

SISTEM KEMUDI SEMI OTOMATIS DENGAN GYROSCOPE PADA MOBILE ROBOT BERSTRUKTUR ORIGAMI

Rakhmad Gusta Putra¹⁾, Budi Artono²⁾

Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun

¹⁾*gusta@pnm.ac.id*, ²⁾*budiartono@pnm.ac.id*

ABSTRAK

Robot terkenal dengan harga yang mahal dan tingkat kesulitan pembuatan yang tinggi. Hal ini terjadi dikarenakan robot membutuhkan banyak part dan skill. Salah satu metode membangun struktur robot yang mudah dan murah adalah dengan menggunakan prinsip kirigami atau origami. Kirigami adalah cabang dari origami yang dalam prosesnya melibatkan proses pemotongan. Origami memungkinkan membangun obyek 3D dari lembaran 2D. *Mobile robot* untuk keperluan inspeksi terkadang harus menjalankan misi yang membuatnya tidak dapat kembali (*oneway mission*), sehingga harga yang murah dan mudah sangat diharapkan. Dengan menggunakan prinsip origami tingkat presisi robot akan menurun dikarenakan sifat kelenturan bahan. Robot tersebut telah berhasil direalisasikan. Dalam penelitian ini dikembangkan sistem kemudi semi otomatis sehingga robot lebih mudah dikendalikan dengan menjaga arah gerak robot. Percobaan dilakukan dengan mengubah salah satu roda robot dengan diameter yang berbeda. Sistem dengan metode yang diusulkan secara signifikan dapat menjaga arah gerak daripada sistem *open loop*.

Kata Kunci— Origami, robot mobile, semi otomatis, *gyroscope*

PENDAHULUAN

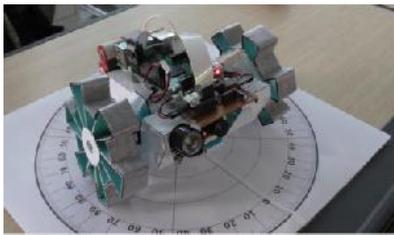
Salah satu hal yang membuat robot mahal dan perlu skill khusus adalah karena harga bahan-bahan struktur yang tinggi dan memerlukan penanganan khusus. Meskipun software CAD telah mempermudah dalam mendesain struktur, akan tetapi untuk merealisasinya harus didukung dengan skill dan peralatan bengkel yang memadai. Mungkin hal itulah yang membuat robot hanya dikuasai oleh para ahli. meningkatnya tuntutan robot dalam berbagai bidang membuat desain dan struktur robot yang harus terus berkembang. Desain-desain baru struktur robot akan terus dikembangkan. Desain-desain tersebut terkadang memerlukan evaluasi dan perbaikan setiap saat. Tentu saja hal tersebut membuat proses membangun struktur mekanik secara konvensional menjadi kurang efektif. Para penghobi ataupun siswa yang dalam tahap belajar akan sulit untuk menjangkaunya.

Salah satu metode membangun struktur robot yang mudah dan murah adalah dengan menggunakan prinsip kirigami atau

origami. Kirigami adalah cabang dari origami yang dalam prosesnya melibatkan proses pemotongan [1]. Seperti yang kita ketahui, origami adalah seni melipat kertas yang populer di Jepang. Origami memungkinkan membangun obyek 3D dari lembaran kertas 2D. Hal inilah yang menjadi poin penting prinsip ini. Jika origami hanya mengandalkan melipat saja, dengan kirigami kita dapat memodifikasi dengan menambahkan proses memotong, mengelem, melapisi dll. Proses ini lebih mirip membuat kartu pop-up tapi dengan tetap mempertahankan prinsip origami. Dengan menggunakan prinsip ini maka proses produksi akan lebih mudah dan murah. Dengan mengembangkan database bentuk-bentuk struktur robot yang ada maka pembuatan akan dapat dilakukan oleh siapa saja.

Pembuatan robot dengan prinsip origami telah banyak dikembangkan oleh para peneliti. Mulai dikembangkan roda robot dengan prinsip origami yang dapat berubah bentuk [2],[3]. Pembuatan robot berkaki dengan prinsip SCM untuk membuat robot berkaki juga dikembangkan [4],[5]. Termasuk

di dalamnya adalah DASH dan octoROACH. Para peneliti juga mengembangkan *open source software* untuk mengembangkan hardware dengan model origami [6],[7]. Robot didesain berupa robot beroda dengan sistem pergerakan roda diferensial. Bahan robot adalah *plate* PVC sebagai pengganti bahan kertas. Dengan penelitian ini diharapkan akan diperoleh metode dan cara baru untuk mengembangkan struktur robot beroda.



