



# PERANCANGAN SISTEM KONTROL POSISI SUDUT 2-DEGREE OF FREEDOM (DOF) LOWER LIMB ROBOTIC EXOSKELETON (LLRE) MENGGUNAKAN METODE HIGH ORDER REPETITIVE CONTROL



**RIRIES RULANINGTYAS**  
riries-r@fst.unair.ac.id



**EDI KURNIAWAN**  
edi.kurniawan@brin.go.id



**RONALD ERIC**  
ronald.eric-2021@fst.unair.ac.id

## ABSTRAK

Lower limb robotic exoskeleton (LLRE) merupakan alat yang berfungsi sebagai proses rehabilitasi medis bagi orang yang menderita kelumpuhan ekstremitas bawah akibat beberapa penyakit, salah satunya stroke. Pola sudut hip dan knee seseorang pada saat berjalan cenderung berulang (*repetitive*) dan tidak dapat dijamin kepastian periodenya sehingga dibutuhkan metode kontrol yang dapat mengatasi hal tersebut yaitu *high order repetitive control* (HORC). Pada penelitian ini dilakukan variasi referensi berupa *uncertainty amplitude* saja, *uncertainty period* saja dan *uncertainty amplitude* dan *period*. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan perancangan sistem kontrol yang dapat mengendalikan posisi sudut bagian *hip* dan *knee* dari LLRE dengan menggunakan HORC. Hasil dari metode kontrol HORC kemudian dibandingkan dengan metode kontrol lain seperti *proportional integral derivative* (PID) controller, dan dengan *general repetitive control* (RC). Nilai parameter evaluasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *time response*, *%overshoot*, *root mean square error* (RMSE), *integral time absolute error* (ITAE), *mean square error* (MSE), dan *mean absolute error* (MAE). Pada hasil dengan menggunakan *plug-in* HORC lebih baik dibandingkan dengan metode PID dan juga *general RC*. Sebagai contoh pada ITAE *uncertainty amplitude* dan *period knee* dengan kecepatan 0.7 m/s variasi 3 metode PID ZN menghasilkan nilai ITAE 489,120, pada *general RC* sebesar 1,456,000, pada *plug-in* HORC (ZN) orde 1 sebesar 185,550, pada *plug-in* HORC (ZN) orde 2 sebesar 37,898, pada *plug-in* HORC (ZN) orde 3 sebesar 8,788, pada *plug-in* HORC (ZN) orde 4 sebesar 2,461, dan pada *plug-in* HORC (ZN) orde 5 sebesar 944.

## PENDAHULUAN

**Stroke** merupakan **penyakit** terbesar kelima penyebab kematian di dunia dan penyakit pertama penyebab **disabilitas** pada manusia (Mane et al., 2020). Penderita stroke di **Indonesia** pada tahun **2020** tercatat sejumlah **1.789.261 kasus** (Kemenkes RI, 2021).

**Lower limb robotic exoskeleton (LLRE)** adalah alat untuk proses **rehabilitasi medis** bagi orang yang menderita penyakit seperti **stroke**, spinal cord injury, trauma dan sebagainya (Han et al., 2020),

**Gangguan motorik** atau kelumpuhan akibat efek **stroke** salah satunya dapat terjadi pada **ekstremitas bagian bawah** (bagian kaki). Proses rehabilitasi pada pasien penderita kelumpuhan ini dapat diatasi dengan robot rehabilitasi **exoskeleton**.

**Eksoskeleton** dapat berfungsi sebagai sistem bantuan untuk memulihkan **pola gait** penderita. LLRE membutuhkan **sistem kontrol repetitive** untuk mengatur sudut **joint** secara otomatis karena pola orang berjalan cenderung berulang (*repetitive*)

Penelitian ini menggunakan **kontroler high order repetitive control (HORC)** yang digunakan untuk mengendalikan masing masing joint, dimana dalam hal ini adalah bagian **hip** dan **knee**. Pada **penelitian ini**, digunakan model **linear LLRE** oleh (Amiri, Ramli, and Ibrahim, 2020) dengan penyederhanaan, dimana digunakan **asumsi** apabila **hip joint bergerak**, maka **knee joint dianggap tetap**, begitu juga sebaliknya.

