

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of Art*

Penelitian ini menggunakan referensi dari beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan pembahasan dan dapat dijadikan referensi dan acuan dalam upaya penghematan energi listrik menggunakan alat kontrol. Adapun tabel *state of art* dibuat sebagai berikut.

Tabel 2.1 *State of Art*

No	Judul & Peneliti	Objek Penelitian	Hasil
1	Implementasi Sistem Kontrol <i>On/Off</i> Pompa Air Sistem Tadon Berbasis Arduino untuk Penghematan Konsumsi Listrik Pompa Hutajulu, O. Y., Suryanto, E. D., & Sinaga, D. H. (2019)	Penelitian sistem kontrol <i>on/off</i> pompa air yang digunakan pada tadon. Sistem ini berbasis Arduino dan menggunakan sensor ultrasonik untuk memantau level air dalam penyimpanan	Sistem pengontrolan <i>on/off</i> yang diusulkan mengurangi konsumsi energi listrik hingga 69,97% dibandingkan dengan sistem pengontrolan sebelumnya, dan lebih efisien daripada penggunaan PLC.
2	Perbandingan Energi Listrik Antara Mesin Pompa Air Berbasis Timer dan Sensor Kelembaban Tanah Birri, A. (2023)	Penelitian membandingkan konsumsi energi listrik pompa air yang dikendalikan oleh timer dan sensor kelembaban tanah. Penggunaan sensor kelembaban	Penelitian ini membandingkan energi listrik yang digunakan oleh mesin pompa air otomatis berbasis timer dan sensor kelembaban tanah. Hasil menunjukkan bahwa

		<p>tanah bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan air dengan mengaktifkan pompa hanya saat dibutuhkan berdasarkan kelembaban tanah.</p>	<p>pompa berbasis sensor kelembaban tanah lebih efisien dalam penggunaan energi, dengan penghematan energi sebesar 0,738 kWh dibandingkan dengan sistem <i>timer</i></p>
3	<p>Analisis Penghematan Energi Listrik Pada Sistem Pompa Air Menggunakan <i>Altivar-312</i> Primanto, I. A. (2015)</p>	<p>Penelitian menganalisis penghematan energi pada sistem pompa air menggunakan <i>Variable Speed Drive (VSD) Altivar-312</i>. Penelitian ini membandingkan konsumsi energi antara sistem kontrol berbasis katup tradisional dan sistem VSD</p>	<p>Menguji penggunaan <i>Variable Speed Drive (VSD) Altivar-312</i> untuk mengatur kecepatan motor pompa air. Hasilnya menunjukkan sistem ini menghasilkan penghematan energi sebesar 43% dibandingkan dengan sistem yang menggunakan katup manual.</p>
4	<p>Rancang Bangun Sistem Kendali Pompa Otomatis Kapal Nelayan Menggunakan Panel Surya Berbasis <i>Arduino</i></p>	<p>Penelitian menggunakan alat kontrol arduino dan sensor ultrasonik untuk memantau level air di kapal dan secara otomatis mengaktifkan pompa</p>	<p>Sistem kontrol pompa otomatis untuk kapal nelayan berbasis <i>Arduino</i> berhasil mengaktifkan pompa secara otomatis saat ketinggian air mencapai 25 cm dan</p>

	Dandy, M., Muchtar, M., & Muchtar, T. (2022)	saat level air mencapai tinggi tertentu. Sistem ini menggunakan panel surya untuk memberi daya.	mematikannya saat mencapai 32 cm. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik dan panel surya untuk meningkatkan efisiensi pengeluaran air di kapal
5	Prototipe Kontrol Tekanan Air Menggunakan Sensor Pressure Transduser Untuk Kerja Pompa Air Berbasis Arduino Ridowi, A. A., Rizal, R. F., & Yumono, F. (2023)	Penelitian berfokus pada desain sistem kontrol pompa air otomatis menggunakan sensor tekanan berbasis Arduino. Sistem ini memantau tekanan air di gedung bertingkat untuk memastikan pasokan air yang optimal ke berbagai lantai.	Mengembangkan sistem pompa air otomatis yang menggunakan sensor tekanan untuk mengatur nyala-mati pompa. Dengan memanfaatkan pembacaan sensor tekanan, sistem dapat mengontrol dua pompa yang beroperasi sesuai dengan kondisi tekanan air dalam sistem.

