

ABSTRAK

Industri robot saat ini sedang berkembang dengan pesat. Perancangan sebuah robot harus direncanakan sebaik mungkin karena tingkat kesulitan dan biaya pada saat pembuatan. Perangkat simulasi dapat ditambahkan untuk memberikan kemudahan pada saat perancangan. Pada tugas akhir ini, dibuat simulator 3-dimensi yang berbasis *Virtual Reality* dan optimalisasi gerak robot pengebor PCB. Robot pengebor PCB dengan 3 derajat kebebasan ini bertipe SCARA yang terdiri dari 3 buah joint yang bertipe RRP dan 3 buah lengan. Lengan yang ketiga berupa bor yang hendak digunakan untuk melubangi PCB.

Cara kerjanya adalah titik-titik koordinat yang hendak dituju dimasukkan melalui *command window* pada MATLAB. Setelah dimasukkan, lalu dioptimalisasi dengan metoda jalur terpendek yang telah dimodifikasi dan dihitung invers kinematiknya. Sinyal posisi, kecepatan, dan percepatan dibentuk untuk dimasukkan pada aktuator *joint*. Aktuator *joint* ini yang akan menggerakkan lengan robot pengebor PCB. Setiap lengan robot ini dipasang *body sensor* untuk mendeteksi posisi (x, y, z) dan matriks rotasi (3 x 3). Keluaran sinyal posisi sebagai masukan bagi gerak translasi pada simulasi *Virtual Reality* sedangkan matriks rotasi akan dikonversi dahulu ke bentuk vektor rotasi ekuivalen VRML sebelum menjadi masukan bagi gerak rotasinya.

Gerak robot pengebor PCB dapat disimulasikan secara 3-dimensi dengan *Toolbox Virtual Reality*. Sistem robot pengebor PCB dengan batasan posisi, kecepatan, percepatan, momen inersia, dan daerah kerja yang digunakan dapat direpresentasikan dengan *Toolbox SimMechanics*. Gerak robot pengebor PCB dapat optimalisasi menggunakan metoda jalur terpendek dengan algoritma tetangga terdekat yang modifikasi dengan cara meminimalkan perpindahan lengan dari kuadran I ke kuadran II atau sebaliknya. Pemodifikasian ini dapat meminimalkan daya yang dikeluarkan oleh aktuator *joint* walau jalur tempuh ujung mata bornya belum tentu lebih pendek daripada metoda jalur terpendek biasa. Metoda jalur terpendek juga lebih optimal jika dibandingkan dengan metoda *scanning* horizontal dan vertikal.

ABSTRACT

Nowadays robot industries are expanding so fast. In a design process, a robot has to be planned as good as possible because it is difficult and expensive to be built. Simulation system can be utilized to make the process easier. In this final report, a 3-D simulator based on Virtual Reality and motion optimization of the PCB drill robot was made. This PCB drill robot with three degree of freedom has a SCARA type which consists of 3 joints in RRP type and 3 arms. The third arm is a driller which will be used to drill PCB.

The working step is the coordinate point will be inserted in the command window at MATLAB. After inserted, it will be optimized with modified shortpath method and calculated the inverse kinematics. Signal position, speed, and acceleration will be formed and entered to joint actuator. This joint actuator will move the arms of the PCB drill robot. Each arm of the robot is attached with a body sensor to detect position (x, y, z) and rotation matrix (3 x 3). Output signal position as an input to translational motion at Virtual Reality simulation; while, the rotation matrix will be converted ahead to VRML equivalent rotation vector form before becoming an input to its rotation motion.

The motion of the PCB drill robot can be simulated in 3-D with Toolbox Virtual Reality. The PCB drill robot system with position definition, speed, acceleration, moment of inertia, and its working area can be represented with Toolbox Simmechanics. The motion of the PCB drill robot can be optimized by modified shortpath method with the closest neighbour algorithm by minimization moving arms from area I to area II or vice versa. The modification will minimize the energy out from joint actuator although the drill path may would not be shorter than the normal shortpath method. Shortpath method is also more optimum than horizontal and vertical scanning method.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

