

PENGENDALIAN MANIPULATOR ROBOT PEMANEN BUAH DALAM *GREENHOUSE* MENGGUNAKAN LABVIEW

Setya Permana Sutisna¹, I Dewa Made Subrata²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor

²Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Email: setperna@gmail.com, dewamadesubrata@yahoo.com

Abstrak

Peningkatan kebutuhan pangan tidak hanya pada jumlah melainkan kualitas. Untuk menjaga kualitas buah hasil produksi pertanian diperlukan kegiatan pemanenan pada tingkat kematangan yang merata. Umumnya tingkat kematangan buah dalam suatu pohon tidak merata sehingga diperlukan pemanenan yang selektif. Pemanenan dengan tenaga manusia seringkali menghasilkan buah yang dipanen tidak matang secara merata, oleh karena itu dibutuhkan suatu alat yang mampu melakukan pemanenan secara selektif. Robot pemanen diharapkan mampu memanen secara selektif sehingga diperoleh hasil pemanenan dengan tingkat kematangan yang merata. Salah satu bagian terpenting dalam kesuksesan pada suatu robot pemanen adalah manipulator. Fungsi manipulator yaitu untuk memposisikan *end-effector* untuk menjangkau target buah yang akan dipanen. Kesalahan dalam menjangkau target dapat menyebabkan kegagalan robot dalam memanen. Pengendalian pergerakan manipulator menggunakan pemrograman LabView dengan Ni-Daq 6009 untuk menghubungkan manipulator ke perangkat komputer. Pengujian dilakukan dengan mengukur besar simpangan ujung manipulator terhadap koordinat target. Manipulator telah berhasil dibuat dengan tiga derajat bebas yang terdiri dari dua *rotational joint* (joint 1 dan joint 2) serta satu *perismatic joint* (joint 3). Rata-rata simpangan manipulator pengujian tanpa beban sumbu x 13.85 mm dengan ketepatan 95.70 %, sumbu y 15.05 mm dengan ketepatan 92.31 %, dan sumbu z 3.2 mm dengan ketepatan 99.42%.

Kata kunci : manipulator, robot pemanen

PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kesejahteraan masyarakat dan kesadaran akan keamanan menyebabkan kenaikan tuntutan bahan pangan berkualitas. Bahan makanan yang dikonsumsi dipilih secara selektif untuk kesehatan jangka panjang. Buah matang pohon menjadi primadona konsumen walaupun dengan harga yang relatif tinggi. Tingginya permintaan tersebut mendorong peningkatan pertumbuhan industri pertanian. Hal ini mendorong petani untuk selalu dapat menjaga kualitas produksi buah yang dihasilkan. Pada bahan pangan tertentu seperti buah dan sayuran, kegiatan budidaya mengarah pada pemakaian *greenhouse*. Budidaya pertanian dalam *greenhouse* dapat mengurangi

ketidakpastian dan memperbesar harapan perolehan keuntungan yang besar. Lingkungan dalam *greenhouse* dapat dengan mudah diatur dibandingkan lingkungan luar. Hasil yang diperoleh dapat memiliki kualitas yang lebih baik sehingga dapat memenuhi permintaan masyarakat terhadap kualitas pangan yang lebih baik.

Menurut Suhardiyanto (2009) penggunaan *greenhouse* dalam budidaya tanaman merupakan salah satu cara untuk memberikan lingkungan yang lebih mendekati kondisi optimum bagi pertumbuhan tanaman. Ruang di dalam *greenhouse*, parameter lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman yaitu cahaya matahari, suhu udara, kelembaban udara, pasokan nutrisi, kecepatan angin, dan konsentrasi

karbondioksida dapat dikendalikan dengan lebih mudah. Penggunaan *greenhouse* memungkinkan dilakukannya modifikasi lingkungan yang tidak sesuai bagi pertumbuhan tanaman menjadi lebih mendekati kondisi optimum bagi pertumbuhan tanaman. Hal tersebut menjadikan pengendalian kualitas tanaman mudah dilakukan pada budi daya di dalam *greenhouse*.

