

STUDI SISTEM KONTROL *SECOND STAGE NOZZLE* PADA GAS TURBIN MENGGUNAKAN *SPEEDTRONIC MARK II* PADA PT PEMA GLOBAL ENERGI

Muhammad Hanif Arrobbany¹, Jamaluddin², Arsy Febrina Dewi³

^{1,2,3}) Program Studi Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: arrobbanyhanif@gmail.com¹, jamalte882@gmail.com², arsyfebrinadw@pnl.ac.id³

Abstrak –Turbin gas adalah komponen penting dalam pembangkit listrik tenaga gas. Untuk menjaga keandalan dan keselamatan operasi, PT Pema Global Energi menerapkan sistem kontrol *Second Stage Nozzle* menggunakan *Speedtronic Mark II*. Skripsi ini mengkaji sistem kontrol tersebut yang mengandalkan sensor *speed transducer* untuk memantau sudut buka *nozzle* dan melakukan tindakan kontrol seperti penyesuaian parameter atau penghentian operasi jika sudut buka melebihi batas yang ditentukan. Sistem kontrol ini sangat penting untuk menjaga keberlanjutan dan keamanan operasi pembangkit listrik di PT Pema Global Energi.

Kata kunci: Turbin gas, *Second Stage Nozzle*, *speed transducer*, *speedtronic*.

I. PENDAHULUAN

PT Pema Global Energi memiliki unit turbin gas yang digunakan untuk menggerakkan generator sebagai pembangkit listrik. Generator di PT Pema Global Energi merupakan salah satu unit pembangkit listrik yang dimanfaatkan untuk menyuplai tenaga listrik. Turbin gas memanfaatkan gas sebagai bahan bakar untuk memutar turbin dengan pembakaran internal sehingga dapat memutar generator kemudian mampu menghasilkan tenaga listrik. Pada saat proses pembakaran, gas panas yang dihasilkan akan memutar baling – baling turbin. Energi kinetik dari perputaran baling – baling turbin akan menghasilkan daya untuk memutar poros turbin.

Second stage nozzle pada turbin gas adalah komponen krusial yang berfungsi mengarahkan aliran gas panas dari ruang bakar ke baling-baling turbin berikutnya. Komponen ini bertanggung jawab dalam mengubah energi termal menjadi energi kinetik yang efektif, yang pada gilirannya meningkatkan putaran dan daya output dari turbin. Oleh karena itu, desain dan kontrol *second stage nozzle* harus dirancang sedemikian rupa untuk mengoptimalkan kinerja turbin sambil meminimalkan kerugian energi akibat turbulensi dan gesekan.

Sistem kontrol *second stage nozzle* pada PT Pema Global Energi menggunakan *speedtronic* sebagai elektronik kontrol yang bertujuan untuk mengontrol pengoperasian turbin gas. *Speedtronic* mempunyai *electronic control card* yang digunakan untuk melakukan proteksi terhadap turbin. *Electronic control card* ini akan memproses nilai-nilai sudut bukaan *nozzle*. Sistem kontrol memainkan peran penting dalam mengelola fungsi *second stage nozzle*. Dengan menggunakan sistem kontrol yang tepat, seperti *Speedtronic Mark II*, operator dapat memantau dan mengendalikan aliran gas dengan presisi tinggi. *Speedtronic Mark II* adalah generasi kedua dari sistem kontrol yang dikembangkan oleh *General Electric*, dirancang untuk meningkatkan otomatisasi dan akurasi dalam pengoperasian turbin gas. Sistem ini menyediakan kemampuan untuk mengontrol parameter

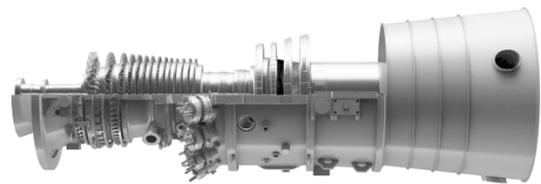
penting seperti suhu, tekanan, dan aliran udara secara *real-time*, yang sangat penting untuk menjaga efisiensi dan keamanan operasional.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara mendalam sistem kontrol *second stage nozzle* dengan pengaplikasian sistem kontrol *speedtronic* untuk memantau sudut bukaan *nozzle* pada turbin gas. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi untuk mengetahui bagaimana sistem kontrol *second stage nozzle* pada sebuah turbin gas dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Turbin

