

# RANCANG BANGUN GENERATOR TENAGA KOMPRESI BERDASARKAN VARIABEL TEKANAN PISTON SEBAGAI SIMULATOR TRANSFER ENERGI GELOMBANG LAUT

## DESIGN OF COMPRESSED POWER GENERATOR EQUIPMENT BASED ON PISTON PRESSURE VARIABLE AS SIMULATOR OF WAVE ENERGY TRANSFERS

Reza Putra Nugraha<sup>1</sup>, Suprayogi<sup>2</sup>, Rahmat Awaludin Salam<sup>3</sup>

Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>reza.putraN@gmail.com, <sup>2</sup>suprayogi@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>awaludinsalam@telkomuniversity.ac.id

### Abstrak

Energi gelombang laut merupakan sumber energi terbarukan yang masih bisa dikembangkan. Apalagi di Indonesia yang merupakan negara yang sebagian besar wilayahnya adalah laut memiliki potensi besar untuk pengembangan energi gelombang laut. Berdasarkan hal tersebut untuk memahami karakteristiknya perlu dilakukan uji dalam skala lab. Pada penelitian kali ini akan dibuat simulator transfer energi gelombang laut berdasarkan variable tekanan piston menggunakan kompresor. Pada kompresor piston terhubung dengan motor listrik menggunakan *belt*. Lalu motor listrik akan dikontrol menggunakan relay dengan menggunakan data interval waktu gelombang laut yang pengaturannya menggunakan Arduino (mikrokontroler). Gerak piston akan memompa fluida bertekanan masuk ke dalam tabung penyimpanan dan besar tekanan pada tabung kompresor akan diukur menggunakan sensor tekanan SKU237545. Kecepatan fluida akan diukur menggunakan Hot Wire Anemometer. Hasil tekanan yang dihasilkan relatif konstan pada 2.25bar dan kecepatan fluida juga relatif konstan pada 1m/s. Perbedaan hasil tekanan antara simulasi dan real sebesar 0.096% dengan nilai error sebesar 0.11%. Untuk hasil kecepatan fluida perbedaan antara simulasi dan real sebesar 0.2% dan error sebesar 0.17%.

**Kata kunci : Relay, Sensor SKU237545, Hot Wire Anemometer, Kompresor, Transfer Energi Gelombang Laut, Energi Terbarukan.**

### Abstract

Wave energy is a renewable energy that can be developed. Especially in Indonesia, Indonesia is a country where most of territory is the sea has great potential for development of wave energy. Based on this, to understand the characteristics need to do a lab-scale test. In this research will be made a sea wave energy transfer simulator based on the piston pressure variable using a compressor. The piston of compressor is connected to an electric motor using a belt. Then the electric motor will be controlled using a relay by using sea wave time interval data which is set using the Arduino (microcontroller). The piston motion will pump the pressurized fluid into the storage tube and the large pressure on the compressor tube will use the SKU237545 pressure sensor. Fluid speed will be measurable by Hot Wire Anemometer. The result of pressure is relatively constant at 2.25bar and fluid velocity is relatively constant at 1m/s. The difference in pressure between the simulation and real result is 0.096% and error value is 0.11%. For fluid velocity the difference between simulation dan real result is 0.2% and error value is 0.17%.

**Keywords: Relay, Sensor SKU237545, Hot Wire Anemometer, Compressor, Wave Energy Transfers, Renewable Energy.**

### 1. Pendahuluan

Seiring dengan pertambahan penduduk dan pertumbuhan ekonomi suatu negara setiap tahunnya, dan permasalahan keterbatasan sumber energi fosil. Menyebabkan kebutuhan akan energi listrik pun semakin meningkat. Begitupun di Indonesia, kebutuhan akan energi listrik terus meningkat setiap tahunnya. Berdasarkan hasil proyeksi kebutuhan listrik Perusahaan Listrik Negara (PLN) selama kurun waktu 17 tahun (2003 s.d. 2020) diperkirakan tumbuh sebesar 6,5% per tahun dari 91,72 TWh pada tahun 2002 menjadi 272.34 TWh pada tahun 2020 [1]. Dengan peningkatan sebesar 6,5% pertahunnya membuat masyarakat mencari sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Diantaranya terdapat sumber energi panas bumi, sinar matahari, dan yang paling umum adalah sumber energi tenaga air, selain itu terdapat sumber energi baru yaitu sumber energi tenaga gelombang laut.

