



Enhancing Students' Knowledge of Air Conditioning Processes Using a Psychrometric Simulator

Peningkatan Pengetahuan Mahasiswa tentang Proses Pengkondisian Udara melalui Simulator Psikrometrik

Ega Taqwali Berman^{1*}, Yayat Yayat², Mutaufiq Mutaufiq³

^{1,2,3}Prodi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri,
Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi No. 229 Bandung 40154
egatb@upi.edu*

ABSTRACT/ABSTRAK

Mastery of psychrometric processes is an important component of air-conditioning education, as students need to understand the relationships among various air properties and changes in air conditions during air-conditioning processes. This study aimed to determine the improvement in students' knowledge after learning with a psychrometric simulator. A quantitative approach with a One-Group Pretest-Posttest design was employed. The participants were 36 students of the Mechanical Engineering Education Study Program in the Refrigeration and Air Conditioning field who were enrolled in an Air Conditioning course. Data were collected using a conceptual knowledge test covering cognitive levels C1–C4. Learning improvement was analyzed using the Normalized Gain (N-gain). The results showed that the students' mean score increased from 62.56 on the pre-test to 80.22 on the post-test, with a mean N-gain of 0.45, categorized as moderate. The distribution of N-gain scores indicated that 36.11% of students were in the low category, 33.33% in the moderate category, and 30.56% in the high category. These findings indicate that the psychrometric simulator has the potential to support air-conditioning education by helping students connect changes in air properties with air-conditioning processes through measurement, observation, and psychrometric chart analysis.

Penguasaan proses psikrometrik merupakan bagian penting dalam pembelajaran Teknik Tata Udara karena mahasiswa perlu memahami hubungan antara berbagai parameter udara dan perubahan kondisi selama proses pengkondisian udara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan pengetahuan mahasiswa setelah mengikuti pembelajaran menggunakan simulator psikrometrik. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain One-Group Pretest-Posttest. Subjek penelitian terdiri atas 36 mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Mesin pada KBK Refrigerasi dan Tata Udara yang mengikuti mata kuliah Teknik Tata Udara. Data dikumpulkan melalui tes pengetahuan konseptual yang mencakup kemampuan kognitif C1–C4. Peningkatan hasil belajar dianalisis menggunakan Normalized Gain (N-gain). Hasil penelitian

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted/Received
11 September 2026

First Revised
20 October 2026

Accepted
22 October 2026

Online Date
23 October 2026

Publication Date
01 December 2026

Keywords:

Air-Conditioning
Education; Air-
Conditioning Processes;
Learning Outcomes; N-
Gain; Psychrometric
Simulator

Kata kunci:

Hasil belajar; N-gain;
Proses Pengkondisian
Udara; Simulator
Psikrometrik; Teknik Tata
Udara



Copyright © [YEAR] Universitas Pendidikan Indonesia. This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

DOI: <https://doi.org/10.17509/jmee.v13i2.106023>
P-ISSN 2356-4997 | E-ISSN 2715-4734

menunjukkan bahwa rata-rata skor mahasiswa meningkat dari 62,56 pada pre-test menjadi 80,22 pada post-test. Nilai rata-rata N-gain sebesar 0,45 dan termasuk kategori sedang. Distribusi N-gain menunjukkan bahwa 36,11% mahasiswa berada pada kategori rendah, 33,33% kategori sedang, dan 30,56% kategori tinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa simulator psikrometrik berpotensi mendukung pembelajaran Teknik Tata Udara dengan membantu mahasiswa menghubungkan perubahan parameter udara dengan proses pengkondisian udara melalui aktivitas pengukuran, pengamatan, dan analisis diagram psikrometrik.

1. PENDAHULUAN

Penguasaan konsep pengkondisian udara merupakan kompetensi penting dalam pendidikan teknik, khususnya bidang refrigerasi dan tata udara. Proses psikrometrik menjadi dasar untuk memahami *sensible heating*, *sensible cooling*, *humidification*, *dehumidification*, serta *cooling and dehumidification* (Mago dan Long, 2016). Pemahaman proses tersebut menuntut mahasiswa mengintegrasikan berbagai parameter udara lembab, seperti temperatur bola kering, temperatur bola basah, kelembaban relatif, *humidity ratio*, entalpi, dan temperatur titik embun (Erdélyi & Rajkó, 2016). Namun, hubungan antarsifat tersebut cukup kompleks sehingga mahasiswa sering mengalami kesulitan ketika hanya menggunakan diagram psikrometrik statis. Mereka tidak hanya perlu menentukan posisi suatu kondisi udara, tetapi juga memahami arah dan makna perubahan kondisi selama proses pengkondisian udara (Kresta & Ayranci, 2018).