Turbin gas merupakan pembangkit sederhana yang terdiri atas empat komponen utama yaitu kompresor, ruang bakar, turbin gas dan generator. Turbin berfungsi merubah gas panas hasil pembakaran dan ruang bakar menjadi putaran tenaga mekanis. Turbin terdiri dari deretan sudu- sudu yang berputar (rotor) dan sudu-sudu yang tidak berputar (stator)[1]. Gambar turbin gas dapat dilihat pada Gambar 1.



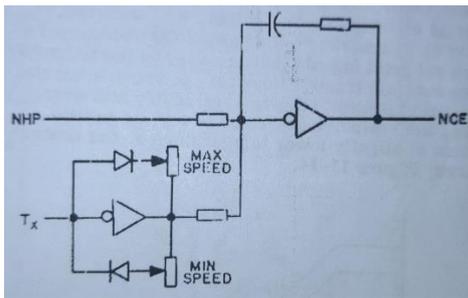
Gbr 1. Rangka 9HA Gas Turbine

B. Sistem Kontrol *Second Stage Nozzle*

Sistem kontrol *Second-stage Nozzle* terdapat pada gas turbine 2 shaft. Terletak diantara *High Pressure stage* dan *Low Pressure stage* pada power turbin, Para *nozzle* diatur untuk membagi energi diantara dua turbin. *High pressure turbine* menyediakan tenaga untuk menjalankan gas turbine axial compressor dan *Low pressure turbine* digabungkan untuk menggerakkan beban seperti pemompa gas pada saluran pipa. Sistem kontrol *Second stage Nozzle* di buat berdasarkan 2

parameter di mana *High Turbine speed* (NHP) dan *Temperature Rata-rata Exhaust* (Tx) di jadikan sebagai input, adapun *Maximum speed* dan *minimum speed* di jadikan suatu perbandingan untuk bisa Mengontrol NCE (*Nozzle Control Electronic*).

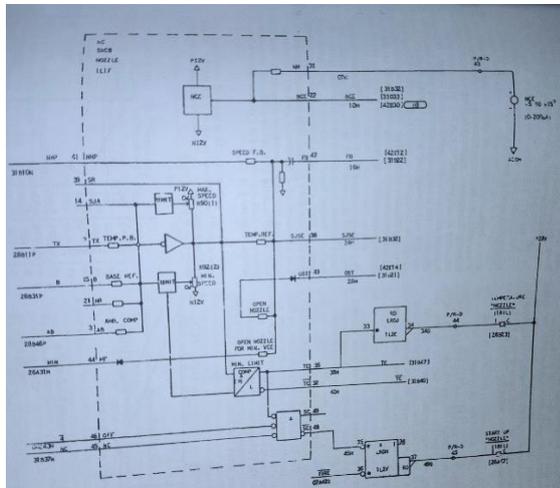
Pada saat signal umpan balik *High Turbine Speed* (NHP) mulai melebihi *Maximum speed Set point*, maka nilai error nya akan membuat NCE menurun. Kejadian ini membuat *Second stage Nozzle* menutup sehingga menghilangkan/mengurangi tekanan angin pada HP rotor dan *speed* pun akan berkurang. Sebaliknya, apabila *High Turbine Speed* (NHP) mulai mencapai *Minimum speed set point*, maka nilai error itu akan membuat NCE akan naik, kejadian ini juga akan membuat *Second stage Nozzle* terbuka sehingga akan membuat *speed* menjadi stabil. Gambar 2 menunjukkan diagram pengontrolan NHP melalui *Nozzle control*.