SURAT PERNYATAAN

LEMBAR PERSEMBAHAN

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii

BAB I : PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang	1
I.2. Identifikasi Masalah	2
I.3. Tujuan	2
I.4. Pembatasan Masalah	2
I.5. Metodologi Penelitian	2
I.6. Sistematika Pembahasan	3

BAB II : TEORI PENUNJANG

II.1. Pengenalan Robot	4
II.1.1. Sejarah Robot	4
II.1.2. Klasifikasi Robot	5
II.1.2.1. Menurut Rupanya	6
II.1.2.2. Menurut Sistem Koordinat	6
II.1.2.3. Menurut Metoda Kontrolnya	12
II.1.3. Komponen-Komponen Sistem Robot	13
II.2. Mekanika Robot	16

II.2.1. Konsep Mekanika	16
II.2.1.1. Gerak Translasi	16
II.2.1.2. Gerak Rotasi	19
II.2.2. Pemodelan Sistem Mekanik	21
II.2.3. Rantai Kinematik	22
II.2.4. <i>End Effector</i>	24
II.3. Transformasi dan Kinematik	25
II.3.1. Frame Koordinat Referensi	28
II.3.2. Transformasi Homogen dan <i>Manipulator</i> -nya	30
II.3.3. Solusi <i>Forward</i>	32
II.3.3.1. Latar Belakang Informasi dan Terminologi	32
II.3.3.2. Penetapan <i>Link</i> Koordinat Referensi	34
II.3.3.3. Matriks <i>Denavit-Hartenberg</i>	35
II.3.3.4. Pembentukan Solusi <i>Forward</i>	37
II.3.4. Solusi <i>Inverse</i>	38
II.3.5. Perancangan Gerak	42
II.3.5.1. Posisi Trajectory dan Profil Kecepatan	42
II.3.5.2. Profil Pergerakan dalam Solusi <i>Inverse</i>	44

BAB III : PERANCANGAN DAN SIMULASI

III.1. Desain Robot	47
III.1.1. Solusi <i>Forward</i>	49
III.1.2. Solusi <i>Inverse</i>	51
III.1.3. Perancangan <i>Manipulator</i> Robot pada <i>SimMechanics</i>	52
III.2. Metoda Optimalisasi Gerak Bor	58
III.3. Perancangan Robot pada <i>Virtual Reality</i>	60

BAB IV : PENGUJIAN DAN ANALISA

IV.1. Pengujian dan Analisa Titik Tuju	65
IV.1.1. Lima Titik Tuju	65
IV.1.2. Sepuluh Titik Tuju	67
IV.1.3. Duapuluh Titik Tuju	69

IV.2. Pengujian dan Analisa Jalur Tempuh	72
IV.2.1. Lima Titik Tuju	72
IV.2.2. Sepuluh Titik Tuju	75
IV.2.3. Duapuluh Titik Tuju	78
IV.3. Pengujian dan Analisa Optimalisasi Gerak	82
IV.3.1. Lima Titik Tuju	83
IV.3.2. Sepuluh Titik Tuju	86
IV.3.3. Duapuluh Titik Tuju	89

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan	94
V.2. Saran	95

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel II.1.	Pertimbangan desain mekanika	16
Tabel II.2.	Momen inersia untuk beberapa bentuk khusus	21
Tabel II.3.	Elemen dasar model mekanik	22
Tabel II.4.	Simbol untuk rantai kinematik	23
Tabel II.5.	Bagian-bagian dari matriks transformasi homogen	30
Tabel II.6.	Aturan penetapan frame koordinat <i>link</i>	34
Tabel II.7.	Parameter <i>link</i> dari frame koordinat <i>link</i>	36
Tabel II.8.	Transformasi matriks untuk mendapatkan frame koordinat <i>link</i>	36
Tabel II.9.	Perkalian matriks <i>A</i> untuk membentuk matriks <i>T</i>	38
Tabel III.1.	Parameter a_i , α_i , d_i , dan θ_i	49
Tabel III.2.	Deskripsi blok-blok <i>simmechanics</i> yang digunakan	53
Tabel IV.1.	Tabel perbandingan titik koordinat input dan output untuk lima titik tuju	67
Tabel IV.2.	Tabel perbandingan titik koordinat input dan output untuk sepuluh titik tuju	69
Tabel IV.3.	Tabel perbandingan titik koordinat input dan output untuk duapuluh titik tuju	71
Tabel IV.4.	Perbandingan jalur tempuh total keempat metoda untuk lima titik tuju	74
Tabel IV.5.	Perbandingan jalur tempuh total keempat metoda untuk sepuluh titik tuju	78
Tabel IV.6.	Perbandingan jalur tempuh total keempat metoda untuk duapuluh titik tuju	82
Tabel IV.7.	Perubahan sudut <i>joint</i> lima titik tuju dengan metoda jalur terpendek	83
Tabel IV.8.	Perubahan sudut <i>joint</i> lima titik tuju dengan metoda jalur terpendek*	84

