ANALISIS KINERJA HEATING VENTILATING AIR CONDITIONING BUILDING AUTOMATION SYSTEM PADA LABORATORIUM LISTRIK

Muhammad Agung, Fikri Dwi Nugroho, Murie Dwiyaniti, Anicetus Damar Aji

¹Teknik Otomasi Listrik Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G.A. Siwabessy, Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, 16424, Indonesia

E-mail: muhammad.agung.te17@mhswn.pnj.ac.id, murie.dwiyaniti@elektro.pnj.ac.id

ABSTRACT

BAS is used to optimize system control and performance of HVAC system equipment. This study discusses the performance of miniature BAS for HVAC systems, especially AHU systems in electrical laboratories that use DDC and HMI. The performance of the AHU system was tested on the security system, manual-automatic-interference mode, Modbus to BACnet communication, trend, and sensor performance. As a result, the security system succeeded in limiting the access rights of each user and activating auto log-off after 10 minutes. In manual mode, the digital output is successfully operated via the override switch within 1 second with the input status displayed on the HMI, the motorized damper has a position error of 1.57% and a position accuracy of 98.43%, and a deviation of 0.29 % on the AHU fan's VSD AO. In automatic mode, the system successfully operates in sequence system according to the schedule in the ASHRAE Guideline 13-2015. In the fault mode, the disturbance is detected, displays an alarm message, and activates the safety shutdown. Then, the Modbus to BACnet communication was successfully carried out on the system and the trend was successfully displayed and saved. XML format and the sensor performance were in accordance with the sensor datasheet.

Keywords: AHU, BAS, DDC, HMI, HVAC

ABSTRAK

BAS digunakan untuk mengoptimalkan pengendalian sistem dan kinerja dari peralatan sistem HVAC yang digunakan untuk pengkondisian udara pada suatu gedung. Dalam penelitian ini dibahas kinerja miniatur BAS untuk sistem HVAC khususnya sistem AHU pada laboratorium listrik yang menggunakan DDC sebagai *controller* serta HMI TPC-70. Kinerja sistem AHU diuji pada security system, mode manual, mode otomatis, mode gangguan, komunikasi Modbus ke BACnet dengan *gateway*, monitoring menggunakan trend, dan kinerja sensor dengan menggunakan BAS. Hasilnya, security system berhasil membatasi hak akses tiap user dan mengaktifkan *auto log off* setelah 10 menit. Pada mode manual, output digital berhasil dioperasikan melalui *override switch* dalam waktu 1 detik dengan status input yang ditampilkan pada HMI, analog *motorized damper* mengalami error posisi sebesar 1,57% dan akurasi posisi sebesar 98,43%, dan terjadi deviasi sebesar 0,29% pada output analog VSD fan AHU. Pada mode otomatis, sistem berhasil beroperasi dengan *schedule* sesuai *sequence system* pada pedoman ASHRAE Guideline 13-2015. Pada mode gangguan, gangguan berhasil dideteksi, menampilkan *message alarm*, dan mengaktifkan *safety shutdown*. Kemudian, komunikasi Modbus ke BACnet berhasil dilakukan pada sistem dan *trend* berhasil ditampilkan dan disimpan dalam format .XML serta kinerja sensor sesuai dengan *datasheet* sensor.

Kata kunci: AHU, BAS, DDC, HMI, HVAC

1. PENDAHULUAN

BAS mengoptimalkan pengendalian sistem dan performansi dari peralatan HVAC (*Heating, Ventilating, and Air Conditioning*) pada suatu gedung untuk meningkatkan kenyamanan pemilik pada pengkondisian udara, optimalisasi energi yang digunakan, dan menyediakan *off-site* kontrol dan monitoring gedung [1], [2].

Saat ini, Politeknik Negeri Jakarta khususnya di Laboratorium Listrik telah memiliki miniatur BAS untuk sistem HVAC yang terdiri dari sistem *chiller*, sistem *Air Handling Unit* (AHU), dan sistem *Fan Coil Unit* (FCU). Pengendali BAS menggunakan *Direct Digital Control* (DDC) yang diprogram melalui *software* PS4000.