Keterbatasan representasi statis tersebut membuka peluang penggunaan teknologi simulasi sebagai media pembelajaran. Simulator psikrometrik memungkinkan mahasiswa mengubah kondisi udara dan secara langsung mengamati perubahan parameter serta perpindahan titik keadaan pada diagram. Dengan demikian, hubungan antara parameter termodinamika dan proses pengkondisian udara dapat divisualisasikan secara dinamis. Mago dan Luck (2014) menunjukkan bahwa perangkat komputasi dapat membantu mahasiswa mengamati perubahan parameter psikrometrik akibat perubahan kondisi masukan, sedangkan Erdélyi dan Rajkó (2016) menunjukkan potensi *interactive psychrometric charts* untuk memvisualisasikan dan mengeksplorasi proses psikrometrik. Pada konteks yang lebih luas, Chernikova et al. (2020) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis simulasi berpotensi mendukung pengembangan kompetensi kompleks di pendidikan tinggi.

Meskipun penggunaan simulasi dalam pembelajaran teknik semakin berkembang, bukti empiris yang secara khusus mengukur peningkatan pengetahuan konseptual mahasiswa pada proses pengkondisian udara menggunakan simulator psikrometrik masih terbatas. Penelitian sebelumnya lebih banyak menyoroti pemanfaatan perangkat komputasi

atau fungsi visualisasi interaktif, sementara pengukuran perubahan pengetahuan mahasiswa sebelum dan sesudah penggunaan simulator belum banyak dikaji secara spesifik (Mago & Luck, 2014; Erdélyi & Rajkó, 2016; Gupta dan Patel, 2017). Kesenjangan ini menunjukkan perlunya penelitian kuantitatif untuk memperoleh bukti mengenai perubahan capaian pengetahuan mahasiswa setelah memperoleh pembelajaran berbasis simulator psikrometrik. Melalui representasi yang dinamis, mahasiswa berkesempatan mengamati hubungan antara kondisi awal, perubahan parameter udara, dan kondisi akhir suatu proses. Apabila dipadukan dengan kegiatan pengukuran, pengamatan, dan analisis diagram, simulator dapat menjadi media pendukung untuk menghubungkan konsep teoretis dengan fenomena yang dipelajari dalam mata kuliah Teknik Tata Udara.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menggunakan simulator psikrometrik interaktif sebagai media pembelajaran visual untuk membantu mahasiswa memahami hubungan antara sifat udara dan proses pengkondisian udara. Komponen utama simulator ini tersusun atas saluran udara berbahan PVC ukuran 4" (Rucika), blower (Imatsu; CDI-100P-CY), electric resistance heater (Teach; 1200 Watt, 220VAC/50Hz, with thermostat), sistem refrigerasi (Teach; $Q_o = 1340$ Btu/h, 220VAC/50Hz), gauge pressure (Blue; BLB, BLR/OPG-63), multimeter (Peacefolr; PZEM), anemometer (UNI-T; UT363BT), temperature-humidity meter (UNI-T; UT333BT), pilot lamp (Hager; 220VAC/50Hz, dia.22mm Red), circuit breaker (Hager; Single Phase, 6A), ultrasonic humidifier (Warmtoo; 24VDC), power supply (220VAC to 5VDC, 3A), variable power control (100-220VAC 2000Watt), dan cable sensor (Belden; AWG18x4 w/shielding). Guna mencegah terjadinya kondensasi di sepanjang saluran udara saat pengujian berlangsung, maka dilakukan pemasangan insulasi disemua saluran udara. Semua komponen dirakit pada sebuah rangka aluminum yang berukuran p x l x t adalah 150 x 60 x 70 cm. Untuk memudahkan analisis psikrometrik, display alat ukur dipasang pada panel acrylic laser cutting and printing. Display ini dapat memudahkan peserta didik dalam mengoperasikan sistem air conditioning, mengamati parameter yang terbaca pada setiap alat ukur, dan mencatat setiap perubahan yang terjadi selama pengujian berlangsung. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan pengetahuan mahasiswa tentang proses pengkondisian udara sebelum dan sesudah pembelajaran menggunakan simulator psikrometrik. Hasil penelitian diharapkan memberikan bukti empiris mengenai potensi simulator sebagai media pembelajaran pada pendidikan teknik refrigerasi dan tata udara.