Seperti yang diketahui, Indonesia merupakan negara kepulauan yang sebagian besar wilayahnya adalah laut. Dengan luasnya 1.904.556 km yang terdiri dari 17.508 pulau, 5,8 juta km lautan dan 81,290 juta km panjang pantai, maka potensi sumber energi laut terutama gelombang air laut sangat berpotensi sebagai energi alternatif untuk pembangkit listrik [2]. Untuk mengkonversi dari energi gelombang laut menjadi energi listrik, beberapa metode dapat dilakukan, seperti Oscillating Water Column (OWC), Attenuator, dan Point Absorber.

Salah satu penelitian yang pernah dilakukan yaitu menggunakan metode Point Absorber. Metode ini dikembangkan dengan cara memanfaatkan gerak turun-naik gelombang yang akan diteruskan oleh pelampung

ke sistem piston-silinder yang terpasang pada pelampung. Gerak turun naik piston ini diubah menjadi energi listrik baik dengan cara elektromekanis maupun dengan cara diubah terlebih dahulu menjadi energi hidrolis untuk kemudian di ubah lagi ke energi listrik. Sebagai contoh adalah model AquaBuoy yang dikembangkan Finavera. Pada model ini, gerak piston-silinder digunakan untuk menghasilkan air laut yang bertekanan didalam ruang silinder. Air laut bertekanan ini kemudian menggerak kan turbin yang terdapat pada silinder untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dapat dihasilkan oleh model AquaBuoy ini adalah sebesar 250 kW [3]. Untuk memahami karakteristik tersebut maka perlu dilakukannya uji dalam skala laboratorium.

Pada penelitian ini, akan dibangun penggunaan sistem pneumatik berdasarkan gerak piston pada kompresor sebagai representasi gelombang laut yang gerak pistonnya disebabkan oleh motor listrik. Motor listrik dikontrol on-off menggunakan microcontroller yang diberikan input data gerak transversal gelombang laut yang kemudian gerak motor akan mempengaruhi gerak piston. Fluida yang dihasilkan oleh piston akan didistribusikan melalui inlet menuju tabung kompresor, lalu fluida tersebut ditampung hingga mencapai tekanan yang ditentukan. Pengondisian tekanan tersebut dilakukan sebagai asumsi agar pada saat fluida dikeluarkan, tekanan di dalam tabung relatif konstan pada tekanan yang besar. Setelah itu dilakukan setting pada diameter inlet dan outlet fluida, dengan diameter inlet lebih besar dibandingkan dengan diameter outlet. Hal tersebut dilakukan agar besar nilai tekanan fluida yang masuk ke dalam tabung akan lebih besar dibandingkan dengan besar nilai tekanan fluida yang keluar.

Nilai kecepatan aliran fluida yang keluar bergantung pada besar tekanan yang tertampung di dalam tabung, semakin besar nilai tekanannya maka semakin besar nilai kecepatan aliran fluida yang dihasilkan. Sehingga dengan pengkondisian tersebut dihasilkan nilai kecepatan aliran fluida yang relatif konstan dan besarnya bergantung pada nilai tekanan yang tertampung di dalam tabung. Setelah didapatkan nilai tekanan fluida dan kecepatan aliran fluida, selanjutnya dihitung besar energi/daya aliran fluida yang dihasilkan. Kelebihan sistem tersebut adalah hasil dari pengukuran output energi/daya dan kecepatan fluida relatif konstan, dimana nilai tekanan di dalam tabung tidak mengecil lalu habis, juga tidak membesar lalu meledak.

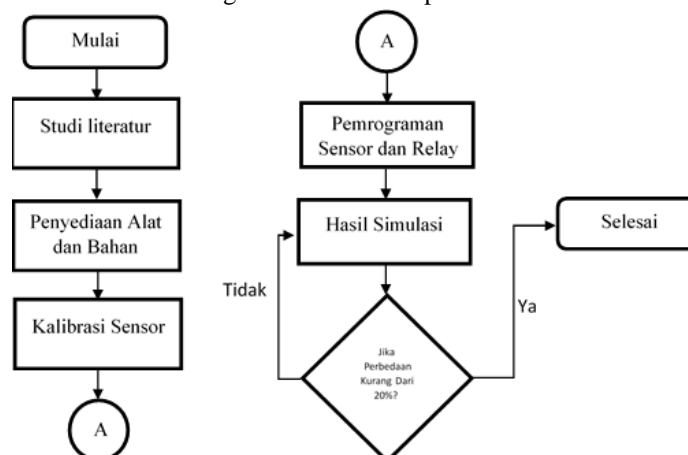
Berdasarkan penjelasan yang telah dijelaskan sebelumnya dilator belakang, maka dapat dirumuskan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan sistem motor listrik dengan menggunakan data perubahan gerak transversal gelombang laut untuk mengatur gerak piston pada kompresor.
2. Mengetahui besar energi kinetik fluida yang keluar dari kompresor