Gambar 1. Robot dengan Struktur Origami untuk Aplikasi Pemantauan

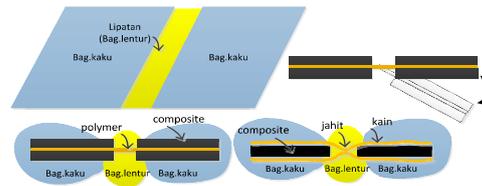
Robot yang dirancang dalam kasus ini adalah robot *mobile* untuk keperluan inspeksi sehingga harus dapat melakukan monitoring menggunakan kamera dan dapat melewati halangan dengan batasan tertentu. Dengan menggunakan prinsip origami maka kepresisian akan menurun dikarenakan sifat kelenturan bahan [8]. Di lapangan dimungkinkan robot akan mengalami deformasi bentuk badan maupun roda akibat tekanan atau benturan. Untuk membuat robot tetap mudah dikendalikan maka dikembangkan sistem kemudi semi otomatis. Sistem kemudi akan dibantu untuk menjaga robot berada pada jalur yang sesuai sehingga memudahkan pengendalian jarak jauh. Sistem didasarkan pada orientasi gerak robot yang dibaca oleh sensor gyroscope. Kecepatan motor kanan dan kiri akan disesuaikan sehingga arah gerak robot akan tetap. Untuk mengetahui kinerja dari sistem kemudi semi otomatis ini dilakukan pengujian dengan merusak salah satu roda sehingga robot akan memiliki kecenderungan untuk berjalan tidak lurus. Variasi dilakukan pada roda kanan dan kiri secara bergantian, serta penggunaan beberapa halangan untuk membuat roda robot selip.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan perancangan alat, pembuatan prototipe robot, dan melakukan pengujian dari prototipe yang dibuat.

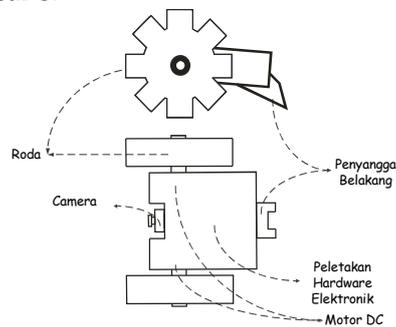
Perancangan Struktur Robot

Struktur robot dirancang dengan menggunakan teknik origami. Teknik yang digunakan mengacu pada proses SCM [3],[4]. Pola dirancang dengan menggunakan software CAD. Bahan yang digunakan adalah PVC 0.5mm dan dilapis dengan polimer untuk membuat bagian lipatan. Setiap pola bagian lipatan dipotong terlebih dahulu kemudian dilapisi dengan plastik polimer lentur. Dilanjutkan dengan pemotongan keseluruhan bagian. Sehingga bagian lipatan akan tetap terdapat lapisan lentur yang dapat dilipat. Proses terakhir dalam pembuatan struktur robot adalah dengan melakukan pengeleman bagian-bagian yang harus disambung dan pemasangan motor DC mini dan roda. Ilustrasi dari sistem ini ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi bagian lipatan dari struktur

Sedangkan rancangan bentuk dan bagian-bagian dari robot ditunjukkan dalam Gambar 3.



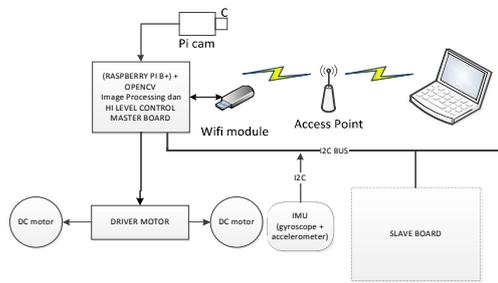
Gambar 3. Rancangan bentuk dan bagian-bagian robot

Robot menggunakan sistem gerak roda diferensial, sehingga terdapat dua buah motor DC. Bagian belakang hanya diberi

penyangga sehingga titik pusat putarnya ada pada bagian antara dua roda. Bagian roda dibuat bergerigi agar dapat melewati halangan tertentu. Struktur dirancang untuk bisa ditempatkan bagian-bagian elektronik, baterai dan kamera.

