



Pengaruh Resistansi dan Diameter Kawat Nichrome pada Performa Pemanasan Rompi Berpemanas Elektrik

Dinarisni Purwanningrum^{a)}, Wilda Murti^{b)}, Yulius Sarjono Eddy^{c)}, Ibnu Syahputra^{d)}

*Program Studi Teknik Pembuatan Garmen,
Akademi Komunitas Industri Tekstil dan Produk Tekstil Surakarta
Jl. Ki Hajar Dewantara, Jebres, Surakarta, Indonesia 57126*

Author Emails

a) dinarisnip@ak-tekstilsolo.ac.id

b) wmurti@ak-tekstilsolo.ac.id

c) Yulius.bdiyk@gmail.com

d) Syahputraibnu@gmail.com

Received 02 Feb 2025 / Revised 04 April 2025 / Accepted 27 May 2025 / Published 30 June 2025

Abstrak: Rompi berpemanas elektrik merupakan solusi inovatif untuk meningkatkan kenyamanan termal, khususnya di lingkungan bersuhu rendah. Salah satu elemen utama dalam sistem pemanas ini adalah elemen pemanas berbasis kawat konduktor. Dalam penelitian ini digunakan kawat Nichrome (NiCr) sebagai elemen pemanas dengan memanfaatkan prinsip pemanasan Joule, yaitu menghasilkan panas saat dialiri arus listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh resistansi dan diameter kawat nichrome terhadap performa pemanasan rompi, terutama pada laju kenaikan suhu. Eksperimen dilakukan dengan dua variasi diameter kawat (0,2 mm dan 0,3 mm) dan tiga tingkat resistansi (8 Ω , 10 Ω , dan 12 Ω), menggunakan catu daya 5V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin kecil nilai resistansi, semakin cepat laju pemanasan yang terjadi, sesuai dengan Hukum Joule. Selain itu, kawat dengan diameter lebih kecil menghasilkan panas yang lebih besar per satuan luas permukaan, sehingga suhu meningkat lebih signifikan. Analisis regresi linear menunjukkan bahwa kombinasi diameter 0,2 mm dengan resistansi 8 Ω menghasilkan laju pemanasan tertinggi (slope = 1,0157), sedangkan kombinasi diameter 0,3 mm dengan resistansi 12 Ω menunjukkan laju pemanasan terendah (slope = 0,525). Temuan ini menunjukkan bahwa resistansi dan diameter kawat berperan signifikan dalam memengaruhi performa pemanasan rompi elektrik. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam memvalidasi penerapan hukum Joule secara praktis pada perancangan rompi berpemanas elektrik.

Kata kunci: Diameter kawat, Kawat nichrome, Laju Pemanasan, Resistansi, Rompi berpemanas elektrik

1. Pendahuluan

Pakaian berfungsi sebagai penghalang termal dan kelembapan antara tubuh manusia dan lingkungan. Pakaian pelindung dingin diperlukan untuk melindungi tubuh dari stres dingin pada suhu di bawah 20°C, dan terutama di bawah 0 °C (Havenith, 2009). Stres dingin menimbulkan bahaya signifikan bagi tubuh manusia, terutama dalam lingkungan di mana paparan suhu rendah sering terjadi. Risiko stres dingin mencakup peningkatan tekanan darah, kebutuhan oksigen miokardial, dan komplikasi kardiovaskular, khususnya pada lansia (Tiankai *et al.*, 2022; Nerys, 2023; Tiina *et al.*, 2023;). Respon fisiologis terhadap stres dingin meliputi gangguan termoregulasi, maladaptasi vasokonstriktif, dan penurunan kemampuan mempertahankan suhu tubuh, yang dapat menyebabkan hipotermia dan radang dingin (Xue *et al.*, 2020). Anomali kardiovaskular yang disebabkan oleh stres dingin dapat mengakibatkan hipertrofi jantung, penurunan fungsi jantung, dan fibrosis interstisial miokard, dengan mekanisme yang melibatkan cedera sel mitokondria, stres oksidatif, serta perubahan profil gen dan protein.

Untuk mengurangi risiko ini, penggunaan pakaian yang tepat sangat penting untuk mencegah masalah kesehatan terkait stres dingin pada tubuh. Untuk memberikan perlindungan yang memadai bagi tubuh manusia, pakaian tradisional untuk cuaca dingin biasanya terdiri dari beberapa lapisan. Pakaian ini biasanya berat dan besar. Tidak diragukan lagi bahwa pakaian semacam itu dapat memberikan perlindungan yang cukup terhadap stres dingin. Namun, peningkatan berat dan ukuran pakaian dapat membatasi aktivitas tubuh, mengurangi ketangkasan, produktivitas, serta meningkatkan beban kerja dan ketegangan otot (Holmér, 2009). Oleh karena itu, perlu mencari teknik pakaian alternatif untuk mengatasi masalah-masalah tersebut. Salah satu alternatifnya adalah penggunaan rompi berpemanas untuk menggantikan beberapa lapisan pakaian yang tebal.

Ada empat jenis pakaian yang dapat menghantarkan panas, yaitu pakaian pemanas elektrik, pakaian dengan material perubahan fase, pakaian pemanas kimia, dan pakaian pemanas aliran fluida atau udara (Riabchykov *et al.*, 2022). Kegunaan rompi berpemanas meliputi peningkatan kenyamanan termal (Li *et al.*, 2020). Di lingkungan dingin, rompi berpemanas berfungsi menjaga tubuh tetap hangat, meredakan nyeri perut selama menstruasi, dan meningkatkan kesehatan menurut prinsip pengobatan tradisional Tiongkok (Pai, 2019; Shu *et al.*, 2020). Selain itu, rompi berpemanas dapat dengan cepat meningkatkan panas tubuh dan menghilangkan rasa dingin, sehingga meningkatkan pengalaman kehangatan secara keseluruhan bagi pengguna (Pai, 2019; Shu *et al.*, 2020).

Rompi berpemanas elektrik menggunakan energi listrik untuk menggerakkan elemen pemanas di dalam pakaian guna menyediakan energi panas secara aktif. Prinsip pemanasan dari elemen pemanas ini adalah pemanasan Joule, yaitu menghasilkan panas ketika arus listrik mengalir melalui konduktor. Dalam beberapa penelitian terkini mengenai perkembangan produk tekstil berpemanas elektrik dengan berbagai kegunaan. Berbagai bahan konduktif dapat digunakan sebagai elemen pemanas utama (Fang *et al.*, 2022). Berbagai penelitian menggunakan bahan konduktif antara lain tembaga (Mo *et al.*, 2020), Polipirrol (Wang *et al.*, 2020), tinta konduktif (Ralph Lauren., 2020), nanokomposit grafit nanoplatelet dan poliuretan (Chen *et al.*, 2021), kawat nichrome (Arabuli *et al.*, 2023), dan karbon nanotube (Yoon *et al.*, 2024).

