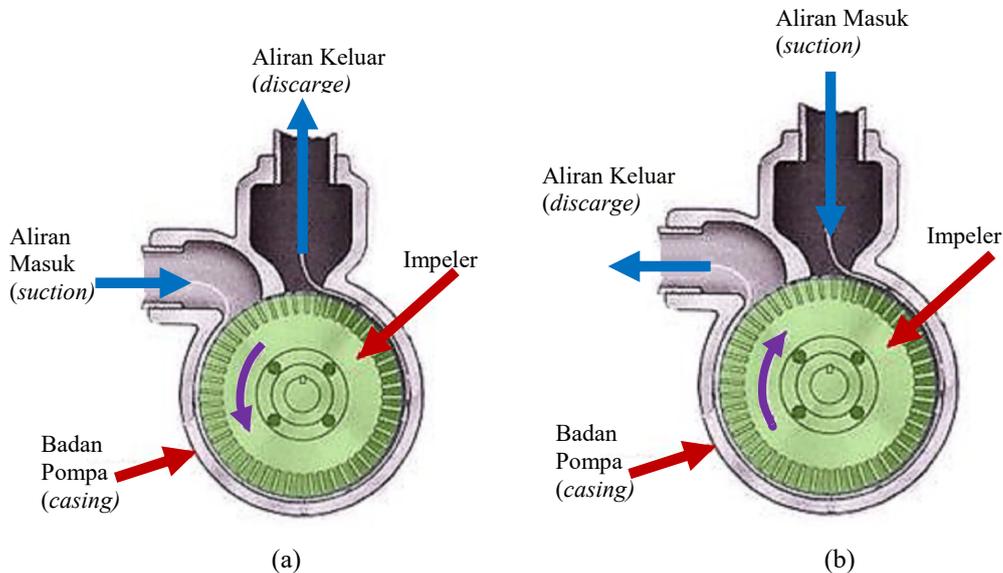
Gambar 1. (a) Pompa yang difungsikan sebagai turbin, (b) impeler pompa.

Gambar 1 dan Gambar 2 masing-masing menampilkan pompa air yang difungsikan sebagai turbin dengan impelernya dan prinsip kerja *peripheral pump* atau pompa regeneratif yang difungsikan sebagai pompa maupun sebagai turbin, yang menggambarkan aliran masuk dan keluar serta bentuk impeller. Penelitian ini dilakukan dengan terlebih dahulu merakit alat uji (sistem PAT) yang akan digunakan dalam pengujian beberapa variabel penelitian. Perakitan dilakukan mengikuti kebalikan dari prinsip kerja pompa. Dimana tandon akan ditempatkan pada ketinggian 8 meter kemudian pipa diinstalasi seperti pada Gambar 3. Air akan mengalir karena adanya gravitasi ke pompa untuk memutar impeller.

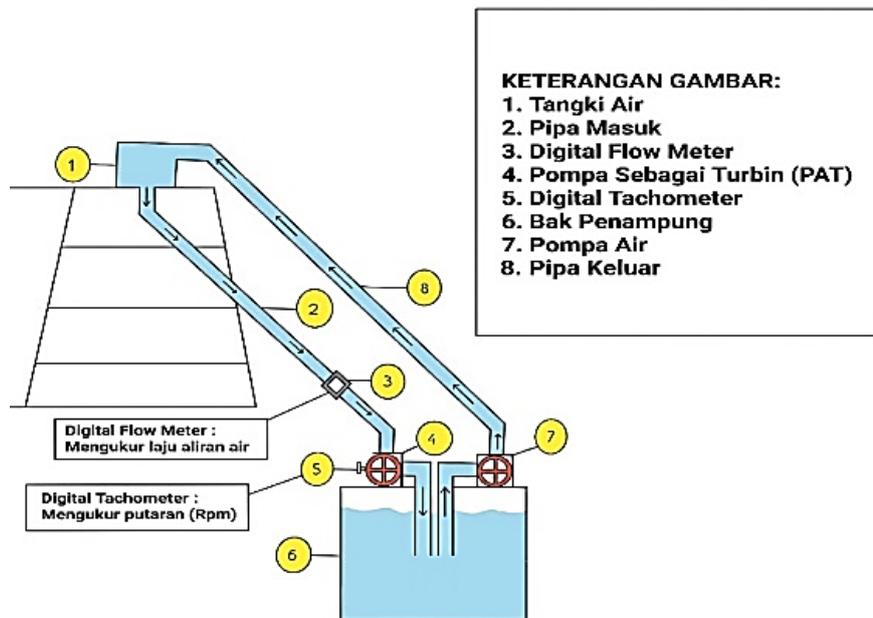
Dalam penelitian ini, variasi dilakukan pada debit awal pengujian, yaitu 35 lit/min, 40 lit/min, dan 45 lit/min dengan asumsi head atau tinggi angkat konstan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efisiensi *pump as turbine* (PAT). Setiap variasi debit aliran,

