

Implementasi Monitoring Suhu dan Kelembaban Ruang *Living Wall* HVAC menggunakan NI LabVIEW

Ifan Azriel Eka Sasmita¹, Muhammad Rifai², Fitri³, Anindya Dwi Risdhayanti, Wahyu Tri Wahono⁵

e-mail: ivanazriel25@gmail.com, muh.rifai@polinema.ac.id, fitri@polinema.ac.id,

risdhayanti@polinema.ac.id, wahyu_tri@polinema.ac.id

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 8 Agustus 2023

Direvisi 11 September 2023

Diterbitkan 30 September 2023

Kata kunci:

Living wall

HVAC

Model Predictive Control

LabVIEW

Keywords:

Living wall

HVAC

Model Predictive Control

LabVIEW

ABSTRAK

Kemajuan dalam pemantauan suhu dan kelembaban menggunakan berbagai teknologi dan sensor. Integrasi platform IoT dan papan Arduino telah memungkinkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh, sementara LabVIEW telah digunakan untuk memantau indikator kualitas air dalam beberapa penelitian. Perkembangan ini memberikan wawasan berharga dan pendekatan potensial untuk pengembangan sistem pemantauan suhu dan kelembaban menggunakan NI LabVIEW. Seperti pada sistem proses *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC), kontrol pada proses pengkondisian suhu dan kelembaban udara dapat dikontrol dan dimonitoring. Metode kontrol yang digunakan pada pengendalian suhu dan kelembaban baiknya bekerja secara linier dan memiliki kestabilan kontrol yang baik. Oleh karena itu, pada penelitian ini dirancang *miniplant* untuk mengatur suhu dan kelembaban ruangan *living wall* menggunakan sistem HVAC dengan metode *Model Predictive Control* (MPC) dan LabVIEW sebagai *Graphical User Interface* (GUI). Pada penelitian ini, didapatkan hasil pemantauan suhu dan kelembaban menggunakan NI LabVIEW secara real-time dapat terintegrasi dengan baik dan memudahkan pengguna dalam memantau performa kerja sistem sehingga jika ada error dapat ditangani dengan cepat.

ABSTRACT

The advancements in monitoring temperature and humidity using various technologies and sensors. The integration of IoT platforms and Arduino boards has enabled remote monitoring and control, while LabVIEW has been utilized for monitoring water quality indicators in some studies. These developments provide valuable insights and potential approaches for the development of a temperature and humidity monitoring system using NI LabVIEW. As in the Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) system, control over temperature and air humidity conditioning processes can be managed and monitored. It's preferable that the control methods used for temperature and humidity regulation work in a linear manner and exhibit good control stability. Therefore, in this research, a mini-plant was designed to regulate the temperature and humidity of a living wall room using an HVAC system with the Model Predictive Control (MPC) method and LabVIEW as the Graphical User Interface (GUI). In this research, the results obtained from monitoring temperature and humidity using NI LabVIEW in real-time can be integrated well and make it easier for users to monitor system work performance so that if there are errors they can be handled quickly.

Penulis Korespondensi:

Ifan Azriel Eka Sasmita

Jurusan Teknik Elektrox

Politeknik Negeri Malangx

Jl. Soekarno Hatta No. 9xMalang, Jawa Timur, Indonesia, 65141.

Email: ivanazriel25@gmail.com



1. PENDAHULUAN

Perkembangan zaman yang pesat saat ini berdampak pada efektivitas pekerjaan manusia. Contohnya pada bidang industri, proses yang ada pada industri dapat dikontrol dan dimonitoring sehingga proses pada industri semakin efisien dan fleksibel [1]. Proses pengontrolan dan pemantauan proses pada industri juga harus memenuhi standar yang baik agar mudah dipahami oleh pekerja-pekerja yang lain. Contoh *software* yang banyak digunakan untuk kebutuhan proses yang ada pada industri adalah LabVIEW. LabVIEW atau *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench* adalah sebuah *software* pemrograman yang berbasis gambar atau grafis dan *National Instrument* sebagai manufaktornya. Seiring dengan maraknya industri yang memakai *software* ini, LabVIEW perlu dikuasai khususnya mahasiswa jurusan Elektro [2]. Meskipun *software* ini berbasis gambar atau grafis, fungsi-fungsi komponen yang ada didalamnya sama dengan *software* pemrograman lain yang berbasis teks. Program yang ada didalam LabVIEW disebut dengan VI (*Virtual Instrument*) karena komponen pada program dapat mewakili dan mengeksekusi komponen fisik seperti *push button*, *switch*, osiloskop dan sebagainya [3]. Jadi LabVIEW memungkinkan pengguna untuk melakukan pengendalian dan monitoring secara spesifik pada tiap-tiap komponen [4].

Pada penelitian ini, implementasi LabVIEW berfungsi untuk mengontrol dan memonitoring serta menjadi *interface* pada sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*). HVAC adalah sistem AC yang menyerupai AC *split* namun menggunakan air atau udara sebagai refrigeran [5]. Namun, HVAC pada umumnya masih bersifat sentral dan membutuhkan biaya yang cukup tinggi karena komponen yang memiliki skala yang besar sehingga kurang efisien untuk diimplementasikan pada penelitian ini karena penelitian ini menggunakan tanaman vertikal yang digabungkan dengan HVAC sebagai pengkondisi suhu dan kelembaban pada ruangan. Tanaman vertikal berfungsi untuk pembersih udara alami dalam ruangan sehingga udara yang diproses pada sistem HVAC tidak terlalu kotor dan dipenuhi bakteri. Hasil yang ditunjukkan pada penelitian [6]–[8] menunjukkan bahwa tanaman vertikal dapat menurunkan kadar bakteri dan polusi yang ada pada ruangan hingga 15% dan dapat menurunkan suhu ruangan hingga sebanyak 7°C.

