

NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH MANIKIN TỎA NHIỆT MÔ PHỎNG CƠ THỂ NGƯỜI

RESEARCH OF THERMAL MANNEQUIN MODEL SIMULATING HUMAN BODY

Nguyễn Thị Như Lan^{1*}, Phạm Hồ Mai Anh²

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Mô hình ma-nơ-canh tỏa nhiệt được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu để đánh giá nhiệt độ và tương quan giữa cơ thể người với môi trường. Ma-nơ-canh tỏa nhiệt cũng được ứng dụng để đánh giá các đặc tính y sinh của quần áo như độ thoải mái, an toàn khi sử dụng. Trong nghiên cứu này tập trung xây dựng và phát triển mô hình ma-nơ-canh mô phỏng trạng thái tỏa nhiệt của cơ thể người ở 15 vị trí khác nhau.

Từ khóa: Manikin tỏa nhiệt; Mô phỏng cơ thể.

ABSTRACT

Thermal manikin systems have been applied widely in research to investigate temperature and relationship between human body and environment. Thermal manikin also used to evaluate biomedical properties of clothing and textiles such as comfortable, safe levels when wearing. This study focuses on build and develop manikin model simulating thermal body in 15 positions.

Keywords: Thermal manikin; Simulated human.

1. GIỚI THIỆU

Hệ thống ma-nơ-canh tỏa nhiệt hay hệ thống ma-nơ-canh mô phỏng nhiệt độ ra đời từ năm 1940, và trở thành một công cụ phục vụ nghiên cứu về quá trình chuyển đổi nhiệt độ từ cơ thể người ra môi trường [1]. Ma-nơ-canh tỏa nhiệt được ứng dụng rộng rãi trong các thí nghiệm mô phỏng người. Ví dụ: thí nghiệm mô phỏng người ngồi trong xe hơi nhằm thử nghiệm độ thoải mái của điều kiện nội thất xe [2]. Một nghiên cứu khác cũng ứng dụng ma-nơ-canh nhiệt để thử nghiệm quần áo chữa cháy

[3]. Tương tự, môi trường điều hòa không khí khác nhau (chẳng hạn như hệ thống sưởi sàn bằng bức xạ và hệ thống sưởi không khí đối lưu sử dụng mô phỏng số để đánh giá khả năng tiết kiệm năng lượng trong các tòa nhà dân cư cũng được dựng thực nghiệm bằng mô hình ma-nơ-canh tỏa nhiệt [4]. Ngoài ra, có các phép đo đã được thực hiện trên một mô hình nhiệt ngồi với nhiều tùy chọn khác nhau về thiết bị đầu cuối không khí, nhiệt độ môi trường và nguồn cung cấp không khí để nghiên cứu ảnh hưởng của quá trình thở đến nhận thức về môi trường nhiệt trong quá trình sử dụng hệ thống thông gió cá

nhân hóa [5]. Ma-nơ-canh tỏa nhiệt còn được ứng dụng trong các nghiên cứu về các tiện nghi về nhiệt (độ bền kéo, độ giãn dài, khả năng chịu nhiệt, độ thoát khí) khi dùng ma-nơ-canh thử nghiệm trên các vật liệu khác nhau [6].

Các mô hình ma-nơ-canh cũng được xây dựng và phát triển khá đa dạng. Vật liệu sử dụng trong các thiết kế ma-nơ-canh nhiệt cũng phong phú, từ vật liệu gỗ [7], nhựa [8], phổ biến nhất là vật liệu tổng hợp [9, 10].

Thiết kế của ma-nơ-canh cũng thay đổi liên tục tùy thuộc vào mục đích sử dụng. Thông dụng vẫn là các loại ma-nơ-canh mô phỏng nhiệt độ cơ thể người ở mức 34°C, mô phỏng trên toàn bộ vị trí cơ thể [11].

Trong nghiên cứu này, mục tiêu sẽ tập trung vào xây dựng và phát triển hệ thống ma-nơ-canh tỏa nhiệt, mô phỏng 15 vị trí tỏa nhiệt đặc trưng trên cơ thể người. Tuy nhiên, mỗi vị trí trên cơ thể nhiệt độ sẽ không đồng nhất hoàn toàn. Mô hình xây dựng mong muốn mô phỏng gần như giống hoàn toàn nhiệt độ từng vùng cơ thể.