dilakukan variasi pembebanan dari beban nol kemudian secara bertahap beban ditambah hingga turbin berhenti berputar. Pengukuran daya turbin dilakukan dengan menggunakan metode *prony brake*, seperti pada Gambar 4

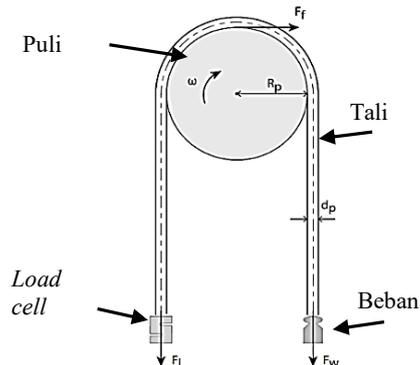
dimana beban pengereman dan putaran rotor diukur setiap penambahan beban. Pengaruh dari variasi ini akan dibahas dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah proses analisis.



Gambar 2. (a) Prinsip kerja *peripheral pump* atau pompa regeneratif yang difungsikan sebagai pompa dan (b) sebagai turbin.



Gambar 3. Skema kerja pompa sebagai turbin (PAT).



Gambar 4. Diagram benda bebas gaya-gaya pada pengukuran torsi. menggunakan metode *prony-type brake* [1] [10].

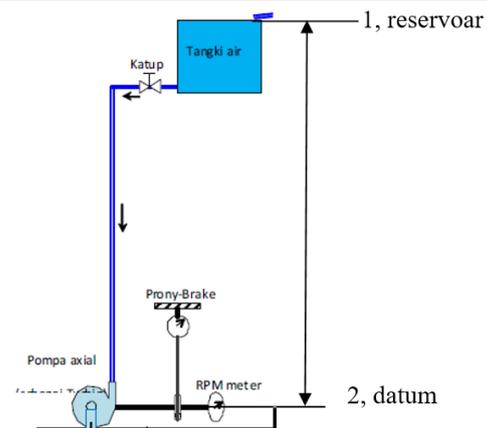
Variabel Penelitian

Variabel merupakan besaran yang bisa berubah dan berpengaruh terhadap suatu hasil penelitian. Adanya variabel dapat mempermudah dalam menganalisis suatu permasalahan. Dalam penelitian ini, terdapat tiga variabel yang digunakan yakni variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. Ketiga variabel ini memiliki makna yang berbeda-beda.

- Variabel bebas merupakan salah satu variabel yang punya pengaruh besar terhadap variabel lainnya atau dengan kata lain variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi variabel lainnya. Dalam penelitian ini yang berperan sebagai variabel bebas adalah debit aliran dan pembebanan.
- Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah head dinamik, putaran, torsi, daya dan efisiensi.
- Variabel kontrol merupakan variabel yang bersifat konstan dan dapat dikendalikan. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah head atau tinggi angkat turbin yang dipertahankan konstan pada 8 m.

Teknik Analisis Data

Setelah semua data yang diperlukan diperoleh secara keseluruhan, selanjutnya data tersebut dapat dianalisis. Analisis data yang telah diperoleh berdasarkan pada literatur yang tersedia untuk mendapatkan sebuah kesimpulan dari permasalahan yang ada. Analisis data dilakukan untuk menentukan efisiensi turbin, besaran-besaran yang terpenting dalam dapat diketahui. Model pengujian seperti Gambar 5 dengan menggunakan *prony brake* (Gambar 4).



Gambar 5. Model pengujian pompa sebagai turbin.