Metode kontrol yang dipakai juga harus sesuai dengan sistem yang dipakai. Menurut pengetahuan penulis, metode kontrol yang cocok untuk pengendalian suhu dan kelembaban dengan *peltier thermoelectric* sebagai aktuatornya adalah MPC (*Model Predictive Control*). MPC digunakan karena sistem suhu yang bersifat linear membutuhkan kontrol yang baik dan memiliki error sekecil mungkin. MPC merupakan metode kontrol yang mempertimbangkan kejadian di masa kini dengan perhitungan prediksi di masa mendatang sehingga kinerja proses dapat ditingkatkan [9]. Pada penelitian [10] ditunjukkan bahwa dengan menggunakan LabVIEW, pengendalian tiap-tiap komponen dapat ditunjukkan sehingga putaran motor pada penelitian tersebut dapat berfungsi sesuai *setpoint* dengan nilai *overshoot* dan *error steady state* yang kecil.

Penelitian-penelitian lain juga mengeksplorasi berbagai aplikasi seperti pemantauan suhu dan kelembaban dalam budidaya jamur [11], laboratorium kalibrasi [12], peternakan ayam broiler [13], kelembaban dan suhu tanah untuk tanaman bawang merah [14], dan irigasi tanaman [15]. Penelitian tersebut telah memanfaatkan berbagai sensor seperti DHT22, DHT11, BME280, DS18B20, dan CSMS untuk mengukur suhu dan kelembaban secara akurat.

Penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) sangat menonjol dalam penelitian ini, yang memungkinkan pemantauan jarak jauh dan pengendalian suhu dan kelembaban. Integrasi platform IoT seperti NodeMCU ESP8266 dan Wemos D1 telah memungkinkan transmisi dan kontrol data secara real-time melalui server web dan aplikasi seluler [16]. Selain itu, penerapan papan Arduino sebagai pengontrol utama telah memfasilitasi otomatisasi pengaturan suhu dan kelembaban. Selain itu, LabVIEW telah digunakan dalam beberapa penelitian untuk memantau indikator kualitas air seperti pH dan suhu [17].

Oleh karena itu, pada penelitian ini dibuat *miniplant* sistem pengkondisian suhu dan kelembaban ruangan *living wall* menggunakan sistem HVAC dengan DHT22 sebagai sensor untuk mendeteksi suhu dan kelembaban yang dihasilkan oleh sistem, MPC sebagai metode kontrol yang akan mengoptimasi dan membandingkan suhu aktual

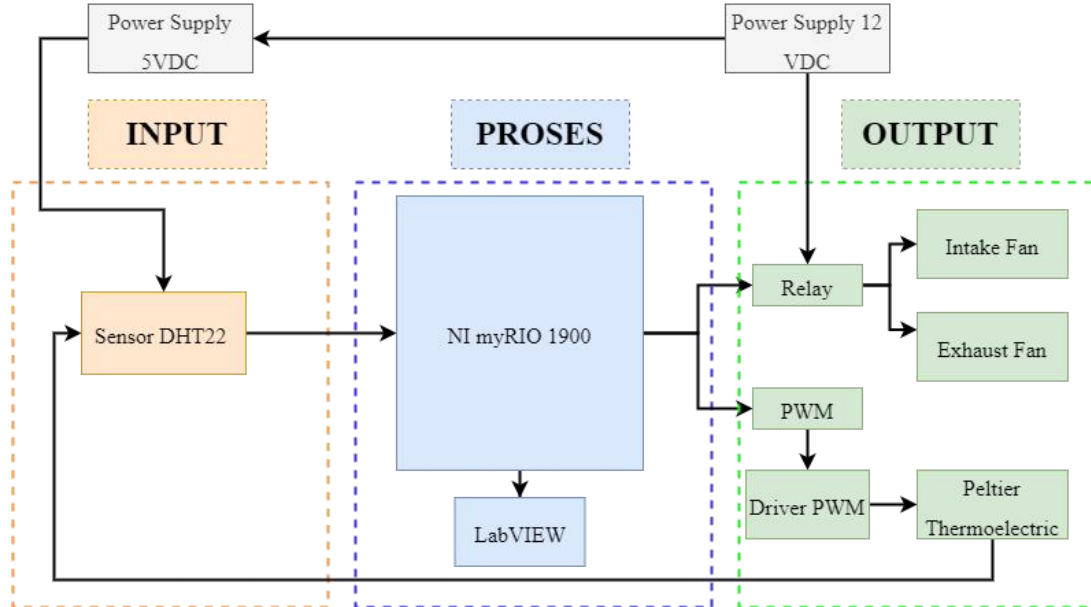


dengan suhu *setpoint*, dan *peltier* sebagai aktuator untuk mendinginkan suhu udara untuk dihembuskan ke ruangan *living wall* menggunakan bantuan *fan* DC.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem merupakan sebuah diagram yang menjelaskan alur setiap komponen yang berperan sebagai input, proses, dan juga output.



