

DESAIN DAN IMPLEMENTASI KONTROL KECEPATAN POMPA AIR DENGAN METODE PID PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO PELTON PORTABLE

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF WATER PUMP SPEED CONTROL WITH PID METHOD IN PORTABLE MICROHIDRO PELTON POWER PLANT

Muhammad Revan Wahid¹, Porman Pangribuan², Irham Mulkan Rodiana³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

muhammadrevanspk@student.telkomuniversity.ac.id¹, porman@telkomuniversity.ac.id²,

irhammulkan@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

PLTMH *portable* digerakan oleh Turbin Pelton memerlukan pompa air sebagai ganti dari tekanan air, debit air dan ketinggian air yang mengalir. Salah satu tujuan pembuatan PLTMH pelton *portable* adalah untuk menyimpan daya listrik yang diperoleh ke dalam baterai, sehingga daya listrik yang dihasilkan dapat disimpan untuk waktu yang lama. Karena pada saat pengisian, baterai membutuhkan tegangan yang sesuai dengan tegangan baterai yang dipakai, sehingga baterai yang digunakan akan tetap dalam kondisi baik. Pengisian baterai dengan arus yang besar akan membuat baterai cepat penuh, tetapi baterai akan menjadi mendidih dan panas, ini akan beresiko membuat cell pada baterai tersebut melengkung dan rusak. Melihat dari masalah diatas, maka dibutuhkan pengendalian tegangan saat pengisian berjalan dan akan dirancang kontrol kecepatan pompa air agar dapat menyesuaikan kecepatan laju air yang akan digunakan untuk mendorong turbin agar tetap stabil pada saat pengisian sedang berjalan. Pada Tugas Akhir ini akan dibuat Pengendalian Kecepatan Pompa Air dengan metode PID menggunakan mikrokontroler Arduino Uno. Sistem ini dirancang dengan menggunakan sensor tegangan yang dihubungkan dengan aki saat pengisian sedang berjalan. Sensor akan mengirimkan nilai tegangan yang terbaca kedalam mikrokontroler dan akan diproses oleh mikrokontroler menggunakan metode PID untuk mengatur kecepatan pompa air sehingga turbin dapat menghasilkan tegangan yang stabil 13V serta beban arus sebesar 5 ampere saat pengisian Aki 12V, berdasarkan sistem tersebut didapatkan nilai pengisian pada SP= 13V dengan Kp=80, Ki=80, dan Kd=4, yaitu dihasilkan Overshoot=0, Risetime=100ms, Setlingtime=0, dan Error steady state=1.5V. Efisiensi turbin yang didapat sebesar 6,24%. Dengan sistem ini belum mencapai nilai standar sebagai PLTMH karena efisiensi masih dibawah 70%, diharapkan kedepannya dapat dikembangkan untuk mendapat nilai efisiensi yang lebih baik.

Kata Kunci : PLTMH, PID, *Portable*, Turbin Pelton

Abstract

Portable PLTMH driven by the Pelton Turbine requires a water pump instead of water pressure, water discharge and flowing water level. long time. Because at the time of charging, the battery requires a voltage that matches the voltage of the battery used, so that the battery used will remain in good condition. Charging the battery with a large current will make the battery full quickly, but the battery will boil and heat, this will risk making the cell on the battery warp and damaged. Seeing from the problem above, it is necessary to control the voltage when charging is running and a water pump speed control will be designed so that it can adjust the speed of the water rate that will be used to drive the turbine to remain stable when charging is running. In this final project, Water Pump Speed Control will be made using the PID method using the Arduino Uno microcontroller. This system is designed by using a voltage sensor that is connected to the battery while charging is running. The sensor will send the voltage value that is read into the microcontroller and will be processed by the microcontroller using the PID method to adjust the speed of the water pump so that the turbine can produce a stable voltage of 13V and a current load of 5 amperes when charging a 12V battery, based on the system the charging value is obtained at SP = 13V with Kp=80, Ki=80, and Kd=4, which resulted in Overshoot=0, Researchime=100ms, Setlingtime=0, and Error steady state=1.5V. The turbine efficiency obtained is 6,24%. With this system not yet reaching the standard value as a MHP because the efficiency is still below 70%, it is hoped that in the future it can be developed to get a better efficiency value.

Keywords : Micro Hydro Power Plant, PID, *Portable*, Peltone Turbine

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik bersekala kecil, terutama pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan, PLTA di bawah ukuran 200 KW digolongkan sebagai mikrohidro [1]. PLTMH sendiri dapat digerakan oleh turbin, Turbin Pelton adalah salah satu turbin yang menggunakan PLTMH dan harus mempunyai tekanan air yang tinggi agar mendapatkan hasil yang maksimal.

Pada penelitian sebelumnya yaitu pembuatan pembangkit listrik tenaga mikrohidro menggunakan turbin pelton dengan jumlah sudu pada runner 16 buah pada variasi debit air sebesar 3,61 (l/s) didapat efisiensi sebesar 4,69% [2].

Berdasarkan hal tersebut, pada tugas akhir ini akan dirancang Kontrol Kecepatan Pompa Air Dengan Metode PID Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Pelton *Portable*. Energi putar pada turbin didapat dari dorongan pompa air sebagai pengganti tekanan air yang menggunakan debit dan ketinggian air yang mengalir. Pada penelitian sebelumnya sungai yang dipakai untuk pembuatan Turbin Pelton sering tidak stabil akibat gangguan dari luar maupun perubahan parameter dari fabrikasinya. sehingga pada tugas akhir ini perlu dilakukan rancangan kontroler yang menggunakan PID yang terdiri dari tiga jenis pengaturan yang dikombinasikan, yaitu kontrol P (Proportional), I (Integral), dan D (Derivatif) [2].

Penelitian ini menggunakan pompa air AC yang dihubungkan dengan *Module AC Light Dimmer* sebagai alat untuk mensimulasikan pengendalian kecepatan motor pompa dengan kontrol PID. Agar debit/aliran dapat dipertahankan secara konstan, sehingga menghasilkan dorongan pada turbin menjadi stabil dan daya listrik yang dihasilkan generator mendapat tegangan yang sesuai.

2. Kajian Pustaka

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air sebagai media utama untuk penggerak turbin dan generator. Kapasitas daya dari PLTMH berkisar 1 KW sampai 100 KW. PLTMH umumnya merupakan pembangkit listrik jenis *run of river*, *head* diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, melainkan dengan mengalihkan aliran air sungai kesatu sisi dari sungai tersebut selanjutnya mengalirkannya lagi ke sungai pada suatu tempat sehingga beda tinggi yang diperlukan dapat diperoleh. PLTMH dibangun berdasarkan adanya air yang mengalir disuatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu pada jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah *head*. Secara teknis, mikrohidro mempunyai tiga komponen utama yaitu air sumber energi, turbin dan generator [3].

1. Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan turbin impuls, karena putaran pada *runner* terjadi akibat dorongan air yang sangat kuat serta pembelokan pancaran air pada mangkok ganda *runner*, turbin ini juga bisa disebut dengan turbin pancaran bebas.