Direct Digital Control (DDC) merupakan sebuah bentuk *close loop control*. Kata “*Direct*” berarti mikroprosessor pada DDC secara langsung mengontrol loop tersebut dan kata “*Digital*” yang berarti kontrol tersebut dilakukan oleh komponen digital pada mikroprosessor [3]. DDC biasanya disebut *automation station* yang dapat menjalankan fungsi *supervisory* serta pengontrolan [4]. DDC *controller* dapat melakukan kontrol kompleks, memiliki lebih banyak memori serta dapat mengaktifkan alarm dan dapat menghasilkan data trend [5], [6]. Kontrol aktuatur dengan DDC juga lebih akurat karena terdapat *Propotional Integral Derivative* (PID) *Control* [6]. DDC juga dapat berkomunikasi antar *controller* dan komputer operator atau HMI melalui sambungan router. DDC *controller* merupakan *controller* yang paling hemat biaya untuk sistem HVAC [7].

PS4000 adalah sistem perencanaan yang dikembangkan oleh Kieback&Peter. Digunakan untuk pembuatan project dengan bantuan komputer untuk *plant* HVAC [8]. *Automation station* seri DDC4000 serta perangkat pihak ketiga dapat dimasukkan dalam *project*.

Seluruh sistem HVAC dihubungkan sedemikian rupa untuk menghasilkan miniatur BAS yang dapat digunakan sebagai media praktek mahasiswa. Namun, kinerja dari masing-masing peralatan pada miniatur BAS tersebut belum diketahui. Kinerja dari masing-masing peralatan pada miniatur BAS untuk sistem HVAC dapat diketahui melalui rancang bangun program pada *Direct Digital Control* (DDC) dengan PS4000 sesuai dengan sistem kerja, pembuatan program komunikasi Modbus ke BACnet pada MBS *Gateway*, dan pembuatan program HMI pada TPC 70 menggunakan Service Tool. Sehingga tujuan dari penelitian ini

adalah melakukan analisis terhadap kinerja setiap peralatan BAS agar dapat digunakan untuk praktek mahasiswa secara baik dan benar. Kinerja AHU diuji pada *security system*, mode manual, mode otomatis, mode gangguan, komunikasi Modbus ke BACnet dengan *gateway*, monitoring menggunakan trend, dan kinerja sensor dengan menggunakan BAS [9],[10]. Semua kinerja tersebut akan menjadi acuan mahasiswa dalam pembelajaran praktik.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah rancang bangun dan eksperimen. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah.

1. Merancang sistem sesuai arsitektur BAS, mendata spesifikasi peralatan, dan menggambar wiring diagram sistem.
2. Membuat deskripsi kerja dan program DDC menggunakan PS4000, program HMI menggunakan Service Tool, program MBS *Gateway*, dan konfigurasi VSD.
3. Menguji kinerja sistem AHU pada *security system*, mode manual, mode otomatis, mode gangguan, komunikasi Modbus ke BACnet dengan *gateway*, monitoring menggunakan trend, dan kinerja sensor dengan menggunakan BAS.
4. Analisa data yang didapat dengan membandingkan kinerja sistem dengan pedoman atau standar yang ada.

Rancangan miniatur BAS untuk sistem HVAC terlihat pada Gambar 1.

Gambar 1 Rancangan Miniatur BAS

Miniatur sistem BAS untuk sistem HVAC memiliki 5 bagian utama, yaitu *power panel*, *control panel*, sistem *chiller*, sistem AHU, dan sistem FCU. Peralatan miniature BAS terlihat pada Gambar 2.

Gambar 2 Peralatan miniature BAS

Semua *input* berupa sensor temperatur, *humidity* dan kelembapan serta *output* berupa kontrol valve, motorized damper, dan VSD pada sistem terhubung dengan DDC 4040e melalui *switch cabinet bus* BMA4024 dan DDC BMD4064 melalui *Controller Area Network* (CAN) 1. Pada CAN 2 DDC terhubung RBW4305 sebagai *fieldbus* untuk *room temperatur sensor*. HMI, MBS Gateway, dan PC terhubung melalui hub untuk komunikasi dengan DDC 4040e.

Deskripsi kerja miniature BAS ini terdiri dari mode manual, mode otomatis, mode gangguan.