Berdasarkan tabel *state of the art* di atas, terdapat berbagai metode penghematan energi pada sistem pompa yang disesuaikan dengan fungsinya. Sebagian besar penelitian memanfaatkan sistem kontrol berbasis *Arduino* untuk mengatur variabel seperti kelembapan tanah atau level air. Namun, belum banyak yang membahas secara spesifik penerapan *pressure controller* pada *vacuum evaporator*, khususnya untuk produksi gula aren cair.

Dalam penelitian ini, sistem kontrol tekanan menggunakan *pressure* sensor dipilih agar pompa dapat berhenti sementara saat tekanan mencapai batas tertentu. Hal ini bertujuan untuk menghemat energi listrik dan mencegah *overheat* akibat pompa menyala terus-menerus. Penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan membandingkan kinerja pompa dan proses evaporasi menggunakan dan tanpa *pressure controller* pada tekanan kerja -0.68 hingga -0.72 bar.

2.2 *Vacuum Evaporator*

Evaporator merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah sebagian atau seluruh pelarut dalam suatu larutan cair menjadi uap, sehingga yang tersisa adalah larutan yang lebih padat atau kental. Proses yang terjadi di dalam *evaporator* ini disebut sebagai evaporasi. Dalam dunia industri, *evaporator* digunakan untuk berbagai tujuan, antara lain untuk pengentalan cairan sebelum diproses lebih lanjut, mengurangi volume cairan, serta menurunkan aktivitas air dalam produk. Secara umum, *evaporator* memiliki dua prinsip dasar, yaitu untuk menukar panas dan untuk memisahkan uap air yang terlarut dalam cairan (Nuradi & Hadimanto, 2019)



Gambar 2.1 *Vacuum Evaporator*

Tekanan vakum adalah kondisi di mana tekanan udara dalam suatu ruangan lebih rendah dibandingkan dengan tekanan udara normal di sekitarnya. Pada kondisi ini, udara dalam ruangan telah dikurangi atau bahkan dihilangkan, sehingga tercipta tekanan udara yang lebih rendah. Pada proses evaporasi, semakin tinggi suhu dan semakin rendah tekanan vakum, maka laju evaporasi cairan akan semakin cepat (Huda, 2008). Hal ini disebabkan oleh penurunan

titik didih larutan yang terjadi akibat rendahnya tekanan. Penggunaan tekanan vakum dalam proses evaporasi menyebabkan tekanan dalam ruang vakum menjadi lebih rendah (di bawah 1 atm), yang bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam bahan dan meminimalkan kerusakan kualitas produk (Syakdani et al., 2014).

Vacuum evaporator adalah alat yang digunakan untuk menguapkan cairan atau pelarut dengan menurunkan tekanan dalam sistem, sehingga titik didih cairan menjadi lebih rendah. Dengan cara ini, penguapan dapat terjadi pada suhu yang lebih rendah daripada jika dilakukan di bawah tekanan atmosfer (Siswanto & Widji, 2017). Dalam industri, baik skala besar maupun kecil, penggunaan *vacuum evaporator* sangat penting agar dapat menghasilkan produk sesuai dengan standar yang diinginkan, salah satunya pada industri makanan, dan banyak digunakan dalam pengolahan cairan yang mengandung zat-zat yang mudah terdegradasi pada suhu tinggi seperti pengolahan makanan, kimia, dan farmasi, karena dapat menjaga kualitas produk akhir yang rentan rusak akibat suhu tinggi, seperti contohnya *vacuum evaporator* mempunyai peran dalam proses produksi filtrat dari buah nanas, yang memungkinkan penguapan tanpa merusak vitamin C yang sensitif terhadap suhu tinggi, dengan pemanasan pada suhu rendah sekitar 40–60°C (Khoirun, 2018).

