



**RANCANG BANGUN ROBOT PEMBERSIH SOLAR PANEL  
MENGUNAKAN KAMERA DENGAN *MICROCONTROLLER* ESP32  
CAM**

Laporan Tugas Akhir

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan pendidikan pada Program Studi  
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi Departemen Teknologi Industri  
Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

Disusun oleh:

Romy Deswanto 40040319650007

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI  
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI  
SEKOLAH VOKASI  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
2023**

**HALAMAN PERSETUJUAN**  
**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
**RANCANG BANGUN ROBOT PEMBERSIH SOLAR PANEL**  
**MENGGUNAKAN KAMERA DENGAN *MICROCONTROLLER* ESP32**  
**CAM**

Diajukan oleh:

Romy Deswanto

40040319650007

**TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH**  
DOSEN PEMBIMBING,

**Drs. Eko Ariyanto, M.T**  
NIP. 196004051986021001

Tanggal

Mengetahui,  
Ketua  
Prodi Teknologi Rekayasa Otomasi  
Departemen Teknologi Industri  
Sekolah Vokasi  
Universitas Diponegoro

**Priyo Sasmoko, S.T. M.Eng.**  
NIP. 197009161998021001

Tanggal

**HALAMAN PENGESAHAN**

TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN ROBOT PEMBERSIH SOLAR PANEL  
MENGUNAKAN KAMERA DENGAN *MICROCONTROLLER* ESP32  
CAM**

Disusun oleh:

Romy Deswanto

NIM 40040319650007

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji pada tanggal

28 Agustus 2023

Ketua Tim Penguji/Pembimbing

**Drs. Eko Ariyanto, M.T**

NIP. 196004051986021001

Penguji I,

Penguji II,

**Priyo Sasmoko, S.T. M.Eng.**

NIP. 197009161998021001

**Aulia Istiqomah, SST., M.T.**

NIP. 199306122022042001

Mengetahui,

Ketua Prodi

Teknologi Rekayasa Otomasi

Departemen Teknologi Industri

Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

**Priyo Sasmoko, S.T. M.Eng.**

NIP. 197009161998021001

## **SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Romy Deswanto  
NIM : 40040319650007  
Program Studi : Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa  
Otomasi Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi  
Universitas Diponegoro  
Judul Tugas Akhir : **RANCANG BANGUN ROBOT PEMBERSIH SOLAR  
PANEL MENGGUNAKAN KAMERA DENGAN  
MICROCONTROLLER ESP32 CAM**

Dengan ini menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No.17 Tahun 2010 dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 7 Agustus 2023  
Yang membuat pernyataan,

Romy Deswanto

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan ini saya persembahkan dan didedikasikan untuk:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai dengan lancar.
2. Alm. R Bambang Pudjiono selaku ayah dari penyusun, Nining selaku ibu dari penyusun, Roby Purwoko selaku kakak kandung dari penyusun, terima kasih atas doa serta dukungan yang diberikan.
3. Dosen-dosen yang selama empat tahun ini telah memberikan bekal ilmu kepada kami.
4. Bapak Drs. Eko Ariyanto, M.T selaku dosen pembimbing Tugas Akhir saya yang telah memberikan banyak masukan serta dukungan moril.
5. Para partner dan teman – teman Kapak Empire selaku rekan – rekan yang selalu mendukung dan membantu satu sama lain.
6. Teman-teman Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro angkatan 2019 yang selalu mendukung satu sama lain dan selalu bersama hingga detik ini.
7. Afit dan Azizi serta rekan – rekan URDC yang selalu membantu dan mendukung satu sama lain.
8. KKN TIM II Karangdowo Kabupaten Klaten yang selalu mendukung satu sama lain.
9. Teman-teman sejak dulu hingga detik ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang selalu mengoreksi dan mendukung penyusun.