2. PHƯƠNG PHÁP

2.1. Nguyên lý hoạt động của hệ thống

Trong hệ thống được thiết kế hai bộ điều khiển đóng vai trò là IoT Gateway (1 bộ) và các IoT Node (2 bộ). Các IoT Node làm nhiệm vụ thu thập dữ liệu từ các cảm biến nhiệt độ gửi đến IoT Gateway thông qua giao thức giao tiếp ESP-NOW. IoT Gateway làm nhiệm vụ tiếp nhận các dữ liệu từ các IoT Node, phân tích các dữ liệu và gửi dữ liệu lên máy tính.

IoT Gateway sẽ được kết nối với máy tính đã cài giao diện hiển thị trên màn hình. Giao diện sẽ hiển thị 15 điểm đo trên mô hình, bao gồm phần cài đặt nhiệt độ và phần hiển thị

nhiệt độ.

Đối với các IoT Node, mỗi IoT Node sẽ quản lý và điều khiển 8 cảm biến nhiệt độ và 8 bộ gia nhiệt. IoT Node sẽ nhận lệnh cài đặt nhiệt độ và tự điều khiển nhiệt độ cho từng bộ gia nhiệt. Trong hệ thống này có 2 IoT Node quản lý 15 điểm đo trên mô hình thí nghiệm.

2.2. Sơ đồ khối mạch điều khiển

Thiết kế mạch điều khiển bao gồm các chức năng như: đóng/cắt relay điều khiển tải, thu thập dữ liệu từ cảm biến đưa lên giao diện người dùng thông qua giao thức MQTT. Các mạch này đóng vai trò là Gateway và các Node trong hệ thống, nên vì vậy Gateway và Node sẽ sử dụng chung một phần cứng với nhau.



Hình 1. Sơ đồ khối mạch điều khiển

Khối nguồn sẽ cung cấp điện áp ổn định cho các khối vi điều khiển (ESP8266), khối cảm biến, khối hiển thị, khối nút nhấn, khối động lực. Khối này sẽ bao gồm các bộ phận như: Module nguồn AC – DC Hilink HLK – PM01 5VDC 3W, Module nguồn cách ly DC – DC B0505S 1W và IC ổn áp AMS1117 3.3V.

Khối nút nhấn sẽ đưa tín hiệu vào khối vi điều khiển (ESP8266) để cấp tín hiệu điều khiển khối động lực.

Khối cảm biến sẽ thu thập giá trị từ các cảm biến như: cảm biến nhiệt độ, độ ẩm DHT11,...

Khối động lực sẽ nhận tín hiệu từ khối vi điều khiển (ESP8266) để điều khiển bật/tắt các relay. Khối này sẽ bao gồm các linh kiện như trở, BJT, Opto quang, led, relay.

Ngoài ra, Gateway còn có khối hiển thị sẽ hiển thị các thông tin như: trạng thái kết nối Wifi, trạng thái Relay, giá trị thu thập từ cảm biến, trạng thái kết nối của các Node.

2.3. Thiết kế của mạch điều khiển

Mạch được thiết kế bao gồm các linh kiện như: Module vi điều khiển ESP8266 (ESP-07), Module nguồn AC – DC Hilink HLK – PM01 5VDC 3W, Module nguồn cách ly DC – DC B0505S 1W, IC ổn áp AMS1117 3.3V, Opto quang PC817, BJT NPN C1815, relay 5V, diode, điện trở, tụ và led.

2.3.1. Chọn linh kiện và giải thích khối nguồn



Hình 2. Sơ đồ nguyên lý khối nguồn

Ta có công suất tổng của toàn mạch là:

$P = P_{MCU} + P_{RELAY}$, vì các phần khác có công suất rất nhỏ, không đáng kể nên không cần tính toán.