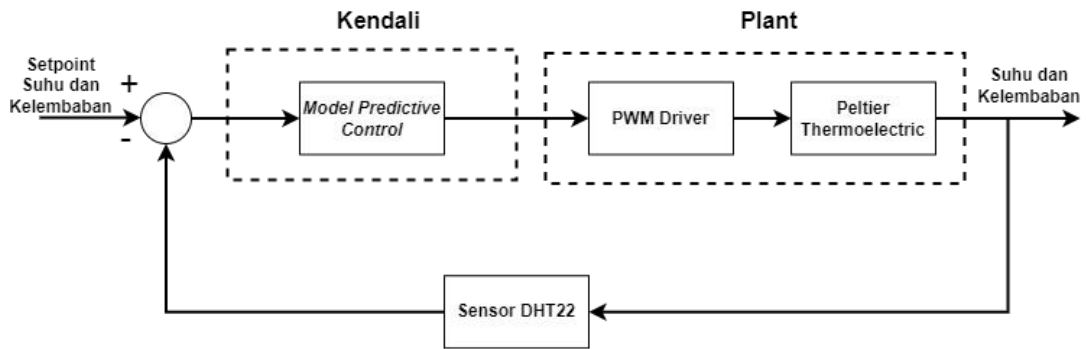
Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Pada Gambar 1 terdapat 2 buah *supply* yaitu 12VDC dan 5VDC. *Supply* 12VDC berfungsi untuk sumber tegangan untuk aktuator dan myRIO 1900 sedangkan *supply* 5VDC berfungsi sebagai sumber tegangan untuk mengaktifkan sensor DHT22. Pada blok input, terdapat sensor DHT22 untuk mendeteksi suhu dan kelembaban yang menjadi sinyal *feedback* dari *peltier thermoelectric*. Pada blok proses, terdapat NI myRIO 1900 dengan bantuan LabVIEW sebagai *interface*. NI myRIO berfungsi sebagai mikrokontroler dan memproses sinyal digital yang dikirim oleh DHT22 dan mengirimkan sinyal ke *relay* dan *driver* PWM untuk mengaktifkan aktuator. LabVIEW juga berfungsi sebagai tempat konfigurasi MPC sebagai metode kontrol. MPC akan melakukan optimasi dengan membandingkan nilai *feedback* dari DHT22 dengan *setpoint* yang berbentuk *array* untuk mengaktifkan *driver* PWM secara linear sesuai dengan nilai *duty cycle* yang telah diberikan dari hasil prediksi dari kontrol MPC. Pada blok output, terdapat *yang* berfungsi untuk mengaktifkan *intake* dan *exhaust* fan sesuai dengan logika HIGH atau LOW dari myRIO 1900. *Driver* PWM yang berfungsi untuk memproses sinyal PWM yang telah dikirim dari myRIO 1900 dan disalurkan ke *peltier thermoelectric* untuk mengaktifkannya dengan variasi arus sesuai dengan besar PWM yang telah diberikan.

2.2 Diagram Blok Kontrol

Diagram blok kontrol merupakan diagram yang berguna untuk menjelaskan alur dari bagaimana sistem dapat bekerja. Diagram blok kontrol ditunjukkan oleh Gambar 2.



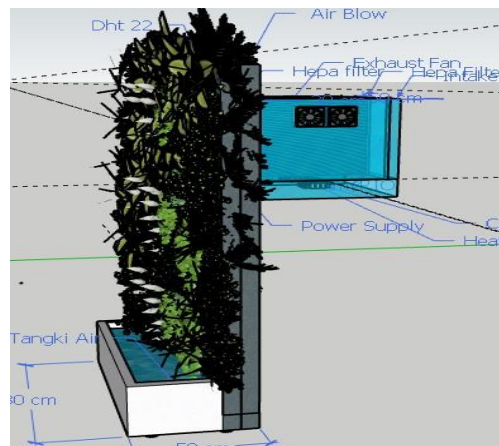


Gambar 2 : Diagram Blok Kontrol

Diagram blok kontrol diatas memperlihatkan plant dengan sinyal input dan output berupa suhu dan kelembaban. Pada blok kendali, terdapat metode kontrol yaitu *Model Predictive Control* (MPC). MPC ini berguna menentukan sinyal kontrol yang akan dibuat atau memprediksi sinyal kontrol dimasa mendatang. Hal tersebut diperoleh dari data error dari setpoint dan hasil pembacaan sensor DHT22. Kemudian hasil data dari *Model Predictive Control* yang dinotasikan sebagai N_c atau *Control Horizon* dikirim ke *PWM driver* untuk didapatkan nilai *duty cycle* yang tepat sesuai dengan prediksi yang dilakukan oleh MPC. *Duty cycle* yang telah didapatkan akan mengaktifkan *peltier thermoelectric* secara linier sehingga kinerja sistem akan semakin baik dengan berkurangnya *overshoot* dan *error steady state*. Kemudian, data suhu dan kelembaban akan dibaca kembali oleh DHT22 dan dikirim kembali ke proses kendali sebagai sinyal *feedback* dan dibandingkan kembali dengan *setpoint* yang diinginkan. Sistem tersebut akan terus berjalan sampai nilai N atau *horizon* terpenuhi.