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penyusun panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat, hidayah dan inayah-Nya penyusun dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. Dalam menyusun Tugas Akhir penyusun mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak selama proses penyusunan Tugas Akhir ini hingga selesai. Oleh karena itu penyusun berterima kasih kepada:

1. Bapak Prof . Dr. Ir. Budiyo, M. Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
2. Bapak Priyo Sasmoko, S.T., M.Eng., selaku Ketua Prodi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
3. Bapak Drs. Eko Ariyanto, M.T selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
4. Staff Pengajar dan Karyawan Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomasi Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan tugas akhir ini.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa dalam laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan, karena keterbatasan pengetahuan penyusun menerima saran dan kritik yang membangun. Semoga penyusunan laporan tugas akhir ini bermanfaat untuk semua pihak.

Semarang, 10 Agustus 2023

Romy Deswanto

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir .....	2
1.4 Manfaat Tugas Akhir .....	3
1.5 Pembatasan Masalah .....	3
1.6 Sistematika Laporan .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori .....	5
2.2.1 Internet of Things .....	5
2.2.2 Kontrol PID .....	6
2.2.3 ESP32 Cam.....	8
2.2.4 Arduino Mega 2560 Mini .....	11
2.2.5 Motor DC Gearbox.....	13
2.2.6 Sensor Rotary Encoder .....	15
2.2.7 Sensor HC SR 04.....	18
2.2.8 Sensor IMU .....	19

2.2.9 Water Level Sensor.....	20
2.2.10 Driver Motor.....	21
2.2.11 Relay Dual Channel.....	22
2.2.12 Water Pump .....	23
2.2.13 Servo Motor.....	24
2.2.14 Battery Li-Ion 18650 .....	27
2.2.15 Step Down .....	29
2.2.16 Buzzer.....	30
2.2.17 Arduino IDE .....	31
2.2.18 Blynk .....	32
2.2.19 Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Hasil Pengukuran Komponen.....	32
2.2.20 Mobile Robot.....	33
2.2.21 Solar Panel.....	33
2.2.22 Perhitungan Konsumsi Baterai .....	34
2.2.23 Perhitungan Persentase Efisiensi .....	34
<b>BAB III METODELOGI.....</b>	<b>35</b>
3.1 Blok Diagram .....	35
3.1.1 Diagram Blok Alat.....	35
3.1.2 Diagram Blok Sistem .....	36
3.2 Gambar 3D .....	38
3.2.1 Base Robot .....	40
3.2.2 Sikat Robot.....	41
3.3 Spesifikasi dan Fitur.....	42
3.3.1 Dimensi Alat.....	42
3.3.2 Batas Kemampuan Kerja Alat .....	42
3.3.3 Konsumsi Daya Listrik.....	43
3.4 Teknik Pabrikasi .....	43
3.4.1 Alat dan Bahan .....	43
3.4.2 Perancangan Mekanik .....	44
3.4.3 Perancangan Elektrik.....	47