Pembelajaran berbasis simulasi memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk mengeksplorasi hubungan antara variabel, menguji prediksi, dan mengamati respons

sistem secara langsung. Dalam pendidikan teknik, simulasi dapat berfungsi sebagai lingkungan eksperimen yang melengkapi pembelajaran konvensional, terutama ketika fenomena yang dipelajari sulit diamati secara langsung. Negahban (2024) menegaskan bahwa simulasi digital dapat menyediakan lingkungan eksperimen yang memungkinkan mahasiswa mengeksplorasi sistem secara lebih aman dan fleksibel, sekaligus memperkuat pembelajaran berbasis masalah. Temuan Karadoğan dan Karadoğan (2019) juga menunjukkan bahwa modul simulasi pada pembelajaran teknik dapat meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa ketika mahasiswa diberi kesempatan memanipulasi parameter, membuat prediksi, dan membandingkan hasil.

Pada materi psikrometrik, kebutuhan terhadap representasi dinamis semakin penting karena mahasiswa harus memahami perubahan beberapa properti udara secara simultan. Diagram psikrometrik konvensional menyajikan hubungan tersebut secara statis sehingga mahasiswa dapat mengalami kesulitan dalam memahami perpindahan kondisi udara selama suatu proses. Bhattacharya & Milne (2009) menunjukkan bahwa diagram psikrometrik merupakan salah satu materi yang cukup sulit dipelajari mahasiswa dan mengembangkan tutorial interaktif untuk membantu proses pemahaman. Pendekatan interaktif memungkinkan mahasiswa mengeksplorasi kondisi udara dan menghubungkan perubahan parameter dengan posisi pada diagram.

Namun, interaktivitas tidak otomatis menghasilkan pembelajaran yang lebih baik. Zhang et al., (2025) menunjukkan bahwa manfaat visualisasi interaktif bergantung pada bagaimana fitur interaksi dirancang, khususnya kemampuan mahasiswa memanipulasi variabel dan memperoleh informasi yang relevan. Penelitian lain mengenai visualisasi dinamis juga menunjukkan bahwa pemberian *visuospatial cues* dapat membantu pembentukan *mental model* yang lebih baik (Patwardhan & Murthy, 2015). Berdasarkan kajian tersebut, simulator psikrometrik dalam penelitian ini diposisikan bukan sekadar sebagai alat perhitungan, tetapi sebagai media visual-interaktif untuk membantu mahasiswa menghubungkan perubahan parameter udara dengan proses pengkondisian udara.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain *One-Group Pretest-Posttest*. Penelitian dilakukan melalui tiga tahap, yaitu pengukuran pengetahuan awal (*pre-test*), pemberian intervensi pembelajaran menggunakan simulator psikrometrik, dan pengukuran pengetahuan akhir (*post-test*). Desain ini digunakan untuk mengetahui perubahan pengetahuan konseptual mahasiswa setelah mengikuti pembelajaran

menggunakan media psikrometrik. Subjek penelitian terdiri atas 36 mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Mesin pada KBK Refrigerasi dan Tata Udara yang sedang menempuh mata kuliah Teknik Tata Udara.

Intervensi pembelajaran dilaksanakan melalui kegiatan pengenalan, demonstrasi, dan penggunaan simulator psikrometrik untuk mempelajari perubahan kondisi udara pada proses pengkondisian udara. Pada tahap awal, mahasiswa memperoleh penjelasan mengenai fungsi simulator dan komponen-komponen yang digunakan dalam kegiatan pembelajaran. Selanjutnya, dosen atau instruktur mendemonstrasikan penggunaan simulator untuk mengamati perubahan kondisi udara dan menghubungkannya dengan representasi pada diagram psikrometrik. Mahasiswa kemudian mengikuti kegiatan pengamatan dan analisis terhadap perubahan parameter udara selama proses pengkondisian. Kegiatan tersebut diarahkan untuk membantu mahasiswa mengidentifikasi hubungan antara kondisi udara, perubahan sifat udara, dan arah proses yang ditunjukkan pada diagram psikrometrik. Hasil pengamatan digunakan sebagai dasar untuk menafsirkan proses yang berlangsung dan menghubungkan hasil pengukuran dengan konsep yang dipelajari dalam mata kuliah Teknik Tata Udara. Durasi pembelajaran dilaksanakan selama 100 menit dengan jumlah pertemuan sebanyak tiga kali.

