

Design of 2-Axis Flexible Fixture Control System Based on Microcontroller

Havif Alvyan Ikhwanudin^{1,*}, Sampurno¹ dan Suhardjono¹

¹Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

*Korespondensi: alvyanhavif@gmail.com

Abstract. The high accuracy and precision products can be obtained by developing jig and fixture technology from machining process, one of them is by flexible fixture design that can simplify setting up workpiece. In this research will be designed and made flexible fixture control system based on arduino microcontroller. The first step is to determine the type of component that will be used to make flexible fixture control system, then program the microcontroller so flexible fixture can move automatically. The next step is to analyze the control system using MATLAB. Further evaluate flexible fixture control system by giving input in the form of step response, so get peak time, settling time, rise time, and overshoot percentage. The result of frequency response analysis to determine the stability with nyquist method resulted that the frequency response graph does not include the point $-1 + j0$. Stability testing by routh hurwitz method states that in the first column there is no sign change, meaning that all roots are positive. Further testing by root locus method produces characteristic roots located on the left of the imaginary axis of $-1824.8, -45.6 + 114.2i, -45.6 - 114.2i$. From the three stability criteria can be concluded that the control system of flexible fixture in a stable state. For evaluation of this control system by giving input step response obtained time response value in the form of peak time 0.0283 s, settling time 0.0877 s, rise time 0.0166 s, overshoot percentage 28.5%. From the evaluation can be concluded this control system has good enough time response, so flexible fixture can move quickly and corresponding with the desired setting point.

Abstrak. Produk dengan keakuratan dan ketelitian tinggi dapat didapatkan dengan cara mengembangkan teknologi *jig and fixture* dari proses permesinan, salah satunya adalah dengan cara rancang bangun *flexible fixture* yang dapat mempermudah *setting up* benda kerja. Dalam penelitian ini akan dirancang dan dibuat sistem kontrol *flexible fixture* yang berbasis *microcontroller arduino*. Langkah awal adalah menentukan jenis komponen yang akan digunakan untuk membuat sistem kontrol *flexible fixture*, kemudian memprogram *microcontroller* sehingga *flexible fixture* dapat bergerak secara otomatis. Langkah selanjutnya adalah menganalisa sistem kontrol dengan menggunakan bantuan *software MATLAB*. Selanjutnya mengevaluasi sistem kontrol *flexible fixture* dengan memberi input berupa *step response*, sehingga didapatkan *peak time*, *settling time*, *rise time*, dan *persentase overshoot*. Hasil analisa *frequency response* untuk menentukan kestabilan dengan metode *nyquist* menghasilkan bahwa grafik *frequency response* tidak mencakup titik $-1 + j0$. Pengujian kestabilan dengan metode *routh hurwitz* menyatakan bahwa pada kolom pertama tidak terjadi perubahan tanda, artinya semua akar bernilai positif. Selanjutnya pengujian dengan metode *root locus* menghasilkan akar-akar karakteristik terletak di sebelah kiri sumbu imajiner sebesar $-1824.8, -45.6 + 114.2i, -45.6 - 114.2i$. Dari ketiga kriteria kestabilan tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol dari *flexible fixture* dalam keadaan stabil. Untuk evaluasi sistem kontrol ini dengan memberi input *step response* didapatkan nilai *time response* berupa *peak time* 0.0283 s, *settling time* 0.0877 s, *rise time* 0.0166 s, *persentase overshoot* 28.5%. Dari evaluasi tersebut dapat disimpulkan sistem kontrol ini mempunyai respon waktu yang cukup baik, sehingga *flexible fixture* dapat bergerak dengan cepat dan sesuai dengan *setting point* yang diinginkan.

Kata kunci: flexible fixture, microcontroller, time response, frequency response

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Perkembangan industri yang pesat memberi kesempatan yang baik untuk mengembangkan pemesinan yang menunjang proses produksi. Peran industri memang sangat besar dalam sektor pemesinan karena bisa merangsang perkembangan teknologi dalam suatu mesin untuk dapat memenuhi permintaan dari konsumen. Hal ini disebabkan

karena teknologi pemesinan mengandung keterkaitan dengan berbagai industri yang pada dasarnya mencakup segala aspek teknologi, bahan, perancangan dan proses.

