

**RANCANG BANGUN MESIN PEMOTONG RUMPUT
TENAGA SURYA UNTUK NAVIGASI**

***BUILDING DESIGN OF LOWN MOWER OF SOLAR ENERGY
FOR NAVIGATION***

JOHANES OHOIWUTUN



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

**RANCANG BANGUN MESIN PEMOTONG RUMPUT
TENAGA SURYA UNTUK NAVIGASI**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

JOHANES OHOIWUTUN

kepada

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

TESIS

RANCANG BANGUN MESIN PEMOTONG RUMPUT TENAGA SURYA UNTUK NAVIGASI

Disusun dan diajukan oleh

JOHANES OHOIWUTUN

Nomor Pokok P2202211405

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 1 Agustus 2013

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat

Rafiuddin Syam,ST,M.Eng.Ph.DProf.Dr.Ir.H.Hammada Abbas,MSME

Ketua

Anggota

Ketua Program Studi
Teknik Mesin,

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,

Rafiuddin Syam,ST,M.Eng.Ph.DProf.Dr.Ir.Mursalim

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : JOHANES OHOIWUTUN

Nomor Pokok : P 2202211405

Program Studi : Teknik Mesin/Konstruksi Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 1 Agustus 2013
Yang menyatakan,

JOHANES OHOIWUTUN

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkah dan rahmatNya sehingga penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Penyusunan tesis dengan judul **Rancang Bangun Mesin Pemotong Rumput Tenaga Surya Untuk Navigasi** telah selesai. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan saran, bimbingan, dan petunjuk, terutama kepada :

1. Rafiuddin Syam, ST.M.Eng.Ph.D., selaku ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Mesin sekaligus sebagai ketua komisi penasehat atas segala waktu dan bimbingannya selama penyusunan tesis ini.
2. Prof.Dr.Ir.H.Hammada Abbas, MSME, selaku anggota komisi penasehat atas segala waktu dan bimbingannya selama penyusunan tesis ini.
3. Dr.Ir.Johannes Leonard, DEA, selaku Ketua Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian tesis ini
4. Prof. Dr. Ir. Syukri Himran, MSME, selaku Sekretaris Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian tesis ini.
5. Dr. Rustan Tarraka, ST, MT, selaku Anggota Tim Penguji atas waktu dan segala masukan yang bermanfaat dalam penyelesaian tesis ini

6. Dr-Ing.Ir.. Wahyu H. Piarah, MSME, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Bapak Direktur beserta Staf Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin atas segala pelayanannya.
8. Bapak Rektor Universitas Hasanuddin.
9. Ptr Paul Tan, Pr selaku Ketua Yayasan Paramitha Katolik Sorong atas segala bantuan dan dukungannya.
10. Bapak Ir.Yoes Anggara Gunawan selaku Direktur Politeknik Katolik Saint Paul Sorong, Bapak Johannes. E. Ola, ST, MT. selaku Asisten Direktur I, Sr. Agripina, SE selaku Asisten Direktur II dan Bapak Herry Widjasena, ST selaku Asisten Direktur III serta Ketua-Ketua Jurusan dalam lingkungan Politeknik Katolik Saint Paul Sorong, atas segala dukungannya.
11. Anak-anak tercinta Ruddy, Debby, Lois dan Lisna atas dukungan moril dan materiil dalam penyelesaian tesis ini.
12. Seluruh staf Workshop Jurusan Mesin Universitas Hasanuddin di Gowa atas segala bantuannya

Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan oleh karena itu masukan dan kritikan sekalian kiranya dapat membantu pengembangan penelitian ini selanjutnya.

Makassar, Juli 2013

Johanes Ohoiwutun

ABSTRAK

JOHANES OHOIWUTUN. *Rancang Bangun Mesin Pemotong Rumput Tenaga Surya Untuk Navigasi*(dibimbing oleh Rafiuddin Syam dan Hammada H. Abbas)

Penelitian ini bertujuan untuk membuat formulasi kinematika dan dinamika untuk mengetahui pergerakan Mesin Pemotong Rumput Tenaga Surya.

Penelitian ini menggunakan tenaga surya sebagai sumber tenaga untuk mengisi batere yang selanjutnya menjalankan robot. Perancangan dan penelitian ini dilaksanakan di Workshop Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa. Sistem kendali yang digunakan adalah sistem manual dengan menggunakan gelombang radio pemancar dan penerima yang selanjutnya menggerakkan robot sesuai arah yang dituju.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dari perlakuan dengan tiga variasi kecepatan yaitu 0,754 m/det, 0,565 m/det dan 0,314 m/det maka diperoleh hasil pemotongan rumput terbaik terjadi pada kecepatan 0,314 m/det dan tinggi pemotongan rumput 5 cm. Formulasi kinematika dan dinamika untuk mesin pemotong rumput terdapat 2 variabel input kontrol yaitu \dot{x} dan \dot{y} untuk mengendalikan 3 variabel output yaitu x , y dan θ sehingga terdapat 1 variabel redundan.

Kata kunci : robot mobile, mesin pemotong rumput, tenaga surya

ABSTRACT

JOHANES OHOIWUTUN. Building Design of Lawn Mower of Solar Energy For Navigation (supervised by Rafiuddin Syam dan Hammada H. Abbas)

The research aimed to make the kinematics and dynamics formulation to find out lawn mower movement of Solar energy.

In the research, solar energy was used as energy source to charge the battery which eventually drove the robot. The designing and research were carried out in the Workshop of Mechanical Department Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Gowa.

The control system used was a manual system by using radio wave transmitter and receiver which in turn drive the robot in the direction intended.

Experimental results indicated that treatment with three speed variations of 0,754 m/s, 0,565 m/s and 0,314 m/sec is obtained that the best grass cutting results occur on speed of 0,314 sec and the grass cutting high is 5 cm. The kinematics and dynamics formulation for lawn mowers, have 2 control input variables i.e \dot{x} and \dot{y} to control 3 the output variables of x , y and θ so that there is one variable redundant.

Keywords: mobile robots, lawn mower, solar power

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR NOTASI	xi
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian	4
II. LANDASANTEORI	5
A. Pengertian Robot	5
1. Mobile Robot	8
2. Non Mobile Robot	9
B. Sistem Kendali Robot	10
1. Kendali Loop Terbuka	11
2. Kendali Loop Tertutup	12
C. Tenaga Surya	13
1. Fotovoltaik	14

2. Sel Fotovoltaik	15
D. Mikrokontroler	
E. Motor DC	17
F. Persamaan Dasar Mobile Robot	20
III.METODOLOGI PENELITIAN	21
A. Waktu Dan Tempat	30
B. Alat Dan Bahan	30
C. Spesifikasi	30
D. Dimensi Mesin Pemotong Rumput	31
E. Sistim Kendali Mesin	32
F. Prinsip kerja Sistim Kontrol	33
G. Prosedur Penelitian	33
H. Diagram Alir Penelitian	35
I. Jadwal Penelitian	36
J. Ilustrasi Gambar desain Mesin Pemotong Rumput	37
IV.HASIL DAN PEMBAHASAN	38
A. Mesin Pemotong Rumput	41
B. Fotovoltaik	41
C. Perhitungan Error Tracking Lintasan	41
D. Kecepatan Robot	43
E. Diagram Kontrol	48
F. Perhitungan Kinematika dan Dinamika	50
	50

V. PENUTUP	57
A. Kesimpulan	57
B. Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58

DAFTAR GAMBAR

Nomor	halaman
Gambar 1. Robot mobile	8
Gambar 2. Robot hummanoid	10
Gambar 3. Sistim kendali	11
Gambar 4. Kendali loop terbuka	12
Gambar 5. Kendali loop tertutup	12
Gambar 6. Skema pengoperasian dasar sel fotovoltai	15
Gambar 7. Elektron hole	16
Gambar 8. Motor Tenaga Surya	17
Gambar 9. Mikrokontroler ATmega 8535	19
Gambar 10. Motor DC	21
Gambar 11. Mobile robot pada koordinat X - Y	21
Gambar 12. Gaya yang terjadi pada mobile robot	24
Gambar 13. Perpindahan Mobile robot	26
Gambar 14. Kecepatan mobile robot	28
Gambar 15. Sistim kontrol	35
Gambar 16. Gambar tampak	38
Gambar 17. Gambar isometrik	39

Gambar 18. Gambar tiga dimensi	40
Gambar 19. Gambar Lintasan 1	43
Gambar 20. Grafik 1 operator 1	44
Gambar 21 Grafik 2 operator 2	45
Gambar 22 Gambar lintasan 2	46
Gambar 23 Grafik 3 lintasan 2, operator 1	47
Gambar 24 Grafik 4 lintasan 2 operator 2	48
Gambar 25 Variasi kecepatan	59
Gambar 26 Diagram control mobile robot	50

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	halaman
A Spesifikasi	59
1. Modul sel Surya	59
2. Battery Control Regulator	59
3. Penggerak Pemotong Rumput	60
B Foto Dokumentasi	61
C. Tabel Error Lintasan 1	74
D. Tabel Error Lintasan 2	102

DAFTAR NOTASI

No.	Notasi	Keterangan	Satuan
1	q_r	Input controller	-
2	q_e	Error	-
3	q_{act}	Koordinat Aktual	-
4	$U_{(t)}$	Output kontroler	-
5	$g(q)$	Matriks Transformasi	-
6	K_p	Kontrol proporsional	-
7	θ	sudut arah hadap robot	$^{\circ}$
8	L	Panjang robot diukur dari garis tengah roda ke roda	m
8	$2b$	lebar robot yang diukur dari garis tengah roda ke roda	m
9	r	jari-jari roda	m
10	d	Jarak antara titik berat dengan poros roda	m

11	ω_1	Kecepatan sudut roda kiri	rad/sec
12	ω_2	Kecepatan sudut roda kanan	rad/sec
13	m	Massa total <i>mobile robot</i>	kg
14	v	Kecepatan Linear <i>mobile robot</i>	m/s
15	w	Kecepatan sudut <i>mobile robot</i>	rad/s
16	\dot{v}	Percepatan Linear <i>mobile robot</i>	m/s^2
17	\dot{w}	Percepatan sudut <i>mobile robot</i>	rad/s^2
18	\dot{q}	Kecepatan	m/s
19	\ddot{q}	Percepatan	m/s^2
20	$\dot{\theta}$	Kecepatan sudut <i>mobile robot</i>	rad/s
21	τ	Torsi aktuator	N.m
22	P_{mot}	Daya motor	W
23	P_{bat}	Daya batere	Wh

24	U_b	Tegangan batere	V
25	I_b	Arus batere	A
26	t_{ch}	Waktu pengisian batere	jam
27	t_{op}	Waktu pengoperasian batere	jam
28	V_r	Kecepatan rata-rata tanpa beban	m/det

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Rumput adalah tumbuh-tumbuhan yang menutup tanah sekaligus berguna untuk melindungi tanah dari ancaman kerusakan akibat erosi serta untuk memperbaiki sifat kimia dan sifat fisik tanah. Pertumbuhan tanaman rumput sangat cepat dibandingkan dengan tanaman hias penutup tanah lainnya. Untuk menjaga keindahan taman, halaman maupun lapangan bola kaki dan lain-lain maka rumput harus dipotong secara teratur dengan ketinggian tertentu, sehingga nampak rapih dan asri. Namun kenyataan yang terjadi selama ini proses pemotongan rumput dilaksanakan secara manual atau dengan mesin pemotong rumput gendong dan dorong yang menggunakan tenaga manusia untuk menjalankannya dan tentu pula menyita waktu.

Selain itu kebutuhan energi dunia terus meningkat seiring dengan tingkat kemajuan peradaban manusia. Pemanfaatan sumber energi konvensional seperti batubara, bahan bakar minyak, gas alam dan lain-lain di satu sisi memiliki biaya operasional murah, namun di sisi lainnya menghadapi kendala yang semakin besar. Kendala tersebut adalah sumbernya yang semakin berkurang dan yang lebih penting lagi munculnya persoalan polusi lingkungan hidup yang membahayakan bagi kehidupan manusia.

Pemanasan global adalah meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi akibat peningkatan jumlah emisi gas rumah kaca di atmosfer. Pemanasan global akan diikuti dengan perubahan iklim, seperti meningkatnya curah hujan di beberapa belahan dunia sehingga menimbulkan banjir dan erosi. Sedangkan di belahan bumi lain akan mengalami musim kering yang berkepanjangan disebabkan oleh kenaikan suhu. Pemanasan global terjadi ketika ada konsentrasi gas-gas tertentu yang dikenal dengan gas rumah kaca, yg terus bertambah di udara, hal tersebut disebabkan oleh tindakan manusia, kegiatan industri, khususnya CO₂ dan chlorofluorocarbon. (Dr.G.Robert, <http://vegclimatealliance.org/livestock-and-climate-change-qa>)

Oleh karena itu pengembangan sumber tenaga alternatif yang terbarukan dan bebas polusi menjadi kebutuhan mendesak bagi seluruh umat manusia. Salah satu sumber-sumber tenaga terbarukan tersebut adalah tenaga surya. Indonesia terletak di sepanjang garis katulistiwa, yaitu pada 6° lintang utara - 11° lintang selatandan 95° bujur timur - 141° tujur timur, dan dengan memperhatikan peredaran matahari dalam setahun berada pada daerah 23,5° lintang utara dan 23,5° lintang selatan maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10 sampai 12 jam sehari, sehingga sumber-sumber energi terbarukan tersebut di atas sangat melimpah. Oleh karena itu semestinya pengembangan dan pemanfaatannya harus dilakukan baik dalam bentuk riset di laboratorium maupun terapannya berupa teknologi tepat guna yang langsung dapat

dimanfaatkan oleh masyarakat. Menurut pengukuran dari pusat Meteorologi dan Geofisika diperkirakan besar radiasi yang jatuh pada permukaan bumi Indonesia (khususnya Indonesia Bagian Timur) rata-rata kurang lebih sebesar 5,1 kWh/m². (<http://www.esdm.go.id/berita/323-energi-baru-dan-terbarukan/2846-energi-surya-dan-pengembangannya-di-indonesia.html>)

Namun demikian dalam bidang terapan pemanfaatan energi tersebut belum dilakukan secara optimal baik untuk keperluan industri, rumah tangga maupun perkantoran. Hal ini sangat mungkin mengingat prospek yang sangat besar bagi pengembangan pemanfaatan teknologi sel surya di seluruh dunia apalagi di Indonesia. Oleh karena itu diharapkan mampu menggugah kesadaran kita semua bahwa Indonesia mempunyai sumber energi terbarukan yang melimpah sehingga kegiatan riset energi terbarukan mendapatkan perhatian besar oleh para penentu kebijakan baik di perguruan tinggi maupun di lembaga-lembaga riset lainnya.

Ariswan, *Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia*(Online), diakses 24 Oktober 2012.

Dari uraian di atas penulis mengangkat judul **“Rancang Bangun Mesin Pemotong Rumput Tenaga Surya Untuk Navigasi”**

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang dan membuat mesin pemotong rumput dengan menggunakan tenaga surya?
2. Bagaimana membuat formulasi kinematika dan dinamika?

3. Bagaimana melakukan simulasi terhadap mesin pemotong rumput tenaga surya?

C. Tujuan Penelitian

1. Merancang dan membuat mesin pemotong rumput dengan menggunakan tenaga surya. untuk navigasi
2. Membuat formulasi kinematika dan dinamika untuk mengetahui pergerakan Mesin Pemotong Rumput Tenaga Surya Untuk Navigasi.
3. Melakukan simulasi

D. Batasan Masalah

Mengingat bahwa mobile robot mempunyai cakupan yang luas maka penulis memberi batasan sebagai berikut :

1. Bahan konstruksi yang digunakan adalah bahan dasar yang umum dipakai seperti plat besi, besi siku dan sel surya sebagai catu daya.
2. Analisis Kinematika dan Dinamika
3. Simulasi mesin pemotong rumput tenaga surya

E. Manfaat Penulisan

1. Bagi Penulis : mampu mendesain dan mensimulasi mesin pemotong rumput tenaga surya untuk navigasi
2. Bagi akademisi :memberikan masukan, tambahan pengetahuan, untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut dibidang robotika. Khususnya mesin pemotong rumput

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Pengertian Robot

Robot berasal dari kata *robot* yang dalam bahasa Ceko berarti budak, pekerja atau kuli. Pertama kali kata *robot* diperkenalkan oleh Karel Capek dalam sebuah pentas sandiwara pada tahun 1920 yang berjudul *Rossum's Universal Robot (RUR)*. Meskipun begitu, awal kemunculan robot sebetulnya dari bangsa Yunani kuno yang membuat patung yang dapat dipindah-pindahkan. Pada zaman Nabi Muhammad SAW, telah dibuat mesin perang dengan menggunakan roda dan dapat melontarkan bom. Bahkan Al-Jajari (1136-1206), seorang ilmuwan Islam pada dinasti Artuqid, dianggap sebagai tokoh yang pertama kali menciptakan robot humanoid yang berfungsi sebagai musisi. [4]

Pada tahun 1987 penelitian dan pengembangan pertama membuahkan sebuah produk robotik ketika Argonne National Laboratories di Oak Ridge, Amerika, memperkenalkan sebuah mekanisme robotik yang dinamai *master-slave manipulator*. Robot ini digunakan untuk menangani material radioaktif. Kemudian produk robot komersial pertama diperkenalkan oleh Unimation Incorporated, Amerika, pada tahun 1950. Hingga belasan tahun kemudian langkah komersial ini telah diikuti oleh perusahaan-perusahaan di belahan dunia lain. Namun demikian penelitian intensif dibidang

teknologi robotik dan niatan menjadikan robotik sebagai sebuah disiplin ilmu belum terpikirkan.

Setelah dunia mulai menapak ke jaman industri pada pertengahan 1960-an, kebutuhan akan otomasi makin besar. Pada saat itu robotik diterima sebagai disiplin ilmu baru yang mendampingi ilmu-ilmu dasar dan teknik yang telah mapan sebelumnya. Negara-negara yang telah mapan kala itu seperti Amerika, Inggris, Jerman dan Prancis mulai bermunculan grup-grup riset yang menjadikan robotik sebagai temannya. Tidak lama kemudian di Asia, yang dimotori oleh pemikir-pemikir Jepang yang baru pulang menimba ilmu di Amerika, bermunculan pula kelompok-kelompok peneliti dalam bidang robotik. Bahkan di kemudian hari tercatat bangsa Jepang-lah yang paling produktif dalam mengembangkan teknologi robot, kalau tidak dapat dikatakan sebagai yang termaju dalam bidang ini. Hal ini tak lain karena Jepang juga gigih dalam melakukan penelitian teknologi infrastruktur seperti komponen dan piranti mikro (microdevices) yang akhirnya bidang ini terbukti sebagai inti dari pengembangan robot modern.

Pada awalnya aplikasi robot hampir tak dapat dipisahkan dengan industri sehingga muncul istilah industrial robot dan robot manipulator. Definisi yang populer ketika itu, robot industri adalah suatu robot tangan (robot arm) yang diciptakan untuk berbagai keperluan dalam meningkatkan produksi, membentuk lengan-lengan kaku yang terhubung secara seri dan memiliki sendi yang dapat bergerak berputar (rotasi) atau memanjang/memendek (translasi atau prismatic). Satu sisi lengan yang

disebut sebagai pangkal ditanam pada bidang atau meja yang statis (tidak bergerak), sedangkan sisi yang lain yang disebut sebagai ujung (end of effector) dapat dimuati dengan tool tertentu sesuai dengan tugas robot. Dalam dunia mekanikal, manipulator memiliki dua bagian yaitu tangan atau lengan (arm) dan pergelangan (wrist). Pada pergelangan ini dapat diinstal berbagai tool. Penggunaan manipulator diminati dalam industri sehingga banyak perusahaan besar di dunia menjadikan robot industri sebagai unggulan. Bahkan beberapa perusahaan di Jepang masih menjadikan manipulator sebagai produk utamanya seperti Franc Inc. yang memiliki pabrik utamanya di lereng gunung Fuji.

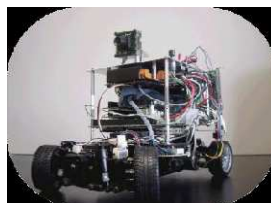
Dewasa ini mungkin definisi robot industri itu sudah tidak sesuai lagi karena teknologi robot sudah dipakai meluas sejak tahun 1980-an. Seiring itu pula kemudian muncul istilah robot humanoid (konstruksi mirip manusia), animaloid (mirip binatang) dan sebagainya. Bahkan kini dalam industri spesifik seperti industri perfilman, industri angkasa luar dan industri pertahanan atau mesin perang, robot arm atau manipulator bisa jadi hanya menjadi bagian saja dari sistem robot secara keseluruhan.[5]

Mobil robot adalah konstruksi robot yang ciri khasnya mempunyai aktuator berupa roda untuk menggerakkan keseluruhan badan robot sehingga dapat melakukan perpindahan posisi dari satu titik ke titik lain. Pada robot sains digunakan untuk menunjukkan geometris dan aplikasi robot yaitu poros gerakan dan derajat kebebasan. Pergerakan ini mempunyai garis sumbu atau titik yang tidak berubah disebut poros.

Jadi poros gerakan merupakan titik atau pusat terjadinya gerakan. Derajat kebebasan adalah jumlah arah bebas dari suatu robot (end effector) yang menentukan arah dari pergerakan. Parameter-parameter yang bertindak sebagai variabel masukan dari robot mobil adalah koordinat posisi (x,y) yaitu titik pusat robot dan sudut arah ϕ yang berada pada sumbu x dan poros robot. Sebagai variabel keluarannya adalah sinyal sudut pengarah $\phi\theta$ yang berada antara poros roda dengan arah roda.[6]

1.Mobile Robot

Mobile robot adalah type robot yang paling populer dalam dunia penelitian robot. Sebutan ini biasa digunakan sebagai kata kunci utama untuk mencari rujukan atau referensi yang berkaitan dengan robotik di internet. Publikasi dengan judul yang berkaitan mobile robot sering menjadi daya tarik, tidak hanya bagi kalangan peneliti, tapi juga bagi kalangan awam. Dari segi manfaat, penelitian tentang berbagai tipe mobile robot diharapkan dapat membantu dalam melakukan otomasi dalam transportasi, platform bergerak untuk robot industry, eksplorasi tanpa awak dan masih banyak lagi [5]



Gambar .1. Robot Mobile

Sumber :www.meriwardana.com/.../robot-robot-pintar-dan-tercanggih-di.html
2. Non Mobile Robot

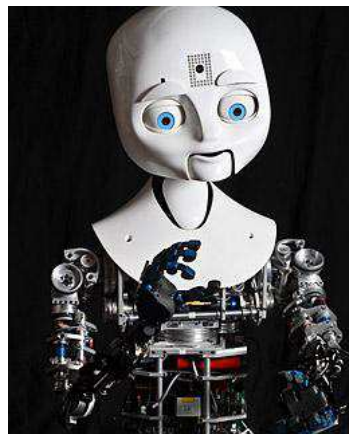
Non mobile robot merupakan robot yang hanya berdiri pada satu titik atau tempat secara terus menerus dalam menjalankan fungsinya. Robot jenis ini biasa disebut robot manipulator atau *arm robot* atau robot industri. Karena penerapannya, robot ini lebih berperan seperti layaknya tangan manusia. Salah satu contoh robot industri yang terdapat pada pabrik-pabrik perakitan mobil yang biasanya berperan sebagai penyambung (las) pada bagian-bagian kendaraan.

Sistem mekanik dari robot ini terdiri dari dua susunan rangka (link) dan engsel (joint) yang mampu menghasilkan gerakan terkontrol. Terdapat dua tipe dasar yang digunakan dalam industri yaitu :

- a. Revolute Joint (R) perputaran pada sumbu tertentu
- b. Prismatic joint (P) pergeseran sepanjang sumbu tertentu

Pada akhirnya kombinasi antara mobil robot dengan non mobile robot dapat menghasilkan kelompok kombinasi konvensional (mobile dengan non mobile) serta kelompok nonkonvensional. Untuk kelompok pertama diberi nama konvensional karena nama yang digunakan dalam konteks penelitian adalah nama-nama yang dianggap umum, seperti mobile manipulator, robot pemanjat (climbing robot), dan walking robot. Sedangkan kelompok nonkonvensional dapat berupa robot humanoid, animaloid, extra-ordinary, atau segala bentuk inovasi penyerupaan yang bisa dilakukan. Kelompok ini banyak dimanfaatkan sebagai ikon keunggulan dalam penelitian robotik seperti robot Advanced Step in

Inovative Mobility (ASIMO) buatan Jepang. Sementara robot bawah air dan robot terbang lebih banyak dikembangkan sebagai peralatan untuk membantu penelitian yang berkaitan dan untuk pertahanan atau mesin perang [7]



Gambar 2. Robot Humanoid

Sumber : elib.unikom.ac.id/download.php

B. Sistem Kendali Robot

Masalah pengendalian berkaitan erat dengan strategi yang memungkinkan sebuah mikrokontroler mengarahkan gerakan-gerakan dari sebuah robot melalui sensor dan menyampaikan respon robot tersebut ke mikrokontroler. Sistem kendali mempunyai tiga unsur yaitu input, proses dan output.