Pada mode manual, setiap peralatan dioperasikan secara manual melalui *test* program *start-stop*. Pada mode kerja otomatis, peralatan sistem beroperasi secara berurutan (*sequence*) sesuai deskripsi kerja yang ditentukan. Semua data yang terjadi pada saat sistem bekerja direkam oleh DDC dan ditampilkan pada HMI. Sedangkan pada mode kerja gangguan dibagi dua yaitu alarm mayor dan minor. Alarm mayor adalah mode kerja gangguan yang mengaktifkan alarm apabila terjadi trip pada sistem. Alarm mayor sistem AHU akan aktif apabila terjadi trip pada *fan* AHU dan EF. Sedangkan, alarm minor adalah mode kerja gangguan yang terjadi apabila terjadi kenaikan atau penurunan temperatur dan tekanan dari limit yang diinginkan. Ketika sistem sudah masuk ke mode kerja gangguan maka DDC akan mengirimkan data ke HMI-TPC70 tentang gangguan yang terjadi dan akan menampilkan alarm. Sistem baru bisa kembali normal jika gangguan sudah direset.

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian *security system* sistem AHU

Security system pada sistem AHU terdiri dari program *code level* (manajemen pengguna) yang digunakan untuk menspesifikasikan hak akses *user*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui fungsi *security system* sesuai hak akses yang diberikan pada suatu program *input* dan mengatur waktu auto *log-off* pada sistem sesuai ASHRAE Guideline 13-2015 mengenai *Specifying Building Automation Systems*.

Pengujian *security system* dilakukan dengan *login* dan tanpa *login user* serta *auto log-off*.

Gambar 3. Tampilan HMI tanpa *Login User*

Gambar 4. Tampilan HMI dengan *Login User*

Pada Gambar 3 terlihat tampilan tanpa *login user (logged off)*. Ketika user tidak *login* (mode tamu) saat masuk *plant*, *override switch* yang digunakan untuk mengatur mode operasi sistem AHU tidak dapat dioperasikan dan menampilkan format *** pada *plant*. Jika user melakukan login, tampilan layer HMI terlihat pada Gambar 4, seluruh *override switch* yang digunakan untuk mengatur mode operasi sistem AHU dapat diakses dan ditampilkan dalam format sesuai program yang dibuat.

Hasil pengujian ini sesuai dengan pedoman ASHRAE *Guideline* 13-2015 mengenai *Specifying Building Automation Systems* pada bagian *security systems* yang menjelaskan keamanan sistem harus dapat dipilih untuk setiap user. Program pada sistem harus dapat membatasi fungsi yang dapat diakses oleh user untuk melihat dan/atau mengubah setiap aplikasi sistem, editor, dan objek. Kesesuaian ini dapat dilihat pada *plant* sistem AHU ketika hak akses pengoperasian dibatasi hanya untuk User 3.

Pada pengujian *auto log-off* ketika sistem tidak lagi mendeteksi *input* atau sentuhan pada HMI TPC-70 maka user akan otomatis *logoff* dari sistem sesuai waktu yang ditentukan *user*. Hal ini sesuai dengan pedoman ASHRAE *Guideline* 13-2015 mengenai *Specifying Building Automation Systems* pada bagian *security systems* yang menjelaskan keamanan sistem mengatur *user* agar secara otomatis *log-off* dari sistem jika tidak ada aktivitas input yang terdeteksi. Jangka waktu *auto log-off* ini dapat diatur oleh *user*.

B. Pengujian Mode Manual Sistem AHU

Tujuan dari pengujian ini, mengetahui kinerja setiap peralatan I/O. Pengujian dilakukan melalui HMI TPC70 dengan mengoperasikan *override switch* mode manual *input digital* dan *input analog* yang telah terhubung pada modul I/O.

Tabel 1 merupakan hasil respons *output digital* ketika mode manual menyesuaikan perintah *input* DDC dari *override switch* dengan waktu respons tiap perangkat terhadap perintah selama ± 1 detik. Waktu respons terhadap perintah *input* DDC memenuhi standar performa sistem BAS berdasarkan pedoman ASHRAE *Guideline* 13-2015 yang menjelaskan mengenai *output digital* akan bereaksi setelah diberi perintah dari *controller* dalam 2 detik. Selain itu, respons *output digital* pada Tabel 1 juga mempengaruhi kondisi tampilan status pada HMI TPC-70. Pada Tabel 2, *output digital* pada *plant* sistem AHU telah merespons sesuai dengan waktu respons standar performa BAS dan menampilkan status yang sesuai dengan respons

output digital yang dioperasikan pada HMI TPC70.