Salah satu alat yang dapat digunakan dalam sebuah proses produksi yang bergerak dalam dalam bidang manufaktur adalah *flexible fixture*. Alat ini biasanya digunakan pada mesin milling (*milling*

machine), mesin bor (*drilling machine*), mesin milling CNC (*milling CNC machine*), mesin EDM (*Electrical Discharge Machine*), dan lain-lain. *Flexible fixture* dapat berputar dari 0° - 360° serta bisa bergerak miring mulai 0° - 45° ke kanan atau ke kiri pada semua posisi putar dari 0° - 360° . Dengan memakai alat tersebut diharapkan dapat membantu proses produksi menjadi lebih cepat dan dapat menghemat waktu. Penggunaan *microcontroller* sebagai alat untuk mengatur gerakan dari *flexible fixture* dapat membantu dan mempermudah pengerjaan, operator mesin tidak perlu melakukan pengaturan secara manual karena pengaturan gerakan alat diatur dengan cara memasukkan program dari *keypad* sesuai dengan putaran dan sudut kemiringan yang diinginkan. Dengan adanya sistem kontrol pada *flexible fixture* diharapkan proses pengerjaan benda kerja dapat akurat dan presisi serta bisa mempercepat dan mempermudah pengerjaan benda kerja.

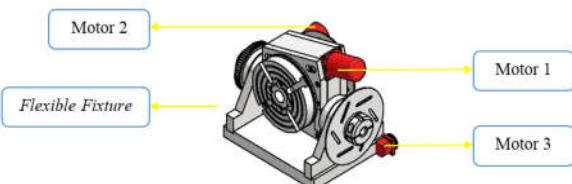
Apabila penggunaan alat ini mampu diterapkan dalam setiap proses industri manufaktur dalam negeri, maka proses produksi akan menjadi lebih cepat dan membuat biaya produksi menjadi lebih rendah. Jika biaya produksi menjadi lebih rendah perusahaan akan mendapatkan keuntungan yang lebih besar dan dapat membuat industri manufaktur menjadi lebih berkembang. Oleh karena itu, perlu dilakukan perancangan otomatisasi *flexible fixture* berbasis *microcontroller* yang sederhana dan murah, dengan tanpa mengabaikan kestabilan sistem kontrol *flexible fixture* tersebut.

Metode Perancangan

Proses merancang sistem kontrol *flexible fixture* diawali dengan pemilihan komponen kontrol yang sesuai dengan kebutuhan hingga pada proses merangkai komponen tersebut. Setelah itu *microcontroller* diprogram dengan menggunakan *arduino software (IDE)*, apabila pergerakan motor DC sudah sesuai dengan *set point* maka komponen-komponen kontrol akan dirakit dengan komponen *flexible fixture*. Kemudian langkah terakhir adalah melakukan pengujian *flexible fixture* ini.

Sebelum melakukan analisa kestabilan sistem kontrol *flexible fixture* mula-mula yang harus dilakukan adalah menentukan persamaan sistem kontrol dalam *frequency domain* dalam bentuk *overall transfer function*, kemudian melakukan analisa kestabilan sistem kontrol dengan metode-metode seperti *nyquist*, *Routh Hurwitz*, dan *root locus*. Selanjutnya mengevaluasi sistem kontrol *flexible fixture* dengan memberi input berupa *step response*, sehingga didapatkan *peak time*, *settling time*, *rise time*, dan *percentase overshoot*.

Flexible fixture merupakan sebuah alat pencekam yang biasa digunakan dalam sebuah proses permesinan. *Flexible fixture* bisa digunakan pada mesin milling (*milling machine*), mesin bor (*drilling machine*), mesin milling CNC (*milling CNC machine*), mesin EDM (*Electrical Discharge Machine*), dan lain-lain. *Flexible fixture* merupakan alat pencekam yang bisa bergerak secara *flexible*, dimana gerakan yang dapat dilakukan adalah sebanyak 2 *axis* yaitu berputar 360° serta bergerak miring ke kanan atau miring ke kiri dengan sudut maksimal $\pm 45^\circ$. Penggunaan *microcontroller* sebagai pengatur gerakan dari *flexible fixture* dapat mempermudah dalam mengatur gerakan *flexible fixture* sehingga pengaturan sudut bisa lebih presisi. Berikut adalah *flexible fixture* yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Flexible fixture yang direncanakan

Ketelitian saat pengaturan koordinat pergerakan pada *flexible fixture* yang dalam hal ini sangat penting karena akan berpengaruh pada produk yang dihasilkan. Produk yang dihasilkan harus benar-benar baik dan sesuai dengan yang diharapkan. Oleh karena itu, akurasi *flexible fixture* dan pemrogramannya sangat diperlukan pada proses ini.

1. Switching Power Supply

Switching power supply adalah sebuah rangkaian yang berfungsi untuk melakukan konversi arus listrik dari arus AC menjadi arus DC dan juga untuk menyediakan tegangan yang sesuai dengan peralatan elektronik yang dibutuhkan, seperti diilustrasikan pada gambar 2. Tegangan yang dibutuhkan pada peralatan elektronik kali ini adalah 24 V.