Data pengetahuan konseptual dikumpulkan menggunakan tes objektif yang mengukur pemahaman mahasiswa terhadap dasar-dasar psikrometrik dan proses pengkondisian udara. Instrumen terdiri atas 25 butir soal, yang mencakup 14 soal mengenai dasar-dasar psikrometrik dan 11 soal mengenai proses pengkondisian udara. Materi yang diukur meliputi pengenalan sifat dan parameter udara, interpretasi diagram psikrometrik, penentuan kondisi udara pada parameter tertentu, identifikasi arah proses pengkondisian udara, serta analisis udara campuran. Cakupan kognitif instrumen meliputi tingkat C1–C4, yaitu mengingat, memahami, menerapkan, dan menganalisis. Kisi-kisi instrumen disusun berdasarkan kompetensi dan indikator pembelajaran yang relevan dengan materi psikrometrik dan proses pengkondisian udara ditunjukkan pada Tabel 1. Skor pretest dan posttest digunakan untuk menggambarkan capaian pengetahuan mahasiswa sebelum dan sesudah pembelajaran. Untuk menjamin keterpercayaan hasil pengukuran, semua butir soal sudah diuji validitas, reliabilitas, tingkat kesukaran dan daya pembeda. Hasil uji validitas menunjukkan bahwa seluruh butir soal pada pre-test dan post-test valid. Hasil pengujian reliabilitas diperoleh dengan kriteria keandalan yang kuat ($r_{\text{pre-test}} = 0,707$ dan $r_{\text{post-test}} = 0,732$).

Tabel 1. Kisi-kisi instrumen tes hasil belajar

KD (Kompetensi Dasar)	Materi Pokok	Indikator	Jumlah Soal
Merumuskan prinsip operasi sistem tata udara	Dasar-dasar psikrometrik	1. Menjelaskan definisi serta fungsi psikrometrik pada konsep tata udara 2. Menjelaskan kandungan udara atmosfer 3. Menjelaskan perbedaan temperatur <i>dry bulb</i> dan <i>wet bulb</i> 4. Menjelaskan sifat, parameter udara atau istilah-istilah yang digunakan pada grafik psikrometrik 5. Menunjukkan garis wilayah sifat, parameter udara atau istilah-istilah yang digunakan pada grafik psikrometrik 6. Menentukan nilai sifat-sifat udara pada kondisi tertentu menggunakan grafik psikrometrik	14
Menentukan prinsip operasi sistem tata udara	Proses Tata Udara	1. Menjelaskan proses-proses tata udara secara menyeluruh 2. Menentukan arah setiap proses tata udara pada grafik psikrometrik 3. Menjelaskan definisi dan fungsi udara campuran pada proses tata udara 4. Menghitung temperatur udara campuran pada proses tata udara	11

Analisis data peningkatan hasil belajar mahasiswa dilakukan dengan menerapkan konsep *Normalized gain (N-gain)* yaitu *gain* yang dinormalisasi berdasarkan data skor *pre-test* dan *post-test*. *N-gain* merujuk pada perbedaan antara skor *post-test* dan *pre-test* yang telah diolah secara normal. *Gain* yang dinormalisasi mengindikasikan sejauh mana peningkatan hasil yang terjadi antara fase awal dan akhir proses pembelajaran. Perhitungan *N-gain* dilakukan dengan menggunakan persamaan 1 yang diusulkan oleh Hake pada tahun 1998.

$$N\text{-gain} = (\text{skor post-test} - \text{skor pre-test}) / (100 - \text{skor pre-test}) \dots\dots\dots (1)$$

Untuk memberikan deskripsi terhadap nilai rata-rata *N-gain* dengan merinci kriteria peningkatan, digunakan pedoman sebagaimana yang tercantum dalam tabel 2.