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1 Diagram Alir Penelitian

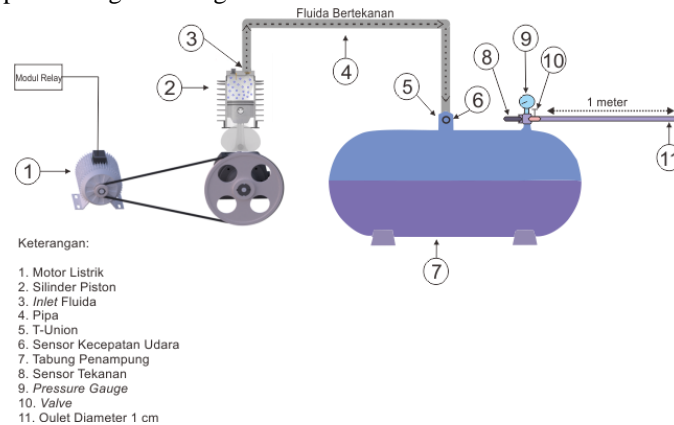
Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1. Tahap pertama penelitian ini yaitu melakukan studi literatur dan mencari refensi yang berhubungan dengan penelitian serta dilakukan penyediaan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Tahap Selanjutnya dilakukan kalibrasi untuk menguji linearitas pada sensor tekanan, kalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai sensor yang terukur dengan tekanan yang dihasilkan oleh pressure gauge. Jika gradien antara nilai sensor dan nilai tekanan telah didapatkan maka dilakukan pemrograman pada sensor dengan memasukan nilai gradien pada pemrograman. Lalu dilakukan pemrograman pada relay, dimana data interval waktu perubahan gerak transversal gelombang diimplementasikan pada motor listrik yang dikontrol menggunakan relay. Setelah pemrograman selesai, maka dilakukan pengujian alat berdasarkan hasil simulasi, dan dilakukan pengambilan data sampel untuk melengkapi penelitian. Data yang diambil berupa nilai tekanan pada saat pengisian dengan kondisi outlet tertutup, tekanan pada saat outlet terbuka, dan hasil kecepatan udara yang keluar. Setelah itu dilakukan perbandingan data hasil pengukuran real dan simulasi. Jika perbedaan data hasil pengukuran real dan simulasi kurang dari 20% maka penelitian selesai.



Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

## 2.2 Design Alat

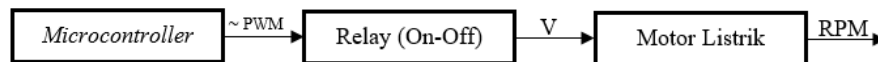
Alat dapat bekerja dengan memanfaatkan gerak putaran motor listrik yang terkontrol pada kompresor yang berfungsi sebagai simulator gelombang laut. Gambar 3.3 motor listrik dihubungkan menggunakan fan belt yang terhubung dengan crankshaft (poros engkol) pada silinder yang menjadi pusat poros dari setiap gerakan piston. Maka dari itu gerak piston bergantung dari putaran yang dihasilkan dari motor listrik. Dari data interval waktu gerak transversal gelombang laut akan diproses pada relay menggunakan microcontroller untuk mengatur ON-OFF motor listrik. Pada saat gelombang turun maka keadaan motor listrik adalah ON, dan pada saat gelombang naik keadaan motor listrik OFF.



Gambar 2.2 Design Alat

## 2.3 Diagram Blok Sistem

Pada penelitian ini pengendalian motor listrik menggunakan modul relay, dimana sinyal PWM (Pulse-Width Modulation) pada microcontroller memanipulasi keluaran digital sedemikian rupa sehingga menghasilkan sinyal analog. Microcontroller melakukan setting output digital ke High dan LOW bergantian dengan porsi waktu tertentu untuk setiap nilai keluarannya lihat Gambar 3.2. Modul Relay akan memutus nilai tegangan sehingga motor listrik akan berhenti berputar.