## TUJUAN

Merancang sistem kontrol yang **stabil** dan **mengetahui hasil unjuk kerjanya** dengan metode **high order repetitive control** untuk mengendalikan posisi 2 **degree of freedom** dari **lower limb robotic exoskeleton** dengan sinyal referensi berupa sinyal **repetitive** yang mempunyai **uncertainty period** dan **uncertainty amplitude**

## METODE

### Studi Pemodelan dan Persiapan Data

Data rentang periode orang berjalan diambil dari (Palermo et al., 2021). Dari data tersebut diambil data **participant00** untuk pola berjalan lurus **straight** pada **corridor1** dengan kecepatan (**0.3 m/s**, **0.5 m/s** dan **0.7 m/s**). Kemudian dilihat data csv, dan dilihat data Joint Angles khusus bagian **right hip** dan **knee flexion/extension**.



### Penulisan Laporan

Penulisan laporan akhir mengenai hasil implementasi sistem kontrol HORC dengan 2 jenis konfigurasi **general RC** dan **plug-in RC** pada sistem LLRE dan membandingkannya dengan metode **kontrol PID**



### Perancangan Simulasi

Simulasi sistem kontrol LLRE yang berisi perancangan **general RC**, **high-order RC** (HORC) dan **proportional integral derivative** (PID) dengan menggunakan MATLAB

### Analisis Data

Tahap ini dilakukan dengan menyimpan seluruh hasil gambar dan **parameter evaluasi** serta hasil **kestabilan** untuk **seluruh variasi eksperimen**

### Pembuatan plug-in RC dan Pelaksanaan Simulasi

Tahap penggabungan metode kontrol HORC dengan metode **kontrol P** menjadi **plug-in RC** kemudian simulasi dijalankan

## HASIL

### PID

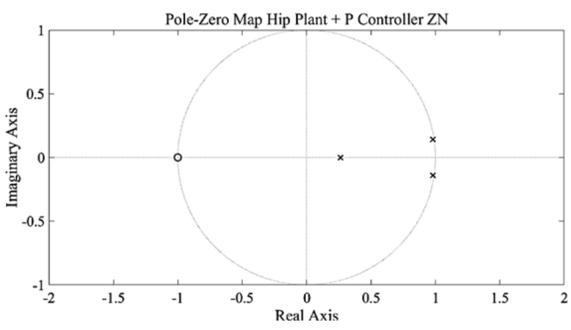
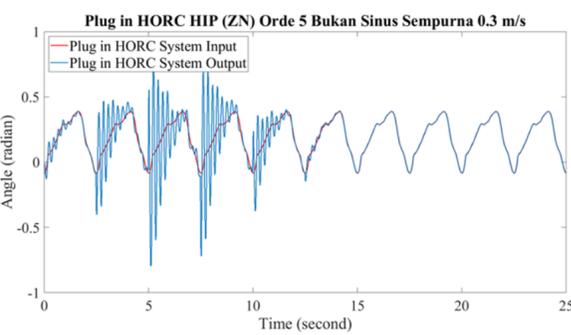
Plant	Speed (m/s)	Error Variation	Steady State Response			
			ITAE	MAE	MSE	RMSE
HIP	0.3	Variasi 1	216950.0	1.251E-05	1.227E-05	3.469E-03
			341550.0	1.266E-05	1.193E-05	3.440E-03
			496880.0	1.234E-05	1.191E-05	3.412E-03
	0.5	Variasi 2	216940.0	1.318E-02	2.266E-04	1.504E-02
			341540.0	2.083E-02	5.476E-04	2.340E-02
			496860.0	3.037E-02	1.150E-03	3.392E-02
0.7	Variasi 3	214140.0	1.319E-02	2.270E-04	1.507E-02	
		340790.0	2.086E-02	5.486E-04	2.342E-02	
		489120.0	3.038E-02	1.151E-03	3.393E-02	

### General RC

Plant	Speed (m/s)	Error Variation	Steady State Response			
			ITAE	MAE	MSE	RMSE
HIP	0.3	Variasi 1	839420.0	1.142E-05	1.017E-05	3.149E-03
			1298100.0	1.019E-05	8.136E-06	2.824E-03
			1470900.0	1.003E-05	7.919E-06	2.792E-03
	0.5	Variasi 2	838940.0	6.864E-02	8.634E-03	9.292E-02
			1297800.0	6.455E-02	7.772E-03	8.816E-02
			1470700.0	6.795E-02	8.282E-03	9.101E-02
0.7	Variasi 3	824920.0	6.886E-02	8.692E-03	9.323E-02	
		1281900.0	6.469E-02	7.808E-03	8.837E-02	
		1456000.0	6.804E-02	8.302E-03	9.112E-02	