Turbin pelton biasa digunakan untuk tinggi air jatuh yang besar. Aliran air dalam pipa akan jatuh dengan kecepatan yang tinggi. Tinggi jatuh air H dihitung dari permukaan air diatas sampai ketengah-tengah pancaran air [3]. Pemasukan H tidak sama dengan tekanan turbin, H dihitung sampai tinggi permukaan air bawah. Di bagian bawah roda turbin terdapat suatu tempat yang dinamakan ruang bebas. Ruang bebas tersebut harus sekecil mungkin, sedemikian rupa sehingga dalam batas-batas yang diijinkan.

Bentuk Sudu Turbin terdiri dari 2 bagian yang simetris, maksudnya agar bisa membalikan pancaran air yang dikeluarkan nosel dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya –gaya samping. Tidak semua sudu menerima pancaran air hanya sebagian saja secara bergantian tergantung posisi sudu tersebut, jumlah noselnya tergantung kepada besarnya kapasitas air[3].

2. Generator

Generator adalah sebuah mesin yang dapat mengubah energi gerak (kinetik) menjadi energi listrik (elektrik). Generator bekerja berdasarkan hukum faraday yakni apabila suatu penghantar diputar dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan timbulkan ggl (garis gaya listrik) yang mempunyai satuan volt [10].

Pada dasarnya gaya gerak listrik didapatkan dari memanfaatkan perubahan magnet. Sumber untuk mendapatkan energi kinetik tersebut dapat berasal dari kincir angin yang memanfaatkan hembusan angin, kincir air yang memanfaatkan aliran air hingga mesin yang menggunakan bahan bakar diesel [10].

3. Efisiensi Turbin

Efisiensi Turbin (η) adalah kemampuan peralatan pembangkit untuk mengubah energi kinetik dari air yang mengalir menjadi energi listrik [1]. Untuk menghitung efisiensi dapat digunakan persamaan (2.1) sebagai berikut:

$$\eta_{Turbin} = \frac{P_G}{P_h} \times 100\% \quad (2.1)$$

Keterangan :

η_{Turbin} = Efisiensi Turbin
 P_G = Daya yang dihasilkan generator
 P_h = Daya hidrolis

Daya hidrolis adalah daya yang dihasilkan oleh air yang mengalir dari suatu ketinggian. Dalam hal ini daya hidrolis diperoleh dari daya air yang dihasilkan oleh pompa. Dapat dilihat pada rumus diawah [1].

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \quad (2.2)$$

Keterangan :

P = Daya hidrolis (Watt)
 ρ = Massa jenis fluida/air (kg/m^3)
 Q = Debit air (m^3/s)
 g = Gaya gravitasi (m/s^2)
 H = Head atau tinggi air jatuh (m)

Untuk merubah nilai dari volume air menjadi debit air maka diperlukan persamaan (2.3) sebagai berikut.

$$Q = V/t \quad (2.3)$$

Keterangan :

V = Volume air (L/s)
 t = time (s)

2.2 Spesifikasi Sistem

Dalam perancangan sistem kontrol, menentukan spesifikasi sistem merupakan hal yang diperlukan agar sistem kontrol yang dirancang sesuai dengan apa yang dibutuhkan.

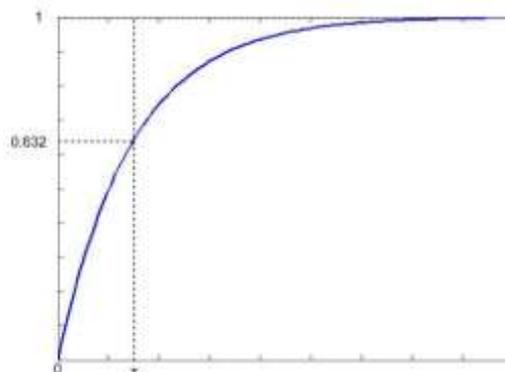
1. Respon Sistem Orde 1

Fungsi Alih sistem orde satu dinyatakan pada persamaan (2.4) berikut.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{ts+1} \quad (2.4)$$

Pada persamaan (2.4) menjelaskan t adalah konstanta waktu dan K merupakan penguatan sistem. Kedua parameter ini menggambarkan perilaku sistem orde satu. Konstanta waktu T berhubungan langsung dengan waktu penetapan (settling time) yaitu $t_s = 4T$ (menggunakan kriteria toleransi 2 %). Sedangkan penguatan K menyatakan perbandingan antara tanggapan mantap (steady state) sistem dengan sinyal masukan berupa sinyal unit step [13].

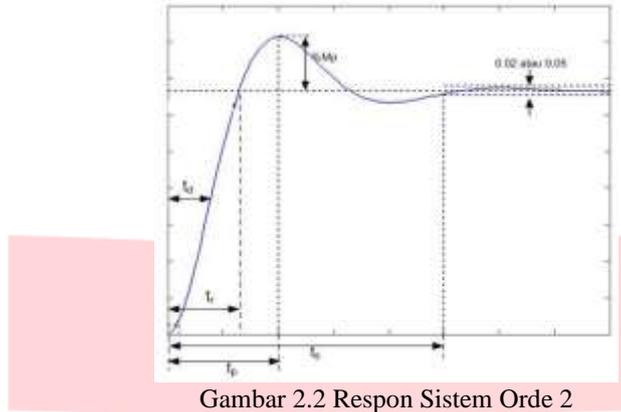
Kurva respon orde satu untuk masukan sinyal unit step ditunjukkan oleh Gambar (2.1) berikut.



Gambar 2.1 Respon Sistem Orde 1

2. Respon Sistem Orde 2

Bentuk umum kurva respon orde dua untuk masukan sinyal *unit step* ditunjukkan oleh gambar 2.2 berikut:



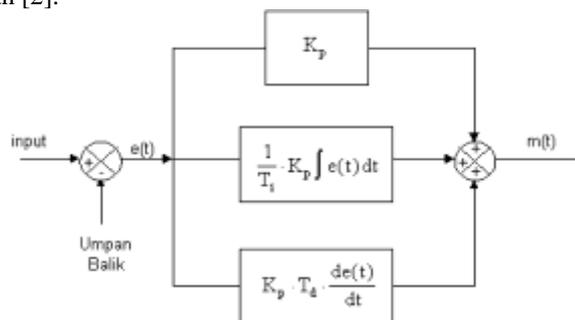
Gambar 2.2 Respon Sistem Orde 2

Spesifikasi dari sistem yang ditunjukkan adalah spesifikasi saat kondisi transien dari sistem. Spesifikasi yang dimaksud dinyatakan dalam parameter-parameter berikut [14].