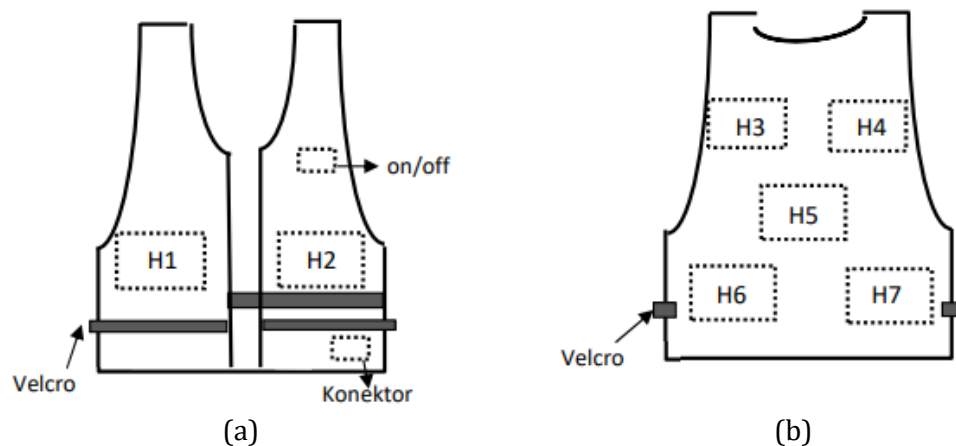
Kawat nichrome, paduan nikel dan kromium, telah lama digunakan sebagai elemen pemanas karena berbagai keunggulan yang dimilikinya. Studi oleh Lim *et al.* (2024) menunjukkan bahwa nichrome memiliki resistivitas tinggi, memungkinkan efisiensi dalam menghasilkan panas melalui efek Joule. Selain itu, nichrome menunjukkan ketahanan terhadap oksidasi dan korosi pada suhu tinggi, menjadikannya pilihan yang andal untuk aplikasi pemanas yang memerlukan stabilitas termal. Nichrome juga memiliki titik leleh yang tinggi, sekitar 1400 °C, dan stabil pada suhu ekstrem, memungkinkan penggunaannya dalam berbagai kondisi operasional. Sifat mekanik yang baik dan kemampuan untuk mempertahankan bentuknya pada suhu tinggi membuat nichrome cocok untuk berbagai aplikasi, termasuk dalam perangkat rumah tangga dan industri. Namun penggunaan kawat nichrome untuk rompi berpemanas elektrik belum banyak dieksplorasi pada rentang tahun 2000 hingga 2020 (Fang *et al.*, 2022).

Penggunaan kawat nichrome belum banyak dieksplorasi secara mendalam dalam konteks rompi berpemanas elektrik. Arabuli *et al.* (2023) meneliti jaket pemanas untuk pengendara sepeda motor menggunakan kawat nichrome berdiameter 0,8 mm dengan panjang 2 meter sebagai elemen pemanas. Namun, studi tersebut belum membahas secara spesifik pengaruh variasi diameter dan panjang kawat terhadap performa pemanasan. Padahal, menurut prinsip hukum Joule, parameter-parameter tersebut berperan penting dalam menentukan jumlah energi panas yang dihasilkan. Diameter dan panjang kawat berkaitan langsung dengan nilai resistansi, yang memengaruhi efisiensi pemanasan. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji lebih lanjut pengaruh resistansi dan diameter kawat pemanas terhadap laju pemanasan pada rompi berpemanas elektrik. Penelitian ini berhipotesis bahwa semakin kecil resistansi kawat, maka semakin cepat laju pemanasan yang terjadi. Selain itu, semakin kecil diameter kawat, maka semakin besar energi panas yang dihasilkan per satuan luas permukaan. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam memvalidasi penerapan hukum Joule secara praktis pada perancangan rompi berpemanas elektrik.

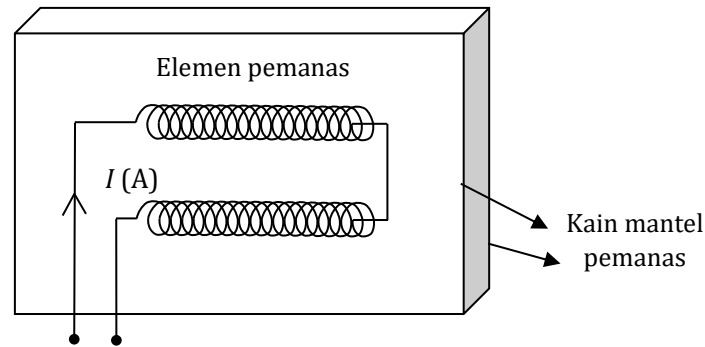
2. Metode

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai metode dalam melakukan penelitian ‘Studi Pengaruh Resistansi dan Diameter Kawat Nichrome terhadap Laju Pemanasan Rompi Berpemanas Elektrik. Pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan yaitu: (1) Perancangan; (2) Pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak; serta (3) Uji coba dan Implementasi.

Tahapan perancangan meliputi perancangan bentuk, berat dan geometri rompi, pemilihan jenis bahan penutup elemen pemanas, tata-letak modul elemen pemanas dan perkabelan dalam rompi. Berat rompi dirancang tidak lebih dari 0.5 kg sedangkan bentuk dan geometri serta tata-letak modul elemen pemanas dapat dilihat pada Gambar 1. Dua modul elemen pemanas dipasang di bagian depan rompi yaitu H1 dan H2 untuk menghangatkan masing-masing bagian kanan dan kiri perut (Gambar 1a). Konektor dan dua tombol pengatur S1 dan S2 terletak di rompi bagian depan. Di dalam rompi bagian belakang, dipasang lima modul elemen pemanas H3, H4, H5, H6 dan H7 untuk menghangatkan masing-masing bagian punggung-atas dan punggung-bawah (Gambar 1b). Rompi bagian pundak dijahit, dan di bagian samping digabung dengan menggunakan perekat velcro.



Gambar 1 Posisi modul elemen pemanas H1, H2, H3, H4, H5, H6 dan H7 pada rompi sisi (a) depan dan (b) belakang

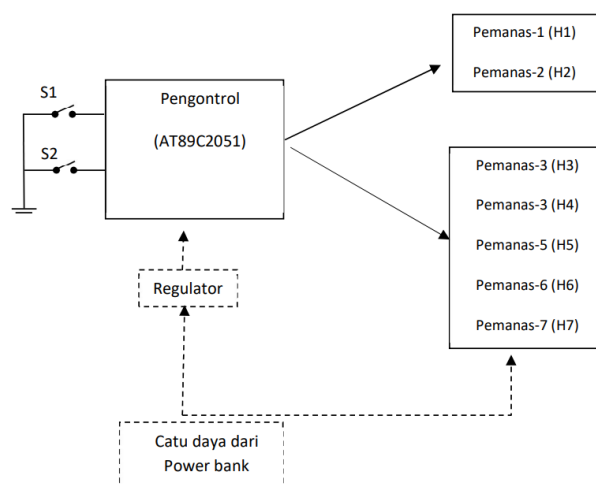


Gambar 2 Rancangan modul elemen pemanas

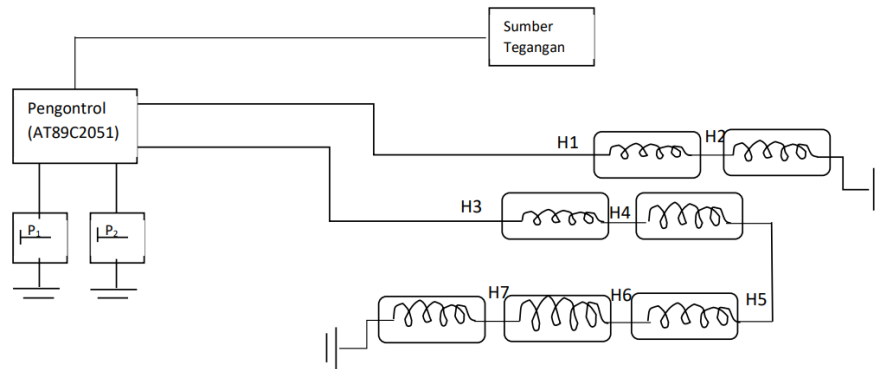
Gambar 2 di atas mendeskripsikan tentang rancangan modul pemanas yang dibuat dari elemen pemanas dengan bahan nichrome, yang kemudian disisipkan ke atas dan ke bawah pada kain nonwoven. Modul ini dibungkus dengan kain perekat di kedua sisi elemen pemanas. Modul pemanas dirancang agar bekerja pada temperatur nyaman bagi tubuh, sehingga ditambahkan tombol pengatur on dan *off* pada rompi penghangat. Elemen pemanas dikemas dengan bahan yang tahan temperatur tinggi. Dengan rancangan ini, modul elemen pemanas tidak membahayakan bagi rompi dan sistem kelistrikan motor.