Analisis pada penelitian ini meliputi massa gaya gesek (kg), gaya (N), torsi (Nm), kecepatan sudut (rad/s), Daya poros (W), Debit aliran (m^3/s), Daya air (W), dan efisiensi. Dimana percepatan gravitasi $9,81 m/s^2$, massa jenis air $1000 kg/m^3$, Variasi debit aliran, yaitu: 35 lit/min, 40 lit/min, dan 45 lit/min) dengan tinggi angkat dipertahankan sama sebesar 8 m. Salah satu besaran ini adalah torsi rotor diukur dengan metode *prony-type brake*. Torsi yang dihasilkan oleh rotor turbin diukur dengan menggunakan metode *prony-type brake*, pengambilan data dilakukan setiap variasi debit aliran yang diberikan pada rotor turbin. Sebuah puli (jari-jari R_p) dipasang pada poros dengan beban (F_w) digantung melalui seutas tali (diameter tali d_p) melingkari puli tersebut (Gambar 4) yang berfungsi sebagai pengereman. Gaya F_l

diukur menggunakan *load cell sensor* atau timbangan digital, sedangkan gaya F_f merupakan gaya gesek antara permukaan tali dan puli.

Kondisi keseimbangan tercapai setelah gaya-gaya pada pronny-type brake memenuhi persamaan berikut:

$$F_w \left(R_p + \frac{1}{2} d_p \right) + F_f \cdot R_p - F_l \left(R_p + \frac{1}{2} d_p \right) = 0 \quad (1)$$

Torsi pada rotor diperoleh dari gaya gesek yang terjadi pada puli, $T = F_f \cdot R_p$, sehingga torsi terukur adalah:

$$T = (F_l - F_w) \left(R_p + \frac{1}{2} d_p \right) \quad (2)$$

Atau, diameter tali diabaikan sehingga,

$$T = (F_l - F_w) R_p \quad (3)$$

Gaya (N),

$$F = m \cdot g \quad (4)$$

Daya output yang dibangkitkan oleh rotor turbin dapat dihitung dengan persamaan,

$$P_{out} = T \cdot \omega \quad (5)$$

Kecepatan sudut (rad/s)

$$\omega(t) = \frac{2 \times \pi \times n}{60s} \quad (6)$$

Daya air (Pin)

$$P_{in} = \rho g H Q \quad (7)$$

Efisiensi pompa sebagai turbin,

$$Eff = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (8)$$

Analisis data dilakukan untuk menentukan besar efisiensi turbin, besaran-besaran yang diketahui.

Dari Gambar 5 dengan menerapkan persamaan Bernoulli diperoleh:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 + H_p = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + H_t + h_L \quad (9)$$

Tekanan pada kedua titik dapat dianggap sama pada tekanan atmosfer ($P_1 = P_2$), kecepatan pada titik 1 atau $v_1 = 0$ dimana ketinggian fluida pada permukaan reservoir dianggap konstan, serta $Z_1 = 8$ m (tinggi reservoir) dan $Z_2 = 0$ (datum), air mengalir secara gravitasi sehingga $H_p = 0$, oleh karena itu persamaan di atas dapat ditulis :

$$Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + H_t + h_L$$

atau,

$$H_t = Z_1 - h_L - \frac{v_2^2}{2g} \quad (10)$$

Dimana total kerugian aliran sepanjang pipa atau $h_L = h_{(L, \text{major})} + h_{(L, \text{minor})} = \left(f \frac{L}{D} + \sum K_L \right) \frac{v^2}{2g}$

$$\sum K_L = K_{masuk} + K_{elbow} + K_{katup} + K_{keluar}$$

Kecepatan aliran dalam pipa dievaluasi berdasarkan debit aliran yang diukur pada flowmeter,

$$v = \frac{Q}{\pi D^2 / 4} \quad (11)$$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (12)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis parameter pompa sebagai turbin pada penelitian ini yang meliputi massa gaya gesek (kg), gaya (N), torsi (Nm), kecepatan sudut (rad/s), daya poros (W), debit aliran (m^3/s), Daya air (W), dan efisiensi. Dimana percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$, massa jenis air 1000 Kg/m^3 , Variasi debit aliran saat pengujian dengan debit awal, saat tanpa beban sebesar 35 lit/min, 40 lit/min, dan 45 lit/min dengan tinggi angkat konstan, yaitu 8 m. Untuk mencari efisiensi atau performa dari pompa regeneratif atau *peripheral pump*, yaitu pompa air DAB tipe DB-125B sebagai turbin, ini diawali dengan menghitung massa gaya gesek (kg).