- Waktu Naik / *rise time* (t_r)
Waktu naik adalah waktu ketika respon sistem bernilai 90% dari nilai akhirnya. Waktu naik dapat dinyatakan dalam persamaan (2.5) berikut.
$$t_r = \frac{1,8}{\omega^n} \tag{2.5}$$
- Waktu Menetap / *settling time* (t_s)
Waktu menetap adalah waktu ketika respon sistem telah memasuki kondisi steady-state. Waktu menetap dapat dinyatakan dalam persamaan (2.6) berikut.
$$t_s = \frac{4}{\zeta\omega^n} \tag{2.6}$$
- Waktu Puncak / *peak time* (t_p)
Waktu puncak adalah waktu ketika respon sistem bernilai maksimum.
- *Maximum Overshoot*
Maximum overshoot adalah nilai maksimum dari respon sistem. Pada umumnya dinyatakan dalam bentuk persentase. Maximum overshoot dapat dinyatakan dalam persamaan (2.7) berikut.
$$Mp = \frac{y(t_p) - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\% \tag{2.7}$$

2.3 Kontrol PID

Kontrol PID adalah salah satu kontrol yang sudah banyak digunakan pada aplikasi industri karena strukturnya yang sederhana. Kendali PID merupakan gabungan antara penguat proporsional, penguat integral dan penguat turunan [2].



Gambar 2.3 Diagram Blok PID

Persamaan PID dapat dinyatakan dalam persamaan (2.8) dan (2.9) berikut.

$$m(t) = Kp \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \tag{2.8}$$

atau

$$m(t) = kpe(t) + \frac{kp}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \tag{2.9}$$

Atau fungsi alihnya adalah

$$\frac{M(s)}{E(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \tag{2.10}$$

1. Kontrol Proporsional

Kendali proporsional memiliki keuntungan dapat melakukan koreksi kesalahan yang kecil ketika nilai kendali kecil dan dapat mempercepat respon sistem. Kelemahan menggunakan kendali proporsional dapat menghasilkan error steady-state [2]. Untuk persamaan kontrol proporsional sendiri dapat dilihat pada Persamaan (2.7).

$$P(t) = Kpe(t) \quad (2.11)$$

2. Kontrol Integral

Fungsi dari sistem kendali integral, jika sinyal kesalahan tidak berharga 0, maka output kontroler menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai Ki. Kekurangan menggunakan kendali integral adalah keluaran kontroler integral membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga kontroler integral cenderung dapat memperlambat sistem [2]. Untuk persamaan kontrol integral sendiri dapat dilihat pada Persamaan (2.8).

$$I(t) = Ki \int_0^1 e(t)dt \quad (2.12)$$

3. Kontrol Derivatif

Tujuan dari kendali derivatif adalah untuk meningkatkan kestabilan sistem loop tertutup dengan syarat nilai konstanta derivatifnya kecil. Proses dinamika yang terjadi pada kendali derivatif akan mengambil beberapa waktu sebelum perubahan variabel kendali yang terlihat dalam proses output. Dengan demikian, sistem kendali akan mengalami keterlambatan dalam mengoreksi kesalahan. Aksi pengendali dengan kendali proporsional dan kendali derivatif mungkin dapat diartikan sebagai kendali yang dibuat sebanding dengan prediksi dari proses output [2]. Untuk persamaan kontrol derivatif dapat dilihat pada Persamaan (2.9).

$$D(t) = kd \left(\frac{d}{dt} \right) e(t) \quad (2.13)$$

Metode kendali PID merupakan sistem kendali loop tertutup yang cukup sederhana dan memiliki performa yang bagus dibandingkan dengan metode kendali lainya, seperti metode fuzzy logic yang mengandalkan banyak parameter untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, atau metode ON-OFF yang terlalu sederhana dan tidak cocok untuk penelitian tugas akhir ini karena sistem tidak selalu kontinue. Pada dasarnya pada penelitian tugas akhir ini membutuhkan sistem kendali keluaran tegangan yang dapat diatur sesuai keinginan. Dalam hal ini metode kendali PID sangat cocok dalam penelitian tugas akhir ini karena keluaran sistem dapat diatur dan bila sistem tidak sesuai dengan nilai *reffrensi*, maka Sistem akan terus memperbaiki error yang terjadi.

2.4 Mikrokontroler

Atmega 328 adalah chip mikrokontroler 8-bit berbasis AVR-RISC buatan Atmel yang memiliki 32 KB memori ISP flash dengan kemampuan baca-tulis (read/write), 1 KB EEPROM, 2 KB SRAM dan karena kapasitas memori Flash sebesar 32 KB inilah kemudian chip ini diberi nama ATmega328. Kelengkapan fitur yang terdapat dalam modul Arduino UNO membuat modul ini mudah untuk digunakan, hanya dengan menghubungkan modul Arduino UNO dengan PC menggunakan kabel USB atau menggunakan adapter DC – DC, maka modul siap digunakan. Modul Arduino UNO merupakan sebuah platform komputasi fisik yang bersifat open source [13]. Dalam penggunaanya, modul Arduino UNO disandingkan dengan sebuah bahasa pemrograman C yang dituliskan menggunakan IDE (Integrated Development Environment) [12].

2.5 Dimmer

Dimmer adalah rangkaian elektronik yang memodifikasi bentuk sinyal AC murni menjadi sinyal terpotong-potong sehingga daya keluaran dapat diatur. Pemotongan sinyal AC ini berguna sebagai peredup lampu, memperlambat motor, mengatur pemanasan dan lainnya [7].

Dimmer yang lebih kompleks menggunakan PWM sebagai pengendalinya. PWM dapat dihasilkan oleh rangkaian SCR, chip/IC PWM atau mikrokontroler. Dimmer PWM ini mampu menghasilkan tingkatan daya yang kecil, sehingga pengontrolan menjadi lebih presisi [7].

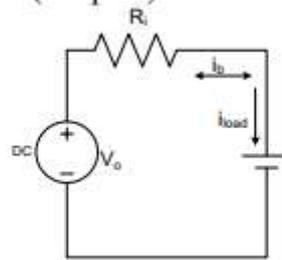
2.6 Inverter

Power Inverter atau biasanya disebut dengan Inverter adalah suatu rangkaian atau perangkat elektronika yang dapat mengubah arus listrik searah (DC) ke arus listrik bolak-balik (AC) pada tegangan dan frekuensi yang dibutuhkan sesuai dengan perancangan rangkaiannya. Sumber-sumber arus listrik searah atau arus DC yang merupakan Input dari *Power Inverter* tersebut dapat berupa Baterai, Aki maupun Sel Surya [8].

Bentuk-bentuk Gelombang yang dapat dihasilkan oleh Power Inverter diantaranya adalah gelombang persegi gelombang sinus, gelombang sinus yang dimodifikasi dan gelombang modulasi pulsa lebar tergantung pada desain rangkaian inverter yang bersangkutan. Namun pada saat ini, bentuk-bentuk gelombang yang paling banyak digunakan adalah bentuk gelombang sinus dan gelombang sinus yang dimodifikasi Sedangkan Frekuensi arus listrik yang dihasilkan pada umumnya adalah sekitar 50Hz atau 60Hz dengan Tegangan Output sekitar 120V atau 240V [8].

2.7 Baterai

Baterai yang digunakan terdiri dari sel-sel dengan setiap sel memiliki tegangan sebesar 2,1 V, artinya aki mobil dan aki motor yang memiliki tegangan 12 V terdiri dari 6 sel yang dipasang secara seri ($12,6 \text{ V} = 6 \times 2,1 \text{ V}$) [11].