Vacuum evaporator memiliki berbagai tipe atau macam, tergantung pada variasi sistem ruang evaporasi yang digunakan. Salah satu contohnya adalah *rotary evaporator vacuum*, yang memiliki karakteristik ruang evaporasi yang berputar untuk membantu mempercepat proses penguapan dan menciptakan tekanan vakum menggunakan pompa vakum (Soeswanto et al., 2023). Selain itu, ada juga *Agitated Thin Film Evaporator (ATFE)*, yang bekerja dengan cara mengaduk cairan agar menyebar ke permukaan tipis yang dipanaskan, sehingga transfer panasnya menjadi lebih cepat. Metode ini membantu meminimalkan paparan cairan pada suhu tinggi untuk menghindari kerusakan produk (Khoirun, 2018)

Jenis atau cara kerja pemanas pada *vacuum evaporator* juga bervariasi. Salah satu yang paling umum digunakan adalah pemanasan luar dengan sumber gas LPG, yang dapat dilakukan menggunakan kompor (Siswanto &

Widji, 2017). Selain itu, pemanasan juga dapat dilakukan menggunakan *water jacket*, di mana lapisan luar dialiri fluida panas, sementara lapisan dalamnya menyentuh bahan yang akan dipanaskan (Darmawan & Nazaruddin, 2015). Opsi lainnya adalah pemanas berbasis listrik, yang bisa berupa *heater* yang ditempatkan di dalam ruang evaporasi untuk efisiensi yang lebih tinggi, atau menggunakan *band heater*, yaitu pemanas yang dipasang di luar tabung secara melingkar untuk memanaskan dinding tabung secara langsung (Khoirun, 2018).

Untuk menciptakan tekanan vakum pada ruang evaporator, terdapat beberapa metode. Salah satunya adalah dengan menggunakan metode *water jet pump*, yang mengandalkan *head* pompa yang tinggi untuk mensirkulasikan air berkecepatan tinggi melalui *venturi injector*. Pada venturi, kondisi tekanan sangat rendah tercipta, yang menghasilkan daya hisap pada ruang evaporasi (Widiastuti et al., 2023). Opsi lainnya adalah menggunakan pompa vakum, seperti model *liquid ring vacuum pump* (LRVP), yang bekerja dengan cara memutar impeler di dalam pompa. Cairan (biasanya air) mengalir di sekitar impeler untuk membentuk cincin cair, yang menciptakan vakum dengan menarik uap atau gas ke dalam pompa. Gas tersebut kemudian dibuang melalui saluran pembuangan, sementara cairan disirkulasikan kembali untuk mempertahankan kondisi vakum. Proses ini digunakan untuk menurunkan titik didih cairan dalam sistem evaporasi (Siswanto & Widji, 2017).

2.3 Evaporasi

Evaporasi atau penguapan adalah proses di mana suatu fluida berubah dari keadaan cair menjadi uap. Penguapan digunakan untuk memisahkan pelarut dari larutan yang lebih pekat, yang kemudian biasanya diproses lebih lanjut untuk kristalisasi. Dalam proses ini, terjadi perpindahan panas dan perpindahan massa sebagai dua mekanisme utama. Panas harus diberikan untuk menyediakan energi yang diperlukan agar cairan volatil dapat berubah menjadi uap, sementara uap yang terbentuk harus dipisahkan dari larutan (Ismiyati & Sari, 2020). Evaporasi terjadi karena adanya pemanasan dari sumber panas seperti sinar matahari maupun pemanas jenis lain yang

menghasilkan energi yang diperlukan untuk mengubah wujud air dari cair menjadi gas. Laju evaporasi adalah kuantitas air yang berhasil dievaporasi (diuapkan) menjadi uap persatuan waktu tertentu dan dinyatakan dengan volume air yang hilang oleh proses tersebut tiap satuan luas atau volume dalam satu satuan waktu. Besarnya laju evaporasi dipengaruhi oleh temperatur larutan dan banyaknya larutan (Bunganaen, 2015).



