

SMR (Smart Medical Room) Berbasis IoT (Internet of Things) Pengendali Multi-variabel Suhu dan Kelembaban Udara Secara Manual dan Otomatis Ruang Medis

Kasto Wijoyo Teguh Guntoro¹

¹ Kasto Wijoyo Teguh Guntoro, Laboratorium Ergonomika Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta, 55284, kastowijoyoteguhguntoro@ugm.ac.id

Submisi: 18 Januari 2023; Penerimaan: 15 Maret 2023

ABSTRAK

Kualitas suhu dan kelembaban udara di lingkungan rumah sakit perlu adanya adaptasi teknologi yang mendukung kualitas udara ruangan. IoT (Internet of Things) dapat digunakan untuk memantau dan mengendalikan kualitas udara ruangan medis secara manual atau otomatis. IoT yang digunakan menggunakan protokol MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Sistem cerdas pengendali otomatis tersebut menggunakan FLC (Fuzzy Logic Control), FAC (Fuzzy Adaptive Control), dan Kontrol MIMO (Multi Input Multi Output) yang terintegrasi menjadi satu. SMR (Smart Medical Room) adalah sistem kendali cerdas berbasis IoT untuk mengendalikan suhu dan kelembaban udara ruang medis. Sistem kendali otomatis tersebut membantu operator dalam memantau suhu dan kelembaban udara agar sesuai standar baku mutu kualitas udara ruang medis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemantauan dan pengendalian ruangan dapat dilakukan dengan menggunakan operator atau otomatis. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban udara rata-rata ruang ICU adalah 23,39 °C dan 54,72%. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban udara rata-rata ruang UGD adalah 21,87 °C dan 49,76%. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban udara rata-rata ruang operasi adalah 24,16 °C dan 52,7%. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban udara rata-rata ruang bersalin adalah 24,52 °C dan 57,13%. Hasil pengendalian suhu dan kelembaban udara secara otomatis menunjukkan hasil sesuai standar baku mutu suhu dan kelembaban ruang medis. Tujuan penelitian ini yaitu membuat sistem kendali manual dan otomatis menggunakan kecerdasan buatan dengan sistem kendali multi-variabel pada ruang medis berbasis IoT sehingga mendapatkan kelembaban dan suhu udara sesuai standar baku mutu.

Kata kunci: IoT; Kualitas udara; Sistem cerdas; Ruang medis; Fuzzy.

PENDAHULUAN

Kualitas udara dalam ruangan dapat berpengaruh terhadap kesehatan manusia (Jayanti dkk, 2016). Terdapat pengaruh antara suhu dan kelembaban udara terhadap angka kuman udara di rumah sakit (Mayasari dkk, 2020). Oleh karena itu, udara masing-masing ruang medis perlu diatur suhu dan kelembabannya sesuai dengan jenis ruangnya. Adapun ruang medis yang paling sering dijumpai adalah ruang ICU, ruang operasi, ruang UGD, dan ruang

bersalin. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 standar baku mutu kelembaban udara untuk seluruh jenis ruang adalah 40% - 60%, suhu udara ruang ICU adalah 22-23 °C, suhu udara ruang operasi adalah 22-27 °C, suhu udara ruang UGD adalah 20-24 °C, dan suhu udara ruang bersalin adalah 24-26 °C. Suhu dan kelembaban udara ruang medis tersebut dapat diatur menggunakan AC (Air Conditioner). Pada umumnya AC dikendalikan menggunakan sistem kendali komunikasi

serial inframerah (Wu dkk, 2014). Sistem komunikasi serial inframerah hanya bisa dilakukan jarak dekat sehingga pengendalian AC hanya bisa dilakukan di dalam ruangan. Pengendalian AC di dalam ruangan tentu menyulitkan operator untuk mendapatkan suhu dan kelembaban udara sesuai standar baku mutu ruang medis apabila banyak ruang medis yang dikendalikan oleh operator.

Pengendalian jarak dekat AC dapat dikombinasikan menggunakan teknologi IoT agar sistem pemantauan dan pengendalian dapat dilakukan jarak jauh. IoT yang sering digunakan adalah menggunakan MQTT dengan prinsip sistem *publish* dan *subscribe* (Hunkeler dkk, 2008). Sistem IoT dapat digunakan seorang dokter untuk mengontrol semua ruang operasi dan memantau suhu dan kelembaban mereka untuk mempersiapkan operasi (Krichen dkk, 2021). Penggunaan IoT pada ruang medis mempermudah pekerjaan operator karena saat pemantauan dan pengendalian suhu dan kelembaban udara dilakukan di ruang kontrol atau dilakukan dimana saja selama ada internet. Pengendalian AC jarak jauh secara manual akan sulit untuk mendapatkan suhu dan kelembaban udara sesuai standar baku mutu. Solusi permasalahan tersebut yaitu dengan menggunakan sistem otomasi kecerdasan buatan yang mampu melakukan pemantauan dan pengendalian secara otomatis sesuai dengan standar baku mutu yang diharapkan.