Tabel IV.9. Perubahan sudut <i>joint</i> lima titik tuju dengan metoda <i>scanning</i> horizontal	84
Tabel IV.10. Perubahan sudut <i>joint</i> lima titik tuju dengan metoda <i>scanning</i> vertikal	85
Tabel IV.11. Perubahan sudut <i>joint</i> sepuluh titik tuju dengan metoda jalur terpendek	86
Tabel IV.12. Perubahan sudut <i>joint</i> sepuluh titik tuju dengan metoda jalur terpendek*	87
Tabel IV.13. Perubahan sudut <i>joint</i> sepuluh titik tuju dengan metoda <i>scanning</i> horizontal	88
Tabel IV.14. Perubahan sudut <i>joint</i> sepuluh titik tuju dengan metoda <i>scanning</i> vertikal	89
Tabel IV.15. Perubahan sudut <i>joint</i> duapuluh titik tuju dengan metoda jalur terpendek	90
Tabel IV.16. Perubahan sudut <i>joint</i> duapuluh titik tuju dengan metoda jalur terpendek*	91
Tabel IV.17. Perubahan sudut <i>joint</i> duapuluh titik tuju dengan metoda <i>scanning</i> horizontal	92
Tabel IV.18. Perubahan sudut <i>joint</i> duapuluh titik tuju dengan metoda <i>scanning</i> vertikal	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1.	Contoh robot humanoid	5
Gambar II.2.	Geometri robot <i>cantilevered cartesian</i>	7
Gambar II.3.	Geometri dari <i>gantry cartesian</i>	7
Gambar II.4.	Robot berkoordinat silinder	8
Gambar II.5.	Robot berkoordinat bola	9
Gambar II.6.	Geometri dari robot lengan <i>joint</i> tipe <i>pure-spherical</i>	10
Gambar II.7.	Geometri dan daerah kerja dari robot <i>parallelogram spherical jointed</i>	11
Gambar II.8.	Geometri dan daerah kerja dari robot <i>jointed cylindrical</i>	11
Gambar II.9.	Contoh penggunaan robot servo titik ke titik yaitu memindahkan karton dari konveyor ketempat yang telah disediakan	13
Gambar II.10.	Komponen-komponen sistem robot	14
Gambar II.11.	Gaya yang bekerja pada benda tegar yang bermassa M	17
Gambar II.12.	Gaya pada pegas yang berkonstanta K	17
Gambar II.13.	<i>Dashpot</i> dan sistem gayanya	18
Gambar II.14.	Karakteristik gaya friksi	19
Gambar II.15.	Torsi yang terjadi pada sebuah benda tegar	19
Gambar II.16.	Tiga pusat massa dan momen inersianya	20
Gambar II.17.	Klasifikasi <i>joint</i> dari robot koordinat silinder	23
Gambar II.18.	Representasi grafik dari 12 hubungan <i>link</i> yang umum.....	24
Gambar II.19.	Robot dengan lima <i>joint</i> berskala	25
Gambar II.20.	Ruang tiga dimensi dengan dua frame referensi	28
Gambar II.21.	Operasi untuk mensejajarkan dua frame	29
Gambar II.22.	<i>Gripper</i> dengan frame referensinya	31
Gambar II.23.	Menomorkan <i>joint</i> dan <i>link</i>	33
Gambar II.24.	<i>Length</i> dan <i>twist</i> dari <i>link</i>	33
Gambar II.25.	<i>Distance</i> dan <i>angle</i> antara <i>link</i>	34
Gambar II.26.	Frame koordinat <i>link</i> dan parameter <i>joint</i>	35

