

Pembuatan Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) Kevakuman dan Sistem Pewaktu Proses Nitridasi Plasma Menggunakan Super PLC T100MD1616+

Ashar Punto Nurwendo¹, Agus Harjoko*², Slamet Santosa³

¹Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, FMIPA, Universitas Gadjah Mada.

²Lab. Elektronika dan Instrumentasi, FMIPA, Universitas Gadjah Mada.

³Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, BATAN, Yogyakarta.

e-mail: *² aharjoko@ugm.ac.id

Abstrak

Bidang Teknologi Akselerator dan Fisika Nuklir (BTAFN) Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) BATAN Yogyakarta mengembangkan mesin nitridasi plasma untuk menambah tingkat kekerasan permukaan logam dan meningkatkan ketahanan aus serta tahan korosi. Mesin nitridasi plasma tersebut masih dioperasikan secara manual.

Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) Kevakuman dan Sistem Pewaktu Proses Nitridasi Plasma dibuat agar mesin nitridasi plasma dapat dioperasikan secara otomatis. Sistem instrumentasi dan kendali ini menggunakan Super PLC T100MD1616+ sebagai pusat kontrol dan terdiri dari sistem akuisisi data tekanan gas dan sistem kendali regulator gas N₂. Sistem akuisisi data tekanan gas menggunakan sensor Pirani PRL 10 K dan Vacuum Meter Pirani 1001 untuk memantau perubahan tekanan gas di dalam bejana nitridasi plasma. Pengolahan data hasil akuisisi data tekanan gas dilakukan dengan menggunakan metode lookup table. Nilai tekanan gas yang dihasilkan oleh sistem akuisisi data tekanan gas digunakan sebagai umpan balik (feedback) untuk sistem kendali tekanan gas. Kendali tekanan gas diatur oleh regulator gas N₂ dengan menggunakan stepper motor sebagai aktuator.

Sistem Instrumentasi dan Kendali Kevakuman dapat mengontrol kestabilan tekanan gas yang dibutuhkan pada proses nitridasi plasma. Sistem pewaktu proses digunakan untuk mengatur durasi proses nitridasi plasma. Dengan dibuatnya Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) Kevakuman dan Sistem Pewaktu Proses Nitridasi Plasma, pengguna dimudahkan dalam mengoperasikan mesin dan dapat meningkatkan kualitas hasil proses nitridasi plasma.

Kata kunci—*Nitridasi Plasma, tekanan gas, PLC, pirani, pengkondisi sinyal, stepper motor.*

Abstract

Accelerator Technology and Nuclear Physics Division (BTAFN) of the Center for Accelerator Technology and Material Process (PTAPB) BATAN Yogyakarta develops plasma nitridation machinery to increase surface hardness, wear resistance and corrosion resistance of metal. The plasma nitridation machines are still operated manually.

Vacuum Control System (ICS) and Plasma Nitridation Process Timing System is developed in order for the plasma nitridation machine to operate automatically. The instrumentation and control system uses PLC Super T100MD1616 + as the central control, and consists of gas pressure data acquisition system and N₂ gas pressure regulator control system. The gas pressure data acquisition system uses Pirani sensor PRL 10 K and Pirani 1001 Vacuum Meter to monitor gas pressure changes in the plasma nitridation vessel. Data processing of data from the data acquisition system used the lookup table method. The value of gas pressure generated by gas pressure data acquisition system is used as feedback for gas pressure control

system. The control of gas pressure is set by the N_2 gas regulator using stepper motor as actuators.

The Vacuum Instrumentation and Control System can control the stability of gas pressure which is needed in plasma nitridation process. The timing system process is used to set the duration of plasma nitridation process. The Vacuum Instrumentation and Control System (ICS) and the Timing System enables the plasma nitridation process to operate automatically.

Keywords— Plasma Nitridation, gas pressure, PLCs, pirani, signal conditioner, stepper motor.

1. PENDAHULUAN

Pada pengolahan logam terdapat suatu proses yang dinamakan dengan *surface treatment*. *Surface treatment* adalah suatu usaha dalam meningkatkan mutu/kualitas permukaan material/komponen sesuai dengan yang diharapkan.

Dalam *surface treatment*, yang berubah sifat hanya pada permukaannya saja, sedangkan bagian dalamnya tidak berubah. Metoda *surface treatment* sejak lama dilakukan adalah cara nitridasi menggunakan gas nitrogen (N_2). Alasan metode ini adalah karena dapat menghasilkan kekerasan permukaan yang lebih tinggi dan meningkatkan ketahanan aus serta tahan korosi pada temperatur tinggi. Proses nitridasi ini cocok digunakan untuk material baja paduan yang mengandung unsur paduan seperti Aluminium, Chromium, Molybdenum, Tungsten dan Vanadium. Kandungan karbon untuk baja yang dinitridasi adalah 0,2-0,5 %. Prinsip kerja dari proses nitridasi ini adalah penambahan nitrogen pada permukaannya sehingga menjadi keras. Dalam prosesnya baja yang akan dikeraskan dipanaskan pada tabung yang diberi nitrogen. Nitrogen dihasilkan dari proses penguraian gas amoniak proses reaksinya pada suhu $500^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ [1].