Gbr 2. Blok diagram pengontrolan NHP

C. *Nozzle Control Card* (SNCF Card)

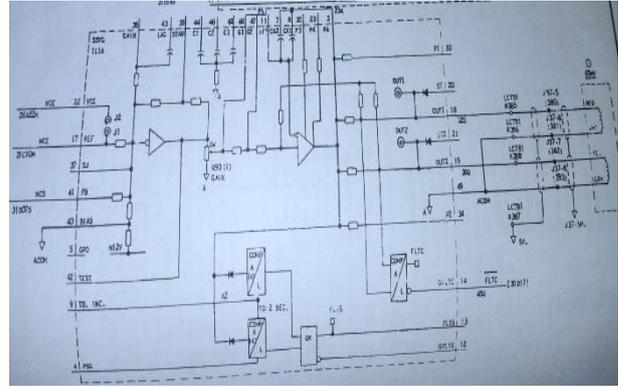
SNCF adalah suatu *electronic card control* yang difungsikan sebagai pengontrol *Second Stage Nozzle* khususnya pada turbin 2 *Shaft* yang mana perbandingan antara HP *Speed* dan *temperature* sehingga dapat mengontrol NCE. Rangkaian *Logic* SNCF bisa dilihat pada Gambar 3.



Gbr 3. Rangkaian Logic SNCF Card

D. *Servo Valve Control Card* (SSVG Card)

SSVG adalah *Electronic Card* yang mana difungsikan sebagai output untuk mengaktifkan *servo valve* dari *Second stage nozzle* tersebut. Rangkaian *Logic* SSVG dapat dilihat pada Gambar 4.



Gbr 4. Rangkaian Logic SSVG Card

E. *Speedtronic*

Speedtronic sistem adalah elektronik kontrol sistem yang menyediakan sinyal analog dan digital yang diperlukan untuk mengontrol dan memproteksi pengoperasian turbin. Kondisi operasi dari turbin dipergunakan sebagai sinyal - sinyal umpan balik (*Feedback*) ke *speedtronic* kontrol sistem. Sistem yang dipergunakan di PT Pema Global Energi adalah *Speedtronic Mark II* dan. Sistem kontrol *Speedtronic Mark II* dilakukan dengan menggunakan *electronic control card* yang tersedia mulai dari *start up* turbin sampai dengan sistem proteksi pada turbin. Sistem proteksi ini sendiri terdiri dari beberapa tahapan, salah satu diantaranya adalah proteksi terhadap vibrasi yang berlebih. Gambar 5 Menampilkan Bentuk panel *Speedtronic Mark II*. Adapun Rumus Untuk Perubahan Frekuensi Menjadi RPM seperti pada persamaan (1).

$$RPM = Hz \times 60 \dots \dots \dots (1)$$



Gbr 5. *Speedtronic Mark II*

III. METODOLOGI

A. Turbin Gas PGT – 503 Pada PT Pema Global Energi (PGE)

Turbin gas yang digunakan di PT Pema Global Energi adalah GE Turbin gas PGT – 503, jenis turbin dua shaft ini digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik.

Dan bisa juga menjadi penggerak kompresor dalam proses pembuatan LNG dan LPG yang jumlahnya 8 unit.

B. Spesifikasi Turbin Gas Pada PT Pema Global Energi

Berikut adalah beberapa spesifikasi yang terdapat pada turbin gas GE di PT Pema Global Energi, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL I
Spesifikasi Turbin Gas Pada PT Pema Global Energi

Typ	PGT – 503 Dual Shaft MS – 5002 Heavy-Duty
Dibuat	GE USA
Ruang Bakar	6
Turbine Speed HP	7100 Rpm
Turbine Speed LP	6500 Rpm
Turbine Stage	2 Shaft
Bahan Bakar	Fuel Gas
Temperature Exhaust	1200°F / 649°C
Sistem Kontrol	Speedtronic Mark II
Tekanan Inlet	110 Psi
Temperature Inlet	32°C
Sistem Starting	Diesel Motor

C. Compressor Section

Proses yang terjadi pada *compressor section* adalah sebagai berikut. Udara yang masuk dari *inlet plenum* diatur arahnya oleh *inlet guide vane*, kemudian dimampatkan oleh kompresor yang mempunyai 17 tingkat susunan sudu sehingga mencapai tekanan ± 7 kg/cm². Udara bertekanan tinggi tersebut keluar melalui *discharge compressor* dan akan digunakan untuk pembakaran sehingga dihasilkan gas panas berkecepatan tinggi untuk mengoperasikan turbin.