Pengujian performa pompa regeneratif atau *peripheral pump*, yaitu pompa air DAB tipe DB-125B yang difungsikan sebagai turbin dengan mempelajari prinsip kerjanya setelah pompa dipasang pada posisi dan ketinggian

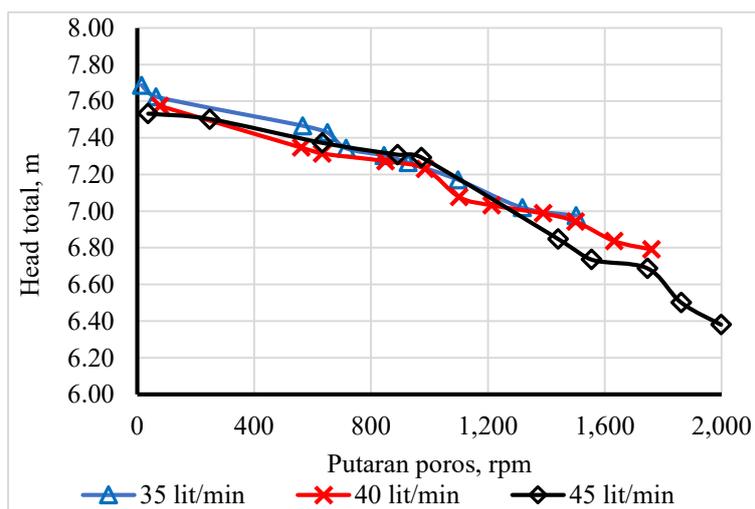
atau tinggi angkat konstan, sebesar 8 m. Variasi debit aliran saat pengujian dengan debit awal, saat tanpa beban sebesar 35 lit/min, 40 lit/min, dan 45 lit/min dengan tinggi angkat konstan, yaitu 8 m. Diameter pipa aliran yang menuju ke pompa adalah 1 inch yang langsung terhubung ke pompa dan aliran kecepatan air ini yang akan memutar impeller mengakibatkan poros berputar. Berputarnya poros ini akan diberi beban dari beban rendah kemudian ditambah secara bertahap hingga putaran dari pompa tersebut berhenti dengan maksud untuk mengetahui nilai torsi, daya dan efisiensi PAT.

Pengaruh head total, daya air, daya output, dan efisiensi PAT terhadap putaran poros

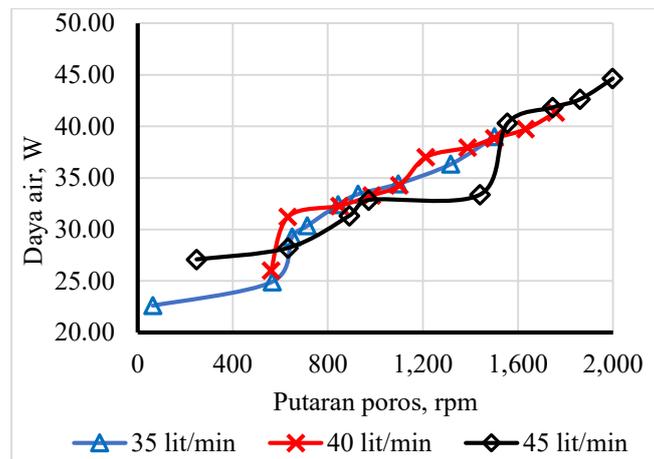
Gambar 6 menampilkan hubungan head total terhadap putaran poros dengan debit awal tanpa beban sebesar 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan penambahan debit awal aliran air yang masuk ke pompa maka putaran yang dihasilkanpun semakin bertambah. Namun

penambahan torsi pada setiap debit aliran tanpa beban menyebabkan penurunan kecepatan aliran masuk turbin sehingga head dinamik mengalami penurunan dan sekaligus menurunkan head total turbin. Hal ini terlihat dari Gambar 6 pada putaran tinggi head total cenderung menurun, sedangkan pada putaran rendah head total lebih tinggi.