Proses nitridasi plasma telah lama diteliti dan dibuat mesinnya di Badan Tenaga Atom (BATAN) Yogyakarta. Mesin nitridasi plasma yang dibuat di BATAN masih dioperasikan secara manual di mana diperlukan seorang operator untuk menjalankan mesin nitridasi plasma. Dalam perkembangannya dimulailah penelitian untuk membuat mesin nitridasi plasma yang dapat dikendalikan secara otomatis.

Berdasarkan uraian di atas, dirancang komponen-komponen utama sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) Kevakuman pada Proses Nitridasi Plasma menggunakan *Super PLC T100MD 1616+* (selanjutnya akan disebut dengan PLC). Penelitian ini dilaksanakan di Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTAPB-BATAN) Yogyakarta. Sistem kendali meliputi akuisisi data tekanan gas dan kendali regulator gas N_2 pada proses nitridasi plasma.

Perlakuan permukaan (*surface treatment*) adalah salah satu usaha untuk memperbaiki atau meningkatkan kualitas permukaan materi sehingga materi tidak mudah korosi dan aus. *Surface treatment* dilakukan dengan metode nitridasi plasma menggunakan gas nitrogen (N_2) [2,3,4,5]. Prinsip kerja proses nitridasi ini adalah penambahan unsur nitrogen pada permukaan materi. Metode nitridasi plasma (*sputtering*) dapat menghasilkan kekerasan permukaan yang lebih tinggi dan meningkatkan ketahanan aus serta tahan korosi. Jadi proses nitridasi adalah proses yang bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat permukaan komponen mesin, peralatan mekanik, dan peralatan lainnya yang menggunakan logam [1]. Proses perlakuan permukaan yang telah dilakukan masih menggunakan metode manual, dimana pengoperasian dan pengaturan alat dilakukan secara langsung oleh seorang operator lapangan. Diperlukan kecermatan dan pengalaman dari operator lapangan untuk menghasilkan produk yang sesuai dengan kriteria yang diharapkan. Salah satu upaya untuk meningkatkan kinerja nitridasi plasma adalah dengan merancang suatu sistem yang dapat menjalankan proses secara otomatis, baik untuk pengoperasian alat maupun pengaturan parameter proses sehingga dapat tercapai keadaan proses yang ideal dan diharapkan dapat menghasilkan produk sesuai dengan kriteria yang diinginkan.

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk menggantikan rangkaian sederetan relai-relai yang dijumpai pada sistem kontrol proses konvensional. PLC bekerja dengan cara mengamati masukan (melalui sensor-sensor terkait), kemudian melakukan proses dan melakukan tindakan sesuai yang dibutuhkan, yang berupa menghidupkan dan mematikan keluaran (logika 0 atau 1, hidup atau mati) [6].

Perancangan Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) Nitridasi Plasma dengan Dua Bejana dilakukan oleh Kurniawan [2] menggunakan Programmable System On Chip Evaluation Kit. Sistem yang dirancang adalah akuisisi data suhu dan kendali katup. Akuisisi data suhu memantau perubahan suhu benda kerja menggunakan termokopel tipe K dan LM35 DZ. Program akuisisi data suhu menggunakan metode lookup table. Kendali katup sebagai pengatur aliran gas N_2 atau campuran N_2-H_2 . Kendali suhu dirancang menggunakan motor stepper unipolar berdasarkan fase wavemode. Motor stepper dirancang untuk stop, gerak searah dan berlawanan arah jarum jam.

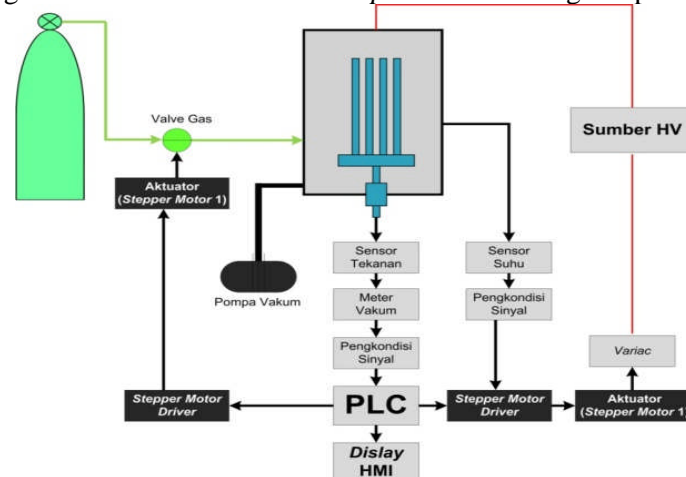
PLC T1000MD+ 1616 telah dilaporkan digunakan sebagai sistem kendali tegangan tinggi pada proses nitridasi plasma [4]. Sistem kendali tersebut terdiri dari sistem akuisisi data suhu bejana nitridasi plasma dan sistem kendali sumber tegangan tinggi menggunakan *variac*.