Gambar 2.2 Proses Evaporasi

Proses evaporasi dimulai ketika cairan dipanaskan menggunakan pemanas, yang menyebabkan molekul-molekul di permukaan cairan memperoleh energi kinetik lebih tinggi. Molekul-molekul yang memiliki cukup energi akan mengatasi gaya tarik antar molekul (gaya kohesi) dan terlepas menjadi uap. Proses evaporasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti temperatur, luas permukaan cairan, kecepatan aliran udara, dan tekanan. Semakin tinggi suhu cairan, semakin cepat proses evaporasi, karena molekul cairan mendapatkan lebih banyak energi untuk berubah menjadi uap. Selain itu, semakin besar luas permukaan cairan yang terpapar udara, semakin cepat pula evaporasi terjadi (Incropera & DeWitt, 2007). Proses evaporasi lebih cepat jika aliran udara di sekitar cairan lebih cepat, karena udara yang bergerak dapat membawa molekul uap jauh dari permukaan cairan (Wiyono et al., 2023).

Semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk proses evaporasi, maka kadar air yang terkandung dalam bahan makanan atau cairan akan semakin rendah. Kandungan air ini berpengaruh pada kesegaran dan daya tahan produk. Air memiliki peran penting dalam makanan atau cairan, karena dapat memengaruhi bentuk fisik, tekstur, dan rasa. Setiap

jenis makanan atau cairan memiliki kadar air yang berbeda-beda (Assah & Indrianty, 2018).

2.4 Prinsip Bernoulli

Prinsip Bernoulli merupakan hukum dasar dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa suatu aliran fluida ideal, jumlah total energi di sepanjang garis aliran akan tetap konstan. Energi total terdiri dari tiga komponen utama, yakni energi tekanan, energi kinetik, dan energi potensial. Hukum ini ditemukan oleh Daniel Bernoulli pada abad ke-18 dan hingga sekarang tetap menjadi dasar dalam banyak pengaplikasian di dunia teknik, fisika, dan penerbangan (Munson et al. 2013). Dalam matematis, prinsip Bernoulli dinyatakan dengan rumus

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{konstan} \dots \dots \dots (2.1)$$

P = Tekanan fluida (Pascal atau N/m^2)

ρ = Kepadatan fluida atau massa jenis fluida (kg/m^3)

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

g = Percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

h = Ketinggian (m)

Persamaan ini menjelaskan jika kecepatan fluida meningkat pada suatu titik, maka tekanannya akan menurun, dan sebaliknya. Fenomena ini terjadi karena energi total fluida tetap konstan, dan ketika satu jenis energi (seperti energi kinetik) bertambah, energi lain (seperti energi potensial atau tekanan) harus berkurang (Fitriyah et al., 2020). Prinsip Bernoulli bermanfaat untuk memahami bagaimana fluida bergerak dalam berbagai situasi. Seperti contoh, pada sayap pesawat, udara mengalir lebih cepat di atas sayap dibandingkan dengan bagian bawahnya. Dikarenakan kecepatan lebih tinggi di atas sayap, maka tekanannya menjadi lebih rendah dibandingkan tekanan di bawah sayap, dan selisih tekanan inilah yang menghasilkan gaya angkat yang membuat pesawat terbang.

2.5 Efek Venturi

Efek Venturi adalah fenomena dalam mekanika fluida di mana fluida yang mengalir melalui pipa yang menyempit akan mengalami peningkatan kecepatan dan penurunan tekanan statis pada bagian sempit tersebut. Fenomena ini berdasarkan prinsip Bernoulli dan hukum konservasi energi. Efek ini pertama kali diamati oleh Giovanni Battista Venturi (1746–1822), yang menemukan bahwa ketika fluida melewati tabung dengan bagian yang menyempit, kecepatan fluida meningkat dan tekanan statis menurun (Scheaua, 2016). Efek venturi ini adalah penerapan langsung dari hukum Bernoulli, yang menyatakan bahwa dalam aliran fluida ideal yang kontinu, peningkatan kecepatan aliran akan disertai dengan penurunan tekanan (Munson et al. 2013).