Gambar 2.4 Rangkaian Ekuivalen Baterai

Gambar 2.4 menunjukkan rangkaian ekuivalen dari baterai. Rangkaian tersebut terdiri dari tegangan sumber, hambatan dalam dari baterai, dan baterai. Dengan rangkaian tersebut, dapat diketahui berapa tegangan charging yang digunakan untuk mengisi baterai bermuatan kosong dengan tegangan 11 Volt, mengisi baterai sampai penuh dengan tegangan 12,8 Volt [11].

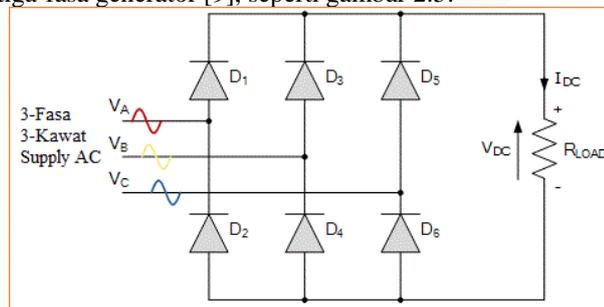
Untuk mengetahui berapa lama pengisian baterai dapat dicari menggunakan persamaan (2.14) berikut.

$$\text{Pengisian} = \left(\frac{\text{Kapasitas Baterai}}{\text{Input Amper}} \right) \times 60 \text{ menit} \quad (2.14)$$

Kapasitas baterai merupakan besar Ah dari baterai yang digunakan sedangkan Input amper adalah besaran amper saat pengisian berlangsung.

2.8 Penyearah 3 Fasa

Penyearah tiga 3-fasa, juga dikenal sebagai rangkaian penyearah fasa-poli mirip dengan penyearah satu 1-fasa, perbedaan kali ini adalah bahwa menggunakan tiga, supply satu 1-fasa terhubung bersama-sama yang menghasilkan tiga-fasa generator [9], seperti gambar 2.5.



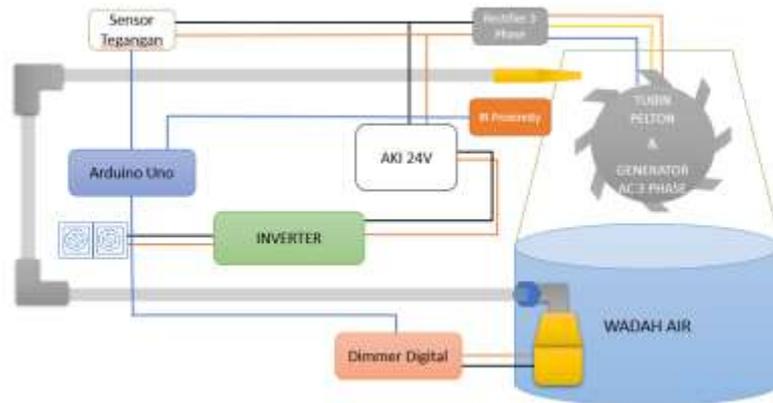
Gambar 2.5 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh

Keuntungannya di sini adalah bahwa rangkaian penyearah tiga 3-fasa dapat digunakan untuk memberi daya pada banyak aplikasi industri seperti kontrol motor atau pengisian baterai yang membutuhkan kebutuhan daya yang lebih tinggi daripada yang dapat disediakan oleh rangkaian penyearah satu 1-fasa.

Supply tiga 3-fasa membawa ide ini selangkah lebih maju dengan menggabungkan bersama tiga tegangan AC dari frekuensi dan amplitudo yang identik dengan masing-masing tegangan AC disebut "fasa". Tiga 3-fasa ini adalah 120 derajat listrik diluar-fasa dari satu sama lain menghasilkan urutan fasa, atau rotasi fasa

3. Perancangan Sistem

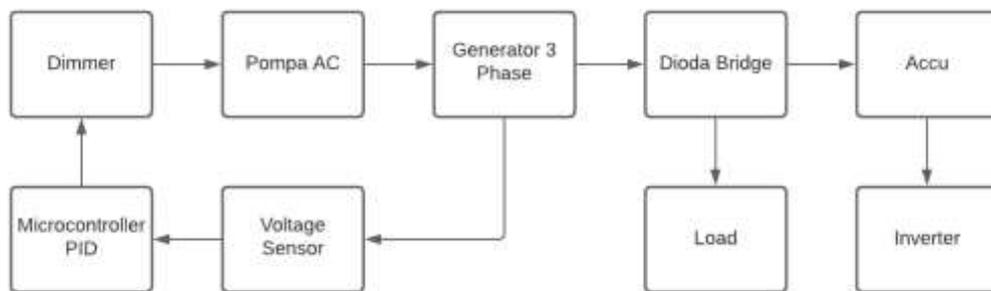
Perancangan sistem dimulai dengan membangun desain PLTMH untuk pengujian sensor tegangan dan sensor rpm dengan menggunakan Arduino Uno. Untuk melihat apakah sistem dapat bekerja dengan baik, selanjutnya diverifikasi secara menyeluruh menggunakan kontrol PID serta pengujian untuk mempertahankan tegangan yang dihasilkan generator.



Gamabr 3.1 Desain Sistem PLTMH Pelton Portable

Pada gambar 3.1 perancangan sistem bertujuan untuk mendapatkan hasil daya yang lebih besar dibandingkan dengan daya yang terpakai pada sistem PLTMH pelton *portable*.

3.1 Diagram Blok Sistem

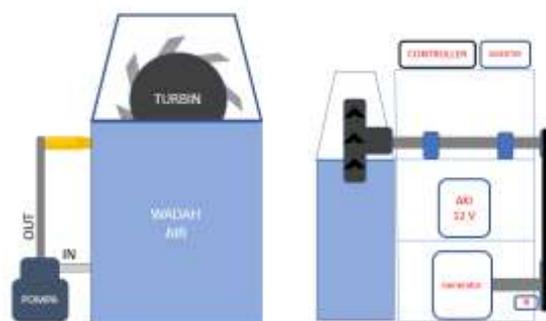


Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem Keseluruhan

Pada gambar 3.2 menjelaskan diagram blok sistem secara keseluruhan. Sistem tersebut terdiri dari pompa, generator 3 fasa, penyearah, beban, sensor tegangan, dan mikrokontroler. pompa akan mengeluarkan air dan menggerakkan generator 3 fasa kemudian listrik arus AC yang dihasilkan masuk ke dalam diode bridge untuk diolah menjadi arus DC sehingga dapat untuk mengisi aki atau menyalakan beban lainnya. kegunaan sensor tegangan sebagai feedback untuk mengontrol kecepatan pompa AC yang kemudian diolah oleh mikrokontroler dan hasilnya dikirimkan kepada dimmer agar nantinya kecepatan pompa dapat menyesuaikan tegangan yang dibutuhkan pada pengisian aki atau beban lainnya. dan penyimpan aki kemudian dihubungkan dengan inverter agar mendapat arus listrik AC

3.2 Desain Perangkat Keras

Deasin perangkat keras PLTMH *portable* dapat dilihat pada gambar 3.3. Perangkat keras terdiri dari kontroler yang berisi fungsi dan fitur sebagai pengendali, wadah sebagai penampung air, pompa dan nosel sebagai energi dorong air menuju turbin, dan aki serta inverter sebagai penyimpanan dan penggunaan beban AC 220V.