Perancangan Sistem

Robot dirancang untuk melakukan tugas pemantauan atau monitoring dari jarak jauh. Bagian-bagian sistem robot ditunjukkan dalam Gambar 4. Sistem tersusun atas Mini PC Raspberry Pi 3, Camera Pi, driver motor DC, Motor DC, sensor gyroscope. Mini PC Raspberry pi 3 sebagai kontroler utama robot.



Gambar 4. Blok Diagram Sistem

Mini PC dilengkapi dengan *library* pemrosesan citra berupa OpenCV. Sistem dirancang untuk dapat melakukan pemrosesan citra secara *real time*. Sistem kendali dari robot juga diatur sepenuhnya dari mini PC. Raspberry pi 3 juga telah dilengkapi dengan modul wifi yang telah tertanam. Camera Pi digunakan sebagai pengambil citra. Driver motor *dual channel* digunakan untuk mengendalikan dua buah motor DC dari perintah mini PC. Dua buah motor DC mini digunakan sebagai penggerak utama dari robot. Kecepatan motor dapat diatur melalui PWM yang ditentukan oleh mini PC. Gyroscope digunakan sebagai sensor umpan balik kecepatan sudut yang nantinya diubah menjadi sudut orientasi gerak dari robot.

Antarmuka sensor dan mini PC menggunakan komunikasi serial I2C. PC dengan wifi digunakan sebagai remot utama robot, penampil citra dari kamera, dan sekaligus sebagai perangkat untuk pemrograman.

Pengaturan Robot secara Open Loop

Pengaturan robot secara *open loop* menggunakan metode *differentialsteering*. Artinya untuk membuat robot berjalan lurus maka kecepatan motor kanan dan kiri harus sama. Begitu pula untuk kasus belok kanan, belok kiri, mundur, dan sebagainya. Kecepatan motor diasumsikan berbanding lurus *Pulse Width Modulation* (PWM) yang diberikan oleh driver motor. PWM di tentukan 100 Hz dengan lebar pulsa dari 0-100 % dengan resolusi 1%.

Pengaturan robot secara *open loop* dilakukan dengan memberikan nilai PWM yang sudah ditentukan secara pasti. Untuk gerakan maju maka baik motor kanan maupun motor kiri diberikan perintah maju dengan nilai PWM yang sama yaitu 70%. Untuk mundur, motor kanan dan kiri diberikan perintah mundur dengan PWM konstan 60%. Untuk belok kanan maka motor kanan diberikan perintah mundur dan motor kiri diberikan perintah maju dengan PWM konstan 40%. Untuk belok kiri maka motor kanan diberikan perintah maju dan motor kiri diberikan perintah mundur dengan PWM konstan 40%.

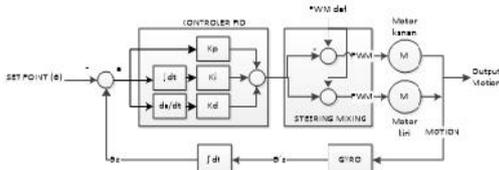
Pengaturan Robot Semi Otomatis secara Close Loop dengan Gyroscope

Pengaturan robot semi otomatis dilakukan khususnya untuk gerak maju. Sistem gerak diferensial memiliki kelemahan dimana kedua motor harus identik agar geraknya sesuai. Struktur dan roda robot yang terbuat dari PVC juga menambahkan ketidak presisian gerak. Sifat Roda yang lentur dapat meredam benturan berupa impuls akan tetapi mudah terjadi deformasi bentuk. Oleh karena itu data *gyroscope* digunakan untuk mengkompensasi ketidak tepatan gerak.

Untuk melakukan gerak maju lurus maka sudut orientasi dari robot harus selalu nol. Untuk mendapatkan data orientasi robot digunakan sensor gyrorate. Gyro memberikan data berupa kecepatan sudut, sehingga untuk mendapatkan nilai sudut perlu dilakukan pengintegralan satu kali. Persamaan untuk mengkonversi nilai kecepatan sudut (ω) ke sudut (θ) ditampilkan dalam persamaan 1.

$$\theta(t) = \int \omega(t).dt \quad (1)$$

Diagram sistem kendali arah gerak robot dengan umpan balik sensor gyrorate ditunjukkan dalam Gambar 5. Gyroscope mendeteksi kecepatan sudut dalam tiga axis, X,Y dan Z.



