Pengembangan Sistem Kontrol Cerdas Pada *Miniplant* Proses Pasteurisasi Berbasis *Digital Twin*

Fikri Abdul Aziz NIM 13319100 | Dosen Pembimbing **Prof. Dr.-ing. Yul Yunazwin Nazaruddin, M.Sc., DIC.** | **Faqihza Mukhlish, S.T., M.T., Ph.D.**

Tujuan Penelitian

model prediksi NARX-NN, pengontrol cerdas ANFIS, web-based digital twin

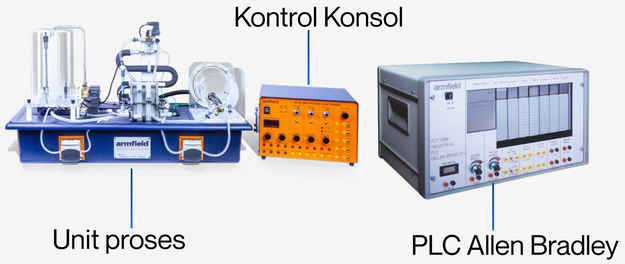
Perancangan sistem kontrol berbasis **kontrol cerdas** dengan skema pengontrolan ***multiloop control*** dan **ANFIS *inverse learning*** dalam proses **pasteurisasi** sehingga menghasilkan produk yang sesuai dengan standar mutu berbasiskan ***digital twin*** yang berbasikan ***website*** dengan sebuah **model prediksi** berbasiskan **jaringan syarat tiruan** dan **pertukaran data otomatis** melalui sebuah **protokol komunikasi** antara kedua objek fisik dan digital.

Latar Belakang

Berdasarkan laporan tahunan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) tahun 2021, **lebih dari 50%** Kejadian Luar Biasa **Keracunan Pangan** (KLB KP) disebabkan oleh **mikroorganisme patogen**. Mikroorganisme patogen ini umumnya ditemui pada produk hewani seperti susu. Proses penghilangan mikroorganisme patogen pada susu ini dilakukan dengan proses pasteurisasi atau proses pemanasan suhu dengan pertukaran kalor. Suhu pada proses pasteurisasi telah diatur dengan standar yang ditetapkan oleh *Pasteurized Milk Ordinance* (PMO). Untuk meningkatkan mutu produk di era industri 4.0 diperlukan pengembangan lebih lanjut terkait sistem pengontrol temperatur pada proses pasteurisasi susu berbasis *digital twin*.

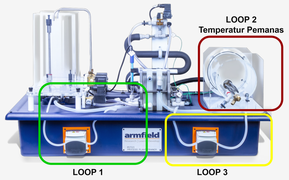
Rancangan Arsitekur Sistem

ARMFIELD PCT 23 MKII



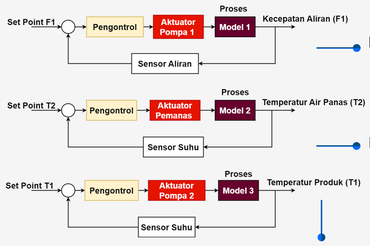
Armfield PCT23MKII adalah miniatur dari sistem kontrol pada industri proses pasteurisasi dengan jenis ***High Temperature Short Time*** **(HTST)** yang terdiri dari beberapa komponen yaitu unit proses, kontrol konsol, dan PLC *Allen Bradley*.

Skema *Multiloop* Kontrol Sistem



Metode kontrol dengan **pengontrolan lebih dari satu *loop*** secara **terpisah**. *Loop* terdiri dari *loop* aliran produk (F1), temperatur pemanas (T2), dan temperatur produk (T1)

Diagram Blok *Multiloop* Kontrol Sistem

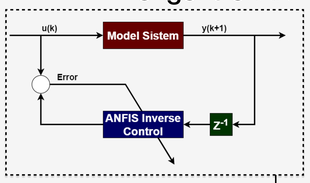


Pompa 1 sebagai ***manipulated variable***

Pemanas sebagai ***manipulated variable***

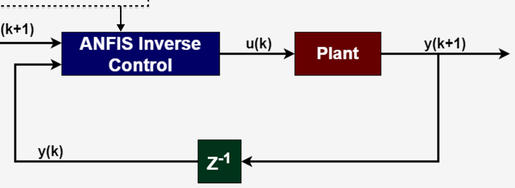
Pompa 2 sebagai ***manipulated variable***

Pengontrol ANFIS



ANFIS digunakan sebagai pengontrol dengan skema pengontrolan **ANFIS *Inverse Learning***. *Inverse dynamics control* merupakan sebuah metoda menghasilkan sinyal kontrol berdasarkan dari dinamika *inverse* dari sebuah *plant* yang dapat diwakilkan pada persamaan berikut.