Kecerdasan buatan digunakan untuk menggantikan peran manusia (Nasution, 2012). Proses pengambilan keputusan sistem cerdas berdasarkan data-data yang ada untuk mengendalikan AC. Penelitian AI (*Artificial Intelligence*) untuk mengendalikan kenyamanan gedung pernah dilakukan Kolokotsa pada tahun

2007. Penggunaan sistem inferensi fuzzy mampu membuat keputusan seperti logika manusia. Sistem pengendalian ini menggunakan prinsip MIMO sehingga tidak memungkinkan menggunakan sistem kendali biasa. Menurut Qi dan Deng pada tahun 2008, pengendalian menggunakan MIMO secara bersamaan mengontrol suhu dan kelembaban udara dalam ruangan bisa dilakukan dengan sistem AC. Menurut Merazka dkk pada tahun 2017, kontrol umpan balik keluaran baru untuk sistem non-linier tidak pasti multi-variabel menggunakan adaptif sistem fuzzy dapat digunakan untuk memperkirakan turunan kesalahan. Penelitian ini terdapat banyak parameter sensor dan parameter *output* untuk mengendalikan AC seperti mode, suhu, dan kelembaban.

Tujuan penelitian ini yaitu membuat sistem kendali manual dan otomatis menggunakan kecerdasan buatan dengan sistem kendali multi-variabel pada ruang medis berbasis IoT sehingga mendapatkan kelembaban dan suhu udara sesuai standar baku mutu yang ada.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Ergonomika. Ruang Terkondisi digunakan sebagai tempat eksperimen dan pemasangan peralatan penelitian ini secara permanen. Dimensi ruangan ini adalah 3,7 x 2,6 x 3 Meter. Alat dan bahan penelitian yaitu: ESP 32, ESP 8266, sensor DHT22, LED IR (Infrared), mobile device OPPO A53, software arduino IDE 1.8.19, aplikasi IoTMQTTPanel, software Visual Studio 2019, AC Daikin R32 model FTXZ25NVM4, desktop, TR (Thermo Recorder RS-14), dan software MATLAB. Metode penelitian ini dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Perancangan sistem monitoring dan kendali manual.

2. Perancangan sistem kendali otomatis.

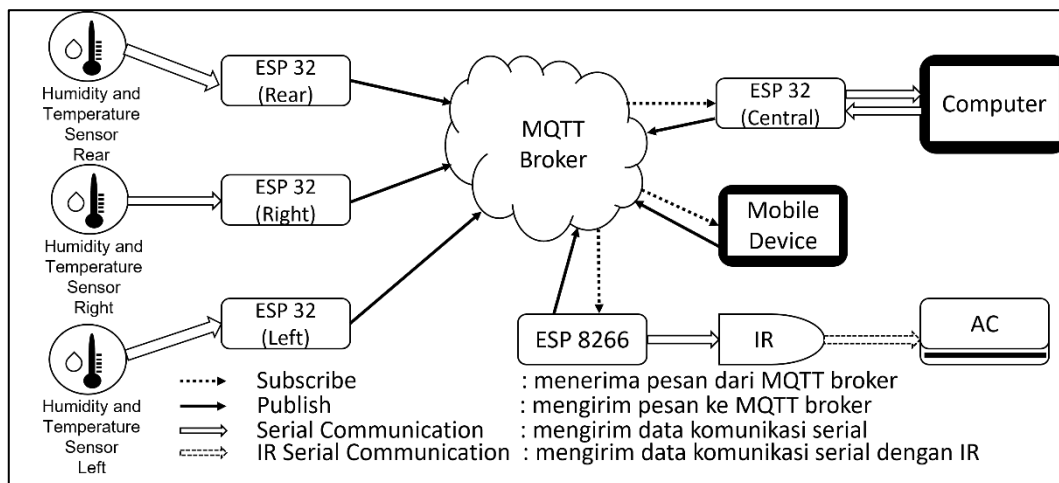
Perancangan Sistem Monitoring dan Kendali Manual SMR IoT

Perancangan sistem monitoring IoT dilakukan berberapa tahap diantaranya:

1. Pembuatan desain jaringan komunikasi sistem IoT. Gambar 1 menunjukkan jaringan komunikasi sistem IoT pada penelitian ini. Sistem IoT yang digunakan menggunakan protokol MQTT. Interface ESP 32 dengan komputer menggunakan komunikasi serial. Interface antara ESP 8266 dengan AC menggunakan komunikasi IR serial.
2. Pembuatan program IR serial pada ESP 8266. Program dibuat menggunakan software arduino IDE 1.8.19. Protokol komunikasi IR serial dapat diketahui dengan membuat software dan hardware IR serial receiver terlebih dahulu. Remot AC yang digunakan kemudian ditekan tombolnya secara acak kemudian data akan direkam teridentifikasi protokolnya. Protokol IR serial

yang digunakan pada AC penelitian ini adalah menggunakan protokol IR serial daikin 2. Protokol tersebut kemudian diprogramkan di ESP 32 dan disinkronkan dengan sistem IoT