Gambar 2. Switching power supply

2. Microcontroller

Microcontroller yang digunakan pada perencanaan ini adalah arduino MEGA, karena memiliki banyak keunggulan dibandingkan beberapa produk *microcontroller* lainnya, misalnya mudah untuk

diimplementasikan dengan perangkat lain baik dalam hal *hardware* atau *software* yang *open source*. Arduino MEGA beroperasi pada tegangan 5 V dan mempunyai pin sebanyak 54 buah. *Microcontroller* tersebut dapat digambarkan pada gambar 3.



Gambar 3. *Microcontroller* arduino MEGA

3. Motor DC *Driver*

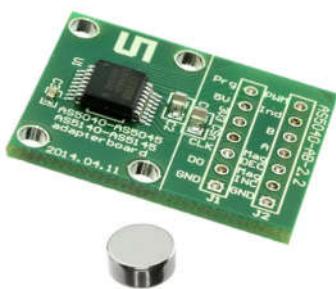
Komponen utama dari rangkaian ini adalah transistor yang berjumlah 4 buah. Transistor tersebut berfungsi sebagai saklar atau *switching*, karena arus yang dihasilkan oleh *microcontroller* kecil 20 mA, sehingga tidak dapat menggerakkan motor DC yang memerlukan arus 5300 mA. Pada perancangan kali ini *driver* yang digunakan adalah *driver shield* L293D yang ditunjukkan pada gambar 4.

4. Motor DC

Magnetic rotary encoder berfungsi sebagai *feedback* pergerakan dari *flexible fixture*. Ketelitian *flexible fixture* adalah 10', sehingga resolusi *rotary encoder* yang digunakan adalah sebesar 12 bit. Alat ini beroperasi pada tegangan 5 V. *Magnetic rotary encoder* tersebut ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 4. Motor DC *driver*



Gambar 5. *Magnetic rotary encoder*

5. Motor DC

Motor DC bertindak sebagai aktuator dalam perancangan ini. Motor DC yang digunakan adalah DC022C-3 dengan tegangan 24 V seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Motor DC

Hasil dan Pembahasan

a. Model Matematis Sistem Kontrol

- *Microcontroller*

Arduino MEGA adalah *microcontroller* yang beroperasi pada tegangan 5V, sehingga model matematis atau fungsi alih *microcontroller* mempunyai nilai *gain* 5.

- Motor DC *Driver*

Pada penelitian ini, Motor DC *driver* merupakan komponen yang berfungsi untuk mengendalikan motor DC agar dapat bekerja. Cara kerja motor DC *driver* ini seperti halnya saklar *on-off*, sehingga model matematis atau *transfer function* motor DC *driver* bernilai 1.

- Motor DC

Motor DC adalah rangkaian elektromekanik yang merupakan sistem gabungan antara elektrik dengan mekanik. Pada bagian elektrik terdapat resistansi dan induktansi, sedangkan bagian mekanik terdapat momen inersia, torsi, dan koeffisien gesek. Setelah semua komponen diperhitungkan maka model matematis atau fungsi alih motor DC dalam *domain frequency* dapat diilustrasikan pada gambar 7.

$$\frac{2.63}{0.0000381s^3 + 0.073s^2 + 6.917s}$$

Motor DC

Gambar 7. Fungsi alih motor DC

- *Ratio Gear*

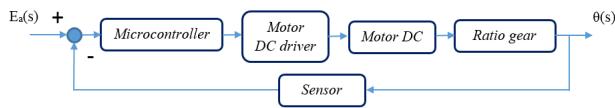
Motor mempunyai *gear box* dengan *ratio* 4:1, dan *flexible fixture* mempunyai mekanisme *worm gear* dengan *ratio* 20:1, sehingga total *ratio* yang digunakan adalah 80:1. Sehingga model matematis atau fungsi alih *ratio gear* bernilai 80.

- Sensor

Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah *magnetic rotary encoder*, dimana setiap perhitungan pulsanya ditandai dengan perubahan nilai *LOW* menjadi *HIGH* atau sebaliknya, nilai *HIGH* menjadi *LOW*. Sehingga model matematis atau fungsi alih sensor bernilai 1.

- b. Fungsi Transfer Sistem Kontrol

Dari semua model matematis diatas dapat digambarkan model diagram *block* seperti yang ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Diagram block sistem

Fungsi transfer dari diagram block sistem *flexible fixture* dengan analisa negatif *feedback* adalah sebagai berikut.