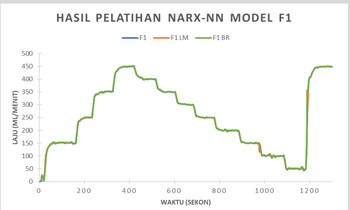
Implementasi

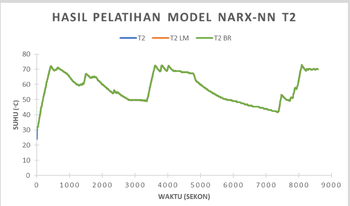


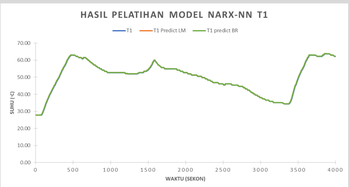
Pembelajaran ANFIS dilakukan secara ***offline*** dan **diimplementasikan** secara ***online*** dengan diagram blok berikut

Hasil Dan Analisis

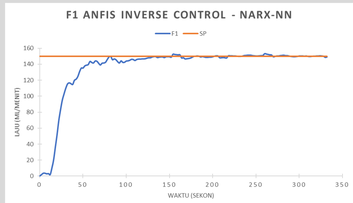
Pelatihan Model NARX

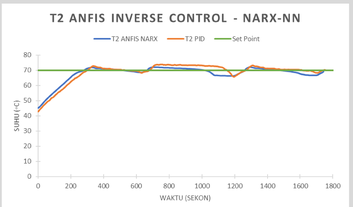


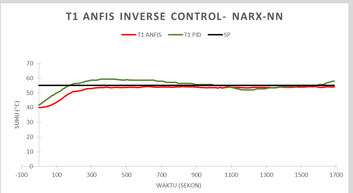




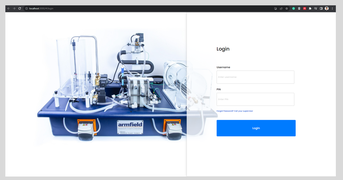
Respons ANFIS *Inverse Control*

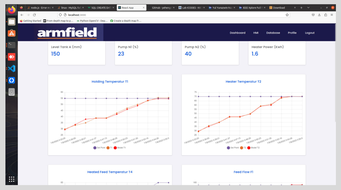


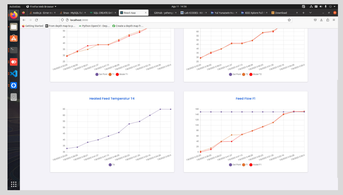


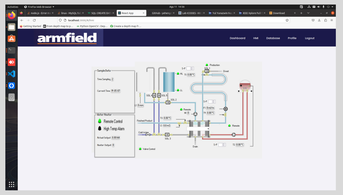


Integrasi Objek Fisik Dengan Objek Digital (*Digital Twin*)









Hasil Pelatihan Model NARX-NN

	F1	T2	T1
RMSE LM	3,403	0,054	0,042
RMSE BR	6,303	0,053	0,039

Performa ANFIS *Inverse Control Loop* Laju Aliran (F1)

Kontrol	Waktu Tunda (Detik)	Ts Kriteria 2% (Detik)	*Offset*	*Overshoot*(%)	RMSE
ANFIS *Inverse Learning*	3,403	0,054	0,042	0,042	0,042

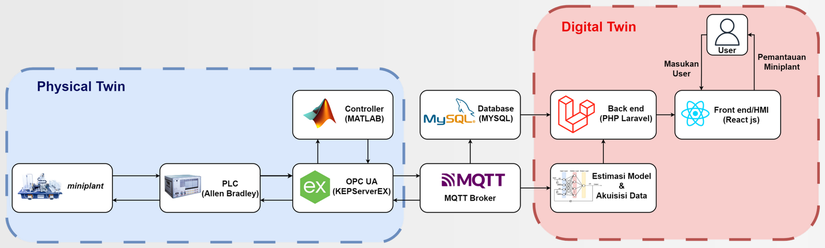
Performa ANFIS *Inverse Control Loop* Temperatur Pemanas (T2)

Kontrol	Ts Kriteria 2% (Detik)	*Offset*	*Overshoot*(%)	RMSE
PID	285,881	1,037	-	2,051
ANFIS *Inverse Learning*	268,820	0,267	-	1,805

Performa ANFIS *Inverse Control Loop* Temperatur Produk (T1)

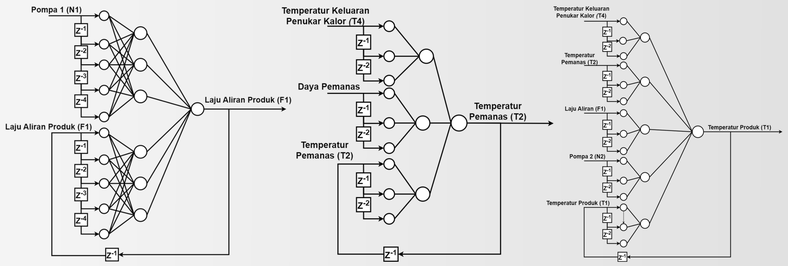
Kontrol	Ts Kriteria 2% (Detik)	*Offset*	*Overshoot*(%)	RMSE
PID	1066,705	0,631	9,117	2,415
ANFIS *Inverse Learning*	605,133	1,105	-	1,151

Arsitektur Sistem



Sistem terdiri dari **dua subsistem** utama yaitu ***physical twin*** dan ***digital twin***, **physical twin** terdiri dari miniplant terhubung dengan PLC, PLC berkomunikasi serial dengan komputer. Perangkat komputer bertindak sebagai OPC UA server. Data dari OPC diakses oleh Simulink melalui OPC toolbox pada MATLAB untuk proses pengontrolan. Digital twin dibangun berbasis website, data OPC server dikirim dengan protokol MQTT melalui IoT Gateaway. Data plant diakuisisi dan dibuat model prediksi yang disimpan di database dan ditampilkan pada halaman website.

Arsitektur Model Prediksi *Digital Twin* (NARX-NN)



Pemilihan masukan dari masing-masing *loop* model prediksi NARX-NN berdasarkan pada **korelasi *Pearson*** antara **masukan** dan **keluaran** dari **setiap komponen** *loop*.