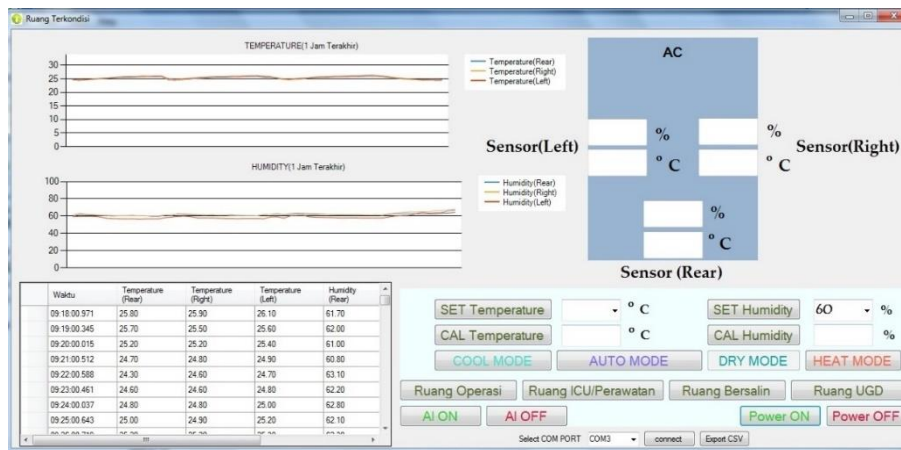
3. Pembuatan program sensor DHT22 pada ESP 32. Pembuatan program dilakukan dengan menambah library DHT22 kemudian disinkronkan dengan sistem IoT. Karakteristik dari sensor jenis ini mempunyai waktu respon yang relatif lama dan fluktuatif sehingga membutuhkan kalibrasi dengan jangka waktu tertentu. Variabel kalibrasi disimpan di EEPROM agar data tidak hilang saat perangkat kondisi mati.
4. Desain aplikasi IoT pada mobile device. Desain IoT mobile device menggunakan aplikasi IoTMQTTPanel. Adapun panel diperlukan dalam penelitian ini yaitu panel pemantauan suhu dan kelembaban udara, pengaturan kendali manual dan otomatis pada AC, dan panel kalibrasi seperti ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 1. Jaringan Komunikasi Sistem IoT



Gambar 2. Desain Aplikasi SMR IoT pada Mobile Device



Gambar 3. Aplikasi SMR berbasis IoT

5. Pembuatan program IoT pada ESP 32 (*Central*). ESP ini diprogram agar bisa menjadi perantara data dari MQTT broker dan komputer.
6. Desain aplikasi monitoring dan kendali pada komputer. Aplikasi ini dibuat menggunakan *software Visual Studio 2019*. Desain aplikasi SMR IoT dapat dilihat pada Gambar 3. Grafik pada display menampilkan data selama satu jam. Simbol AC pada display menampilkan kondisi suhu dan kelembaban udara secara langsung. Tabel pada display menampilkan data selama pemantauan. Tombol *set*

temperature berfungsi untuk mengatur suhu AC. Tombol *set humidity* berfungsi untuk mengatur kelembaban AC. Tombol *cal temperature* berfungsi untuk kalibrasi suhu sensor. Tombol *cal humidity* berfungsi untuk mengatur kelembaban sensor. Tombol *cool mode*, *auto mode*, *dry mode*, dan *heat mode* berfungsi untuk mengatur mode AC. Tombol ruang operasi, ruang ICU, ruang bersalin, dan ruang UGD berfungsi untuk mengatur mode ruang. Tombol *AI on* dan *off* berfungsi untuk mengaktifkan atau mematikan mode cerdas. Tombol *set com port* berfungsi untuk

memilih port ESP 32 yang aktif. Tombol *connect* berfungsi untuk menghubungkan aplikasi dengan ESP 32.

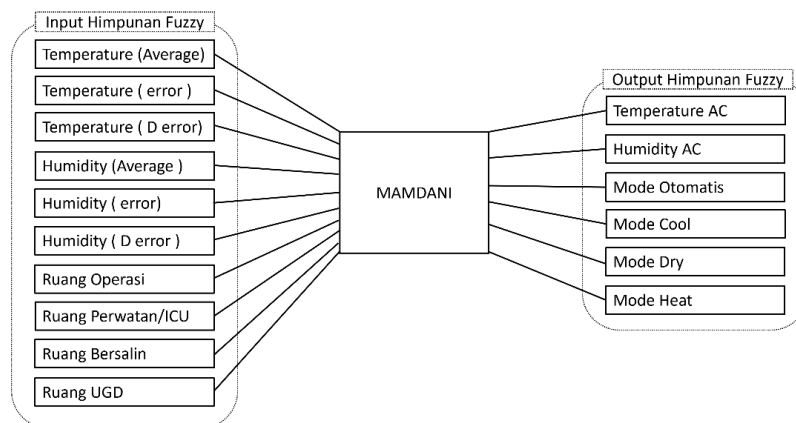
- Pengujian hasil pengukuran dilakukan dengan membandingkan dengan hasil pengukuran alat ukur standar TR. Penelitian ini mengambil data karakteristik kelembaban dan suhu udara pada AC. Variasi pengendalian kelembaban AC yang dijadikan sebagai referensi data adalah kelembaban 50%, 55%, dan 60%. Variasi pengendalian suhu AC sebagai referensi data adalah suhu 18–26 °C. Pengambilan data dilakukan menggunakan aplikasi SMR IoT.

Fitur yang ada pada aplikasi ini yaitu pemantauan suhu dan kelembaban udara di tiga titik yang berbeda menggunakan komputer dan *mobile device*. Sistem pengendalian manual AC jarak jauh dapat dilakukan menggunakan aplikasi SMR IoT. Pengendalian manual yang dapat dilakukan dari aplikasi ini adalah pengendalian suhu, kelembaban dan mode AC. Aplikasi ini juga dapat melakukan kalibrasi sensor DHT22. Aplikasi SMR IoT komputer dapat dijadikan sebagai perekam data suhu dan kelembaban udara yang dibaca sensor.