Tabel 1 Pengujian *Output Digital* Mode Manual

Pengujian	Respons Time (s)	Kondisi	
		Status HMI	Output
Lamp OFF	1		
Lamp ON	1		
Close MD1	1		
Open MD1	1		
Close MD2	1		
Open MD2	1		
Stop AHU	1		
Start AHU	1		
Stop EF	1		
Start EF	1		

Pada Tabel 2 dapat dilihat persentase *error* dan akurasi posisi dari tiap posisi *analog motorized damper*. Pada perhitungan didapatkan persentase *error* rata-rata sebesar 1,57% dan akurasi posisi rata-rata sebesar 98,43%. Berdasarkan hal tersebut, akurasi posisi pada hasil pengujian masih memenuhi standar akurasi posisi pada *datasheet analog motorized damper* NM24A-SR sebesar $\pm 5\%$.

Tabel 2 Pengujian *Motorized Damper* MD3

Posisi (%)	Posisi Feedback (%)	Error	Persentase Error (%)	Akurasi Posisi (%)
10	9,50	0,5	5,00	95,00
20	19,80	0,2	1,00	99,00
30	29,50	0,5	1,67	98,33
40	39,30	0,7	1,75	98,25
50	49,50	0,5	1,00	99,00
60	61,30	1,3	2,17	97,83
70	69,40	0,6	0,86	99,14
80	79,30	0,7	0,88	99,13
90	89,20	0,8	0,89	99,11
100	100,50	0,5	0,50	99,50
Error Rata-Rata (%)			1,57	
Akurasi Posisi Rata-Rata (%)				98,43

Pada Tabel 3, *input* manual ke VSD berhasil masuk dan menggerakkan *fan* sesuai dengan *input* frekuensi yang masuk ke VSD. Namun, terdapat perbedaan frekuensi yang masuk ke VSD dengan *input* frekuensi yang dimasukkan oleh *user*. Hal ini terjadi karena adanya deviasi pada *output analog* yang dikeluarkan oleh DDC sehingga terjadi *error* antara tegangan *output* yang diharapkan dengan yang dikeluarkan oleh DDC. Deviasi ini terjadi karena adanya *signal loss* pada sinyal *input* 0-10V dari DDC ke VSD yang disebabkan oleh gangguan listrik dari peralatan seperti *relay*, motor, atau *power supply*.

Tabel 3 Pengujian VSD Fan AHU

Frekuensi VSD (Hz)	Perhitungan Tegangan Output (V)	Pengukuran Tegangan Output (V)
10	2	2,028
20	4	4,025
30	6	6,04
40	8	8,02
50	10	10
Error Rata-rata (%)		0,29

C. Pengujian Mode Otomatis Sistem AHU

Tujuan dari pengujian ini, mengetahui kinerja dari program DDC mode otomatis dan memastikan *sequence program* mode otomatis berfungsi dengan baik berdasarkan *schedule* yang ditentukan *user*.

Pengujian dilakukan pada HMI TPC70 dengan mengoperasikan *switch* mode otomatis pada sistem AHU dan mengamati HMI dan respons *output* sesuai dengan *sequence system*.

Gambar 2 Schedule Sistem AHU

Pada Gambar 5, *schedule* sistem mode otomatis akan ON pada pukul 11.50 dan akan OFF pada pukul 11.55. Aktifnya *schedule* pada mode otomatis ditunjukkan pada *timechart* Gambar 6.

Proses matinya seluruh *device* sekitar 3 menit dari 11.55-11.58. Berdasarkan hal tersebut, *schedule* sistem dan *sequence* program mode otomatis *plant* sistem AHU telah berhasil diimplementasikan pada kondisi otomatis sistem

AHU. Mengacu pada ASHRAE *Guideline* 13-2015 mengenai *sequence system* yang menyatakan sistem harus dapat beroperasi sesuai *sequence* berdasarkan *schedule* yang ditentukan oleh *user*.

Gambar 3 Timechart Mode Otomatis Sistem AHU

Sequence system pada *timechart* Gambar 6 mengacu pada ASHRAE *Guideline* 13-2015 mengenai *safety operation* pada sistem AHU untuk memastikan seluruh peralatan aktif berdasarkan *sequence system* setelah udara pada *ducting* dideteksi pada sistem

D. Pengujian Mode Gangguan Sistem AHU

Pengujian program mode gangguan sistem AHU dilakukan dengan mengaktifkan alarm minor dan mayor ketika sistem sedang beroperasi. Tujuan dari pengujian ini, mengetahui kinerja dari program DDC mode gangguan dan memastikan semua alarm minor dan mayor berfungsi dengan baik.

