BAB IV
DATA DAN ANALISA

4.1 *Vacuum Evaporator* dengan Tekanan Kontrol dan Tanpa Kontrol

Vacuum evaporator yang digunakan dalam penelitian ini merupakan alat yang telah mengalami beberapa pembaruan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Pembaruan tersebut meliputi penambahan isolator pada seluruh permukaan panci untuk mengurangi kehilangan panas, serta penggunaan *internal heater* sebagai sumber pemanas utama yang lebih efisien dibandingkan pemanas *external*. Mengingat alat ini telah dimodifikasi, sehingga sumber konsumsi listrik pada alat ini terbagi menjadi dua, yaitu untuk *heater* dan pompa, maka perlu dilakukan penambahan *pressure controller*. Tujuan dari *pressure controller* pada alat ini adalah untuk menghemat konsumsi listrik dari pompa dengan cara mengatur nyala-mati pompa secara otomatis, sehingga tekanan tetap stabil selama evaporasi dan sesuai dengan nilai yang diinginkan.

Gambar 4.1 *Vacuum Evaporator* dengan *Pressure Controller*

Secara umum, prinsip kerja alat ini adalah dengan menciptakan vakum di dalam ruang evaporasi. Udara yang ada di dalam ruang tersebut akan terhisap oleh pompa *booster* melalui efek venturi. Ketika fluida melewati saluran sempit di venturi, kecepatannya meningkat, yang menyebabkan penurunan tekanan di sekitar saluran tersebut. Perbedaan tekanan antara area venturi yang memiliki tekanan lebih rendah dan panci vakum yang memiliki tekanan lebih tinggi menyebabkan udara dari panci vakum terhisap ke dalam saluran venturi. Proses ini menciptakan kondisi vakum yang membuat cairan untuk mendidih pada suhu yang lebih rendah. Hal ini mempercepat penguapan tanpa merusak kualitas zat yang terkandung dalam cairan tersebut. Meskipun proses evaporasi berlangsung lebih cepat, kualitas produk tetap terjaga karena suhu yang digunakan lebih rendah daripada jika dilakukan tanpa sistem vakum.

Alat *vacuum evaporator* ini dilengkapi dengan dua alat kontrol utama, yaitu *pressure controller* dan *thermostat*. *Thermostat* berfungsi untuk membatasi suhu pemanasan maksimal hingga 65°C, dengan tujuan menghindari terjadinya karamelisasi serta menjaga agar kandungan nutrisi dalam nira aren cair tetap utuh. *Thermostat* akan mengatur kerja *heater* secara otomatis dengan sistem nyala-mati berdasarkan suhu yang terdeteksi. Sementara itu, *pressure controller* berperan penting dalam menjaga kestabilan tekanan selama proses berlangsung. Alat ini secara otomatis mematikan dan menyalakannya kembali sesuai pada nilai tekanan yang ditentukan. Dengan demikian, *pressure controller* tidak hanya menjaga tekanan tetap stabil, tetapi juga menghemat konsumsi energi listrik serta mencegah pompa mengalami *overheat* akibat bekerja terus-menerus.

Dalam penelitian ini dilakukan dua jenis percobaan utama untuk membandingkan kinerja *vacuum evaporator*, yaitu percobaan dengan sistem menggunakan *pressure controller* dan percobaan tanpa *pressure controller.* Data yang dikumpulkan selama pengujian mencakup suhu (°C), tekanan (bar), konsumsi energi (kWh), daya listrik (watt), baik pada pompa maupun *heater*. Semua parameter tersebut dicatat setiap menit selama proses evaporasi berlangsung selama dua jam.

4.1.1 Pengujian Menggunakan Kontrol Tekanan

Pada percobaan ini, alat *vacuum evaporator* menggunakan *pressure controller* yang berfungsi untuk mengatur tekanan dalam panci vakum. *Pressure controller* ini mengatur tekanan dengan cara menyala matikan pompa dengan otomatis dengan tekanan tertentu, pada pengujian ini *pressure controller* diatur akan mematikan pompa ketika tekanan mencapai -0,72 bar dan pompa akan dinyalakan kembali saat tekanan mencapai -0,68 bar. Hal ini membuat tekanan tetap berada dalam nilai yang diinginkan, tidak melebihi batas yang telah ditetapkan.