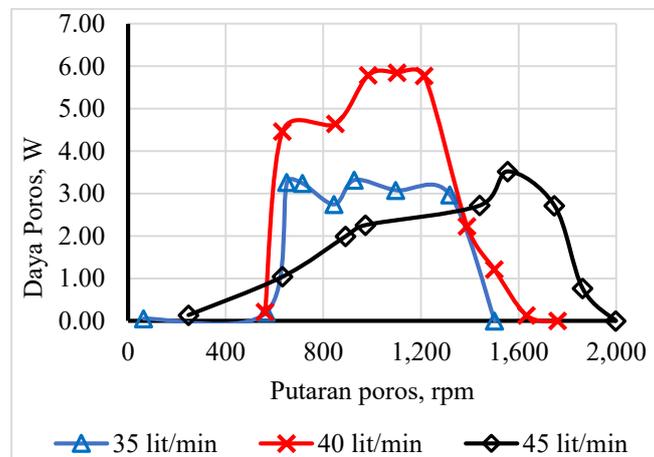
Gambar 7 menunjukkan hubungan daya air terhadap putaran poros dengan debit awal tanpa beban sebesar 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt. Hasil analisis menunjukkan sebaliknya dengan head total bahwa dengan penambahan debit awal aliran air yang masuk ke pompa maka putaran yang dihasilkanpun semakin bertambah. Namun penambahan torsi pada setiap debit aliran tanpa beban menyebabkan penurunan kecepatan aliran masuk turbin sehingga debit aliran mengalami penurunan yang disertai dengan penurunan putaran. Hal ini terlihat dari Gambar 6 pada putaran tinggi daya air cenderung meningkat, sedangkan pada putaran rendah daya air lebih rendah.



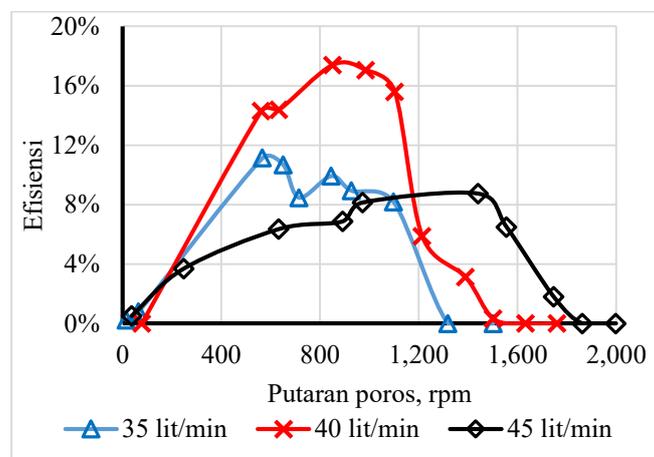
Gambar 6. Hubungan head total turbin terhadap putaran poros.



Gambar 7. Hubungan daya air putaran poros.