Perancangan Sistem Kendali Otomatis SMR IoT

Pada penelitian ini ada 4 pilihan ruangan yang akan dikendalikan secara otomatis yaitu ruang operasi, ruang ICU, ruang bersalin dan ruang UGD. Sistem kendali otomatis ini menggunakan FIS (*Fuzzy Inference System*) metode Mamdani terintegrasi. Proses penerapan FIS pada IoT dilakukan beberapa tahap yaitu:

- Desain FIS ditunjukkan pada Gambar 4. Desain FIS menggunakan 10 himpunan fuzzy sebagai *input* dan 6 himpunan fuzzy sebagai *output*. Bagian *input* himpunan fuzzy terdiri dari mode ruang yang dipilih, suhu dan kelembaban udara dengan parameter rata-rata, *error*, dan *delta error*. Mamdani adalah metode yang digunakan untuk mengolah data FIS. Bagian *output* terdiri dari pengaturan suhu, kelembaban, dan mode AC.
- Membuat fungsi keanggotaan fuzzy *input*. Cara pembuatan fungsi keanggotaannya adalah dengan membuat derajat keanggotaan pada setiap variabel *input* dengan beberapa fungsi keanggotaan sesuai dengan hasil pengujian karakteristik AC.



Gambar 4. Desain FIS

3. Membuat fungsi keanggotaan fuzzy *output*. Cara pembuatan fungsi keanggotaannya adalah dengan membuat derajat keanggotaan pada setiap variabel *output* dengan beberapa fungsi keanggotaan sesuai dengan hasil pengujian karakteristik AC.
4. Membuat *rule* pada FIS. Cara pembuatan *rule* adalah dengan memilih fungsi keanggotaan masing-masing variabel kemudian memilih operator yang digunakan sebagai logika dan memilih fungsi keanggotaan pada *output*. Jumlah *rule* menyesuaikan dengan kebutuhan dan juga hasil dari percobaan.
5. Simulasi *rule* FIS di MATLAB. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui hasil dari *rule* dan himpunan fuzzy yang digunakan sudah tepat, kalau belum sesuai harapan maka merubah *rule* dan himpunan fuzzy sampai hasilnya sesuai harapan.
6. Pembuatan program FIS di ESP 32 (central) beserta sinkronisasi dengan IoT dan komputer. Program IoT yang sudah ada di device tersebut ditambahkan program FIS menggunakan *software* arduino IDE.
7. Pengujian hasil kontrol ruang medis ada 4 pilihan ruangan dengan gangguan *Air Purifier*. Pengujian dilakukan dengan merekam data menggunakan aplikasi SMR IoT yang telah dibuat dan membuat pola sebaran suhu dan kelembaban udara menggunakan metode *kriging* dengan menggunakan *software* Surfer. Pengambilan sampel sebaran ada 5 yaitu *front*, *central*, *rear*, *right*, dan *left*. Waktu pengambilan sampel selama 100

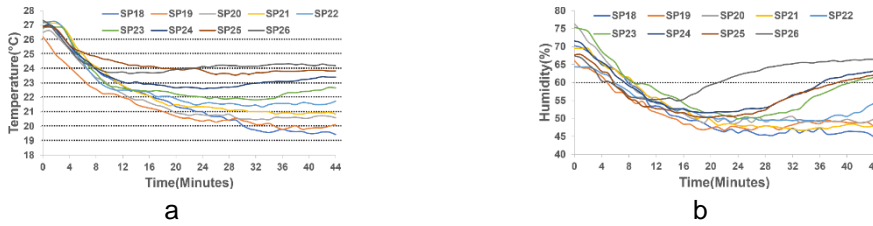
menit. Sampel diambil dari suhu ruangan sampai ke SP (*Set Point*).

Sistem kerja sistem kendali otomatis SMR IoT adalah FIS membaca tiga titik sensor kelembaban dan suhu udara yang di rata-rata. FIS membaca *error* suhu dan kelembaban udara. FIS juga membaca *delta error* kelembaban dan suhu udara. FIS membaca mode ruang mana yang aktif seperti: ruang operasi, IC, UGD, dan bersalin. Semua parameter masukan tersebut kemudian FIS akan memberikan keputusan keluaran yang tepat agar memperoleh kelembaban dan suhu udara yang diinginkan. Adapun keluaran FIS adalah suhu, kelembaban, dan mode pada AC. Keluaran pada FIS kemudian di *publish* ke MQTT. ESP 8266 kemudian melakukan *subscribe* MQTT untuk menerima data tersebut. Data yang diterima kemudian di kirim ke AC melalui protokol komunikasi serial inframerah. Kejadian ini berlangsung secara terus-menerus saat mode AI aktif sehingga didapatkan suhu dan kelembaban udara sesuai dengan standar baku mutu di dalam ruangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sistem Monitoring dan Kendali Manual SMR IoT

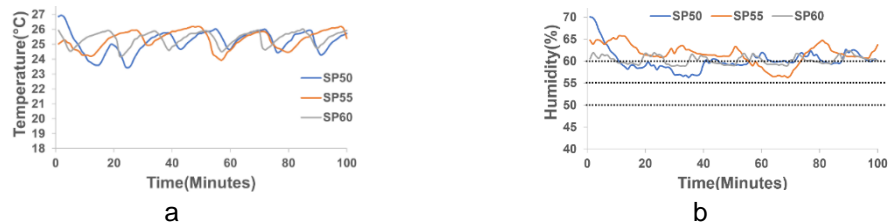
Nilai *R square* perbandingan antara suhu udara yang dibaca oleh SMR dan TR posisi *right*, *left* dan *rear* adalah 0,998; 0,995; dan 0,985. Nilai *R square* perbandingan antara kelembaban udara yang dibaca oleh SMR IoT dan TR posisi *right*, *left* dan *rear* adalah 0,986; 0,958; dan 0,954. SP dilakukan pada suhu 18-26 °C. Gambar 5a) merupakan suhu rata-rata masing-masing sensor disetiap SP. Gambar 5b) merupakan kelembaban rata-rata masing-masing sensor disetiap SP. Pada masing-masing SP terlihat bahwa suhu dan kelembaban udara kurang stabil.