Susilo dkk[3] juga telah melakukan penelitian menggunakan PLC T100MD1616+ untuk melakukan komunikasi data PLC. Sugiyanto[5] menyatakan bahwa pengaturan sistem kendali mesin nitridasi plasma secara otomatis dilakukan pada proses *start up*, proses *shut down* dan pengaturan suhu dan tekanan selama proses nitridasi. Instrumen pengontrolannya menggunakan PLC T100 MD 1616+ dari *Triangle Research*.

2. METODE PENELITIAN

Sistem instrumentasi dan kendali yang telah dibuat diharapkan untuk dapat menjalankan mesin nitridasi plasma secara otomatis mulai dari *start* lalu mengatur kestabilan gas N_2 dan suhu proses nitridasi sesuai waktu yang diinginkan sampai selesai. PLC T100MD1616+ dari *Triangle Research* dipilih sebagai bagian kendali mesin nitridasi plasma ini. Mesin nitridasi plasma mempunyai dua sensor untuk membaca parameter proses yaitu sensor suhu dan sensor tekanan. Untuk mengendalikan tegangan tinggi dan regulator gas digunakan dua buah *stepper motor*.

PLC T100MD1616+ bertindak sebagai pengendali tekanan gas di dalam bejana nitridasi plasma. PLC T100MD1616+ memiliki 16 *digital input* dan 16 *digital output* yang dapat dikonfigurasi untuk merancang sistem instrumentasi dan kendali mesin nitridasi plasma. Selain itu PLC T100MD1616+ dilengkapi dengan 4 masukan *Analog Digital Converter* (ADC) 10-bit, ADC #1 dan #2 untuk menerima masukan sinyal *analog* 0-1 V sedangkan ADC #3 dan #4 untuk masukan *analog* 0-5 V. Dari 16 jalur *digital output* terdapat 2 *channel* yang dapat dikonfigurasi sebagai keluaran khusus PWM dan *pulsa* untuk mengatur putaran *stepper motor*.

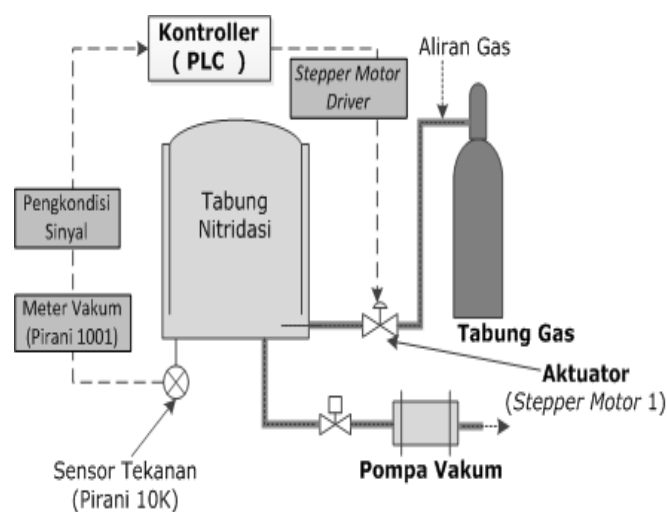


Gambar 1 Rancangan sistem kendali mesin nitridasi

Dapat dilihat pada Gambar 1 seluruh proses yang ada pada mesin nitridasi plasma yang meliputi kendali sumber tegangan tinggi dan tekanan gas dikendalikan oleh PLC. Diperlukan algoritma pemrograman yang tepat pada PLC supaya dapat berjalan dengan benar. Algoritma PLC ini terdiri dari dua bagian pemrograman yakni dengan menggunakan diagram *ladder* dan bahasa pemrograman TBASIC.

Sistem instrumentasi dan kendali proses nitridasi plasma ini berlangsung dalam beberapa tahapan proses. Tahap awal yaitu dimulainya proses awal dengan inisialisasi *input/output* PLC, kemudian catudaya untuk semua sistem dinyalakan secara berurutan dengan jeda waktu tertentu, yang meliputi catudaya utama, catudaya sumber tegangan tinggi maupun instrumentasi. Tahap berikutnya adalah persiapan, pada tahap ini sistem akan mempersiapkan keadaan sesuai dengan kondisi yang diinginkan untuk proses nitridasi plasma meliputi parameter tegangan, suhu, dan tekanan gas di dalam bejana nitridasi. Setelah keadaan awal tercapai selanjutnya masuk ke tahap proses di mana nitridasi plasma dimulai.

Dibuatnya sistem kendali tekanan gas adalah untuk mengatur kestabilan tekanan gas sebagai syarat berjalannya proses nitridasi plasma. Supaya kestabilan tekanan gas dapat tercapai maka besarnya bukaan regulator gas diatur oleh putaran dari *stepper motor*. Perubahan tekanan gas dapat diketahui dengan akuisisi data tekanan yang dibuat menggunakan sensor *pirani* PRL 10 K. Sinyal akuisisi data atau *sinyal feedback* kemudian akan dikirimkan ke PLC di mana PLC akan menghitung besarnya *error* terhadap *set point*. Jika terdapat *error* maka PLC akan mengirimkan sinyal kendali berupa *pulsa digital* untuk mengatur putaran *stepper motor* yang dipasang pada regulator gas. Besar kecilnya bukaan regulator gas akan sebanding dengan besar kecilnya *error*. Dapat dilihat pada Gambar 2 bagaimana alur sistem kendali tekanan gas.