Gambar 3 memperlihatkan blok diagram sistem pengontrol rompi penghangat. Perangkat rompi penghangat ini terdiri dari sistem pengontrol, sistem elemen pemanas rompi dan sistem catu daya. Pengaturan kerja pemanas dan pewaktuan masing-masing dilakukan melalui tombol Saklar 1 (S1) dan Saklar 2 (S2). Modul pengontrol diwujudkan dengan mikrokontroler AT89C2051. Pengaturan program dirancang sedemikian rupa sehingga memudahkan pengguna. Rancangan program pengaturan letak pemanas aktif dapat diaktifkan dan di-nonaktifkan oleh tombol S1 dan S2. Sebagai contoh, pengguna dapat mengaktifkan pemanas bagian depan saja dengan cara menekan tombol S1 (*Belly*), Pengguna juga dapat mengaktifkan pemanas bagian belakang saja dengan cara menekan tombol S2 (*Back*). Diagram skematik rangkaian dapat dilihat pada Gambar 4.

Sumber energi listrik diperoleh dari baterai *power bank* sehingga alat ini memperoleh arus searah +5V dari motor untuk mencatu IC penyangga, relay serta modul elemen pemanas. Regulator berfungsi untuk menyediakan tegangan +5V untuk mencatu mikrokontroler.



Gambar 3 Rancangan blok diagram sistem pengontrol dan elemen pemanas di rompi



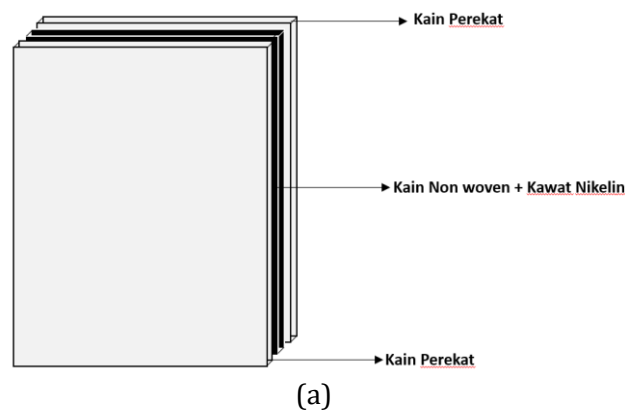
Gambar 4 Diagram skematik rangkaian pengontrol sistem

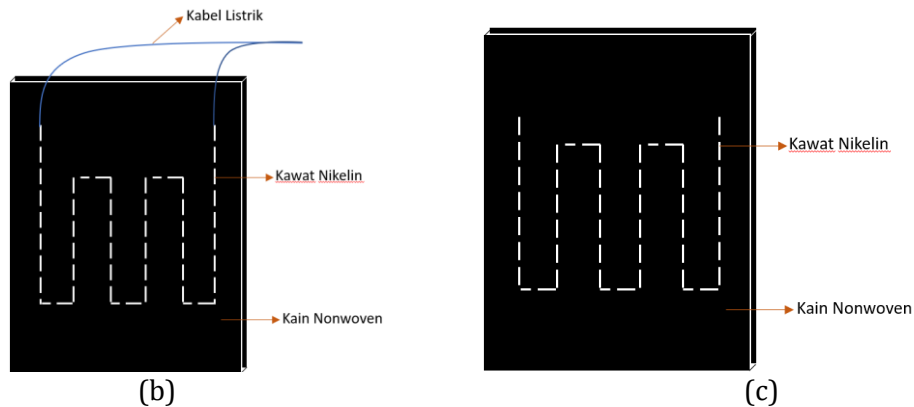
Setelah perancangan selesai, tahap selanjutnya adalah proses pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras terdiri dari pembuatan rompi, pembuatan modul elemen pemanas dan pembuatan rangkaian elektrik. Pembuatan rompi akan disesuaikan dengan rancangan Gambar 1. Modul pengontrol akan dikemas dengan suatu casing yang sekecil mungkin guna menghemat ruang dalam rompi. Perangkat lunak dirancang untuk mengikuti rancangan pengaturan S1 (Belly) dan S2 (Back). Program dibuat dengan bahasa rakitan (*assembly*).

Selanjutnya, tahap uji coba akan dilakukan dengan uji laboratorium dengan memasang termometer di salah satu bagian modul pemanas bagian depan maupun belakang yang bersentuhan dengan tubuh di bawah modul pemanas. Kinerja rompi berpemanas diungkapkan dengan suhu yang terbaca oleh termometer. Uji coba dilakukan di tempat yang stagnan, selama 150 menit tanpa henti dan dicatat suhunya dalam interval 10 menit. Temperatur tempat pengujian berkisar antara 27-30°C. Implementasi akan dilakukan setelah dapat disimpulkan kinerja alat ini memenuhi ketentuan keamanan. Pengujian pengontrol sistem yang bekerja terhadap elemen pemanas harus sesuai dengan rancangan kerja data sesuai dengan rancangan pada Gambar 3 dan 4. Rompi dinyalakan dengan sumber daya *power bank*.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini telah dilakukan tinjauan mengenai pengaruh resistansi dan ukuran diameter kawat pemanas nichrome pada sebuah konstruksi rompi berpemanas elektrik terhadap laju pemanasan yang dihasilkan. Gambar 5 merupakan komponen modul pemanas, gambar 6 adalah bagian dalam rompi yang telah diisi komponen elektronika dan modul pemanas.





Gambar 5 (a) Komponen modul pemanas; (b) Tampak depan bagian tengah modul pemanas; (c) Tampak belakang bagian tengah modul pemanas.

Gambar 5 merupakan gambaran dari modul pemanas. Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa modul pemanas terdiri dari 3 lapisan yaitu lapisan pengaman modul yang dibuat dari kain perekat keras, lapisan pengaman ini terdapat di dua sisi untuk melindungi lapisan tengah dari kerusakan dan pergeseran mekanis. Lapisan selanjutnya adalah lapisan tengah yang terdiri dari kawat nichrome, kain nonwoven serta kawat nikelin yang dihubungkan dengan kabel listrik. Lapisan tengah merupakan lapisan inti dari modul pemanas yang berguna untuk menghantarkan panas dari sumber listrik ke pengguna.

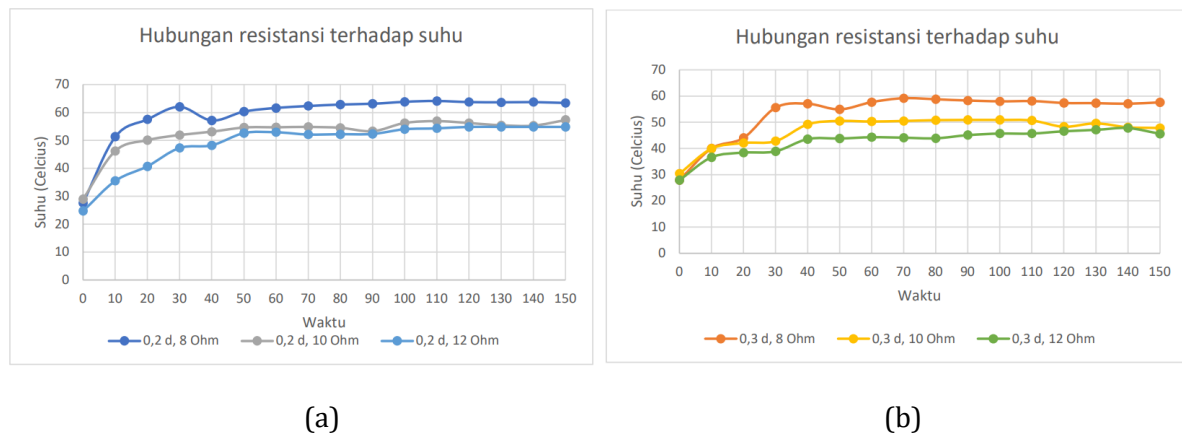


Gambar 6 Bagian dalam rompi yang telah diisi komponen elektronika dan modul pemanas

Gambar 6 menunjukkan hasil pemasangan modul pemanas dan komponen elektronika pada bagian dalam rompi yang telah dimodifikasi. Proses ini dilakukan dengan membuka lapisan dalam rompi untuk memberikan ruang bagi penempatan modul pemanas dan komponen elektronik secara rapi dan aman.