Ketika terjadi gangguan, status indikator pada HMI TPC70 berubah menjadi merah dan muncul *message* pada HMI TPC70 seperti pada Gambar 7.

Gambar 7 tampilan message alarm pada HMI

Ketika gangguan berupa *trip* terjadi, *fan* akan berhenti berputar dan menampilkan status *stop* dan *trip ON* pada HMI TPC-70. Kemudian, muncul simbol pada HMI TPC-70 ±1 detik. Klik simbol tersebut untuk menampilkan *message alarm malfunction* yang terjadi pada *incoming*. *Message alarm* untuk trip VSD menampilkan dua *message alarm* dengan jarak waktu yang berdekatan yaitu alarm mayor dan alarm VSD AHU. Kondisi ini memenuhi pedoman ASHRAE *Guideline* 13-2015, alarm

respons time pada sistem BAS akan mengirim alarm sistem setelah gangguan terdeteksi ± 1 menit. Selain itu, alarm juga akan menampilkan beberapa *message alarm* dengan interval 1-5 detik sesuai dengan kondisi dan area terjadinya gangguan.

Setelah trip diatasi dan direset, fan akan berputar kembali dan menampilkan *status run* dan trip *OFF* pada HMI TPC-70. Kemudian, muncul simbol pada HMI TPC-70. Klik simbol tersebut untuk menampilkan *message alarm normal*.

E. Pengujian Komunikasi Modbus ke BACnet pada Sistem AHU

Pengujian komunikasi Modbus ke BACnet pada sistem AHU dilakukan untuk memastikan komunikasi modbus ke BACnet melalui MBS Gateway telah berhasil dan data BACnet dapat dibaca oleh program DDC. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan data pembacaan modbus ke BACnet yang ada pada MBS Gateway dengan data yang ditampilkan pada *power meter* HMI TPC70 dan IEM215.

Tabel 3 Tampilan data pada *power meter* IEM215 dan HMI TPC-70

Parameter	Tampilan Power Meter	Tampilan Power Meter pada HMI TPC-70
Tegangan
Arus
T. Energi Aktif
Frekuensi
PF
Daya

Berdasarkan Tabel 3, terdapat perbedaan data pada tampilan *power meter* iEM2150 dengan HMI TPC-70. Hal ini terjadi karena hasil gambar tampilan data *power meter* yang ditangkap kamera tidak dapat menyesuaikan kecepatan *timestamp* data *power meter* sebesar 1 detik perdata pengukuran.

F. Pengujian Trend Sistem AHU

Tujuan dari pengujian ini, memastikan pembacaan sensor dan *power meter* dapat ditampilkan dalam bentuk *trend* serta dapat disimpan dalam bentuk file .XML melalui HMI TPC70 yang mengakses data dari DDC.

Pengujian *trend* data pada sistem AHU dilakukan dengan menampilkan *trend* pada HMI

TPC70 melalui *plant trend customer level*. Kemudian, *trend* yang telah disimpan oleh DDC akan diambil dan disimpan pada PC *client* atau laptop dalam bentuk file .XML.

Gambar 8 Trend Tegangan

Gambar 9 Trend Arus

Gambar 40 Trend Frekuensi

Gambar 51 Trend Total Energi Aktif

Gambar 12 Trend Cos Phi

Gambar 13 Trend Daya

Gambar 14 Trend Temperature Duct Supply – TIC_01.01 pada Sistem AHU

Gambar 15 Trend Humidity Duct Supply – HIC_01.01 pada Sistem AHU

Gambar 16 Tampilan File Data Trend .XML

Trend pada Gambar 8-13 menampilkan trend data dari *power meter* yang diambil per 60 detik. Pada trend dapat dilihat garis vertikal berwarna ungu yang memotong grafik. Hal ini terjadi karena adanya kegagalan pada MBS gateway sehingga *loss of communication* terjadi saat *upload* program dari PS4000 ke DDC4040e pada pukul 09.28. Setelah program DDC ter-*upload*, tampilan grafik normal kembali dan merekam data pembacaan tegangan per 60 detik. Kondisi ini dijelaskan pada ASHRAE Guideline 13-2015 mengenai *limitation* pada Gateway yang menjelaskan kegagalan komunikasi pada gateway akan menyebabkan *loss of communication* antara gateway dengan semua device yang terhubung.