Tabel 2. Kriteria rata-rata gain dinormalisasi (*N-gain*)

<i>Normalized Gain Average</i>	Interpretasi
$g > 0,70$	Tinggi
$0,30 \leq g \leq 0,70$	Sedang
$g < 0,30$	Rendah

3. HASIL PENELITIAN

3.1 Penggunaan simulator psikrometrik dalam pembelajaran

Penggunaan simulator psikrometrik pada pembelajaran teknik tata udara diikuti oleh 36 mahasiswa. Di awal perkuliahan, mahasiswa dibagi menjadi beberapa kelompok kemudian diberikan penjelasan tentang cara penggunaan simulator psikrometrik dan komponen-komponen yang terdapat pada media tersebut. Selanjutnya dilakukan demonstrasi penggunaan simulator psikrometrik untuk mengukur proses pengkondisian udara sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Penjelasan penggunaan simulator psikrometrik

Setiap kelompok mahasiswa melakukan aktivitas pembelajaran sesuai dengan pedoman pembelajaran yang disajikan pada buku panduan. Pada gambar 2 ditunjukkan aktivitas mahasiswa menggunakan simulator psikrometrik pada pembelajaran tata udara. Di kegiatan ini mahasiswa mencatat data kondisi awal proses pengkondisian udara yang meliputi temperatur udara, kelembapan udara, dan kecepatan aliran udara. Nilai data tersebut bisa dilihat dari sensor Temp/RH₁ dan anemometer. Kemudian mengatur besaran daya *heater* yang berfungsi sebagai beban pengkondisian udara, hasil pengukurannya ditunjukkan oleh sensor Temp./RH₂. Tahap berikutnya pencatatan data disesuaikan dengan proses pengkondisian udara yang dilakukan meliputi: *cooling, heating, heating and humidifying, cooling and dehumidifying*.



Gambar 2. Penggunaan simulator psikrometrik oleh mahasiswa

Semua data yang diperoleh dari hasil observasi dan pengukuran pada simulator psikrometrik, kemudian di analisis menggunakan psikrometrik *chart*. Proses analisis dilakukan secara bertahap sesuai dengan urutan proses pengujian yang dilakukan pada saat pembelajaran. Pada gambar 3 ditunjukkan aktivitas mahasiswa dalam melakukan analisis data menggunakan psikrometrik *chart*.



Gambar 3. Analisis data menggunakan psikrometrik *chart*

3.2 Hasil belajar mahasiswa menggunakan simulator psikrometrik

Pada tabel 3 ditunjukkan data hasil belajar mahasiswa pada pembelajaran tata udara menggunakan simulator psikrometrik. Data peningkatan hasil belajar diperoleh dari skor *N-gain* berdasarkan hasil *pre-tes* dan *post-tes* yang diberikan kepada 36 orang mahasiswa. Hasil rata-rata skor *pre-test* tercatat sebesar 62,56 dengan perolehan skor tertinggi senilai 88 poin dan skor terendah senilai 40 poin. Kemudian hasil rata-rata skor *post-tes* tercatat sebesar 80,22 dengan perolehan skor tertinggi senilai 96 poin dan skor terendah senilai 56

poin. Nilai rata-rata perolehan *N-gain* pada penelitian ini adalah 0,45. Perbedaan antara hasil pre-test dan post-test dengan skor perolehan *N-gain* 0,45 yang dikategorikan sebagai sedang, menunjukkan adanya intervensi pembelajaran (metode pengajaran yang efektif dan bahan ajar yang relevan) yang berdampak positif terhadap pemahaman peserta didik terhadap materi pelajaran. Peserta didik aktif terlibat dalam pembelajaran, baik melalui diskusi kelompok dan praktik langsung yang mendorong pemikiran kritis dan keterlibatan langsung. Aktivitas semacam ini dapat memperkuat pemahaman dan memfasilitasi pembentukan koneksi antara konsep-konsep yang dipelajari.