Dengan cara menyala-matikan pompa atau memberikan waktu bagi pompa untuk mati sejenak, diharapkan dapat menghindari pompa dari *overheat* dan menghemat konsumsi listrik dengan signifikan. Namun, tentunya ada hal yang harus dikorbankan, yaitu performa evaporasi. Pada pengujian ini, dilihat apakah sistem nyala-mati pompa memberikan pengaruh terhadap performa evaporasi jika dibandingkan dengan sistem yang tekanannya tidak dikontrol.

4.1.2 Pengujian Tanpa Kontrol Tekanan

Pada pengujian selanjutnya, fitur kontrol tekanan dimatikan, yang menyebabkan pompa beroperasi terus-menerus tanpa adanya pengaturan otomatis dari *pressure controller*. Akibatnya, pompa beroperasi secara terus-menerus dari awal hingga akhir percobaan. Pada pengujian ini, *pressure controller* hanya berfungsi untuk menampilkan informasi tekanan pada LCD, yang diperoleh dari *pressure transmitter* ke pompa. Dengan demikian, tekanan dalam panci vakum dibiarkan berfluktuasi tanpa adanya pengaturan otomatis dari *pressure controller*.

4.2 Hasil Pengujian Peforma *Vacuum Evaporator* dengan Kontrol Tekanan dan Tanpa Kontrol

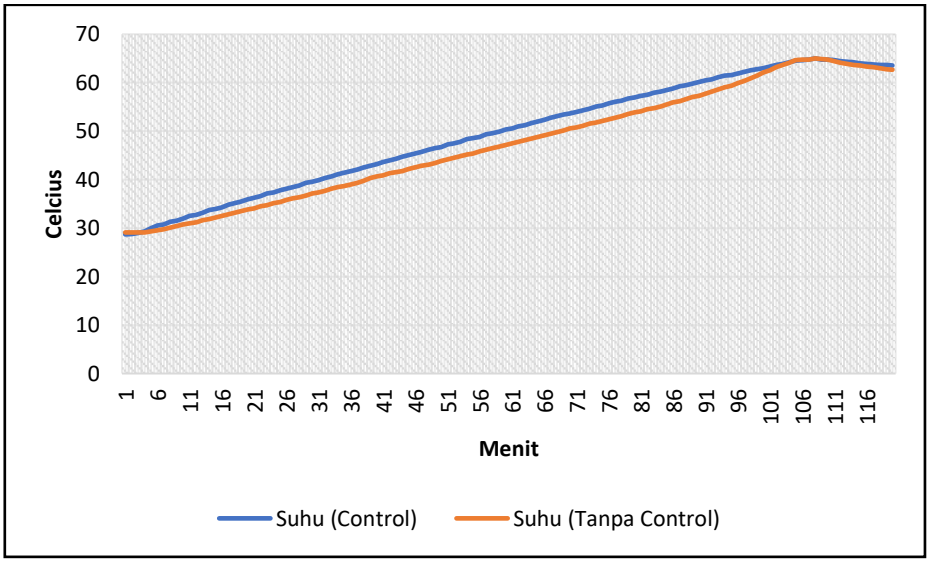
Data uji kinerja alat *vacuum evaporator* dengan kontrol tekanan dan tanpa kontrol tekanan mencakup berbagai variabel yang diukur selama percobaan. Variabel tersebut meliputi suhu air yang diukur menggunakan

sensor NTC, tekanan vakum yang diukur menggunakan *pressure transmitter*, serta konsumsi listrik pada pompa dan *heater* yang diukur menggunakan wattmeter. Data yang tercatat dari wattmeter mencakup volt, ampere, watt, dan kWh. Variabel-variabel tersebut dicatat setiap menit selama percobaan. Hasil pengujian dilakukan pada kedua sistem, yaitu dengan kontrol tekanan dan tanpa kontrol tekanan, dengan waktu pemanasan air selama 120 menit.