Gambar 2.3 Diagram Blok Sistem

## 2.4 Perhitungan Energi Fluida

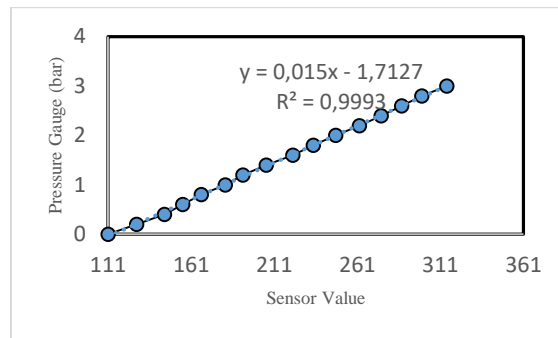
Untuk mendapatkan nilai energi fluida, dibutuhkan beberapa variable yang diukur, pertama mengukur volume tabung, setelah itu mengukur nilai rapat massa jenis udara. Lalu mengukur tekanan pada tabung menggunakan sensor tekanan yang dipasang pada tabung. Udara yang keluar dari tabung melalui valve memiliki kecepatan dan akan diukur menggunakan Hot Wire Anemometer. Untuk menghitung besar energi fluida yang keluar dari kompresor digunakan persamaan sebagai berikut[5]:

$$W = \dot{m} \frac{p}{\rho} + \dot{m} \frac{1}{2} v^2 + \dot{m} gh \quad (2.1)$$

## 3. Hasil dan Analisis

### 3.1 Kalibrasi Sensor Tekanan (SKU237545)

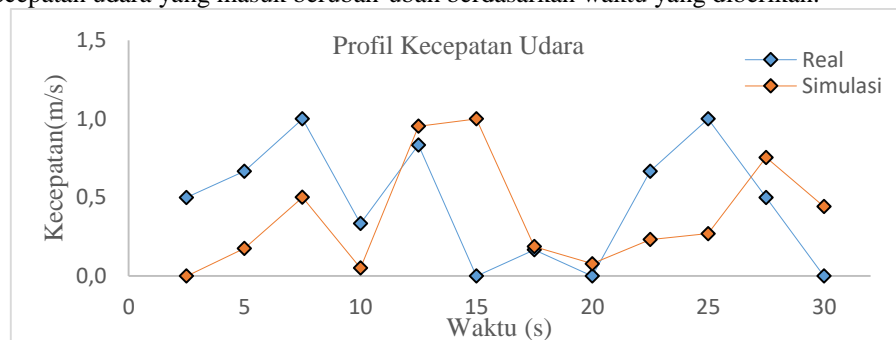
Kalibrasi sensor tekanan (SKU237545) dilakukan dengan cara membandingkan nilai yang terbaca oleh sensor dengan nilai tekanan yang terbaca dari alat ukur acuan. Alat ukur acuan yang digunakan adalah pressure gauge. Kalibrasi ini bertujuan untuk mengetahui linearitas dari sensor tersebut. Nilai tekanan dari pressure gauge diambil setiap 0.2 bar sampai 3 bar dan dari setiap nilai tekanan itu diambil nilai yang terbaca oleh sensor selama 1 menit dan diambil nilai rata-ratanya. Berdasarkan Gambar 3.1 dapat diketahui bahwa nilai dari sensor tekanan (SKU237545) berbanding lurus dengan dengan nilai tekanan yang dihasilkan oleh pressure gauge. Maka dapat disimpulkan bahwa sensor tekanan (SKU237545) masih layak untuk digunakan.



Gambar 3.1 Grafik Linearitas Sensor

### 3.2 Kontrol Relay

Kondisi awal relay adalah Normally Open (NO). Pengendalian relay dilakukan dengan cara memberikan fungsi time delay pada program arduino. Fungsi tersebut menerima argumen bilangan bulat, dimana bilangan tersebut mempresentasikan waktu yang diukur dalam milidetik. Berdasarkan hal tersebut maka nilai yang diambil haruslah dalam milidetik sehingga nilai detik harus dikonversi terlebih dahulu menjadi milidetik. Nilai delay diambil berdasarkan interval waktu selama 30 detik dan setelah 30 detik nilai delay akan kembali ke kondisi awal dan akan terus berulang. Pada saat gelombang turun maka delay akan bernilai High dan Low saat gelombang naik. Kondisi High menyebabkan motor yang terhubung dengan relay menyala selama waktu yang ditentukan. Kondisi High juga menyebabkan udara terpompa masuk kedalam tabung kompresor. Kondisi Low menyebabkan kondisi motor mati selama waktu yang juga ditentukan. Selain itu pada saat kondisi Low tidak ada udara yang terpompa masuk kedalam tabung kompresor. Ketika relay diberikan kondisi High menyebabkan perubahan pada kecepatan udara yang masuk. Kecepatan udara yang masuk berubah-ubah berdasarkan waktu yang diberikan.