Gambar 8. Hubungan daya output terhadap putaran poros

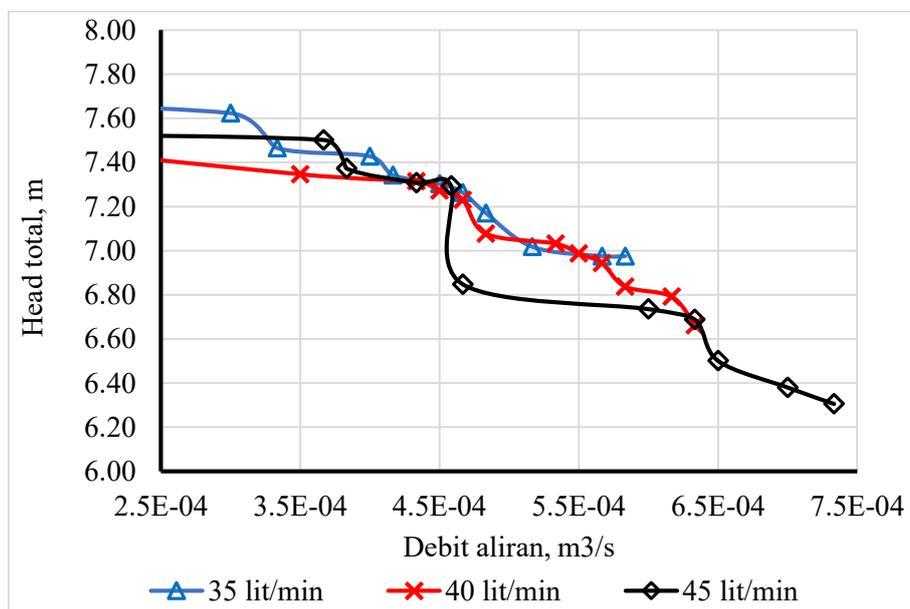


Gambar 9. Hubungan efisiensi turbin terhadap putaran poros.

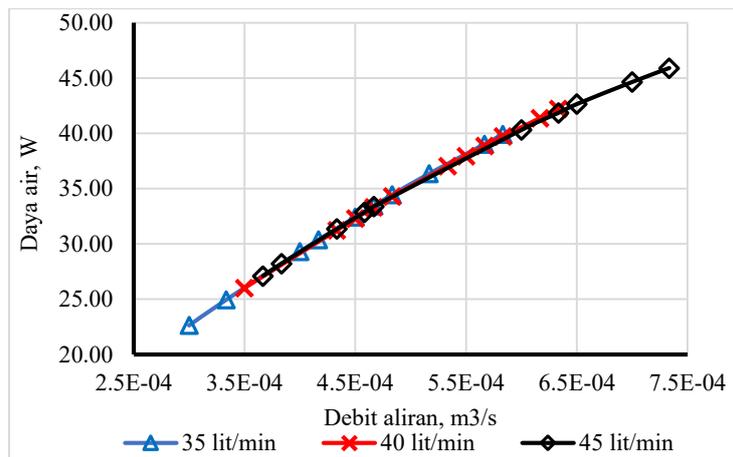
Gambar 8 menampilkan hubungan daya poros turbin terhadap putaran poros dengan debit awal tanpa beban sebesar 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt. Daya poros maksimum dengan masing-masing debit awal tanpa beban sebesar 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt adalah 3,318 W, 5,849 W, dan 3,52 W pada putaran turbin 844,5 rpm, 985,1 rpm dan 1440,7 rpm. Sedangkan Gambar 9 menampilkan hubungan efisiensi turbin terhadap putaran poros dengan debit awal tanpa beban sebesar 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt. Efisiensi maksimum dengan masing-masing debit awal tanpa beban sebesar 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt adalah 11,14 %, 17,39 %, dan 8,74 % pada putaran turbin 566,3 rpm, 850,3 rpm dan 1440,7 rpm.

Pengaruh Head total, daya air, daya output, dan efisiensi PAT terhadap debit aliran

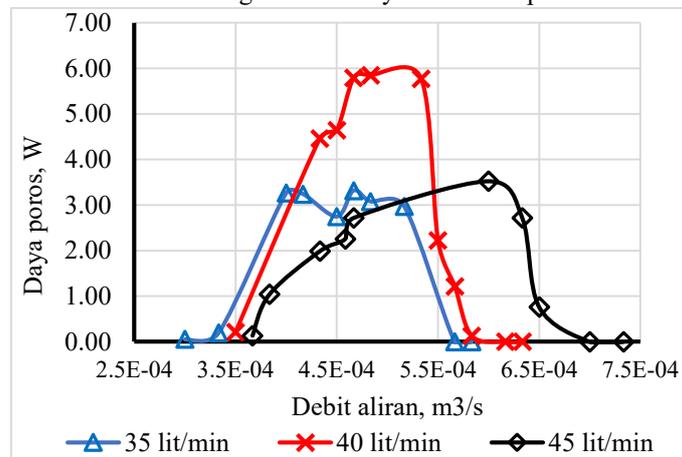
Gambar 10 menampilkan hubungan head total terhadap debit aliran dengan debit awal tanpa beban sebesar 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan debit aliran air yang masuk ke turbin maka total head yang dihasilkan cenderung menurun. Penambahan torsi pada menyebabkan penurunan kecepatan aliran masuk turbin sehingga head dinamik mengalami penurunan dan sekaligus menurunkan head total turbin. Hal ini terlihat dari Gambar 10 pada debit aliran tinggi head total cenderung menurun, sedangkan sebaliknya pada debit aliran rendah head total lebih tinggi.