Gambar 14-15 merupakan trend sensor yang digunakan pada plant sistem AHU. Trend sensor ini diaktifkan untuk memonitoring dan mendata kondisi pembacaan sensor pada plant sistem AHU agar kondisi alarm minor dapat didata oleh user. Trend yang ditampilkan pada plant sistem AHU juga telah sesuai dengan pedoman ASHRAE Guideline 13-2015 mengenai standar X-Y trend plot yang menjelaskan tampilan trend dapat diatur pada posisi X/Y sesuai kebutuhan user dan dapat dilihat berdasarkan periode waktu, hari, dan bulan.

Trend log pada plant sistem AHU juga dapat disimpan atau di-export dalam format standar seperti .XML pada Gambar 16.

4. KESIMPULAN

1. *Security system* sistem AHU berhasil membatasi hak akses tiap user dan mengaktifkan *auto log-off* setelah 10 menit user yang login tidak memberikan input pada sistem.
2. Mode manual pada plant sistem AHU berhasil digunakan untuk mengoperasikan seluruh device sesuai kondisi manual tiap device. *Output digital* berhasil dioperasikan melalui *override switch* dalam waktu 1 detik dengan status input yang terdeteksi dan ditampilkan pada HMI, *analog motorized damper* mengalami error posisi sebesar 1,57% dan akurasi posisi sebesar 98,43%,

- dan terjadi deviasi sebesar 0,29% pada output analog VSD fan AHU.
3. Mode otomatis, sistem berhasil beroperasi dengan *schedule* sesuai *sequence system* pada pedoman ASHRAE *Guideline 13-2015*.
 4. Mode gangguan berhasil mendeteksi gangguan, menampilkan *message alarm*, dan mengaktifkan *safety shutdown*.
 5. Komunikasi Modbus ke BACnet pada power meter menggunakan MBS *Gateway* berhasilkan menampilkan data yang sesuai pada *timestamp* yang sama.
 6. *Trend* yang ditampilkan pada plant sistem AHU dapat diatur pada posisi X/Y sesuai kebutuhan user dan dapat dilihat berdasarkan periode waktu, hari, dan bulan. Selain itu, *trend log* pada *plant* sistem AHU juga dapat disimpan atau di-*export* dalam format standar seperti .XML.
- Peter, 2020.
- [9] D. B. Kahn *et al.*, *ASHRAE Guideline 13-2015, Specifying Building Automation Systems*. Atlanta: ASHRAE 1791, 2015.
- [10] Tang, Shu, et al. " BIM assisted Building Automation System information exchange using BACnet and IFC." *Automation in Construction* 110. 103049. 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. H. Chandra, I. B. A. Swamardika, and A. A. G. M. Pelayun, Meningkatkan Penghematan Konsumsi Energi Di Hotel Langham District 8 Scbd Jakarta, *J. Spektrum*, vol. 7, no. 3, pp. 1–7, 2020.
- [2] P. Mandarani and Zaini, Pengembangan Sistem Monitoring Pada Building Automation System (Bas) Berbasis Web Di Fakultas Teknik Universitas Andalas, *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 4, no. 2, pp. 7–16, 2015.
- [3] R. A. Panke, *Energy Management Systems and Direct Digital Control*. 2020.
- [4] P. Domingues, P. Carreira, R. Vieira, and W. Kastner, Building automation systems: Concepts and technology review, *Comput. Stand. Interfaces*, vol. 45, pp. 1–12, 2016, doi: 10.1016/j.csi.2015.11.005.
- [5] W. Wang, M. R. Brambley, W. Kim, S. Somasundaram, and A. J. Stevens, Automated point mapping for building control systems: Recent advances and future research needs, *Autom. Constr.*, vol. 85, no. July 2017, pp. 107–123, 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2017.09.013.
- [6] ASHRAE Technical Committee, *ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating and Air-Conditioning Applications Inch-Pound Edition*, Inch-Pound. Atlanta: ASHRAE, 2015.
- [7] C. S. ASHRAE Technical Committee 9.11, *ASHRAE Design Guide for Cleanrooms : Fundamentals, Systems, and Performance*. Atlanta: ASHRAE Technical Committee 9.11, Clean Spaces., 2017.
- [8] Kieback Peter, *Manual PS4000 V4.5.0 FUNCTIONS*, 1st ed. Berlin: Kieback