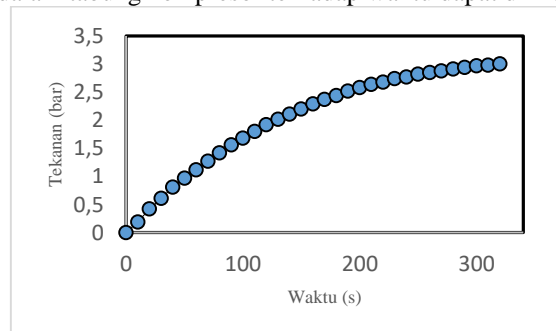


Gambar 3.2 Profil Kecepatan Fluida Yang Masuk

### 3.3 Pengisian Tekanan Pada Tabung Kompresor

Pada proses pengisian udara jika selama proses kompresi temperatur gas dijaga tetap (tidak bertambah panas) maka pengecilan volume menjadi 1/2 kali akan menaikkan tekanan menjadi 2 kali lipat. Demikian pula jika volumenya menjadi 1/3 kali maka tekanannya akan menjadi 3 kali lipat, dst [4]. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Hukum Boyle “jika gas dikompresi pada temperatur tetap, maka tekanannya akan berbanding terbalik dengan volumenya”.

Pada percobaan ini, kondisi awal tekanan dalam tabung kompresor adalah penuh yaitu sebesar 2.5 bar dengan besar diameter inlet 1cm dan kondisi outlet tertutup. Pada proses ini kondisi motor listrik dalam keadaan normal, tidak terkontrol oleh relay. Hal tersebut dilakukan untuk mempercepat proses pengisian. Grafik pengisian tekanan dalam tabung kompresor terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Grafik Pengisian Tekanan

Gambar 3.3 menunjukkan grafik hasil kenaikan tekanan tidak berbanding lurus terhadap waktu, yang artinya semakin besar tekanan yang masuk kedalam tabung kompresor semakin lama pula waktu pengisian.

Hal tersebut dikarenakan perubahan temperatur yang terjadi pada saat proses pengkompresian. Jika temperatur gas dinaikan, maka gerak molekul-molekul akan semakin cepat. Dengan demikian tumbukan pada dinding akan menjadi lebih sering dan dengan impuls yang semakin besar. Selain dari pada itu karena proses pemampatan ini juga berarti penambahan energi kepada gas, maka gerakan molekul menjadi lebih cepat, yang berarti temperatur juga akan naik [4].

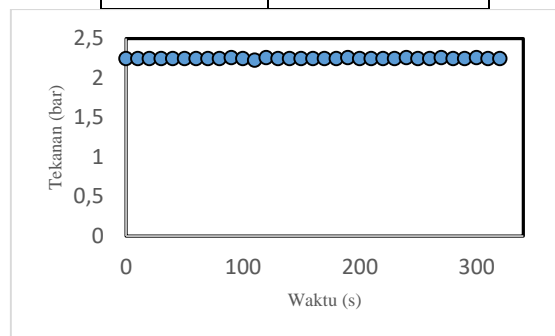
Jadi semakin besar nilai temperatur, maka nilai tekanan pun akan semakin besar dan nilai molekul-molekul yang masuk akan terus bertambah. Sehingga semakin banyaknya molekul yang tersimpan pada tabung menyebabkan ruang gerak molekul-molekul didalam tabung menjadi lebih sempit. Hal tersebut menyebabkan gerak molekul-molekul akan semakin berkurang dan menyebabkan temperatur menjadi turun. Sehingga tekanan yang masuk akan menjadi lebih kecil dan menyebabkan semakin lamanya waktu pengisian.

### 3.4 Tekanan Dalam Tabung Kompresor Saat Outlet Terbuka

Setelah tekanan dalam tabung terisi penuh, motor listrik sebagai penggerak terkontrol oleh relay. Kondisi ini telah dijelaskan sebelumnya. Valve yang awalnya tertutup dibuka secara manual. Pada ujung valve dipasang nozzle dengan diameter lubang keluarnya sebesar 0.5 mm. Untuk perbandingan Inlet dan Outlet dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Perbandingan Diameter

Jenis lubang	Diameter Lubang
<i>Inlet</i>	1 Sentimeter
<i>Outlet</i>	0.5 Milimeter



Gambar 3.4 Grafik Pengukuran Tekanan Outlet Terbuka

Gambar 3.4 menunjukkan hasil bahwa tekanan didalam tabung relatif konstan pada 2.25 bar. Tidak hanya itu tekanan juga turun dari kondisi awal yaitu 2.5 bar. Kondisi turunnya tekanan pada saat outlet terbuka sama halnya dengan saat outlet tertutup. Naiknya temperatur menyebabkan semakin banyaknya molekul-molekul masuk kedalam tabung, sehingga beban volume semakin besar dan menyebabkan kecepatan gerak molekul-molekul akan semakin berkurang yang pada akhirnya akan menyebabkan tekanan menurun [4].