### Plug-in HORC

Orde	Speed (m/s)	Error Variation	Steady State Response			
			ITAE	MAE	MSE	RMSE
1	0.3	Variasi 1	87743.0	1.304E-05	1.294E-05	3.509E-03
			148120.0	1.292E-05	1.275E-05	3.488E-03
			190390.0	1.284E-05	1.270E-05	3.497E-03
		Variasi 2	87519.0	7.038E-03	1.026E-04	1.013E-02
			147940.0	7.316E-03	1.125E-04	1.061E-02
			190230.0	8.800E-03	1.514E-04	1.230E-02
	0.5	Variasi 3	84806.0	7.110E-03	1.047E-04	1.023E-02
			143200.0	7.325E-03	1.130E-04	1.063E-02
			185550.0	8.779E-03	1.514E-04	1.230E-02
		Variasi 1	19020.0	1.362E-05	1.365E-05	3.545E-03
			33922.0	1.351E-05	1.360E-05	3.558E-03
			41564.0	1.348E-05	1.359E-05	3.567E-03
2	0.3	Variasi 2	18276.0	1.740E-03	2.006E-05	4.479E-03
			33318.0	1.502E-03	1.857E-05	4.309E-03
			41063.0	1.702E-03	2.067E-05	4.547E-03
		Variasi 3	15441.0	1.658E-03	2.019E-05	4.493E-03
			30160.0	1.394E-03	1.838E-05	4.288E-03
			37898.0	1.600E-03	2.048E-05	4.525E-03
	0.5	Variasi 1	9720.2	1.402E-05	1.405E-05	3.542E-03
			12879.0	1.379E-05	1.384E-05	3.549E-03
			14005.0	1.372E-05	1.379E-05	3.551E-03
		Variasi 2	7618.2	6.677E-04	1.529E-05	3.910E-03
			11188.0	5.341E-04	1.512E-05	3.888E-03
			12617.0	5.677E-04	1.522E-05	3.901E-03
3	0.3	Variasi 3	3397.0	4.395E-04	1.463E-05	3.824E-03
			7092.8	3.046E-04	1.412E-05	3.758E-03
			8787.8	3.577E-04	1.419E-05	3.767E-03
		Variasi 1	14215.0	1.430E-05	1.432E-05	3.541E-03
			13749.0	1.397E-05	1.400E-05	3.544E-03
			12833.0	1.391E-05	1.396E-05	3.546E-03
	0.5	Variasi 2	8787.8	6.008E-04	1.811E-05	4.256E-03
			9399.6	5.325E-04	1.851E-05	4.302E-03
			9282.0	5.155E-04	1.876E-05	4.331E-03
		Variasi 3	1097.5	1.349E-04	1.438E-05	3.792E-03
			2031.7	8.362E-05	1.402E-05	3.745E-03
			2461.0	9.997E-05	1.398E-05	3.739E-03
4	0.3	Variasi 1	28749.0	1.469E-05	1.472E-05	3.541E-03
			25631.0	1.428E-05	1.431E-05	3.544E-03
			22841.0	1.418E-05	1.423E-05	3.547E-03
		Variasi 2	15423.0	9.644E-04	2.963E-05	5.443E-03
			14989.0	9.069E-04	3.144E-05	5.607E-03
			14188.0	8.588E-04	3.267E-05	5.716E-03
	0.5	Variasi 3	589.5	5.127E-05	1.472E-05	3.837E-03
			823.8	3.346E-05	1.431E-05	3.783E-03
			943.9	3.889E-05	1.423E-05	3.772E-03



## DAFTAR PUSTAKA

- Amiri, M. S., Ramli, R., and Ibrahim, M. F. (2020): Genetically optimized parameter estimation of mathematical model for multi-joints hip-knee exoskeleton, Robotics and Autonomous Systems, 125, 103425. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2020.103425>
- Kurniawan, E., Harno, H. G., and Adinanta, H. (2022): High-order repetitive model reference control for linear systems with uncertain periodic references and disturbances, International Journal of Systems Science, 53(7), 1456-1468. <https://doi.org/10.1080/00207721.2021.2008545>

- Palermo, M., Lopes, J. M., André, J., Cerqueira, J., and Santos, C. (2021): A multi camera and multimodal dataset for posture and gait analysis (version 1.0.0). <https://doi.org/https://doi.org/10.13026/fyxw-n385>