2.3 Perancangan Mekanik

Pada perancangan mekanik, sistem HVAC yang akan diimplementasikan ke sistem *living wall* harus kompatibel. Perawatan mudah, minimalis, serta harga yang murah menjadi faktor alat yang akan dibuat pada penelitian ini memiliki panjang 81 cm, lebar 50 cm, dan tinggi 184 cm. Gambar 3 menunjukkan perancangan mekanik sistem HVAC pada *living wall*. Kemudian Gambar 4, 5, 6 menunjukkan bentuk fisik dari sistem pengendalian suhu dan kelembaban ruangan *living wall* menggunakan sistem HVAC



Gambar 3. Perancangan Mekanik

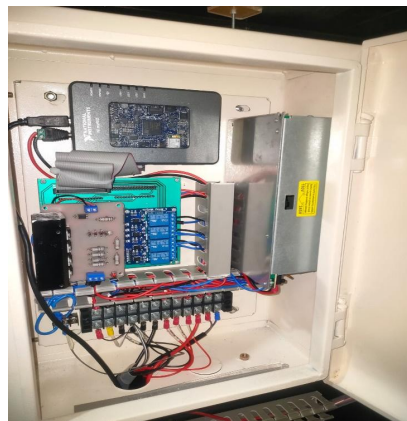




Gambar 4. Bentuk *Living Wall*/Tampak Depan



Gambar 5. Bentuk Sistem HVAC



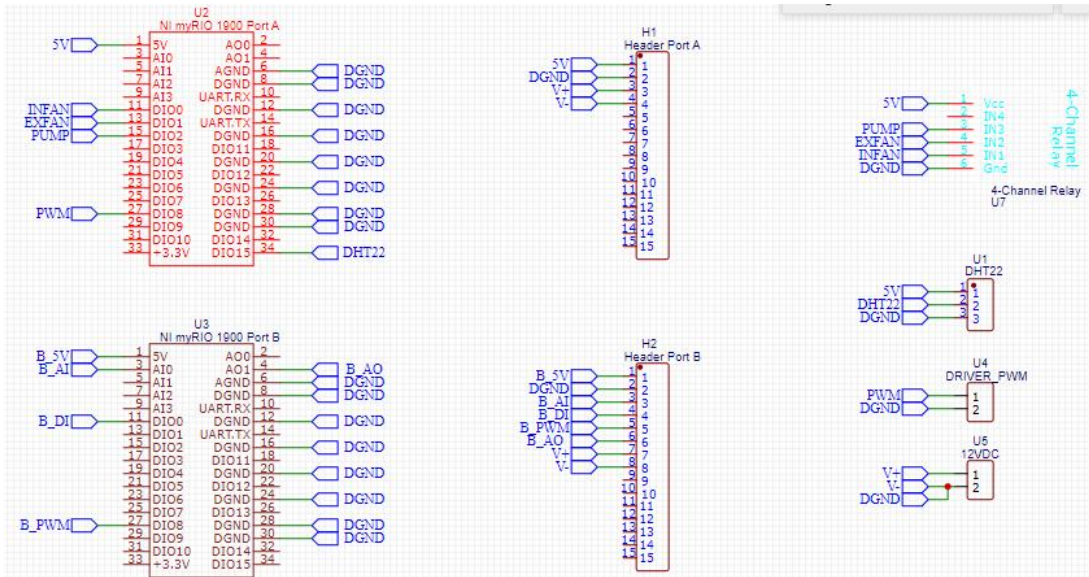
Gambar 6. Control Panel

Gambar 4 menunjukkan bentuk luar dari sistem *living wall* yang menyerupai lemari. Kemudian dibagian dalamnya ada sistem HVAC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dimana sistem HVAC berfungsi sebagai proses pengkondisian suhu dan kelembaban untuk dihembuskan ke ruangan. Pada Gambar 6, *control panel* berfungsi untuk tempat rangkaian elektrik berada agar mudah dijangkau oleh pengguna dan memudahkan pengguna untuk melakukan *troubleshooting* khususnya pada komponen elektrik.

2.4 Perancangan Elektrik

Perancangan elektrik dilakukan agar rangkaian elektrik yang akan dibuat mudah dipahami oleh pengguna. Dimana setiap port dan pin yang akan digunakan telah ditunjukkan pada perancangan elektrik. Gambar 7 merupakan rangkaian elektrik keseluruhan sistem. Pada mikrokontroler NI myRIO 1900, *port* utama yang digunakan adalah *port* A sedangkan *port* B digunakan untuk *port* cadangan. Setiap *port* pada myRIO ditambahkan *port* eksternal berupa *header* untuk memudahkan pemasangan kabel pada tiap komponen selanjutnya.





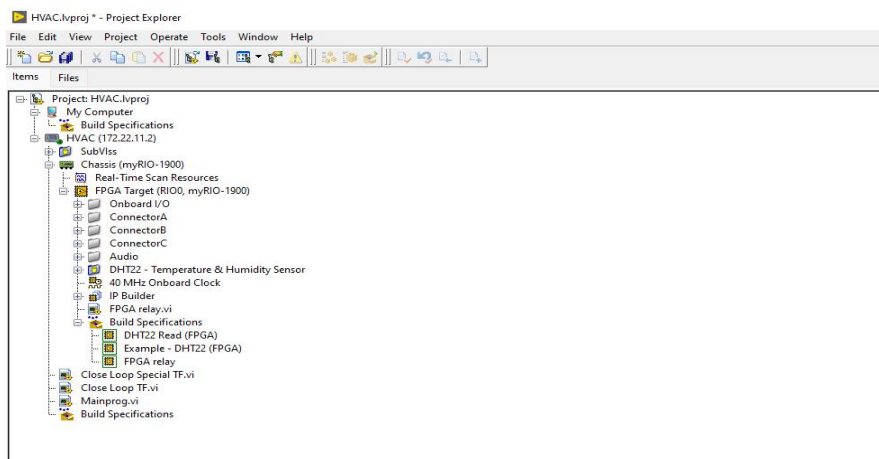
Gambar 7. Perancangan Elektrik Keseluruhan

2.5 Perancangan Program Pada LabVIEW

Agar sistem berjalan dengan baik, maka perancangan program pada LabVIEW harus benar dan disesuaikan dengan komponen-komponen yang digunakan. Setiap komponen yang digunakan harus terdaftar pada *library* LabVIEW. Maka dari itu, sebelum membuat program VI diharuskan mengecek terlebih dahulu *library* tiap komponen. Apabila tidak ada, maka dapat diunduh pada *website* resmi *National Instruments* atau kita dapat membuat *library* sendiri karena LabVIEW memungkinkan pengguna untuk mengkonfigurasi tiap-tiap fungsi dengan mengacu pada *project hierarchy*.