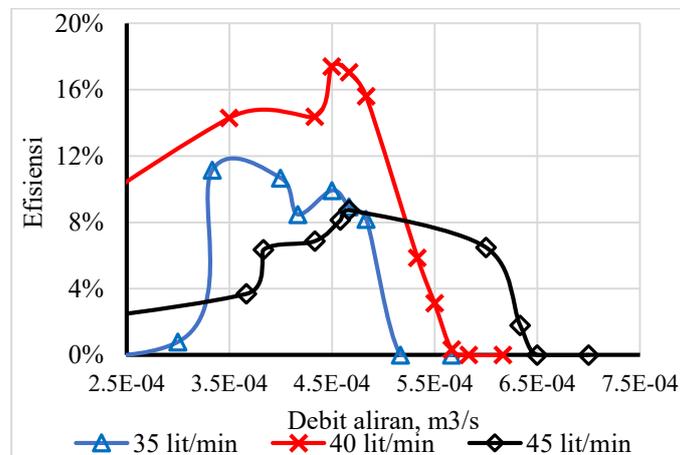
Gambar 10. Hubungan antara head total terhadap debit aliran.



Gambar 11. Hubungan antara daya air terhadap debit aliran.



Gambar 12. Hubungan antara daya poros terhadap debit aliran.



Gambar 13. Hubungan antara efisiensi terhadap debit aliran.

Gambar 11 menunjukkan hubungan daya air terhadap debit aliran dengan debit awal tanpa beban sebesar 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt. Hasil analisis menunjukkan sebaliknya dengan head total bahwa dengan penambahan debit aliran air yang masuk turbin maka daya air yang dihasilkanpun semakin bertambah. Hal ini terlihat dari Gambar 11 pada debit aliran tinggi daya air cenderung meningkat, sedangkan pada debit aliran rendah daya air lebih rendah.

Gambar 12 menampilkan hubungan daya poros turbin terhadap debit dengan debit awal tanpa beban sebesar 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt. Daya poros maksimum dengan masing-masing variasi debit awal tanpa beban 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt adalah 3,318 W, 5,849 W, dan 3,52 W pada debit aliran $4,5 \times 10^{-4}$ m³/s, $4,67 \times 10^{-4}$ m³/s dan $4,67 \times 10^{-4}$ m³/s. Sedangkan Gambar 13 menampilkan hubungan efisiensi turbin terhadap putaran poros dengan debit awal tanpa beban sebesar 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt. Efisiensi maksimum dengan masing-masing debit awal tanpa beban sebesar 35 ltr/mnt, 40 ltr/mnt, dan 45 ltr/mnt adalah 11,14 %, 17,39 %, dan 8,74 % pada debit aliran $3,33 \times 10^{-4}$ m³/s, $4,50 \times 10^{-4}$ m³/s dan $4,67 \times 10^{-4}$ m³/s.

Hasil analisis di atas menunjukkan efisiensi PAT tertinggi terjadi pada saat pengujian dengan debit awal, saat tanpa beban sebesar 40ltr/mnt. Efisiensi PAT pada variasi debit aliran ini mencapai nilai maksimum pada putaran turbin 850,3 rpm sebesar 17,39 %, kemudian diikuti oleh variasi debit aliran 45 ltr/mnt dan 35 ltr/mnt, masing-masing sebesar 11,14 % pada putaran 566,3 rpm dan 8,74 % pada putaran 1440,7 rpm. Jika dibandingkan dengan hasil analisis yang menggunakan asumsi head total konstan yang mana diperoleh efisiensi PAT maksimum pada putaran turbin yang sama, yakni masing-masing sebesar 15,81 %, 10,4 %, dan 7,48 %.