- Ta có công suất của relay SRD-05VDC-SL-C theo datasheet của nhà sản xuất là 0,36W, mà mạch sử dụng 2 relay nên ta có tổng công suất của relay là: $P_{RELAY} = 0,36 * 2 = 0,72 \text{ W}$

- Ta có điện áp cấp vào Module vi điều khiển ESP8266 (ESP-07) là 3,3V và dòng điện khi hoạt động tối đa là 170mA.

$$P_{MCU} = 3,3 * 0,17 = 0,561 \text{ W}$$

Suy ra, tổng công suất của mạch là:

$$P = P_{MCU} + P_{RELAY} = 0,561 + 0,72 = 1,281 \text{ W}$$

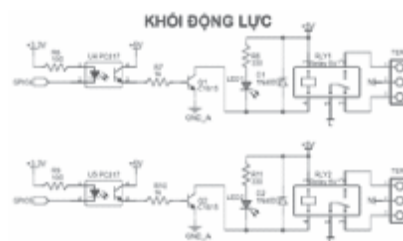
Vì vậy, lựa chọn Module nguồn AC – DC Hilink HLK – PM01 5VDC có công suất 3W làm nguồn chính đầu vào là hợp lý, đáp ứng được yêu cầu cung cấp nguồn điện ổn định cho mạch.

Module nguồn cách ly DC – DC B0505S 1W có nhiệm vụ cách ly nguồn điện giữa vi điều khiển ESP8266 (ESP-07) với relay, nhằm để chống nhiễu vi điều khiển. Module này có thể cung cấp nguồn điện có công suất tối đa 1W, mà theo tính toán bên trên thì vi điều khiển ESP8266 (ESP-07) chỉ sử dụng công suất tối đa là 0,561W, nên Module nguồn này đáp ứng được yêu cầu thiết kế về nguồn điện cho vi điều khiển.

IC ổn áp AMS1117 3,3V có nhiệm vụ hạ mức điện áp từ Module nguồn cách ly DC – DC B0505S 1W cấp vào xuống 3,3V, để cung cấp nguồn điện ổn định cho vi điều khiển ESP8266 (ESP-07).

Các tụ $C1 = 220 \text{ uF}$, $C2 = 10 \text{ uF}$, $C3 = 22 \text{ uF}$ và $C4 = 100 \text{ nF}$ có giá trị được lựa chọn theo đề xuất của nhà sản xuất, các tụ này có tác dụng lọc nhiễu và làm phẳng nguồn điện cấp vào mạch.

2.3.2. Chọn linh kiện và giải thích khối động lực (Relay)



Hình 3. Khối động lực (relay)

Khởi động lực (Relay) được thiết kế bao gồm các linh kiện như: Opto quang PC817, BJT NPN C1815, Relay 5V, điện trở, led và diode.

+ Các điện trở R6 và R9 sẽ được tính toán để BJT bên trong Opto dẫn bão hòa thì dòng đầu vào $I_F = 20\text{mA}$ và điện áp đầu vào là $V_F = 1,2\text{V}$. Suy ra:

$$R_6 = R_9 = \frac{3,3 - 1,2}{0,02} = 105 \Omega$$

• Chọn điện trở có giá trị chuẩn là:

$$R_6 = R_9 = 100 \Omega.$$

+ Vì mạch thiết kế chỉ cần đóng/cắt relay nên BJT NPN C1815 sẽ hoạt động ở chế độ bão hòa. Vì vậy, ta chọn điện trở RB của BJT là: $R_7 = R_{10} = 1 \text{ k}\Omega$.

+ Chứng minh BJT NPN C1815 hoạt động ở chế độ bão hòa: Dựa vào Hình 3.17 thì BJT NPN C1815 được sử dụng trong đề tài có mã là GR331, nên sẽ có hệ số khuếch đại dòng điện h_{FE} là từ 200 đến 400, $V_{CE(sat)}$ từ 0,1V đến 0,25V, $V_{BE(sat)}$ tối đa 1V. Còn điện trở cuộn dây của relay 5V là 70Ω nên suy ra $R_C = 70 \Omega$.

• Giả sử BJT hoạt động ở chế độ bão hòa nên:

$$V_{CE} = V_{CE(sat)} = 0,1\text{V} \quad I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 1}{1000} = 4\text{mA}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C} = \frac{5 - 0,1}{70} = 70\text{mA}$$

• Kiểm tra lại:

$$I_{C(KD)} = h_{FE} * I_B = 200 * 4\text{mA} = 800\text{mA}$$

• Ta có $I_{C(KD)} > I_{C(BH)} = 70\text{mA}$, nên suy ra với $R_B = 1 \text{ k}\Omega$ thì BJT sẽ hoạt động ở chế độ bão hòa.

+ Tính toán điện trở cho R8 cho Led1 và R11 cho Led2.