Gambar 4.2 Variabel yang Dihasilkan saat Pengujian

4.2.1 Perbandingan Suhu dan Proses Evaporasi

Dalam pengujian ini, kedua sistem, yaitu dengan *pressure controller* dan tanpa *pressure controller*, memiliki batasan suhu maksimum yang sama, yaitu 65°C. Ketika suhu mencapai 65°C, *heater* akan mati secara otomatis dan menyala kembali saat suhu turun hingga 62°C. Proses evaporasi dilakukan dengan menggunakan isolator yang melapisi seluruh permukaan panci, yang terbuat dari *nitrin butanien rubber*. Penggunaan isolator ini bertujuan untuk mempercepat proses evaporasi, karena mengurangi kehilangan panas yang tidak diinginkan. *Heater* yang digunakan untuk memanaskan air berbentuk huruf U dengan fin pada permukaannya, dan heater ini memiliki daya sebesar 500 watt. Suhu air diukur menggunakan sensor NTC yang diproses oleh *thermostat*. Hasil pengukuran suhu akan dicatat setiap menit selama 120 menit. Adapun perbandingan suhu dari kedua sistem dapat dilihat pada grafik Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Perbandingan Suhu Antara Kedua Sistem

Pengujian dilakukan dengan memulai pada suhu yang hampir sama antara kedua sistem, yaitu 28,7°C untuk sistem dengan kontrol tekanan dan 29,1°C untuk sistem tanpa kontrol tekanan. Setelah 120 menit, data suhu yang tercatat disajikan dalam grafik suhu (dalam satuan Celsius) terhadap waktu dalam menit.

Tabel 4.1 Perbandingan Suhu Antara Kedua Sistem

Menit	Kontrol (°C)	Tanpa Kontrol (°C
0	28,7	29,1
30	39,6	37,1
60	50,3	47,1
90	60,1	57,3
108	65	65
120	63,5	62,7

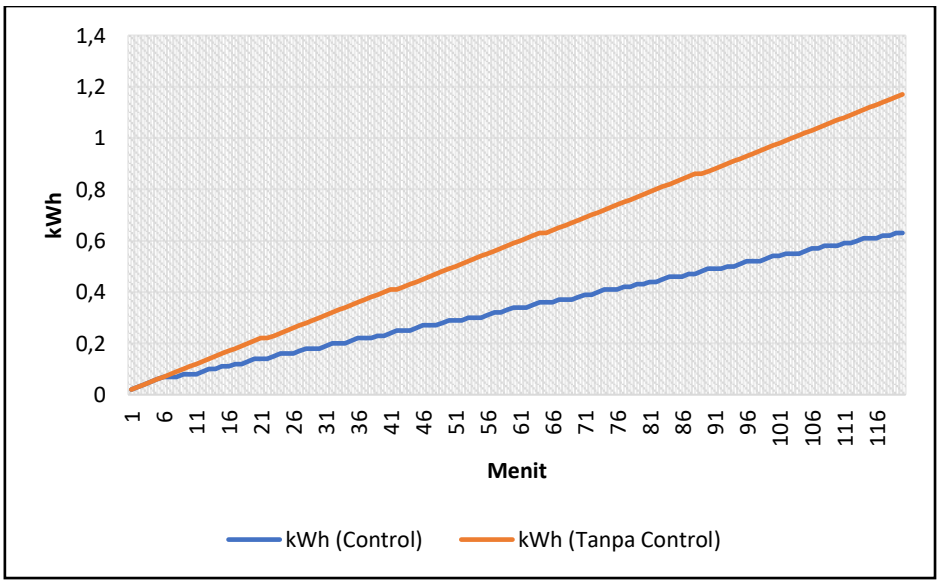
Pada sistem dengan kontrol tekanan, suhu naik secara konsisten dan lebih cepat menuju 65°C sejak awal pengujian, dan suhu tersebut tercapai pada menit ke-108. Sebaliknya, pada sistem tanpa kontrol tekanan, meskipun suhu awalnya naik lebih lambat, pada menit ke-94, suhu mengalami lonjakan tajam dan dengan cepat mencapai 65°C.