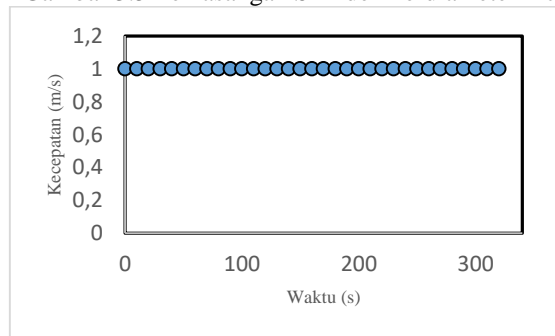
### 3.5 Pengukuran Kecepatan Udara

Untuk pengukuran kecepatan udara yang keluar dari outlet, alat ukur yang dipakai adalah Hot Wire Anemometer dengan maksimal pengukuran yaitu sebesar 20 m/s. Lubang outlet yang berdiameter 0.5 mm menyebabkan error pada saat pengukuran kecepatan menggunakan Hot Wire Anemometer. Hal itu diasumsikan bahwa kecepatan yang dihasilkan melebihi batas maksimal pengukuran yang dapat dilakukan oleh alat ukur. Maka perlu adanya perbedaan luas penampang yang lebih besar agar udara memiliki sebaran yang lebih besar.

Pada ujung nozzle ditambahkan silinder berdiameter 1 cm. Penambahan silinder tersebut menyebabkan terjadinya perbedaan luas penampang yang awalnya berdiameter 0.5 mm menjadi 1 cm dengan Panjang silinder sebesar 1 m. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.5 dan Tabel 4.3 untuk perubahan diameter.



Gambar 3.5 Pemasangan Silinder Berdiameter 1 cm



Gambar 3.6 Grafik Kecepatan Udara Terhadap Waktu

Dengan panjang silinder 1m, diasumsikan bahwa udara yang masuk kedalam silinder baru agar mencapai kondisi laminar terlebih dahulu sehingga hasil pengukuran lebih maksimal. Gambar 3.6 menunjukkan hasil kecepatan yang relatif konstan pada kecepatan 1m/s.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \tag{3.1}$$

Kecepatan yang kecil terjadi akibat terjadinya perbedaan luas penampang, hal tersebut sesuai dengan pernyataan persamaan kontinuitas pada persamaan 4.2. Persamaan 4.2 menunjukkan bahwa kecepatan fluida akan berkurang ketika melewati pipa yang lebar dan bertambah ketika melewati pipa yang sempit. Tidak hanya itu, saat udara keluar tidak hanya udara tapi uap air juga ikut keluar. Hal tersebut terjadi akibat terjadinya proses kondensasi yang terjadi pada saat pengisian udara yang masuk pada tabung kompresor. Udara yang masuk atau terhisap sebenarnya mengandung air. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2 [4].

Tabel 3.2 Komposisi Udara [4]

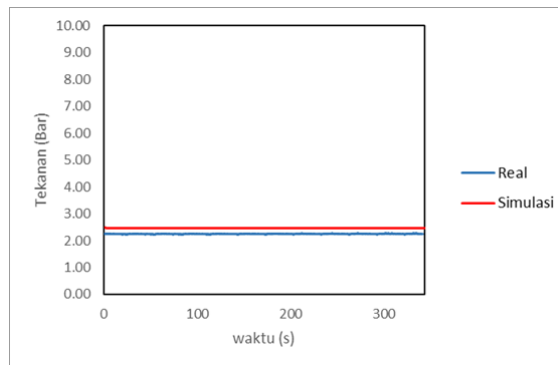
Komposisi Udara	Nitrogen ( $N_2$ )	Oksigen ( $O_2$ )	Argon (Ar)	Karbon dioksida ( $CO_2$ )	Uap air, debu, minyak, dll
Perbandingan Volume (%)	79.09	20.95	0.93	0.03	Sedikit
Perbandingan Berat (%)	75.53	23.14	1.28	0.05	Sedikit

Pada saat proses kompresi bukan hanya udara yang ikut termampatkan, secara otomatis air yang terkandung didalam udara juga ikut termampatkan. Saat pemampatan terjadi temperatur udara pun ikut menjadi naik, dan saat udara keluar dan masuk kembali terjadilah proses kondensasi [4]. Sehingga tidak hanya udara yang keluar melainkan tercampur dengan air.