Setelah komponen elektronika dan modul pemanas berhasil dipasang, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian modul pemanas. Pada penelitian ini telah dilakukan tinjauan mengenai pengaruh ukuran diameter kawat pemanas dan resistansi panel pemanas pada sebuah konstruksi rompi berpemanas elektrik terhadap laju pemanasan yang dihasilkan. Tujuan variasi ini adalah untuk mengetahui pengaruh jenis diameter kawat pemanas dan nilai resistansi panel pemanas terhadap kenaikan suhu pada rompi elektrik. Pada penelitian ini telah digunakan kawat pemanas nichrome dengan dua variasi ukuran diameter yaitu 0,2 mm dan 0,3 mm. Selain variasi ukuran kawat pemanas, pada penelitian ini telah diamati pula pengaruh nilai resistansi panel pemanas dengan nilai 8 Ω , 10 Ω dan 12 Ω .

3.1 Pengaruh Resistansi kawat pemanas terhadap laju kenaikan suhu



Gambar 7 Laju kenaikan suhu dengan variasi nilai resistansi panel pemanas; (a) diameter kawat 0,2 mm dan (b) diameter kawat 0,3 mm

Gambar 7 menunjukkan laju kenaikan suhu (celcius) dengan variasi nilai resistansi panel pemanas dengan waktu pemanasan selama 150 menit dan dicatat suhu yang didapat setiap interval 10 menit. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan power bank dengan voltage sebesar 5V dan rangkaian disusun secara seri. Gambar (a) adalah grafik yang menunjukkan kawat dengan diameter 0.2 mm dengan variasi resistansi 8, 10 dan 12Ω, sedangkan Gambar (b) adalah grafik yang menunjukkan modul pemanas dengan diameter kawat sebesar 0.2 mm dengan variasi resistansi yang sama dengan diameter 0.3 mm. Hasil menunjukkan bahwa kedua grafik (a) dan (b) memiliki kecenderungan sama bahwa semakin kecil nilai resistansi (8Ω) semakin besar suhu yang dihasilkan, semakin besar nilai resistansi (12Ω) semakin kecil suhu yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan hukum joule bahwa laju kenaikan suhu pada elemen pemanas dipengaruhi oleh nilai resistansi, di mana resistansi yang lebih rendah menghasilkan daya listrik yang lebih besar. Peningkatan daya listrik menyebabkan lebih banyak energi yang diubah menjadi panas, sehingga suhu yang dihasilkan oleh elemen pemanas juga lebih tinggi.

Hukum Joule:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (1)$$

Dimana

$$I = \frac{V}{R} \quad (2)$$

Dimana P: Daya (Watt); I: Arus (Ampere); R: Resistansi kawat (Ω); dan V: Tegangan sumber daya (V)

dengan V = 5V, untuk R = 8 maka I = 0.625 A; untuk R = 10 Ω maka I = 0.5 A; untuk R = 12 maka I = 0.416 A.

Daya yang dihasilkan dengan menggunakan rumus (1) adalah: untuk R = 8 maka P = 3.125 Watt; untuk R = 10 maka P = 2.5 Watt dan untuk R = 12 maka P = 2.083 Watt. Resistansi yang lebih rendah menghasilkan daya yang lebih tinggi, sehingga kawat dengan R = 8, akan menghasilkan lebih banyak panas dibanding R=10 dan R=12.

Chen *et al.* (2021) menyuplai bukti kuat dari sudut eksperimen bahwa resistansi rendah berkontribusi langsung pada laju pemanasan cepat. Dalam film pemanas GNP/PU, mereka mencatat nilai resistivitas film serendah 80 mΩ·cm (4 Ω/□), yang menerjemah ke laju pemanasan mencapai 25 °C/min pada tegangan 5–24 V. Data ini menguatkan hipotesa penelitian saat ini:

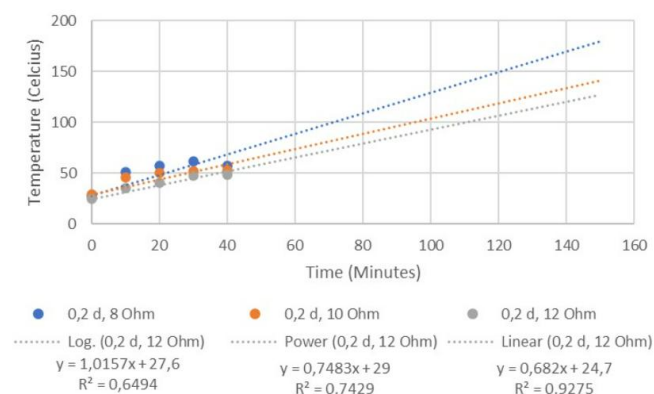
kawat dengan resistansi 8Ω menghasilkan slope kenaikan suhu yang lebih tinggi dibanding kawat 10Ω atau 12Ω , mendemonstrasikan kecepatan pemanasan yang lebih tinggi sesuai dengan penurunan resistansi. Hasil ini memberikan dukungan eksperimental langsung terhadap prinsip Hukum Joule.

3.2 Analisis regresi pengaruh resistansi terhadap laju pemanasan rompi elektrik

Pada penelitian ini laju pemanasan telah diamati pada masing-masing variasi dengan merekam kenaikan suhu sistem pemanas dari waktu 0 menit hingga waktu sesaat suhu berada pada keadaan yang relatif setimbang (*steady state*). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pemanasan terjadi pada periode 0 menit hingga 40 menit. Hasil observasi menunjukkan bahwa waktu lebih besar dari 50 menit telah menunjukkan keadaan suhu yang relatif tidak berubah (telah mencapai keadaan *steady state*). Pada analisis ini telah diolah data suhu dari setiap sistem pemanas pada rentang waktu 0 menit hingga 40 menit, dengan asumsi bahwa laju pemanasan terjadi pada waktu tersebut sebelum akhirnya mencapai keadaan *steady state*. Gambar 8 menunjukkan plot scatter dari data suhu sistem pemanas yang terbuat dari kawat pemanas berdiameter 0,2mm (dengan resistansi 8Ω , 10Ω , dan 12Ω) pada waktu 0 menit hingga 40 menit. Data pada grafik warna biru menunjukkan data suhu dari sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,2 mm dan beresistansi 8Ω . Data pada grafik warna jingga menunjukkan data suhu dari sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,2 mm dan beresistansi 10Ω . Data pada grafik warna abu menunjukkan data suhu dari sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,2 mm dan beresistansi 12Ω .