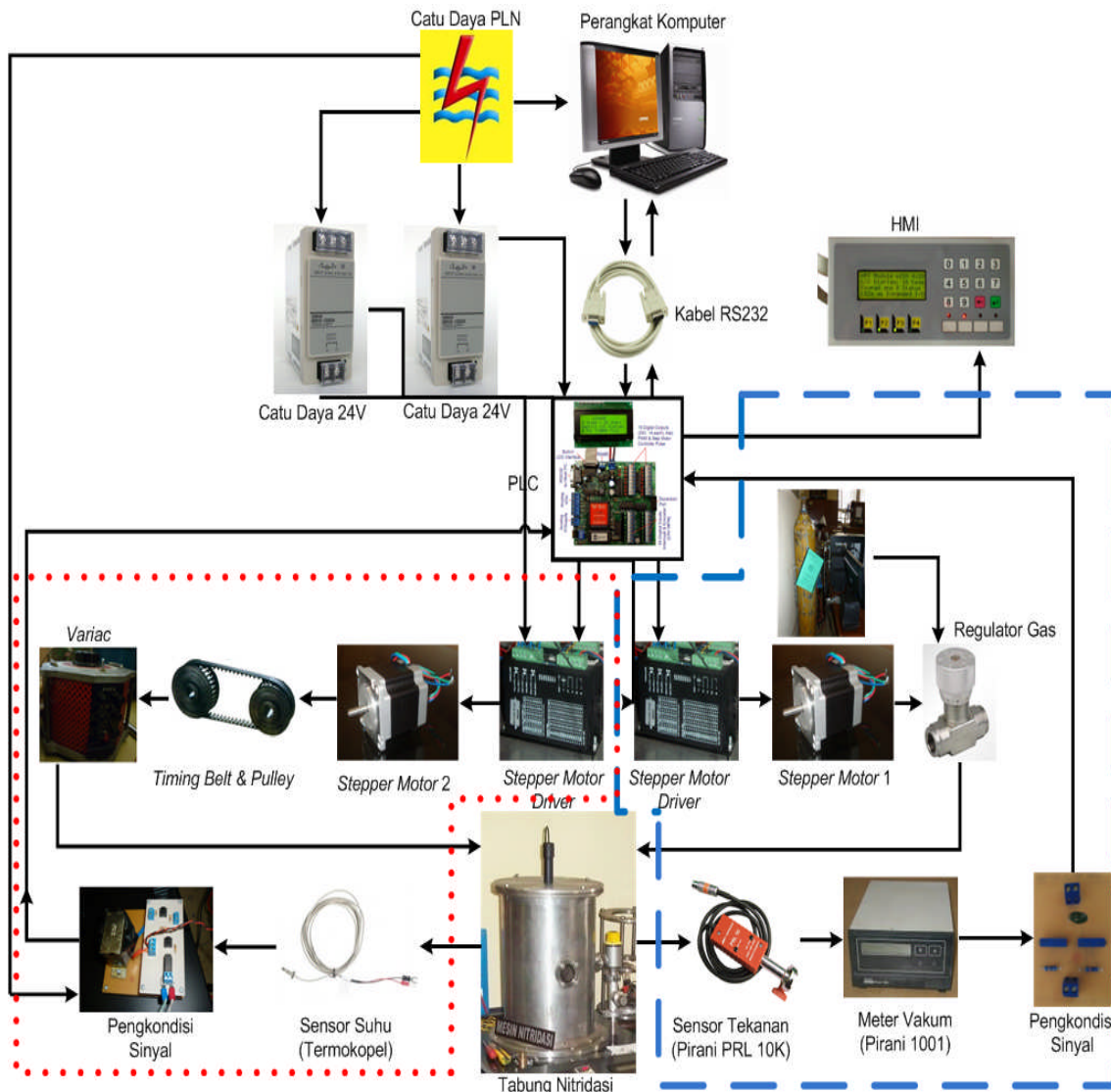


Gambar 2. Skema rancangan sistem kendali tekanan gas

Dalam sistem instrumentasi dan kendali tekanan gas proses nitridasi plasma dibutuhkan akuisisi data yang dapat membaca dan menampilkan tekanan gas pada waktu proses nitridasi plasma berlangsung. Dengan adanya akuisisi data maka akan diperoleh sinyal *feedback* dan parameter yang digunakan dalam pengendalian tekanan gas. Akuisisi data terdiri dari dua bagian yaitu sensor tekanan gas dan rangkaian pengkondisi sinyal.