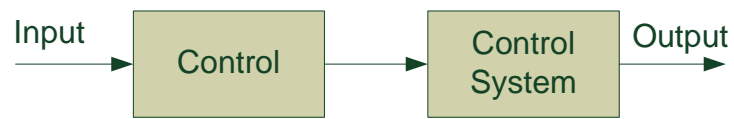
Gambar.3. Sistem kendali

Input pada umumnya berupa sinyal dan transduser yaitu alat yang dapat merubah besaran fisik menjadi besaran listrik, misalnya tombol tekan, saklar batas, thermostat dan lain-lain. Transduser memberikan besaran yang dapat diukur, kemudian besaran ini dapat diproses oleh bagian proses, dapat berupa rangkaian kendali yang menggunakan peralatan yang dirangkai secara listrik atau berupa suatu sistem kendali yang dapat diprogramkan misalnya sistem mikroprosesor, mikrokontrol atau PLC.

Pemrosesan informasi (sinyal input) menghasilkan sinyal output yang selanjutnya digunakan untuk mengaktifkan aktuator (peralatan output) yang dapat berupa motor listrik, kontaktor, katup solenoid, lampu dan sebagainya. Dengan peralatan output, besaran listrik diubah menjadi besaran fisik. Sistem kendali dibedakan menjadi dua yaitu sistem kendali loop terbuka (*open loop control*) dan loop tertutup (*close loop control*).

1. Kendali Loop Terbuka (*open loop control*)

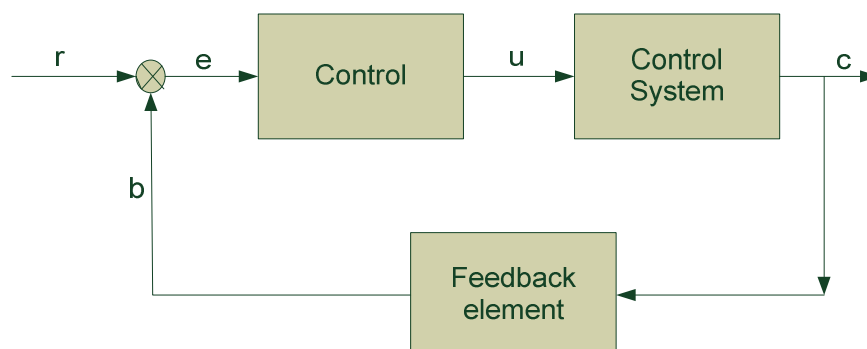
Suatu sistem yang keluarannya tidak mempunyai pengaruh terhadap aksi kontrol. Dengan kata lain, sistem kontrol loop terbuka merupakan sistem kontrol dimana keluaran tidak memberikan efek terhadap besaran masukan, sehingga variabel yang dikontrol tidak dapat dibandingkan terhadap harga yang diinginkan. Gambar prinsip kendali loop terbuka diperlihatkan pada gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Diagram blok open loop control

2. Kendali loop tertutup (*close loop control*)

Kendali loop tertutup merupakan kebalikan dari prinsip kendali loop terbuka. Pengertiannya adalah suatu prinsip kendali dimana loop tersebut memiliki lintasan yang tertutup untuk proses aliran informasi dari output ke input dan kembali lagi ke input karena adanya *feedback control*. Selanjutnya diperlihatkan blok diagram close loop tertutup.



Gambar 5. Diagram blok close loop control

Huruf r merupakan masukan yang menentukan suatu nilai yang diharapkan bagi sistem yang dikendalikan tersebut. Sedangkan lingkaran tanda silang menandakan suatu titik penjumlahan antara r dan b (umpan balik dari keluaran). Keluaran dari penjumlahan adalah sinyal kesalahan e adalah nilai yang diperoleh dari selisih r dan b . Dengan kata lain sinyal

kesalahan **e** adalah perbedaan antara apa yang diinginkan dengan apa yang dihasilkan.[7]

C. Tenaga Surya

Energi surya atau matahari telah dimanfaatkan di banyak belahan dunia dan jika dieksploitasi dengan tepat, energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia saat ini dalam waktu yang lebih lama. Matahari dapat digunakan secara langsung untuk memproduksi listrik atau untuk memanaskan bahkan untuk mendinginkan. Potensi masa depan energi surya hanya dibatasi oleh keinginan kita untuk menangkap kesempatan. Ada banyak cara untuk memanfaatkan energi dari matahari. Tumbuhan mengubah sinar matahari menjadi energi kimia dengan menggunakan fotosintesis. Kita memanfaatkan energi ini dengan memakai dan membakar kayu. Bagaimanapun, istilah “tenaga surya” mempunyai arti mengubah sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik untuk kegunaan kita. Ada dua tipe dasar tenaga matahari adalah “*sinar matahari*” dan “*photovoltaic*” (photo-cahaya, voltaic=tegangan). Photovoltaic tenaga matahari melibatkan pembangkit listrik dari cahaya. Rahasia dari proses ini adalah penggunaan bahan semi konduktor yang dapat disesuaikan untuk melepas elektron, partikel bermuatan negatif yang membentuk dasar listrik.

1. Fotovoltaik

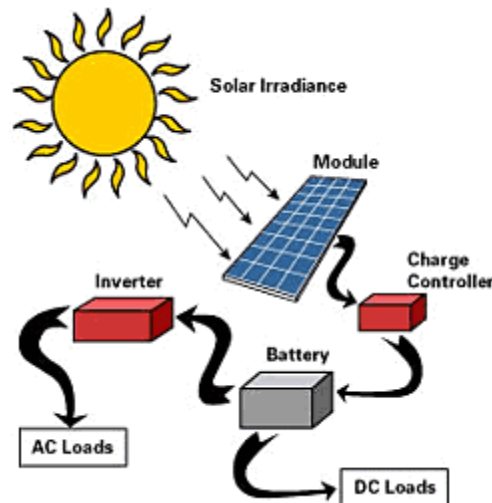
Teknologi fotovoltaik (PV) merupakan suatu teknologi konversi yang mengubah cahaya (foto) menjadi listrik (volt) secara langsung (*direct conversion*). Peristiwa ini dikenal sebagai efek fotolistrik (*photovoltaic affect*). Didalam proses konversi cahaya-listrik tidak ada bagian yang bergerak, sehingga produk teknologi fotovoltaik memiliki umur teknis yang panjang lebih dari 25 tahun.

Teknologi fotovoltaik dikenal sebagai teknologi bersih sehingga penerapannya akan mendukung program pembangunan yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Beberapa keuntungan dari pemanfaatan teknologi fotovoltaik, antara lain:

1. Biaya operasional dan perawatan yang rendah (tidak diperlukan pembelian bahan bakar dan keausan dalam proses konversi)
2. Tidak menimbulkan polusi udara karena tidak ada proses pembakaran sehingga mengurangi pelepasan gas rumah kaca (*greenhouse gas*)
3. Tidak menimbulkan kebisingan karena tidak ada bagian yang bergerak

Modul fotovoltaik yang pertama dibangun oleh Bell Laboratories pada tahun 1954. Modul ini dibuat sebagai baterai matahari dan sebagian besar hanya karena rasa ingin tahu karena terlalu mahal untuk penggunaan secara luas. Tahun 1960-an, industri luar angkasa mulai serius dalam penggunaan teknologi ini untuk memberikan listrik pada pesawat ruang angkasa. Melalui program luar angkasa, teknologi fotovoltaik semakin maju, keandalannya menjadi mapan, dan biaya mulai menurun. Selama

krisis energi di tahun 1970-an, teknologi fotovoltaik mendapat pengakuan sebagai sumber daya untuk aplikasi non-luar angkasa.



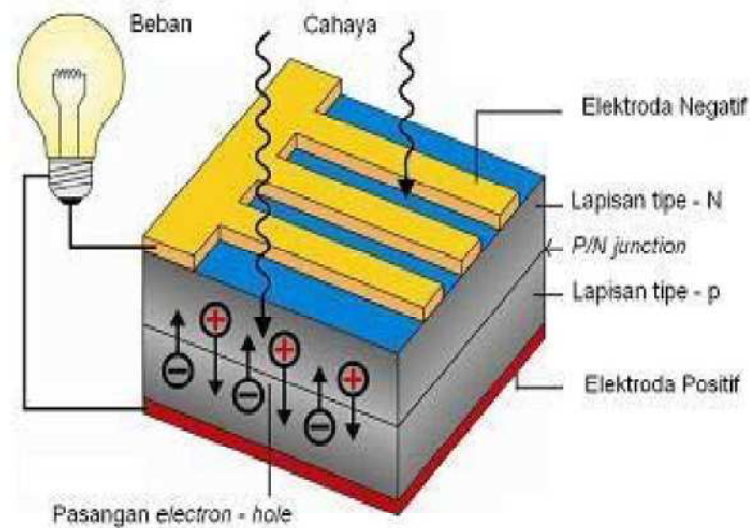
Gambar 6. Skema pengoperasian dasar sel fotovoltaik

Sumber : <http://tenagasuryaku.com/2011/12/03/solar-sell/>

2. Sel Fotovoltaik

Efek fotolistrik ini terjadi pada suatu sel yang terbuat dari bahan semikonduktor. Karena sifatnya, sel ini kemudian disebut sebagai sel fotovoltaik (*photovoltaic cell*) atau sering juga disebut sebagai sel surya (*solar cell*). Sel fotovoltaik merupakan komponen terkecil didalam *Sistem Energi Surya Fotovoltaik* (SESF).

Teknologi sel fotovoltaik yang tersedia dewasa ini masih didominasi oleh jenis sel dengan teknologi kristal, baik mono-kristal maupun poli-kristal, khususnya dari bahan dasar silikon. Sinar matahari yang menimpa permukaan sel diubah secara langsung menjadi listrik sebagai akibat terjadinya pergerakan pasangan *electron-hole*, sebagaimana digambarkan pada skema gambar 7



.Gambar 7. Elektron hole

Skema di atas menggambarkan pengoperasian dasar sel fotovoltaik juga disebut sel surya. Sel surya terbuat dari jenis yang sama dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang digunakan dalam industry mikroelektronika. Untuk sel surya, wafer semikonduktor tipis diperlakukan secara khusus untuk membentuk medan listrik, di satu sisi positif dan negatif di sisi lain. Ketika energi cahaya matahari mengenai sel elektron terlepas dari atom yang ada dalam material semikonduktor. Jika konduktor listrik yang melekat pada sisi positif dan negatif, membentuk sebuah rangkaian listrik, elektron dapat ditangkap dalam bentuk arus listrik. Listrik ini kemudian dapat digunakan untuk menyalakan sebuah beban, seperti lampu atau alat lain.

struktur pendukung atau frame yang disebut modul fotovoltaik. Modul ini dirancang untuk pasokan listrik pada tegangan tertentu, misalnya sistem yang sudah umum, yaitu, 12 volt.[9]

Pada gambar 8 ditampilkan penggunaan fotovoltaik pada robot



Gambar 8. Motor tenaga surya

Sumber : <http://4bp.blongspot.com>

D. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah mikroprosesor yang dikhususkan untuk instrumentasi dan kendali. Contoh aplikasi pada kendali motor, berperan seperti PLC (*Programmable Logic Controller*), pengaturan pengapian dan injeksi bahan bakar pada kendaraan bermotor atau alat mengukur suatu besaran, seperti suhu, tekanan, kelembaban dan lain-lain.

Mikrokontroler merupakan suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. Cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data. Mikrokontroler juga merupakan

computer dalam chip yang digunakan untuk mengontrol peralatan elektrik yang menekankan efisien dan efektif biaya. Secara harafiah bias disebut “pengendali kecil” dimana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC, TTL dan CMOS dapat direduksi/ diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan mikrokontroler. Dengan penggunaan mikrokontroler ini maka :

1. Sistem elektronika menjadi lebih ringkas
2. Rancang bangun sistem elektronika akan lebih cepat karena sebagian besar dari sistem adalah perangkat lunak yang mudah dimodifikasi
3. Pencarian gangguan lebih mudah ditelusuri karena sistemnya yang kompak.

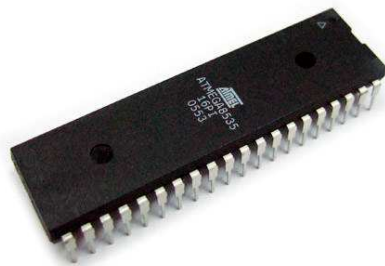
Mikrokontroler juga merupakan suatu chip yang dibuat dengan ciri-ciri kekhasannya adalah :

1. Memiliki memori internal relative sedikit
2. Memiliki unit I/O langsung
3. Pemroses bit selain byte
4. Memiliki perintah/program yang langsung berhubungan dengan I/O
5. Program relatif sederhana
6. Beberapa varian memiliki memori yang tidak hilang bila catu padam didalamnya untuk menyimpan program

Sedangkan dalam aplikasi, sistem mikrokontroler memiliki karakteristik sebagai berikut :

1. Memiliki program khusus yang disimpan dalam memori untuk aplikasi tertentu, tidak seperti PC yang multifungsi karena mudahnya memasukan program. Program mikrokontroler relatif lebih kecil dari pada program-program pada PC.
2. Konsumsi daya kecil
3. Rangkaian sederhana dan kompak
4. Murah karena komponen sedikit
5. Unit I/O yang sederhana
6. Lebih tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem misalnya temperature, tekanan, kelembaban dan sebagainya.[8]

Berikut ditampilkan salah satu jenis mikrokontroler ATmega 8535



Gambar 9. Mikrokontroler ATmega 8535

D. Motor DC

Motor DC adalah motor yang menggunakan aliran arus searah dalam

operasinya. Motor jenis ini banyak digunakan pada aplikasi yang *mobile*. Salahsatu contoh penggunaan motor DC adalah pada mobile robot. Pergerakan darimotor DC terjadi karena adanya kumparan yang bersifat magnetik ketika diberitegangan, dan karena dipengaruhi oleh medan magnetik aktif yang mengelilingikumparan tersebut maka kumparan yang tadinya bersifat magnetik akanmelakukan gerakan memutar. Gerakan inilah yang membuat motor tersebutberputar.

Pada umumnya motor DC yang telah ada adalah motor yang memiliki 2 atau lebih bidang magnet permanen sebagai stator dan gulungan pada kutubelektroda yang terdapat di sikat permanen yang bermagnet yang disebut dynamo sebagai rotor.Keuntungan menggunakan motor DC yaitu dapat berputar searah denganjarum jam dan berlawanan dengan jarum jam, arah pergerakan motor DC dapatdirubah dengan membalikkan kutub pada catu daya yang diberikan pada motorDC. Misalnya hubungan baterai dengan motor tersebut, maka motor akanberputar searah jarum jam, sedangkan pada saat kutub dari baterai di balik, makamotor akan berputar berlawanan dengan arah jarum jam

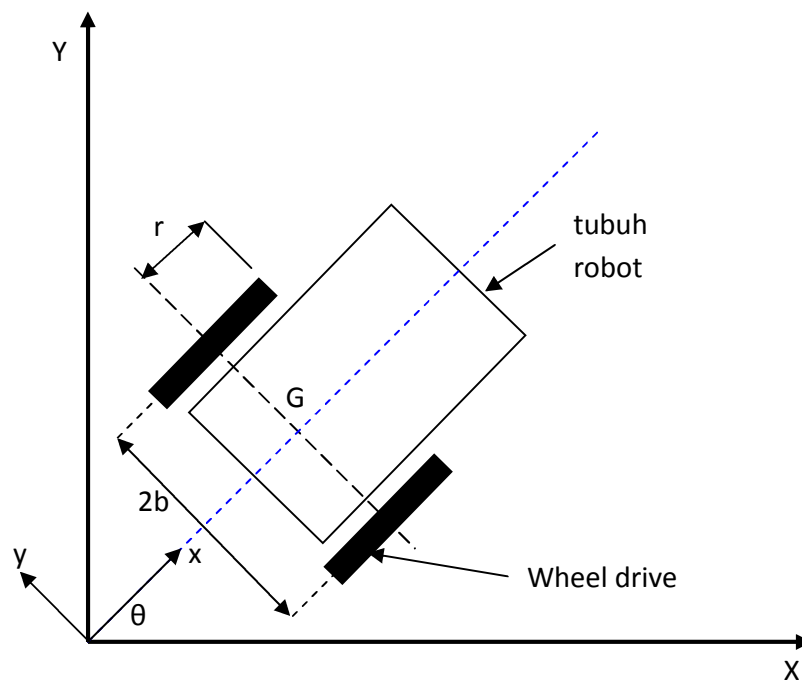


Gambar 10. Motor DC.

Sumber : <http://electronics.howstuffworks.com/motor2.htm>

E. Persamaan dasar Mobile Robot

Mobile robot di sini adalah mobile robot bergerak dua roda kiri-kanan seperti ditunjukkan pada gambar 11 berikut ini : [6]



Gambar 11. Mobile Robot pada koordinat X-Y

Keterangan:

θ = sudut arah hadap *mobile robot*

$2b$ = jarak antara roda

r = jari-jari roda penggerak

(x,y) = koordinat acuan di tubuh robot terhadap sumbu XY

Gerakan *mobile robot* diasumsikan bergerak dalam kawasan sumbu XY saja, tanpa memperhatikan medan yang tidak rata seperti jalan yang naik turun, yang dapat menjadi unsur sumbu Z.

Persamaan umum *mobile robot* sistem *nonholonomic* menurut aturan Euler-Lagrange adalah : [10]

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = B(q)\tau + J^T(q)\lambda \dots\dots\dots(1)$$

dimana : q adalah sistem koordinat umum robot

$M(q)$ adalah matriks simetris $n \times n$

$C(q, \dot{q})$ adalah matriks yang terkait dengan efek coriolis dan

sentrifugal

$G(q)$ adalah vektor gaya gravitasi

$B(q)$ adalah $n \times r$ dimensi matriks pemetaan ruang aktuator

terhadap koordinat ruang keseluruhan

τ adalah r-dimensi vektor dari gaya/torsi aktuator

λ adalah faktor pengali dari Lagrange

dengan vektor posisi, kecepatan dan percepatan *mobile robot* didefinisikan sebagai berikut:

$$q = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta \end{bmatrix} ; \dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \text{ dan } \ddot{q} = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

menurut Hukum Newton II, hubungan massa, percepatan dan gaya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F = m \cdot a \dots\dots\dots(3)$$

dimana: F = gaya (N)

m = massa (kg)

a = percepatan (m/s²)

sedangkan keseimbangan rotasi dari Hukum Newton II, dapat dituliskan:

$$\tau = I \cdot \alpha \dots\dots\dots(4)$$

dimana: τ = torsi mobile robot (N.m)

I = Inersia mobile robot (kg.m²)

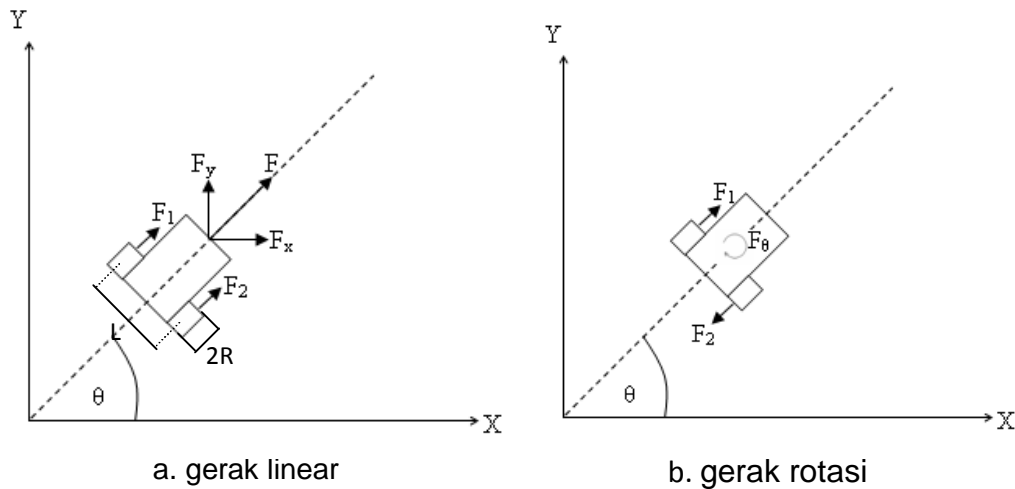
α = percepatan sudut (rad/s²)

dari persamaan (2) dan (3) dapat dituliskan:

$$\begin{aligned} F_{(x)} &= m \cdot a_x \\ F_{(y)} &= m \cdot a_y \\ \tau_{(\theta)} &= I \cdot \ddot{\theta} \end{aligned} \dots\dots\dots(5)$$

maka dapat dituliskan matriks dari $M(q)\ddot{q}$ yaitu:

$$M(q)\ddot{q} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(6)$$



Gambar 12. Gaya yang terjadi pada mobile robot

dari gambar 12..a. dapat diperoleh:

$$\begin{aligned} F &= F_1 + F_2 \\ F_x &= F \cdot \cos \theta \\ F_y &= F \cdot \sin \theta \end{aligned} \dots\dots\dots(7)$$

dimana:

$$F_1 = \frac{\tau_1}{R} \text{ dan } F_2 = \frac{\tau_2}{R} \dots\dots\dots(8)$$

dengan memperhatikan persamaan (7) dan (8) dapat diperoleh:

$$\begin{aligned} F_x &= (F_1 + F_2)\cos\theta \\ &= \left(\frac{\tau_1}{R} + \frac{\tau_2}{R}\right)\cos\theta \dots\dots\dots(9) \\ &= \frac{(\tau_1 + \tau_2)\cos\theta}{R} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_y &= (F_1 + F_2)\sin\theta \\ &= \left(\frac{\tau_1}{R} + \frac{\tau_2}{R}\right)\sin\theta \dots\dots\dots(10) \\ &= \frac{(\tau_1 + \tau_2)\sin\theta}{R} \end{aligned}$$

sedangkan $F_{(\theta)}$ dapat diperoleh dengan memperhatikan gambar 9.b. yaitu:

$$F_{(\theta)} = F_1 - F_2 \dots\dots\dots(11)$$

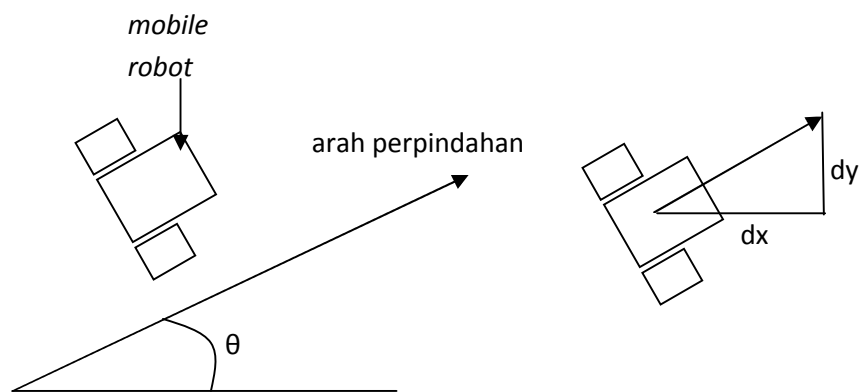
dimana: $F_1 = \frac{\tau_1}{R}$ dan $F_2 = \frac{\tau_2}{R}$ (12)

sehingga $F_{(\theta)}$

$$\begin{aligned} F_{(\theta)} &= \frac{\tau_1}{R} - \frac{\tau_2}{R} \dots\dots\dots(13) \\ &= (\tau_1 - \tau_2) \cdot \frac{1}{R} \end{aligned}$$

jika persamaan (9), (10) dan (13) ditransformasikan ke dalam bentuk matriks maka didapat:

$$B(q)\tau = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \theta \\ \sin \theta & \sin \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(14)$$



Gambar 13. Perpindahan mobile robot

dari gambar (13) dapat diperoleh persamaan nonholonomic sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= \tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \\ \frac{dy}{dx} &= \frac{\dot{y}}{\dot{x}} \\ \frac{\dot{y}}{\dot{x}} &= \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \end{aligned}$$

maka, $\dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta = 0 \dots\dots\dots(15)$

jika persamaan (15) ditransformasikan ke dalam bentuk matriks akan didapatkan

$$\begin{bmatrix} \sin \theta & -\cos \theta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = 0 \dots\dots\dots(16)$$

dan karakteristik *nonholonomic constraint* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$J(q)\dot{q} = 0 \dots\dots\dots(17)$$

$$\text{dimana } J^T(q) = \begin{bmatrix} \sin \theta \\ -\cos \theta \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(18)$$

dan faktor pengali dari Lagrange merupakan selisih dari energi kinetik dan energi potensial yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\lambda = E_k - E_p \dots\dots\dots(19)$$

dimana: $E_k = E_{k_{\text{translasi}}} + E_{k_{\text{rotasi}}}$

$$= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I \cdot \dot{\theta}^2$$

$$= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \cdot \dot{\theta}^2$$

$$= \frac{1}{2}m(v^2 + (r\dot{\theta})^2)$$

$$E_p = mgh \dots\dots\dots(20)$$

karena tidak ada pergerakan terhadap sumbu Z, maka $h = 0$. Jadi energi potensial (E_p) pada *mobile robot* sama dengan nol. Sehingga:

$$\lambda = \frac{1}{2}m(v^2 + (r\dot{\theta})^2) \dots \dots \dots (21)$$

berdasarkan persamaan (15) dengan menggunakan $G(q)$ dan $C(q, \dot{q})$

sama dengan nol, maka diperoleh:

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos \theta \\ \sin \theta & \sin \theta \\ L & -L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin \theta \\ -\cos \theta \\ 0 \end{bmatrix} \lambda \dots \dots \dots (22)$$

dimana:

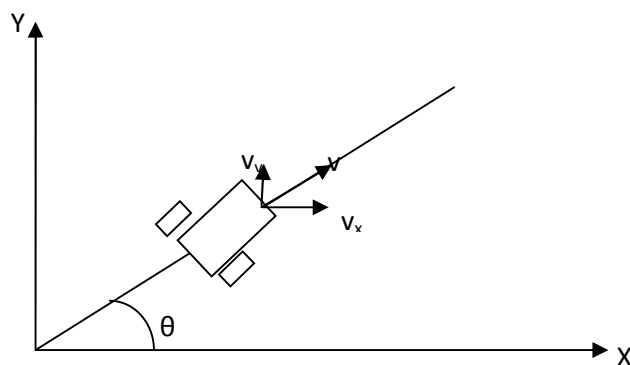
τ_1 dan τ_2 : torsi motor kiri dan kanan,

m : massa robot

I : inersia robot

R : jari-jari roda

L : jarak antara dua roda



Gambar 14. Kecepatan Mobile Robot

dari gambar di atas dapat diperoleh persamaan kecepatan yaitu:

$$v_x = v \cos \theta \text{ dan } v_y = v \sin \theta \dots \dots \dots (23)$$

dimana $\dot{x} = v_x$ dan $\dot{y} = v_y$, dan untuk percepatan sudut *mobile robot*

$$\dot{\theta} = w,$$

$$\dot{x} = v \cos \theta$$

$$\text{maka: } \dot{y} = v \sin \theta \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$\dot{\theta} = w$$

jika persamaan (24) kita transformasikan ke dalam bentuk matriks diperoleh:

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(25)$$

BAB III

Metodologi Penelitian

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Perancangan dan penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Januari sampai Mei 2013 di Workshop Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

B. Alat dan Bahan yang digunakan

a. Alat.