Dalam saluran yang memiliki diameter menyempit, volume fluida yang mengalir per satuan waktu harus tetap sama sesuai dengan hukum kontinuitas, sehingga fluida harus mempercepat saat memasuki bagian sempit. Karena kecepatan meningkat, maka tekanan dinamisnya meningkat, dan sebagai kompensasi, tekanan statis fluida di titik tersebut akan menurun. Fenomena ini dapat diamati misalnya dalam tabung Venturi, yaitu alat berbentuk tabung dengan bagian tengah yang menyempit. Ketika fluida seperti udara atau air mengalir melalui tabung ini, tekanan di bagian sempit menjadi lebih rendah dibandingkan dengan bagian yang lebih lebar (Fitriyah et al, 2020).

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \dots \dots \dots (2.2)$$

- P₁ & P₂ = Tekanan pada dua titik berbeda (bagian lebar dan sempit pipa)
- ρ = Kepadatan fluida
- v₁ & v₂ = Kecepatan fluida pada titik pertama dan titik kedua (bagian lebar dan sempit pipa).

Efek venturi sangat berguna dan diaplikasikan dalam berbagai teknologi. Dalam sistem penyemprot atau karburator, udara mengalir melalui saluran sempit yang menciptakan zona bertekanan rendah, dan tekanan rendah ini mampu menyedot bahan bakar atau cairan dari tangki untuk kemudian bercampur dengan udara. Sama halnya pada alat *vacuum evaporator*, Efek venturi digunakan untuk mempercepat menciptakan tekanan rendah (*vacuum*) di dalam panci evaporator. Tekanan rendah yang evaporator terhisap karena

adanya perbedaan tekanan. Penurunan tekanan ini menyebabkan titik didih cairan menjadi lebih rendah, yang memungkinkan evaporasi terjadi pada suhu yang lebih rendah tanpa merusak produk (Fitriyah et al, 2020).terdapat pada venturi injector membuat udara didalam panci

2.6 Pengaruh Tekanan Terhadap Proses Produksi Gula Aren

Proses produksi gula aren cair sangat dipengaruhi oleh faktor tekanan yang diterapkan selama proses evaporasi. Pada tekanan atmosfer standar (sekitar 1 atm), titik didih air berada pada suhu 100°C. Namun, dengan penggunaan *vacuum evaporator*, tekanan di dalam sistem dapat diturunkan, yang menyebabkan titik didih cairan menjadi lebih rendah, yaitu sekitar 65°C, tergantung pada tekanan vakum dan karakteristik cairan. Penurunan titik didih ini memungkinkan proses penguapan berjalan lebih cepat, karena air dalam nira dapat menguap pada suhu yang lebih rendah. Hal ini sangat menguntungkan dalam hal efisiensi energi, karena mengurangi kebutuhan akan suhu tinggi dan mempercepat proses produksi (Saputro, 2024).

Titik didih suatu cairan terjadi ketika tekanan uap jenuh dari cairan tersebut sama dengan tekanan eksternal di sekitarnya. Saat tekanan eksternal diturunkan, seperti dalam kondisi vakum, titik didih cairan juga akan menurun. Hal ini disebabkan karena molekul cairan memerlukan energi yang lebih rendah untuk mengatasi tekanan lingkungan dan berubah menjadi uap. Oleh karena itu, pada tekanan rendah, cairan dapat mendidih pada suhu yang lebih rendah dibandingkan kondisi tekanan normal (Khoirun, 2018).

Pada tekanan atmosfer normal, molekul-molekul cairan di permukaan harus memiliki energi yang cukup untuk mengatasi tekanan udara di sekitarnya agar bisa terlepas ke udara. Namun, ketika tekanan dikurangi, molekul-molekul cairan memerlukan lebih sedikit energi untuk mengatasi gaya tarik antar molekul karena tekanan eksternal yang menahan molekul cairan berkurang (Aulia Rahman et al., 2021). Selain itu, penguapan dengan suhu yang lebih rendah juga memiliki manfaat lain, yaitu mencegah terjadinya kerusakan atau karamelisasi pada gula aren. Pada suhu tinggi, gula dapat mengalami proses karamelisasi yang akan merusak rasa dan kualitas produk. Dengan

menggunakan tekanan vakum, suhu yang lebih rendah dapat dipertahankan selama proses penguapan, sehingga gula aren tetap mempertahankan rasa dan kualitasnya. Selain itu, penguapan pada suhu rendah juga membantu menjaga kandungan gizi dalam nira, karena suhu tinggi dapat merusak beberapa zat gizi penting dalam nira, seperti vitamin dan mineral. Dengan demikian, proses evaporasi dengan tekanan vakum tidak hanya menghemat energi, tetapi juga mempertahankan kualitas dan kandungan gizi dari gula aren (Khoirun, 2018).