2.5.1 Membuat Project Pada LabVIEW

Sebelum membuat program pada LabVIEW, terlebih dahulu membuat *project* yang akan diimplementasikan pada sistem. Hal ini penting dilakukan agar *project* yang telah dikonfigurasi sesuai dengan komponen yang akan digunakan untuk membuat *miniplant* pada penelitian ini. Konfigurasi *project* pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Project Sheet pada LabVIEW

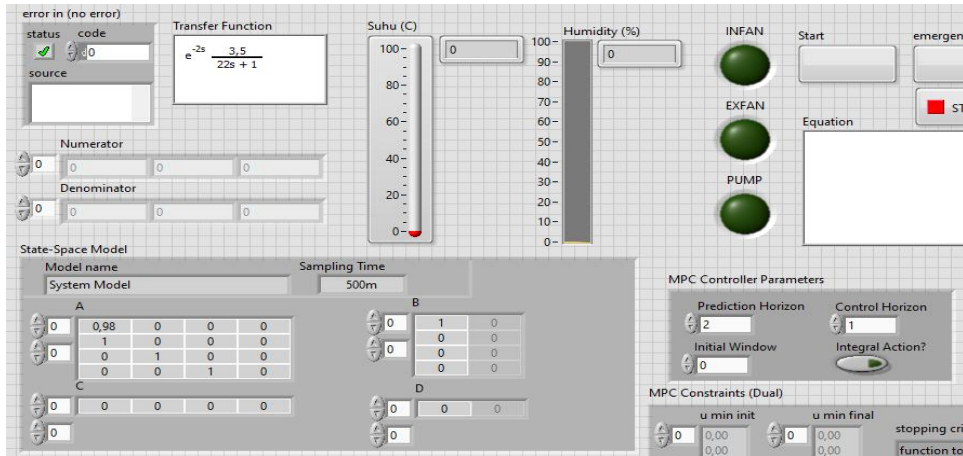
Pada penelitian ini, judul *project* yang dibuat adalah HVAC dengan tipe *customize* FPGA VI. Nama myRIO yang digunakan adalah HVAC dengan IP *address* 172.22.11.2 yang dapat dihubungkan dengan PC dengan bantuan internet atau kabel USB. FPGA *target* menunjukkan *library* yang dimasukkan pada *project* pada penelitian ini. Pada



bagian *build specifications*, terdapat FPGA yang telah diinstal dan siap dijalankan pada program yang akan dieksekusi pada sistem. Lalu ada beberapa VI yang merupakan *main program* atau *side program* yang akan dijalankan untuk mengeksekusi sistem.

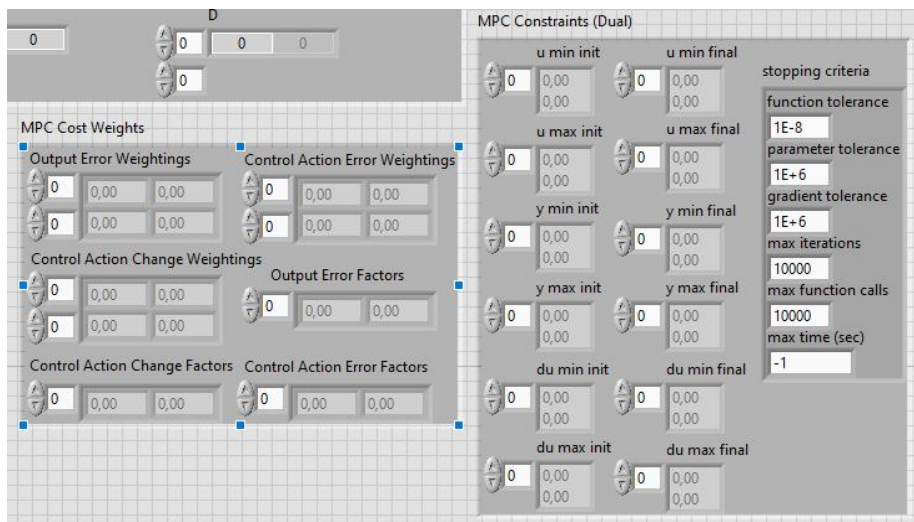
2.5.2 Perancangan *Front Panel* Pada LabVIEW

Pada perancangan front panel pada LabVIEW, penggunaan dan tata letak komponen pada front panel sangat penting untuk memudahkan pengguna mengakses dan memonitoring suhu dan kelembaban pada sistem. *Front panel* merupakan *interface* utama pada pengguna dalam mengoperasikan LabVIEW. Gambar *front panel* ditunjukkan pada Gambar 9, 10, dan 11.