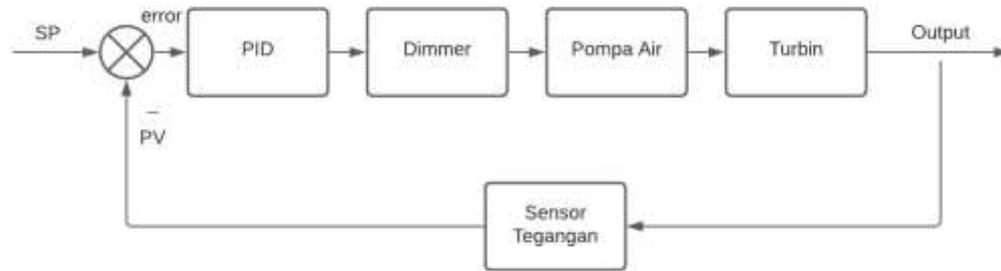


Gambar 3.3 Desain Perangkat Keras

Pada gambar 3.3 menjelaskan cara kerja sistem PLTMH pada tugas akhir. Dari mulai pengisian baterai dari generator AC 3 fasa, *wind controller* sebagai penyearah menjadikannya arus DC sehingga dapat mengisi baterai. Dalam pengisian akan ada mikrokontroler sebagai pengendali kecepatan pompa air, sehingga pompa air dapat memberi dorongan pada turbin dengan kondisi tegangan yang dihasilkan oleh generator tidak boleh lebih dari 13V karena dibutuhkan tegangan yang cukup untuk pengisian baterai. Dengan menggunakan sensor tegangan sebagai feedback pada mikrokontroler, sehingga kecepatan pompa air dapat diatur menggunakan kontrol PID.

3.3 Desain Kontrol PID

Dalam perancangan kontrol PID dibutuhkan sistem loop yaitu sistem yang mempunyai *feedback* agar sistem tersebut stabil dengan kondisi yang sudah ditentukan diawal.



Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem Dengan Kontrol PID

Pada gambar 3.4 K_p , K_i , dan K_d yang sudah ditentukan nilainya akan diproses bersama setpoint (SP) hingga menjadi kontrol PID. Output PID yang berupa pwm kemudian diproses oleh dimmer yang akan memotong sinyal sinus dari pompa air sehingga kecepatan putar pompa air dapat diatur sesuai nilai output kontrol PID. Keluaran pompa berupa laju aliran air akan mendorong turbin. Jika turbin terdorong, maka generator akan berputar dan menghasilkan tegangan. Sensor tegangan yang berfungsi sebagai *feedback* atau PV (*proses value*) akan membaca tegangan yang dihasilkan oleh generator. Error terjadi jika ada selisih dari SP dan PV, maka sistem akan menambah error pada proses kontrol PID sampai nilai SP dan PV sama.

3.4 Desain Perangkat Lunak

Desain perangkat lunak dari desain implementasi kontrol kecepatan pompa air dengan metode PID pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro ini menggunakan 2 sistem, yaitu sistem pembangkit listrik dan sistem kontrol. Sistem pembangkit terdiri dari komponen besar dengan perangkat mekanik pada pembangkit, sedangkan sistem kontrol adalah sistem yang mengontrol keluaran pembangkit. Desain perangkat lunak terdiri dari Flowchart PLTMH dan Flowchart Kontrol PID.

1. Flowchar PLTMH

Dalam perancang kontrol kecepatan pompa dibutuhkan desain perangkat lunak untuk membantu agar sistem berjalan dengan maksimal,. Berikut Flowchart yang digunakan PLTMH pada gambar 3.5.

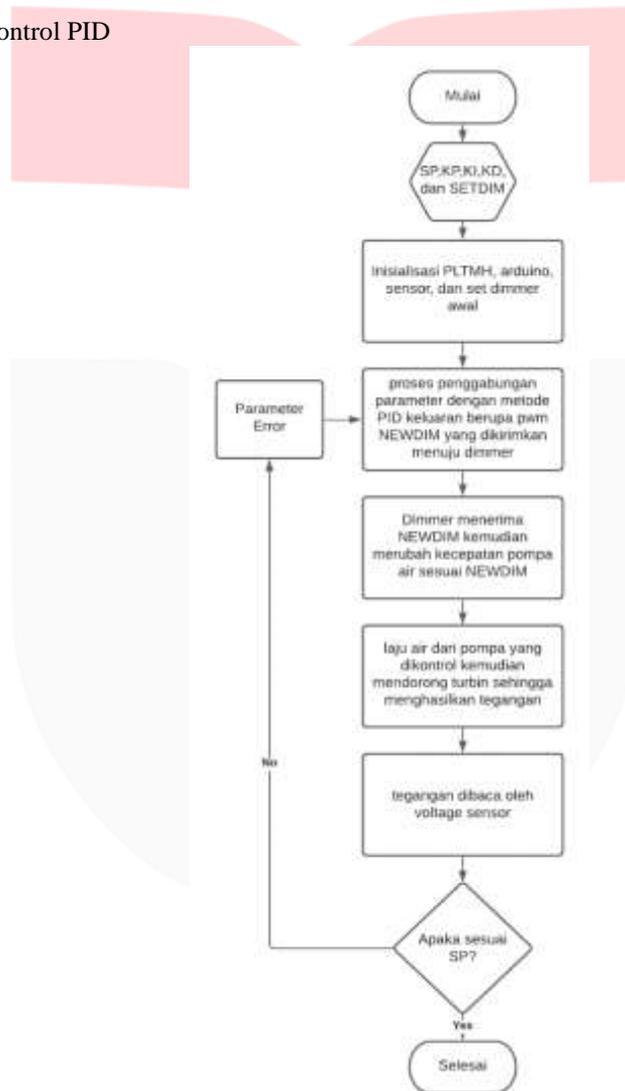


Gambar 3.5 Flowchart PLTMH

Flowchart pada gambar 3.5 menjelaskan proses cara kerja PLTMH pelton *portable*. Dimulai dari aki yang dihubungkan dengan inverter, kemudian inverter memberikan suplai arus AC kepada pompa air sehingga pompa dapat menyempotkan air pada turbin.

Pada saat turbin berputar maka generator 3 fasa juga ikut berputar. Kemudian dilakukan penyearahan agar arus yang sebelumnya adalah arus AC dapat diubah menjadi arus DC sehingga listrik yang dihasilkan dapat disimpan kedalam aki, sehingga listrik yang dihasilkan terus dapat berputar dan cukup untuk memenuhi beban arus lainnya.