Akhirnya, kedua sistem mencapai suhu 65°C pada menit yang sama, yaitu menit ke-108.

Pada sistem dengan menggunakan *pressure control,* setelah *heater* mati, penurunan suhu berlangsung lebih lambat dibandingkan dengan sistem tanpa kontrol. Hal ini dapat memperlambat suhu mencapai *set point* suhu (62°C), yang dapat menghemat konsumsi listrik *heater* jika proses evaporasi berjalan cukup lama

4.2.2 Perbandingan Konsumsi Energi Listrik Pompa dan Heater

Dalam pengujian ini dilakukan perbandingan konsumsi energi listrik antara sistem vacuum evaporator yang menggunakan *pressure controller* dan sistem yang tidak menggunakannya. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengetahui pengaruh *pressure controller* terhadap efisiensi konsumsi daya listrik selama proses evaporasi berlangsung Parameter yang dibandingkan dalam penelitian ini meliputi konsumsi energi listrik pompa dan *heater* yang diukur dalam satuan *kilowatt-hour* (kWh), serta parameter kelistrikan lainnya seperti daya listrik (watt), tegangan (volt), dan arus listrik (ampere). Pengujian dilakukan selama dua jam secara kontinu, dengan pencatatan data setiap satu menit untuk memperoleh hasil yang lebih detail dan akurat terhadap masing-masing konsumsi daya pada kedua sistem.



Gambar 4.4 Perbandingan kWh Pompa Antara Kedua Sistem

Setelah melakukan pengujian selama 120 menit pada kedua sistem, yaitu dengan menggunakan kontrol tekanan dan sistem tanpa kontrol, didapatkan hasil konsumsi energi dalam satuan kWh.

Tabel 4.2 Perbandingan Konsumsi Listrik Pompa Antara Kedua Sistem

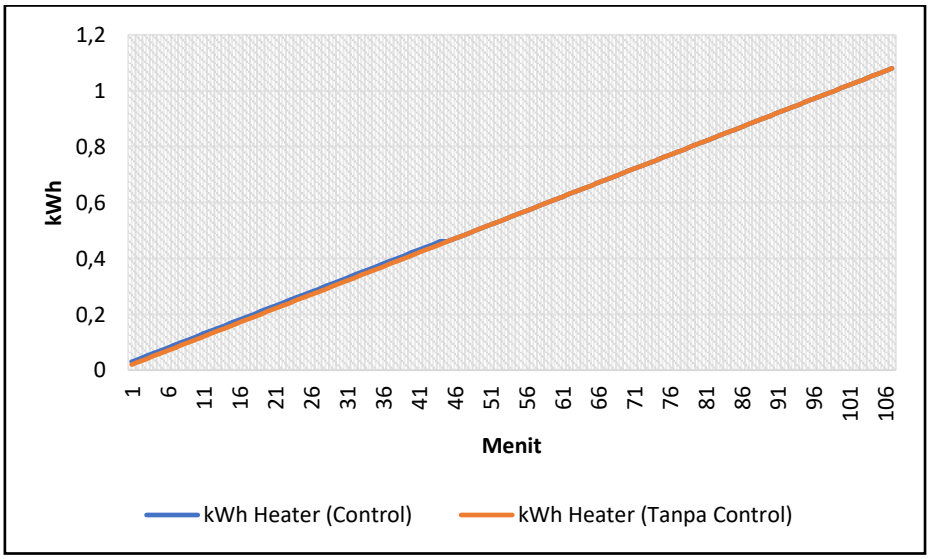
Menit	Kontrol (kWh)	Tanpa Kontrol (kWh)
30	0,18	0,3
60	0,34	0,59
90	0,49	0,87
120	0,63	1,17