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{ABCD}{1+ABCDE} \quad (1)$$

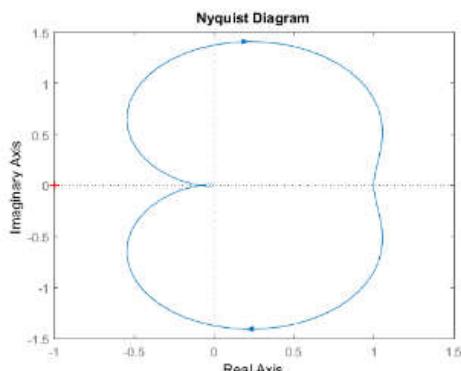
dimana *microcontroller* = A, motor DC *driver* = B, motor DC = C, *ratio gear* = D dan *sensor* = E.

Setelah semua koefisien dimasukkan, maka didapatkan *overall transfer function* sebagai berikut

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{1052}{0.0000381s^3 + 0.073s^2 + 6.917s + 1052} \quad (2)$$

c. Analisa Kestabilan dengan Metode Nyquist

Stabilitas dari sistem kontrol *loop* tertutup dapat ditentukan langsung dengan menghitung kutub dari fungsi transfer *loop* tertutup. Sebaliknya, kriteria kestabilan *nyquist* memungkinkan stabilitas ditentukan tanpa menghitung kutub *loop* tertutup. Diagram *nyquist* pada dasarnya *plot* dari $G(j\omega)$ dimana $G(s)$ adalah fungsi *loop* terbuka dan ω adalah vektor frekuensi yang berada dekat bidang sebelah kanan.



Gambar 9. Nyquist diagram sistem kontrol *flexible fixture*

Gambar 9 menunjukkan hasil analisa kestabilan pada sistem kontrol *flexible fixture* dalam diagram *nyquist*. Pada gambar 3.9 terlihat bahwa *nyquist* diagram yang terbentuk tidak melingkupi titik $(-1, j0)$, sehingga dapat dikatakan bahwa sistem kontrol *flexible fixture* yang telah dibuat dalam keadaan stabil.

d. Analisa Kestabilan dengan Metode Routh Hurwitz

Kriteria kestabilan *routh hurwitz* merupakan kriteria yang menyatakan kestabilan absolut suatu

sistem kontrol. Dimana pada kestabilan *routh hurwitz* menunjukkan ada atau tidaknya akar-akar dari persamaan karakteristik pada sistem kontrol yang terletak pada sisi sebelah kanan sumbu imajiner. Didapatkan hasil *overall transfer function* sistem sebagai berikut.

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{1052}{0.0000381s^3 + 0.073s^2 + 6.917s + 1052} \quad (3)$$

Dalam menganalisa kestabilan *routh hurwitz* ini, dari *overall transfer function* diatas dapat disusun koefisien-koefisien tabel *routh* dibawah ini.

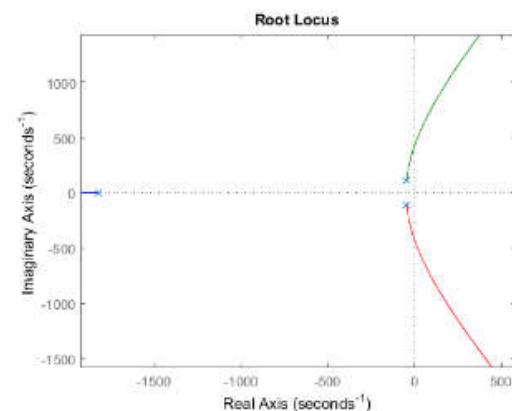
S3	0.0000381	6.917
S2	0.073	1052
S1	6.368	0
S0	1052	

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa hasil pada kolom pertama tidak terjadi perubahan tanda (semua positif), maka sistem kontrol *flexible fixture* dapat dikatakan stabil.