Gambar 5. Diagram Sistem Kendali Arah Gerak dengan Umpan Balik Gyroscope

Pada sistem ini digunakan satu axis saja yaitu Z. Kontroller yang digunakan adalah kontroler PID. Dengan persamaan PID yang digunakan seperti dalam Persamaan 2. Dimana $u(t)$ adalah sinyal kontrol yang nilainya merepresentasikan persentase PWM. Secara praktis perhitungan nilai PWM yang diberikan kepada motor kanan dan kiri untuk sistem yang dibangun ditunjukkan dalam Persamaan 3.

$$e(t) = \text{setpoint} - \theta(t)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

$$\omega_R = \omega_{Def} - u(t) \quad (3)$$

$$\omega_L = \omega_{Def} + u(t)$$

Metode Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan melakukan pembuatan prototipe robot. Dimulai dari pembuatan struktur sampai dengan pemasangan bagian-bagian sistem lainnya. Pengujian sistem dan prototipe dilakukan dengan eksperimen membandingkan sistem gerak manual *open loop* dengan sistem kendali semi otomatis secara *close loop* dengan gyroscope.

Pengujian dilakukan dengan target adalah berjalan maju lurus. Variasi eksperimen adalah dengan mengubah-ubah roda yang digunakan. Dengan *setup* eksperimen dengan roda kiri rusak dan roda kanan normal. Variabel yang diamati adalah penyimpangan sudut dari *set point* dan penyimpangan lintasan. Hasil dari metode *open loop* dengan PWM konstan dibandingkan dengan metode semi otomatis *close loop* dengan pengaturan PWM motor

kanan dan kiri otomatis. *Setup* roda ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Setup Roda Normal (kiri) dan Roda Rusak (kanan)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Struktur Robot

Gambar 7 merupakan proses pengeleman dan perakitan struktur robot dari pola yang telah dibuat. Proses perakitan dan pengeleman sampai dengan selesai memerlukan waktu ± 55 menit. Hal ini sangat dipengaruhi oleh kompleksitas struktur yang dirancang. Hasil dari perakitan keseluruhan sistem ditunjukkan dalam Gambar 1. Struktur bodi dan roda robot berhasil dibuat dari lembaran pola 2D menjadi 3D. Kekuatan robot (struktur dan motor DC terpasang) relatif kuat dan bertahan jatuh dari ketinggian 2 m tanpa ada deformasi bentuk. Beban berupa perangkat tambahan yang dipasangkan pada bodi membuat bodi sedikit melengkung dan mengurangi tingkat kepresisiannya. Hal ini terjadi karena tipisnya lembaran PVC yang digunakan, yaitu 0.5 mm.



Gambar 7. Proses Pengeleman dan Perakitan Struktur Robot



Gambar 8 Grafik Error Hasil Pengujian Gyroscope



Hasil Pengujian Sensor Gyroscope

Pengujian gyroscope dilakukan dengan melakukan proses integral pada data pembacaan kecepatan sudut. Data dari gyroscope langsung dibaca dan diproses tanpa dilakukan *filtering*. Sudut hasil pemrosesan kemudian dibandingkan dengan sudut dari busur derajat. Error pengujian gyroscope ditampilkan dalam Gambar 8. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan rata-rata error adalah 3.62°. Jika ditampilkan

Tabel 1. Pengujian Gyroscope

| No | Nilai seharusnya (°) | Nilai terukur (°) | Selisih (%) | Selisih (°) |
|------------------------|----------------------|-------------------|-------------|-------------|
| 1 | -180 | -172 | 4.44 | 8 |
| 2 | -150 | -142.8 | 4.80 | 7.2 |
| 3 | -120 | -122 | 1.67 | 2 |
| 4 | -90 | -86.3 | 4.11 | 3.7 |
| 5 | -60 | -60.3 | 0.50 | 0.3 |
| 6 | -30 | -28.7 | 4.33 | 1.3 |
| 7 | 0 | 0 | 0.00 | 0 |
| 8 | 30 | 29.9 | 0.33 | 0.1 |
| 9 | 60 | 58.9 | 1.83 | 1.1 |
| 10 | 90 | 87.7 | 2.56 | 2.3 |
| 11 | 120 | 117 | 2.50 | 3 |
| 12 | 150 | 140 | 6.67 | 10 |
| 13 | 180 | 172 | 4.44 | 8 |
| Rata-rata Error | | | 2.94 | 3.62 |

dalam persentase didapatkan rata-rata error adalah 2.94%. Ketika hasil selisih sudut ditampilkan dalam grafik Gambar 8,