3.4.4 Perancangan Software .....	49
<b>BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA.....</b>	<b>62</b>
4.1 Pengujian Fungsionalitas Modul .....	62
4.1.1 Pengujian Sensor Tegangan Baterai .....	62
4.1.2 Pengujian Sensor Encoder RPM Motor DC .....	63
4.1.3 Pengujian Sensor Ultrasonic .....	64
4.1.4 Pengujian MPU 6050 .....	65
4.1.5 Pengujian Gerak Servo .....	66
4.1.6 Pengujian Tegangan Driver Motor DC dengan PWM.....	66
4.1.7 Pengujian Water Level Sensor.....	67
4.1.8 Pengujian Kamera .....	68
4.2 Pengujian Alat Keseluruhan .....	68
4.2.1 Pengujian Pergerakan Robot .....	69
4.2.2 Pengujian Kapasitas Area Pembersihan Robot .....	71
4.2.3 Pengujian Tampilan Blynk .....	74
4.2.4 Pengujian Konsumsi Daya Pada Robot Solar Panel .....	75
4.2.5 Pengujian Pergerakan Robot Pada Area Kemiringan .....	76
4.2.6 Pengujian Daya Tahan Robot .....	76
4.2.7 Analisis Grafik PID .....	77
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>78</b>
5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran.....	79
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>80</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>82</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Internet of Things.....	6
Gambar 2. 2 ESP32 Cam .....	8
Gambar 2. 3 Pinout ESP32 Cam.....	9
Gambar 2. 4 Arduino Mega 2560 Mini .....	11
Gambar 2. 5 Motor DC JGY .....	13
Gambar 2. 6 Motor Rotary Encoder .....	15
Gambar 2. 7 Bagian Rotary Encoder .....	16
Gambar 2. 8 Mekanisme Pembacaan Sinyal Encoder .....	17
Gambar 2. 9 Sensor Ultrasonic .....	18
Gambar 2. 10 Sensor IMU (MPU 6050).....	19
Gambar 2. 11 Water Level Sensor .....	20
Gambar 2. 12 Driver Motor LM 298 .....	21
Gambar 2. 13 Relay Dual Channel .....	22
Gambar 2. 14 Water Pump DC .....	23
Gambar 2. 15 Motor Servo MG 90 .....	25
Gambar 2. 16 Rangkaian Motor Servo .....	25
Gambar 2. 17 Posisi Servo Sesuai Jumlah PWM .....	26
Gambar 2. 18 Baterai Lithium Ion .....	27
Gambar 2. 19 Driver Stepdown .....	30
Gambar 2. 20 Buzzer .....	31
Gambar 2. 21 Mobile Robot .....	33
Gambar 2. 22 Solar Panel Berdebu.....	34
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem Alat .....	35
Gambar 3. 2 Diagram Blok Putaran Motor Mode Auto .....	36
Gambar 3. 3 Diagram Blok Putaran Motor Mode Manual .....	37
Gambar 3. 4 Diagram Blok Sistem MPU 6050 .....	37
Gambar 3. 5 Diagram Blok Water Level Sensor .....	37
Gambar 3. 6 Diagram Blok Arm 2 DoF .....	38
Gambar 3. 7 Diagram Blok pergerakan Robot .....	38
Gambar 3. 8 Tampak Keseluruhan Bagian Robot .....	39
Gambar 3. 9 Exploded View Robot.....	39
Gambar 3. 10 Tampilan Dimensi Robot Tampak Atas.....	40

Gambar 3. 11 Tampilan Dimensi Robot Tampak Depan.....	40
Gambar 3. 12 Tampilan Dimensi Robot Tampak Samping.....	40
Gambar 3. 13 Tampilan Base Robot Tampak Atas .....	40
Gambar 3. 14 Tampilan Base Robot Isometric.....	40
Gambar 3. 15 Tampilan Dimensi Sikat Robot Tampak Atas .....	41
Gambar 3. 16 Tampilan Dimensi Sikat Robot Tampak Depan .....	41
Gambar 3. 17 Tampilan Dimensi Sikat Robot.....	41
Gambar 3. 18 Tampilan Sikat Robot Tampak Atas .....	41
Gambar 3. 19 Tampilan Sikat Robot Isometric .....	41
Gambar 3. 20 Pemotongan Plat Galvanis .....	45
Gambar 3. 21 <i>Bending</i> pada plat Galvanis.....	45
Gambar 3. 22 Pengeboran Plat Galvanis .....	45
Gambar 3. 23 Pengelasan Plat Galvanis .....	45
Gambar 3. 24 Tampak Depan Base Robot.....	46
Gambar 3. 25 Tampak Samping Base Robot.....	46
Gambar 3. 26 Tampak Atas Base Robot.....	46
Gambar 3. 27 Tampak Isometric Base Robot.....	46
Gambar 3. 28 Tampak Depan Sikat Robot .....	46
Gambar 3. 29 Tampak Samping Sikat Robot .....	46
Gambar 3. 30 Tampak Atas Sikat .....	46
Gambar 3. 31 Tampak Isometric Sikat .....	46
Gambar 3. 32 Tampak Depan Sikat Robot .....	47
Gambar 3. 33 Tampak Samping Sikat Robot .....	47
Gambar 3. 34 Tampak Atas Sikat .....	47
Gambar 3. 35 Tampak Isometric .....	47
Gambar 3. 36 Diagram Skematik .....	49
Gambar 3. 37 Diagram Alir ESP32 Cam.....	50
Gambar 3. 39 Diagram Alir Arduino Mode Otomatis.....	51
Gambar 3. 40 Diagram Alir Arduino Mode Manual .....	52
Gambar 3. 41 Halaman <i>Login</i> Blynk .....	56
Gambar 3. 42 Halaman Awal Blynk.....	57
Gambar 3. 43 Halaman <i>Developer Mode</i> .....	58
Gambar 3. 44 Halaman <i>New Template</i> .....	59
Gambar 3. 45 Halaman <i>Widget Box</i> .....	60