Salah satu faktor jaminan kualitas produk yang dihasilkan dipengaruhi oleh kegiatan pemanenan. Buah yang akan dipanen harus dipanen tepat waktu dengan tingkat kematangan tertentu. Pemanenan pada waktu yang tidak tepat dapat menurunkan kualitas hasil produksi sehingga dapat menurunkan harga jual. Waktu panen yang tidak tepat menyebabkan buah dipanen sebelum matang atau sangat matang. Pemanenan dengan tenaga manusia sering kali diperoleh tingkat kematangan buah yang tidak seragam oleh karena itu dibutuhkan suatu alat yang bisa melakukan pemanenan secara selektif. Ketidakteragaman terjadi karena perbedaan "rasa" atau sensitifitas pancaindera. Perbedaan sensitifitas pancaindera antara orang yang satu dan lainnya berbeda tergantung pada pengalaman orang tersebut dalam menentukan kematangan. Sensitifitas pancaindera juga dapat dipengaruhi oleh keadaan orang yang sama, misalnya saat sehat dan sakit, atau saat fit dan lelah. Untuk menjamin kualitas tersebut maka muncul ide untuk membuat robot pemanen.

Struktur dasar robot pertanian terdiri dari sistem pengindera, sistem pengangkut, *manipulator*, *end-effector*, dan sistem pengendali. Manipulator adalah salah satu struktur dasar yang sangat penting pengaruhnya terhadap keberhasilan robot dalam melakukan tugasnya (Kondo et al. 1998). Kekurang telitian manipulator dalam memposisikan *end-effector* akan menyebabkan kegagalan tugas. Oleh karena itu perlu dibuat manipulator yang memiliki ketelitian tinggi dengan jangkauan luas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan manipulator untuk robot pemanen buah dalam *greenhouse*. Manipulator diharapkan mampu menempatkan *end-effector* dengan tepat sesuai dengan koordinat yang ditentukan.

METODOLOGI

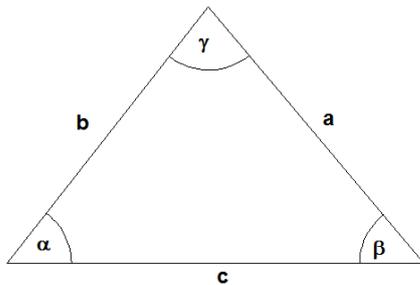
Penelitian dimulai dengan pendekatan disain fungsional dan struktural untuk menentukan kebutuhan bahan-bahan yang digunakan. Bahan-bahan yang telah ditentukan kemudian dirangkai sehingga membentuk fisik manipulator. Untuk pengontrolan putaran motor digunakan pemrograman LabView dengan Ni-DaQ 6009 untuk menghubungkan manipulator ke perangkat komputer. Pengujian dilakukan dengan mengukur besar simpangan ujung manipulator terhadap koordinat target.

Menurut Dodi et al, (2007) LabVIEW adalah sebuah software pemrograman yang diproduksi oleh National Instruments dengan konsep yang berbeda. Seperti bahasa pemrograman lainnya yaitu C++, matlab atau Visual Basic, LabVIEW juga mempunyai fungsi dan peranan yang sama, perbedaannya bahwa LabVIEW menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis atau blok diagram sementara bahasa pemrograman lainnya menggunakan basis ext.

Manipulator dirancang terdiri dari dua *rotational joint* dan satu *perismatic joint*. Kombinasi tersebut membuat manipulator robot dapat bergerak pada tiga derajat bebas. Menurut Groover et al.(1986) banyaknya sambungan (*joint*) mempengaruhi posisi dan orientasi ujung manipulator. Supaya dapat bergerak dalam ruang tiga dimensi, manipulator membutuhkan minimal tiga derajat bebas. Semakin besar jumlah derajat bebas, akan semakin kompleks konstruksi robot dan semakin sulit untuk mengontrol sistem. Untuk gerakan vertikal (sumbu z) manipulator bergerak secara translasi ke atas atau ke bawah, sedangkan untuk

gerakan horizontal (sumbu x dan y) dihasilkan dari kombinasi dua Joint rotasi.