Sensor yang digunakan untuk membaca tekanan gas pada proses nitridasi plasma adalah sensor *Pirani* PRL 10 K (yang selanjutnya akan disebut sensor *pirani*). Sensor *pirani* akan membaca seberapa besar tekanan udara yang ada di dalam bejana nitridasi plasma. Tegangan keluaran sensor *Pirani* sebagai hasil dari pembacaan tekanan gas kemudian diolah oleh *vacuum meter Pirani 1001*. Dengan adanya masukan dari sensor *Pirani* PRL 10 K maka *vacuum meter Pirani 1001* dapat mengeluarkan sinyal keluaran yang akan diolah oleh rangkaian pengkondisi sinyal yang kemudian akan dijadikan sinyal masukan analog ADC#4 pada PLC sebagai parameter kendali tekanan gas perangkat nitridasi plasma.

Dikarenakan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *vacuum meter Pirani 1001* mempunyai rentang nilai 0-10 V (maksimal 10 V) sedangkan tegangan *input* pada ADC PLC hanya dapat menerima sinyal 0-5 V, maka perlu ada rangkaian pembagi tegangan yang dapat membagi dua tegangan keluaran *vacuum meter Pirani 1001*.



Gambar 3 Rancangan perangkat keras sistem kendali mesin nitridasi

2. 1 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

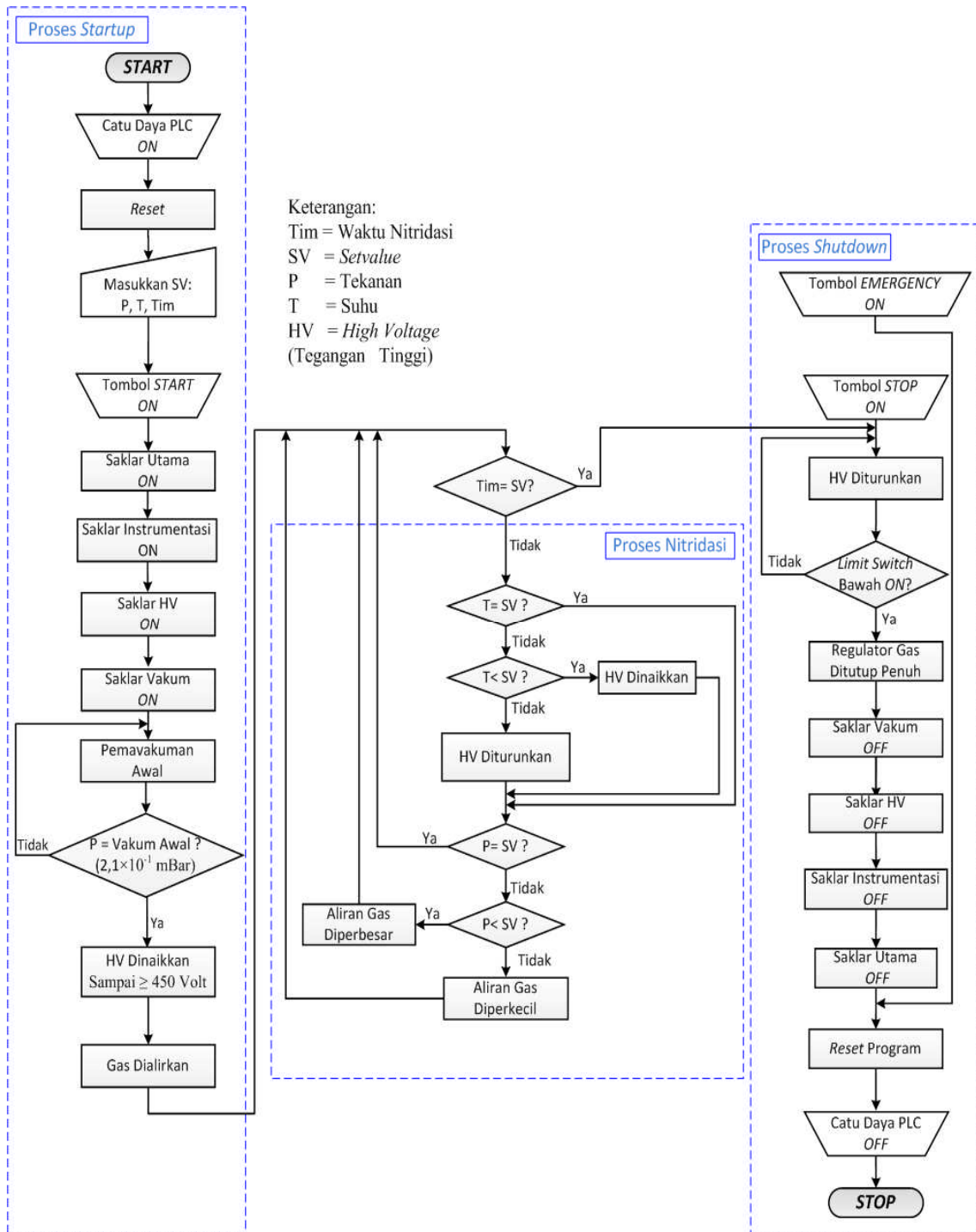
Perancangan perangkat keras mesin nitridasi plasma ini terdiri atas beberapa bagian antara lain: perancangan blok PLC meliputi sumber daya PLC, masukan dan keluaran *digital/analog* PLC, blok kendali regulator gas, akuisisi data dari sensor tekanan gas, blok kendali sumber tegangan tinggi dan akuisisi data dari sensor suhu. Perangkat keras sistem instrumentasi dan kendali proses nitridasi plasma secara umum dapat dilihat pada Gambar 3.

