

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, implementasi, dan analisis data pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem kontrol tekanan air berbasis PLC, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan Sistem Kontrol PID Berbasis PLC

Penelitian ini telah berhasil merancang sistem kontrol tekanan air menggunakan algoritma PID yang ditanamkan pada **PLC Omron CP1E-NA20DR-A**. Perancangan perangkat lunak (*ladder diagram*) mampu memproses sinyal masukan dari sensor tekanan dan menghasilkan sinyal kendali yang presisi untuk mengatur kecepatan motor, sehingga distribusi air dapat diotomatisasi sesuai target tekanan yang diinginkan.

2. Integrasi Sistem (PLC, VFD, dan Motor)

Integrasi antara PLC, *Variable Frequency Drive* (VFD), dan motor pompa sentrifugal telah berjalan dengan optimal. Sinyal kendali analog (0-10V/4-20mA) dari PLC berhasil diterjemahkan oleh VFD menjadi frekuensi putaran motor yang dinamis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan beban (bukaan katup) dengan menyesuaikan kecepatan pompa secara *real-time* untuk mempertahankan tekanan, terutama pada rentang kerja optimal (0.5 Bar).

3. Kinerja dan Stabilitas Sistem pada Berbagai Kondisi Beban

Berdasarkan pengujian respons transien pada variasi bukaan Valve 1 dan Valve 2, stabilitas sistem menunjukkan karakteristik yang bervariasi tergantung pada titik operasi:

- **Kondisi Optimal (SP 0.5 Bar):** Sistem menunjukkan performa terbaik dan paling stabil pada tekanan menengah. Parameter PID yang digunakan menghasilkan respons yang halus (*smooth*) dengan *Maximum Overshoot* sangat minim ($\approx 2.3\%$) dan *Settling Time* yang cepat (≈ 21 detik), menandakan keseimbangan ideal antara kecepatan respons dan stabilitas.

- **Kondisi Tekanan Rendah (SP 0.1 Bar):** Sistem cenderung bersifat agresif dan sensitif, terutama pada variasi Valve 2 yang memiliki *Process Gain* tinggi ($K = 2.36$). Hal ini menyebabkan terjadinya *Maximum Overshoot* yang tinggi (mencapai 31% - 36%) dan *Rise Time* yang sangat singkat (< 1 detik). Meskipun respons awal sangat cepat, sistem membutuhkan waktu lebih lama untuk stabil (*Settling Time* > 35 detik) akibat osilasi awal.
- **Kondisi Tekanan Tinggi (SP 0.9 Bar):** Sistem menunjukkan karakteristik *over-damped* (lambat namun stabil) akibat penurunan sensitivitas valve (*saturation region*) dan adanya *Dead Time* yang signifikan (≈ 5 detik). Tidak terjadi *overshoot* (0%), namun sistem membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai target (*Rise Time* > 24 detik).

Secara keseluruhan, sistem kontrol PID yang dirancang terbukti andal dalam menjaga kestabilan tekanan distribusi air, dengan catatan bahwa karakteristik fisik *plant* (Valve) bersifat non-linear, sehingga performa respons transien berubah-ubah tergantung pada titik operasi tekanan yang dituju.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kendala yang ditemukan selama pengujian, terdapat beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya agar sistem dapat bekerja lebih sempurna:

1. Penyesuaian Spesifikasi Sensor untuk Skala Laboratorium

Mengingat rentang operasi pengujian hanya berkisar antara 0 - 1 Bar, penggunaan sensor industri dengan *range* yang terlalu besar dapat mengurangi resolusi pembacaan data. Disarankan untuk menggunakan **Transmitter Tekanan dengan *range* yang lebih kecil** (misalnya 0-2 Bar) agar sensitivitas pengukuran lebih tinggi dan grafik respons transien yang dihasilkan menjadi lebih halus dan presisi.

2. Pengembangan Sistem Antarmuka (HMI)

Untuk pengembangan alat ke depannya agar lebih *portable* dan andal di lingkungan industri, disarankan untuk mengganti PC dengan **Dedicated HMI Panel (Hardware)** layar sentuh. Penggunaan HMI Hardware akan membuat

sistem menjadi *standalone* (mandiri), lebih tahan terhadap kondisi lingkungan, dan mempermudah operator lapangan dalam memantau sistem tanpa memerlukan komputer terpisah.

3. **Penambahan Katup Pengaman (*Pressure Relief Valve*) pada Jalur Distribusi**

Disarankan untuk menambahkan komponen *Pressure Relief Valve* (PRV) sebagai sistem keamanan mekanis (*fail-safe*). Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi kegagalan fungsi sensor (*sensor failure*) di mana *transmitter* tidak dapat mengirimkan data tekanan aktual atau terbaca 0 Bar. Dalam kondisi tersebut, kontroler PID cenderung merespon dengan menaikkan putaran pompa hingga maksimum yang berpotensi menyebabkan tekanan berlebih (*overpressure*). Dengan adanya *Relief Valve*, kelebihan tekanan akan dibuang secara otomatis untuk mencegah kerusakan fisik pada instalasi pipa meskipun sensor tidak bekerja.