

Desain Dan Realisasi Robot Meja Dengan Kemampuan Rekonfigurasi Permukaan (Self-Reconfigurable Table-1)

Putus Dadar Gumilang, Endah Suryawati Ningrum, Bima Sena Bayu Dewantara
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya
Email : renata140804@gmail.com,endah@eepis-its.edu,bima@eepis-its.edu

Abstrak

Riset ini membahas tentang robot meja pintar dengan kemampuan menjaga orientasi kestabilan permukaan yang digunakan pada lingkungan dengan permukaan tidak rata. Agar permukaan meja tetap datar maka desain dari kaki robot dibuat agar bisa menyesuaikan perbedaan permukaan lingkungan dengan mengatur ketinggian tiap kaki. Hal Pertama yang harus diperhatikan adalah pemodelan robot, desain mekanik serta elektronik. Dalam pemodelan dan desain mekanik dibuat sesuai dengan kemampuan dari robot yang dapat mengatur ketinggian masing-masing kaki berbentuk seperti lengan robot yang memiliki sendi-sendi menggunakan tiga aktuator berupa motor servo dan 2 sendi bebas agar kaki dapat bergerak lebih bebas. Permukaan meja berbentuk segitiga sama-sisi dengan posisi kaki terletak pada ujung segitiga. Dalam perancangan elektronik dibuat sesuai dengan komponen sensor dan aktuator yang dibutuhkan robot. Pertama sistem memberikan data tiap motor servo kemudian mendeteksi sensor accelerometer dan mengambil data yang kemudian masuk low pass filter, kemudian data digunakan sebagai acuan untuk mengatur posisi tiap kaki sehingga didapatkan permukaan yang datar. Dalam riset ini data dari sensor accelerometer kurang bagus sehingga harus digunakan filter untuk memproses data, semakin tinggi orde filter yang digunakan semakin bagus. Untuk kasus ini filter yang digunakan orde 1 jadi data yang dihasilkan kadang berubah-ubah, untuk mengatasinya maka diberikan toleransi pembacaan sudut sebesar -0.6° sampai 0.6° .

Kata kunci : Robot meja, Kestabilan Permukaan

1. Pendahuluan

Perkembangan dunia teknologi sekarang sudah sangat pesat. Segala hal dalam kehidupan sudah terjamah oleh kemajuan teknologi. Semua itu dilakukan untuk mempermudah manusia dalam menjalani kehidupan sehari-hari. Taraf hidup manusia yang juga semakin meningkat memaksa manusia untuk lebih memajukan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Di dunia yang serba cepat ini, manusia kini berlomba-lomba berinovasi menciptakan alat yang mampu membantu kehidupan

sehari-hari. Penulis berusaha membuat alat yang mampu menjaga orientasi kedataran permukaan, yang dapat digunakan pada medan yang memiliki kemiringan berbeda. Alat yang akan dibuat berbentuk seperti meja dengan kaki-kaki yang mampu menyesuaikan ketinggiannya mengikuti perbedaan kemiringan dari medan yang ditapaki. Dengan adanya alat ini akan memudahkan dalam menaruh barang secara aman meski pada medan yang tidak rata.

Perkembangan moderen pada transportasi penumpang, baik di udara, laut ataupun ruang angkasa selalu melibatkan manusia dengan percepatan[1]. Dalam pencarian sarana yang cocok untuk simulasi kondisi penerbangan sebagai pembelajaran pilot pesawat yang aman, desain mekanik telah dibentuk memiliki semua derajat kebebasan dalam keterbatasan desain amplitude dan mampu dikendalikan secara bersamaan. Hasil dari uji coba telah menjadi imajinasi untuk banyak kegunaan lain sesuai mekanisme tersebut.

Ada banyak kemungkinan untuk membuat desain dari robot enam derajat kebebasan. Misalnya satu metode yang jelas terdiri atas gimbal tiga axis yang digabungkan dengan sistem slider lurus tiga axis. Untuk menggabungkan sistem yang kuat dan respon cepat dalam jenis solusi ini, saat kinerja tinggi atau amplitude yang besar dibutuhkan dalam setiap 6 gerakan, umumnya menimbulkan masalah desain yang serius dan mahal dalam pembuatannya.

2. Metode

Platform Stewart adalah jenis robot parallel yang menggabungkan enam aktuator prismatic[2]. Aktuator tersebut dipasang ke basis mekanisme dan menyeberang ke tiga titik ujung *plate* berbentuk segitiga. *Plate* bagian atas dapat dirubah posisi dalam enam derajat kebebasan. Sumbu yang digunakan adalah x, y, z dan tiga rotasi pitch, roll dan yaw. Karena gerakan yang dihasilkan oleh kombinasi beberapa aktuator, alat tersebut kadang-kadang disebut sebagai *platform* gerak sinergis karena pergerakan dihasilkan dari interaksi dari setiap aktuator. Berikut ditunjukkan bentuk *platform Stewart* pada gambar 1.