Perangkat keras yang dipakai dalam Sistem Instrumentasi dan Kendali Proses Nitridasi Plasma antara lain *board* PLC T100MD1616+, HMI (*Human Machine Interface*) sebagai penghubung antarai mesin dan *user*, *solid state relay* sebagai pengganti saklar manual, *stepper motor*, *driver stepper motor*, *pulley* dan *timing belt* sebagai penyambung *stepper motor* dengan poros (*adjustable*) pemutar (*adjustable*) *variac*, kabel-kabel penghubung, *limit switch* atas dan

bawah sebagai pembatas supaya *stepper motor* berhenti ketika *regulator variac* mencapai minimum atau maksimum.

Dalam sistem akuisisi data tekanan gas perangkat keras yang digunakan antara lain sensor tekanan *Pirani PRL 10K*, Meter Vakum *Pirani 1001*, dan rangkaian pengkondisi sinyal untuk mengubah tegangan sinyal akuisisi agar dapat dibaca oleh ADC PLC.

Dalam sistem kendali tekanan gas N₂ di dalam bejana nitridasi plasma perangkat keras yang digunakan antara lain tabung gas N₂ sebagai sumber gas N₂, bejana nitridasi plasma sebagai tempat proses nitridasi plasma berlangsung, kran regulator gas *stepper motor* dan driver sebagai pemutar kran regulator gas.



Gambar 4 Diagram alir sistem secara keseluruhan

2. 2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Dapat dilihat pada Gambar 4 di bagian tengah itulah proses nitridasi plasma berjalan. Proses nitridasi plasma tergantung atas tiga parameter yaitu parameter waktu, suhu dan tekanan gas di dalam bejana. Parameter waktu akan menentukan lamanya proses nitridasi plasma berlangsung. Jika parameter waktu terpenuhi maka proses nitridasi plasma akan diselesaikan. Parameter suhu berhubungan dengan sumber tegangan tinggi. Selama proses nitridasi plasma parameter suhu harus sesuai dengan *setpoint* suhu, jika suhu bejana kurang dari *setpoint* maka tegangan tinggi akan dinaikkan sedangkan bila suhu lebih dari *setpoint* maka tegangan tinggi akan diturunkan.

Parameter tekanan gas berhubungan dengan bukaan regulator gas. Selama proses nitridasi plasma parameter tekanan gas harus sesuai dengan *setpoint* yang dimasukkan, jika tekanan gas di dalam bejana kurang dari *setpoint* maka bukaan regulator gas N₂ akan diperbesar sedangkan bila tekanan gas di dalam bejana lebih dari *setpoint* maka bukaan regulator gas N₂ akan diperkecil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

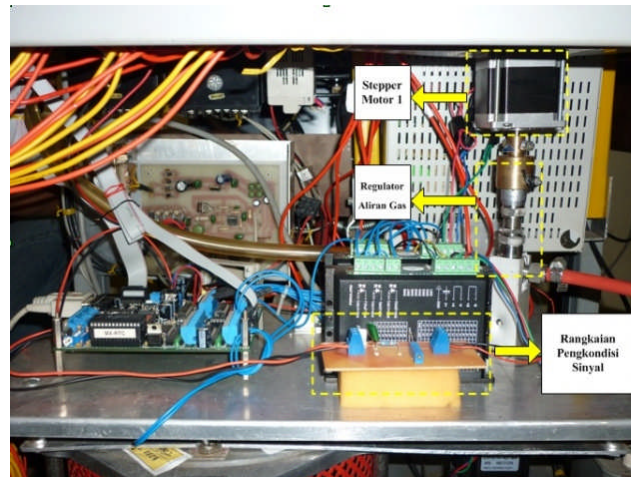
Bagian ini menjelaskan hasil penelitian dan pengujian dari Sistem Instrumentasi dan Kendali Tekanan Gas dan Sistem Pewaktu Proses Nitridasi Plasma yang telah dibuat. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian sistem instrumentasi dan kendali tekanan gas, pengujian sistem pewaktu, dan pengolahan data hasil akuisisi data suhu dan tekanan gas. Setelah dilakukan pengujian maka dihasilkan suatu sistem yang dapat mengendalikan secara otomatis kerja mesin nitridasi plasma.

Dapat dilihat pada Gambar 5 memperlihatkan mesin nitridasi plasma yang telah dipasang perangkat sistem instrumentasi dan kendali, bagian utama mesin terdiri dari Bejana nitridasi, pompa *vakum*, tabung gas N₂, sumber tegangan tinggi DC serta panel kontrol untuk mengatur dan mengamati parameter proses. Perangkat sistem instrumentasi dan kendali terdiri dari PLC T100MD1616 sebagai pengontrol, *power supply*, HMI dan *stepper motor* beserta *driver*.