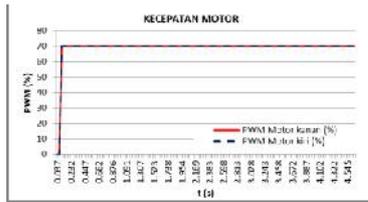
terlihat bahwa semakin tinggi sudut putarnya semakin besar pula tingkat kesalahan pembacaannya. Tingkat kesalahannya naik secara polinomial untuk nilai positif dan juga naik secara polinomial saat nilainya negatif.

Hasil Pengaturan Robot secara Open Loop

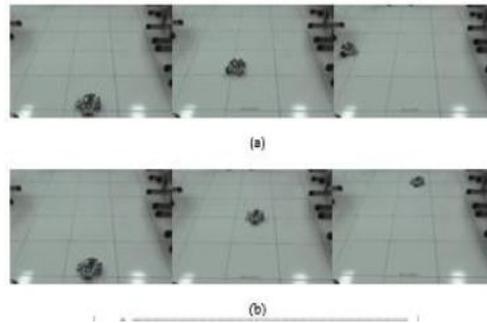
Pengujian pengaturan gerak robot secara *open loop* dilakukan dengan *setup* roda seperti dalam metode eksperimen. Parameter yang diamati adalah orientasi robot, nilai PWM motor dan arah gerak robot. Dengan sistem *openloop* maka PWM motor diseting sama dan konstan. Secara teori dengan memberikan nilai PWM yang sama pada motor kanan maupun kiri, kecepatan putar motor kanan dan kiri adalah identik. Keluaran PWM ditampilkan dalam Gambar 10. Orientasi robot berdasarkan waktu ditampilkan dalam Gambar 9. Terlihat dalam sistem tersebut PWM tidak terjadi perubahan. Berdasarkan percobaan tersebut orientasi arah gerak robot secara berangsur angsur naik sampai dengan mendekati 100° secara linier pada waktu 4,5 detik. Bisa diasumsikan bahwa dalam waktu yang lebih lama penyimpangan orientasi akan semakin tinggi. Hal ini akan menyulitkan pengendalian oleh manusia dari jarak jauh dikarenakan arah gerak yang diinginkan tidak sesuai dengan harapan. Penyimpangan *trajectory* yang terjadi ditampilkan juga dalam Gambar 13. Terlihat bahwa penyimpangan yang terjadi sangat besar. Dalam arah sumbu x 80 cm telah terjadi penyimpangan sumbu y 70 sampai dengan 90 cm. Foto urutan gerak robot ditunjukkan dalam Gambar 14 (a).