D. Combustion Section

Proses yang terjadi pada *combustion section* adalah sebagai berikut. Aliran udara bertekanan tinggi yang keluar dari *discharge compressor* akan menuju ke *combustion chamber* melalui bagian ujung *combustion liner*, kemudian udara tersebut dicampur dengan bahan bakar. Pada waktu *start up*, penyalaan terjadi pada *combustion chamber* nomor yang didalamnya dipasang *spark plug*.

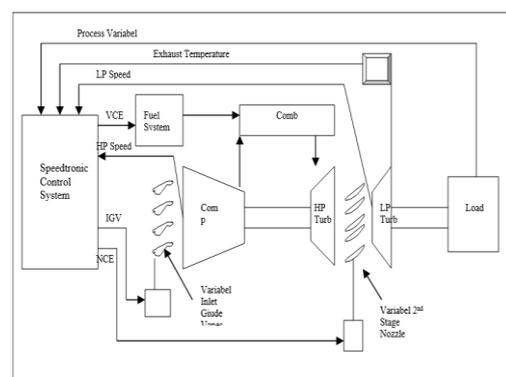
Nyala api yang timbul dari *combustion chamber* tersebut akan tersebar ke seluruh *chamber* lainnya melalui *cross fire tube*. Hasil pembakaran berupa gas panas berkecepatan tinggi akan mengalir keluar dari *combustion liner* dan masuk ke *transition pieces*. Gas panas ini kemudian diarahkan oleh *first stage Nozzle* untuk menabrak sudu-sudu turbin sehingga turbinpun beroperasi. Pada *combustion chamber* dipasang *flame detector*. Apabila tidak ada nyala api pada *chamber* maka *flame detector* akan menghentikan turbin.

E. First Stage Nozzle dan HP Turbin Bucket

Nozzle merupakan sudu pemancar yang berfungsi untuk mengubah tekanan dan energi panas dari gas panas hasil pembakaran menjadi energi kinetis. *First stage Nozzle* pada turbin gas dua *shaft* posisinya tetapi. Fungsi dari *Nozzle* ini adalah mengubah energi panas dan tekanan dari gas panas menjadi energi kinetik berkecepatan tinggi yang diarahkan ke *high pressure (HP) turbine bucket*. *HP Turbine Bucket*, merupakan alat penggerak yang mengubah energi kinetik dari gas panas menjadi energi mekanik untuk menghasilkan tenaga putaran yang diperlukan untuk menggerakkan kompresor aksial.

F. Diagram Fungsional Kontrol

Diagram fungsional control dari keseluruhan Turbin dapat dilihat pada Gambar 6.