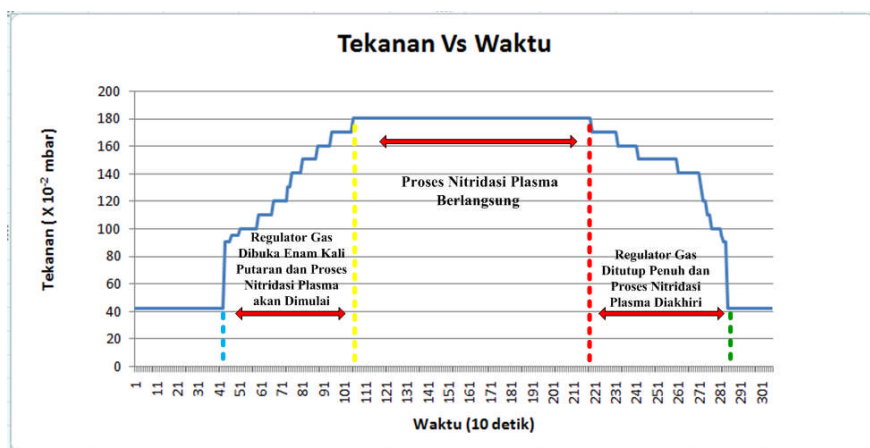


Gambar 5 Mesin nitridasi plasma yang telah dirangkai dengan sistem instrumentasi dan kendali

Sedangkan Gambar 6 adalah hasil instalasi perangkat keras sistem instrumentasi dan kendali kevakuman (tekanan gas) proses nitridasi plasma dimana terdapat komponen *board* PLC, *driver stepper motor*, rangkaian akuisisi data tekanan gas, dan kran regulator gas yang dipasang *stepper motor*.



Gambar 6 Perangkat sistem instrumentasi dan kendali tekanan gas

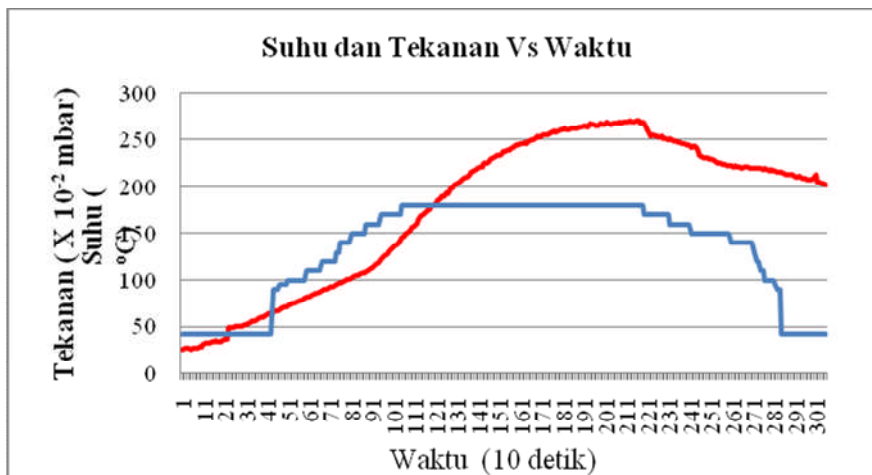


Gambar 7 Grafik tekanan gas terhadap waktu pada proses nitridasi plasma

Gambar 7 menunjukkan nilai tekanan gas di dalam bejana nitridasi plasma ketika proses nitridasi plasma berlangsung. Dapat dilihat pada grafik Gambar 7 bahwa tekanan awal adalah sebesar $4,2 \times 10^{-1}$ mbar. Kemudian pada waktu ke 430 detik regulator gas mulai dibuka sebanyak enam kali putaran. Proses pembukaan enam kali putaran regulator gas berlangsung selama 48 detik. Pada tabel dan grafik dapat dilihat bahwa mulai detik ke 430 sampai detik ke 1050 tekanan gas mulai terjadi kenaikan secara bertahap dari $4,2 \times 10^{-1}$ mbar sampai tekanan gas yang diinginkan (*setvalue*) yaitu $1,8 \times 10^{-1}$ mbar. Jadi waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai *setvalue* sebesar 620 detik atau 10 menit 20 detik sehingga *time respon* sistem sebesar 620 detik. Setelah tercapai tekanan gas (*setvalue*) maka tekanan gas dikendalikan supaya tetap stabil pada nilai *setvalue* tersebut.