Untuk menentukan kecepatan laju pemanasan dari masing-masing variasi sistem pemanas yang dibuat (sesuai Gambar 8), maka analisis dilanjutkan dengan menghitung persamaan regresi linear dari masing-masing data hasil pengukuran suhu dari waktu 0 menit hingga 40 menit. Hasil analisis regresi dapat menunjukkan koefisien slope (kemiringan) yang menggambarkan seberapa besar temperature bertambah untuk tiap waktu yang dihabiskan. Dengan persamaan regresi $Y = ax + b$, maka nilai a menggambarkan nilai koefisien slope dari persamaan regresi tersebut. Semakin besar nilai slope pada persamaan regresi, maka semakin besar kecepatan pemanasan yang terjadi pada sistem pemanas tersebut. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari analisis regresi linear menggunakan data suhu pada Gambar 8, maka diperoleh:

1. nilai slope sebesar 1,0157 untuk sistem pemanas dengan kawat berdiameter 0,2 mm dan resistansi 8Ω
2. nilai slope sebesar 0,7483 untuk sistem pemanas dengan kawat berdiameter 0,2 mm dan resistansi 10Ω
3. nilai slope sebesar 0,682 untuk sistem pemanas dengan kawat berdiameter 0,2 mm dan resistansi 12Ω



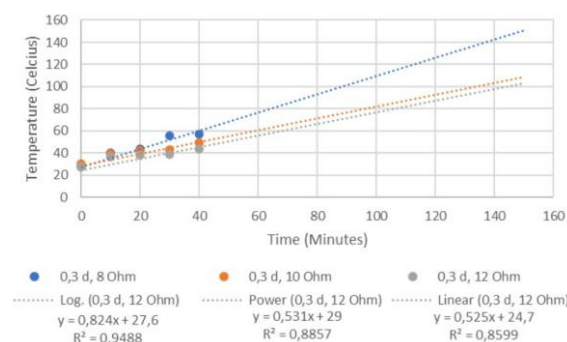
Gambar 8 Analisis regresi linear pada kenaikan suhu sistem pemanas dengan menggunakan kawat diameter 0,2 mm (dengan resistansi 8Ω , 10Ω dan 12Ω)

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai koefisien slope tertinggi adalah sebesar 1,0157 yang diperoleh pada sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,2 mm dan resistansi 8Ω .

Hal ini menunjukkan bahwa konstruksi sistem pemanas tersebut adalah yang paling cepat menghasilkan panas dibandingkan dengan sistem lainnya pada grafik di Gambar 8. Nilai koefisien slope terendah adalah sebesar 0,682 yang diperoleh pada sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,2 mm dan resistansi 12 Ω . Hal tersebut menunjukkan bahwa konstruksi sistem pemanas tersebut adalah yang paling lambat dalam menghasilkan panas. Hasil ini menunjukkan bahwa ada kecenderungan semakin besar resistansi pada sistem pemanas berkawat pemanas diameter 0,2 mm, maka akan semakin relatif lambat sistem pemanas tersebut dalam menghasilkan panas dalam satuan waktu yang sama. Nilai koefisien regresi (R^2) juga menunjukkan nilai lebih besar dari 0,5. Hal ini menunjukkan bahwa model adalah memiliki kesesuaian yang cukup dengan data hasil eksperimen.

Analisis regresi linear serupa telah dilakukan pula pada sistem pemanas yang menggunakan kawat 0,3 mm. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari analisis regresi linear menggunakan data suhu pada Gambar 9, maka diperoleh:

1. nilai slope sebesar 0,824 untuk sistem pemanas dengan kawat berdiameter 0,3 mm dan resistansi 8 Ω
2. nilai slope sebesar 0,531 untuk sistem pemanas dengan kawat berdiameter 0,3 mm dan resistansi 10 Ω
3. nilai slope sebesar 0,525 untuk sistem pemanas dengan kawat berdiameter 0,3 mm dan resistansi 12 Ω



Gambar 9 Analisis regresi linear pada kenaikan suhu sistem pemanas dengan menggunakan kawat diameter 0,3 mm (dengan resistansi 8 Ω , 10 Ω dan 12 Ω)

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai koefisien slope tertinggi adalah sebesar 0,824 yang diperoleh pada sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,3 mm dan resistansi 8 Ω . Hal ini menunjukkan bahwa konstruksi sistem pemanas tersebut adalah yang paling cepat menghasilkan panas dibandingkan dengan sistem lainnya pada grafik di Gambar 9. Nilai koefisien slope terendah adalah sebesar 0,525 yang diperoleh pada sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,3 mm dan resistansi 12 Ω . Hal tersebut menunjukkan bahwa konstruksi sistem pemanas tersebut adalah yang paling lambat dalam menghasilkan panas. Hasil ini menunjukkan bahwa ada kecenderungan semakin besar resistansi pada sistem pemanas berkawat pemanas diameter 0,3 mm, maka akan semakin relatif lambat sistem pemanas tersebut dalam menghasilkan panas dalam satuan waktu yang sama.

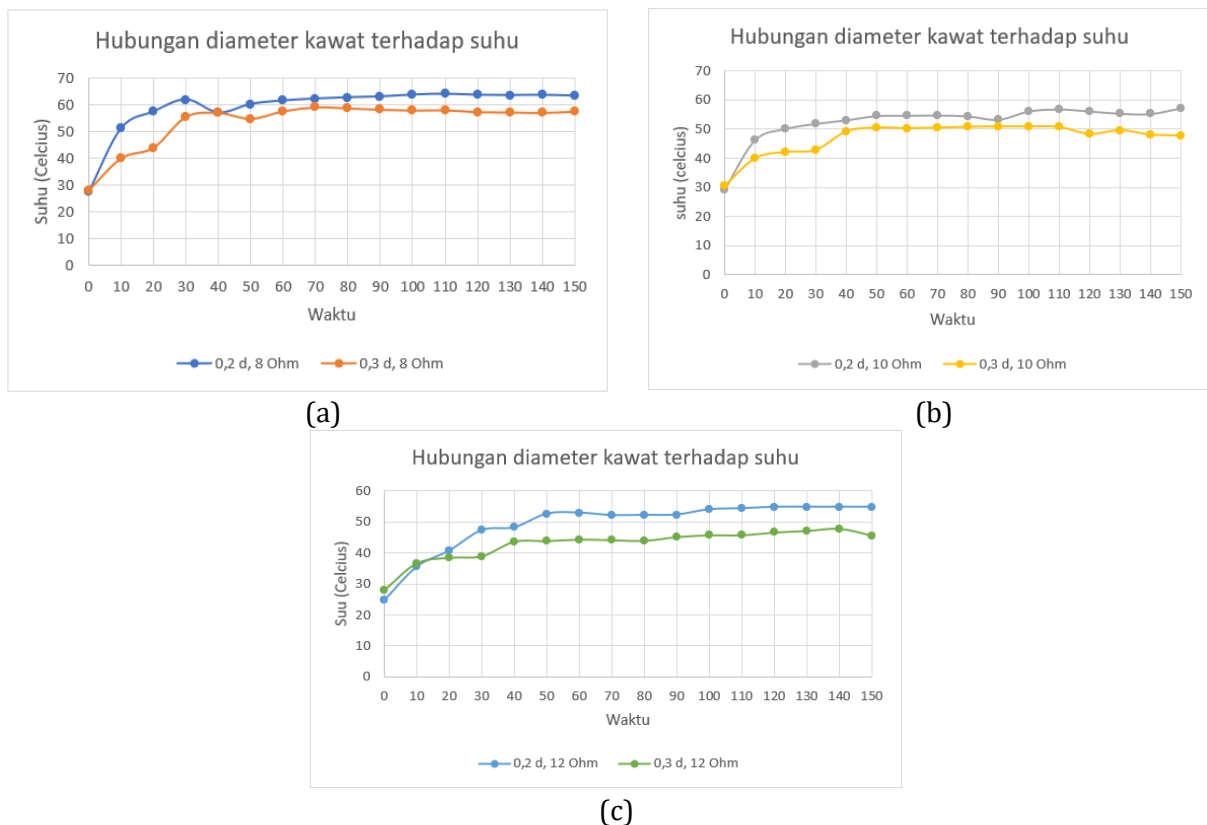
Hasil analisis statistik regresi linear ini telah berhasil menunjukkan bahwa pada sistem pemanas dengan kawat diameter 0,2 mm dan 0,3 mm adalah memiliki kecenderungan yang sama. Hasil ini menunjukkan bahwa ada kecenderungan semakin besar resistansi pada sistem pemanas berkawat pemanas diameter 0,2 mm, maka akan semakin relatif lambat sistem pemanas tersebut dalam menghasilkan panas dalam satuan waktu yang sama. Nilai koefisien regresi (R^2) juga menunjukkan nilai lebih besar dari 0,5. Hal ini menunjukkan bahwa model adalah memiliki kesesuaian yang cukup dengan data hasil eksperimen.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan dari Lim, *et al.* (2024), yang mengembangkan pemanas berbasis kawat nichrome untuk aplikasi diagnostik molekuler. Studi tersebut