1. Satu set komputer berfungsi untuk desain gambar robot dan pengolahan data
2. Printer berfungsi untuk mencetak data yang telah diinput ke dalam komputer
3. Bor listrik berfungsi untuk melubangi material
4. Mesin gerinda untuk memotong dan menghaluskan permukaan
5. Mesin las listrik untuk menyambung bagian-bagian rangka.
6. Gergaji besi berfungsi untuk memotong material besi
7. Gunting seng berfungsi untuk memotong plat sebagai tambahan base robot
8. Solder berfungsi mencairkan timah untuk menyambung komponen elektronik.

9. Tang berfungsi sebagai alat bantu untuk memotong kabel jumper
10. Obeng berfungsi untuk mengencangkan baut dan mur
11. Kunci ring/pas

b. Bahan

1. Mikrokontroler sebagai pengontrol penggerak motor
2. Voltmeter untuk mengukur tegangan
3. Baterai berfungsi sebagai penyimpan daya listrik
4. Fotovoltaik sebagai sumber tenaga dan pengisi baterai
5. Motor DC yang berfungsi sebagai penggerak roda
6. Besi siku dan plat besi sebagai body robot
7. Mur dan baut sebagai pengikat komponen-komponen robot

C. Spesifikasi

a. Fotovoltaic

Adapun spesifikasi photovoltaic adalah sebagai berikut :

1. Maximum power = 20 W
2. Open circuit voltage (Voc) = 21.67 V
3. Short circuit current ((Isc).....= 1.22 A
4. Maximum Power Voltage ((Vmp)...= 17.49 V
5. Maximum Power Current (Imp).....= 1.14 A
6. Working Temperatur= -45° C to + 85°C
7. Tolerance= ± 5 %

8. Dimensi= 55 x 35 x 2 cm

b. *Batere Control Regulator* yang kami gunakan adalah jenis BCR-1012 (12V) dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Tegangan Keluar = 12VDC
2. Konsumsi daya = 5 mA Standby)
3. Arus Keluaran = 10 A (Maksimum)
4. Posisi Matikan Charge Batere = 14 +/-0.01 V
5. Posisi Mengisi Ulang Batere = 13.50 +/- 0.10 V
6. MatikanTegangan Load (shutdown) = 11.20 +/- 0.01 V
7. Peringatan Bunyi Batere Lemah = 11.60 +/- 0.10 V
8. Batere yang digunakan adalah Panasonic 12 V 7.2 Ah

D. Dimensi Mesin Pemotong Rumput

Adapun dimensi mesin pemotong rumput adalah sebagai berikut :

- 1) Panjang total = 99 cm
- 2) Panjang antara poros roda = 72 cm
- 3) Lebar total = 70 cm
- 4) Lebar antara sumbu roda... = 56 cm
- 5) Tinggi total..... = 52.5 cm
- 6) Diameter roda = 25 cm
- 7) Berat total robot = 36 kg
- 8) Mesin pemotong Tasco = 4 PK
- 9) Putaran Mesin = 7000 RPM

10).Panjang blade..... = 49 cm

11).Lebar blade..... = 6 cm

12).Tinggi pemotongan rumput = 5 cm

E. Sistim Kendali Mesin Pemotong Rumput

Mesin pemotong rumput digerakkan dengan menggunakan gelombang radio.Pemancar atau Transmitter bertugas menerima perintah kendali dari orang yang mengendalikan dan merubahnya menjadi kode-kode elektronik dan mengirimkannya melalui gelombang radio ke udara.Bagian Penerima atau receiver bertugas menerima informasi gelombang radio, menerjemahkan kode-kode elektroniknya menjadi perintah gerak yang dikirimkan ke servo.Selanjutnya servo bertugas melaksanakan perintah gerak elektronik menjadi gerakan mekanik keposisi tertentu yang diinginkan.

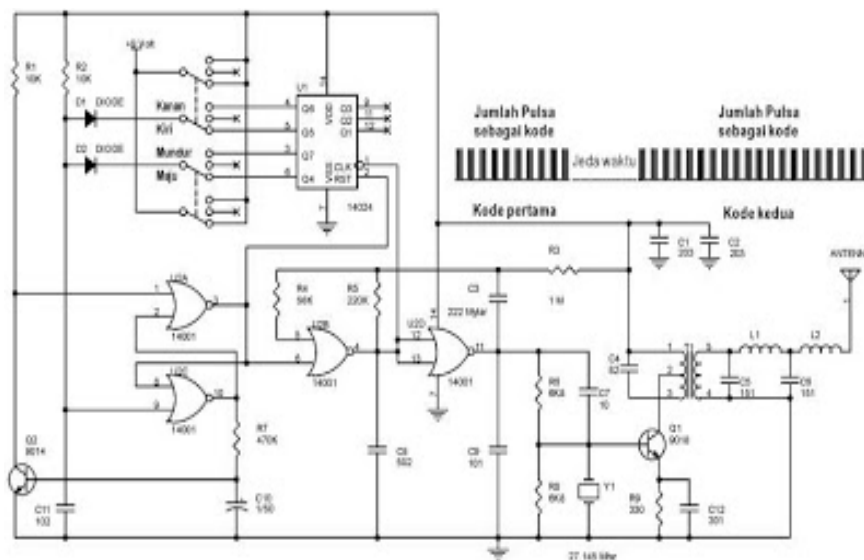
F. Prinsip Kerja Sistem Kontrol

Dalam sistem ini, sinyal radio tidak terus menerus dipancarkan tetapi hanya dibangkitkan saat pengontrol mengirimkan perintah kanan/kiri atau maju/mundur, itupun hanya merupakan frekuensi radio yang terputus-putus, sehingga merupakan pengiriman pulsa-pulsa frekuensi gelombang radio.

Jumlah pulsa yang dikirimkan mewakili perintah yang dikirim, perintah maju diwakili dengan 8 pulsa, kiri diwakili dengan 16 pulsa, kanan 32 pulsa dan mundur 64 pulsa. Perintah yang dikirimkan bias merupakan

gabungan dari 2 perintah sekaligus, yaitu gabungan dari perintah maju/mundur dan kanan/kiri, sebagai contoh bias dikirimkan perintah maju dan kiri sekaligus, dalam hal ini jumlah pulsa yang dikirim adalah 24, yaitu penjumlahan dari perintah maju sebanyak 8 pulsa dan perintah kiri sebanyak 16 pulsa.

Setelah sebuah perintah dikirim, system menghentikan pengiriman perintah dalam jeda waktu tertentu, jeda waktu ini diperlukan akan rangkaian penerima mempunyai waktu yang cukup untuk melaksanakan perintah dengan baik. Pulsa-pulsa frekuensi itu terlihat dibagian kanan atas Gambar di bawah ini.



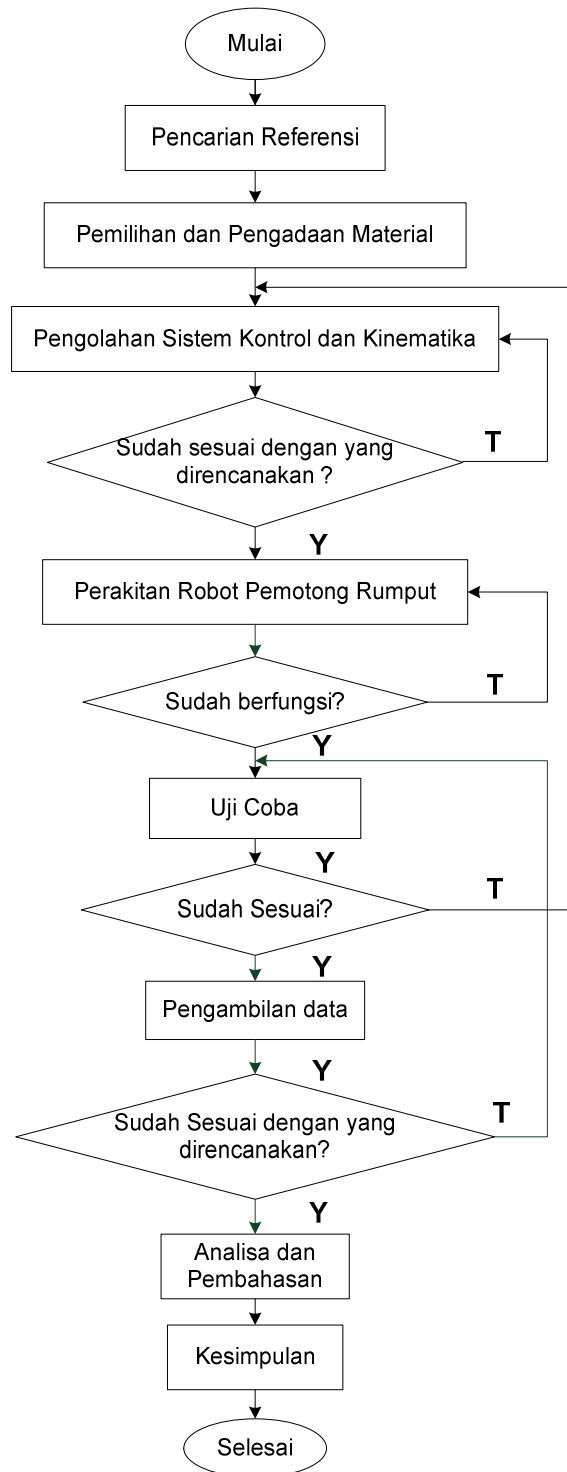
Gambar.15. Sistim kontrol

G. Prosedur Penelitian

1. Menggambar desain mekanis bagian-bagian robot pemotong rumput yang akan disimulasikan

2. Menyiapkan peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam pelaksanaan rancang bangun robot pemotong rumput
3. Menghitung persamaan kinematika dan dinamika dalam proses pergerakan robot
4. Melakukan simulasi pada sistem kerja program
5. Pembuatan robot pemotong rumput dilakukan secara manual dengan memasang komponen-komponen robot.

H. Diagram Alir Penelitian

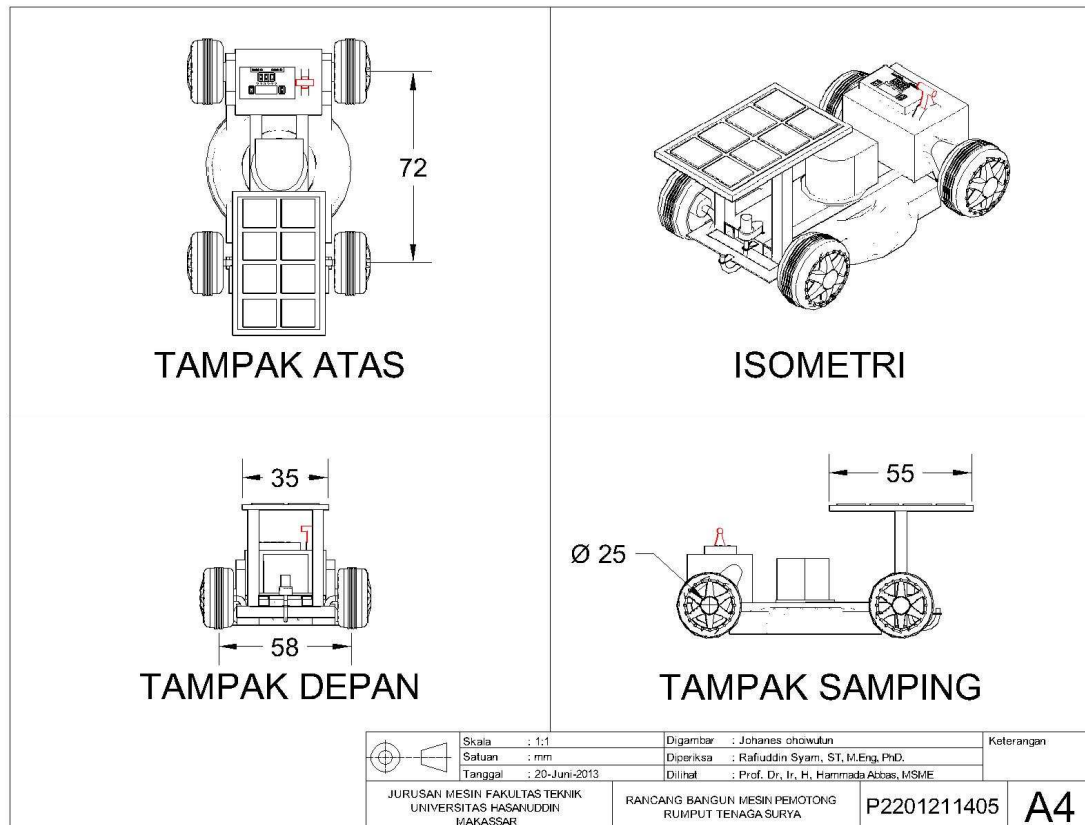


I. Jadwal Penelitian

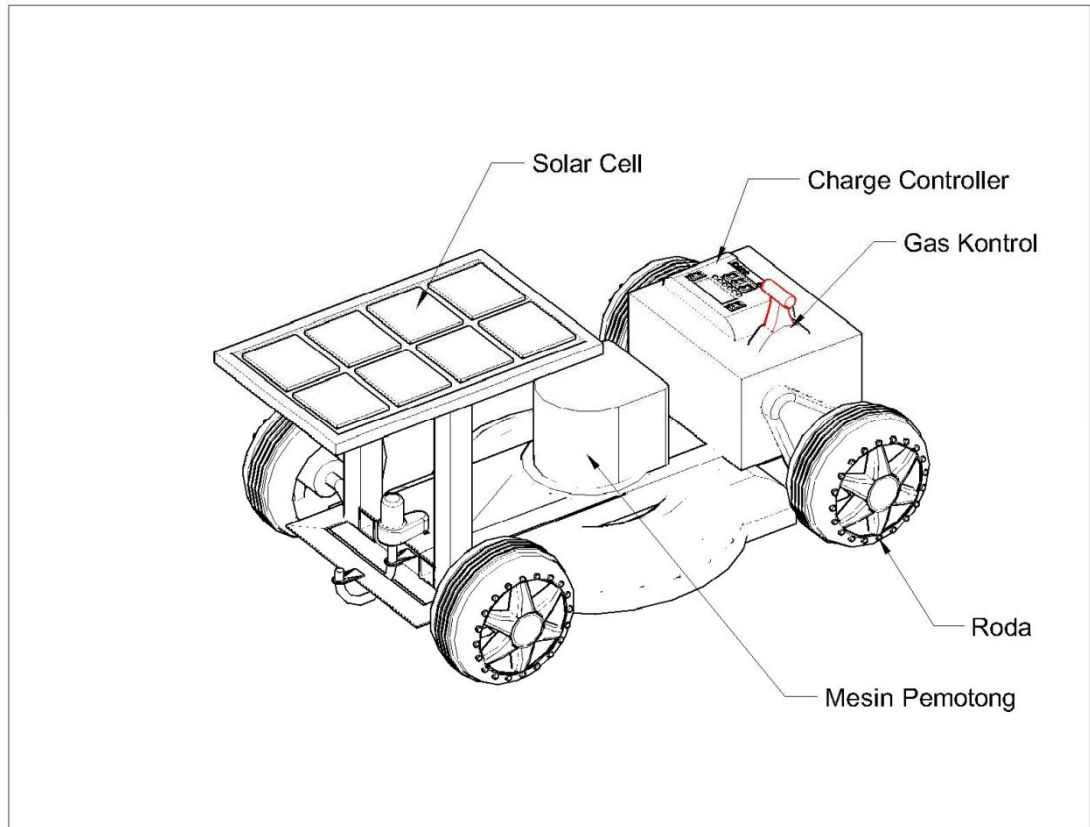
Penelitian ini direncanakan berlangsung selama enam bulan, mulai penyusunan proposal sampai seminar hasil dan ujian tutup yang dijadwalkan sebagai berikut :

NO	KEGIATAN	BULAN					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Pencarian judul dan Referensi						
2	Seminar Proposal						
3	Pembuatan Robot Pemotong Rumput						
4	Pengambilan Data dan Analisis Kinematika dan Dinamika						
5	Penyusunan Laporan Hasil Penelitian						
6	Seminair Hasil Penelitian						
7	Ujian Tutup						

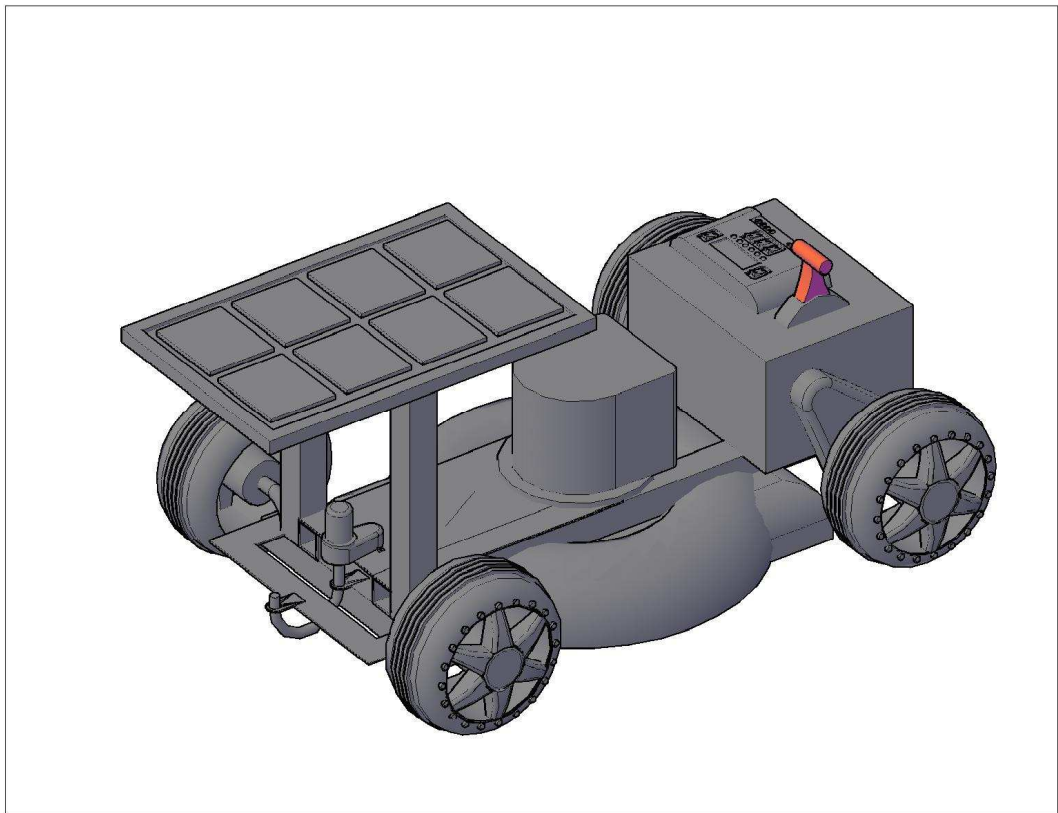
J. Ilustrasi Gambar Desain Mesin Pemotong Rumput



Gambar 16. Gambar tampak



Gambar.17 Gambar Isometrik



Gambar.18 Gambar tiga dimensi

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

B. Mesin Pemotong Rumput

1. Spesifikasi

Ciri-ciri fisik; Mobile robot dengan penggerak belakang ini, menggunakan 2 motor DC 12 Volt, 2 Ampere. Disamping itu untuk steering menggunakan 1 buah motor DC 6 Volt 0.8 Ampere

2. Control Sistem;

Pada system navigasi ini menggunakan manual system control dengan variasi operator. Kami menggunakan 2 operator untuk melakukan eksperimen. Dimana data error merupakan nilai rata-rata dari kedua operator tersebut.

3. Jenis Mesin;

Pemutar Blade menggunakan mesin Tasco 4 PK berbahan bakar Bensin, jenis mesin 4 langkah dengan putaran 7000 rpm.