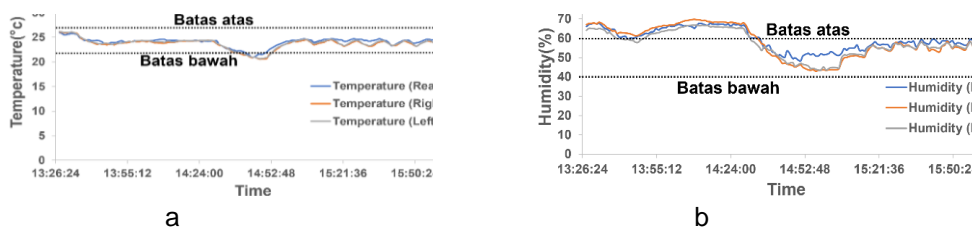
Gambar 5. Karakteristik Hasil Pengaturan Suhu AC Mode Otomatis dengan Variasi SP Suhu (18-26 °C), a) Suhu, b) Kelembaban

Tabel 1. Tabel Hasil Pengaturan Kelembaban AC Mode Dry dengan Variasi SP Kelembaban (50, 55, dan 60%)

Menit ke-	Suhu (°C)			Kelembaban (%)			Menit ke-	Suhu (°C)			Kelembaban (%)		
	SP5	SP5	SP6	SP5	SP5	SP6		SP5	SP5	SP6	SP5	SP5	SP6
2	26,9	25,2	25,6	69,9	63,9	61,9	52	25,9	25,6	25,9	59,2	62,6	60,5
4	26,4	25,1	24,8	67,1	64,8	60,6	54	25,9	24,4	25,5	59,2	60,7	61,8
6	25,4	24,7	24,7	64,3	63,8	61,3	56	25,8	24,0	24,8	60,3	59,7	60,3
8	24,9	24,5	25,0	62,4	64,8	60,6	58	25,1	24,1	24,6	60,9	59,9	61,1
10	24,3	24,3	25,4	61,0	65,0	59,9	60	24,7	24,6	25,0	61,9	58,7	60,4
12	23,8	24,2	25,6	59,2	65,7	59,7	62	25,2	25,1	25,3	60,4	57,4	59,3
14	23,6	24,5	25,7	58,2	64,9	59,3	64	25,5	25,3	25,6	59,8	56,5	59,3
16	23,9	24,9	25,8	59,1	63,3	59,4	66	25,7	25,6	25,7	59,9	56,7	59,1
18	24,7	25,4	25,9	58,5	61,9	59,2	68	25,9	25,7	25,8	60,1	56,6	59,0
20	24,9	25,6	25,6	59,0	61,4	61,8	70	25,9	25,8	25,9	59,8	56,7	60,2
22	24,4	25,7	24,2	59,0	61,3	61,0	72	26,0	25,8	24,6	60,5	58,6	61,7
24	23,5	25,8	24,4	58,1	61,2	61,5	74	25,5	25,1	24,9	61,9	60,4	61,0
26	23,6	25,9	24,9	58,8	60,9	60,9	76	24,5	24,8	25,3	61,3	62,1	60,1
28	24,4	25,9	25,4	58,6	61,9	59,3	78	24,7	24,6	25,6	61,3	63,1	59,9
30	24,9	25,4	25,6	57,0	61,8	58,9	80	25,2	24,5	25,7	60,5	64,3	59,7
32	25,3	24,9	25,8	57,0	63,4	58,9	82	25,6	24,8	25,8	59,8	64,2	59,5
34	25,5	25,2	25,9	56,8	62,6	59,0	84	25,7	25,2	25,9	59,4	62,5	59,4
36	25,7	25,4	25,5	57,0	62,3	61,6	86	25,9	25,5	25,8	59,6	61,9	61,0
38	25,8	25,7	24,8	56,8	61,7	60,2	88	25,9	25,7	25,3	60,6	61,6	60,3
40	25,5	25,9	24,8	59,3	61,5	61,0	90	24,6	25,8	24,7	62,0	61,0	62,4
42	24,8	25,9	25,2	59,6	61,4	59,9	92	24,4	25,9	25,1	62,6	61,0	61,4
44	24,8	26,0	25,4	60,5	61,4	59,6	94	24,9	26,0	25,5	61,3	61,0	61,0
46	25,2	26,1	25,7	59,5	61,0	59,4	96	25,3	26,1	25,7	60,4	60,7	60,5
48	25,5	26,2	25,7	59,4	61,1	59,1	98	25,6	26,2	25,8	60,0	62,0	60,5
50	25,7	26,1	25,9	59,5	62,1	59,0	100	25,7	25,4	25,9	60,1	63,7	60,1



Gambar 6. Karakteristik Hasil Pengaturan Kelembaban AC Mode Dry dengan Variasi SP Kelembaban (50, 55, dan 60%), a) Suhu, b) Kelembaban



Gambar 7. Hasil Pengendalian Secara Manual, a) Suhu, b) Kelembaban

SP dilakukan pada kelembaban 50, 55, dan 60%. Suhu yang terlihat pada Gambar 6a) merupakan suhu rata-rata masing-masing sensor disetiap SP. Kelembaban udara yang terlihat pada Gambar 6b) merupakan kelembaban rata-rata masing-masing sensor disetiap SP. Pada saat SP 50, 55, dan 60% suhu udara berada di sekitar suhu 24-26 °C dan kelembaban udara kurang stabil.