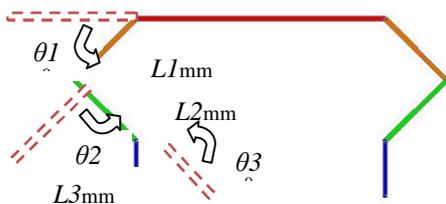
Gambar 1. Platform Stewart

Perangkat ini memiliki enam aktuator berbentuk kaki, sering juga dikenal sebagai *hexapod* (enam kaki). Platform Stewart sering diaplikasikan pada teknologi alat mesin, teknologi crane, penelitian bawah air, penyelamatan udara ke laut, posisi satelit, teleskop dan bedah ortopedi.

Dalam tugas akhir ini akan dibuat alat yang menyerupai platform Stewart namun dengan fungsi yang lebih sederhana. Bentuk mekanik alat yaitu segitiga sama sisi pada permukaan atas dengan tiga kaki. Setiap kaki memiliki tiga aktuator dan beberapa sendi bebas untuk menambah kelancaran dalam bergerak. Sistem sendi-sendi seperti pada lengan robot akan diaplikasikan pada setiap kaki robot meja. Sehingga memungkinkan setiap kaki untuk mengatur sudut pada masing-masing sendi yang akan berpengaruh pada ketinggian dari kaki meja tersebut.

3. Perhitungan dan Analisa

Perhitungan kinematik maju diperlukan untuk menentukan sudut setiap motor servo saat posisi ketinggian tertentu. Dengan didapatkan sudut yang pas akan membuat motor bekerja lebih optimal, tidak menanggung beban yang disebabkan posisi sudut motor yang salah. Gambar 2 dibawah ini menunjukkan pembagian kaki untuk perhitungan kinematik maju.



Gambar 2. Skema kaki robot

Dalam pergerakan robot dibagi dalam dua sumbu x dan y , karena mengacu pada sensor *accelerometer* yang mendeteksi sumbu x dan y secara tegak lurus. Setiap kaki pada robot memiliki bentuk mekanik yang sama maka perhitungan dapat diambil pada salah satu kaki dengan membagi pada salah satu sumbu sesuai pergerakan robot.

Kedudukan ujung lengan dinyatakan sebagai $P2(x,y)$,

$$P2(x,y) = f(\theta_1, \theta_2, \theta_3) \quad (1)$$

Agar didapatkan sudut yang pas maka diperlukan perhitungan kinematik untuk menentukan sudut setiap sendi. Maka menggunakan metode *forward kinematik*[3].

$$\text{Diketahui : } \quad L1 = 91.25, L2 = 91.25, L3 = 57 \\ \theta_1 = 45, \theta_2 = 90, \theta_3 = 315$$

$$x = 11 \cos \theta_1 + 12 \cos (\theta_1 + \theta_2) + 13 \cos (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (2)$$

$$x = 91.25 \cos 45 + 91.25 \cos (45 + 90) + 57 \cos (45 + 90 + 315)$$

$$x = 91.25 \times 0.7 + 91.25 \times (-0.7) + 57 \times 0 \\ x = 0$$

$$y = 11 \sin \theta_1 + 12 \sin (\theta_1 + \theta_2) + 13 \sin (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (3)$$

$$y = 91.25 \sin 45 + 91.25 \sin (45 + 90) + 57 \sin (45 + 90 + 315)$$

$$y = 91.25 \times 0.7 + 91.25 \times (-0.7) + 57 \times 1 \\ y = 184.75$$

Dimana :

$L1, L2, L3$ = panjang lengan 1, 2, 3

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$ = sudut yang dibentuk lengan 1, 2, 3

x = koordinat sumbu x

y = koordinat sumbu y

Perhitungan torsi kerja dilakukan dengan menghitung berat beban yang diangkat dan torsi motor yang dihasilkan. Berikut rumus yang dapat digunakan untuk menghitung torsi kerja:

$$T = F \cdot r \quad (4)$$

$$\times m_1 = 0.5 \text{ N}, \quad m_2 = 0.8 \text{ N}, \quad m_3 = 1.01 \text{ N}$$

$$\times F_{\text{atas}} = (m \cdot g)/3 = (0.5 \cdot 9.78)/3 = 1.643$$

$$\times F_{\text{tengah}} = (m \cdot g)/3 = (0.8 \cdot 9.78)/3 = 2.528$$

$$\times F_{\text{bawah}} = (m \cdot g)/3 = (1.01 \cdot 9.78)/3 = 3.3$$

Dimana:

T = torsi kerja (kg.cm)

F = Gaya total berat robot(N)

r = jari-jari panjang lengan(cm)

m_1, m_2, m_3 = massa yang ditanggung motor atas, tengah dan bawah

Gaya disini diasumsikan dibagi menjadi 3 sama besar karena beban terbagi antara 3 kaki. Jari-jari lengan adalah panjang lengan dari motor 1 ke lainnya. Dibawah ini dihitung torsi kerja dari motor servo paling bawah.

$$T = F_{\text{bawah}} \cdot r \quad (5)$$

$$T = 3,30 \text{ N} \cdot 93.9 \text{ mm} = 309,8 \text{ N.mm} = 3,098 \text{ kg.cm}$$

Untuk servo tengah pada setiap kaki didapatkan hasil.

$$T = Ftengah \cdot r \quad (6)$$

$$T = 2,528 \text{ N} \cdot 91,23 \text{ mm} = 230,6 \text{ N.mm} = 2,306 \text{ kg.cm}$$

Untuk servo atas pada setiap kaki didapatkan hasil.

$$T = Fatas \cdot r \quad (7)$$

$$T = 1,643 \text{ N} \cdot 91,23 \text{ mm} = 149,8 \text{ N.mm} = 1,498 \text{ kg.cm}$$

Tabel 1. Torsi kerja

Posisi	Massa (N)	Gaya (N)	Jari-jari lengan (mm)	Torsi kerja (kg.cm)	Torsi motor (kg.cm)	Kesimpulan
Atas	0,5	1,643	91,23	1,498	7,7	torsi motor > torsi kerja
Tengah	0,8	2,528	91,23	2,306	3,1	torsi motor > torsi kerja
Bawah	1,01	3,3	93,9	3,098	3,1	torsi motor > torsi kerja

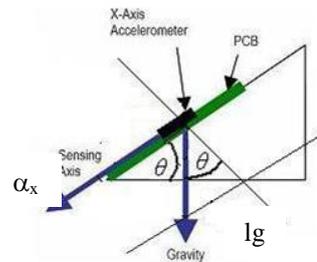
Dari data diatas didapatkan nilai torsi kerja dari motor paling bawah adalah 3,098 kg.cm, motor tengah adalah 2,306 kg.cm, dan motor atas adalah 1,498 kg.cm. Sedangkan torsi motor servo sendiri dari paling bawah adalah 3.1 kg.cm, servo tengah adalah 3.1 kg.cm, dan servo atas adalah 7.7 kg.cm. Dari hasil dapat disimpulkan bahwa rancangan ini termasuk aman karena **torsi motor > torsi kerja**.

Pada perancangan hardware dalam digunakan mikrokontroller ATmega16 sebagai pengendali utama semua sistem. Untuk aktuator digunakan motor servo, dan sensor menggunakan *accelerometer* untuk mendeteksi perubahan sudut yang terjadi pada robot[4]. Berikut sensor *accelerometer* dapat dilihat pada gambar 3. Accelerometer ini juga bisa di buat untuk mendeteksi perubahan kemiringan pada medan yang dilewatinya.



Gambar 3. Sensor Acelero mma7361

Tingkat kemiringan dapat diukur dengan membandingkan nilai percepatan benda pada posisi miring dengan posisi vertikal yang disebut sinus[5]. Berikut model accelero dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Accelerometer pada bidang miring

Dari Gambar diatas, arah dan percepatan *accelerometer* pada bidang miring di atas dapat dirumuskan persamaan berikut:

$$\theta = \arcsin(\alpha / g)$$

Keterangan :

α = Percepatan accelerometer pada bidang miring (m/s²)

g = Percepatan gravitasi bumi sebesar 9,8 m/s²

θ = Sudut bidang miring

Alasan mengapa dalam riset ini menggunakan sensor *accelerometer* adalah sensor ini dapat mendeteksi kemiringan sudut secara akurat. Namun ketika robot bergerak data berubah-ubah dalam *range* yang cukup besar. Karena itu dalam program diberi filter untuk memproses data dari sensor *accelerometer* agar tidak berubah-ubah. *Low pass* filter orde 1 digunakan dalam program sensor. Semakin tinggi orde filter yang digunakan maka semakin bagus data yang didapat, tetapi dalam riset ini filter orde pertama sudah cukup untuk memproses data yang dihasilkan sensor *accelerometer*.