C. Photovoltaic

- a. Kami menggunakan photovoltaic Model SL 20 CE – 18 M sebagai pembangkit daya untuk mengisi baterai/aki yang selanjutnya menggerakkan motor navigasi. (spesifikasi dapat dilihat pada bab III).

b. Waktu yang dibutuhkan untuk pengisian batere dapat dihitung berdasarkan data sebagai berikut :

1. Tegangan batere (U_b) = 12 Volt
2. Arus Batere (I_b) = 7.2 Ah
3. Daya Sel Photovoltaic = 20 W

$$\begin{aligned} \text{Daya Batere } (P_{bat}) &= U_b \times I_b \\ &= 12 \times 7.2 \\ &= 86.4 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Waktu yang diperlukan adalah :

$$t_{ch} = \frac{86.4}{20} = 4.32 \text{ jam}$$

c. Waktu pengoperasian batere dapat dihitung sebagai berikut :

1. Daya motor (P_{Mot}) = 24 W x 2 = 48 W
2. Efisiensi batere = 80 %

$$t_{op} = \frac{P_{Bat}}{P_{Mot}} \times \text{efisiensi batere}$$

$$= \frac{86,4}{48} \times 80 \% = 1.4 \text{ jam}$$

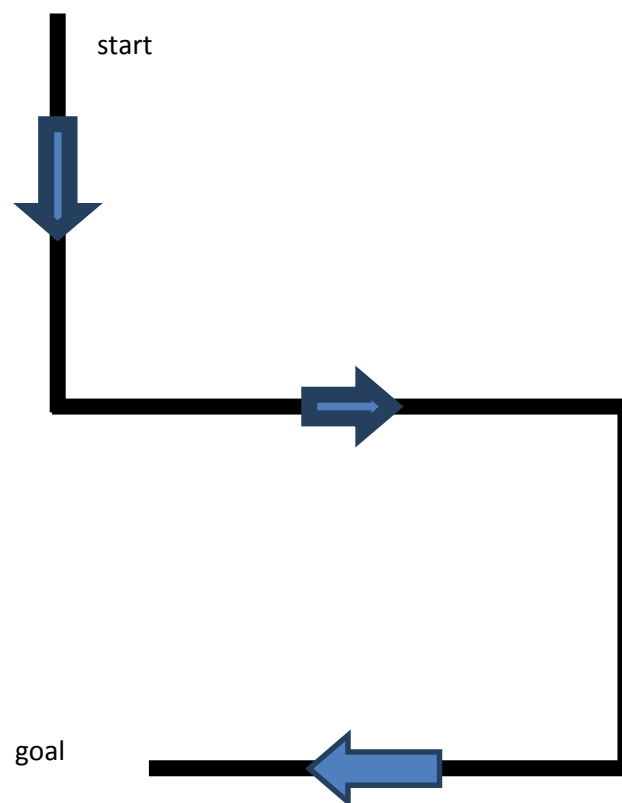
Sehingga pada desain mesin pemotong rumput ini membutuhkan waktu 1.4 jam untuk pengoperasian batere.

D. Perhitungan Error Untuk *Tracking* Lintasan

Ekperimen robot ini, menggunakan dua lintasan dan pertama seperti di bawah ini. Dimulai saat start dan melewati 1 belokan ke kiri dan dua belokan ke kanan, dengan panjang lintasan 29 meter.

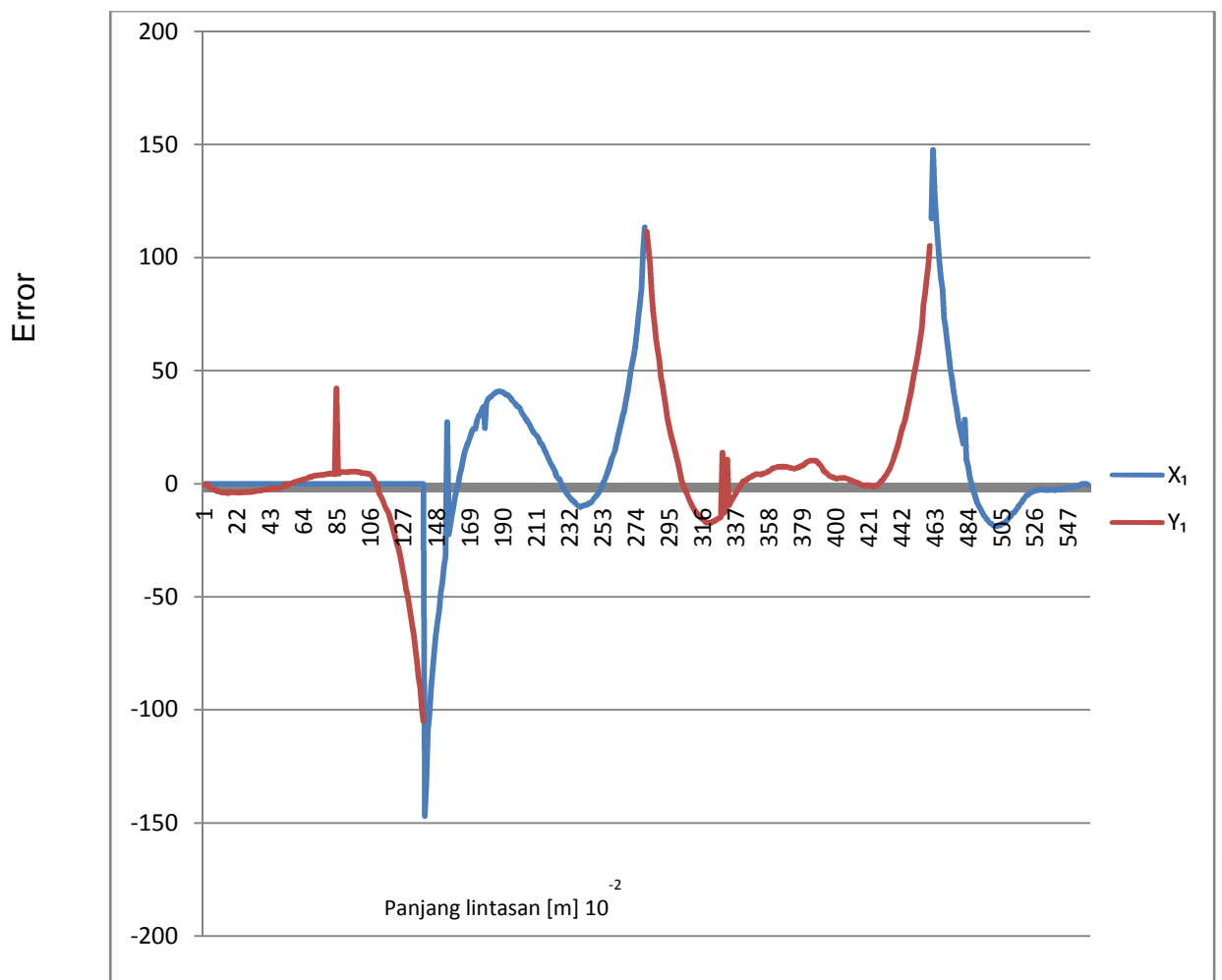
Data dalam bentuk tabel untuk lintasan 1 dapat dilihat pada lampiran C-1

a. *Lintasan 1*



Gambar 19 Lintasan 1

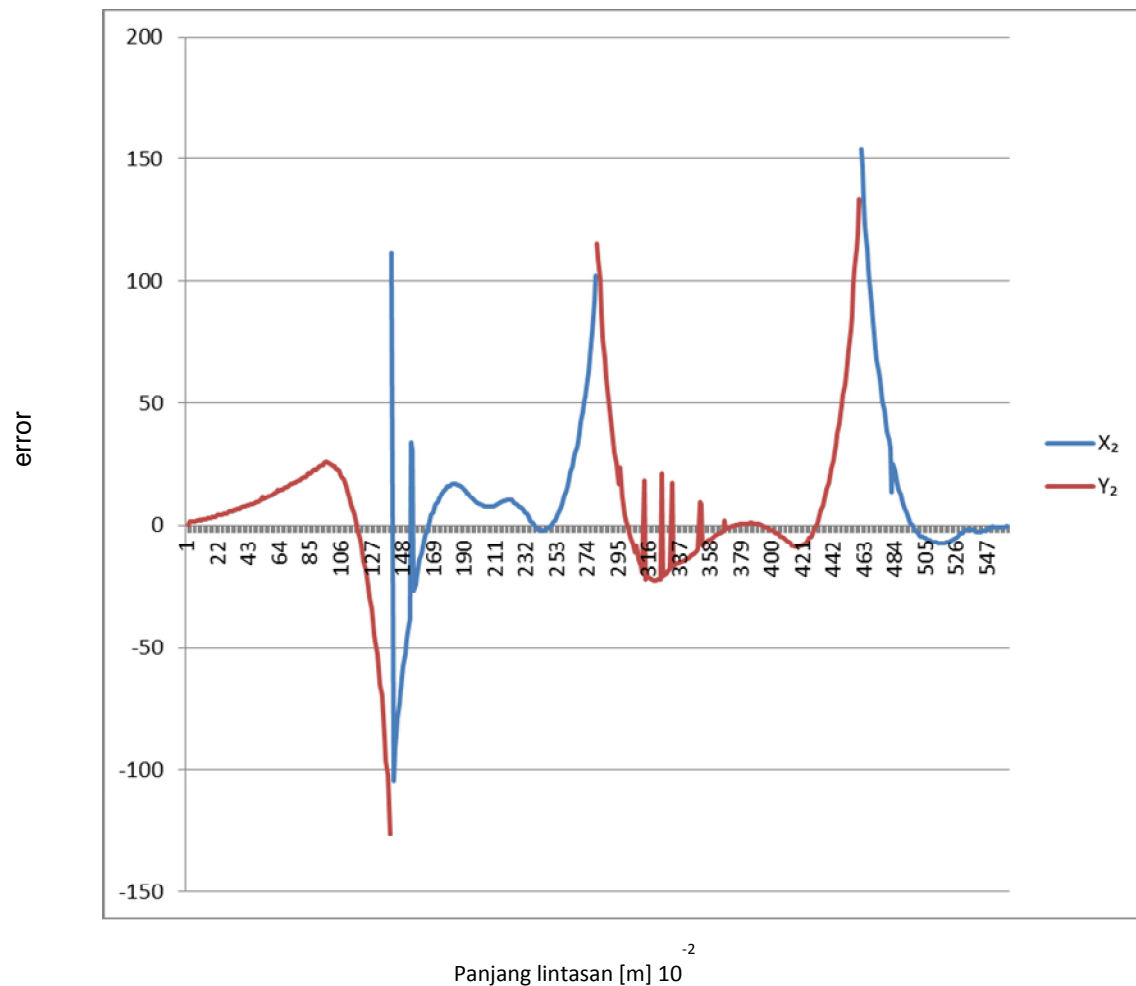
Pada grafik lintasan 1 terlihat lintasan error untuk operator pertama. dimana error terbesar berada pada nilai (x,y) yaitu error $x_1 = 147,7$ cm , error $y_1 = 111,5$ cm (lihat lampiran C-1 tabel error lintasan 1)



Gambar 20. Grafik Lintasan 1 Operator 1

Pada gambar 20 grafik lintasan 1 operator 1 terlihat bahwa error operator pertama dimana eror terbesar terjadi pada belokan 90° , begitu pula pada operator yang kedua. Hal tersebut

disebabkan karena sudut maksimum arah belokan dari pada robot ini adalah 30° , baik ke arah kiri maupun kanan.



Gambar 21 Grafik Lintasan 1 Operator 2

Pada gambar 21 grafik lintasan 1 operator 2 terlihat pula lintasan error untuk operator kedua dimana error terbesar ada pada nilai (x,y) yaitu $error_{x_2} = 154.4$ cm dan $error_{y_2} = 134$ cm.

Untuk menghitung total error lintasan 1 menggunakan formula :

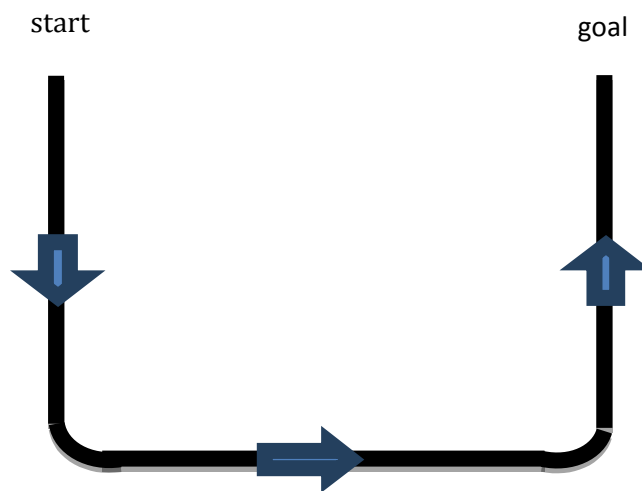
$$e_{tot} = \sqrt{\frac{(\sum_0^n e_x)^2}{n} + \frac{(\sum_0^n e_y)^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{(8144.4)^2}{560} + \frac{(7948.11)^2}{560}}$$

$$= 20.320 \text{ cm}$$

b. *Lintasan 2*

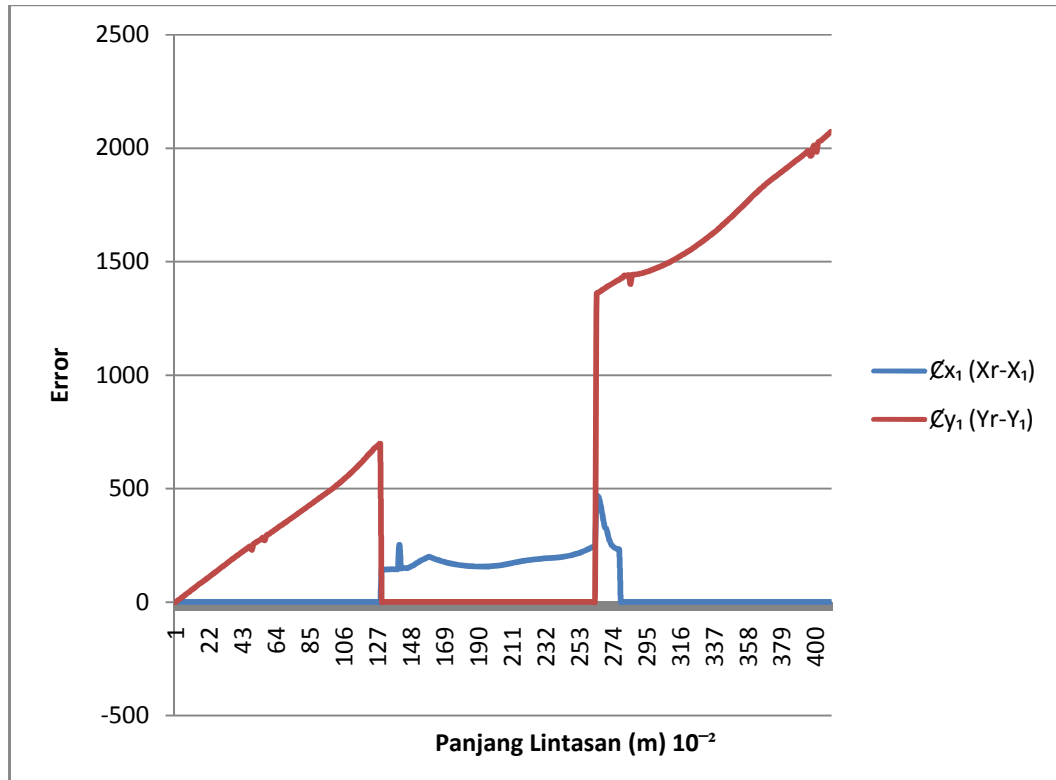
Demikian pula eksperimen pada lintasan kedua dimulai dari start melewati dua belokan ke kiri dengan radius 60 cm dan panjang lintasan 21 m.



Gambar 22 Lintasan 2

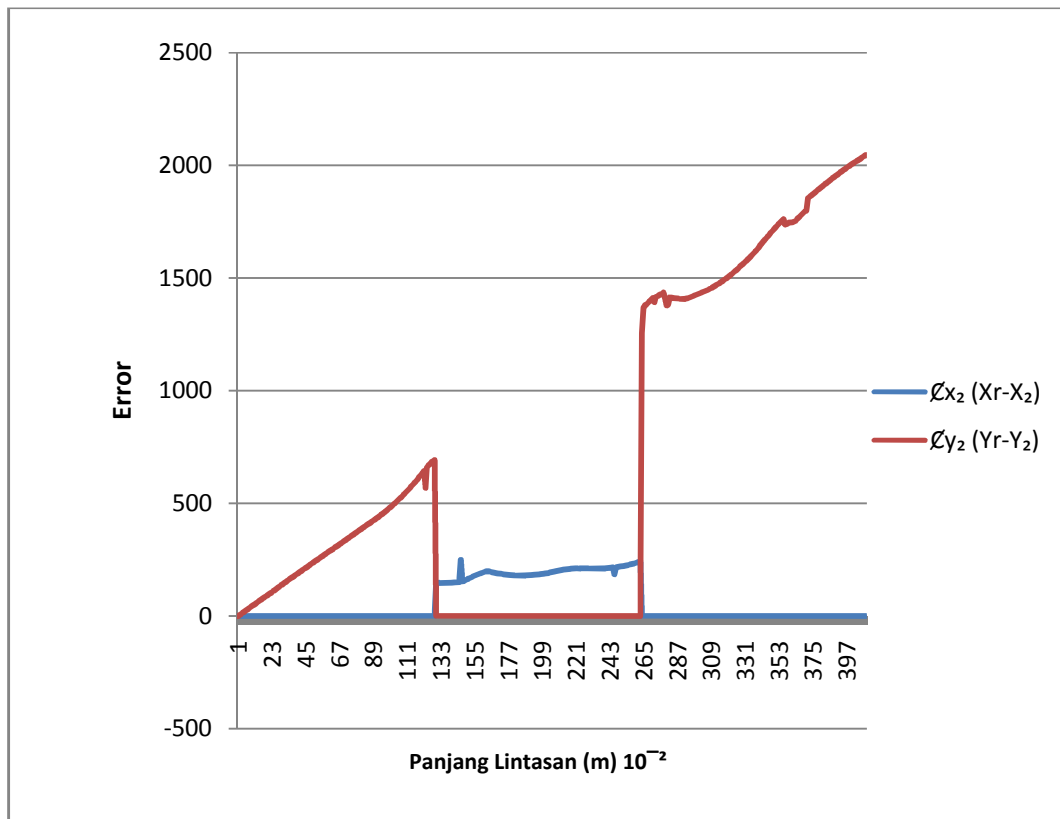
Pada grafik di bawah terlihat pula grafik lintasan error lintasan 2 untuk operator pertama diimana error terbesar ada pada nilai-

nilai (x,y) yaitu error $x_1 = 262$ cm dan $error_{y_1} = -160$ (lihat lampiran C-2 Tabel error lintasan 2).



Gambar 23. Grafik Lintasan 2 Operator 1

Demikian pula pada grafik lintasan error lintasan 2 untuk operator kedua diimana error terbesar ada pada nilai-nilai (x,y) yaitu kedua adalah untuk $x_2 = -53.5$ cm, dan $y_2 = -99$ cm (lihat lampiran C-2 Tabel error lintasan 2).



Gambar 24. Grafik Lintasan 2.Operator 2

Untuk menghitung total error untuk lintasan 2 menggunakan formula :

$$e_{tot} = \sqrt{\frac{(\sum_0^n e_x)^2}{n} + \frac{(\sum_0^n e_y)^2}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{(762,396)^2}{410} + \frac{(653,162)^2}{410}}$$

$$= 49,580 \text{ cm}$$

E. Kecepatan Robot.

Eksperimen dilakukan untuk mengetahui kecepatan robot tanpa beban dan kecepatan dengan beban yaitu pada saat memotong rumput.

1. Kecepatan tanpa beban

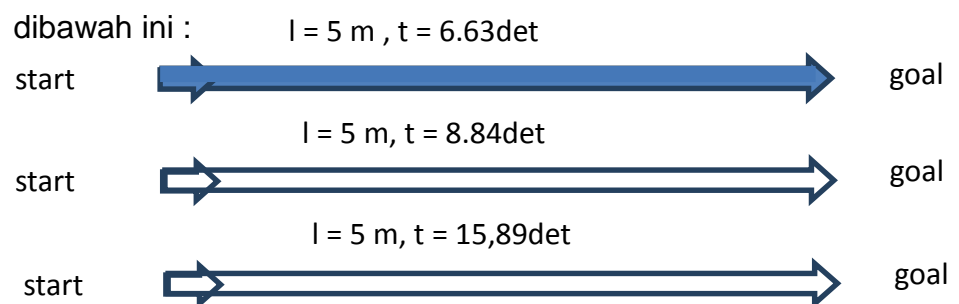
Pada eksperimen ini dilakukan tiga kali pada jarak yang sama yaitu 7.6 m dan kecepatan 6.87, 6.67 dan 6.22 maka diperoleh kecepatan rata-rata tanpa beban adalah :

$$t_r = \frac{(6.87 + 6.67 + 6.22)}{3} = 6.586 \text{ det}$$

$$v_r = \frac{7.6}{6.586} = 1.538 \text{ m/det}$$

2. Kecepatan dengan beban (pada saat pemotongan rumput)

Eksperimen ini dilakukan pada lapangan sepak bola di depan Fakultas Teknik Unhas Gowa dengan tiga kecepatan pada jarak yang sama yaitu 5 m seperti terlihat pada gambar



Gambar 25. Variasi Kecepatan

1. Kecepatan pada jarak $l = 5 \text{ m}$ dan waktu $t = 6.6 \text{ det}$:

$$v_1 = \frac{5}{6.63} = 0.754 \text{ m/det}$$

2. Kecepatan pada jarak $L = 5 \text{ m}$ dan waktu $t = 8.84 \text{ det}$

$$v_2 = \frac{5}{8.84} = 0.565 \text{ m/det}$$

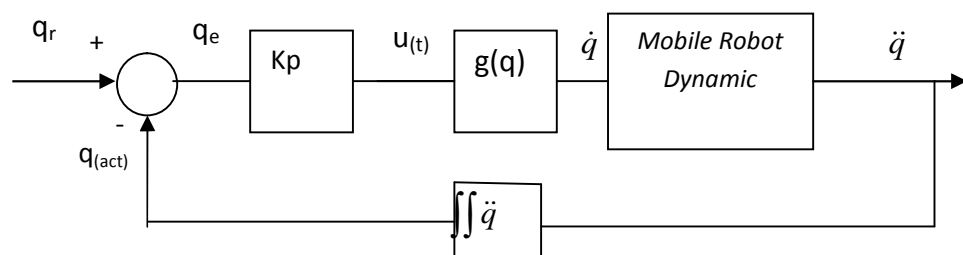
3. Kecepatan pada jarak $L = 5 \text{ m}$ dan waktu $t = 15.89 \text{ det}$

$$v_3 = \frac{5}{15.89} = 0.314 \text{ m/det}$$

Dari perlakuan dengan tiga variasi kecepatan seperti pada gambar diatas diperoleh hasil pemotongan rumput terbaik terjadi pada kecepatan 0,314 m/det

F. Diagram Kontrol.

Diagram kontrol yang digunakan untuk mengontrol robot ini adalah diagram kontrol tertutup yang memiliki lintasan tertutup untuk proses aliran informasi dari output ke input dan kembali lagi ke input karena adanya *feedback control* seperti pada gambar 26 di bawah ini.