Gambar II.27. Pendekatan geometri dengan hubungan vektor untuk mencari solusi <i>inverse</i>	40
Gambar II.28. Profil posisi, kecepatan, dan percepatan sebagai fungsi waktu	43
Gambar II.29. <i>Manipulator</i> θ -R ditunjukkan dengan garis diagonal pada bidang kartesian	44
Gambar II.30. Posisi, kecepatan dan percepatan gerak dari (0,10) ke (10,0) pada koordinat kartesian	45
Gambar II.31. Posisi, kecepatan dan percepatan gerak dari (0,10) ke (10,0) pada koordinat silinder	46
Gambar III.1. Simbol rantai kinematik <i>joint manipulator</i> tipe RRP	47
Gambar III.2. Bentuk dan ukuran <i>manipulator</i> robot pengebor PCB	48
Gambar III.3. Daerah kerja robot pengebor PCB	48
Gambar III.4. Frame koordinat sederhana <i>manipulator</i> robot pengebor PCB	49
Gambar III.5. Geometri lengan <i>manipulator</i> robot	51
Gambar III.6. <i>SimMechanics Library</i>	53
Gambar III.7. Frame koordinat <i>manipulator</i>	55
Gambar III.8. Model SimMechanic <i>manipulator</i> robot	56
Gambar III.9. Model <i>Ellipsoids</i> robot pengebor PCB dilihat dari berbagai axis	57
Gambar III.10. Model <i>Convex Hulls</i> robot pengebor PCB	58
Gambar III.11. <i>Flowchart</i> optimalisasi gerak bor PCB	59
Gambar III.12. <i>Flowchart</i> optimalisasi titik-titik $x \geq 0$ atau $x < 0$	60
Gambar III.13. Blok-blok <i>Virtual Reality</i>	61
Gambar III.14. (a) Sistem koordinat grafik MATLAB (b) Sistem koordinat VRML	62
Gambar III.15. Diagram pohon VRML robot pengebor PCB	62
Gambar III.16. Diagram pohon dan <i>Virtual Reality</i> robot pengebor PCB pada <i>VRBuild2</i>	63
Gambar III.17. Tampilan simulator <i>Virtual Reality</i> robot pengebor PCB ...	64
Gambar IV.1. Jalur terpendek untuk lima titik tuju	66

Gambar IV.2.	Sinyal ouput sensor untuk lima titik tuju	66
Gambar IV.3.	Jalur terpendek untuk sepuluh titik tuju	68
Gambar IV.4.	Sinyal ouput sensor untuk sepuluh titik tuju	68
Gambar IV.5.	Jalur terpendek untuk duapuluh titik tuju	70
Gambar IV.6.	Sinyal ouput sensor untuk duapuluh titik tuju	70
Gambar IV.7.	Jalur lima titik tuju dengan metoda jalur terpendek	72
Gambar IV.8.	Jalur lima titik tuju dengan metoda jalur terpendek*	73
Gambar IV.9.	Jalur lima titik tuju dengan metoda <i>scanning</i> horizontal	73
Gambar IV.10.	Jalur lima titik tuju dengan metoda <i>scanning</i> vertikal	74
Gambar IV.11.	Jalur sepuluh titik tuju dengan metoda jalur terpendek	75
Gambar IV.12.	Jalur sepuluh titik tuju dengan metoda jalur terpendek*	76
Gambar IV.13.	Jalur sepuluh titik tuju dengan metoda <i>scanning</i> horizontal	76
Gambar IV.14.	Jalur sepuluh titik tuju dengan metoda <i>scanning</i> vertikal ...	77
Gambar IV.15.	Jalur duapuluh titik tuju dengan metoda jalur terpendek	79
Gambar IV.16.	Jalur duapuluh titik tuju dengan metoda jalur terpendek* ..	79
Gambar IV.17.	Jalur duapuluh titik tuju dengan metoda <i>scanning</i> horizontal	80
Gambar IV.18.	Jalur duapuluh titik tuju dengan metoda <i>scanning</i> vertikal .	81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.	<i>M-File</i> Optimalisasi dan <i>Inverse</i> Kinematik	A-1
Lampiran B.	Model Sistem <i>SimMechanics</i>	B-1
Lampiran C.	VRML Robot Pengebor PCB	C-1