Hasil pengendalian suhu dan kelembaban udara ruangan operasi yang dilakukan operator menggunakan aplikasi SMR IoT seperti ditunjukkan Gambar 7. Standar baku mutu suhu dan kelembaban udara ruang operasi adalah 22-27°C dan 40-60% (*Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 7, 2019*). Pada pengendalian kelembaban udara terlihat lebih sulit karena suhu udara stabil tetapi kelembaban udara banyak melewati batas atas. Pengendalian secara manual dapat menurunkan kelembaban udara dengan cara menurunkan suhu lebih rendah sehingga terjadi kondensasi sehingga kelembaban turun.

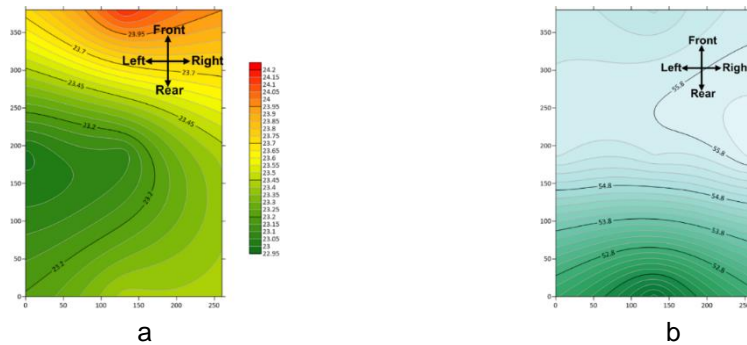
Pengujian Sistem Kendali Otomatis SMR IoT

Sebaran suhu dan kelembaban udara hasil pengendalian secara otomatis menggunakan SMR IoT ruang ICU ditunjukkan Gambar 8. Standar baku mutu suhu dan kelembaban udara ruang ICU adalah 22-23°C dan 40-60% (*Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 7, 2019*). Suhu udara rata-rata semua titik sampel adalah 23,39 °C. Kelembaban udara rata-rata semua titik sampel adalah 54,72%. *Settling time* pada suhu udara mencapai waktu 12 menit dari suhu udara 27 °C seperti ditunjukkan Gambar 9a). *Settling time* 12 menit termasuk normal karena sesuai dengan karakteristik suhu udara AC. Terlihat pada bahwa suhu udara memenuhi standar baku mutu suhu udara ruang ICU. *Settling time* pada kelembaban udara mencapai waktu 6 menit dari

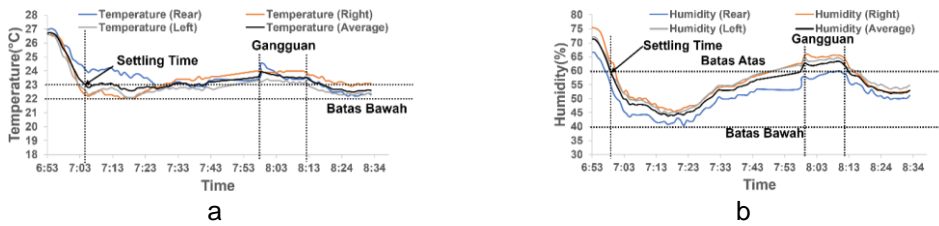
kelembaban udara 75% seperti ditunjukkan Gambar 9b). *Settling time* 6 menit termasuk lebih cepat dibandingkan dengan karakteristik kelembaban udara AC yang digunakan. Kelembaban udara melewati batas atas disebabkan udara luar yang masuk karena pintu dibuka. Kelembaban udara akan turun lagi ketika pintu ditutup sehingga tidak ada udara luar yang masuk ke ruangan.

Sebaran suhu dan kelembaban udara hasil pengendalian secara otomatis menggunakan SMR IoT ruang UGD ditunjukkan Gambar 11. Standar baku mutu suhu dan kelembaban udara ruang UGD adalah 20-24°C dan 40-60% (*Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 7, 2019*). Suhu udara rata-rata keseluruhan sampel adalah 21,87 °C. Kelembaban udara rata-rata semua titik sampel adalah 49,76%. *Settling time* pada suhu udara mencapai waktu 7 menit dari suhu udara 26 °C seperti ditunjukkan Gambar 10a). *Settling time* 7 menit termasuk normal karena sesuai dengan karakteristik suhu udara AC yang digunakan. *Settling time* pada kelembaban udara mencapai waktu 4 menit dari kelembaban udara 70% seperti ditunjukkan Gambar 10b). *Settling time* 4 menit termasuk lebih cepat dibandingkan dengan karakteristik kelembaban udara AC yang digunakan.