Gambar 26. Diagram Kontrol *Mobile Robot*

G. Contoh Perhitungan Kinematika dan Dinamika

1. Persamaan untuk gerak nonholonomic

Diasumsi roda tidak slip terhadap permukaan jalan, maka persamaan nonholonomicnya yaitu:

$$\dot{x} \sin \theta - \dot{y} \cos \theta = 0$$

2. Posisi Awal

$$x = 1$$

$$y = 1$$

$$\theta = 0^\circ$$

dalam bentuk matriks dapat dituliskan

$$q = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

3. Posisi Referensi

$$x_r = 7$$

$$y_r = 1$$

$$\theta_r = 0^\circ$$

dalam bentuk matriks dapat dituliskan

$$q_r = \begin{bmatrix} 7 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

4. Error Posisi

$$q_e = q_r - q_{act}$$

$$q_e = \begin{bmatrix} xr - x \\ yr - y \\ \theta r - \theta \end{bmatrix}$$

$$q_e = \begin{bmatrix} 7 - 1 \\ 1 - 1 \\ 0 - 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

5. Kontrol Proporsional

Diasumsikan bahwa penguatan diperlukan dalam desain kontrol, dengan nilai penguatan proporsional (K_p) digunakan adalah 0.6 dengan selang waktu kontrol (Δt) adalah 6,6 s,

dalam bentuk matriks dapat ditulis:

$$K_p = \begin{bmatrix} K_p & 0 & 0 \\ 0 & K_p & 0 \\ 0 & 0 & K_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 \end{bmatrix}$$

6. Sinyal kontroler ($u_{(t)}$)

$$u_{(t)} = (K_p + K_i/s) \cdot q_e$$

$$u_{(t)} = \left(\begin{bmatrix} 0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} 6 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$u_{(t)} = \begin{bmatrix} 3.6 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

7. Formulasi Matriks Transformasi

$$g(q) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$g(q) = \begin{bmatrix} \cos 0 & 0 \\ \sin 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

8. Persamaan Kecepatan Mobile Robot

$$\dot{q} = g(q)^T \cdot u(t)$$

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 3.6 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.6 \\ 0 \end{bmatrix}$$

9. Kecepatan sudut roda

Karena gerakan mobile robot linear, maka kecepatan sudut roda kiri dan kanan adalah sama,

$$\begin{aligned} \omega &= \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{bmatrix} = \frac{v}{r} \\ &= \frac{3.6}{0.125} \\ &= 28.8 \text{ rad / s} \end{aligned}$$

10. Percepatan sudut roda

Diasumsikan selang waktu rata-rata untuk mencapai kecepatan maksimum yaitu 1.538 s,

$$\begin{aligned}\dot{\omega} &= \frac{\omega_{(t+1)} - \omega_{(t)}}{\Delta t_m} \\ &= \frac{28.8 - 0}{1.538} \\ &= 18.725 \text{ rad} / \text{s}^2\end{aligned}$$

11. Persamaan Dinamik Mobile Robot

a. Torsi

$$\begin{aligned}\tau &= \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_w \cdot R^2 & 0 \\ 0 & m_w \cdot R^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\omega}_1 \\ \dot{\omega}_2 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.031 & 0 \\ 0 & 0.031 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 24 \\ 24 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0.75 \\ 0.75 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

b. Percepatan Mobile Robot

$$\begin{aligned}F_l &= \frac{1}{r}(\tau_1 + \tau_2) \\ &= \frac{1}{0.125}(0.75 + 0.75) \\ &= 12\end{aligned}$$

percepatan linier robot (\dot{v})

$$\begin{aligned}\dot{v} &= \frac{F_l}{m} \\ &= \frac{12}{36} \\ &= 0.333\end{aligned}$$

$$\ddot{q} = \dot{g}(q) \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} + g(q) \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix}$$

$$\ddot{q} = \begin{bmatrix} -\sin\theta \cdot \dot{\theta} & 0 \\ \cos\theta \cdot \dot{\theta} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{w} \end{bmatrix}$$

$$\ddot{q} = \begin{bmatrix} -\sin 0 \cdot 0 & 0 \\ \cos 0 \cdot 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 3.6 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos 0 & 0 \\ \sin 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.333 \\ 0 \end{bmatrix}$$

12. Feedback Signal ($\int \int \ddot{q}$)

$$\begin{aligned} \dot{q} &= \ddot{q} \cdot \Delta t_m \\ &= \begin{bmatrix} 0.333 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot 1.538 \\ &= \begin{bmatrix} 0.512 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{act} &= \dot{q} \cdot \Delta t_m \\ &= \begin{bmatrix} 0.512 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot 1.538 \\ &= \begin{bmatrix} 0.787 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa :

1. Mesin Pemotong Rumput tenaga Surya ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut : Panjang total 99 cm, panjang antara poros roda 72 cm, lebar total 70 cm, lebar antara sumbu roda 56 cm, tinggi total 52.5 cm, diameter roda 25 cm, berat total robot 36 kg, Mesin pemotong Tasco 4 PK, putaran mesin 7000 rpm, panjang blade 49 cm, lebar blade 6 cm, fotovoltaic = 20 W, batere = 12 V/7,2 Ah, tinggi pemotongan rumput 5 cm, kecepatan 1.15 meter per detik dengan waktu pengoperasian batere 1.4 jam dan waktu yang dibutuhkan untuk pengisian batere adalah 4.2 jam.
2. Dari perhitungan kinematika dan dinamika untuk mesin pemotong rumput tenaga surya untuk navigasi diperoleh : $q_r = 7$, $q_e = 6$, $K_p = 0,6$, $u_t = 3,6$, $\dot{q} = 0,512$ m/det, $\ddot{q} = 0,333$ m/det², $q_{act} = 0,787$ dan dari formulasi kinematika dan dinamika terdapat 2 variabel *input* control yaitu \dot{x} dan \dot{y} untuk mengendalikan 3 variabel *output*, yaitu x , y , θ sehingga terdapat 1 variabel *redundant*.
3. Dari hasil simulasi dengan variasi kecepatan yaitu : 0,754 m/det, 0,565 m/det dan 0,316 m/det maka diperoleh hasil pemotongan rumput yang paling baik adalah kecepatan 0,316 m/det. Dan dari

eksperimen yang dilakukan untuk mengetahui error lintasan maupun simulasi kecepatan yang dilakukan pada lapangan sepak bola Gowa maka robot ini dapat dioperasikan tanpa melalui pendidikan khusus.

B. Saran

Dari kesimpulan di atas dan seiring perkembangan teknologi robot yang begitu pesat saat ini maka disarankan agar :

1. Kiranya dapat dilengkapi dengan sensor ketinggian mata potong.
2. Penelitian selanjutnya dilengkapi dengan kamera dan menggunakan metode navigasi otomatis

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Goodland. R (2006) Pemanasan Global, <http://vegclimatealliance.org/livestock-and-climate-change-ga>, diunduh 27 Oktober 2012
- [2] Protokol Kyoto (Online), (id.wikipedia.org/protocol_Kyoto) diunduh 13 September 2012
- [3] (<http://www.esdm.go.id/berita/323-energi-baru-dan-terbarukan/2846-energi-surya-dan-pengembangannya-di-indonesia.html>)
- [4] Ariswan (2005), *Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia*(Online),
- [5] Budiharto. W, (2010) Robotika, Teori + Implementasi, ANDI OFFSET
- [6] Pitowarno. E, (2006), Robotika, Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan, ANDI OFFSET
- [7] Canudas de Wit, C Siciliano, B, and Bastin.G (editors), *Theori of Robot Control*. New York, Spinger-Verlag 1996
- [8] Sumardi (2013), *Mikrokontroler*, Graha Ilmu
- [9] W. Tundawan (2002), *Apa Itu Fotovoltaik*, P4TK Medan
- [10] Sawatzky. B, 2002. *Wheeling in the New Millennium: The history of the wheelchair and the driving forces in wheelchair design today*. Department of Rehabilitation Science and Technology. <http://www.wheelchairnet.org/index.html>

Lampiran A.

Spesifikasi Modul Sel Surya

1. Modul Sel Surya

Sel surya yang digunakan adalah model SL 20 CE – 18 May 2013 dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Maximum Power (P_m) = 20 W
- b. Open Circuit Voltage (V_{oc}) = 21,67 V
- c. Short Circuit Current (I_{sc}) = 1,22 A
- d. Maximum Power Voltage (V_{mp}) = 17,49 V
- e. Maximum Power Current (I_{mp}) = 1,14 A
- f. Working Temperature = -45°C to $+ 85^{\circ}\text{C}$
- g. Tolerance = $\pm 5 \%$

2. Battery Control Regulator

Untuk mengisi battery dari sel surya digunakan Battery Control Regulator model BCR – 1012 (12 V) dengan spesifikasi sebagai berikut

- a. Tegangan keluar = 12 VDC
- b. Konsumsi Daya = 5 mA (Standby)
- c. Arus Keluaran = 10 A (Maximum)
- d. Posisi Matikan Charge Battery = $14,50 \pm 0,01$ V
- e. Posisi Mengisi Ulang Battery = $13,50 \pm 0,10$ V
- f. Matikan Tegangan Load (Shutdown) = $11,20 \pm 0,01$ V
- g. Ulang tegangan Load = $12,60 \pm 0,01$ V

h. Peringatan Bunyi Battery Lemah = 11,60 +/- 0,10 V

3. Penggerak Pemotong Rumput

Dalam penelitian ini kami menggunakan penggerak blade dengan spesifikasi sebagai berikut :

- a. Mesin Tasco 4 PK
- b. Putaran 7000 rpm
- c. Bahan bakar besin
- d. Panjang blade 49 cm
- e. Lebar blade 6 cm
- f. Tinggi pemotongan rumput 5 cm

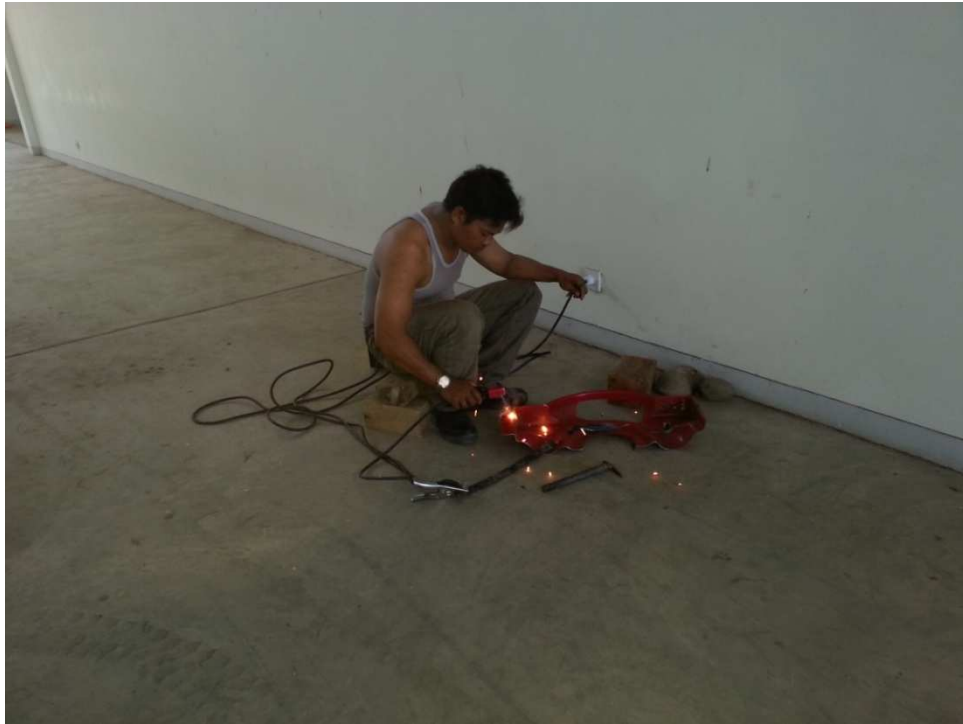
Lampiran B. Proses Pembuatan Robot



Proses Pemasangan



Proses Pemotongan Plat



Proses Pengelasan



Proses Pemasangan Mesin



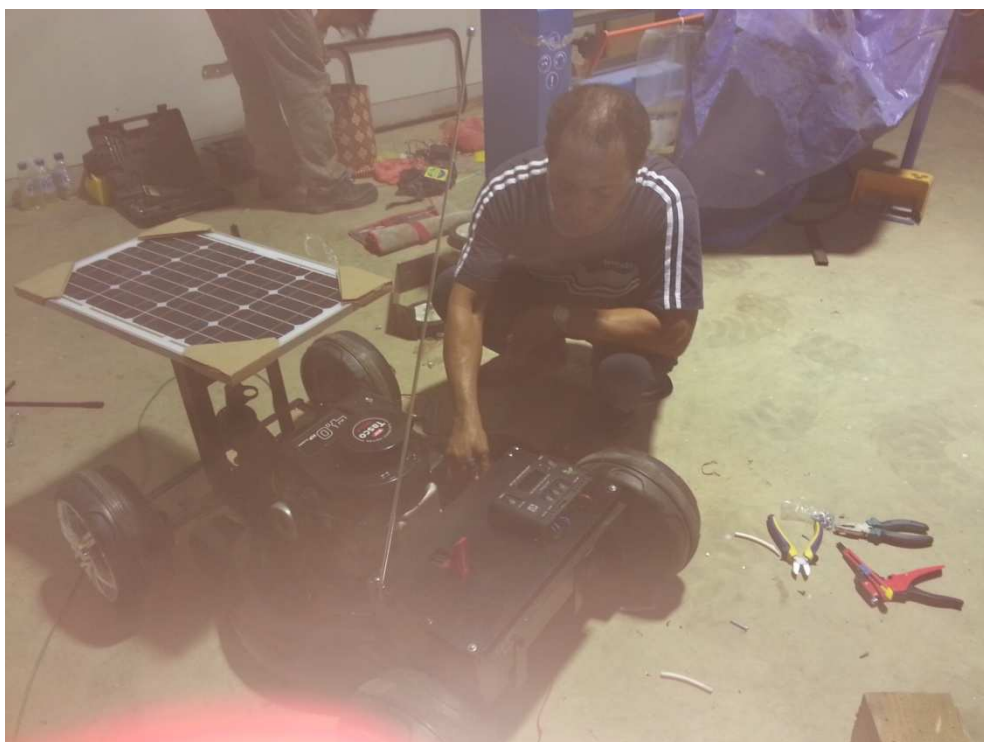
Menghaluskan Permukaan dan Pengeboran



Proses Pengeboran Lubang Baut



Pemasangan Modul Solar Cell



Pengkabelan



Pemasangan Pelindung Kendali



Pemasangan Battery Controller Regulator



Robot siap disimulasikan



Rumput Sebelum dipotong



Proses Pemoangan Rumput



Rumput Sesudah Dipotong

Lampiran C-1. Tabel error lintasan 1

No	Xr	Yr	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	e_{x_1}	e_{y_1}	e_{x_2}	e_{y_2}	$e_{x_1y_1}$	$e_{x_1y_2}$
							(Xr-X ₁)	(Yr-Y ₁)	(Xr-X ₂)	(Yr-Y ₂)	$\sqrt{(e_{x_1}^2 + e_{y_1}^2)}$	$\sqrt{(e_{x_2}^2 + e_{y_2}^2)}$
1	1200	0	0	-0.6	0	0.15	0	0.6	0	-0.15	0.00	0.62
2	1200	5	0	-0.1	0	1.3	0	5.1	0	3.7	0.00	1.30
3	1200	10	0	-0.4	0	1.4	0	10.4	0	8.6	0.00	1.46
4	1200	15	0	-1.5	0	1.5	0	16.5	0	13.5	0.00	2.12
5	1200	20	0	-2.0	0	1.5	0	22	0	18.5	0.00	2.50
6	1200	25	0	-2.3	0	1.7	0	27.3	0	23.3	0.00	2.86
7	1200	30	0	-2.6	0	1.8	0	32.6	0	28.2	0.00	3.16
8	1200	35	0	-3.0	0	2.1	0	38	0	32.9	0.00	3.66
9	1200	40	0	-3.4	0	2.3	0	43.4	0	37.7	0.00	4.10
10	1200	45	0	-3.4	0	2.2	0	48.4	0	42.8	0.00	4.05
11	1200	50	0	-3.5	0	2.4	0	53.5	0	47.6	0.00	4.24
12	1200	55	0	-4.0	0	2.5	0	59	0	52.5	0.00	4.72
13	1200	60	0	-4.0	0	2.7	0	64	0	57.3	0.00	4.83
14	1200	65	0	-4.0	0	2.8	0	69	0	62.2	0.00	4.88
15	1200	70	0	-3.8	0	3.0	0	73.8	0	67	0.00	4.84

40	1200	195	0	-2.8	0	7.8	0	197.8	0	187.2	0.00	8.29
41	1200	200	0	-2.5	0	8	0	202.5	0	192	0.00	8.38
42	1200	205	0	-2.3	0	8.2	0	207.3	0	196.8	0.00	8.52
43	1200	210	0	-2.2	0	8.4	0	212.2	0	201.6	0.00	8.68
44	1200	215	0	-1.8	0	8.7	0	216.8	0	206.3	0.00	8.88
45	1200	220	0	-2	0	8.8	0	222	0	211.2	0.00	9.02
46	1200	225	0	-2.3	0	9	0	227.3	0	216	0.00	9.29
47	1200	230	0	-2	0	9.5	0	232	0	220.5	0.00	9.71
48	1200	235	0	-1.8	0	9.7	0	236.8	0	225.3	0.00	9.87
49	1200	240	0	-2	0	9.8	0	242	0	230.2	0.00	10.00
50	1200	245	0	-1.4	0	10.3	0	246.4	0	234.7	0.00	10.39
51	1200	250	0	-1.4	0	10.4	0	251.4	0	239.6	0.00	10.49
52	1200	255	0	-0.1	0	11.8	0	255.1	0	243.2	0.00	11.80
53	1200	260	0	-0.8	0	11.2	0	260.8	0	248.8	0.00	11.23
54	1200	265	0	-0.5	0	11.4	0	265.5	0	253.6	0.00	11.41
55	1200	270	0	0	0	11.7	0	270	0	258.3	0.00	11.70
56	1200	275	0	0.3	0	12	0	274.7	0	263	0.00	12.00
57	1200	280	0	0.6	0	12.2	0	279.4	0	267.8	0.00	12.21
58	1200	285	0	0.8	0	12.5	0	284.2	0	272.5	0.00	12.53
59	1200	290	0	1	0	13	0	289	0	277	0.00	13.04
60	1200	295	0	1.2	0	13.4	0	293.8	0	281.6	0.00	13.45
61	1200	300	0	1.4	0	13.7	0	298.6	0	286.3	0.00	13.77
62	1200	305	0	1.5	0	15	0	303.5	0	290	0.00	15.07
63	1200	310	0	1.8	0	14.4	0	308.2	0	295.6	0.00	14.51

64	1200	315	0	2	0	14.6	0	313	0	300.4	0.00	14.74
65	1200	320	0	2.3	0	14.9	0	317.7	0	305.1	0.00	15.08
66	1200	325	0	2.5	0	15.3	0	322.5	0	309.7	0.00	15.50
67	1200	330	0	3	0	15.5	0	327	0	314.5	0.00	15.79
68	1200	335	0	2.8	0	15.8	0	332.2	0	319.2	0.00	16.05
69	1200	340	0	3.2	0	16.4	0	336.8	0	323.6	0.00	16.71
70	1200	345	0	3.5	0	16.5	0	341.5	0	328.5	0.00	16.87
71	1200	350	0	3.5	0	17	0	346.5	0	333	0.00	17.36
72	1200	355	0	3.6	0	17.3	0	351.4	0	337.7	0.00	17.67
73	1200	360	0	3.6	0	17.5	0	356.4	0	342.5	0.00	17.87
74	1200	365	0	3.8	0	17.8	0	361.2	0	347.2	0.00	18.20
75	1200	370	0	3.8	0	18	0	366.2	0	352	0.00	18.40
76	1200	375	0	4	0	18.4	0	371	0	356.6	0.00	18.83
77	1200	380	0	4	0	18.7	0	376	0	361.3	0.00	19.12
78	1200	385	0	4.2	0	19	0	380.8	0	366	0.00	19.46
79	1200	390	0	4.4	0	19.3	0	385.6	0	370.7	0.00	19.80
80	1200	395	0	4.4	0	20	0	390.6	0	375	0.00	20.48
81	1200	400	0	4.5	0	20.2	0	395.5	0	379.8	0.00	20.70
82	1200	405	0	4.3	0	20.4	0	400.7	0	384.6	0.00	20.85
83	1200	410	0	4.1	0	21.2	0	405.9	0	388.8	0.00	21.59
84	1200	415	0	42.2	0	21.4	0	372.8	0	393.6	0.00	47.32
85	1200	420	0	4.4	0	21.8	0	415.6	0	398.2	0.00	22.24
86	1200	425	0	4.5	0	22.4	0	420.5	0	402.6	0.00	22.85
87	1200	430	0	5.2	0	22.7	0	424.8	0	407.3	0.00	23.29

88	1200	435	0	5.3	0	23	0	429.7	0	412	0.00	23.60
89	1200	440	0	5	0	23.5	0	435	0	416.5	0.00	24.03
90	1200	445	0	5	0	23.7	0	440	0	421.3	0.00	24.22
91	1200	450	0	5	0	24.2	0	445	0	425.3	0.00	24.71
92	1200	455	0	5.2	0	24.6	0	449.8	0	430.4	0.00	25.14
93	1200	460	0	5.3	0	24.9	0	454.7	0	435.1	0.00	25.46
94	1200	465	0	5.3	0	25.6	0	459.7	0	439.1	0.00	26.11
95	1200	470	0	5.4	0	26	0	464.6	0	444	0.00	26.55
96	1200	475	0	5.4	0	25.6	0	460.6	0	440.4	0.00	26.16
97	1200	480	0	5.2	0	25.5	0	474.8	0	454.5	0.00	26.02
98	1200	485	0	5.2	0	25.3	0	479.8	0	459.7	0.00	25.83
99	1200	490	0	5	0	24.8	0	485	0	465.2	0.00	25.30
100	1200	495	0	4.7	0	24.4	0	490.3	0	470.5	0.00	24.85
101	1200	500	0	4.8	0	24	0	495.2	0	476	0.00	24.48
102	1200	505	0	4.5	0	23.2	0	500.5	0	481.3	0.00	23.63
103	1200	510	0	4.7	0	23	0	505.3	0	487	0.00	23.48
104	1200	515	0	4.2	0	22.4	0	510.8	0	492.6	0.00	22.79
105	1200	520	0	4.3	0	21	0	515.7	0	499	0.00	21.44
106	1200	525	0	3.6	0	20	0	521.1	0	505	0.00	20.32
107	1200	530	0	3	0	19.2	0	527	0	510.3	0.00	19.43
108	1200	535	0	1.5	0	17.8	0	533.5	0	517.2	0.00	17.86
109	1200	540	0	0.5	0	16	0	539.5	0	524	0.00	16.01
110	1200	545	0	-0.7	0	14.5	0	545.7	0	530.5	0.00	14.52
111	1200	550	0	-4	0	10.8	0	554	0	539.2	0.00	11.52

112	1200	555	0	-5.4	0	8.8	0	560.4	0	546.2	0.00	10.32
113	1200	560	0	-6.6	0	7	0	566.6	0	553	0.00	9.62
114	1200	565	0	-8.4	0	4.7	0	573.4	0	560.3	0.00	9.63
115	1200	570	0	-10.2	0	2.6	0	580.2	0	567.5	0.00	10.50
116	1200	575	0	-11.8	0	0	0	586.8	0	575	0.00	11.80
117	1200	580	0	-13	0	-2.4	0	593	0	582.4	0.00	13.22
118	1200	585	0	15.5	0	5.5	0	600.5	0	590.5	0.00	16.45
119	1200	590	0	-17.7	0	-8.4	0	607.7	0	598.4	0.00	19.59
120	1200	595	0	-20.5	0	-11.6	0	615.5	0	606.6	0.00	23.55
121	1200	600	0	-23	0	-14.8	0	623	0	614.8	0.00	27.35
122	1200	605	0	-26	0	-18.5	0	631	0	623.5	0.00	31.91
123	1200	610	0	-28	0	-21.5	0	638	0	631.5	0.00	35.30
124	1200	615	0	-30.8	0	-24.8	0	645.8	0	639.8	0.00	39.54
125	1200	620	0	-34.5	0	-29.5	0	654.5	0	649.5	0.00	45.39
126	1200	625	0	-30.5	0	-34	0	663.5	0	659	0.00	51.36
127	1200	630	0	-42	0	-38.7	0	672	0	668.7	0.00	57.11
128	1200	635	0	-46.5	0	-44.2	0	681.5	0	679.2	0.00	64.16
129	1200	640	0	-49.3	0	-47.5	0	689.3	0	687.5	0.00	68.46
130	1200	645	0	-53.8	0	-53	0	698.8	0	698	0.00	75.52
131	1200	650	0	-58.2	0	-59	0	708.2	0	709	0.00	82.87
132	1200	655	0	-52.8	0	-65	0	717.8	0	720	0.00	90.38
133	1200	660	0	-67	0	-70	0	727	0	730	0.00	96.90
134	1200	665	0	-73.2	0	-78.4	0	738.2	0	743.4	0.00	107.26
135	1200	670	0	-79	0	-86.4	0	749	0	756.4	0.00	117.07

136	1200	675	0	-86	0	-96.3	0	761	0	771.3	0.00	129.11
137	1200	680	0	-90	0	-102	0	770	0	782	0.00	136.03
138	1200	685	0	-99	0	-115	0	784	0	799.8	0.00	151.59
139	1200	690	0	-105	0	-126.5	0	795	0	816.5	0.00	164.40
140	1200	695	-147	0	112	0	1347	0	1089	0	184.50	0
141	1200	700	-133	0	-105	0	1333	0	1305	0	168.75	0
142	1200	705	-109	0	-92	0	1309	0	1292	0	142.64	0
143	1200	710	-102	0	-86.5	0	1302	0	1287	0	133.74	0
144	1200	715	-90.5	0	-79.4	0	1291	0	1279	0	120.39	0
145	1200	720	-82.5	0	-73	0	1283	0	1273	0	110.16	0
146	1200	725	-74.6	0	-67.5	0	1275	0	1268	0	100.61	0
147	1200	730	-67	0	-61.7	0	1267	0	1262	0	91.08	0
148	1200	735	-61.5	0	-57.4	0	1262	0	1257	0	84.12	0
149	1200	740	-56	0	-53	0	1256	0	1253	0	77.10	0
150	1200	745	-48	0	-46.7	0	1248	0	1247	0	66.97	0
151	1200	750	-43.7	0	-43.5	0	1244	0	1244	0	61.66	0
152	1200	755	-36.5	0	-38	0	1237	0	1238	0	52.69	0
153	1200	760	-32.2	0	34.3	0	1232	0	1166	0	47.05	0
154	1200	765	27.4	0	30.5	0	1173	0	1170	0	41.00	0
155	1200	770	-22.5	0	-26.8	0	1223	0	1227	0	34.99	0
156	1200	775	-18.4	0	-24	0	1218	0	1224	0	30.24	0
157	1200	780	-14	0	-20.3	0	1214	0	1220	0	24.66	0
158	1200	785	-10.2	0	-17.6	0	1210	0	1218	0	20.34	0
159	1200	790	-6	0	-14.2	0	1206	0	1214	0	15.42	0