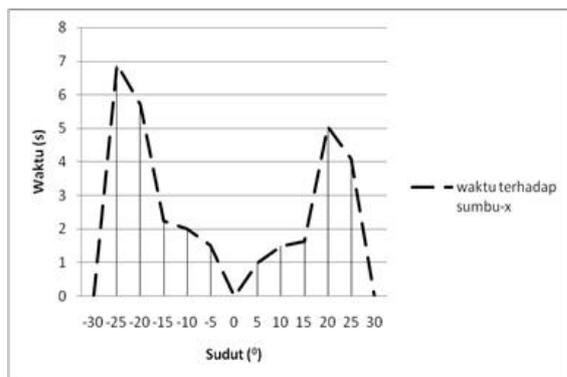
Dari hasil pengujian robot didapatkan data sensor *accelerometer* dan dibandingkan terhadap waktu. Sensor *accelerometer* terpasang pada permukaan meja robot bagian bawah. Saat pengujian semua sistem dinyalakan, baik sensor maupun aktuator. Pengujian dilakukan dengan merubah posisi telapak kaki robot sehingga permukaan meja menjadi miring dan sensor akan mendeteksi perubahan kemiringan kemudian aktuator robot merespon dengan mengatur sudut setiap motor servo sehingga terjadi perubahan ketinggian antar kaki. Respon dilihat dari waktu yang dihabiskan selama proses menstabilkan permukaan meja dari awal sampai benar-benar datar.

Berikut data yang dihasilkan tertera pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian

Sudut	x	y
-30		
-25	6.9	
-20	5.7	1.88
-15	2.25	1.88
-10	2.02	1.79
-5	1.52	1.31
0	0	0
5	1	1.29
10	1.5	1.87
15	1.63	1.89
20	5.06	1.88
25	4.1	
30		

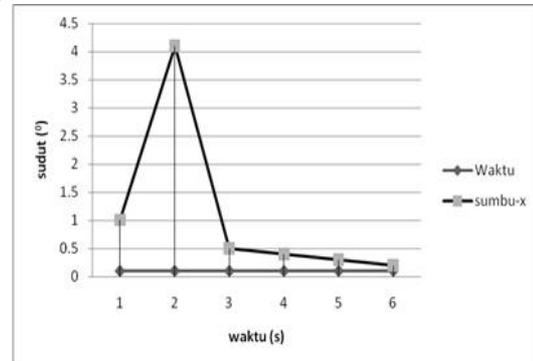
Dari Tabel 2 dapat digambar grafik respon sudut terhadap waktu. Data diambil dari pembacaan sensor *accelerometer* dan dibandingkan dengan respon motor servo saat proses menstabilkan permukaan meja. Respon motor servo diukur terhadap waktu yang dibutuhkan untuk menstabilkan permukaan dalam kondisi kemiringan sudut tertentu. Grafik dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik respon sudut

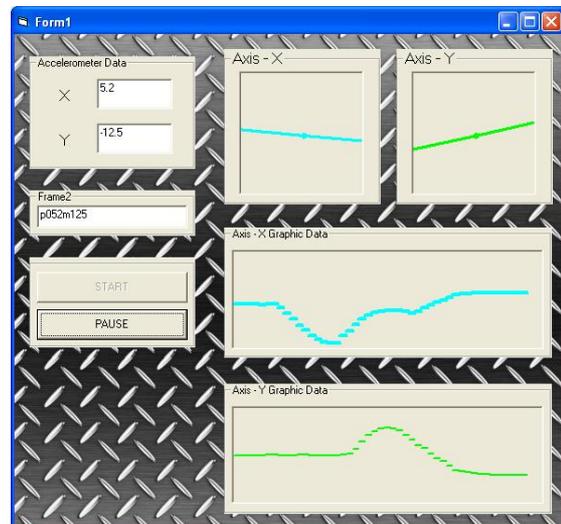
Data grafik gambar 5. diatas adalah respon sudut saat robot menstabilkan permukaan dan diukur terhadap waktu yang dihabiskan dari kemiringan sudut yang diuji. Terlihat sudut pengujian mulai dari

-30⁰ sampai 30⁰. Kondisi tercepat untuk menstabilkan permukaan adalah ketika sudut pengujian -15⁰ sampai 15⁰, hal ini dikarenakan sudut tersebut merubah pusat beban sedikit saja. Untuk lebih jelasnya respon perubahan sudut yang terjadi dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Respon sudut 5 derajat

Monitoring pada proyek akhir ini menggunakan program Visual Basic 6 (VB 6). Data yang masuk melalui serial akan ditampilkan pada program secara langsung, dibuat pula visualisasi grafik dan animasi sudut. Dengan menampilkan data pada Visual Basic 6 maka akan mempermudah dalam proses monitoring data sensor. Gambar 3 adalah tampilan dari program monitoring yang dibuat.