• Led1 và Led2 là loại led đỏ 3mm nên có mức điện áp là 2V và dòng điện là 10mA, nên ta có thể tính toán điện trở cho led là:

$$R_8 = R_{11} = \frac{5 - 2}{0,01} = 300\Omega$$

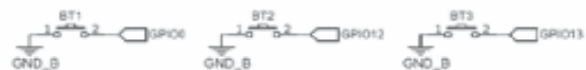
• Chọn điện trở có giá trị chuẩn là:

$$R_8 = R_{11} = 330 \Omega$$

+ Diode D1 và D2 có tác dụng bảo vệ cho BJT Q1 và Q2, vì khi có dòng điện chạy qua cuộn dây của relay thì cuộn dây sẽ có khả năng tích trữ năng lượng. Năng lượng này có khả năng sinh ra dòng điện cảm ứng khi không có dòng điện nào chạy qua cuộn dây làm đánh thủng BJT, vì vậy D1 và D2 sẽ phân cực thuận dẫn dòng điện cảm ứng về dương nguồn để bảo vệ cho BJT.

2.3.3. Khởi nút nhấn

KHOẢNG NÚT NHẤN



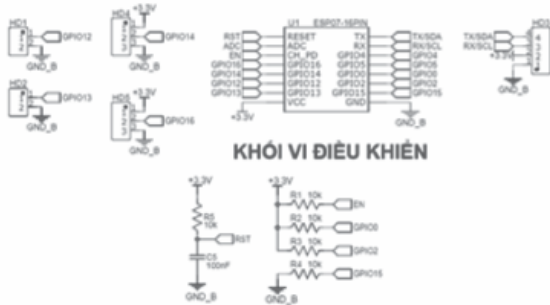
Hình 4. Khởi động lực (relay)

Nút nhấn BT1 được nối GPIO 0 có tác dụng config Wifi và vào chế độ BOOT để nạp code cho Module vi điều khiển ESP8266.

Nút nhấn BT2 và BT3 là các nút nhấn cấp tín hiệu điều khiển đóng/cắt các Relay 1 và

Relay 2 cho Module vi điều khiển ESP8266.

2.3.4. Khối vi điều khiển



Hình 5. Khối vi điều khiển ESP8266

Khối này được thiết kế kết nối giữa Module vi điều khiển ESP8266 (ESP-07) với các Opto quang và các header.

+ Các chân GPIO 4 và 5 được nối với chân cathode của Opto quang PC817, dùng để cấp tín hiệu mức 0 để dòng điện chạy qua làm sáng bóng led bên trong Opto quang kích mở BJT bên trong Opto quang từ đó kích mở BJT C1815 để đóng/cắt relay.

+ Các chân GPIO 12 và 13 được kết nối với header, tác dụng của header này là nối thêm nút nhấn bên ngoài, nút nhấn này cùng chức năng với các nút nhấn BT1 và BT2 đều là các nút nhấn điều khiển relay.

+ Các chân GPIO 14 và 16 được kết nối với header, tác dụng của header này là để kết nối và đọc dữ liệu của các cảm biến có giao thức giao tiếp là Onewire hoặc là digital.

+ Hai chân TX và RX được nối với header, mục đích dùng để nạp code cho vi điều khiển, 2 chân này cũng có thể cấu hình làm hai chân SDA và SCL dùng để giao tiếp I2C với màn hình Oled hoặc các cảm biến sử dụng giao thức giao tiếp I2C.

+ Chân GPIO 0 được kết nối với nút nhấn dùng để cấu hình Wifi hoặc để vào chế độ BOOT nạp code cho vi điều khiển.

+ Chân GPIO 2 sẽ được kết nối với một bóng led báo trạng thái kết nối giữa các Node hoặc kết nối Wifi của Gateway.

+ Hai chân ADC và GPIO 15 sẽ không được sử dụng.

+ Các điện trở R1, R2, R3 và R5 là các điện trở Pull-Up, điện trở R4 là điện trở Pull-Down. Các điện trở này có tác dụng xác định mức logic cho các chân GPIO và các chân chức năng, vì nếu không có các điện trở này thì các chân GPIO và các chân chức năng của vi điều khiển sẽ ở trạng thái floating, tức là mức tín hiệu trên các chân này sẽ ở trạng thái không xác định, phụ thuộc vào bên ngoài nên vi điều khiển sẽ khởi động không thành công.