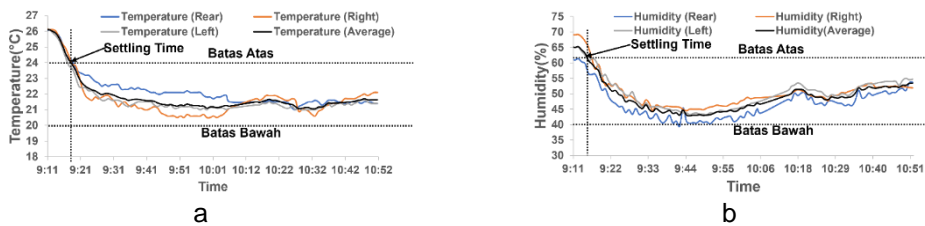
Sebaran suhu dan kelembaban udara hasil pengendalian secara otomatis menggunakan SMR IoT ruang operasi ditunjukkan Gambar 13. Standar baku mutu suhu dan kelembaban udara ruang operasi adalah 22-27°C dan 40-60% (*Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 7, 2019*). Suhu udara rata-rata semua titik sampel adalah 24,16 °C. Kelembaban udara rata-rata semua titik sampel adalah 52,7%. Hasil pengujian sistem kendali ruang operasi ditunjukkan Gambar 12. Suhu udara saat *steady state* adalah 24 °C.



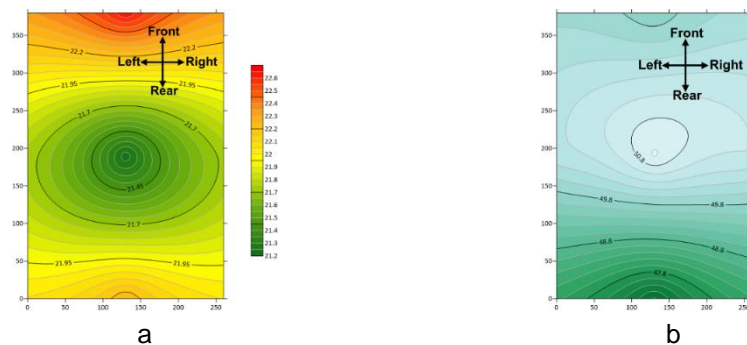
Gambar 8. Hasil Pengendalian AI Ruang ICU, a) Suhu, b) Kelembaban



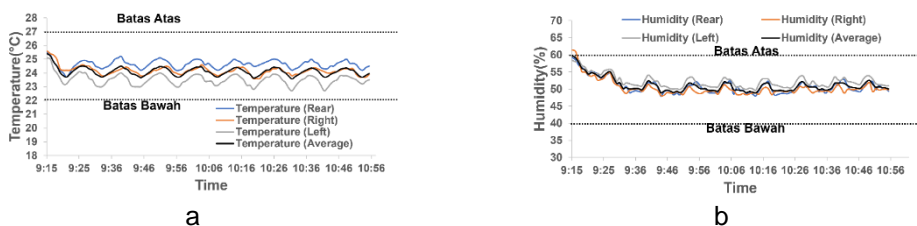
Gambar 9. Hasil Pengendalian AI Ruang ICU, a) Suhu, b) Kelembaban



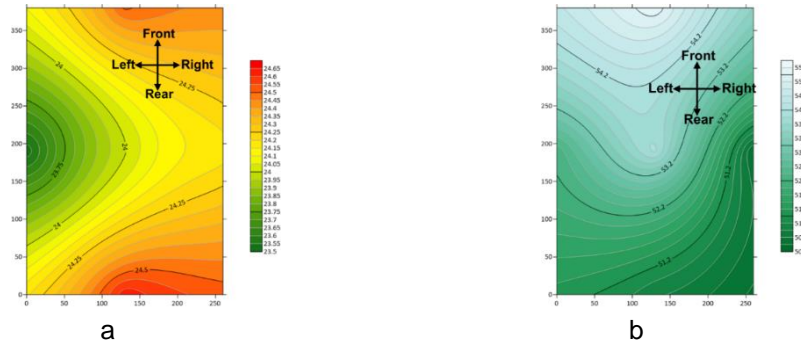
Gambar 10. Hasil Pengendalian AI Ruang UGD, a) Suhu, b) Kelembaban



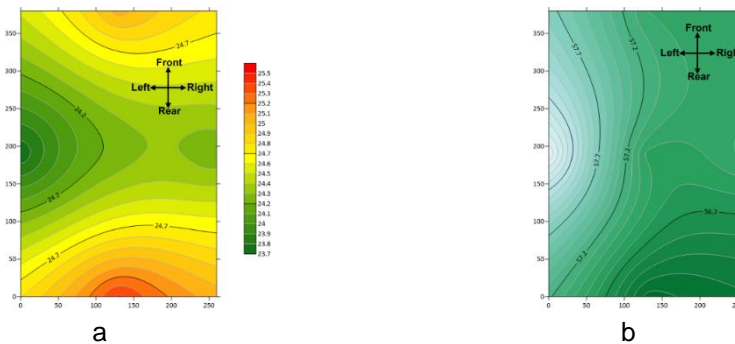
Gambar 11. Hasil Pengendalian AI Ruang UGD, a) Suhu, b) Kelembaban



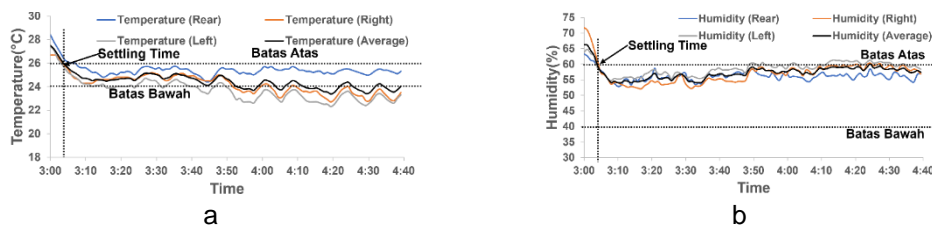
Gambar 12. Hasil Pengendalian AI Ruang Operasi, a) Suhu, b) Kelembaban