Persamaan perhitungan konfigurasi sudut rotasional *joint* 1 dan 2 disusun berdasarkan dalil sinus dan cosinus. Konfigurasi sudut *joint* 1 dan *joint* 2 seperti pada Gambar 1. Persamaan yang dikembangkan sebanyak dua persamaan yang dibedakan oleh nilai koordinat x positif (+) atau koordinat x negatif (-) sehingga persamaan yang dihasilkan dapat menjangkau daerah empat ruang pada bidang xy yaitu ruang I pada koordinat x dan y positif, ruang II pada koordinat x negatif dan koordinat y positif, ruang III pada koordinat x dan y negatif, serta ruang IV koordinat x positif dan koordinat y negatif.



Gambar 8. Segitiga sembarang

Dalil sinus:

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma} \quad (1)$$

Dalil cosinus :

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma \quad (2)$$

Jika :

a = panjang lengan II (mm)

b = panjang lengan I (mm)

α = sudut motor *joint* 1 ($^{\circ}$)

γ = sudut motor *joint* 2 ($^{\circ}$)

diperoleh :

$$c = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

$$\gamma = \arccos \left(\frac{a^2 + b^2 + c^2}{2ab} \right) \quad (4)$$

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{a \sin \beta}{b} \right) \quad (5)$$

Pada koordinat x positif nilai pergerakan sudut motor *joint* 1 sebesar α dengan arah putar ke kiri. Nilai pergerakan sudut motor *joint* 2 sebesar $(360-\gamma)$ dengan arah putar ke kanan. Saat koordinat x negatif nilai pergerakan sudut motor *joint* 1 sebesar $(180-\alpha)$ dan nilai pergerakan sudut motor *joint* 2 sebesar γ .

Pergerakan masing-masing *joint* bersumber dari gerak putar motor DC yang dikendalikan oleh komputer PC. Perhitungan matematis fungsi-fungsi kalibrasi dan logika matematika dilakukan oleh komputer. Penyusunan program pengendalian dilakukan dengan software LabView. Perintah pergerakan ditransmisikan dari komputer ke motor DC menggunakan data akuisisi Ni-DaQ 6009. Penentuan fungsi persamaan gerak motor DC dilakukan pada kegiatan kalibrasi. Pada Joint 1 dan 3 kalibrasi dilakukan dengan hubungan lama waktu putaran motor terhadap sudut yang dibentuk untuk Joint 1 dan jarak gerak translasi untuk motor penggerak Joint 3.

Kalibrasi pada motor DC pada siku (motor *joint* 2) dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara jumlah pulsa dan besar sudut jangkauan yang dibutuhkan untuk membentuk koordinat sumbu x dan sumbu y. Jumlah pulsa dihasilkan oleh *rotational encoder* dengan ketelitian 200 pulsa/putaran. Untuk memperbesar ketelitian *encoder* maka penyusunan program pembacaan *encoder* dilakukan perhitungan jumlah perubahan logika 0 ke 1 maupun perubahan logika 1 ke 0 sehingga ketelitian *encoder* menjadi 400 pulsa/putaran. Persamaan kalibrasi kemudian divalidasi dengan memberikan perintah manipulator pada titik tertentu. Kesalahan posisi yang terjadi kemudian dihitung dan digunakan untuk mengoreksi persamaan kalibrasi.