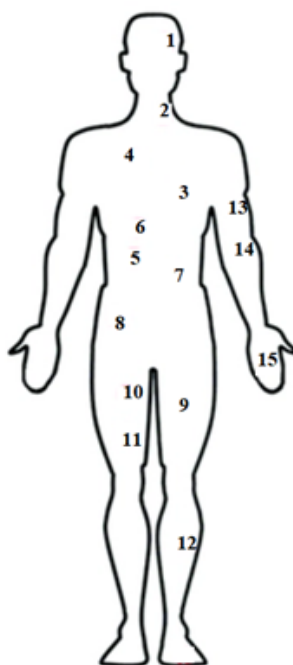
Tụ C5 có tác dụng khởi động mềm cho vi điều khiển. Khi nguồn được cấp vào vi điều khiển thì tụ sẽ được nạp, có dòng điện chạy qua tụ kéo chân Reset xuống mức thấp làm Reset vi điều khiển, tụ này mục đích nhằm để đợi nguồn điện ổn định rồi mới khởi động vi điều khiển.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Cơ thể người có nhiệt độ trung bình là 98,6°F hay 37°C. Tuy nhiên, nhiệt độ này không như nhau tại các vị trí trên cơ thể. Tùy thuộc vào vị trí đo nhiệt độ, điều kiện nhiệt độ phòng mà ta thống kê được 16 điểm nhiệt đặc trưng cho cơ thể được mô tả theo các vị trí trong Hình 6 [12]. Nhiệt độ cơ thể thực tế là không như nhau tại mọi vị trí và có xu hướng giảm dần theo chiều từ trên xuống. Cụ thể, đầu nhiệt độ sẽ cao nhất, và bàn chân nhiệt độ sẽ thấp nhất. Các vị trí trung gian từ cổ, ngực, bụng, 

hông, bắp đùi, bắp chân... nhiệt độ sẽ có xu hướng giảm dần từ trên xuống dưới.

Trong nghiên cứu này tập trung khảo sát nhiệt độ tại các vị trí có sử dụng trang phục quần áo, mũ (nón). Do đó, vị trí bàn chân sẽ được bỏ qua. Ngoài ra, vì mục đích cần thiết kế lỗ thông để thoát nhiệt tổng thể tại vị trí bắp chân dưới và bàn chân, vì vậy nghiên cứu sẽ tập trung mô phỏng tổng 15 vị trí tỏa nhiệt, bỏ qua vị trí bàn chân.



Hình 6. 15 vị trí nhiệt đặc trưng của cơ thể

Mô hình ma-nơ-canh hoàn chỉnh được thiết kế với 15 điểm tỏa nhiệt. Vị trí điểm tỏa nhiệt số 1 nằm tại vị trí đầu trên trán trái. Vị trí tỏa nhiệt số 2 nằm trên cổ. Vị trí tỏa nhiệt số 3 nằm giữa ngực trái. Vị trí tỏa nhiệt số 4 nằm trên ngực phải. Vị trí tỏa nhiệt số 5 nằm ở sườn phải. Vị trí tỏa nhiệt số 6 nằm dưới ngực phải. Vị trí tỏa nhiệt số 7 nằm trên bụng trái (trên rốn). Vị trí tỏa nhiệt số 8 nằm dưới bụng phải (dưới rốn). Vị trí tỏa nhiệt số 9 nằm trên đùi trái. Vị trí tỏa nhiệt số 10 và 11 nằm trên

đùi phải. Vị trí tỏa nhiệt số 12 nằm trên bắp chân trái. Vị trí tỏa nhiệt số 13 nằm trên cánh tay trái. Vị trí tỏa nhiệt số 14 nằm tại khớp gấp tay trái. Vị trí tỏa nhiệt số 15 nằm tại lòng bàn tay trái. Các vị trí này được mô tả trong Hình 7. Tất cả các vị trí tỏa nhiệt này được khảo sát ở phần mặt trước của ma-nơ-canh. Mặt sau của ma-nơ-canh tập trung lắp đặt các bộ phận thoát nhiệt và cơ cấu tiếp nguồn điện cho hệ thống.