Gambar 3. 46 <i>Interface</i> Siap Digunakan.....	61
Gambar 4. 1 Posisi Awal Pergerakan Robot (Manual).....	69
Gambar 4. 2 Posisi Akhir Pergerakan Robot (Manual) .....	69
Gambar 4. 3 Posisi Awal Pergerakan Robot (Otomatis) .....	70
Gambar 4. 4 Posisi Akhir Pergerakan Robot (Otomatis).....	70
Gambar 4. 5 Penimbangan Tanah Sebelum Diuji (Otomatis) .....	72
Gambar 4. 6 Penimbangan Tanah Setelah Diuji (Otomatis).....	72
Gambar 4. 7 Penimbangan Tanah Sebelum Diuji (Manual).....	72
Gambar 4. 8 Penimbangan Tanah Setelah Diuji (Manual) .....	72
Gambar 4. 9 Robot Solar Panel Sebelum Uji Pembersihan.....	73
Gambar 4. 10 Robot Solar Panel Setelah Uji Pembersihan .....	73
Gambar 4. 11 Menjalankan Mode Manual (Maju) .....	74
Gambar 4. 12 Menjalankan Mode Otomatis.....	74
Gambar 4. 13 Menjalankan Mode <i>Water Pump On</i> .....	74
Gambar 4. 14 Menjalankan Mode Motor Sikat <i>On</i> .....	74
Gambar 4. 15 Grafik Respon Sistem PID pada Motor DC.....	77

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Esp32 Cam .....	10
Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino Mega 2560 Mini.....	12
Tabel 2. 3 Spesifikasi Motor JGY .....	14
Tabel 2. 4 Spesifikasi Encoder Motor JGY 370 .....	16
Tabel 2. 5 <i>Pinout Rotary Encoder</i> .....	16
Tabel 2. 6 Spesifikasi Umum Sensor Ultrasonic HC SR 04.....	18
Tabel 2. 7 Spesifikasi Umum Sensor IMU .....	20
Tabel 2. 8 Spesifikasi Water Level Sensor .....	21
Tabel 2. 9 Spesifikasi Driver Motor DC L298N.....	22
Tabel 2. 10 Spesifikasi relay dual channel.....	23
Tabel 2. 11 Spesifikasi Pump DC 12V .....	24
Tabel 2. 12 Spesifikasi Servo MG 90 .....	26
Tabel 2. 13 Kelebihan dan kekurangan Baterai Li-ION.....	28
Tabel 2. 14 Datasheet Baterai Samsung Litium Ion ICR18650.....	29
Tabel 2. 15 Spesifikasi Stepdown LM2596.....	30
Tabel 2. 16 Spesifikasi Buzzer .....	31
Tabel 3. 1 Dimensi Alat Robot Solar Panel.....	42
Tabel 3. 2 Batas Kemampuan Kerja Alat Robot Solar Panel .....	42
Tabel 3. 3 Konsumsi Daya Listrik Solar Panel Robot.....	43
Tabel 3. 4 Alat dan Bahan .....	44
Tabel 3. 5 Proses Pembuatan Rangka Robot .....	45
Tabel 3. 6 Hasil Pengerjaan Base Robot.....	46
Tabel 3. 7 Hasil Pengerjaan Rumah Sikat Robot.....	46
Tabel 3. 8 Hasil Assembly Robot .....	47
Tabel 3. 9 Konfigurasi Pin.....	48
Tabel 3. 10 Penjelasan program Arduino Mega .....	53
Tabel 3. 11 Menjelaskan Program ESP32 Cam.....	54
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sensor Tegangan .....	63
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor Encoder.....	64
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor Ultrasonic HC-SR 04.....	64
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Sensor MPU 6050 .....	65
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Servo.....	66
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Tegangan Driver Motor DC dengan PWM .....	67