menunjukkan bahwa kawat nichrome dengan resistansi tinggi sangat efisien dalam mengubah energi listrik menjadi panas melalui mekanisme pemanasan Joule. Pemanas yang dirancang menggunakan kawat NiCr terbukti mampu menghasilkan distribusi suhu yang merata, khususnya saat spasi antar kawat diatur rapat (2 mm). Meskipun konteks penggunaannya berbeda yakni pada perangkat PCR portable, prinsip dasar konversi energi dan pemanfaatan karakteristik resistif kawat nichrome tetap relevan. Implikasi dari penelitian tersebut memperkuat temuan dalam studi ini, bahwa pemilihan nilai resistansi yang tepat dapat mengoptimalkan laju pemanasan. Hal ini semakin menegaskan bahwa desain pemanas berbasis kawat nichrome, baik untuk aplikasi medis maupun tekstil wearable, sangat dipengaruhi oleh parameter resistansi dan konduktivitas termalnya.

3.3 Pengaruh diameter kawat pemanas terhadap laju kenaikan suhu

Pada penelitian ini telah dilakukan uji pengaruh diameter kawat pemanas terhadap laju kenaikan suhu, penelitian ini menggunakan dua variasi diameter kawat pemanas yaitu diameter 0,2 mm dan 0,3 mm. Dapat dilihat dari grafik pada Gambar 10 (a), (b) dan (c) memiliki kecenderungan yang sama, bahwa kawat dengan diameter yang lebih kecil menghasilkan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan kawat dengan diameter yang lebih besar.



Gambar 10 Hubungan diameter kawat terhadap suhu dengan resistansi yang sama (a) 8Ω; (b) 10Ω; (c) 12Ω.

Panas yang dihasilkan tetap dihitung dengan menggunakan rumusan (1), namun untuk membandingkan suhu permukaan, kita perlu menghitung panas persatuan luas permukaan dengan rumusan sebagai berikut:

$$\frac{P}{A} = \frac{I^2 R}{\pi d L} \quad (3)$$

Subtitusikan $L = \frac{R\pi d^2}{4\rho}$ ke dalam rumus luas permukaan $A = \pi d L$

$$A = \pi d \left(\frac{R\pi d^2}{4\rho} \right) = \frac{\pi^2 R d^3}{4\rho} \quad (4)$$

Panas persatuan luas menjadi

$$\frac{P}{A} = \frac{I^2 R}{\frac{\pi^2 R d^3}{4\rho}} = \frac{4\rho I^2}{\pi^2 d^3} \quad (5)$$

Dari rumusan 5 terlihat bahwa panas persatuan luas permukaan berbanding terbalik dengan d^3 , yang dapat disimpulkan bahwa diameter lebih kecil (d_1) menghasilkan panas persatuan luas yang lebih besar karena $\frac{1}{d^3}$ akan menghasilkan nilai yang lebih besar. Sehingga meskipun resistansi sama, kawat dengan diameter lebih kecil memiliki suhu permukaan lebih tinggi, karena panas terkonsentrasi pada luas permukaan yang lebih kecil.

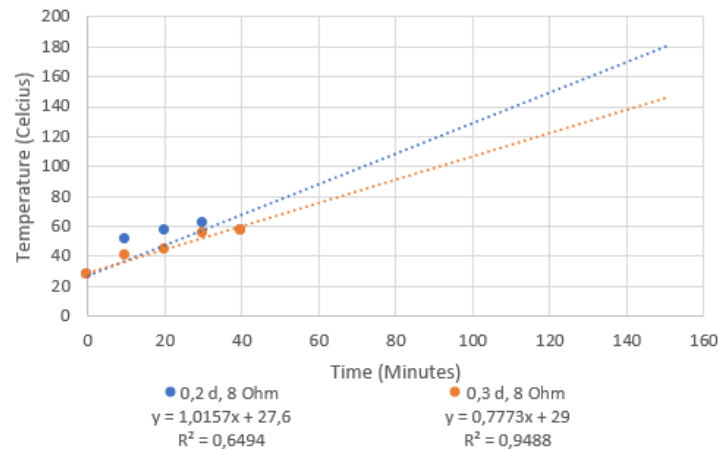
Penelitian ini menunjukkan bahwa kawat dengan diameter lebih kecil menghasilkan suhu permukaan lebih tinggi meskipun resistansinya sama. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi panas pada permukaan yang lebih kecil. Secara teoritis, daya per satuan luas permukaan berbanding terbalik dengan pangkat tiga dari diameter kawat ($P/A \sim 1/d^3$). Sehingga semakin kecil diameter, semakin besar panas yang dirasakan pada permukaan kawat. Temuan ini memperkuat bahwa distribusi panas lebih efektif dijelaskan melalui pendekatan geometri dan bukan semata-mata melalui resistansi.

3.4 Analisis regresi pengaruh diameter kawat terhadap laju pemanasan

Selanjutnya dilakukan analisis regresi pengaruh diameter kawat pemanas terhadap laju kenaikan suhu. Hasil pengujian menggunakan Hasil observasi menunjukkan bahwa waktu lebih besar dari 50 menit telah menunjukkan keadaan suhu yang relatif tidak berubah (telah mencapai keadaan *steady state*). Pada analisis ini telah diolah data suhu dari setiap sistem pemanas pada rentang waktu 0 menit hingga 40 menit, dengan asumsi bahwa laju pemanasan terjadi pada waktu tersebut sebelum akhirnya mencapai keadaan *steady state*. Gambar 11 menunjukkan plot scatter dari data suhu sistem pemanas yang terbuat dari kawat pemanas yang memiliki resistansi 8Ω (dengan diameter kawat berukuran 0,2 mm dan 0,3 mm) pada waktu 0 menit hingga 40 menit. Data pada grafik warna biru menunjukkan data suhu dari sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,2 mm dan beresistansi 8Ω . Data pada grafik warna jingga menunjukkan data suhu dari sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,3 mm dan beresistansi 8Ω .

Hasil analisis regresi dapat menunjukkan koefisien slope (kemiringan) yang menggambarkan seberapa besar temperature bertambah untuk tiap waktu yang dihabiskan. Dengan persamaan regresi $Y = ax + b$, maka nilai a menggambarkan nilai koefisien slope dari persamaan regresi tersebut. Semakin besar nilai slope pada persamaan regresi, maka semakin besar kecepatan pemanasan yang terjadi pada sistem pemanas tersebut. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari analisis regresi linear menggunakan data suhu pada Gambar 11, maka diperoleh:

1. nilai slope sebesar 1,0157 untuk sistem pemanas dengan kawat berdiameter 0,2 mm dan resistansi 8Ω
2. nilai slope sebesar 0,7773 untuk sistem pemanas dengan kawat berdiameter 0,3 mm dan resistansi 8Ω

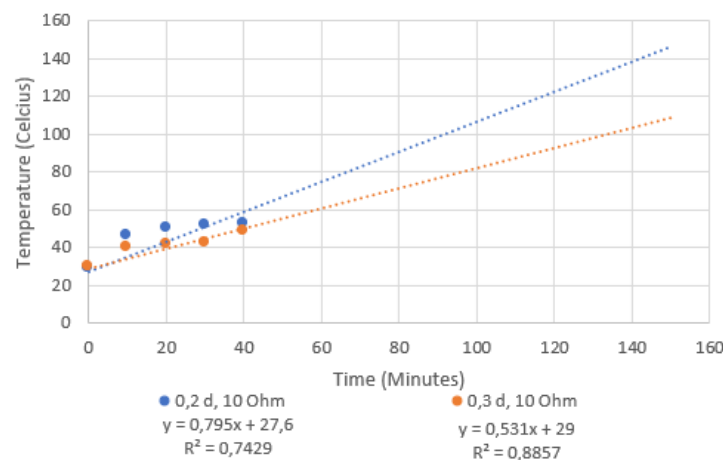


Gambar 11 Analisis regresi linear pada kenaikan suhu sistem pemanas dengan resistansi 8 Ω (dengan ukuran diameter kawat 0,2 mm dan 0,3 mm)