Proses nitridasi plasma berlangsung mulai dari detik ke 1050 sampai detik ke 2190 atau selama 840 detik (14 menit). Saat proses nitridasi plasma berlangsung, sistem kendali tekanan gas akan melakukan aksi menaikkan tekanan gas jika tekanan gas berkurang atau melakukan aksi menurunkan tekanan gas jika tekanan gas bertambah. Pada grafik Gambar 7 dapat dilihat bahwa selama proses nitridasi plasma berlangsung tidak terjadi osilasi atau kenaikan dan penurunan tekanan gas sehingga sistem kendali tekanan gas tidak melakukan aksi. Setelah proses nitridasi plasma berakhir maka regulator gas N_2 ditutup sehingga tekanan gas mulai turun. Proses penutupan regulator gas dimulai pada detik ke 2200 selama 48 detik. Sedangkan tekanan gas turun secara bertahap mulai detik ke 2200 sampai detik ke 2850 ketika tekanan gas

mencapai nilai $4,2 \times 10^{-1}$ mbar. Proses penurunan gas berlangsung selama 650 detik atau 6 menit 50 detik. Setelah itu mesin nitridasi plasma dapat dimatikan dan proses nitridasi plasma berakhir.



Gambar 8 Grafik suhu dan tekanan gas terhadap waktu pada proses nitridasi plasma

Gambar 8 menunjukkan keadaan tekanan gas dan suhu di dalam bejana nitridasi plasma. Dapat dilihat pada grafik bahwa pada detik ke 10 telah tercapai tekanan gas awal yaitu sebesar $4,2 \times 10^{-1}$ mbar sehingga kemudian sumber tegangan tinggi dinaikkan hingga mencapai 450 volt. Dengan adanya syarat tekanan awal $4,2 \times 10^{-1}$ mbar dan tegangan 450 volt di dalam bejana nitridasi plasma maka akan muncul *glow discharge* yaitu munculnya plasma gas nitrogen (N_2) dan mengakibatkan panas sehingga suhu bejana nitridasi plasma terjadi kenaikan.

Pada detik ke 20 terjadi kenaikan suhu dari suhu awal sebesar 25°C (suhu kamar) sampai suhu *setvalue* sebesar 250°C pada detik ke 1660 sehingga *time respon* sistem sebesar 1640 detik atau 27 menit 20 detik. Namun pada detik ke 1680 sampai detik ke 2310 terjadi kenaikan suhu yang berlebihan (*overshoot* suhu) dikarenakan sumber tegangan tinggi yang terlalu besar.

Setelah proses nitridasi plasma berakhir maka regulator gas N_2 ditutup penuh dan sumber tegangan tinggi diturunkan sampai nol sehingga *glow discharge* yang muncul akan hilang. Dengan tidak adanya *glow discharge* maka tidak menghasilkan panas sehingga suhu di dalam bejana nitridasi plasma mengalami penurunan. Dapat dilihat pada Gambar 8 saat detik ke 2200 proses nitridasi plasma diakhiri mengakibatkan suhu mulai turun pada detik ke 2330. Kemudian suhu akan semakin turun sampai tercapai suhu kamar.

4. KESIMPULAN

Mesin nitridasi plasma telah dapat dijalankan secara otomatis dengan menggunakan perangkat sistem instrumentasi dan kendali tekanan gas dan sistem pewaktuan proses nitridasi plasma. Kendali yang digunakan adalah PLC T100MD1616+ sebagai pusat kontrol di dalam perangkat sistem instrumentasi dan kendali proses nitridasi plasma khususnya untuk kendali tekanan gas.

Sistem akuisisi data tekanan perangkat nitridasi plasma dibuat dengan menggunakan sensor *Pirani PRL 10 K*, *Vacuum meter Pirani 1001*, dan rangkaian pengkondisi sinyal yang berupa rangkaian pembagi tegangan. Pengendalian tekanan gas dilakukan secara otomatis berdasarkan *feedback* tekanan gas di dalam bejana nitridasi plasma dengan menggunakan *stepper motor* sebagai aktuator kendali regulator gas N_2 . Jenis sistem kontrol yang digunakan di dalam kendali tekanan gas adalah sistem kontrol *on/off*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Riyadi, S. dan Sukidi., 2006, *Optimasi Unjuk Kerja Mesin Nitridasi Ion*, PTAPB–BATAN, Yogyakarta.
- [2] Kurniawan, D., 2010, *Perancangan Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) Nitridasi Plasma dengan Dua Bejana*, Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Yogyakarta.
- [3] Susilo, A.N., Harjoko, A., Taxwin, 2011, *Komunikasi Data PLC pada Sistem Instrumentasi dan Kendali Proses Nitridasi Plasma*, *IJEIS*, vol.1, no.1, hal. 44-47.
- [4] Nugroho, I. B., Harjoko, A., Santoso, S., 2011, *Perancangan Sistem Instrumentasi dan Kendali (SIK) Sumber Tegangan Tinggi DC untuk Proses Nitridasi Plasma Menggunakan Variac*, *IJEIS*, vol.1, no.1, hal. 40-43.
- [5] Sugiyanto, 2011, *Pengembangan Sistem Instrumentasi dan Kendali untuk Pengendalian Mesin Nitridasi Plasma Secara Otomatis*, Tesis, Program Pasca Sarjana Teknik Mesin Fakultas Teknik Mesin UGM, Yogyakarta.
- [6] Putra, A.E., 2007, *“PLC: Konsep, Pemograman dan Aplikasi”*, Gava media, Yogyakarta