Pada pengujian dengan tekanan dikontrol konsumsi energi pompa tercatat sebesar 0,63 kWh, sedangkan pada pengujian tanpa tekanan dikontrol, konsumsi energi pompa tercatat sebesar 1,17 kWh. Dengan demikian, terjadi penghematan energi yang dapat dihitung

$$\eta = \frac{\text{Konsumsi listrik Tanpa Kontrol} - \text{Konsumsi Energi Dengan Kontrol}}{\text{Konsumsi Energi Tanpa Kontrol}} \text{ x } 100$$

$$\eta = \frac{1{,}17 - 0{,}63}{1{,}17} = 46{,}15\%$$

Menghemat energi listrik pada pompa sebesar 46,15%. Hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan *pressure controller* dapat mengurangi konsumsi energi listrik secara signifikan, memberikan efisiensi biaya, dan meningkatkan umur operasional pompa



Gambar 4.5 Perbandingan kWh *Heater* Antara Kedua Sistem

Selanjutnya, pada konsumsi listrik *heater*, kedua sistem, baik yang menggunakan kontrol tekanan maupun yang tanpa kontrol tekanan, memiliki perbedaan konsumsi energi listrik yang sangat tipis, yaitu 1,08 kWh pada sistem dengan kontrol tekanan dan 1,09 kWh pada sistem tanpa kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan antara kedua sistem tidak berpengaruh terhadap konsumsi daya listrik pada heater selama dua jam proses evaporasi. Perlu dicatat bahwa pada menit ke-108, pada kedua percobaan, heater mati karena suhu sudah mencapai 65°C. Heater akan menyala kembali ketika suhu turun hingga 62°C. Oleh karena itu, pada menit ke-108 hingga menit ke-120, heater dalam keadaan mati, yang dapat meningkatkan efisiensi konsumsi listrik

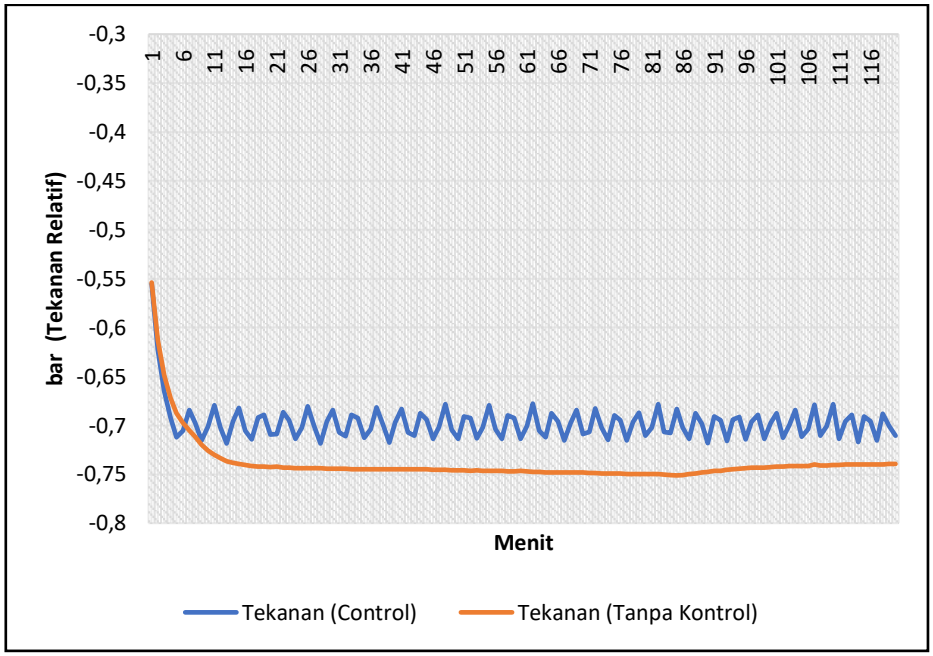
Tabel 4.3 Perbandingan Konsumsi Listrik *Heater* Antara Kedua Sistem

Menit	Kontrol (kWh)	Tanpa Kontrol (kWh)
30	0,31	0,31
60	0,61	0,61
90	0,91	0,91
120	1,08	1,09

.