2. Flowchar Kontrol PID



Gambar 3.6 Flowchart Kontrol PID

Pada gambar 3.20 diawali dengan persiapan dengan nilai SP, DP, KI, KD dan Dimmer. Kemudian inisialisasi semua perangkat dan komponen alat yang digunakan, setelah mendapat nilai dimmer atau setdim dimmer akan menyesuaikan tegangan sesuai setdim untuk menggerakkan pompa air.

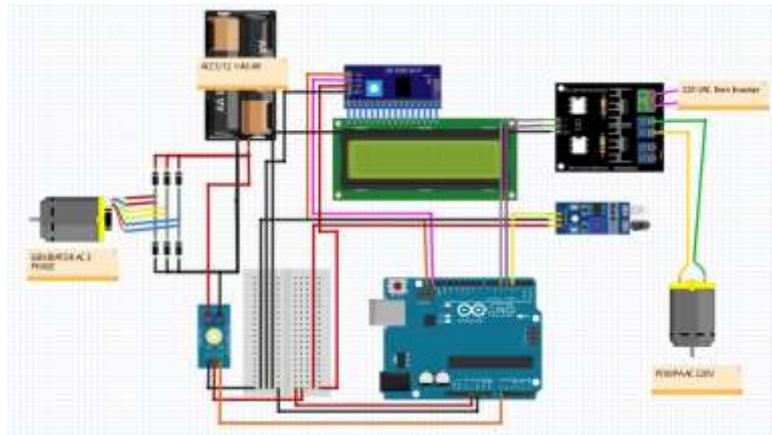
Kemudian masuk pada proses penggabungan parameter yang telah disiapkan dengan menggunakan metode PID, keluaran PID berupa parameter NEWDIM atau nilai dimmer baru akan dikirimkan menuju komponen dimmer sehingga kecepatan pompa air dapat diatur oleh dimmer sesuai dengan nilai NEWDIM.

Laju air yang dikeluarkan oleh pompa yang sudah dikontrol kemudian mendorong turbin sehingga berputar. Turbin akan menghasilkan keluaran tegangan yang selanjutnya dibaca oleh sensor tegangan.

Sensor tegangan yang berfungsi sebagai feedback, kemudian sensor membaca tegangan yang masuk pada saat pengisian baterai atau beban DC lainnya kemudian mengirim nilai parameter baru yaitu error menuju Arduino Uno agar dapat memproses kembali kendali PID.

Ketika selesai memproses kontrol PID maka sistem menghitung apakah sudah sesuai setpoint? Jika belum maka sistem kembali pada proses kendali PID, jika ya maka selesai.

3.5 Skematik Wiring Perangkat Keras



Gambar 3.7 Sekmatik Wiring Perangkat Keras Keseluruhan

4. Hasil Pengujian Dan Analisis

4.1 Realisasi Alat

Hasil realisasi alat yang sudah dirancang dapat dilihat pada gambar 3.1. Rangka yang digunakan adalah besi siku lubang ukuran 2 mm. dibagian bawah terdapat generator yang dihubungkan dengan pulley, dibagian tengah terdapat 2 buah aki 12v 20ah yang telah diparalel menjadi aki 12v 40ah, dibagian ketiga terdapat as dan pulley yang dihubungkan dengan turbin pelton, dan dibagian paling atas terdapat inverter dan juga mikrokontroller serta LCD, terakhir dibagian bawah sebelah kanan terdapat pompa air yang dihubungkan dengan nosel.

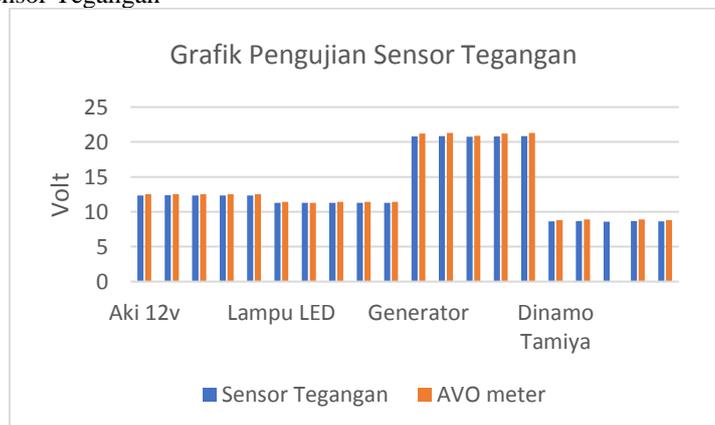


Gambar 4.1 Realisasi Alat

4.2 Pengujian Sensor

Tujuan dari pengujian sensor adalah untuk mendapatkan nilai akurasi yang diinginkan dan meminimalkan nilai *error* dengan mengkalibrasi. Pada pengujian sensor, digunakan beberapa persamaan untuk mengetahui data pengujian sensor.

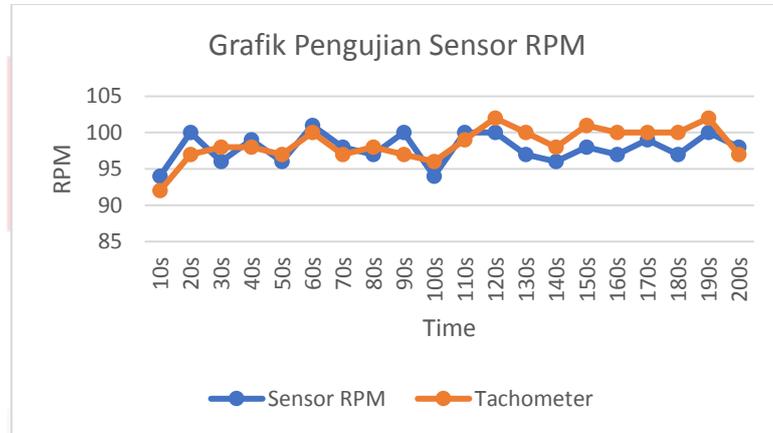
1. Pengujian Sensor Tegangan



Gambar 4.2 Grafik Pengujian Sensor Tegangan

Pada gambar 4.2 didapat nilai sensor dari 4 sampel beban, sensor yang dipakai kemudian dibandingkan dengan sensor primer sehingga memperoleh rata-rata nilai error sebesar 1,81 V dan akurasi sebesar 93,72%.

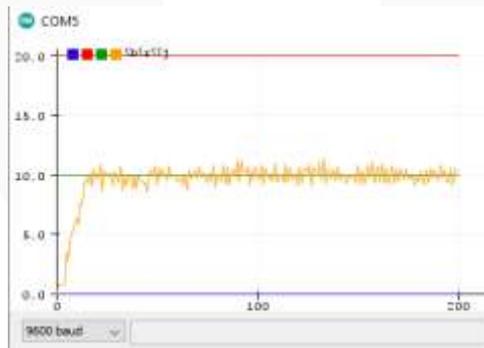
2. Pengujian Sensor RPM



Gambar 4.3 Grafik Pengujian Sensor RPM

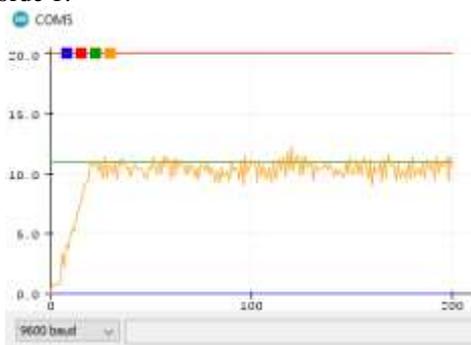
Pada gambar 4.3 didapat hasil dari pengambilan data dengan membandingkan sensor rpm dengan tachometer selama 200 detik didapat akurasi sensor sebesar 98.07%.