Hình 7. Mô hình manikin tỏa nhiệt mặt trước và mặt sau

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng và phát triển được mô hình ma-nơ-canh tỏa nhiệt. Hệ thống mô phỏng 15 vị trí tỏa nhiệt khác nhau trên cơ thể. Từng vị trí này được quy định nhiệt độ và cài đặt thông số cụ thể cho từng vị trí khác nhau. Các cảm biến nhiệt độ sẽ thu thập nhiệt độ và truyền về hệ thống, nhiệt độ sẽ đạt đến mức yêu cầu và hệ thống sẽ tự ngắt cung cấp nhiệt và làm nguội. Trong quá trình này, chúng ta có thể thu thập thông số về nhiệt độ và thời gian biến đổi nhiệt. Hệ thống ma-nơ-canh làm

ra có ứng dụng rất hữu ích cho tất cả các nghiên cứu mô phỏng nhiệt độ cơ thể người. Đặc biệt là các nghiên cứu về mối liên hệ giữa trang phục và quần áo (chất liệu, kiểu dáng, kích cỡ...). Kết quả của nghiên cứu này sẽ là tiền đề cho các nghiên cứu rộng hơn trong tương lai có liên quan đến sử dụng mô hình ma-nơ-canh tỏa nhiệt, mô phỏng nhiệt độ cơ thể người theo từng vị trí cụ thể.

Lời cảm ơn:

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc Gia TP.Hồ Chí Minh và Trường Đại học Công Thương đã hỗ trợ thời gian và phương tiện vật chất cho nghiên cứu này. Nghiên cứu này do Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh bảo trợ và cấp kinh phí theo Hợp đồng số 31/HĐ-DCT ngày 01 tháng 3 năm 2022. ❖

Ngày nhận bài: **23/11/2023**

Ngày phản biện: **14/12/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Yu, Y., Liu, J., Chauhan, K., de Dear, R., & Niu, J. "Experimental study on convective heat transfer coefficients for the human body exposed to turbulent wind conditions". *Building and Environment*, 169, 106533 (2020).
- [2]. R. Riedy and M. McQuerry, "Thermal comfort analysis of auto-racing suits using a dynamic thermal manikin". *Journal of Industrial Textiles*, vol. 53, p. 15280837221150649, (2023).
- M. McQuerry, R. Barker, and E. DenHartog, "Functional design and evaluation of structural firefighter turnout suits for improved thermal comfort: Thermal manikin and physiological modeling". *Clothing and Textiles Research Journal*, vol. 36, no. 3, pp. 165-179, (2018).
- [3]. S. Lee, M. Nogami, S. Yamaguchi, T. Kurabuchi, and N. Ohira, "Evaluation of heat transfer coefficients in various air-conditioning modes by using thermal manikin". In 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, August, pp. 26-28, (2013).
- [4]. A. Bogdan, B. Koelblen, and M. Chludzińska, "Influence of a breathing process on the perception of the thermal environment using personalised ventilation". *Building and Environment*, vol. 96, pp. 80-90, (2016).
- [5]. Ö. K. Necef, D. T. Birkocak, A. Kılıç, S. Boz, M. J. Abreu, and Z. Öndoğan, "Investigating the Effect of Recycled Cotton Included Fabrics on the Thermal Behaviour by Using a Female Thermal Manikin". *Autex Research Journal*, (2022).
- [6]. F. Fung, C. Gao, L. Hes, and V. Bajzik, "Water vapor resistance measured on sweating thermal manikin and Permetest skin model in the vertical orientation". *Communications in Development and Assembling of Textile Products*, vol. 1, no. 1, pp. 65-73, (2020).
- [7]. C.-G. Ren and C.-J. Zhang, "Investigation on Performance of Three Personal Cooling Systems in mitigating heat strain by means of thermal manikin". *Thermal Science*, vol. 21, no. 4, pp. 1789-1795, (2017).
- [8]. K. Miura, K. Takagi, and K. Ikematsu, "Evaluation of two cooling devices for construction workers by a thermal manikin". *Fashion and Textiles*, vol. 4, no. 1, pp. 1-12, (2017).
- [9]. T. Fukazawa and Y. Tochihara, "The thermal manikin; a useful and effective device for evaluating human thermal environments". *Journal of the Human-Environment System*, vol. 18, no. 1, pp. 021-028, (2015).
- [10]. L. Huda and W. Sentosa, "Analysis Skin Temperature Distribution of Thermal Manikin". In *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1542, no. 1: IOP Publishing, p. 012065 (2020).
- [11]. S. Francisco, N. Amin, V. Daryoosh, Ö. Mehmet C, "Designing thermoelectric generators for self-powered wearable electronics". *Energy & Environmental Science*, vol.9, no. 6, pp. 2099-2113, (2016).