2.7 Pompa

Pompa adalah alat yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida dan memindahkannya dari satu tempat ke tempat lainnya melalui instalasi pipa yang ditandai terjadinya perubahan tekanan pada fluida yang berlangsung secara terus-menerus (*countinue*). Perubahan tekanan pompa terjadi antara pada jalur sisi isap (*suction side*) dan jalur sisi keluar (*discharge side*) (Puspawan & Leonanda, 2015). Pompa memiliki penggunaan yang sangat luas di hampir segala bidang, dengan jenis dan ukurannya yang beragam sesuai dengan kebutuhan. Prinsip kerja pompa adalah dengan menghisap fluida dan menambah tekanan pada fluida tersebut. Pompa menerima tenaga mekanis yang biasanya berupa putaran yang dihasilkan oleh motor penggerak, sehingga dapat memindahkan fluida cair dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi. Pompa bekerja dengan mengkonversikan energi mekanik menjadi energi kinetik, yang digunakan untuk meningkatkan kecepatan, tekanan, atau elevasi fluida. Pada umumnya, pompa digerakkan oleh motor, mesin, atau sumber tenaga sejenis lainnya (Helmizar et al., 2014)

Untuk pemilihan jenis pompa yang dipakai itu didasari dari nilai ekonomis dan jarak fluida yang akan dipindahkan, sehingga faktor utama yang dipertimbangkan adalah head dan flowrate dikarenakan kedua faktor ini saling berhubungan tetapi memiliki fokus yang berbeda (Putro & Widodo, 2013). *Head* pompa adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair sesuai dengan kondisi instalasi pompa, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang. Secara sederhana, *head* pompa dapat diartikan sebagai ketinggian maksimum atau jarak terjauh yang dapat

dicapai oleh aliran fluida akibat tekanan yang dihasilkan oleh pompa, biasanya dinyatakan dalam satuan meter. *Head* ini tidak tergantung dari berat jenis media, dengan kata lain sebuah pompa sentrifugal dapat menimbulkan *head* yang sama untuk jenis cairan. Tetapi berat jenis media akan menyebabkan tekanan pada pompa tersebut. Sedangkan debit aliran adalah jumlah fluida yang dapat dipindahkan oleh pompa dalam suatu periode waktu (Helmizar et al., 2014), atau jumlah aliran air perdetik. *Flowrate* didapat dari selisih debit air saat itu dengan debit air sebelumnya (Imansyah, 2022)

Pompa memiliki berbagai manfaat, salah satunya dalam produksi gula aren menggunakan *vacuum evaporator*. Peran utama pompa adalah mensirkulasikan air berkecepatan tinggi melalui venturi agar menciptakan tekanan rendah sehingga dapat memvakum tekanan pada ruang evaporator, (Widiastuti, 2023). Dalam proses *vacuum evaporasi* produksi gula aren pompa dengan *head* tinggi seperti pompa *booster* lebih diprioritaskan karena semakin besar *head* pompa, semakin besar tekanan vakum yang dihasilkan dalam ruang evaporasi. Hal ini mempercepat laju evaporasi, karena penurunan tekanan yang signifikan menyebabkan titik didih cairan turun, sehingga proses penguapan berlangsung lebih cepat dan efisien (Wiyono et al., 2023).



Gambar 2.3 Pompa *Booster*

Selain itu, penggunaan pompa yang mampu menurunkan titik didih juga berperan dalam menjaga kualitas produk gula aren cair. Pemanasan pada suhu tinggi dapat menyebabkan karamelisasi serta merusak kandungan gizi dalam gula aren cair. Oleh karena itu, pemilihan pompa yang tepat sangat penting untuk menghasilkan proses evaporasi yang optimal, di mana tekanan vakum yang cukup dapat menurunkan suhu penguapan sehingga kualitas gula tetap

terjaga. Dengan pemilihan pompa yang sesuai, proses produksi menjadi lebih efisien, mengurangi risiko degradasi produk, dan memastikan gula aren cair memiliki warna, rasa, serta kandungan nutrisi yang tetap terjaga sesuai standar kualitas yang diinginkan (Soeswanto et al., 2023).