Tabel 3. Hasil belajar menggunakan simulator psikrometrik

No	Mahasiswa	Jumlah Benar		Skor		Gain	N-Gain	Kategori
		Pretest	Posttest	Pretest	Posttest			
1	Mahasiswa 1	22	23	88	92	4	0.33	Sedang
2	Mahasiswa 2	17	23	68	92	24	0.75	Tinggi
3	Mahasiswa 3	16	22	64	88	24	0.67	Sedang
4	Mahasiswa 4	18	23	72	92	20	0.71	Tinggi
5	Mahasiswa 5	10	24	40	96	56	0.93	Tinggi
6	Mahasiswa 6	13	22	52	88	36	0.75	Tinggi
7	Mahasiswa 7	20	24	80	96	16	0.80	Tinggi
8	Mahasiswa 8	17	22	68	88	20	0.63	Sedang
9	Mahasiswa 9	18	19	72	76	4	0.14	Rendah
10	Mahasiswa 10	21	22	84	88	4	0.25	Rendah
11	Mahasiswa 11	22	22	88	88	0	0.00	Rendah
12	Mahasiswa 12	10	17	40	68	28	0.47	Sedang
13	Mahasiswa 13	21	24	84	96	12	0.75	Tinggi
14	Mahasiswa 14	20	22	80	88	8	0.40	Sedang
15	Mahasiswa 15	20	24	80	96	16	0.80	Tinggi
16	Mahasiswa 16	15	16	60	64	4	0.10	Rendah
17	Mahasiswa 17	13	15	52	60	8	0.17	Rendah
18	Mahasiswa 18	12	18	48	72	24	0.46	Sedang
19	Mahasiswa 19	13	14	52	56	4	0.08	Rendah
20	Mahasiswa 20	10	23	40	92	52	0.87	Tinggi
21	Mahasiswa 21	19	22	76	88	12	0.50	Sedang
22	Mahasiswa 22	19	20	76	80	4	0.17	Rendah
23	Mahasiswa 23	10	14	40	56	16	0.27	Rendah
24	Mahasiswa 24	22	23	88	92	4	0.33	Sedang
25	Mahasiswa 25	10	14	40	56	16	0.27	Rendah
26	Mahasiswa 26	11	21	44	84	40	0.71	Tinggi
27	Mahasiswa 27	19	22	76	88	12	0.50	Sedang
28	Mahasiswa 28	17	20	68	80	12	0.38	Sedang
29	Mahasiswa 29	18	21	72	84	12	0.43	Sedang
30	Mahasiswa 30	12	14	48	56	8	0.15	Rendah

No	Mahasiswa	Jumlah Benar		Skor		Gain	N-Gain	Kategori
		Pretest	Posttest	Pretest	Posttest			
31	Mahasiswa 31	12	15	48	60	12	0.23	Rendah
32	Mahasiswa 32	12	16	48	64	16	0.31	Sedang
33	Mahasiswa 33	11	22	44	88	44	0.79	Tinggi
34	Mahasiswa 34	10	23	40	92	52	0.87	Tinggi
35	Mahasiswa 35	13	15	52	60	8	0.17	Rendah
36	Mahasiswa 36	20	21	80	84	4	0.20	Rendah
Jumlah		563	722	2252	2888	636	16.32	
Rata-rata		15.64	20.06	62.56	80.22	17.67	0.45	Sedang

4. PEMBAHASAN

Banyak cara yang dapat digunakan untuk menilai hasil belajar, antara lain adalah melalui hasil *post-test*, selisih antara *post-test* dan *pre-test* yang dikenal sebagai *gain*, serta perbandingan antara selisih skor *post-test* dan *pre-test* dengan selisih skor maksimum dan *pre-test* yang dikenal sebagai *N-gain* (Agustini et al., 2024). Ketiga metode ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pendekatan berdasarkan hasil *post-test* memudahkan penilaian tingkat pencapaian tujuan pembelajaran melalui persentase penguasaan materi. Namun, metode ini tidak dapat menentukan apakah hasil belajar disebabkan oleh penerapan suatu perlakuan atau faktor lainnya. Di sisi lain, penggunaan *gain* mencerminkan peningkatan hasil belajar dengan membandingkan selisih skor *post-test* dan *pre-test*. Pendekatan ini lebih objektif dibandingkan hanya melihat skor *post-test*, karena memperhitungkan kemampuan awal mahasiswa sebelum mendapatkan perlakuan. Namun, metode ini kurang objektif untuk mengukur peningkatan hasil belajar secara spesifik pada setiap individu mahasiswa, karena dua mahasiswa dengan *gain* yang sama dianggap memiliki peningkatan yang serupa, meskipun mungkin memerlukan usaha yang berbeda. Sebaliknya, *N-gain* dianggap sebagai metode yang lebih objektif daripada kedua pendekatan sebelumnya. Metode ini tidak hanya mempertimbangkan kemampuan awal mahasiswa, tetapi juga memperhitungkan kemampuan akhir dan kemampuan ideal yang seharusnya dicapai. *N-gain* dapat membandingkan peningkatan hasil belajar secara lebih spesifik di antara individu dalam suatu kelompok (Wahab et al., 2021).