Gbr 6. Diagram Fungsional Kontrol

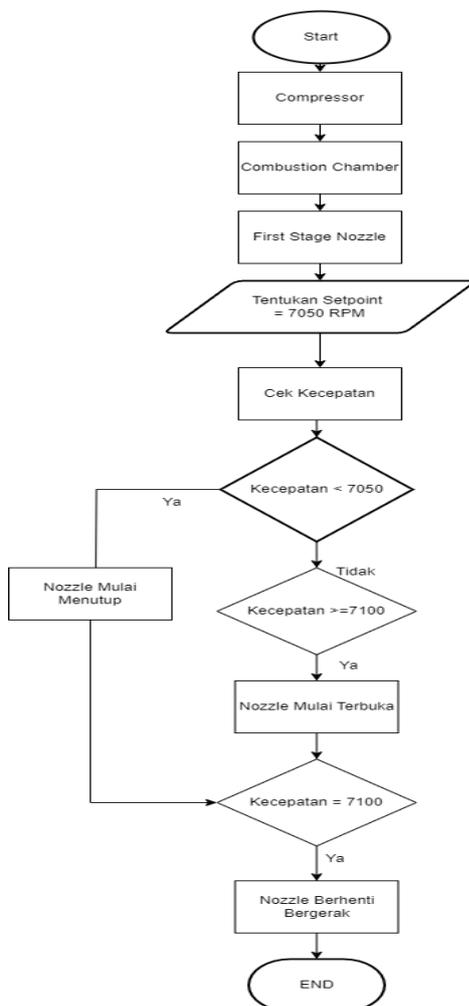
Berdasarkan Gambar 6 dapat kita deskripsikan alur diagram tersebut:

1. *Speedtronic Control System*: Ini adalah unit utama yang mengendalikan berbagai parameter operasional dari turbin gas. Sistem ini menerima input dari berbagai sensor dan mengirimkan sinyal kontrol ke berbagai komponen untuk mengatur operasinya.
2. *VCE (Variable Compressor Exhaust)*: Sistem kontrol menerima sinyal dari VCE yang mengukur kinerja dari kompresor dan mengendalikan kecepatan kompresor bertekanan rendah (*LP Speed*) dan bertekanan tinggi (*HP Speed*).
3. *Fuel System*: Sistem bahan bakar dikontrol oleh *Speedtronic* untuk mengatur aliran bahan bakar ke ruang bakar (*Comb*). Ini penting untuk mengontrol daya yang dihasilkan oleh turbin.
4. *Comb (Combustor)*: Bahan bakar yang dikendalikan oleh sistem bahan bakar dibakar di dalam ruang bakar untuk menghasilkan gas panas yang digunakan untuk memutar turbin.
5. *Comp (Compressor)*: Udara yang masuk dikompresi oleh kompresor sebelum masuk ke ruang bakar. Kompresor memiliki *guide vanes* yang variabel (*Variable Inlet Guide Vanes*) yang diatur untuk mengoptimalkan aliran udara.
6. *HP Turbine (High Pressure Turbine)*: Setelah proses pembakaran, gas panas pertama kali

melewati turbin tekanan tinggi (HP Turbine), yang menggerakkan kompresor.

7. LP Turbine (Low Pressure Turbine): Setelah HP Turbine, gas panas melewati turbin tekanan rendah (LP Turbine), yang terhubung ke beban (Load). Beban ini biasanya merupakan generator listrik atau mesin lainnya.
8. Variable 2nd Stage Nozzle: Nosel tahap kedua yang variabel ini mengontrol aliran gas panas menuju turbin tekanan rendah untuk mengoptimalkan kinerja.
9. Exhaust Temperature: Suhu gas buang dipantau oleh sistem kontrol untuk memastikan operasi yang aman dan efisien. Ini adalah salah satu variabel proses utama yang digunakan oleh Speedtronic untuk mengendalikan operasi turbin.
10. Process Variables: Berbagai variabel proses, seperti tekanan, suhu, dan kecepatan, dimonitor oleh Speedtronic untuk melakukan penyesuaian yang diperlukan untuk menjaga kinerja turbin dalam kondisi optimal.

G. Flowchart Sistem



Gbr 7 Flowchart Sistem

Dapat kita perhatikan dari flowchart bagaimana mula cara kerja turbin gas dari awal sampai dengan pengontrolan second stage nozzle Berikut adalah penjelasan dari setiap langkah dalam diagram:

1. Start: Proses dimulai.
2. Compressor: Tahap pertama melibatkan kompresor, di mana udara dipadatkan.
3. Combustion Chamber: Udara yang telah dipadatkan masuk ke dalam ruang bakar di mana bahan bakar disuntikkan dan dibakar untuk menghasilkan gas panas bertekanan tinggi.
4. First Stage Nozzle: Gas panas kemudian dialirkan melalui nozzle tahap pertama yang mengubah energi panas menjadi energi kinetik.
5. Tentukan Setpoint = 7050 RPM: Setpoint untuk kecepatan ditentukan sebesar 7050 RPM (Revolutions Per Minute).
6. Cek Kecepatan: Sistem memeriksa kecepatan saat ini.
7. Kecepatan < 7050: Jika kecepatan kurang dari 7050 RPM, proses dilanjutkan dengan menutup nozzle.
8. Nozzle Mulai Menutup: Nozzle mulai menutup untuk mengurangi aliran gas dan meningkatkan kecepatan rotor.
9. Kecepatan >= 7100: Jika kecepatan mencapai atau lebih dari 7100 RPM, maka nozzle mulai terbuka.
10. Nozzle Mulai Terbuka: Nozzle mulai terbuka untuk mengurangi tekanan dan menurunkan kecepatan.
11. Kecepatan = 7100: Jika kecepatan tepat pada 7100 RPM, nozzle berhenti bergerak.
12. Nozzle Berhenti Bergerak: Tidak ada perubahan lebih lanjut pada posisi nozzle.
13. END: Proses kontrol selesai.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari Hasil pengukuran pada tabel 2, dapat dianalisa yaitu terdapat 2 besaran suhu 500°F dan 1010°F. Untuk suhu 500°F nilai spesifikasi yang telah ditetapkan adalah 7050rpm sedangkan nilai as found nya 7030rpm yang mana tidak sesuai dengan spesifikasi sehingga dibutuhkan pengkalibrasian dengan melakukan adjustment pada potensiometer R92.

TABEL II
Hasil Pengukuran Pada SNCV CARD

TEMPERATURE (TX)		NHP(Hz) << NCE				ADJUSTMENT ILIF
Vdc	°F	As Found	As Left	Spec.	%	
	500	7030	7052	7050	99	SNCV (3), R92
	1010	7120	7099	7100	100	(2),R93

Untuk suhu 1010°F nilai spesifikasi yang telah ditetapkan adalah 7100rpm sedangkan nilai as found nya 7120rpm yang mana tidak sesuai dengan spesifikasi sehingga dibutuhkan pengkalibrasian dengan melakukan adjustment pada potensiometer R93.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian pada PT Pema Global Energi terkait dengan sistem *control second stage nozzle* pada turbin gas, berdasarkan hasil data yang diperoleh maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada sistem *control second stage nozzle* yang dilakukan pada turbin gas MS-5002 sensor yang digunakan adalah sensor kecepatan (*magnetic pickup*).
2. Proses adjustment pada *second stage nozzle* dilakukan dengan cara memutar potensio pada card SNCF.
3. *Nozzle Control Card* yang digunakan ada SNCF (*Nozzle Control Card*) untuk memantau besaran sudut yang terbuka pada nozzle, SSVG (*Servo Valve Control Card*) berfungsi untuk output yang mengaktifkan *Servo Valve* dari *Second Stage Nozzle*.

REFERENSI

- [1] Gusnita, N., & Said, K. S. (2017). **Analisa Efisiensi Dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 Mw**. Sains, Teknologi Dan Industri, 14(2), 209–218.
- [2] Boyce, Meherwan P.. (2006). *Gas Turbine Engineering Handbook*. London.
- [3] Kurniawan, Fx Ryan. (2010). **Sistem Kontrol Speedtronic Mark V Sebagai Pengendali Steam Pada Inlet Pressure Control (Ipc) Steam Turbine Generator (Stg)**. Semarang.
- [4] R., Guasch, A. Quevedo, J. Milne,. (2000). *Fault Diagnosis For Gas Turbines Based On The Control System*. Scotland.
- [5] Nurdin Idris. (2022). *Mark II Speedtronic Control System Volume II*, 21-22.
- [6] Arne, Loft,. (1969). *Speedtronic ®Tomorrow's Analog And Digital Gas Turbine Control System*. Denmark