160	1200	795	-2.8	0	-11.8	0	1203	0	1212	0	12.13	0
161	1200	800	-0.5	0	-9.3	0	1201	0	1209	0	9.31	0
162	1200	005	4	0	-6.5	0	1196	0	1207	0	7.63	0
163	1200	810	6.5	0	-4.3	0	1194	0	1204	0	7.79	0
164	1200	815	10.3	0	-1.8	0	1190	0	1202	0	10.46	0
165	1200	020	13.5	0	0	0	1107	0	1200	0	13.50	0
166	1200	825	15.5	0	2	0	1185	0	1198	0	15.63	0
167	1200	830	17.6	0	4.3	0	1182	0	1196	0	18.12	0
168	1200	835	19.4	0	5.5	0	1181	0	1195	0	20.16	0
169	1200	840	21.3	0	7	0	1179	0	1193	0	22.42	0
170	1200	845	23.4	0	8.8	0	1177	0	1191	0	25.00	0
171	1200	850	24.5	0	9.7	0	1176	0	1190	0	26.35	0
172	1200	855	24.3	0	11.2	0	1176	0	1189	0	26.76	0
173	1200	860	28	0	12	0	1172	0	1188	0	30.46	0
174	1200	865	29.8	0	13	0	1170	0	1187	0	32.51	0
175	1200	870	31	0	14.2	0	1169	0	1186	0	34.10	0
176	1200	875	32.8	0	14.8	0	1167	0	1185	0	35.98	0
177	1200	880	34	0	15.4	0	1166	0	1185	0	37.33	0
170	1200	005	24.5	0	16	0	1176	0	1104	0	29.26	0
179	1200	890	35.8	0	16.4	0	1164	0	1184	0	39.38	0
180	1200	895	37.5	0	16.8	0	1163	0	1183	0	41.09	0
181	1200	900	38	0	17	0	1162	0	1183	0	41.63	0
182	1200	905	38.8	0	17	0	1161	0	1183	0	42.36	0
183	1200	910	39.5	0	17.2	0	1161	0	1183	0	43.08	0

184	1200	915	40	0	17	0	1160	0	1183	0	43.46	0
185	1200	920	40.5	0	16.8	0	1160	0	1183	0	43.85	0
186	1200	925	40.8	0	16.7	0	1159	0	1183	0	44.09	0
187	1200	930	40.8	0	16.4	0	1159	0	1184	0	43.97	0
188	1200	935	40.7	0	15.6	0	1159	0	1184	0	43.59	0
189	1200	940	40.5	0	15.2	0	1160	0	1185	0	43.26	0
190	1200	945	40	0	14.5	0	1160	0	1186	0	42.55	0
191	1200	950	39.5	0	13.5	0	1161	0	1187	0	41.74	0
192	1200	955	39.3	0	13.2	0	1161	0	1187	0	41.46	0
193	1200	960	38.7	0	12.5	0	1161	0	1188	0	40.67	0
194	1200	965	38	0	11.6	0	1162	0	1188	0	39.73	0
195	1200	970	37	0	11	0	1163	0	1189	0	38.60	0
196	1200	975	36.2	0	10.5	0	1164	0	1190	0	37.69	0
197	1200	980	35.6	0	10	0	1164	0	1190	0	36.98	0
198	1200	985	34.5	0	9.3	0	1166	0	1191	0	35.73	0
199	1200	990	34	0	9	0	1166	0	1191	0	35.17	0
200	1200	995	33.5	0	8.6	0	1167	0	1191	0	34.59	0
201	1200	1000	31.8	0	8.4	0	1168	0	1192	0	32.89	0
202	1200	1005	30.6	0	8	0	1169	0	1192	0	31.63	0
203	1200	1010	29.6	0	7.8	0	1170	0	1192	0	30.61	0
204	1200	1015	28.4	0	7.6	0	1172	0	1192	0	29.40	0
205	1200	1020	27.3	0	7.6	0	1173	0	1192	0	28.34	0
206	1200	1025	26.4	0	7.6	0	1174	0	1192	0	27.47	0
207	1200	1030	25	0	7.6	0	1175	0	1192	0	26.13	0

208	1200	1035	23.6	0	7.5	0	1176	0	1193	0	24.76	0
209	1200	1040	22.5	0	7.7	0	1178	0	1192	0	23.78	0
210	1200	1045	21.8	0	8	0	1178	0	1192	0	23.22	0
211	1200	1050	21	0	8.2	0	1179	0	1192	0	22.54	0
212	1200	1055	20	0	8.5	0	1180	0	1192	0	21.73	0
213	1200	1060	18	0	9	0	1182	0	1191	0	20.12	0
214	1200	1065	17.5	0	9.4	0	1183	0	1191	0	19.66	0
215	1200	1070	15.6	0	9.7	0	1184	0	1190	0	18.37	0
216	1200	1075	14.3	0	10	0	1186	0	1190	0	17.45	0
217	1200	1080	12.6	0	10.2	0	1187	0	1190	0	16.21	0
218	1200	1085	11.2	0	10.5	0	1189	0	1190	0	15.35	0
219	1200	1090	9.5	0	10.5	0	1191	0	1190	0	14.16	0
220	1200	1095	8.3	0	10.5	0	1192	0	1190	0	13.38	0
221	1200	1100	7	0	10.3	0	1193	0	1190	0	12.45	0
222	1200	1105	5.6	0	10.3	0	1194	0	1190	0	11.72	0
223	1200	1110	3.4	0	9.6	0	1197	0	1190	0	10.18	0
224	1200	1115	2.5	0	9.3	0	1198	0	1191	0	9.63	0
225	1200	1120	2	0	8.6	0	1198	0	1191	0	8.83	0
226	1200	1125	0.5	0	8	0	1200	0	1192	0	8.02	0
227	1200	1130	-1.4	0	7.5	0	1201	0	1193	0	7.63	0
228	1200	1135	-2.5	0	7.4	0	1203	0	1193	0	7.81	0
229	1200	1140	-3.6	0	6.7	0	1204	0	1193	0	7.61	0
230	1200	1145	-4.7	0	6.2	0	1205	0	1194	0	7.78	0
231	1200	1150	-5.6	0	5.5	0	1206	0	1195	0	7.85	0

232	1200	1155	6.5	0	4.7	0	1207	0	1195	0	8.02	0
233	1200	1160	-7.3	0	3.8	0	1207	0	1196	0	8.23	0
234	1200	1165	7.7	0	2.7	0	1208	0	1197	0	8.16	0
235	1200	1170	-8.5	0	1.5	0	1209	0	1199	0	8.63	0
236	1200	1175	9.2	0	0.9	0	1209	0	1199	0	9.24	0
237	1200	1180	-9.8	0	0	0	1210	0	1200	0	9.80	0
238	1200	1185	10.3	0	0.5	0	1210	0	1201	0	10.31	0
239	1200	1190	-10	0	-1.1	0	1210	0	1201	0	10.06	0
240	1200	1195	-9.7	0	-1.6	0	1210	0	1202	0	9.83	0
241	1200	1200	-9.5	0	-2	0	1210	0	1202	0	9.71	0
242	1200	1205	-9.4	0	-2.1	0	1209	0	1202	0	9.63	0
243	1200	1210	-9	0	-2.2	0	1209	0	1202	0	9.26	0
244	1200	1215	-8.5	0	-2	0	1209	0	1202	0	8.73	0
245	1200	1220	-8.4	0	-1.8	0	1208	0	1202	0	8.59	0
246	1200	1225	-7.5	0	-1.5	0	1208	0	1202	0	7.65	0
247	1200	1230	-6.5	0	-1	0	1207	0	1201	0	6.58	0
248	1200	1235	-5.5	0	-0.5	0	1206	0	1201	0	5.52	0
249	1200	1240	-4.6	0	0	0	1205	0	1200	0	4.60	0
250	1200	1245	-3.5	0	1	0	1204	0	1199	0	3.64	0
251	1200	1250	-2.2	0	2	0	1202	0	1198	0	2.97	0
252	1200	1255	-1	0	3	0	1201	0	1197	0	3.16	0
253	1200	1260	1	0	4.2	0	1199	0	1196	0	4.32	0
254	1200	1265	2.3	0	5.5	0	1198	0	1195	0	5.96	0
255	1200	1270	4.2	0	7.2	0	1196	0	1193	0	8.34	0

256	1200	1275	6.4	0	8.5	0	1194	0	1192	0	10.64	0
257	1200	1280	8.5	0	10.5	0	1192	0	1190	0	13.51	0
258	1200	1285	11	0	12.4	0	1189	0	1188	0	16.58	0
259	1200	1290	12.8	0	14.8	0	1187	0	1185	0	19.57	0
260	1200	1295	14.6	0	16.5	0	1185	0	1184	0	22.03	0
261	1200	1300	17.6	0	19.2	0	1182	0	1181	0	26.05	0
262	1200	1305	21	0	21.8	0	1179	0	1178	0	30.27	0
263	1200	1310	23.8	0	24	0	1176	0	1176	0	33.80	0
264	1200	1315	26.8	0	27	0	1173	0	1173	0	38.04	0
265	1200	1320	30	0	29.5	0	1170	0	1171	0	42.07	0
266	1200	1325	32.4	0	31.6	0	1168	0	1168	0	45.26	0
267	1200	1330	36.5	0	34.6	0	1164	0	1165	0	50.29	0
268	1200	1335	40	0	38	0	1160	0	1162	0	55.17	0
269	1200	1340	44.2	0	42	0	1156	0	1158	0	60.97	0
270	1200	1345	49.3	0	46.5	0	1151	0	1154	0	67.77	0
271	1200	1350	53	0	50.2	0	1147	0	1150	0	73.00	0
272	1200	1355	56.4	0	52.8	0	1144	0	1147	0	77.26	0
273	1200	1360	60.5	0	56.5	0	1140	0	1144	0	82.78	0
274	1200	1365	67.2	0	63	0	1133	0	1137	0	92.11	0
275	1200	1370	74	0	68.6	0	1126	0	1131	0	100.91	0
276	1200	1375	80	0	74.3	0	1120	0	1126	0	109.18	0
277	1200	1380	86.5	0	79.2	0	1114	0	1121	0	117.28	0
278	1200	1385	104	0	92	0	1097	0	1108	0	138.48	0
279	1200	1390	114	0	102	0	1087	0	1098	0	152.73	0

280	1200	1395	0	112	0	115.5	0	1281	0	1280	0.00	160.54
201	1200	1400	0	105	0	100.6	0	1295	0	1291	0.00	150.92
282	1200	1405	0	96	0	101	0	1307	0	1304	0.00	140.73
283	1200	1410	0	85.7	0	86.5	0	1324	0	1324	0.00	121.77
284	1200	1415	0	76.5	0	76.5	0	1339	0	1339	0.00	108.19
205	1200	1420	0	70.5	0	60.4	0	1350	0	1352	0.00	90.23
286	1200	1425	0	63.5	0	60.5	0	1362	0	1365	0.00	87.71
287	1200	1430	0	59	0	56	0	1371	0	1374	0.00	81.34
288	1200	1435	0	54.4	0	51.5	0	1381	0	1384	0.00	74.91
289	1200	1440	0	47.2	0	43	0	1393	0	1397	0.00	63.85
290	1200	1445	0	43.7	0	39	0	1401	0	1406	0.00	58.57
291	1200	1450	0	39.2	0	34.7	0	1411	0	1415	0.00	52.35
292	1200	1455	0	34.7	0	30	0	1420	0	1425	0.00	45.87
293	1200	1460	0	29.4	0	25	0	1431	0	1436	0.00	38.69
294	1200	1465	0	26	0	21	0	1439	0	1444	0.00	33.42
295	1200	1470	0	22.7	0	17.2	0	1447	0	1453	0.00	28.48
296	1200	1475	0	20	0	23.8	0	1455	0	1451	0.00	31.09
297	1200	1480	0	17.5	0	11.3	0	1463	0	1469	0.00	20.83
290	1200	1405	0	14.6	0	0	0	1470	0	1477	0.00	16.65
299	1200	1490	0	11.6	0	4.6	0	1473	0	1485	0.00	12.48
300	1200	1495	0	9	0	2	0	1486	0	1493	0.00	9.22
301	1200	1500	0	5.5	0	-0.6	0	1495	0	1501	0.00	5.53
302	1200	1505	0	2	0	-3.2	0	1503	0	1508	0.00	3.77
303	1200	1510	0	0	0	-5.2	0	1510	0	1515	0.00	5.20

304	1200	1515	0	-2	0	-7.5	0	1517	0	1523	0.00	7.76
305	1200	1520	0	-3.6	0	-9.2	0	1524	0	1529	0.00	9.88
306	1200	1525	0	-5.2	0	-11	0	1530	0	1536	0.00	12.17
307	1200	1530	0	-7	0	-8.5	0	1537	0	1539	0.00	11.01
308	1200	1535	0	-8.5	0	-14	0	1544	0	1549	0.00	16.38
309	1200	1540	0	-10	0	-15.3	0	1550	0	1555	0.00	18.28
310	1200	1545	0	-11.2	0	-16.5	0	1556	0	1562	0.00	19.94
311	1200	1550	0	-12.3	0	-19.5	0	1562	0	1570	0.00	23.06
312	1200	1555	0	-13.3	0	18.7	0	1568	0	1536	0.00	22.95
313	1200	1560	0	-14	0	-22	0	1574	0	1582	0.00	26.08
314	1200	1565	0	-15	0	-20.2	0	1580	0	1595	0.00	25.16
315	1200	1570	0	-15.6	0	-21	0	1586	0	1591	0.00	26.16
316	1200	1575	0	-16	0	-21.5	0	1591	0	1597	0.00	26.00
317	1200	1580	0	-16.8	0	-22	0	1597	0	1602	0.00	27.68
318	1200	1585	0	-17.3	0	-22.3	0	1602	0	1607	0.00	28.22
319	1200	1590	0	-17.4	0	-22.4	0	1607	0	1612	0.00	28.36
320	1200	1595	0	-17.3	0	-22.4	0	1612	0	1617	0.00	28.30
321	1200	1600	0	-17.2	0	-22.3	0	1617	0	1622	0.00	28.16
322	1200	1605	0	-16.7	0	-22.2	0	1622	0	1627	0.00	27.70
323	1200	1610	0	-16.5	0	-22	0	1627	0	1632	0.00	27.50
324	1200	1615	0	-16	0	21.4	0	1631	0	1594	0.00	26.72
325	1200	1620	0	-15.5	0	-20.8	0	1636	0	1641	0.00	25.94
326	1200	1625	0	-15.2	0	-20.2	0	1640	0	1645	0.00	25.20

327	1200	1630	0	-14.7	0	-19.6	0	1645	0	1650	0.00	24.50
328	1200	1635	0	13.8	0	19	0	1621	0	1654	0.00	23.48
329	1200	1640	0	-13	0	-13.5	0	1653	0	1659	0.00	22.61
330	1200	1645	0	-12	0	-18	0	1657	0	1663	0.00	21.63
331	1200	1650	0	10.8	0	17.5	0	1639	0	1633	0.00	20.56
332	1200	1655	0	-9.5	0	-17	0	1665	0	1672	0.00	19.47
333	1200	1660	0	-8.4	0	-16	0	1668	0	1676	0.00	18.07
334	1200	1665	0	7.2	0	16.1	0	1672	0	1681	0.00	17.64
335	1200	1670	0	-6	0	-15.7	0	1676	0	1686	0.00	16.81
336	1200	1675	0	-5	0	-15.4	0	1680	0	1690	0.00	16.19
337	1200	1680	0	3.4	0	15.2	0	1683	0	1695	0.00	15.58
338	1200	1685	0	-2.3	0	-14.3	0	1687	0	1700	0.00	14.98
339	1200	1690	0	-1.2	0	-14.5	0	1691	0	1705	0.00	14.55
340	1200	1695	0	0.4	0	14.5	0	1695	0	1710	0.00	14.51
341	1200	1700	0	1	0	-14	0	1699	0	1714	0.00	14.04
342	1200	1705	0	1.2	0	-13.3	0	1704	0	1719	0.00	13.85
343	1200	1710	0	1.6	0	13.2	0	1708	0	1723	0.00	13.30
344	1200	1715	0	2.2	0	-12.3	0	1713	0	1728	0.00	12.99
345	1200	1720	0	2.7	0	-12.4	0	1717	0	1732	0.00	12.69
346	1200	1725	0	3	0	11.3	0	1722	0	1737	0.00	12.18
347	1200	1730	0	3.5	0	-11	0	1727	0	1741	0.00	11.54
348	1200	1735	0	3.7	0	-10.6	0	1731	0	1746	0.00	11.23
349	1200	1740	0	4.4	0	10	0	1736	0	1750	0.00	10.93
350	1200	1745	0	4.2	0	9.4	0	1741	0	1736	0.00	10.30

351	1200	1750	0	4.2	0	8.8	0	1746	0	1741	0.00	9.75
352	1200	1755	0	4	0	-8.2	0	1751	0	1763	0.00	9.12
353	1200	1760	0	4.4	0	-7.8	0	1756	0	1768	0.00	8.96
354	1200	1765	0	4.5	0	-7.2	0	1761	0	1772	0.00	8.49
355	1200	1770	0	4.8	0	-6.6	0	1765	0	1777	0.00	8.16
356	1200	1775	0	5	0	-6.2	0	1770	0	1781	0.00	7.96
357	1200	1780	0	5.5	0	-5.8	0	1775	0	1786	0.00	7.99
358	1200	1785	0	5.7	0	-5.5	0	1779	0	1791	0.00	7.92
359	1200	1790	0	6.4	0	-5	0	1784	0	1795	0.00	8.12
360	1200	1795	0	6.8	0	-4.5	0	1788	0	1800	0.00	8.15
361	1200	1800	0	7	0	-4.2	0	1793	0	1804	0.00	8.16
362	1200	1805	0	7.3	0	-3.6	0	1798	0	1809	0.00	8.14
363	1200	1810	0	7.5	0	-3.3	0	1803	0	1813	0.00	8.19
364	1200	1815	0	7.4	0	-3	0	1808	0	1818	0.00	7.98
365	1200	1820	0	7.4	0	-2.5	0	1813	0	1823	0.00	7.81
366	1200	1825	0	7.5	0	-2.2	0	1818	0	1827	0.00	7.82
367	1200	1830	0	7.4	0	1.8	0	1823	0	1828	0.00	7.62
368	1200	1835	0	7.4	0	-1.5	0	1828	0	1837	0.00	7.55
369	1200	1840	0	7.4	0	-1.2	0	1833	0	1841	0.00	7.50
370	1200	1845	0	7.2	0	-1	0	1838	0	1846	0.00	7.27
371	1200	1850	0	7	0	-0.7	0	1843	0	1851	0.00	7.03
372	1200	1855	0	6.8	0	-0.5	0	1848	0	1856	0.00	6.82
373	1200	1860	0	6.6	0	-0.3	0	1853	0	1860	0.00	6.61
374	1200	1865	0	6.7	0	0	0	1858	0	1865	0.00	6.70

375	1200	1870	0	7	0	0	0	1863	0	1870	0.00	7.00
376	1200	1875	0	7.2	0	0	0	1868	0	1875	0.00	7.20
377	1200	1880	0	7.5	0	0.5	0	1873	0	1880	0.00	7.52
378	1200	1885	0	7.8	0	0.5	0	1877	0	1885	0.00	7.82
379	1200	1890	0	8.3	0	0.6	0	1882	0	1889	0.00	8.32
380	1200	1895	0	8.8	0	0.7	0	1886	0	1894	0.00	8.83
381	1200	1900	0	9.5	0	0.8	0	1891	0	1899	0.00	9.53
382	1200	1905	0	9.8	0	0.8	0	1895	0	1904	0.00	9.83
383	1200	1910	0	10	0	0.8	0	1900	0	1909	0.00	10.03
384	1200	1915	0	10.2	0	1	0	1905	0	1914	0.00	10.25
385	1200	1920	0	10.2	0	1	0	1910	0	1919	0.00	10.25
386	1200	1925	0	10.2	0	0.9	0	1915	0	1924	0.00	10.24
387	1200	1930	0	10	0	0.8	0	1920	0	1929	0.00	10.03
388	1200	1935	0	9.5	0	0.8	0	1926	0	1934	0.00	9.53
389	1200	1940	0	8.7	0	0.7	0	1931	0	1939	0.00	8.73
390	1200	1945	0	8	0	0.5	0	1937	0	1945	0.00	8.02
391	1200	1950	0	7	0	0.4	0	1943	0	1950	0.00	7.01
392	1200	1955	0	5.6	0	0	0	1949	0	1955	0.00	5.60
393	1200	1960	0	5	0	-0.3	0	1955	0	1960	0.00	5.01
394	1200	1965	0	4.5	0	-0.5	0	1961	0	1966	0.00	4.53
395	1200	1970	0	3.8	0	-0.8	0	1966	0	1971	0.00	3.88
396	1200	1975	0	3.2	0	-1	0	1972	0	1976	0.00	3.35
397	1200	1980	0	3	0	-1.4	0	1977	0	1981	0.00	3.31
398	1200	1985	0	2.8	0	-1.8	0	1982	0	1987	0.00	3.33

399	1200	1990	0	2.4	0	-2	0	1988	0	1992	0.00	3.12
400	1200	1995	0	2.2	0	-2.4	0	1993	0	1997	0.00	3.26
401	1200	2000	0	2.4	0	-2.6	0	1998	0	2003	0.00	3.54
402	1200	2005	0	2.4	0	-3	0	2003	0	2008	0.00	3.84
403	1200	2010	0	2.4	0	-3.4	0	2008	0	2013	0.00	4.16
404	1200	2015	0	2.4	0	-3.9	0	2013	0	2019	0.00	4.58
405	1200	2020	0	2.7	0	-4.4	0	2017	0	2024	0.00	5.16
406	1200	2025	0	2.4	0	-4.7	0	2023	0	2030	0.00	5.28
407	1200	2030	0	2.2	0	-5.2	0	2028	0	2035	0.00	5.65
408	1200	2035	0	1.8	0	-5.5	0	2033	0	2041	0.00	5.79
409	1200	2040	0	1.5	0	-6	0	2039	0	2046	0.00	6.18
410	1200	2045	0	1.2	0	-6.5	0	2044	0	2052	0.00	6.61
411	1200	2050	0	0.8	0	-7	0	2049	0	2057	0.00	7.05
412	1200	2055	0	0.8	0	-7.5	0	2054	0	2063	0.00	7.54
413	1200	2060	0	0.5	0	-8.2	0	2060	0	2068	0.00	8.22
414	1200	2065	0	0	0	-8.5	0	2065	0	2074	0.00	8.50
415	1200	2070	0	-0.3	0	-8.8	0	2070	0	2079	0.00	8.81
416	1200	2075	0	-0.6	0	-9	0	2076	0	2084	0.00	9.02
417	1200	2080	0	-0.7	0	-9	0	2081	0	2089	0.00	9.03
418	1200	2085	0	-1	0	-8.8	0	2086	0	2094	0.00	8.86
419	1200	2090	0	-0.7	0	-8.6	0	2091	0	2099	0.00	8.63
420	1200	2095	0	-0.7	0	-8.4	0	2096	0	2103	0.00	8.43
421	1200	2100	0	-0.8	0	-7.9	0	2101	0	2108	0.00	7.94
422	1200	2105	0	-1.2	0	-7.5	0	2106	0	2113	0.00	7.60