Gambar 9 Grafik Orientasi Robot Saat kondisi Maju dengan Sistem *Open Loop*



Gambar 10 Grafik PWM Motor Kanan dan Kiri

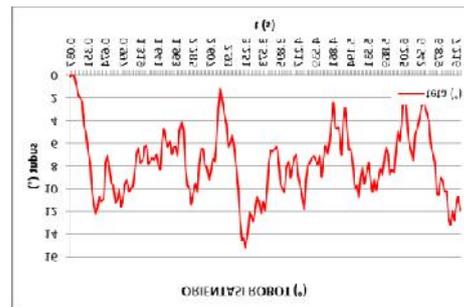


Hasil Pengaturan Robot Semi otomatis secara Close Loop dengan Gyroscope

Pengujian pengaturan robot semi otomatis secara *close loop* semi otomatis dengan gyroscope dilakukan sesuai dengan setup pada metode eksperimen. Roda kanan normal sedangkan roda kiri mengalami deformasi bentuk sehingga diameternya berbeda. Berdasarkan hasil percobaan, orientasi robot diusahakan untuk tetap konstan pada set point. Sesuai dalam Gambar 11 terlihat bahwa sistem berusaha untuk mempertahankan orientasi robot untuk tetap pada titik nol. Arah orientasi cenderung ke arah kiri karena diameter roda kiri lebih kecil. Penyimpangan maksimum dari yang terjadi berada pada titik 15° kearah kiri. Sistem mencoba mengkompensasi orientasi robot dengan mengubah nilai PWM dari motor kanan dan motor kiri. Grafik PWM motor kanan dan kiri ditunjukkan dalam grafik Gambar 12. Terlihat bahwa nilai PWM berubah-ubah sesuai kompensasi yang diperlukan untuk menjaga arah tetap sesuai. Berdasarkan eksperimen *trajectory* robot terlihat bahwa penyimpangan pada sumbu x 180 cm terjadi penyimpangan sumbu y antara 0 sampai dengan 40 cm. Hasil *trajectory* robot ditunjukkan dalam Gambar 13. Foto



Gambar 11. Grafik Orientasi Robot Saat kondisi Maju dengan Sistem *Close Loop*



Gambar 12. Grafik PWM Motor Kanan dan Kiri untuk Sistem *Close Loop*

Urutan gerak robot ditunjukkan dalam Gambar 14 (b). Jika dibandingkan hasil pengujian antara sistem *open loop* dan sistem *close loop* semi otomatis terlihat perbedaan yang sangat signifikan dalam hal orientasi dan *trajectory* robot. Gambar 13 dan 14 menunjukkan perbedaan tersebut.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Jalur Robot untuk Sistem *Open Loop* dan *Close Loop*

KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa struktur robot origami yang dilakukan telah dapat direalisasikan dengan baik dan dapat bertahan jatuh pada ketinggian 2 m (dengan motor DC terpasang) tanpa terjadi deformasi bentuk yang signifikan. Setelah ditambahkan perangkat tambahan untuk keperluan inspeksi dan pemantauan, struktur robot sedikit melengkung karena menerima beban dari perangkat elektronik dan baterai. Hal tersebut membuat tingkat kepresisian menurun. Untuk mengatasi hal tersebut telah dirancang sistem kemudi semi otomatis agar orientasi gerak robot mudah dikendalikan. Dengan menggunakan gyroscope sebagai sensor sudut dan kontroler PID sistem dapat mempertahankan arah dengan penyimpangan yang secara signifikan lebih baik daripada tanpa sistem yang dirancang. Hal ini telah dibuktikan dengan kondisi dimana salah satu roda mengalami deformasi bentuk dan diameter yang berbeda. Sistem masih dapat menjaga orientasinya dengan melakukan perubahan nilai PWM dari motor kanan dan kiri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Paul Jackson, "The Complete Origami Course," New York: Gallery Books, 1989.
- [2] D.Y.Lee, G.P. Jung, M.K. Sin, S.H.Ahn and K.J. Cho, "Deformable Wheel Robot Based on Origami Structure," in Proc. 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) Karlsruhe, Germany, 2013. pp.5613-5617.
- [3] D.Y.Lee, G.P. Jung, M.K. Sin, S.H.Ahn and K.J. Cho, "Fabrication of Origami Wheel using Pattern Embedded Fabric and its Application to a Deformable Mobile Robot," in Proc. 2014 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA), 2014. Hong Kong, China. pp.2565.
- [4] P. Birkmeyer, K. Peterson and R. S. Fearing, "DASH: A Dynamic 16g Hexapedal Robot," in Proc. 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2009. pp.2683-2689.
- [5] A.O. Pulliny, N.J. Kohut, D. Zarrouk and R. S. Fearing, "Dynamic turning of 13 cm robot comparing tail and differential drive," in Proc. Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on, 2012.. pp.5086-5093.

- [6] A.M. Mehta and D. Rus, "An End-to-End System for Designing Mechanical Structures for Print-and-fold Robots," in Proc 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2014. pp. 1460-1465.
- [7] A. M. Mehta, J. DelPreto, B. Shaya, and D. Rus, "Cogeneration of Mechanical, Electrical, and Software Designs for Printable Robots from Structural Specifications," in Proc. 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) September 14-18, 2014. Chicago, IL, USA, pp.2892-2897.
- [8] Hoover and A. Murdock, "Design of Minimally Actuated Legged Milli-Robots Using Compliant Mechanisms and Folding," Ph.D. dissertation, Dept. Mech. Eng., UC, Berkeley, 2010.