Gambar 9. *Front Panel* pada LabVIEW (1)

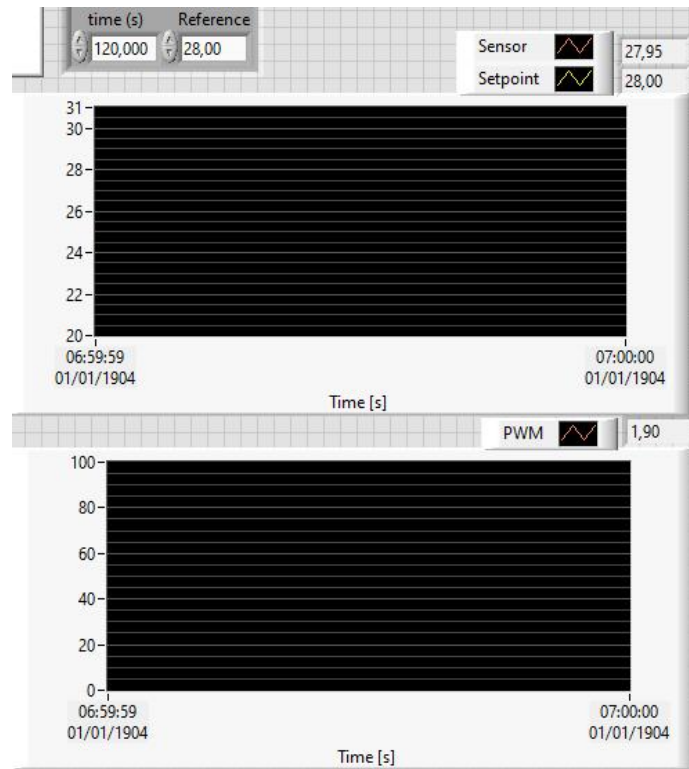
Pada *front panel* bagian 1, Terdapat tabel matriks yaitu *numerator* dan *denominator* dimana format pada kedua tabel tersebut akan menentukan persamaan pada *transfer function box*. Selanjutnya, persamaan *transfer function* akan dirubah oleh *built in* MPC menjadi bentuk *model state space* dan akan menunjukkan matriks A, B, C, D. Pada *MPC Controllers Parameters* menunjukkan N_p (*prediction horizon*) dan N_c (*control horizon*) yang memengaruhi bentuk respon sistem. Indikator suhu dan kelembaban menunjukkan hasil pembacaan sensor dari DHT22. Lampu indikator *intake fan*, *exhaust fan*, dan *pump* menunjukkan respon aktuator saat diberikan logika HIGH atau LOW dari LabVIEW. *Push button start*, *stop*, dan *emergency* digunakan untuk memulai dan menghentikan sistem.



Gambar 10. *Front Panel* pada LabVIEW (2)



Pada *front panel* bagian 2, terdapat tabel *cost weights* dimana didapatkan pada perhitungan matriks *weightings* dan vektor x dari *built in* MPC. Kemudian pada tabel *constraint* atau batasan-batasan pada sistem, terdapat *range* yang dapat ditentukan mengacu pada batas minimum dan maksimum sensor DHT22 dan besar *duty cycle* yang dapat disalurkan ke *driver PWM*. Pada *front panel* bagian 3, terdapat grafik sensor DHT22 dan grafik sinyal kontrol dari sistem.

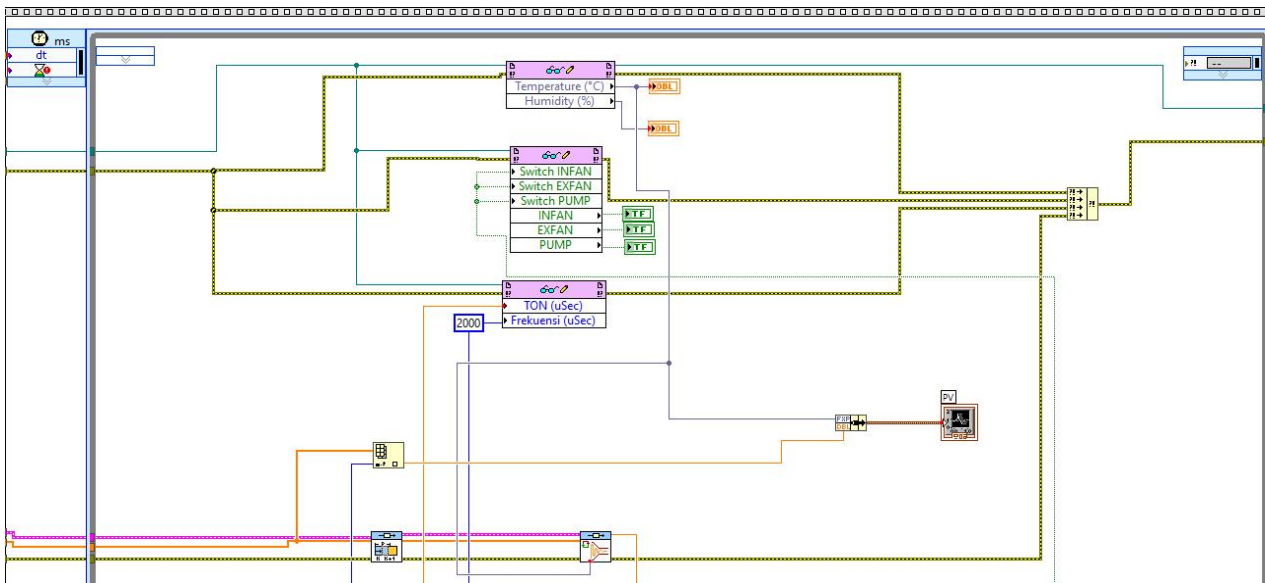


Gambar 11. *Front Panel* pada LabVIEW (3)

2.5.3 Perancangan *Block Diagram* Pada LabVIEW

Pada perancangan block diagram, komponen-komponen pada front panel dikonfigurasi disini. Dimana fungsi dari tiap komponen front panel dilambangkan dengan simbol dan dihubungkan dengan garis yang membuat fungsi dari komponen berkesinambungan menjadi satu sistem. *Block Diagram* pada LabVIEW ditunjukkan pada Gambar 12. Pada *block diagram*, proses sistem dan fungsi tiap komponen sama dengan yang dijelaskan pada *front panel*. Dimulai pada deklarasi parameter MPC dan *transfer function*. Kemudian, pembacaan DHT22 dimasukkan pada fungsi *read/write* FPGA dan sinyal yang ada akan ditampilkan pada grafik sensor beserta *setpoint* yang telah ditentukan.