e. Analisa Kestabilan dengan Metode Root locus

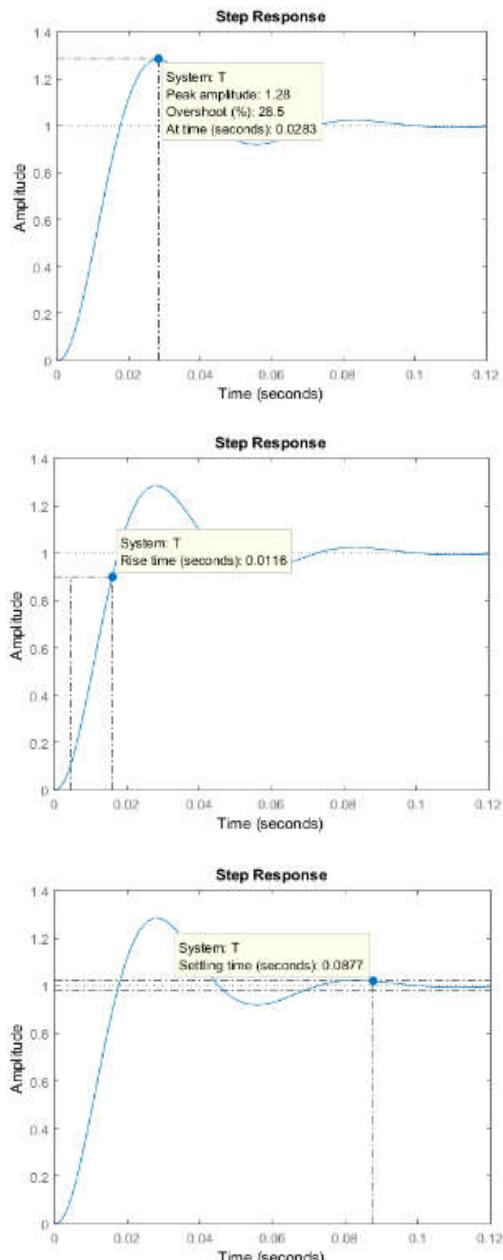
Root locus (tempat kedudukan akar) merupakan suatu analisis dalam *control engineering* yang menggambarkan pergeseran letak *pole-pole* suatu sistem *loop* tertutup dari perubahan besarnya penguatan. Analisis ini digunakan sebagai salah satu dasar untuk mendesain suatu sistem kendali sesuai dengan karakteristik dan spesifikasi yang diinginkan. Analisis *root locus* ini dapat menentukan apakah suatu sistem stabil atau tidak, selain itu dapat menentukan besarnya rentang penguatan *loop* tertutup agar suatu *system* masih dapat dikatakan stabil.

Gambar 10 adalah hasil dari analisa dengan metode *root locus*. Dari hasil gambar 10, dapat dikatakan bahwa sistem kontrol *flexible fixture* dalam keadaan stabil, karena akar-akar karakteristik dari *transfer function* berada pada sebelah kiri sumbu imajiner, yaitu $-1824.8, -45.6 + 114.2i, -45.6 - 114.2i$.



Gambar 10. Root locus sistem kontrol *flexible fixture*

Gambar 11 adalah hasil evaluasi sistem kontrol dengan input *step response*. Dengan memberi input *step response*, didapatkan grafik dengan nilai *time response* berupa *peak time* 0.0283 s, *settling time* 0.0877 s, *rise time* 0.0166 s, dan *persentase overshoot* 28.5%. Dari evaluasi tersebut dapat disimpulkan sistem kontrol ini mempunyai respon waktu yang cukup baik, sehingga *flexible fixture* dapat bergerak dengan cepat dan sesuai dengan *setting point* yang diinginkan.



Gambar 11. Grafik *step response* sistem kontrol *flexible fixture*

Kesimpulan

Dari hasil rancangan yang telah dibuat dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kontrol *flexible fixture* mempunyai *overall transfer function*.

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{1052}{0.0000381s^3 + 0.073s^2 + 6.917s + 1052}$$

2. Hasil analisa kestabilan dengan metode *nyquist* yaitu *nyquist* diagram yang terbentuk tidak melingkupi titik (-1, j0), hasil analisa kestabilan dengan metode *routh hurwitz* bahwa hasil pada kolom pertama tidak terjadi perubahan atau semua akar bernilai positif, dan hasil analisa kestabilan dengan metode *root locus* akar-akar karakteristik dari *transfer function* berada pada sebelah kiri sumbu imajiner, yaitu -1824.8, -45.6 + 114.2i, -45.6 - 114.2i. Dari ketiga metode diatas dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol *flexible fixture* dikatakan stabil.

3. Evaluasi sistem kontrol dengan memberi input *step response* didapatkan nilai *time response* berupa *peak time* 0.0283 s, *settling time* 0.0877 s, *rise time* 0.0166 s, dan *persentase overshoot* 28.5%.

Referensi

- [1] Johnson, C. D., 1993. Procces Control Instrumentation Technology. Jersey: Prentice Hall International Inc.
- [2] Nise, N. S., 2011. Control Systems Engineering. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Bishop, R. H., 1998. Modern Control System Analysis And Design Using MATLAB. Texas: The University of Texas at Austin.
- [4] Ogata, K., 1995. Teknik Kontrol Automatic. Diterjemahkan oleh Edi Laksono. Jakarta: Erlangga.