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai koefisien slope tertinggi adalah sebesar 1,0157 yang diperoleh pada sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,2 mm dan resistansi 8 Ω . Hal ini menunjukkan bahwa konstruksi sistem pemanas tersebut adalah yang paling cepat menghasilkan panas dibandingkan dengan sistem lainnya pada grafik di Gambar 11. Nilai koefisien slope terendah adalah sebesar 0,7773 yang diperoleh pada sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,3 mm dan resistansi 8 Ω . Hal tersebut menunjukkan bahwa konstruksi sistem pemanas tersebut adalah yang paling lambat dalam menghasilkan panas. Hasil ini menunjukkan bahwa ada kecenderungan semakin besar ukuran diameter kawat pada sistem pemanas dengan resistansi 8 Ω , maka akan semakin relatif lambat sistem pemanas tersebut dalam menghasilkan panas dalam satuan waktu yang sama.

Analisis regresi linear serupa telah dilakukan pula pada sistem pemanas yang memiliki resistansi 10 Ω . Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari analisis regresi linear menggunakan data suhu pada Gambar 12, maka diperoleh:

1. nilai slope sebesar 0,795 untuk sistem pemanas dengan kawat berdiameter 0,2 mm dan resistansi 10 Ω
2. nilai slope sebesar 0,531 untuk sistem pemanas dengan kawat berdiameter 0,3 mm dan resistansi 10 Ω



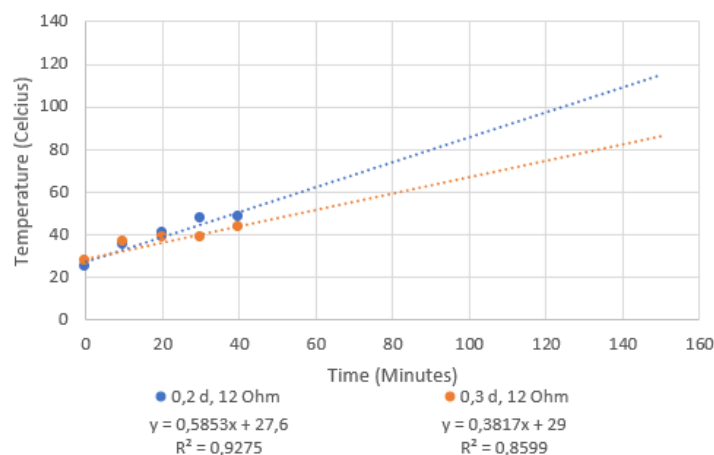
Gambar 12 Analisis regresi linear pada kenaikan suhu sistem pemanas dengan resistansi 10 Ω (dengan ukuran diameter kawat 0,2 mm dan 0,3 mm)

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai koefisien slope tertinggi adalah sebesar 0,795 yang diperoleh pada sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,2 mm dan resistansi 10 Ω . Hal ini menunjukkan bahwa konstruksi sistem pemanas tersebut adalah yang paling

cepat menghasilkan panas dibandingkan dengan sistem lainnya pada grafik di Gambar 12. Nilai koefisien slope terendah adalah sebesar 0,531 yang diperoleh pada sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,3 mm dan resistansi 10 Ω . Hal tersebut menunjukkan bahwa konstruksi sistem pemanas tersebut adalah yang paling lambat dalam menghasilkan panas. Hasil ini menunjukkan bahwa ada kecenderungan semakin besar ukuran diameter kawat pada sistem pemanas dengan resistansi 10 Ω , maka akan semakin relatif lambat sistem pemanas tersebut dalam menghasilkan panas dalam satuan waktu yang sama.

Analisis regresi linear serupa telah dilakukan pula pada sistem pemanas yang memiliki resistansi 12 Ω . Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari analisis regresi linear menggunakan data suhu pada Gambar 13, maka diperoleh:

1. nilai slope sebesar 0,5853 untuk sistem pemanas dengan kawat berdiameter 0,2 mm dan resistansi 12 Ω
2. nilai slope sebesar 0,3817 untuk sistem pemanas dengan kawat berdiameter 0,3 mm dan resistansi 12 Ω



Gambar 13 Analisis regresi linear pada kenaikan suhu sistem pemanas dengan resistansi 12 Ω (dengan ukuran diameter kawat 0,2 mm dan 0,3 mm)

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai koefisien slope tertinggi adalah sebesar 0,5853 yang diperoleh pada sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,2 mm dan resistansi 12 Ω . Hal ini menunjukkan bahwa konstruksi sistem pemanas tersebut adalah yang paling cepat menghasilkan panas dibandingkan dengan sistem lainnya pada grafik di Gambar 13. Nilai koefisien slope terendah adalah sebesar 0,3817 yang diperoleh pada sistem pemanas yang menggunakan kawat berdiameter 0,3 mm dan resistansi 12 Ω . Hal tersebut menunjukkan bahwa konstruksi sistem pemanas tersebut adalah yang paling lambat dalam menghasilkan panas. Hasil ini menunjukkan bahwa ada kecenderungan semakin besar ukuran diameter kawat pada sistem pemanas dengan resistansi 12 Ω , maka akan semakin relatif lambat sistem pemanas tersebut dalam menghasilkan panas dalam satuan waktu yang sama.

Hasil analisis statistik regresi linear ini telah berhasil menunjukkan bahwa pada sistem pemanas dengan resistansi 8 Ω , 10 Ω dan 12 Ω adalah memiliki kecenderungan yang sama. Kecenderungan tersebut adalah semakin besar ukuran diameter kawat yang dimiliki oleh sistem pemanas tersebut, maka laju pemanasan akan semakin lambat. Sebaliknya, semakin kecil ukuran diameter kawat yang dimiliki oleh sebuah sistem pemanas, maka laju pemanasan akan semakin cepat.

3.5 Dampak Praktis terhadap Pengembangan Rompi Berpemanas Elektrik

Hasil penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi terhadap pemahaman teoritis mengenai pengaruh resistansi dan diameter kawat terhadap laju kenaikan suhu, tetapi juga memiliki implikasi praktis dalam pengembangan rompi berpemanas elektrik. Dengan mengetahui bahwa kawat dengan resistansi lebih rendah dan diameter lebih kecil dapat menghasilkan laju

pemanasan yang lebih cepat dan suhu permukaan yang lebih tinggi, produsen dapat merancang sistem pemanas yang lebih efisien dan responsif terhadap kebutuhan pemakai.