Evaluasi berdasarkan data *post-test* merupakan evaluasi hasil atau *output*. Dalam tinjauan pembelajaran sebagai sistem, evaluasi yang lebih valid adalah evaluasi secara keseluruhan. Evaluasi ini meliputi evaluasi *input*, proses, dan *output*, serta *outcome*, bahkan *impact*. Evaluasi dengan data hasil belajar (*output*) tidak memperhitungkan *input* dan proses yang terjadi sehingga sebenarnya kurang valid untuk dijadikan dasar suatu

argument untuk menjelaskan suatu fakta secara lebih rinci. Cara ini tidak dapat menjawab pertanyaan mendasar apakah kemampuan akhir mahasiswa yang tergambar dalam hasil belajar merupakan pengaruh atau efek dari sebuah perlakuan semata atau karena faktor *input* lainnya. Nilai *N-gain* sedikit dapat menjawab pertanyaan tersebut. Cara ini telah memperhitungkan kemampuan awal (*input*) mahasiswa, sehingga peningkatan kemampuannya atau secara umum dikatakan peningkatan hasil belajar merupakan pengaruh dari suatu perlakuan dan juga pengaruh dari kemampuan awal mahasiswa. Jadi data *N-gain* selain menjelaskan *output* atau hasil juga menjelaskan pengaruh proses dan *input*. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh data *N-gain* setiap mahasiswa yang dikelompokkan sebagai berikut: 36,11 % rendah, 33,33 % sedang, dan 30,56 % tinggi. Proporsi mahasiswa berkategori rendah membawa beberapa pesan pedagogis yang sangat krusial bagi evaluasi dan pengembangan proses pembelajaran. Secara pedagogis, temuan ini menegaskan bahwa tingkat keberhasilan belajar (*output*) mahasiswa sangat bergantung pada modal pengetahuan awal (*input*) yang mereka miliki (Satria et al., 2025). Mahasiswa yang belum menguasai konsep dasar termodinamika akan mengalami hambatan ketika dihadapkan pada media simulasi interaktif yang menuntut pemahaman fenomena secara simultan. Selain itu, hal ini mengindikasikan pentingnya penerapan strategi pembelajaran terdiferensiasi. Pengajar tidak dapat hanya bergantung pada satu jenis media visual seperti simulator untuk seluruh mahasiswa, melainkan perlu menghadirkan variasi metode yang sesuai dengan beragam gaya belajar peserta didik. Perbedaan perolehan *N-gain* oleh setiap mahasiswa bisa terjadi karena beberapa faktor: 1) Pengetahuan dasar terhadap materi masih rendah, 2) Penjelasan dari pengajar yang masih belum bisa diterima peserta didik, 3) Media yang digunakan tidak cocok untuk peserta didik tersebut, karena tidak semua media cocok diterapkan untuk semua peserta didik (Rohmah et al., 2021).

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa skor pengetahuan konseptual mahasiswa tentang proses pengkondisian udara meningkat setelah mengikuti pembelajaran berbantuan simulator psikrometrik. Rata-rata skor meningkat dari 62,56 pada pretest menjadi 80,22 pada posttest, dengan rata-rata Normalized Gain (*N-gain*) sebesar 0,45 yang termasuk kategori sedang. Berdasarkan distribusi *N-gain*, sebanyak 36,11% mahasiswa berada pada kategori rendah, 33,33% pada kategori sedang, dan 30,56% pada kategori tinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan skor terjadi dengan tingkat yang bervariasi antar mahasiswa dan belum merata pada seluruh peserta.

Pembelajaran yang mengintegrasikan pengukuran kondisi udara, pengamatan perubahan parameter, dan analisis diagram psikrometrik berpotensi mendukung pemahaman mahasiswa mengenai hubungan antara sifat udara dan proses pengkondisian udara. Oleh karena itu, simulator psikrometrik dapat dipertimbangkan sebagai media pendukung dalam pembelajaran Teknik Tata Udara. Namun, karena penelitian ini tidak menggunakan kelompok kontrol, peningkatan skor yang ditemukan belum dapat diatribusikan secara eksklusif kepada penggunaan simulator. Penelitian selanjutnya perlu melibatkan kelompok pembandingan dan analisis yang lebih mendalam untuk menguji efektivitas pembelajaran serta mengidentifikasi faktor-faktor yang berkaitan dengan perbedaan peningkatan pengetahuan mahasiswa.

6. UCAPAN TERIMA KASIH DAN PERNYATAAN PENDANAAN

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Pendidikan Indonesia yang telah mendanai penelitian serta seluruh pihak yang telah mendukung dan berkontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini.

7. PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN (AI)

Saat penyusunan artikel ini, penulis menggunakan bantuan *chat GPT* dalam pemeriksaan tata bahasa, penyusunan dan penyempurnaan kalimat, serta penataan struktur penulisan. Penulis telah meninjau dan memverifikasi seluruh keluaran AI serta bertanggung jawab penuh atas isi, keakuratan, dan integritas artikel.

8. KONTRIBUSI PENULIS

Kontribusi penulis satu meliputi perumusan masalah, penyusunan metodologi, pelaksanaan pengambilan data, pengolahan serta analisis data. Kontribusi penulis dua dan penulis tiga yaitu membantu penyusunan artikel, melakukan revisi naskah berdasarkan masukan reviewer, dan persetujuan terhadap versi akhir artikel.

9. KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan yang berkaitan dengan penelitian, penulisan, maupun publikasi artikel ini.

REFERENSI

Bhattacharya, Y., & Milne, M. (2009, May). Psychrometric chart tutorial: a tool for understanding human thermal comfort conditions. In *38th American Solar Energy Society Conference, Buffalo* (pp. 11-16).

- Chernikova, O., Heitzmann, N., Stadler, M., Holzberger, D., Seidel, T., & Fischer, F. (2020). Simulation-based learning in higher education: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 90(4), 499–541. <https://doi.org/10.3102/0034654320933544>
- Erdélyi, P., & Rajkó, R. (2016). Using interactive psychrometric charts to visualize and explore psychrometric processes. *Journal of Chemical Education*, 93(2), 391–393. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00779>
- Gupta, P. K., & Patel, R. N. (2017). A teaching–learning tool for elementary psychrometric processes on psychrometric chart using MATLAB. *Computer Applications in Engineering Education*, 25(3), 458–467. <https://doi.org/10.1002/cae.21813>
- Hake, R. R., 1998. Interactive-engagement versus traditional methods: A six thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66 (1), 64-74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Kresta, S. M., & Ayrancı Tansık, İ. (2018). Psychrometric charts in color: An example of active learning for chemical engineering students and faculty members. *Education for Chemical Engineers*, 22, 14–19. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2017.07.003>
- Karadoğan, E., & Karadoğan, F. (2019). Simulation-based learning modules for undergraduate engineering dynamics. *Computer Applications in Engineering Education*, 27(4), 846-862. <https://doi.org/10.1002/cae.22114>
- Mago, P. J., & Luck, R. (2014). Use of computational tools to enhance the study of psychrometric processes for buildings in an air conditioning course. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 42(3), 251–266. <https://doi.org/10.7227/IJMEE.001>
- Mago, P. J., & Long, W. (2016). Implementation of a computational tool to study psychrometric processes in mechanical engineering courses. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 44(1), 29–55. <https://doi.org/10.1177/0306419015625145>
- Agustini, H., Nugraha, R. G., & Hanifah, N. (2024). Pengaruh penggunaan media pembelajaran padlet ULIK (Ular Tangga Interaktif Kreatif) terhadap hasil belajar IPAS siswa kelas IV SD. *Journal of Education Research*, 5(1), 807-814. <https://doi.org/10.37985/jer.v5i1.931>
- Negahban, A. (2024). Simulation in engineering education: The transition from physical experimentation to digital immersive simulated environments. *Simulation*, 100 (7), 695-708. <https://doi.org/10.1177/00375497241229757>
- Patwardhan, M., & Murthy, S. (2015). When does higher degree of interaction lead to higher learning in visualizations? Exploring the role of ‘Interactivity Enriching Features’. *Computers & Education*, 82, 292-305. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.11.018>
- Rohmah, H. N., Suherman, A., & Utami, I. S. (2021). Penerapan problem based learning berbasis STEM pada materi alat optik untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 12(2), 117-123. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v12i2.7900>

- Satria, T., Batubara, J., & Deliani, N. (2025). The Factors Affecting the Learning Process and Outcomes. *TOFEDU: The Future of Education Journal*, 4(8), 4358-4365.
- Wahab, A., Junaedi, J., & Azhar, M. (2021). Efektivitas pembelajaran statistika pendidikan menggunakan uji peningkatan N-gain di PGMI. *Jurnal Basicedu*, 5(2), 1039-1045. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v5i2.845>
- Zhang, Y., Wang, P., Jia, W., Zhang, A., & Chen, G. (2025). Dynamic visualization by GeoGebra for mathematics learning: a meta-analysis of 20 years of research. *Journal of Research on Technology in Education*, 57(2), 437-458. <https://doi.org/10.1080/15391523.2023.2250886>