4.2.3 Perbandingan Stabilitas Tekanan Antara Kedua Sistem

Perbandingan stabilitas tekanan pada *vacuum evaporator* antara sistem dengan kontrol tekanan dan sistem tanpa kontrol tekanan dilakukan untuk mengetahui apakah siklus nyala mati ini bisa bertahan selama 120 menit secara konsisten tanpa adanya penurunan peforma. Selain itu, perbandingan ini juga bertujuan untuk mengetahui apakah pompa pada sistem tanpa kontrol tekanan mampu mempertahankan konsistensi tekanan vakumnya selama periode pengujian tanpa adanya penurunan peforma. Stabilitas tekanan pompa merupakan faktor penting dalam operasional *vacuum evaporator*, khususnya karena alat ini digunakan untuk memanaskan air nira, yang sangat berpengaruh pada proses operasional dan kualitas produk akhir. Dengan mempertahankan stabilitas tekanan yang konsisten, diharapkan proses evaporasi dapat berlangsung dengan optimal dan menghasilkan produk yang berkualitas.



Gambar 4.6 Perbandingan Tekanan Antara Kedua Sistem

Setelah melakukan pengujian selama 120 menit, diperoleh data yang disajikan pada grafik 4.6. Grafik tersebut menunjukan data tekanan relatif, dari data tersebut menunjukkan bahwa sistem pompa dengan kontrol tekanan mampu mempertahankan siklus nyala-mati pompa serta kestabilan tekanannya selama 120 menit tanpa mengalami penurunan performa. Pompa aktif selama 1 menit 49 detik saat tekanan berubah dari -0,68 menuju -0,72 bar, kemudian pompa mati selama 1 menit 41 detik ketika tekanan kembali dari -0,72 menuju -0,68 bar.

Sebaliknya, pada sistem tanpa kontrol tekanan, tekanan tidak dikontrol secara otomatis sehingga cenderung berfluktuasi bebas. Pada awal pengujian, tekanan vakum perlahan menurun hingga mencapai titik terendah sebesar -0,75 bar pada menit ke-86. Hingga kemudian tekanan secara bertahap naik kembali hingga mencapai -0,74 bar pada menit ke-120. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tanpa kontrol mampu memertahankan tekanan *vacuum* selama 120 menit dan tidak ada fluktuasi tekanan *vacuum* signifikan selama pengujian

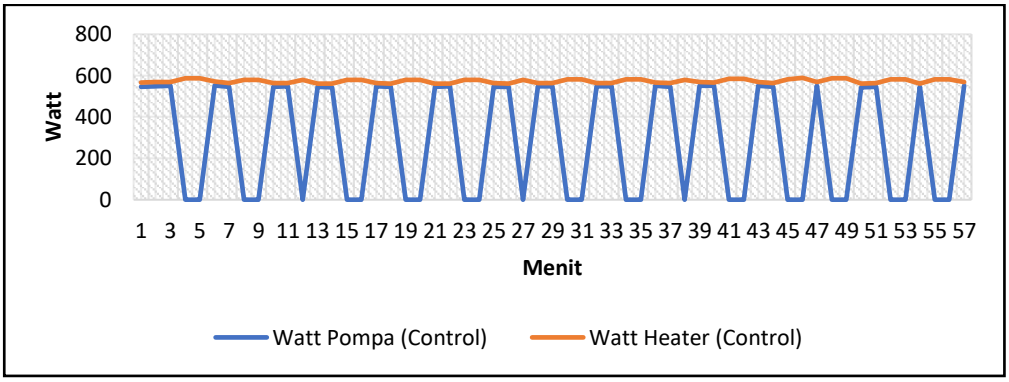
4.3 Hasil dan Pembahasan *Vacuum Evaporator* dengan Pompa menggunakan *Pressure Controller* dan Tanpa *Pressure Controller*

Vacuum evaporator dengan penambahan *pressure controller* digunakan untuk mengontrol tekanan agar sesuai dengan nilai yang diinginkan. *Pressure controller* memiliki beberapa manfaat, seperti menghemat konsumsi listrik pada pompa, mencegah *overheating* yang dapat menyebabkan penurunan performa *vacuum evaporator*, serta menjaga kestabilan tekanan pada rentang tertentu. Pada pengujian ini, penggunaan *pressure controller* terbukti berhasil menghemat konsumsi listrik pada pompa. Pada sistem tanpa *pressure controller*, konsumsi listrik pompa selama 120 menit tercatat sebesar 1,17 kWh, sedangkan pada sistem dengan *pressure controller* konsumsi listrik pompa hanya sebesar 0,63 kWh, yang menunjukkan penghematan energi sebesar 46,15 % pada pompa.