Pengujian manipulator dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu gerakan manipulator dari posisi limit *switch* ke titik koordinat dan gerakan titik koordinat ke titik koordinat lainnya. Pengujian pergerakan dari posisi limit

switch ke titik koordinat dilakukan dengan cara memasukkan nilai koordinat tiga dimensi X, Y, dan Z. Penentuan nilai koordinat dilakukan secara acak yang mencakupi empat kuadran bidang X dan Y. Setiap manipulator mencapai titik koordinat tujuan, maka manipulator tersebut harus kembali lagi ke posisi limit *switch* sebagai titik 0 (titik acuan) masing-masing *joint*. Pengujian manipulator gerakan titik koordinat ke titik koordinat dilakukan untuk mendapatkan simpangan pada pergerakan manipulator dari koordinat *input* terhadap koordinat aktual yang dicapai tanpa adanya koreksi ke titik acuan. Penentuan titik koordinat target dipilih secara acak dan koordinat aktual diukur dengan pengukuran langsung. Perhitungan simpangan dan ketepatan dihitung dengan menggunakan persamaan 6 dan 7.

$$y_n = |y_o - y_i| \quad (6)$$

di mana :

y_n = simpangan ke-n

y_i = jarak seharusnya

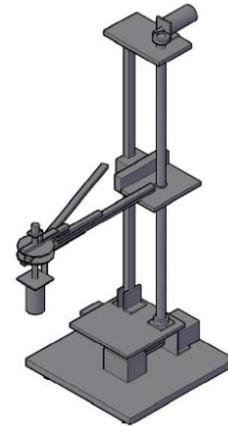
y_o = jarak aktual

$$\text{ketepatan} = \left[1 - \left| \frac{y_o - y_i}{y_i} \right| \right] \times 100\% \quad ..(7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain manipulator telah dihasilkan dan dibuat prototipenya dengan dimensi tinggi 1153 mm dengan lebar maksimum 595 mm. Gambar desain manipulator dapat dilihat pada Gambar 2. Ukuran manipulator dibuat sesuai dengan jarak tanam dan tinggi buah yang akan dipanen. Salah satu contoh buah dalam *greenhouse* yaitu tomat. Menurut Tugiyono (1998) jarak tanam tomat antar baris 50 cm sampai 80 cm dengan tinggi ajir kurang lebih 125 cm. Berdasarkan informasi tersebut berarti manipulator mampu menempati ruang yang tersedia pada jarak antar tanaman serta dapat menjangkau

buah tomat. Koordinat maksimum dan minimum sumbu z 1104mm dan 361 mm. Radius minimal ruang yang tersedia pada bidang xy sebesar 595 mm.



Gambar 9. Desain bentuk manipulator robot

Kalibrasi dilakukan untuk memperoleh hubungan waktu lama putar motor DC terhadap gerak motor penggerak *joint* 1 dan 3. Hasil kalibrasi motor penggerak *joint* 1 yaitu $y=0.1779x-0.175$ untuk putaran kiri dan $y=0.00965x+0.225$ untuk putaran arah kiri di mana y dalam ($^{\circ}$) dan x dalam (ms). Kalibrasi motor penggerak *Joint* 3 diperoleh persamaan kalibrasi $y=0.8831x+7.7195$ untuk arah pergerakan ke atas dan $y=0.1736x+1.3992$ untuk pergerakan bawah di mana y dalam (mm) dan x dalam (pulsa). Kalibrasi sudut putar *joint* 2 berdasarkan ketelitian encoder. Ketelitian encoder adalah 200 pulsa/putaran. Pembuatan program perhitungan pulsa dilakukan dengan menghitung perubahan logika 0 ke logika 1 dan sebaliknya sehingga ketelitian encoder menjadi 400 pulsa/putaran. Dalam satu putaran memiliki sudut 360° maka diperoleh nilai pulsa terhadap satu derajat adalah $1.11 \text{ pulsa}/^{\circ}$.