### 3.6 Perbandingan Dengan Hasil Simulasi

#### 3.6.1 Perbandingan Hasil Tekanan

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, proses simulasi dilakukan berdasarkan data real dari kompresor. Pada simulasi tekanan outlet dalam keadaan terbuka. Untuk ukuran volume tabung yang digunakan yaitu sebesar 30 L dengan panjang 1 m dan 0.5 mm untuk diameter outlet. Dengan asumsi nilai masa jenis udara sebesar  $1.293 \text{ kg/cm}^3$ , dan temperatur 303 K sesuai dengan temperatur lingkungan pada saat pengukuran real.



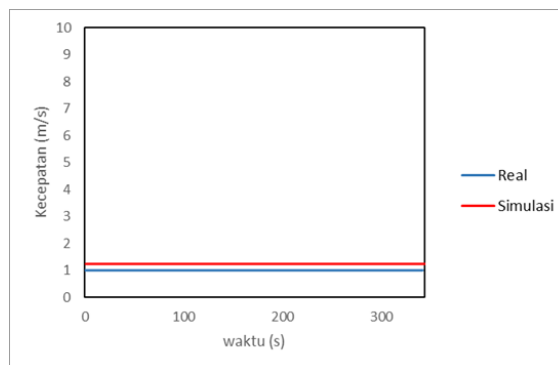
Gambar 3.7 Trend Tekanan Hasil Simulasi dan Real

Gambar 3.7 menunjukkan perbedaan tekanan yang terjadi. Pada hasil simulasi tekanan yang dihasilkan relatif konstan pada 2.49 bar, sedangkan pada hasil real tekanan yang dihasilkan relatif konstan pada tekanan 2.25 bar, terjadi perbedaan tekanan sebesar 0.24 bar atau sekitar 0.096 % dengan nilai error sebesar 0.11 %.

Perbedaan sebesar 0.096 % dan error 0.11 % dinilai cukup baik. Perbedaan tersebut terjadi karena pada saat simulasi kondisi diasumsikan ideal dan mengabaikan faktor-faktor lainnya seperti seperti suhu dan proses kondensasi yang terjadi.

### 3.6.2 Perbandingan Hasil Kecepatan

Hasil kecepatan pada saat simulasi didapatkan berdasarkan hasil tekanan yang telah dihitung pada simulasi sebelumnya. Sehingga besar tekanan yang dihasilkan akan mempengaruhi besar kecepatan yang dihasilkan.



Gambar 3.8 Trend Kecepatan Hasil Simulasi dan Real

Pada awal perhitungan simulasi, rata-rata kecepatan yang dihasilkan mencapai 489 m/s. Tapi setelah ditambahkan luas penampang baru, kecepatan hasil simulasi berubah menjadi 1.2 m/s. Seperti yang dibahas sebelumnya pada pengukuran real, hal tersebut sesuai dengan persamaan kontinuitas. Bahwa kecepatan akan berkurang ketika melewati pipa yang lebih besar.

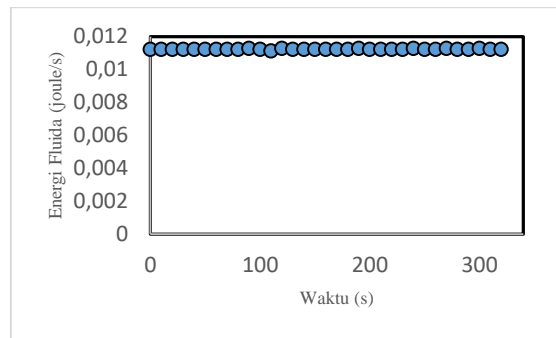
Berdasarkan Gambar 3.8 hasil rata-rata kecepatan pada percobaan real adalah 1m/s. Terjadi perbedaan dengan hasil simulasi sebesar 0.2 % dan error sebesar 0.17 %. Perbedaan tersebut masih terbilang cukup baik. Pengukuran error yang terjadi pada saat pengukuran real sebelum ditambahkan luas penampang baru, bisa diasumsikan kecepatan saat percobaan real melebihi nilai maksimal pengukuran alat ukur yaitu sebesar 20 m/s. Walaupun kecepatannya belum tentu mendekati 489 m/s karena keterbatasan alat ukur kecepatan angin, sehingga tidak ada nilai pasti yang terukur.