2.8 Alat Kontrol Proses

Alat kontrol proses adalah perangkat yang digunakan untuk mengatur, memonitor, dan mengoptimalkan variabel dalam suatu sistem industri atau manufaktur agar proses berjalan sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan. Variabel yang dikontrol dapat berupa tekanan, suhu, aliran fluida, level, pH, kelembaban, dan lainnya, tergantung pada kebutuhan proses (Agung Ridowi et al., 2023). Alat kontrol proses memiliki berbagai jenis yang dikategorikan berdasarkan fungsinya.

- a) *Temperatur Control*
- b) *Pressure Control*
- c) *Level Control*
- d) Alat kontrol kelembapan
- e) *Speed Control*

Alat kontrol proses sangat bermanfaat dalam menghemat konsumsi listrik, terutama pada peralatan dengan daya besar seperti pompa air. Terdapat berbagai metode atau sistem yang dapat diterapkan untuk menghemat konsumsi listrik pada pompa, tergantung pada tujuan dan pola pemakaian pompa tersebut. Salah satunya adalah penghematan kerja pompa pada pemakaian pompa untuk rumah tangga dengan menggunakan sensor ultrasonik berbasis *Arduino Uno* yang mengontrol pompa berdasarkan level air pada tandon. Jika air dalam tandon kurang dari 50%, pompa otomatis menyala hingga penuh. Pengukuran selama 14 hari menunjukkan konsumsi listrik turun dari 3,43 kWh menjadi 1,03 kWh per hari, sehingga tercapai penghematan sebesar 69,97%. (Hutajulu, et al., 2019).

Upaya penghematan listrik pada pompa juga dapat dilakukan berdasarkan tekanan, misalnya pada dua pompa yang menyuplai air ke 10 *valve* di 10 lantai. Dalam sistem ini, *Arduino Uno* digunakan sebagai pusat pengendali, yang menerima data dari sensor tekanan. *Arduino* kemudian

memproses data tersebut dan mengatur nyala-mati kedua pompa secara otomatis berdasarkan nilai tekanan yang terdeteksi. (Ridowi et al., 2023).

Pada alat *vacuum evaporator* pada produksi gula aren cair, penggunaan sensor tekanan dan sensor suhu dengan resolusi tinggi dalam teknologi evaporasi vakum semakin penting untuk meningkatkan kontrol proses dan efisiensi, seperti yang diungkapkan oleh (Fazekas et al., 2019). Alat kontrol proses memiliki peran krusial dalam proses evaporasi, terutama dalam mengontrol suhu produk selama pemanasan agar kualitas dan kandungan gizi pada gula aren cair tetap terjaga. Alat kontrol suhu ini bekerja dengan memantau suhu, dan jika suhu melebihi parameter *setpoint*, sistem akan secara otomatis mematikan pemanas (*heater*) dan menyalakannya kembali saat suhu kembali turun (Saputro, 2024).



Gambar 2.4 Alat Kontrol Proses

Selain itu, *pressure controller* juga berperan penting dalam proses evaporasi. Penggunaannya memberikan manfaat, seperti menjaga stabilitas tekanan, meningkatkan efisiensi konsumsi listrik, serta mencegah kerusakan pada pompa *vacuum evaporator*. Prinsip kerja *pressure controller* pada *vacuum evaporator* dimulai dengan mengukur tekanan di dalam ruang evaporasi. Data tekanan ini kemudian dikirim ke *controller*, yang menganalisis dan menyesuaikan tekanan sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Jika tekanan melebihi batas yang ditetapkan, *controller* akan secara otomatis menonaktifkan pompa untuk menurunkan tekanan, lalu mengaktifkannya kembali saat tekanan sudah kembali ke level yang diinginkan.