Tabel 4.4 Perbandingan Konsumsi Listrik Antara Kedua Sistem

Konsumsi Listrik	Kontrol (kWh)	Tanpa Kontrol (kWh)	Penghematan Energi (%)
kWh Pompa	0,63	1,17	46,15%
kWh Heater	1,08	1,09	0,92%
Total kWh	1,71	2,26	24,34%

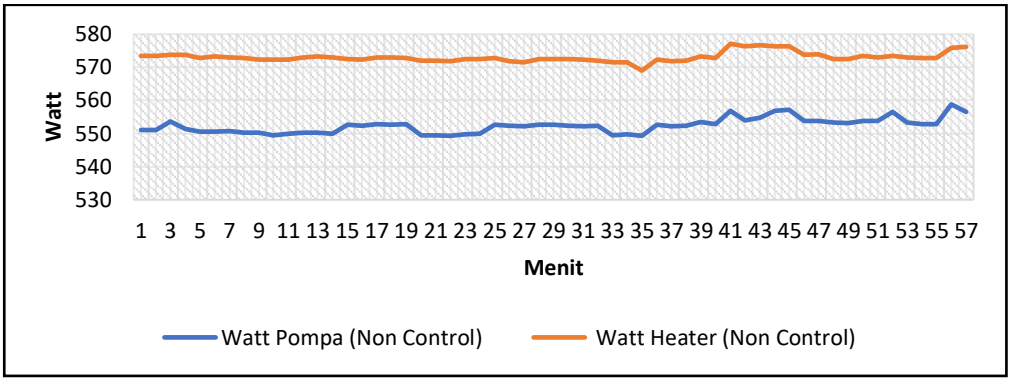
Umumnya, penghematan konsumsi listrik berdampak pada penurunan performa pemanasan air. Namun dalam pengujian ini, kenaikan suhu air pada sistem dengan *pressure controller* justru lebih cepat, lebih konsisten, serta mampu mencapai suhu maksimum 65°C pada waktu yang sama dengan sistem tanpa *pressure controller*. Pada pengujian tanpa *pressure controller*, suhu naik lebih lambat pada awalnya, tetapi pada menit ke-94 suhu mengalami lonjakan tajam, sehingga kedua sistem mencapai suhu 65°C pada menit yang sama, yaitu menit ke-108. Selain itu, konsumsi listrik heater pada kedua sistem juga tercatat sama, sehingga penggunaan pressure controller tidak berpengaruh signifikan terhadap konsumsi listrik pada heater. Adapun faktor-faktor yang menyebabkan kedua pengujian ini mencapai suhu 65°C pada waktu yang sama antara lain sebagai berikut:



Gambar 4.7 Korelasi Antara Watt Pompa & Watt *Heater* (Kontrol)