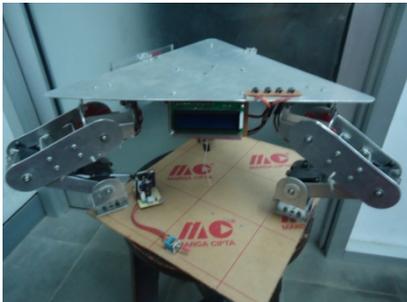
Gambar 7. Tampilan program monitoring

Dari hasil pengujian sensor yang telah dilakukan dapat dianalisa bahwa error yang terjadi pada pengujian tidak terlalu besar, hal ini dikarenakan sensor *accelerometer* terpasang pada alat yang tidak bergerak terus-menerus sehingga noise yang timbul pada sensor *accelerometer* tidak besar. Proses monitoring pada *host* komputer berjalan lancar, data terkirim dengan benar dan proses pemecahan data juga baik sehingga visualisasi yang dihasilkan dari sudut yang terbaca juga tepat. Pembacaan grafik perubahan sudut tiap waktu berjalan baik, jadi

memudahkan dalam monitoring data yang dihasilkan sensor.

4. Kesimpulan

Dari penelitian didapatkan bahwa ada beberapa hal yang bisa dilakukan untuk perbaikan penelitian ini ke depan. Antara lain desain mekanik dari robot dapat sedikit dirubah untuk kemudahan dalam pengetesan seperti kaki dari robot meja yang terpisah menjadi digabung untuk memudahkan pergerakan kaki. Dengan kaki yang terpisah akan menyulitkan dalam pengetesan juga akan menyulitkan dalam pergerakan jika salah satu kaki miring akan membuat error semakin besar. Penggunaan motor servo yang tepat juga akan berpengaruh pada gerak dari setiap kaki robot meja. Servo yang digunakan pada robot meja hanya memiliki torsi yang cukup untuk mengangkat permukaan robot meja sendiri sehingga jika akan digunakan pada wahana lain maka perlu dilakukan perhitungan torsi motor yang dibutuhkan sesuai berat wahana yang akan dibuat.



Gambar 8. Gambar realisasi robot meja

Setelah dilakukan proses perancangan alat dan merealisasikan rancangan dan desain yang telah dibuat dalam riset ini didapatkan data-data mengenai kelebihan alat yang dibuat juga kekurangan dari alat tersebut. Penggunaan sensor *accelerometer* cukup akurat untuk mengukur kemiringan sudut, namun untuk objek yang bergerak terus-menerus sensor ini tidak terlalu akurat sehingga perlu diberikan toleransi sudut antara -0.6° sampai 0.6° juga perlu ditambah filter pada program. Aktuator berupa motor servo membuat proses pengaturan ketinggian kaki menjadi mudah, untuk menggerakkan motor servo dengan diberikan data berupa pulsa dan motor servo merubah data tersebut menjadi posisi sudut. Penggunaan sedikit aktuator akan mempermudah program kontrol pembacaan sensor dan pergerakan aktuator. Dalam riset ini hanya digunakan program kontrol biasa untuk merubah dari pembacaan sudut menjadi pergerakan aktuator, penggunaan kontrol yang lebih baik akan membuat pergerakan aktuator lebih mudah dan akurat dalam setiap sudut yang dicapai. Bentuk desain seperti dalam riset ini hanya memungkinkan pergerakan *pitch*, *roll* dan pergeseran terhadap sumbu z. Untuk pergerakan lain perlu dilakukan perubahan pada desain bentuk mekanik.

Daftar Pustaka

- [1] Stewart, D. "A Platform With Six Degrees of Freedom". 1966.
- [2] Stewart Platform, 2012, http://en.wikipedia.org/wiki/Stewart_platform, diakses 16 juli 2012.
- [3] Pitowarno, E. "Robotikadesain, Control, dan Kecerdasan Buatan". Andi, Yogyakarta. 2006.
- [4] Accelerometer sensor, 2011, http://www.elecfreaks.com/store/images/product_images/Sensors/Accelerometer/Sensor_Accelerator_MMA7361_ACL01_02.jpg Rangkaian ATmega 16, 2011, http://www.toko-elektronika.com/tutorial/smartdotmatrix_files/image022.jpg, diakses tanggal 4 juli 2011.
- [5] Accelerometer pada bidang miring (jalu, 2009).