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Water Level Sensor .....	67
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Kamera ESP32 Cam .....	68
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Pergerakan Manual .....	69
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Pergerakan Robot Otomatis.....	71
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Efisiensi Kapasitas Area Pembersihan .....	73
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Konsumsi Daya Robot Solor Panel .....	75
Tabel 4. 13 Pengujian Kemiringan Robot.....	76

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Coding Arduino Mega.....	82
Lampiran 2 Coding ESP32 Cam.....	100
Lampiran 3 Datasheet ESP32 .....	106
Lampiran 4 Datasheet Arduino Mega 2560 Mini .....	110
Lampiran 5 Datasheet Sensor Ultrasonic HC SR 04 .....	113
Lampiran 6 Datasheet Motor DC JGY 370 .....	115
Lampiran 7 Driver LN298N .....	116
Lampiran 8 Datasheet Relay Dual Channel.....	117
Lampiran 9 Datasheet Buzzer.....	118
Lampiran 10 Datasheet Battery Voltage Sensor .....	119
Lampiran 11 Water Pump DC 12V .....	120
Lampiran 12 Sensor IMU MPU6050.....	121
Lampiran 13 Water Level Sensor .....	122

## **ABSTRAK**

### **RANCANG BANGUN ROBOT PEMBERSIH SOLAR PANEL MENGUNAKAN KAMERA DENGAN *MICROCONTROLLER* ESP32 CAM**

Romy Deswanto

Teknologi Rekayasa Otomasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro

Pembersihan dan pemeliharaan solar panel yang tepat sangat penting untuk memastikan kinerja optimal dan efisiensi energi yang berkelanjutan. Namun, tugas pembersihan manual seringkali sulit, berisiko tinggi, dan memakan waktu. Oleh karena itu, tugas akhir ini membahas pembuatan robot pembersih solar panel yang mengintegrasikan kamera ESP32-CAM pada media solar panel 100WP, dengan kecepatan motor 25 RPM. Robot ini dirancang untuk secara otomatis membersihkan solar panel guna memaksimalkan efisiensi pengumpulan energi matahari. Kamera ESP32-CAM digunakan untuk memantau kondisi kekotoran pada solar panel, dan motor dikendalikan untuk merespons kondisi tersebut. Pengujian lapangan pada kondisi yang cerah menunjukkan kemampuan robot dalam menjaga kebersihan solar panel dan potensi penerapan teknologi ini dalam mendukung efisiensi penyerapan sistem energi matahari.

**Kata Kunci:** Robot Pembersih Solar Panel, Kamera ESP32-CAM, Media Solar Panel 100WP, Kecepatan Motor 25 RPM, Efisiensi Energi Surya.



## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF SOLAR PANEL CLEANING ROBOT USING CAMERA WITH ESP32 CAM MICROCONTROLLER**

Romy Deswanto

*Automation Engineering, Vocational School, Diponegoro University*

*Proper cleaning and maintenance of solar panels is essential to ensure optimal performance and continued energy efficiency. However, manual cleaning tasks are often difficult, high-risk, and time-consuming. Therefore, this final project addresses the development of a solar panel cleaning robot that integrates an ESP32-CAM camera on a 100WP solar panel media, with a motor speed of 25 RPM. This robot is designed to automatically clean solar panels to maximize the efficiency of solar energy collection. The ESP32-CAM camera is used to monitor the dirtiness condition on the solar panel, and the motor is controlled to respond to the condition. Field testing in sunny conditions demonstrated the robot's ability to keep the solar panel clean and the potential application of this technology in supporting the absorption efficiency of solar energy systems.*

**Keywords:** *Solar Panel Cleaning Robot, ESP32-CAM Camera, 100WP Solar Panel Media, 25 RPM Motor Speed, Solar Energy Efficiency*