423	1200	2110	0	-1.2	0	-7	0	2111	0	2117	0.00	7.10
424	1200	2115	0	-1.1	0	-6.1	0	2116	0	2121	0.00	6.20
425	1200	2120	0	-1	0	-5.3	0	2121	0	2125	0.00	5.39
426	1200	2125	0	-0.5	0	-4.4	0	2126	0	2129	0.00	4.43
427	1200	2130	0	0	0	-3.2	0	2130	0	2133	0.00	3.20
428	1200	2135	0	1	0	-2	0	2134	0	2137	0.00	2.24
429	1200	2140	0	1.5	0	-0.7	0	2139	0	2141	0.00	1.66
430	1200	2145	0	2.5	0	0.8	0	2143	0	2144	0.00	2.62
431	1200	2150	0	3.5	0	2.5	0	2147	0	2148	0.00	4.30
432	1200	2155	0	4.5	0	4.2	0	2151	0	2151	0.00	6.16
433	1200	2160	0	5.8	0	6.1	0	2154	0	2154	0.00	8.42
434	1200	2165	0	7	0	8.2	0	2158	0	2157	0.00	10.78
435	1200	2170	0	8.8	0	10.5	0	2161	0	2160	0.00	13.70
436	1200	2175	0	10.6	0	13	0	2164	0	2162	0.00	16.77
437	1200	2180	0	12.8	0	15.4	0	2167	0	2165	0.00	20.02
438	1200	2185	0	14.8	0	17.8	0	2170	0	2167	0.00	23.15
439	1200	2190	0	17.2	0	20.4	0	2173	0	2170	0.00	26.68
440	1200	2195	0	20	0	23.5	0	2175	0	2172	0.00	30.86
441	1200	2200	0	22.8	0	26.7	0	2177	0	2173	0.00	35.11
442	1200	2205	0	25.2	0	29.8	0	2180	0	2175	0.00	39.03
443	1200	2210	0	27.4	0	32.5	0	2183	0	2178	0.00	42.51
444	1200	2215	0	30.7	0	37.5	0	2184	0	2178	0.00	48.46
445	1200	2220	0	34	0	41.5	0	2186	0	2179	0.00	53.65
446	1200	2225	0	37.2	0	45.5	0	2188	0	2180	0.00	58.77

447	1200	2230	0	40.3	0	48.8	0	2190	0	2181	0.00	63.29
448	1200	2235	0	44.5	0	53.5	0	2191	0	2182	0.00	69.59
449	1200	2240	0	48.5	0	57.8	0	2192	0	2182	0.00	75.45
450	1200	2245	0	51.8	0	62	0	2193	0	2183	0.00	80.79
451	1200	2250	0	55.6	0	67	0	2194	0	2183	0.00	87.07
452	1200	2255	0	59.6	0	72.5	0	2195	0	2183	0.00	93.85
453	1200	2260	0	64.5	0	80	0	2196	0	2180	0.00	102.76
454	1200	2265	0	69	0	85.6	0	2196	0	2179	0.00	109.95
455	1200	2270	0	79.4	0	90.7	0	2191	0	2171	0.00	125.67
456	1200	2275	0	84	0	105	0	2191	0	2170	0.00	134.47
457	1200	2280	0	90.5	0	113	0	2190	0	2167	0.00	144.77
458	1200	2285	0	96	0	119.7	0	2189	0	2165	0.00	153.44
459	1200	2290	0	105	0	134	0	2185	0	2156	0.00	170.36
460	1200	2295	117	0	154	0	1083	0	1046	0	193.84	0
461	1200	2300	148	0	147	0	1052	0	1054	0	208.03	0
462	1200	2305	129	0	133	0	1071	0	1068	0	184.72	0
463	1200	2310	117	0	123	0	1083	0	1078	0	169.40	0
464	1200	2315	108	0	113	0	1093	0	1087	0	156.26	0
465	1200	2320	98.2	0	105	0	1102	0	1095	0	143.62	0
466	1200	2325	91	0	99.2	0	1109	0	1101	0	134.62	0
467	1200	2330	86	0	95	0	1114	0	1105	0	128.14	0
468	1200	2335	73.2	0	83.2	0	1127	0	1117	0	110.82	0
469	1200	2340	68.8	0	78.6	0	1131	0	1121	0	104.46	0
470	1200	2345	62.5	0	72.0	0	1130	0	1127	0	95.95	0

471	1200	2350	56.8	0	67.7	0	1143	0	1132	0	88.37	0
472	1200	2355	50.7	0	62.8	0	1149	0	1137	0	80.71	0
473	1200	2360	46.5	0	60.2	0	1154	0	1140	0	76.07	0
474	1200	2365	41.3	0	55.5	0	1159	0	1145	0	69.18	0
475	1200	2370	36.6	0	50.8	0	1163	0	1149	0	62.61	0
476	1200	2375	33	0	47	0	1167	0	1153	0	57.43	0
477	1200	2380	28	0	42.4	0	1172	0	1158	0	50.81	0
478	1200	2385	24	0	38.5	0	1176	0	1162	0	45.37	0
479	1200	2390	21	0	35.2	0	1179	0	1165	0	40.99	0
480	1200	2395	17.6	0	32	0	1182	0	1168	0	36.52	0
481	1200	2400	28.5	0	14	0	1172	0	1186	0	31.75	0
482	1200	2405	10.7	0	25	0	1189	0	1175	0	27.19	0
483	1200	2410	8	0	22.2	0	1192	0	1178	0	23.60	0
484	1200	2415	3.5	0	19.6	0	1197	0	1180	0	19.91	0
485	1200	2420	0.5	0	17	0	1200	0	1183	0	17.01	0
486	1200	2425	-2.8	0	14.8	0	1203	0	1185	0	15.06	0
487	1200	2430	-4.3	0	12.7	0	1204	0	1187	0	13.41	0
488	1200	2435	-6.4	0	10.5	0	1206	0	1190	0	12.30	0
489	1200	2440	-8.5	0	8.8	0	1209	0	1191	0	12.23	0
490	1200	2445	-10	0	7	0	1210	0	1193	0	12.21	0
491	1200	2450	-11.2	0	5.4	0	1211	0	1195	0	12.43	0
492	1200	2455	-12.5	0	3.7	0	1213	0	1196	0	13.04	0
493	1200	2460	-13.8	0	2.5	0	1214	0	1198	0	14.02	0
494	1200	2465	-14.8	0	1	0	1215	0	1199	0	14.83	0

495	1200	2470	-15.7	0	0	0	1216	0	1200	0	15.70	0
496	1200	2475	16.6	0	1	0	1217	0	1201	0	16.63	0
497	1200	2480	-17.3	0	-2	0	1217	0	1202	0	17.42	0
490	1200	2405	-17.0	0	-2.7	0	1210	0	1203	0	10.00	0
499	1200	2490	-18.5	0	-3.2	0	1219	0	1203	0	18.77	0
500	1200	2495	-18.6	0	-4	0	1219	0	1204	0	19.03	0
501	1200	2500	-18.8	0	-4.5	0	1219	0	1205	0	19.33	0
502	1200	2505	-18.7	0	-4.6	0	1219	0	1205	0	19.26	0
503	1200	2510	18.5	0	5	0	1219	0	1205	0	19.16	0
504	1200	2515	-18.3	0	-5	0	1218	0	1205	0	18.97	0
505	1200	2520	-17.6	0	-5.5	0	1210	0	1206	0	10.44	0
506	1200	2525	-17.5	0	-5.8	0	1218	0	1206	0	18.44	0
507	1200	2530	-16.8	0	-6.2	0	1217	0	1206	0	17.91	0
508	1200	2535	16.2	0	6.5	0	1216	0	1207	0	17.46	0
509	1200	2540	-15.2	0	-6.8	0	1215	0	1207	0	16.65	0
510	1200	2545	-14.5	0	-7	0	1215	0	1207	0	16.10	0
511	1200	2550	-13	0	-7.2	0	1213	0	1207	0	14.86	0
512	1200	2555	-12.8	0	-7.2	0	1213	0	1207	0	14.69	0
513	1200	2560	-12	0	-7.4	0	1212	0	1207	0	14.10	0
514	1200	2565	-11	0	-7.4	0	1211	0	1207	0	13.26	0
515	1200	2570	10	0	7.4	0	1210	0	1207	0	12.44	0
516	1200	2575	-9	0	-7.3	0	1209	0	1207	0	11.59	0
517	1200	2580	-0.2	0	-7.3	0	1200	0	1207	0	10.90	0
518	1200	2585	-7	0	-7	0	1207	0	1207	0	9.90	0

519	1200	2590	6	0	7	0	1206	0	1207	0	9.22	0
520	1200	2595	-5.2	0	-6.8	0	1205	0	1207	0	8.56	0
521	1200	2600	4.8	0	6.5	0	1205	0	1207	0	8.08	0
522	1200	2605	-4.2	0	-6.2	0	1204	0	1206	0	7.49	0
523	1200	2610	3.8	0	6	0	1204	0	1206	0	7.10	0
524	1200	2615	-3.4	0	-5.5	0	1203	0	1206	0	6.47	0
525	1200	2620	-3.2	0	-5	0	1203	0	1205	0	5.94	0
526	1200	2625	-3	0	-4.7	0	1203	0	1205	0	5.58	0
527	1200	2630	-3	0	-4.2	0	1203	0	1204	0	5.16	0
528	1200	2635	-2.6	0	-3.2	0	1203	0	1203	0	4.12	0
529	1200	2640	-2.6	0	-3.2	0	1203	0	1203	0	4.12	0
530	1200	2645	-2.5	0	-2.5	0	1203	0	1203	0	3.54	0
531	1200	2650	-2.8	0	-2.4	0	1203	0	1202	0	3.69	0
532	1200	2655	-2.8	0	-2	0	1203	0	1202	0	3.44	0
533	1200	2660	-2.8	0	-1.8	0	1203	0	1202	0	3.33	0
534	1200	2665	-2.7	0	-1.7	0	1203	0	1202	0	3.19	0
535	1200	2670	-2.7	0	-1.7	0	1203	0	1202	0	3.19	0
536	1200	2675	-2.7	0	-2	0	1203	0	1202	0	3.36	0
537	1200	2680	-2.7	0	-2	0	1203	0	1202	0	3.36	0
538	1200	2685	-3	0	-2.4	0	1203	0	1202	0	3.84	0
539	1200	2690	-2.7	0	-2.5	0	1203	0	1203	0	3.68	0
540	1200	2695	-2.6	0	-2.6	0	1203	0	1203	0	3.68	0
541	1200	2700	-2.3	0	-2.7	0	1202	0	1203	0	3.55	0
542	1200	2705	-2.5	0	-2.5	0	1203	0	1203	0	3.54	0

lampiran C-2.Tabel Error Lintasan 2

No	Xr	Yr	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂	\mathcal{L}_{x_1}	\mathcal{L}_{y_1}	\mathcal{L}_{x_2}	\mathcal{L}_{y_2}	$\mathcal{L}_{x_1 y_1}$	$\mathcal{L}_{x_2 y_2}$
							(Xr-X ₁)	(Yr-Y ₁)	(Xr-X ₂)	(Yr-Y ₂)	$\sqrt{(\mathcal{L}_{x_1}^2 + \mathcal{L}_{y_1}^2)}$	$\sqrt{(\mathcal{L}_{x_2}^2 + \mathcal{L}_{y_2}^2)}$
1	200	0	0	2.3	0	1	0	-2.3	0	-1	2.3	1
2	200	5	0	1.8	0	0.9	0	3.2	0	4.1	3.2	4.1
3	200	10	0	1.7	0	1	0	8.3	0	9	8.3	9
4	200	15	0	1.5	0	1	0	13.5	0	14	13.5	14
5	200	20	0	1.0	0	1	0	19	0	19	19	19
6	200	25	0	1	0	1	0	24	0	24	24	24
7	200	30	0	1.6	0	1	0	28.4	0	29	28.4	29
8	200	35	0	0.0	0	1.2	0	35	0	33.8	35	33.8
9	200	40	0	-0.14	0	1.8	0	40.14	0	38.2	40.14	38.2
10	200	45	0	0.6	0	1.2	0	44.4	0	43.8	44.4	43.8
11	200	50	0	-1	0	2	0	51	0	48	51	48
12	200	55	0	-1.4	0	1.5	0	56.4	0	53.5	56.4	53.5
13	200	60	0	-1.8	0	1.6	0	61.8	0	58.4	61.8	58.4

14	200	65	0	-2.2	0	1.8	0	67.2	0	63.2	67.2	63.2
15	200	70	0	-2.4	0	1.8	0	72.4	0	68.2	72.4	68.2
16	200	75	0	-3.8	0	2	0	78.8	0	73	78.8	73
17	200	80	0	-3	0	2.1	0	83	0	77.9	83	77.9
18	200	85	0	-3.5	0	2.5	0	88.5	0	82.5	88.5	82.5
19	200	90	0	-3.6	0	2.8	0	93.6	0	87.2	93.6	87.2
20	200	95	0	-3.8	0	3.2	0	98.8	0	91.8	98.8	91.8
21	200	100	0	-4	0	3.4	0	104	0	96.6	104	96.6
22	200	105	0	-4.6	0	3.5	0	109.6	0	101.5	109.6	101.5
23	200	110	0	-5	0	3.8	0	115	0	106.2	115	106.2
24	200	115	0	-5.3	0	4	0	120.3	0	111	120.3	111
25	200	120	0	-5.6	0	4	0	125.6	0	116	125.6	116
26	200	125	0	-6	0	4	0	131	0	121	131	121
27	200	130	0	-6.5	0	3.8	0	136.5	0	126.2	136.5	126.2
28	200	135	0	-7	0	3.8	0	142	0	131.2	142	131.2
29	200	140	0	-7.2	0	3.8	0	147.2	0	136.2	147.2	136.2

30	200	145	0	-7.6	0	3.8	0	152.6	0	141.2	152.6	141.2
31	200	150	0	-7.8	0	3.8	0	157.8	0	146.2	157.8	146.2
32	200	155	0	-8	0	3.8	0	163	0	151.2	163	151.2
33	200	160	0	-8.5	0	4	0	168.5	0	156	168.5	156
34	200	165	0	-9	0	4	0	174	0	161	174	161
35	200	170	0	-9.6	0	4	0	179.6	0	166	179.6	166
36	200	175	0	-10	0	4.4	0	185	0	170.6	185	170.6
37	200	180	0	-10.3	0	4.5	0	190.3	0	175.5	190.3	175.5
38	200	185	0	-10.5	0	4.6	0	195.5	0	180.4	195.5	180.4
39	200	190	0	-10.8	0	4.7	0	200.8	0	185.3	200.8	185.3
40	200	195	0	-10.8	0	5	0	205.8	0	190	205.8	190
41	200	200	0	-11.2	0	5.3	0	211.2	0	194.7	211.2	194.7
42	200	205	0	-11.5	0	5.4	0	216.5	0	199.6	216.5	199.6
43	200	210	0	-11.5	0	5.6	0	221.5	0	204.4	221.5	204.4
44	200	215	0	-11.5	0	6	0	226.5	0	209	226.5	209
45	200	220	0	-11.5	0	6.3	0	231.5	0	213.7	231.5	213.7

46	200	225	0	-11.2	0	6.6	0	236.2	0	218.4	236.2	218.4
47	200	230	0	-11	0	6.6	0	241	0	223.4	241	223.4
48	200	235	0	-10.8	0	6.6	0	245.8	0	228.4	245.8	228.4
49	200	240	0	10.5	0	7	0	229.5	0	233	229.5	233
50	200	245	0	-10.2	0	7.2	0	255.2	0	237.8	255.2	237.8
51	200	250	0	-10.2	0	7.3	0	260.2	0	242.7	260.2	242.7
52	200	255	0	-10	0	7.7	0	265	0	247.3	265	247.3
53	200	260	0	-9.5	0	8	0	269.5	0	252	269.5	252
54	200	265	0	-9.2	0	8.4	0	274.2	0	256.6	274.2	256.6
55	200	270	0	-8.8	0	8.6	0	278.8	0	261.4	278.8	261.4
56	200	275	0	-8.5	0	8.8	0	283.5	0	266.2	283.5	266.2
57	200	280	0	8.2	0	9	0	271.8	0	271	271.8	271
58	200	285	0	-7.7	0	9.5	0	292.7	0	275.5	292.7	275.5
59	200	290	0	-7.4	0	9.6	0	297.4	0	280.4	297.4	280.4
60	200	295	0	-7.2	0	9.6	0	302.2	0	285.4	302.2	285.4
61	200	300	0	-7.1	0	10.2	0	307.1	0	289.8	307.1	289.8

62	200	305	0	-7	0	10.4	0	312	0	294.6	312	294.6
63	200	310	0	-7	0	10.7	0	317	0	299.3	317	299.3
64	200	315	0	-6.8	0	10.9	0	321.8	0	304.1	321.8	304.1
65	200	320	0	-6.6	0	11.2	0	326.6	0	308.8	326.6	308.8
66	200	325	0	-6.8	0	11.5	0	331.8	0	313.5	331.8	313.5
67	200	330	0	-6.8	0	11.8	0	336.8	0	318.4	336.8	318.4
68	200	335	0	-6.6	0	11.8	0	341.6	0	323.2	341.6	323.2
69	200	340	0	-6.5	0	12.3	0	346.5	0	327.7	346.5	327.7
70	200	345	0	-5.8	0	12.5	0	350.8	0	332.5	350.8	332.5
71	200	350	0	-6.5	0	12.8	0	356.5	0	337.2	356.5	337.2
72	200	355	0	-6.6	0	12.8	0	361.6	0	342.2	361.6	342.2
73	200	360	0	-6.5	0	13	0	366.5	0	347	366.5	347
74	200	365	0	-6.5	0	13.2	0	371.5	0	351.8	371.5	351.8
75	200	370	0	-6.4	0	13.4	0	376.4	0	356.6	376.4	356.6
76	200	375	0	-6.5	0	13.5	0	381.5	0	361.5	381.5	361.5
77	200	380	0	-6.6	0	13.7	0	386.6	0	366.3	386.6	366.3

78	200	385	0	-6.8	0	13.8	0	391.8	0	371.2	391.8	371.2
79	200	390	0	-6.8	0	14	0	396.8	0	376	396.8	376
80	200	395	0	-7	0	14.4	0	402	0	380.6	402	380.6
81	200	400	0	-6.8	0	14.2	0	406.8	0	385.8	406.8	385.8
82	200	405	0	-6.8	0	14.5	0	411.8	0	390.5	411.8	390.5
83	200	410	0	-6.8	0	15	0	416.8	0	395	416.8	395
84	200	415	0	-7	0	15.2	0	422	0	399.8	422	399.8
85	200	420	0	-7.2	0	15.5	0	427.2	0	404.5	427.2	404.5
86	200	425	0	-7.3	0	15.7	0	432.3	0	409.3	432.3	409.3
87	200	430	0	-7.2	0	16	0	437.2	0	414	437.2	414
88	200	435	0	-7.4	0	16.2	0	442.4	0	418.8	442.4	418.8
89	200	440	0	-7.7	0	16.4	0	447.7	0	423.6	447.7	423.6
90	200	445	0	-7.8	0	16.7	0	452.8	0	428.3	452.8	428.3
91	200	450	0	-7.8	0	16.8	0	457.8	0	433.2	457.8	433.2
92	200	455	0	-7.8	0	17	0	462.8	0	438	462.8	438
93	200	460	0	-7.7	0	17	0	467.7	0	443	467.7	443

94	200	465	0	-7.8	0	16.5	0	472.8	0	448.5	472.8	448.5
95	200	470	0	-8	0	16.2	0	478	0	453.8	478	453.8
96	200	475	0	-8.2	0	15.8	0	483.2	0	459.2	483.2	459.2
97	200	480	0	-8	0	15.2	0	488	0	464.8	488	464.8
98	200	485	0	-8	0	14.5	0	493	0	470.5	493	470.5
99	200	490	0	-8.3	0	13.7	0	498.3	0	476.3	498.3	476.3
100	200	495	0	-8.7	0	12.8	0	503.7	0	482.2	503.7	482.2
101	200	500	0	-9	0	11.8	0	509	0	488.2	509	488.2
102	200	505	0	-9.8	0	10.8	0	514.8	0	494.2	514.8	494.2
103	200	510	0	-10.4	0	9.8	0	520.4	0	500.2	520.4	500.2
104	200	515	0	-11.5	0	8.5	0	526.5	0	506.5	526.5	506.5
105	200	520	0	-12.5	0	6.5	0	532.5	0	513.5	532.5	513.5
106	200	525	0	-13.6	0	4.7	0	538.6	0	520.3	538.6	520.3
107	200	530	0	-15	0	3.7	0	545	0	526.3	545	526.3
108	200	535	0	-16.5	0	1.5	0	551.5	0	533.5	551.5	533.5
109	200	540	0	-17.6	0	0	0	557.6	0	540	557.6	540

110	200	545	0	-18.7	0	-1.8	0	563.7	0	546.8	563.7	546.8
111	200	550	0	-20.5	0	-4	0	570.5	0	554	570.5	554
112	200	555	0	-22.4	0	-6	0	577.4	0	561	577.4	561
113	200	560	0	-23.8	0	-8.5	0	583.8	0	568.5	583.8	568.5
114	200	565	0	-26.2	0	-12	0	591.2	0	577	591.2	577
115	200	570	0	-28.2	0	-14.2	0	598.2	0	584.2	598.2	584.2
116	200	575	0	-30.7	0	-17.6	0	605.7	0	592.6	605.7	592.6
117	200	580	0	-32	0	-19.7	0	612	0	599.7	612	599.7
118	200	585	0	-34.6	0	-23	0	619.6	0	608	619.6	608
119	200	590	0	-38.2	0	-27.5	0	628.2	0	617.5	628.2	617.5
120	200	595	0	-40.5	0	-30.4	0	635.5	0	625.4	635.5	625.4
121	200	600	0	-44.8	0	-35.4	0	644.8	0	635.4	644.8	635.4
122	200	605	0	-47	0	-38.8	0	652	0	643.8	652	643.8
123	200	610	0	-48.7	0	-41.6	0	658.7	0	658.4	658.7	658.4
124	200	615	0	-50.5	0	-44.5	0	665.5	0	659.5	665.5	659.5
125	200	620	0	-55.4	0	-49.5	0	675.4	0	669.5	675.4	669.5

126	200	625	0	-56.2	0	-50.6	0	681.2	0	675.6	681.2	675.6
127	200	630	0	-57	0	-53	0	687	0	683	687	683
128	200	635	0	-57.4	0	-52.5	0	692.4	0	687.5	692.4	687.5
129	200	640	0	-57.4	0	-52.8	0	697.4	0	692.8	697.4	692.8
130	200	645	57.4	-160	53	-61	142.6	0	147	0	142.6	147
131	200	650	57.2	-159	53	-62	142.8	0	147	0	142.8	147
132	200	655	56.8	-158	52.8	-62	143.2	0	147.2	0	143.2	147.2
133	200	660	57	-150	53.3	-62	143	0	146.7	0	143	146.7
134	200	665	56.8	-130	53	-63.5	143.2	0	147	0	143.2	147
135	200	670	56.5	-128	53.2	-65	143.5	0	146.8	0	143.5	146.8
136	200	675	56	-120	53.4	-62.5	144	0	146.6	0	144	146.6
137	200	680	55.5	-112	53.5	-63	144.5	0	146.5	0	144.5	146.5
138	200	685	55.2	-105	53.3	-68	144.8	0	146.7	0	144.8	146.7
139	200	690	54.6	-104	53	-73.5	145.4	0	147	0	145.4	147
140	200	695	54.2	-98.5	52.6	-85	145.8	0	147.4	0	145.8	147.4

141	200	700	-53	-95	51.8	-90	253	0	148.2	0	253	148.2
142	200	705	51.5	-92	51	-88	148.5	0	149	0	148.5	149
143	200	710	50.5	-82	50.4	-97	149.5	0	149.6	0	149.5	149.6
144	200	715	49.5	-79.5	49.5	-96	150.5	0	150.5	0	150.5	150.5
145	200	720	52	-73	51	-95	148	0	149	0	148	149
146	200	725	50.8	-89	-50	-99	149.2	0	250	0	149.2	250
147	200	730	47.5	-66	47.2	0	152.5	0	152.8	0	152.5	152.8
148	200	735	43.8	0	44.5	0	156.2	0	155.5	0	156.2	155.5
149	200	740	40.4	0	41.2	0	159.6	0	158.8	0	159.6	158.8
150	200	745	37.2	0	36.5	0	162.0	0	161.5	0	162.0	161.5
151	200	750	31.2	0	34.2	0	168.8	0	165.8	0	168.8	165.8
152	200	755	27.8	0	31.6	0	172.2	0	168.4	0	172.2	168.4
153	200	760	23.4	0	27.8	0	176.6	0	172.2	0	176.6	172.2
154	200	765	19.2	0	24.4	0	180.6	0	175.6	0	180.6	175.6
155	200	770	15.5	0	20.8	0	184.5	0	179.2	0	184.5	179.2
156	200	775	12	0	18.5	0	188	0	181.5	0	188	181.5