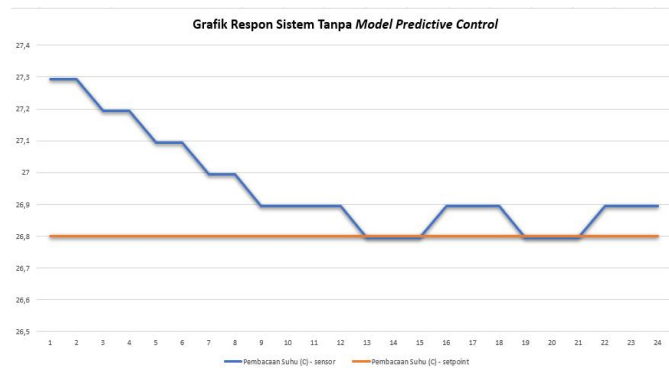


Gambar 12. Block Diagram Pada LabVIEW

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Sistem Tanpa Model Predictive Control

Pada pengujian sistem tanpa *Model Predictive Control*, sistem berjalan tanpa diberi kontrol MPC sehingga aktuator akan aktif jika suhu yang terbaca pada DHT22 kurang dari *setpoint* yang ditentukan sedangkan apabila jika suhu DHT22 melebihi *setpoint*, maka aktuator akan mati. Gambar 13 menunjukkan respon sistem tanpa kendali MPC.

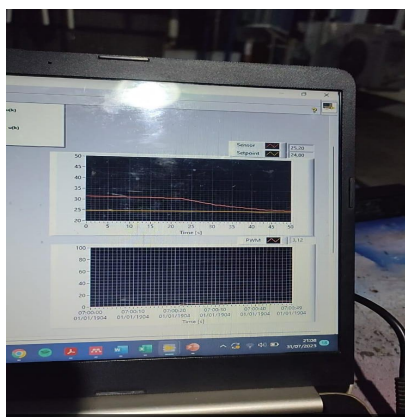


Gambar 13. Grafik Respon Sistem Tanpa Kontrol MPC

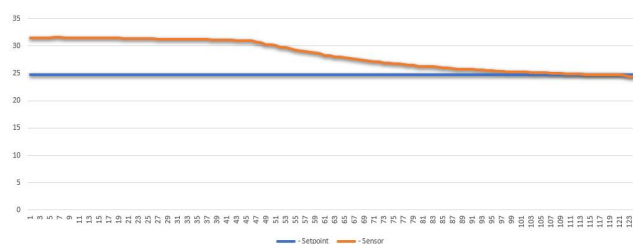
3.2 Pengujian Sistem Dengan Model Predictive Control

Pada pengujian sistem dengan *Model Predictive Control*, sistem berjalan dengan kendali dan memperoleh optimasi yang dilakukan oleh *built in* MPC. Dimana, hasil pembacaan sensor DHT22 akan dimasukkan ke fungsi *CD Implement MPC* untuk dijadikan sinyal *feedback* untuk dibandingkan dengan *setpoint profile*. Kemudian, sinyal $u(k)$ atau sinyal kontrol disalurkan ke *driver PWM* sesuai dengan perhitungan pada pembacaan suhu dengan mempertimbangkan *cost* dan *constraints* sistem. Gambar 14 menunjukkan proses kendali dan *monitoring* suhu dan kelembaban secara *real time*.





Gambar 14. Kontrol Suhu dan Kelembaban Ruang secara *Real Time*



Gambar 15. Grafik Respon Sistem dengan kendali MPC saat $N_p=185$ dan $N_c=85$

Kemudian, Gambar 15 menunjukkan grafik respon sistem dengan kendali MPC dari hasil *mapping* grafik respon sistem pada Gambar 14. Pada grafik respon sistem dengan kendali MPC, sistem mempunyai respon yang baik dengan mempunyai nilai overshoot sebesar 28,92, steady state sebesar 83 detik, error steady state sebesar 0,005, dan rise time sebesar 48,62 detik.