4.3 Pengujian Kontrol PID



Gambar 4.4 Grafik Kontrol PID Setpoint 10V

Pada gambar 4.4 didapatkan hasil grafik kontrol PID pada input nilai SP=10v, KP=80, KI=80 dan KD=4. Dihasilkan Maksimum Overshoot=0, Risetime=15ms, Setlingtime=16ms, dan Error steady state=0. Respon system berupa orde 1.



Gambar 4.5 Grafik Kontrol PID Setpoint 11V

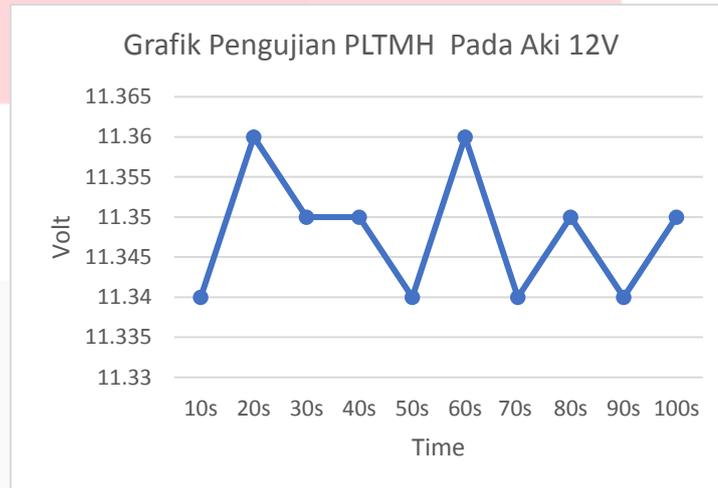
Pada gambar 4.5 didapatkan hasil grafik kontrol PID pada input nilai SP=11v, KP=80, KI=80 dan KD=4. Dihasilkan Overshoot=0, Risetime=20ms, Setlingtime=21ms, dan Error steady state=0.5. Respon system berupa orde 1.

4.4 Pengujian PLTMH Pada Beban AC dan DC

1. Pengujian Beban DC Pada Aki 12V

Pengujian PLTMH ini bertujuan untuk mengetahui apakah pembangkit dapat menghasilkan tegangan dan arus pada beban AC maupun DC. Pengujian ini dilakukan dengan menaruh beban dimasing-masing arus yang berbeda.

Pengujian dimulai dengan menghubungkan beban DC pada penyearah. Selanjutnya melihat generator menyalakan beban yang sudah dipasang dan melihat sensor tegangan membaca hasil keluran tegangan yang sudah dihasilkan. Pada pengujian sumber AC dimulai dengan aki yang dihubungkan dengan inverter, kemudian menghubungkannya dengan beban AC. Setelah dihubungkan maka akan terlihat nilai keluaran beban.



Gambar 4.6 Grafik Pengujian PLTMH Pada Aki 12V

Pada gambar 4.6 didapat hasil rata-rata tengangan pengisian aki selama 100 detik sebesar 11,348V dengan amper sebesar 46,63mA



Gambar 4.7 Grafik Kontrol PID Pada Aki 12V

Pada gambar 4.7 didapatkan hasil grafik kontrol PID pada Aki 12V dengan nilai SP=12v, KP=80, KI=80 dan KD=4. Dihadirkan Maksimum Overshoot=0, Risetime=35ms, Setlingtime=36ms, dan Error steady state=0.5 dengan respon system berupa orde 1. Pengujian dimulai dengan menyambungkan Aki 12V pada 80ms dan terlihat perbedaan pada saat pengisian sedang berlangsung.

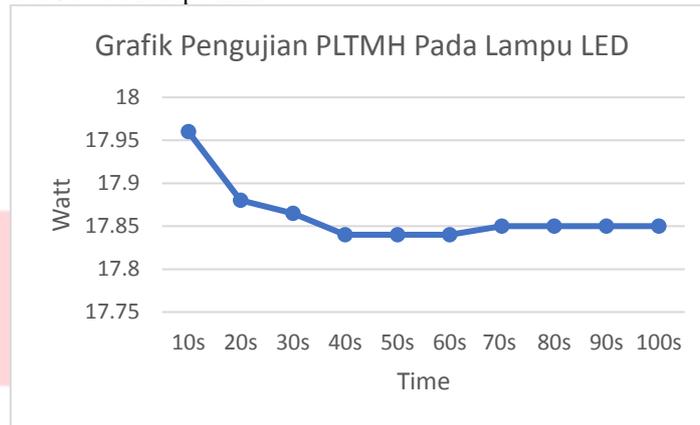
Pada saat pengisian dapat dihitung menggunakan persamaan (2.14)

$$Pengisian = \left(\frac{Kapasitas\ Baterai}{Input\ Amper} \right) \times 60\text{menit}$$

$$Pengisian = \left(\frac{40Ah}{0,0466A} \right) \times 60$$

$$Pengisian = 51612.6\text{ atau }860\text{ jam }12\text{ menit} > \text{sekitar }35\text{ hari}$$

2. Pengujian Beban AC Pada Lampu LED



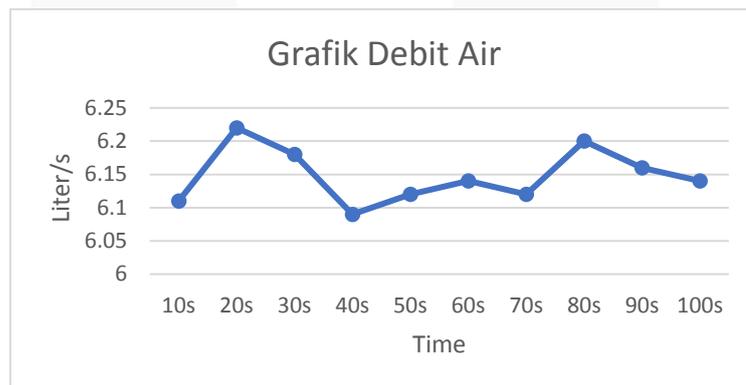
Gambar 4.8 Grafik Pengujian PLTMH Pada Lampu LED

Pada gambar 4.8 didapat hasil rata-rata watt lampu LED selama 100 detik sebesar 17,867 Watt.