Validasi masing-masing *joint* dilakukan dengan memasukkan nilai jarak dari *perismatic joint* dan nilai sudut dari *rotational joint*. Masing-masing *joint* digerakkan tersendiri dan dicatat besar penyimpangan. Rata-rata simpangan *joint* 1 putaran arah kiri diperoleh 0.1° dengan ketelitian 99.8%. Putaran arah kanan menunjukkan simpangan terbesar

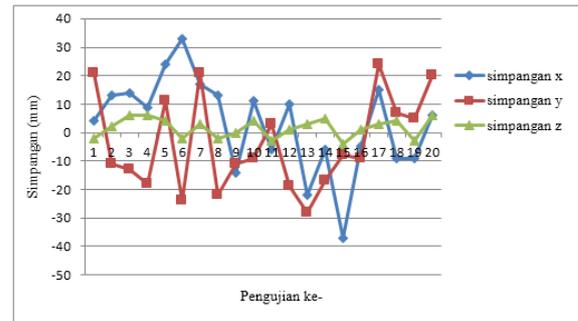
mencapai 2° . Rata-rata simpangan putaran arah kanan sebesar 0.5° dengan ketelitian 98.8%. Simpangan lebih dari 1° pada *joint* 1 dan *joint* 2 sudah dapat membuat simpangan manipulator pada sumbu-x dan sumbu-y yang cukup besar. Perlu simpangan kurang dari 1° agar diperoleh simpangan manipulator pada bidang xy yang baik.

Simpangan terbesar *joint* 2 arah kiri sebesar 8° . Rata-rata simpangan putaran arah kiri adalah 2.7° dengan ketelitian 92.7%. Putaran arah kanan memiliki simpangan terbesar sebesar 4° . Rata-rata simpangan putaran arah kanan adalah 1.9° dengan ketelitian 94.1%. Besar simpangan pada *joint* ini disebabkan oleh momen gaya pada lengan. Momen gaya pada lengan menyebabkan adanya putaran lanjutan pada motor. Motor yang digunakan tidak dilengkapi rem sehingga motor telah diberhentikan. Hasil validasi *joint* 3 memperoleh simpangan terbesar gerakan arah bawah adalah 4 mm. Rata-rata simpangan 1.1 mm dengan ketelitian 98.8%. Gerakan arah atas memiliki simpangan terbesar 5 mm. Rata-rata simpangan 1.1 mm dengan ketelitian 98.7%.

Pengujian manipulator dilakukan dengan memasukkan nilai koordinat x, y, dan z. Manipulator bergerak dari posisi limitnya menuju titik koordinat yang ditentukan secara acak. Koordinat x=0 dan y=0 berada pada pusat putaran *joint* 1. Koordinat z=0 berada pada permukaan tanah. Urutan pergerakan manipulator yaitu dimulai dengan gerakan pada koordinat z, setelah koordinat z tercapai motor *joint* 1 dan *joint* 2 bergerak bersamaan sehingga ujung manipulator menuju koordinat x dan koordinat y.

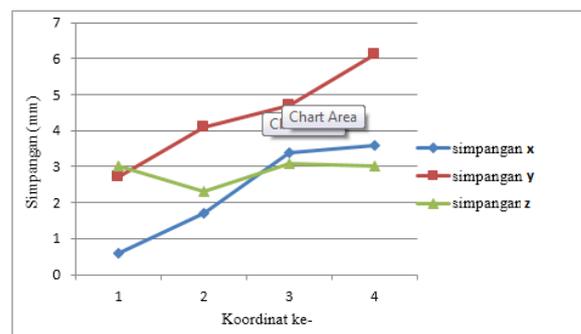
Simpangan koordinat z merupakan hasil simpangan *joint* 3. Simpangan *joint* 1 dan *joint* 2 menghasilkan besar simpangan koordinat x dan koordinat y. Besar simpangan terbesar koordinat x, koordinat y, dan koordinat z secara berurutan yaitu 33 mm, 28 mm, 6 mm. Simpangan rata-

rata koordinat x, koordinat y, dan koordinat z secara berurutan yaitu 13.8 mm, 15.1 mm, dan 3.2 mm. Ketelitian rata-rata gerakan pada koordinat x, koordinat y, dan koordinat z yaitu 95.7%, 92.3%, dan 99.4%. Besar simpangan pada masing-masing sumbu koordinat manipulator untuk pengujian dari limit ke koordinat tertentu dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 10. Hasil pengujian pergerakan dari limit ke koordinat tertentu