157	200	780	8.4	0	15	0	191.6	0	185	0	191.6	185
158	200	785	5.2	0	13	0	194.8	0	187	0	194.8	187
159	200	790	1.5	0	10.4	0	198.5	0	189.6	0	198.5	189.6
160	200	795	1.5	0	7.8	0	198.5	0	192.2	0	198.5	192.2
161	200	800	4.6	0	5.2	0	195.4	0	194.8	0	195.4	194.8
162	200	805	7	0	3.2	0	193	0	196.8	0	193	196.8
163	200	810	10.3	0	0.6	0	189.7	0	199.4	0	189.7	199.4
164	200	815	12.8	0	1.5	0	187.2	0	198.5	0	187.2	198.5
165	200	820	15	0	3.2	0	185	0	196.8	0	185	196.8
166	200	825	17.4	0	5	0	182.6	0	195	0	182.6	195
167	200	830	19.8	0	6.4	0	180.2	0	193.6	0	180.2	193.6
168	200	835	21.5	0	7.8	0	178.5	0	192.2	0	178.5	192.2
169	200	840	23.3	0	9.4	0	176.7	0	190.6	0	176.7	190.6
170	200	845	25.6	0	10.8	0	174.4	0	189.2	0	174.4	189.2
171	200	850	27.4	0	12	0	172.6	0	188	0	172.6	188
172	200	855	28.8	0	11.2	0	171.2	0	188.8	0	171.2	188.8

173	200	860	30.4	0	14.2	0	169.6	0	185.8	0	169.6	185.8
174	200	865	32	0	15.2	0	168	0	184.8	0	168	184.8
175	200	870	33.3	0	16.2	0	166.7	0	183.8	0	166.7	183.8
176	200	875	34.4	0	17	0	165.6	0	183	0	165.6	183
177	200	880	35.7	0	17.8	0	164.3	0	182.2	0	164.3	182.2
178	200	885	36.8	0	18.14	0	163.2	0	181.9	0	163.2	181.86
179	200	890	38	0	19	0	162	0	181	0	162	181
180	200	895	38.8	0	19.5	0	161.2	0	180.5	0	161.2	180.5
181	200	900	39.5	0	19.8	0	160.5	0	180.2	0	160.5	180.2
182	200	905	40.4	0	20.4	0	159.6	0	179.6	0	159.6	179.6
183	200	910	41.2	0	20.5	0	158.8	0	179.5	0	158.8	179.5
184	200	915	41.7	0	20.4	0	158.3	0	179.6	0	158.3	179.6
185	200	920	42.4	0	20.4	0	157.6	0	179.6	0	157.6	179.6
186	200	925	42.8	0	20.4	0	157.2	0	179.6	0	157.2	179.6
187	200	930	43.2	0	20.4	0	156.8	0	179.6	0	156.8	179.6
188	200	935	43.5	0	20.2	0	156.5	0	179.8	0	156.5	179.8

189	200	940	43.7	0	19.8	0	156.3	0	180.2	0	156.3	180.2
190	200	945	43.8	0	19.5	0	156.2	0	180.5	0	156.2	180.5
191	200	950	44.2	0	19.2	0	155.8	0	180.8	0	155.8	180.8
192	200	955	44.2	0	18	0	155.8	0	182	0	155.8	182
193	200	960	44.2	0	17.7	0	155.8	0	182.3	0	155.8	182.3
194	200	965	44.2	0	17.3	0	155.8	0	182.7	0	155.8	182.7
195	200	970	44	0	16.6	0	156	0	183.4	0	156	183.4
196	200	975	44	0	16.7	0	156	0	183.3	0	156	183.3
197	200	980	43.4	0	15.6	0	156.6	0	184.4	0	156.6	184.4
198	200	985	42.7	0	14.6	0	157.3	0	185.4	0	157.3	185.4
199	200	990	42.2	0	13.8	0	157.8	0	186.2	0	157.8	186.2
200	200	995	41.8	0	12.8	0	158.2	0	187.2	0	158.2	187.2
201	200	1000	41	0	11.7	0	159	0	188.3	0	159	188.3
202	200	1005	40.4	0	10.4	0	159.6	0	189.6	0	159.6	189.6
203	200	1010	39.5	0	9	0	160.5	0	191	0	160.5	191
204	200	1015	38.5	0	7.5	0	161.5	0	192.5	0	161.5	192.5

205	200	1020	37.2	0	5.8	0	162.8	0	194.2	0	162.8	194.2
206	200	1025	36.2	0	4.2	0	163.8	0	195.8	0	163.8	195.8
207	200	1030	34.8	0	2.4	0	165.2	0	197.6	0	165.2	197.6
208	200	1035	33.2	0	0.5	0	166.8	0	199.5	0	166.8	199.5
209	200	1040	32	0	0	0	168	0	200	0	168	200
210	200	1045	30.8	0	-1.5	0	169.2	0	201.5	0	169.2	201.5
211	200	1050	29.6	0	-3.2	0	170.4	0	203.2	0	170.4	203.2
212	200	1055	27.2	0	-4.5	0	172.8	0	204.5	0	172.8	204.5
213	200	1060	25.8	0	-5.7	0	174.2	0	205.7	0	174.2	205.7
214	200	1065	24.4	0	-6.5	0	175.6	0	206.5	0	175.6	206.5
215	200	1070	23.2	0	-7.3	0	176.8	0	207.3	0	176.8	207.3
216	200	1075	21.8	0	-8	0	178.2	0	208	0	178.2	208
217	200	1080	20.8	0	-8.8	0	179.2	0	208.8	0	179.2	208.8
218	200	1085	19.5	0	-9.8	0	180.5	0	209.8	0	180.5	209.8
219	200	1090	19.4	0	-10.3	0	180.6	0	210.3	0	180.6	210.3
220	200	1095	17.4	0	-10.6	0	182.6	0	210.6	0	182.6	210.6

221	200	1100	16.3	0	-11.5	0	183.7	0	211.5	0	183.7	211.5
222	200	1105	15.5	0	-11.4	0	184.5	0	211.4	0	184.5	211.4
223	200	1110	14.5	0	-10.8	0	185.5	0	210.8	0	185.5	210.8
224	200	1115	13.7	0	-11	0	186.3	0	211	0	186.3	211
225	200	1120	12.8	0	-11.5	0	187.2	0	211.5	0	187.2	211.5
226	200	1125	12	0	-11.5	0	188	0	211.5	0	188	211.5
227	200	1130	11.4	0	-11.5	0	188.6	0	211.5	0	188.6	211.5
228	200	1135	10.7	0	-11.3	0	189.3	0	211.3	0	189.3	211.3
229	200	1140	10	0	-12	0	190	0	212	0	190	212
230	200	1145	8.8	0	-10.3	0	191.2	0	210.3	0	191.2	210.3
231	200	1150	8.3	0	-10.2	0	191.7	0	210.2	0	191.7	210.2
232	200	1155	7.8	0	-10.3	0	192.2	0	210.3	0	192.2	210.3
233	200	1160	7.5	0	-10	0	192.5	0	210	0	192.5	210
234	200	1165	7.3	0	-10	0	192.7	0	210	0	192.7	210
235	200	1170	7	0	-10	0	193	0	210	0	193	210
236	200	1175	6.6	0	-10.2	0	193.4	0	210.2	0	193.4	210.2

237	200	1180	6.2	0	-10.3	0	193.8	0	210.3	0	193.8	210.3
238	200	1185	5.5	0	-10.5	0	194.5	0	210.5	0	194.5	210.5
239	200	1190	4.7	0	-10.8	0	195.3	0	210.8	0	195.3	210.8
240	200	1195	4	0	-11.3	0	196	0	211.3	0	196	211.3
241	200	1200	3.2	0	-11.8	0	196.8	0	211.8	0	196.8	211.8
242	200	1205	2	0	-12.4	0	198	0	212.4	0	198	212.4
243	200	1210	1.2	0	-13	0	198.8	0	213	0	198.8	213
244	200	1215	0	0	-13.8	0	200	0	213.8	0	200	213.8
245	200	1220	-1.5	0	-16.4	0	201.5	0	216.4	0	201.5	216.4
246	200	1225	-3	0	-15.3	0	203	0	184.7	0	203	184.7
247	200	1230	-4.4	0	-16	0	204.4	0	216	0	204.4	216
248	200	1235	-5.8	0	-16.8	0	205.8	0	216.8	0	205.8	216.8
249	200	1240	-7.8	0	-18.2	0	207.8	0	218.2	0	207.8	218.2
250	200	1245	-10	0	-19.5	0	210	0	219.5	0	210	219.5
251	200	1250	-12	0	-20.5	0	212	0	220.5	0	212	220.5
252	200	1255	-14	0	-21.7	0	214	0	221.7	0	214	221.7

253	200	1260	-14.8	0	-23.5	0	214.8	0	223.5	0	214.8	223.5
254	200	1265	-18.8	0	-25	0	218.8	0	225	0	218.8	225
255	200	1270	-21.5	0	-26.2	0	221.5	0	226.2	0	221.5	226.2
256	200	1275	-24.5	0	-28.2	0	224.5	0	228.2	0	224.5	228.2
257	200	1280	-27.5	0	-29.7	-43	227.5	0	229.7	0	227.5	229.7
258	200	1285	-31	0	-31.8	-46.5	231	0	231.8	0	231	231.8
259	200	1290	-34	0	-33.5	-47.5	234	0	233.5	0	234	233.5
260	200	1295	-37.4	0	-36	-47.5	237.4	0	236	0	237.4	236
261	200	1300	-41	0	-38.8	-54	241	0	238.8	0	241	238.8
262	200	1305	-43.8	0	-40.5	-54	243.8	0	240.5	0	243.8	240.5
263	200	1310	-44.8	0	-41	-58	244.8	0	241	0	244.8	241
264	200	1315	-267	-43.8	-40	59.5	467	1356.8	0	1255.5	1436.811	1255.5
265	200	1320	-263	-43.2	-39.5	-47.5	463	1363.2	0	1367.5	1439.682	1367.5
266	200	1325	-239	-43	-41	-54	439	1368	0	1379	1436.713	1379
267	200	1330	-203	-42.5	-41	-54	403	1372.5	0	1384	1430.442	1384
268	200	1335	-163	-42.4	-40	-54	362.5	1377.4	0	1389	1424.302	1389

269	200	1340	-130	-42.2	-41	-58	330	1382.2	0	1398	1421.048	1398
270	200	1345	-122	-42.2	-40	-59.5	322	1387.2	0	1404.5	1424.081	1404.5
271	200	1350	-92.5	-42	-38.5	-61.5	292.5	1392	0	1411.5	1422.399	1411.5
272	200	1355	-69	-41	-35.5	-37.5	269	1396	0	1392.5	1421.681	1392.5
273	200	1360	-53.5	-40	-33	-56	253.5	1400	0	1416	1422.766	1416
274	200	1365	-46.5	-39.2	-35	-54.5	246.5	1404.2	0	1419.5	1425.672	1419.5
275	200	1370	-39.5	-38.5	-28	-54	239.5	1408.5	0	1424	1428.717	1424
276	200	1375	-36	-38	-25	-52	236	1413	0	1427	1432.573	1427
277	200	1380	-32	-37	-22	-50	232	1417	0	1430	1435.867	1430
278	200	1385	-31	-34.8	-19.5	-50.5	231	1419.8	0	1435.5	1438.469	1435.5
279	200	1390	-26	-35.7	0	-20.8	0	1425.7	0	1410.8	1425.7	1410.8
280	200	1395	0	-33.5	0	16.6	0	1428.5	0	1378.4	1428.5	1378.4
281	200	1400	0	-38	0	17.5	0	1438	0	1382.5	1438	1382.5
282	200	1405	0	-33	0	-10	0	1438	0	1415	1438	1415
283	200	1410	0	-28.5	0	-3	0	1438.5	0	1413	1438.5	1413
284	200	1415	0	-24.6	0	3.5	0	1439.6	0	1411.5	1439.6	1411.5

285	200	1420	0	19.8	0	9.8	0	1400.2	0	1410.2	1400.2	1410.2
286	200	1425	0	-16	0	16	0	1441	0	1409	1441	1409
287	200	1430	0	-11.4	0	21.5	0	1441.4	0	1408.5	1441.4	1408.5
288	200	1435	0	-7.5	0	26.5	0	1442.5	0	1408.5	1442.5	1408.5
289	200	1440	0	-3.8	0	33	0	1443.8	0	1407	1443.8	1407
290	200	1445	0	0	0	39	0	1445	0	1406	1445	1406
291	200	1450	0	3.2	0	43.5	0	1446.8	0	1406.5	1446.8	1406.5
292	200	1455	0	7	0	47.8	0	1448	0	1407.2	1448	1407.2
293	200	1460	0	10	0	51.5	0	1450	0	1408.5	1450	1408.5
294	200	1465	0	13	0	54.4	0	1452	0	1410.6	1452	1410.6
295	200	1470	0	15.5	0	56.6	0	1454.5	0	1413.4	1454.5	1413.4
296	200	1475	0	18	0	58.9	0	1457	0	1416.1	1457	1416.1
297	200	1480	0	20.5	0	60.5	0	1459.5	0	1419.5	1459.5	1419.5
298	200	1485	0	22.8	0	62.5	0	1462.2	0	1422.5	1462.2	1422.5
299	200	1490	0	25.2	0	65	0	1464.8	0	1425	1464.8	1425
300	200	1495	0	27.6	0	68	0	1467.4	0	1427	1467.4	1427

301	200	1500	0	29.5	0	69.0	0	1470.5	0	1430.2	1470.5	1430.2
302	200	1505	0	31.5	0	71.5	0	1473.5	0	1433.5	1473.5	1433.5
303	200	1510	0	33.6	0	74.2	0	1476.4	0	1435.8	1476.4	1435.8
304	200	1515	0	35.6	0	76.5	0	1479.4	0	1438.5	1479.4	1438.5
305	200	1520	0	37.8	0	78.5	0	1482.2	0	1441.5	1482.2	1441.5
308	200	1525	0	39.4	0	80	0	1485.6	0	1445	1485.6	1445
307	200	1530	0	41.2	0	82.3	0	1488.8	0	1447.7	1488.8	1447.7
300	200	1535	0	42.6	0	83.0	0	1492.4	0	1451.2	1492.4	1451.2
309	200	1540	0	44	0	85.2	0	1496	0	1454.8	1496	1454.8
310	200	1545	0	45.4	0	86.5	0	1499.6	0	1458.5	1499.6	1458.5
311	200	1550	0	46.5	0	87	0	1503.5	0	1463	1503.5	1463
312	200	1555	0	47.6	0	87.8	0	1507.4	0	1467.2	1507.4	1467.2
313	200	1560	0	48.6	0	88.5	0	1511.4	0	1471.5	1511.4	1471.5
314	200	1565	0	50	0	89.8	0	1515	0	1475.2	1515	1475.2
315	200	1570	0	50.2	0	89.8	0	1519.8	0	1480.2	1519.8	1480.2
316	200	1575	0	51.2	0	90.2	0	1523.8	0	1484.8	1523.8	1484.8

317	200	1580	0	52	0	90.5	0	1528	0	1489.5	1528	1489.5
318	200	1585	0	52.8	0	90.8	0	1532.2	0	1494.2	1532.2	1494.2
319	200	1590	0	54.2	0	91	0	1535.8	0	1499	1535.8	1499
320	200	1595	0	54.5	0	91	0	1540.5	0	1504	1540.5	1504
321	200	1600	0	55	0	90.5	0	1545	0	1509.5	1545	1509.5
322	200	1605	0	55.3	0	90	0	1549.7	0	1515	1549.7	1515
323	200	1610	0	55.6	0	89.4	0	1554.4	0	1520.6	1554.4	1520.6
324	200	1615	0	55.8	0	88.4	0	1559.2	0	1526.6	1559.2	1526.6
325	200	1620	0	56	0	87	0	1564	0	1533	1564	1533
326	200	1625	0	56.2	0	86	0	1568.8	0	1539	1568.8	1539
327	200	1630	0	55.8	0	84.8	0	1574.2	0	1545.2	1574.2	1545.2
328	200	1635	0	55.6	0	82.5	0	1579.4	0	1552.5	1579.4	1552.5
329	200	1640	0	55.6	0	82.2	0	1584.4	0	1557.8	1584.4	1557.8
330	200	1645	0	55.5	0	81	0	1589.5	0	1564	1589.5	1564
331	200	1650	0	55.2	0	79.2	0	1594.8	0	1570.8	1594.8	1570.8
332	200	1655	0	54.8	0	77.8	0	1600.2	0	1577.2	1600.2	1577.2

333	200	1660	0	54.2	0	76.2	0	1605.8	0	1583.8	1605.8	1583.8
334	200	1665	0	54	0	75	0	1611	0	1590	1611	1590
335	200	1670	0	53.2	0	71.8	0	1616.8	0	1598.2	1616.8	1598.2
336	200	1675	0	52.6	0	69.5	0	1622.4	0	1605.5	1622.4	1605.5
337	200	1680	0	52	0	67.2	0	1628	0	1612.8	1628	1612.8
338	200	1685	0	51.5	0	65	0	1633.5	0	1620	1633.5	1620
339	200	1690	0	51	0	63.5	0	1639	0	1626.5	1639	1626.5
340	200	1695	0	50.2	0	60.5	0	1644.8	0	1634.5	1644.8	1634.5
341	200	1700	0	47.8	0	53.5	0	1652.2	0	1646.5	1652.2	1646.5
342	200	1705	0	46.6	0	50.6	0	1658.4	0	1654.4	1658.4	1654.4
343	200	1710	0	45.4	0	47.8	0	1664.6	0	1662.2	1664.6	1662.2
344	200	1715	0	44	0	44.8	0	1671	0	1670.2	1671	1670.2
345	200	1720	0	43	0	42.1	0	1677	0	1677.9	1677	1677.9
346	200	1725	0	41.3	0	39	0	1683.7	0	1686	1683.7	1686
347	200	1730	0	39.8	0	36.2	0	1690.2	0	1693.8	1690.2	1693.8
348	200	1735	0	38.5	0	33.5	0	1696.5	0	1701.5	1696.5	1701.5

349	200	1740	0	36.5	0	30.5	0	1703.5	0	1709.5	1703.5	1709.5
350	200	1745	0	35.2	0	27.8	0	1709.8	0	1717.2	1709.8	1717.2
351	200	1750	0	32.8	0	24.4	0	1717.2	0	1725.6	1717.2	1725.6
352	200	1755	0	31	0	22.2	0	1724	0	1732.8	1724	1732.8
353	200	1760	0	29	0	19.6	0	1731	0	1740.4	1731	1740.4
354	200	1765	0	27.7	0	17.7	0	1737.3	0	1747.3	1737.3	1747.3
355	200	1770	0	25.8	0	16	0	1744.2	0	1754	1744.2	1754
356	200	1775	0	23.5	0	14	0	1751.5	0	1761	1751.5	1761
357	200	1780	0	21.5	38.5	43	0	1758.5	0	1737	1758.5	1737
358	200	1785	0	19.3	39.5	46.5	0	1765.7	0	1738.5	1765.7	1738.5
359	200	1790	0	17.3	39.5	47.5	0	1772.7	0	1742.5	1772.7	1742.5
360	200	1795	0	15	39	47.5	0	1780	0	1747.5	1780	1747.5
361	200	1800	0	13	41	54	0	1787	0	1746	1787	1746
362	200	1805	0	11.6	40	58	0	1793.4	0	1747	1793.4	1747
363	200	1810	0	10	41	59.5	0	1800	0	1750.5	1800	1750.5
364	200	1815	0	8.2	40	61.5	0	1806.8	0	1753.5	1806.8	1753.5

365	200	1820	0	6.5	38.5	57.5	0	1813.5	0	1762.5	1813.5	1762.5
366	200	1825	0	5.2	35.5	56	0	1819.8	0	1769	1819.8	1769
367	200	1830	0	4	33	54.5	0	1826	0	1775.5	1826	1775.5
368	200	1835	0	2.6	35	54	0	1832.4	0	1781	1832.4	1781
369	200	1840	0	1.5	28	52	0	1838.5	0	1788	1838.5	1788
370	200	1845	0	0.5	25	50	0	1844.5	0	1795	1844.5	1795
371	200	1850	0	-0.7	22	50.5	0	1850.7	0	1799.5	1850.7	1799.5
372	200	1855	0	-1.4	19.5	0.5	0	1856.4	0	1854.5	1856.4	1854.5
373	200	1860	0	-1.8	0	0	0	1861.8	0	1860	1861.8	1860
374	200	1865	0	-2.2	0	-0.5	0	1867.2	0	1865.5	1867.2	1865.5
375	200	1870	0	-2.5	0	-1	0	1872.5	0	1871	1872.5	1871
376	200	1875	0	-2.8	0	-1.6	0	1877.8	0	1876.6	1877.8	1876.6
377	200	1880	0	-3.2	0	-2	0	1883.2	0	1882	1883.2	1882
378	200	1885	0	-3.4	0	-2.5	0	1888.4	0	1887.5	1888.4	1887.5
379	200	1890	0	-3.8	0	-3.4	0	1893.8	0	1893.4	1893.8	1893.4
380	200	1895	0	-3.8	0	-4	0	1898.8	0	1899	1898.8	1899

381	200	1900	0	-5	0	-4.8	0	1905	0	1904.8	1905	1904.8
382	200	1905	0	-5.4	0	-5.2	0	1910.4	0	1910.2	1910.4	1910.2
383	200	1910	0	-5.7	0	-5.5	0	1915.7	0	1915.5	1915.7	1915.5
384	200	1915	0	-6.4	0	-6	0	1921.4	0	1921	1921.4	1921
385	200	1920	0	-6.8	0	-6.5	0	1926.8	0	1926.5	1926.8	1926.5
386	200	1925	0	-7.2	0	-6.8	0	1932.2	0	1931.8	1932.2	1931.8
387	200	1930	0	-7.6	0	-7	0	1937.6	0	1937	1937.6	1937
388	200	1935	0	-8.2	0	-7.5	0	1943.2	0	1942.5	1943.2	1942.5
389	200	1940	0	-8.6	0	-7.8	0	1948.6	0	1947.8	1948.6	1947.8
390	200	1945	0	-9	0	-7.6	0	1954	0	1952.6	1954	1952.6
391	200	1950	0	-9.6	0	-8	0	1959.6	0	1958	1959.6	1958
392	200	1955	0	-10.4	0	-8.3	0	1965.4	0	1963.3	1965.4	1963.3
393	200	1960	0	-11	0	-8.2	0	1971	0	1968.2	1971	1968.2
394	200	1965	0	-11.8	0	-8.2	0	1976.8	0	1973.2	1976.8	1973.2
395	200	1970	0	-12.6	0	-8.4	0	1982.6	0	1978.4	1982.6	1978.4
396	200	1975	0	-13.2	0	-8.2	0	1988.2	0	1983.2	1988.2	1983.2

397	200	1980	0	14.4	0	-8	0	1965.6	0	1988	1965.6	1988
398	200	1985	0	15.2	0	-8	0	1969.8	0	1993	1969.8	1993
399	200	1990	0	-16	0	-7.5	0	2006	0	1997.5	2006	1997.5
400	200	1995	0	-16.8	0	-7.2	0	2011.8	0	2002.2	2011.8	2002.2
401	200	2000	0	17.5	0	-7	0	1982.5	0	2007	1982.5	2007
402	200	2005	0	-18.5	0	-6.5	0	2023.5	0	2011.5	2023.5	2011.5
403	200	2010	0	-19.5	0	-6	0	2029.5	0	2016	2029.5	2016
404	200	2015	0	-19	0	-4.8	0	2034	0	2019.8	2034	2019.8
405	200	2020	0	-20.5	0	-4.2	0	2040.5	0	2024.2	2040.5	2024.2
406	200	2025	0	-21.4	0	-3.5	0	2046.4	0	2028.5	2046.4	2028.5
407	200	2030	0	-23.2	0	-4	0	2053.2	0	2034	2053.2	2034
408	200	2035	0	-24.5	0	-3.4	0	2059.5	0	2038.4	2059.5	2038.4
409	200	2040	0	-25.5	0	-2.5	0	2065.5	0	2042.5	2065.5	2042.5
410	200	2045	0	-27	0	-1.8	0	2072	0	2046.8	2072	2046.8
											762.396	653.162