4.5 Pengujian Efisiensi Turbin

Pengujian efisiensi turbin ini bertujuan mengetahui seberapa besar efisiensi turbin dari PLTMH yang dirancang. Pengujian ini dilakukan dengan menaruh sensor aliran air pada pipa air yang dihubungkan setelah pompa.

Pengujian dimulai dengan menyambungkan dengan Digital Flow Meter dengan Sensor Aliran yang sudah disambung pada pipa air, setelah dihubungkan akan keluar nilai debit air L/s. Pada pengujian akan dihitung efisiensi PLTMH dengan menggunakan rumus (2.1), (2.2), dan (2.3).



Gambar 4.9 Grafik Debit Air

Setelah mendapatkan nilai rata – rata *flow rate* dari sensor *water flow* (L/s), kemudian satuan debit air diubah menjadi bentuk m^3 dengan persamaan (2.3)

$$Q = \frac{6,148}{10} = 0,6148 \text{ l/s}$$

$$Q = 0,0006148 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kemudian masukan debit air kedalam persamaan (2.1) agar mendapatkan nilai daya hidrolis atau daya yang masuk pada turbin.

$$P = p \cdot g \cdot Q \cdot h$$

$$P = 997 \times 9,8 \times 0,0006148 \times 10$$

$$P = 60,06$$

Setelah mendapatkan nilai daya hidrolis kemudian dimasukan pada (2.2) dengan membagi daya generator / daya hidrolis dikalikan 100 persen, sehingga didapat efisiensi dari PLTMH.

$$\eta_{Turbin} = \frac{P_G - P_{pompa}}{P_h} \times 100\%$$

$$\eta_{Turbin} = \frac{500 - 125}{60,06}$$

$$\eta_{Turbin} = 6,24\%$$

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian dan analisis desain dan implementasi kontrol kecepatan pompa air dengan metode pid pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro pelton *portable*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem yang dirancang telah berhasil mencapai tujuan, pada PLTMH sudah dapat melakukan pengisian aki dan menyalahkan beban lainnya baik beban AC ataupun beban DC. Pada kontrol PID sudah dapat melakukan kendali sesuai setpoint yang telah ditentukan.
2. Penggunaan kontrol kecepatan pompa air menggunakan sistem kendali PID dengan nilai konstanta $P = 80$, $I = 80$, dan $D = 4$, nilai tersebut didapat dengan melakukan *trial and error* sampai didapat nilai tegangan yang cukup stabil dan respon sistem yang cepat, meski dibebra setpoint masih adanya error steady state kurang lebih 0,91V.
3. Pengujian pada beban DC didapat rata-rata nilai dari Aki yaitu 12,348 V, 4,663 mA, 0,0568 Watt, dan 107 rpm. Pada beban Lampu DC didapat rata-rata nilai yaitu 9,8 V, 100 mA, 0,98 Watt, dan 97,8 rpm. Pada beban dinamo Tamiya didapat rata-rata nilai yaitu 5,646 V, 400 mA, 2,257 Watt, dan 61,3 rpm.
4. Pengujian pada beban AC didapat rata-rata nilai dari Lampu LED yaitu 223,33 V, 0,10 A, dan 17,86 Watt. Pada beban Charger Hp didapat rata-rata nilai 222,73 V, 0,193 A, dan 33,86 Watt. Pada beban Kipas Angin didapat rata-rata nilai 224,96 V, 0,12 A, dan 21,56 Watt.
5. Pengujian pada beban DC pada sampel Lampu DC dan Dinamo Tamiya masih jauh dari standar 12V, kemungkinan kurangnya pressure pada turbin sehingga tidak cukup kuat untuk mendapatkan keluaran 12v pada kedua beban.
6. Pengujian pada pengisian aki 12v masih jauh dari yang diharapkan, karena amper yang masuk saat pengisian sebesar 46,6 mA tidak sesuai dengan sistem yang direncanakan yaitu sebesar 5 A. perhitungan pengisian aki 40Ah penuh dalam 820 jam atau 35 hari.
7. Debit air yang didapat sebesar 0,0006148 m³, sehingga membuat efisiensi turbin yang didapat sebesar 6,24% yang sangat jauh dari nilai efisiensi turbin pada umumnya yaitu sebesar 70%.

REFERENSI

- [1] Samosir, Rahmad. 2018. "PENGARUH JUMLAH NOSEL PADA TURBIN PELTON". Universitas Kristen Indonesia. Jakarta.
- [2] Anugra, Chintia Wulfa. 2021 "PENGENDALIAN KECEPATAN BELT CONVEYOR TWO-WAYS DENGAN METODE PID BERBASIS IOT". Universitas Telkom. Bandung
- [3] Wibowo Sitompul, Advendo. 2011. "PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO MENGGUNAKAN TURBIN PELTON". Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- [4] Eka Arif Widayaka, Yohanes. 2011. "PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO MENGUNAKAN TURBIN PELTON DENGAN JUMLAH SUDU 16 DAN 18". Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- [5] Monita, Natasya. 2018 "PERANCANGAN SISTEM KENDALI DENGAN PID UNTUK KESEIMBANGAN BOLA PADA BIDANG DATAR". Universitas Telkom. Bandung.
- [6] Ogatha, Katsuhiko. 1991. Teknik Kontrol Otomatik Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- [7] Admin. 2020. "Pengertian Dimmer Dan Fungsinya", <https://www.plcdroid.com/2020/10/pengertian-dimmer-dan-fungsinya.html>. Diakses Pada 4 Agustus 2021.
- [8] Mardatila, Ani. 2020. "Fungsi Inverter Beserta Pengertian, Manfaat, dan Jenis Yang Perlu Diketahui", <https://www.merdeka.com/sumut/fungsi-inverter-pengertian-manfaat-dan-jenisnya-yang-perlu-diketahui-klm.html>. Diakses Pada 4 Agustus 2021.
- [9] Abdulelektro. 2020. "Penyearah 3 Fasa", <https://abdulelektro.blogspot.com/2019/07/penyearah-tiga-3-fasa.html>. Diakses Pada 20 Juli 2021.
- [10] Pemudapengembara. 2017. "Pengertian Generator AC dan DC", <https://belajarsetrum.blogspot.com/2017/09/pengertian-generator-listrik-ac-dan-dc.html>. Diakses Pada 10 Agustus 2021.
- [11] OTOMOTIFO. 2019. "Berapa Lama Cas Aki Mobil", <https://www.otomotif.com/berapa-lama-cas-aki-mobil/>. Diakses Pada 25 Mei 2021.
- [12] Lutfiandi. 2015. "PENGERTIAN MIKROKONTROLLER ARDUINO UNO", <https://lutfianadwi.wordpress.com/2015/12/18/pengertian-mikrokontroler-arduino-uno>. Diakses Pada 30 Agustus 2021.
- [13] "Laporan Praktikum Sistem Kontrol", <http://siskon.elektro.ub.ac.id/wp-content/uploads/2020/02/siskon-2020.pdf>. Universitas Brawijaya. Malang.
- [14] Giffary Rachman, Elvandy. 2019. "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PENDULUM TERBALIK MENGGUNAKAN KENDALI PID". Universitas Telkom. Bandung.