Selain pengujian simpangan pergerakan dari limit ke koordinat tertentu, dilakukan juga pengujian simpangan untuk pergerakan dari suatu titik koordinat tertentu ke titik koordinat selanjutnya tanpa harus bergerak terlebih dahulu ke posisi limit. simpangan rata-rata koordinat x 27.4 mm, koordinat y 29.2 mm, dan koordinat z 2.8 mm. Ketelitian pada koordinat x 92.5%, koordinat y 87.8%, dan koordinat z 99.4%. Besar simpangan pada masing-masing *joint* dengan gerakan ke koordinat 1, koordinat 2, koordinat 3, dan koordinat 4 semakin membesar dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 11. Perubahan simpangan masing-masing sumbu untuk gerakan koordinat ke koordinat lain

Subrata, et al. (2010) melakukan rancang bangun manipulator tipe silinder untuk robot pemanen buah dalam greenhouse yang tersusun oleh dua *perismatic joint* dan satu *rotational joint*. Hasil penelitian tersebut mendapatkan simpangan rata-rata dari pengujian gerak manipulator sebesar 5 mm dan simpangan terbesar 9 mm. Hasil simpangan tersebut lebih baik dibandingkan dengan penelitian ini. Dalam penelitian ini data akuisisi yang digunakan yaitu NI-DAQ 6009 yang kecepatan prosesnya lebih lambat jika dibandingkan dengan interface digital PPI 8255. Penyebab lainnya yaitu untuk pencapaian koordinat xy dalam penelitian ini menggunakan kombinasi dua *rotational joint*, akumulasi kesalahan pembentukan sudut oleh kedua *joint* ini menyebabkan simpangan yang cukup besar.

KESIMPULAN

Desain dan pembuatan prototipe manipulator robot pemanen yang telah dikembangkan memiliki tiga derajat bebas yang tersusun atas dua *rotational joint* dan satu *perismatic joint*. Interface pengendalian menggunakan software LabView dengan data akuisisi NI-DAQ 6009 dapat mengendalikan gerak manipulator mencapai target koordinat yang diinginkan. Hasil dari pengujian di peroleh rata-rata simpangan manipulator sumbu x 13.85 mm dengan ketepatan 95.70 %, sumbu y 15.05 mm dengan ketepatan 92.31 %, dan sumbu z 3.2 mm dengan ketepatan 99.42%.

DAFTAR PUSTAKA

- Dodi, G., Utomo, E.M. 2007. LabView Introduction Course Manual. Depok. Politeknik Negeri Jakarta.
- Groover, M. P., Weiss, M., Nagel, R. N., Odrey, N. G. 1986. Industrial Robotics:Technology, Programming, and Applications. McGraw Hill Company. Tokyo. Japan.
- Kondo, N., K. C. Ting. 1998. Robotics for Bioproduction Systems. The American Society of Agricultural Engineers, USA.
- Subrata, I. D. M., Alimuddin, Graha, S. B. 2010. Rancang Bangun Manipulator Tipe Silinder Untuk Robot Pemanen Buah Dalam Greenhouse. *Proceeding of The 1st National Conference on Industrial Electrical and Electronic* : 341-356.
- Suhardiyanto, H. 2009. Teknologi Rumah Tanaman Untuk Iklim Tropika Basah Pemodelan dan Pengendalian Lingkungan. Bogor. IPB Pres.
- Tugiyono, H. 1998. Bertanam Tomat. Jakarta. Penebar Swadaya.