### 3.7 Perhitungan Energi Fluida

Untuk menghitung besar energi fluida, persamaan didapatkan berdasarkan Hukum 1 Termodinamika yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan melainkan hanya bisa diubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya. Untuk sistem kompresibel sederhana, total energi yang tersimpan per satuan massa untuk setiap partikel dalam sistem terkait dengan energi dalam (*internal energy*) persatuan massa, energi kinetik persatuan massa dan energi potensial persatuan massa. Sehingga didapat persamaan sebagai berikut[5]:

$$W = A \cdot v \cdot P + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (3.2)$$

Maka dengan menggunakan persamaan 4.11 didapatkan grafik perubahan energi angin terhadap waktu.



Gambar 3.6 Grafik Perubahan Energi Fluida

Dari Gambar 3.6 hasil rata rata energi angin yang dihasilkan adalah 0.011266 joule/s. Untuk hasil energi terbilang kecil, hal tersebut dikarenakan kecepatan nilai kecepatan, luas penampang dan tekanan yang dihasilkan juga kecil. Sehingga menyebabkan energi yang dihasilkan pun kecil.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

##### 4.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini rancang bangun generator tenaga kompresi berdasarkan variabel tekanan piston sebagai simulator gelombang laut berhasil dibuat. Sistem dibangun dengan menggunakan mikrokontroler berbasis AVR dan dilengkapi dengan sensor tekanan. Serta relay digunakan sebagai pengontrol kerja motor listrik. Adapun beberapa kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Pengontrolan motor listrik telah berhasil dilakukan dengan mengacu pada data gelombang laut yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Sehingga didapatkan hasil kecepatan rata-rata udara yang masuk pada tabung kompresor sebesar 1.3m/s dan laju aliran rata-rata sebesar 0.00013m/s. Selain itu profil kecepatan fluida yang masuk pada saat simulasi dan real memiliki korelasi yang hampir mirip, dimana saat kondisi data simulasi memuncak kondisi real pun memuncak dan saat kondisi data simulasi menurun kondisi real pun menurun.
2. Pada percobaan dengan menggunakan tekanan maksimal 2.5bar didapatkan nilai tekanan yang relatif konstan pada 2.25bar dengan kondisi outlet terbuka dan kecepatan udara yang dihasilkan juga relatif konstan pada 1m/s.
3. Terjadi pengambilan data yang kurang maksimal pada kecepatan udara, dikarenakan keterbatasan alat untuk mengukur kecepatan udara yang hanya dapat mengukur maksimal pada 20m/s.
4. Pada perbandingan hasil simulasi dan pengukuran real untuk tekanan terjadi perbedaan sebesar 0.098%. Untuk hasil kecepatan memiliki perbedaan sebesar 0.19%, kedua hal tersebut terjadi akibat pada saat simulasi kondisi gas yang masuk diasumsikan ideal, suhu yang konstan, dan faktor kondensasi yang terjadi pada kompresor. Perbedaan sebesar 0.098% untuk tekanan dan 0.19% untuk kecepatan dinilai cukup baik.
5. Energi kinetik fluida yang dihasilkan pada penelitian ini adalah 0.011266 joule/s. Hasil tersebut terbilang cukup kecil, hal tersebut dikarenakan pengukuran dilakukan dengan menggunakan spesifikasi ukuran yang cukup kecil. Diantaranya seperti luas penampang yang hanya berukuran  $0.00000005\text{m}^2$ , kecepatan yang dihasilkan 1m/s, dan tekanan sebesar 2.25bar.

##### 4.2 Saran

Gelombang laut merupakan sumber energi terbarukan, sehingga energi gelombang laut ini masih perlu dikaji lebih lanjut mengingat kondisi di Indonesia yang hampir sebagian besar wilayahnya adalah laut. Sehingga memiliki potensi untuk pengembangan energi gelombang laut tersebut. Oleh karenanya, penulis dalam hal ini menyarankan agar penelitian dibidang energi gelombang laut tetap dipertahankan eksistensinya dan ditingkatkan dikemudian hari. Adapun secara khusus, saran terkait dengan penelitian ini adalah sebagai berikut;

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Muchlis, M., & Permana, A. D. (2006). Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN di Indonesia Tahun 2003 s.d. 2020. Dalam Pengembangan Sistem Kelistrikan Nasional Dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang (hal. 19-29). Jakarta: Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPPT.
- [2] Aidil Zamri, Yusri Mura, Asmed, Elvis Adril, "Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang laut," 2015.
- [3] Andreas Poullikkas, "Technology Prospects of Wave Power Systems," 2014.
- [4] Sularso, Haruo Tahara, "Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan," Cetakan ke 7, hal 169-183, 2007.
- [5] Yunus. A. Cengel, dan John. M. Cimbala. Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications. The McGraw-Hill Companies. Inc., United States, vol 6, 2006.