4. KESIMPULAN

Dalam pengujian sistem pengendalian suhu dan kelembaban dengan implementasi MPC, *software* LabVIEW mampu untuk menampilkan data secara *real time* dengan *interface* yang jelas dan fleksibel sehingga memudahkan pengguna untuk melakukan kendali dan *monitoring* suhu dan kelembaban. Fitur *built in* MPC pada LabVIEW juga berjalan dengan baik. Hal ini dibuktikan pada respon sistem yang memiliki *overshoot* yang kecil dan *error steady state* yang kecil juga mengacu pada prinsip dasar kendali MPC. Pada sekian kali percobaan, sistem berjalan dengan baik pada saat $N_p=150$ dan $N_c=85$.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pembuatan penelitian ini, penulis mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Muhammad Rifai, ST., MT. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan serta arahan selama penyusunan jurnal ini.
2. Bu Fitri, ST., MT. selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan serta arahan selama penyusunan jurnal ini.
3. Bu Anindya Dwi Risdhayanti yang membimbing dan membantu penulis untuk menyusun penelitian ini
4. Kedua orang tua serta keluarga besar penulis yang telah memberikan semangat dan doa.
5. Teman – teman kelas 4D D4 Teknik Elektronika angkatan 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. D. S. Pongoh, M. Budiman, D. Kantohe, and V. Lumentut, "Prosiding The 12 th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung," 2021.
- [2]. R. Bangun *et al.*, "ELIT JOURNAL (Electrotechnics And Information Technology)," 2020.
- [3]. C. Rainieri, I. G. Fabbrocino, I. E. Cosenza, and I. G. Manfredi, "IMPLEMENTATION OF OMA PROCEDURES USING LABVIEW: THEORY AND APPLICATION." [Online]. Available: www.ni.com
- [4]. C. Elliott, V. Vijayakumar, W. Zink, and R. Hansen, "National Instruments LabVIEW: A Programming Environment for Laboratory Automation and Measurement," *J Lab Autom*, vol. 12, no. 1, pp. 17–24, 2007, doi: 10.1016/j.jala.2006.07.012.



- [5]. J. Rehrl and M. Horn, "Temperature control for HVAC systems based on exact linearization and model predictive control," *Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications*, pp. 1119–1124, 2011, doi: 10.1109/CCA.2011.6044437.
- [6]. A. R. Luddityawan, A. M. Nugroho, and H. A. Razziati, "TAMAN VERTIKAL SEBAGAI PENDINGINAN ALAMI PADA RUMAH SEDERHANA SEHAT GRIYA SAXOPHONE KECAMATAN LOWOKWARU-KOTA MALANG," 2001.
- [7]. S. Putri Darlina, B. Sasmito, and B. Darmono Yuwono, "ANALISIS FENOMENA URBAN HEAT ISLAND SERTA MITIGASINYA (STUDI KASUS : KOTA SEMARANG)," 2018.
- [8]. R. Widiastuti, E. Prianto, W. Setia Budi, D. Jurusan Arsitektur Universitas Diponegoro, G. Besar Jurusan Fisika, and R. Artikel, "EVALUASI TERMAL DINDING BANGUNAN DENGAN VERTICAL GARDEN," 2014. [Online]. Available: www.greensreen.com,-
- [9]. J. Mei, B. Zhu, and X. Xia, "Model predictive control for optimizing indoor air temperature and humidity in a direct expansion air conditioning system," *Proceedings of the 2015 27th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2015*, pp. 2491–2496, 2015, doi: 10.1109/CCDC.2015.7162340.
- [10]. H. Syuhada, S. Siregar, S. Adinandra, and M. Sc, "Model Predictive Control (MPC) untuk Sistem Motor DC Berbasis LabVIEW."
- [11]. Andre, H., Pratama, F., Pahlevi, M., Afif, M., Fitri, S., Pratama, R., ... & Hikmatullah, M. (2022). Perancangan monitoring suhu dan kelembaban pada kumbung jamur berbasis internet of things. *Electron Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 3(1), 26-32. <https://doi.org/10.33019/electron.v3i1.14>
- [12]. Awaluddin, M., Syahrir, S., & Zarkasi, A. (2022). Rancang bangun prototipe monitoring suhu dan kelembaban udara berbasis internet of things (iot) pada laboratorium kalibrasi balai pengujian dan sertifikasi mutu barang samarinda. *Progressive Physics Journal*, 3(1), 132. <https://doi.org/10.30872/ppj.v3i1.910>
- [13]. Hadyanto, T. and Amrullah, M. (2022). Sistem monitoring suhu dan kelembaban pada kandang anak ayam broiler berbasis internet of things. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam*, 3(2). <https://doi.org/10.33365/jtst.v3i2.2179>
- [14]. Lazim, F. and Hidayat, N. (2022). Study internet of things (iot) untuk autonomous kelembaban tanah pada tanaman dengan nodemcu v3 esp8266. *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, 1(3), 90-96. <https://doi.org/10.33379/metrotech.v1i3.1744>
- [15]. Pratama, S. and Hardani, D. (2021). Rancang bangun sistem monitoring kelembaban dan suhu tanah untuk tanaman bawang merah di kabupaten brebes. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 3(2). <https://doi.org/10.30595/jrre.v3i2.11518>
- [16]. Riski, M., Alawiyah, A., Bakri, M., Putri, N., Jupriyadi, J., & Meilisa, L. (2021). Alat penjaga kestabilan suhu pada tumbuhan jamur tiram putih menggunakan arduino uno r3. *Jurnal Teknik Dan Sistem Komputer*, 2(1), 67-79. <https://doi.org/10.33365/jtikom.v2i1.42>
- [17]. Sabar, S., Hariyanto, D., Pertiwi, K., Mufidah, Z., Setiawan, R., & Naimah, K. (2021). Pengujian kadar zat terlarut memanfaatkan sistem instrumentasi maya untuk penentuan kualitas air bersih. *Journal of Science and Applicative Technology*, 5(2), 319. <https://doi.org/10.35472/jsat.v5i2.412>
- [18]. Suhendi, H. and Saputro, R. (2021). Sistem monitoring dan automatic feeding hewan peliharaan menggunakan android berbasis internet of things. *Naratif Jurnal Nasional Riset Aplikasi Dan Teknik Informatika*, 3(01), 1-8. <https://doi.org/10.53580/naratif.v3i01.112>