Dalam konteks industri, pemilihan kombinasi kawat yang optimal dapat meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal pengguna, khususnya untuk aplikasi di lingkungan dingin atau sebagai bagian dari sistem wearable teknologi. Selain itu, hasil ini dapat dimanfaatkan dalam pengembangan perangkat tekstil pintar (*smart textile*) untuk kebutuhan militer, medis, atau pekerja di luar ruangan. Dengan menyesuaikan karakteristik kawat berdasarkan kebutuhan fungsi dan kenyamanan, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam tahap desain awal hingga produksi massal rompi berpemanas elektrik yang aman, hemat energi, dan ergonomis.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah diketahui bahwa:

1. Telah diketahui pengaruh panjang kawat terhadap laju pemanasan pada rompi berpemanas elektrik. Rompi berpemanas elektrik ini menggunakan arus DC dan rangkaian seri yang dipasang pada sumber tegangan tetap (*power bank*), hasil pengamatan menunjukkan bahwa panjang kawat berpengaruh pada nilai resistansi dari sebuah kawat pemanas. Dengan diameter kawat yang sama, semakin panjang kawat maka semakin besar nilai resistansi kawat tersebut. Dari hasil observasi, semakin besar resistansi kawat maka semakin kecil laju pemanasan yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan hukum Ω , yaitu $P = \frac{V}{R}$.
2. Telah diketahui pengaruh diameter kawat rompi berpemanas elektrik terhadap laju pemanasan. Dari hasil observasi dengan nilai resistansi yang sama, didapatkan bahwa semakin kecil diameter kawat pemanas maka semakin besar panas persatuan luas yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan rumusan $\frac{P}{A} = \frac{I^2 R}{\pi^2 R d^3} = \frac{4 \rho I^2}{\pi^2 d^3}$. Ini karena luas permukaan kawat yang lebih kecil meningkatkan kerapatan arus, sehingga energi panas lebih cepat terkonsentrasi.
3. Telah diketahui analisis regresi dari pengaruh resistansi terhadap laju pemanasan, Analisis regresi linear menunjukkan bahwa sistem dengan kawat 0,2 mm dan resistansi 8 Ω memiliki laju pemanasan tercepat dengan slope tertinggi 1,0157, sedangkan sistem dengan kawat 0,3 mm dan resistansi 12 Ω memiliki laju pemanasan terendah dengan slope terendah 0,525. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin besar resistansi, semakin lambat laju pemanasan yang terjadi, dan pola ini konsisten pada kedua diameter kawat.
4. Telah diketahui analisis regresi dari pengaruh diameter kawat terhadap laju pemanasan, dari analisis regresi linear diperoleh koefisien slope untuk masing-masing kawat dengan diameter 0,2 mm dan 0,3 mm, baik dengan resistansi 8, 10, maupun 12 Ω . Semakin besar nilai slope, semakin cepat laju pemanasan. Pada resistansi 8 Ω , kawat 0,2 mm memiliki nilai slope tertinggi (1,0157), sedangkan kawat 0,3 mm memiliki nilai slope terendah (0,7773). Hal yang sama juga ditemukan pada resistansi 10 Ω dan 12 Ω , di mana semakin besar diameter kawat, semakin lambat laju pemanasan. Kesimpulannya, diameter kawat yang lebih kecil menghasilkan laju pemanasan yang lebih cepat pada sistem pemanas.
5. Dalam konteks industri, pemilihan kombinasi kawat yang optimal dapat meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal pengguna, khususnya untuk aplikasi di lingkungan dingin atau sebagai bagian dari sistem *wearable* teknologi. Selain itu, hasil ini dapat dimanfaatkan dalam pengembangan perangkat tekstil pintar (*smart textile*) untuk kebutuhan militer, medis, atau pekerja di luar ruangan. Dengan menyesuaikan karakteristik kawat berdasarkan kebutuhan fungsi dan kenyamanan, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam tahap desain awal hingga produksi massal rompi berpemanas elektrik yang aman, hemat energi, dan ergonomis.

Penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi terhadap validasi teoritis mengenai pengaruh resistansi dan diameter kawat terhadap laju kenaikan suhu, tetapi juga memiliki implikasi praktis dalam pengembangan rompi berpemanas elektrik. Meskipun demikian, masih

terdapat berbagai aspek yang dapat dieksplorasi dalam penelitian lanjutan, seperti variasi sumber tegangan, jenis bahan tekstil pelapis, tipe elemen pemanas alternatif, serta integrasi sistem otomatisasi listrik untuk meningkatkan kenyamanan, efisiensi, dan keamanan penggunaan rompi berpemanas elektrik.

Daftar Pustaka

- Arabuli, A., Arabuli, S., Kyzymchuk, O., & Melnyk, L. (2023). Electric heating clothing for motorcyclists. *Fibres and Textiles*, 30(2), 43–50. <https://doi.org/10.15240/tul/008/2023-2-005>
- Chen, W., Yang, S., Wang, H., Yang, K., & Wu, X. (2021). Flexible, stretchable, waterproof (IPX7) electro-thermal films based on graphite nanoplatelets & polyurethane nanocomposites for wearable heaters. *Chemical Engineering Journal*, 426, 133990. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133990>
- Fang, S., Wang, R., Ni, H., Liu, H., & Liu, L. (2022). A review of flexible electric heating element and electric heating garments. *Journal of Industrial Textiles*, 51(1_suppl), 101S-136S. <https://doi.org/10.1177/1528083720968278>
- Gao C, Kuklane K, Holmér I. (2010). Cooling vests with phase change material packs: the effects of temperature gradient, mass and covering area. *Ergonomics*, Vol.53, No.5, 716-723.
- Havenith, G. (2009). Laboratory assessment of cold weather clothing. In *Textiles for cold weather apparel* (pp. 217-243). Woodhead Publishing.
- Li, D., Wang, R., Liu, X., *et al.* (2020). Effect of dispersing media and temperature on inter-yarn frictional properties of Kevlar fabrics impregnated with shear thickening fluid. *Composite Structures*, 249, 112496. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112496>.
- Lim, J., Han, W., Thang, L. T. H., Lee, Y. W., & Shin, J. H. (2024). Customizable Nichrome Wire Heaters for Molecular Diagnostic Applications. *Biosensors*, 14(3), 152. <https://doi.org/10.3390/bios14030152>
- Mo, S., Mo, M. and Ho, K.-C. (2020), "Fabrication of electric heating garment with plasma-assisted metal coating (PAC) technology", *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol. 32 No. 3, pp. 297-306. <https://doi.org/10.1108/IJCST-04-2019-0050>.
- Nerys, W. (2023). Protecting Outdoor workers from Cold. *Occupational Medicine*, 73(4):230- 230. doi: 10.1093/occmed/kqad030.
- Ralph Lauren. (2020). *Innovation RL HEAT*. <https://corporate.ralphlauren.com/innovation>.
- Riabchykov, M., Alexandrov, O., Trishch, R., & *et al.* (2022). Prospects for the development of smart clothing with the use of textile materials with magnetic properties. *Tekstilec*, 65(1), 36–43. <https://doi.org/10.14502/tekstilec.65.2021050>
- Soamangon R, Budi A, Loniza E, Afifah N, Dewantoro F. (2024). PCI Relaxation Vest: Rompi Terapi untuk Pasien Post PCI. *Techné Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, Vol. 23, No. 1, 65 – 76.
- Tiankai, Li., Qi, Wang., Che, Ping, Cheng. (2022). Effect of aging on cardiovascular responses to cold stress in humans. *Frigid Zone Medicine*, 2(3):149-157. doi: 10.2478/fzm-2022-0022.
- Tiina, M., Ikäheimo., Kalev, Kuklane., Jouni, J., K., Jaakkola., Ingvar, Holmér. (2021). Cold Stress: Part V. Physical Agents. 1-29. doi: 10.1002/0471435139.HYG106.PUB2.
- Wang, B., Cheng, H., Zhu, J., Yuan, Y., & Wang, C. (2020). A flexible and stretchable polypyrrole/knitted cotton for electrothermal heater. *Organic Electronics*, 85, 105819. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2020.105819>.

- Xue, Kong., Haitao, Liu., Xiaole, He., Yang, Sun., Wei, Ge. (2020). Unraveling the Mystery of Cold Stress-Induced Myocardial Injury.. *Frontiers in Physiology*, 11:580811-. doi: 10.3389/FPHYS.2020.580811.
- Yoon, J. E., Chung, J., Lee, J., Jee, S. H., & Koo, S. H. (2024). Development and evaluation of cable-less heating mats utilizing low-power carbon nanotube planar heaters. *Textile Research Journal*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1177/00405175241286545>.