Hal ini menunjukkan bahwa pada debit aliran yang cukup tinggi dengan head konstan, maka efisiensi turbin maksimum cenderung terjadi pada putaran yang lebih tinggi dari pada debit aliran yang rendah. Sebaliknya pada kondisi PAT dengan debit aliran yang lebih rendah, maka efisiensi turbin maksimum cenderung terjadi pada putaran rendah

SIMPULAN

- Kinerja atau performa sistem PAT pompa regeneratif atau peripheral pump, yaitu pompa air DAB tipe DB-125B sebagai pembangkit daya tenaga air skala kecil dari hasil eksperimen dengan variasi debit aliran menunjukkan daya poros maksimum sebesar 5,849 W dengan debit awal saat tanpa beban sebesar 40ltr/mnt.
- Penambahan daya air secara langsung dapat meningkatkan putaran poros PAT, begitu juga dengan penambahan debit aliran pada head, putaran rotor turbin juga meningkat. Sedangkan penambahan debit aliran maka daya output dan efisiensi PAT maksimum cenderung terjadi pada putaran yang lebih tinggi dari pada debit aliran yang rendah. Efisiensi PAT pada variasi debit aliran ini mencapai nilai maksimum pada putaran turbin 850,3 rpm sebesar 17,39 %, kemudian diikuti oleh variasi debit aliran 45 ltr/mnt dan 35 ltr/mnt, masing-masing sebesar 11,14 % pada putaran 566,3 rpm dan 8,74 % pada putaran 1440,7 rpm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Hantarum, Aries H, D., DPT, D. D., Indro C, S., & Pitana, T. S. (2016). Eksperimental Optimasi Tipe Lekuk Sudu pada Pompa Difungsikan sebagai Turbin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Picohidro . *Mekanika*, Vol. 15, No. 1 , 10-16.
- [2]. La Ada, F. C., & Asral. (2019). Perancangan dan Pengujian Pompa sebagai Turbin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air. *Jom FTEKNIK*, Vol. 6, Edisi 2 , 1-5.
- [3]. Suarda, M. (2009). Pengujian Performa Pompa sebagai Turbin Air. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 3, No. 1 , 67-72.
- [4]. Agarwal, T. (2012). Review of Pump as Turbine (PAT) for Micro-Hydropower. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 2 , 163-169.
- [5]. Palanisamy, M., Vasanthakumar, P., Krishnaraj, J., & Castro, P. S. (2015). Analysis of Pump as Turbine for micro-

- hydro schemes. *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 10, No. 61, 424-429.
- [6]. Vasanthakumar, P., Krishnaraj, J., Palanisamy, M., & Hariharan, J. (2015). Experimental Investigation of Centrifugal Pump as Turbine. *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 10, No. 19, 14607-14610.
- [7]. Rachmat, A., & Hamdani, A. (2017). Pembangkit Listrik Metode Pump as Turbine (PATs) . *Jurnal J-Ensitem*, Vol. 3, No. 2, 86-95.
- [8]. Rifa'i, A. I., & Himawanto, D. A. (2017, Desember 21). Kajian Teoritik Karakteristik Pump as Turbine (PAT) untuk Pembangkit Listrik Microhydro. *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Kedirgantaraan*, Vol III, pp. 61-63.
- [9]. Adi Ramadhani Muhammad Arief, G. D. Soplanit, I Nyoman Gede, 2012, *Performa Pompa Air Dab Type Db-125b Yang Difungsikan Sebagai Turbin Air*, Vol. 1, No. 1
- [10]. Carravetta, A., Houreh, S. D., & Ramos, H. M. (2018). *Pumps as Turbine (Fundamentals and Applications)*. Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland: Springer Nature.
- [11]. Wicaksono R.H. (2012) Rancang Bangun Turbin Pelton menggunakan mesin Jet Pump. *Jurnal teknik mesin*.
- [12]. Hosman, N. (2012). Performance Analysis and Improvement of a Small Locally Produced Wind Turbine for Developing Countries. *Master of Science*, TU Delft.
- [13]. Hermawan, 2009, Unjuk Kerja Regenerative Pump Dengan Modifikasi Bentuk Impeller Yang Dioperasikan Sebagai Turbin Air, *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII*, Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009, M6-018.
- [14]. Hermawan, 2008, Unjuk Kerja Peripheral Pump Dengan Modifikasi Bentuk Impeller, *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin VII*, Universitas Sam Ratulangi (UNSRAT), Manado, November 2008, I01-036, I1-036
- [15]. Hermawan, 2008, Unjuk Kerja Peripheral Pump Dengan Modifikasi Bentuk Impeller, *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin VII*, Universitas Sam Ratulangi (UNSRAT), Manado, November 2008, I01-036, I1-036.