Gambar 13. Hasil Pengendalian AI Ruang Opeasi, a) Suhu, b) Kelembaban



Gambar 14. Hasil Pengendalian AI Ruang Bersalin, a) Suhu, b) Kelembaban



Gambar 15. Hasil Pengendalian AI Ruang Bersalin, a) Suhu, b) Kelembaban

Sebaran suhu dan kelembaban udara hasil pengendalian secara otomatis menggunakan SMR IoT ruang bersalin ditunjukkan Gambar 14. Standar baku mutu suhu dan kelembaban udara ruang bersalin adalah 24-26oC dan 40-60% (Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 7, 2019). Suhu udara rata-rata keseluruhan titik sampel adalah 24,52 oC. Kelembaban udara rata-ratanya adalah 57,13% Settling time pada suhu udara mencapai waktu 4 menit dari suhu udara 28 oC seperti ditunjukkan Gambar 15a). Settling time 4 menit termasuk

normal karena sesuai dengan karakteristik suhu udara AC yang digunakan. Settling time pada kelembaban udara mencapai waktu 4 menit dari kelembaban udara 70% seperti ditunjukkan Gambar 15b). Settling time 4 menit termasuk lebih cepat dibandingkan dengan karakteristik kelembaban udara AC yang digunakan. Hasil keseluruhan pengujian menunjukkan bahwa ruang medis yang dikendalikan secara otomatis memiliki suhu dan kelembaban rata-rata sesuai dengan standar baku mutu menurut

Peratur Menteri Kesehatan nomor 7 tahun 2019.

PENUTUP

Kesimpulan

Suhu dan kelembaban udara ruangan bisa dipantau dan dikendalikan sesuai yang diinginkan secara manual oleh manusia menggunakan SMR IoT. Proses tersebut menggunakan ESP32, ES8266, *mobile device* dan komputer menggunakan IoT dengan protokol MQTT. Suhu dan kelembaban udara ruangan bisa dipantau dan dikendalikan secara otomatis menggunakan sistem cerdas dan IoT yang telah dibuat. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban udara rata-rata ruang ICU adalah 23,39 °C dan 54,72%. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban udara rata-rata ruang UGD adalah 21,87 °C dan 49,76%. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban udara rata-rata ruang operasi adalah 24,16 °C dan 52,7%. Hasil pengukuran suhu dan kelembaban udara rata-rata ruang bersalin adalah 24,52 °C dan 57,13%. Hasil pengukuran tersebut sesuai dengan standar baku mutu menurut peraturan Menteri Kesehatan nomor 7 tahun 2019.

Saran

Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan di fasilitas kesehatan di Indonesia untuk memajukan fasilitas medis di Indonesia.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Rektor Universitas Gadjah Mada melalui Kepala Departemen Teknik Mesin dan Teknik Industri yang telah mendukung penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala Laboratorium Ergonomika Departemen Teknik Mesin

dan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada yang telah mendukung dan memberikan fasilitas untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Hunkeler, U., Truong, H.L. and Stanford-Clark, A.. 2008. *MQTT-S—A publish/subscribe protocol for Wireless Sensor Networks*. In 2008 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops (COMSWARE'08) (pp. 791-798). IEEE.
- Jayanti, L., Manyullei, S. and Bujawati, E.. 2016. *Kesehatan Lingkungan Udara Ruang Rawat Inap Rumah Sakit Syekh Yusuf Kabupaten Gowa*. HIGIENE: Jurnal Kesehatan Lingkungan, 2(1), pp.33-40.
- Kolokotsa, D.. 2007. *Artificial intelligence in buildings: A review of the application of fuzzy logic*. Advances in Building Energy Research, 1(1), pp.29-54.
- Krichen, M., Mechti, S., Alroobaea, R., Said, E., Singh, P., Khalaf, O.I. and Masud, M.. 2021. *A formal testing model for operating room control system using internet of things*. Computers, Materials & Continua, 66(3), pp.2997-3011.
- Mayasari, A., Zulkarnain, Z. and Agrina, A.. 2020. *Analisis Lingkungan Fisik Udara Terhadap Angka Kuman Udara di Rumah Sakit*. Jurnal Ilmu Lingkungan, 13(1), pp.81-89.
- Merazka, L., Zouari, F. and Boukroune, A.. 2017. *High-gain observer-based adaptive fuzzy control for a class of multivariable nonlinear systems*. In 2017 6th International Conference on Systems and Control (ICSC) (pp. 96-102). IEEE.
- Nasution, H.. 2012. *Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan*. Jurnal ELKHA, 4(2).
- Peraturan Menteri Kesehatan. 2019. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 tahun*

2019 Tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit.

- Qi, Q. and Deng, S.. 2008. *Multivariable control-oriented modeling of a direct expansion (DX) air conditioning (A/C) system*. International Journal of refrigeration, 31(5), pp.841-849.
- Wu, Y.C., Chen, M.J., Chang, B.S. and Tsai, M.T.. 2014. *A Low-Cost Web-Based Infrared Remote-Control System for Energy Management of Aggregated Air Conditioners*. Energy and buildings, 72, pp.24-30.