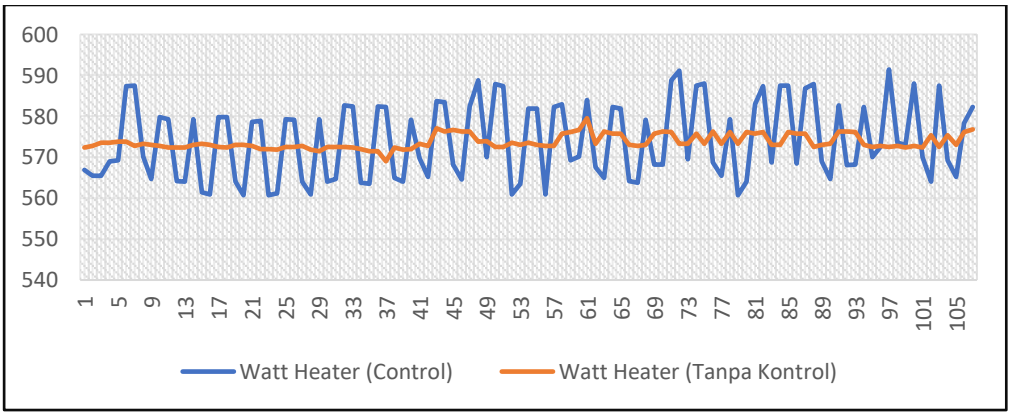
Pada pengujian kedua sistem kontrol pompa, pompa dan *heater* menggunakan satu sumber listrik yang sama di hubungkan melalui satu terminal dengan memakai 2 steker/*plug* untuk masing-masing menghidupkan pompa dan *heater.* Dari pengamatan selama pengujian, ditemukan bahwa saat pompa dalam kondisi mati, konsumsi daya listrik heater justru mengalami peningkatan sekitar 15 watt dibandingkan saat pompa menyala. Konsumsi daya *heater* saat pompa aktif berkisar antara 560-569 watt, sedangkan saat pompa mati meningkat menjadi sekitar 570-591 watt. Fenomena ini terjadi karena adanya peningkatan volt sebesar 5-6V ketika pompa itu mati yang menyebabkan fluktuasi tegangan pada sumber listrik akibat beban pompa yang berpindah dari aktif ke mati.

Ketika tegangan listrik naik, ini membuat daya listrik yang diserap *heater* ikut naik, dikarenakan daya yang diserap oleh *heater*, peningkatan volt ini walaupun yang kecil pun bisa membuat peningkatan suhu temperatur (Brownson, 2024). Beban listrik *heater* meningkat secara intermiten akibat keterkaitan kedua perangkat yang menggunakan satu sumber listrik yang sama, *Voltage spike* ini terjadi karena ketika beban besar seperti pompa dimatikan menyebabkan tegangan disaluran listrik dapat meningkat (Akpoyibo et, al. 2020). Oleh karena itu, disarankan agar sumber energi untuk pompa dan *heater* dipisahkan. Pemisahan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya saling pengaruh tegangan antara dua steker/*plug* dalam satu sumber listrik, sehingga kedua perangkat dapat berfungsi secara optimal dan efisien tanpa fluktuasi tegangan jika menggunakan dua sumber listrik yang terpisah.



Gambar 4.8 Korelasi Watt Pompa dan Watt *Heater* (Tanpa Kontrol)

Pada grafik diatas yakni korelasi, berdasarkan data konsumsi listrik *heater* pada sistem tanpa kontrol tekanan yang ditampilkan pada grafik 4.8, terlihat bahwa penggunaan daya *heater* cenderung stabil di kisaran 572-575 watt, dikarenakan tegangan stabil karena pompa dan *heater* menyala terus menerus selama 120 menit. Meskipun terjadi fluktuasi pada konsumsi daya *heater* pada sistem tekanan kontrol, secara keseluruhan total konsumsi energi listrik heater selama pengujian 120 menit hanya berbeda 0,01 kWh lebih hemat jika dibandingkan dengan sistem tanpa tekanan kontrol, yakni pada sistem kontrol tekanan 1,18 kWh dan tanpa kontrol tekanan 1,19 kWh.



Gambar 4.9 Perbandingan Watt *Heater* (Control) dengan Watt *Heater* (Tanpa Kontol)

Meskipun sistem kontrol tekanan ini terbukti mampu menghemat energi, terdapat potensi kelemahan dalam jangka panjang. Pompa yang bekerja berdasarkan sistem *on-off* otomatis berisiko mengalami kerusakan lebih cepat akibat siklus nyala-mati yang terlalu sering. Komponen mekanik dan

kelistrikan pada pompa, seperti motor dan relay, dapat mengalami keausan atau kelelahan material apabila tidak dirancang untuk *duty cycle* yang tinggi. Oleh karena itu, dalam penerapannya perlu dipertimbangkan penggunaan pompa dengan spesifikasi yang sesuai atau menambahkan proteksi tambahan untuk memperpanjang umur pompa