

IMPLEMENTASI ACCESS CONTROL LIST BERBASIS PROTOKOL MQTT PADA PERANGKAT NODEMCU

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun oleh:
Ardhian Rizki Ramadhani
NIM: 135150207111030



PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2017

PENGESAHAN

IMPLEMENTASI ACCESS CONTROL LIST BERBASIS PROTOKOL MQTT PADA
PERANGKAT NODEMCU

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun Oleh :
Ardhian Rizki Ramadhani
NIM: 135150207111030

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
14 Desember 2017

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Adhitya Bhawiyuga, S.Kom, M.S
NIK. 201405 890720 1 001

Reza Andria Siregar, S.T., M.Kom.
NIP. 19790621 200604 1 003

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Informatika

Tri Astoto Kurniawan, S.T, M.T, Ph.D
NIP. 19710518 200312 1 001

IDENTITAS TIM PENGUJI

JUDUL SKRIPSI:

IMPLEMENTASI ACCESS CONTROL LIST BERBASIS PROTOKOL MQTT PADA
PERANGKAT NODEMCU

Nama Mahasiswa : Ardhian Rizki Ramadhani

NIM : 135150207111030

Program Studi S1 : Teknik Informatika

DOSEN PEMBIMBING

Dosen Pembimbing 1 : Adhitya Bhawiyuga, S.Kom, M.S

Dosen Pembimbing 2 : Reza Andria Siregar, S.T., M.Kom.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Eko Sakti Pramukantoro, S.Kom, M.Kom

Dosen Penguji 2 : Widhi Yahya, S.Kom., M.Sc.

Tanggal Ujian : 14 Desember 2017

SK Penguji : No. 362 TAHUN 2017

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (sarjana) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 14 Desember 2017

Ardhian Rizki Ramadhani

NIM: 135150207111030

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan pada tanggal 3 Februari 1996 di Kota Jakarta dengan nama Ardhian Rizki Ramadhani dari pasangan Bapak M.K.S. Budi Cahyanto dan Ibu Sri Ratnawati. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara, yang dibesarkan di Bogor dengan alamat Bumi Mutiara Blok JD 5 No. 29, Bj. Kulur – Gn. Putri, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri Jatiasih VIII dan dinyatakan lulus pada tahun 2006, dan melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri IX Kota Bekasi dan dinyatakan lulus pada tahun 2009, kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA 3 Kota Bekasi dan dinyatakan lulus pada tahun 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan S1 di perguruan tinggi, tepatnya Universitas Brawijaya Malang di Pendidikan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (Sekarang Fakultas Ilmu Komputer) pada Program Studi Teknik Informatika. Sampai dengan penulisan skripsi dengan judul “IMPLEMENTASI ACCESS CONTROL LIST BERBASIS PROTOKOL MQTT PADA PERANGKAT NODEMCU” ini penulis masih terdaftar sebagai mahasiswa aktif program S1 pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya dan telah dinyatakan lulus pada tanggal 14 Desember 2017.

KATA PENGANTAR

Segala puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah 'Azza Wa Jalla dan tidak ada tuhan melainkan DIA dan tidak ada pula sekutu baginya, dan berkat ilmu, karunia serta rahmat-NYA sehingga penulis berhasil menyelesaikan penelitian skripsi yang berjudul "IMPLEMENTASI ACCESS CONTROL LIST BERBASIS PROTOKOL MQTT PADA PERANGKAT NODEMCU" sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa segala hal yang didapatkan melalui penelitian ini, baik dalam proses, penulisan dan hasil, tidak akan bisa diperoleh tanpa adanya bantuan, petunjuk, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak yang terlibat secara langsung maupun secara tidak langsung. Oleh karena itu pada bagian ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Bapak Adhitya Bhawiyuga, S.Kom, M.S dan Bapak Reza Andria Siregar, S.T., M.Kom. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama penelitian dimulai hingga skripsi ini bisa terselesaikan.
2. Kedua Orangtua penulis, Bapak M.K.S. Budi Cahyanto dan Ibu Sri Ratnawati serta kedua saudari penulis, Radita dan Radiska. Karena berkat do'a, dukungan, motivasi dan kasih sayang yang diberikan selama penulis melaksanakan studi hingga berhasil menyelesaikan skripsi.
3. Seluruh dosen Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya atas ilmu yang bermanfaat yang telah penulis dapatkan yang dapat diterapkan dalam penelitian ini dan dalam kehidupan profesional penulis nantinya.
4. Teman sekaligus sahabat penulis yaitu Kevin, Bela, Bona, Raissa, Puspita, Karina, Shelly dan Laela sebagai teman satu perjuangan selama menjalani kegiatan perkuliahan di Malang yang memberikan segala kenangan dan berbagai pelajaran pada penulis.
5. Teman Kontrakan yang selalu memiliki berbagai cara untuk menyenangkan dan menyusahkan pada saat yang bersamaan yaitu Labib, Gandara, Roy, Maulana, Fajar, Reinaldy, Gusung, Abraham dan Adi berkat segala kenangan dan dorongan yang diberikan.
6. Gina Lutfiana sebagai teman dan sahabat dekat yang telah bersedia menemani dengan penuh kesabaran serta memberikan lebih dari dukungan untuk segera menyelesaikan skripsi ini.
7. Seluruh pihak yang namanya tidak dapat penulis cantumkan satu per satu, seperti teman-teman program studi Teknik Informatika angkatan 2013, kakak tingkat dan adik tingkat, teman-teman diluar universitas, dll. atas segala bentuk bantuan yang telah diberikan pada penulis.

Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna dikarenakan segala keterbatasan dan kekurangan yang penulis miliki. Oleh karena itu, saran serta kritik sangatlah penulis harapkan guna mencapai hasil yang lebih baik. Dengan segala harapan penulis agar penelitian yang penulis lakukan dalam skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan seluruh pembaca dalam bentuk apapun.

Akhir kata, penulis ucapkan terima kasih kepada pembaca yang telah menyempatkan untuk membaca skripsi ini.

Malang, 14 Desember 2017

Penulis

ramadhani.rdn@gmail.com

ABSTRAK

Protokol MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) merupakan sebuah protokol *Internet of Things* yang berbasis mekanisme *topic-based publish-subscribe* yang cocok diimplementasikan pada lingkungan dan perangkat yang memiliki keterbatasan, dikarenakan bersifat *light-weight*. Seperti yang ada pada protokol lainnya, MQTT memiliki masalah terkait keamanan dalam hal privasi data, untuk memastikan identitas dari klien pada protokol MQTT diperlukan sebuah mekanisme autentikasi dan otorisasi. Mekanisme otorisasi dalam MQTT dapat dilakukan dengan menerapkan *Access Control List* (ACL) pada broker yang akan mengatur hak dari klien untuk mengakses suatu topik pada sistem terkait aktivitas tertentu, seperti *publish* atau *subscribe*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana menerapkan mekanisme otorisasi menggunakan ACL pada protokol MQTT yang menggunakan perangkat terbatas yaitu nodeMCU dan bagaimana pengaruh ACL yang diterapkan pada protokol MQTT untuk mengatur hak akses klien yang hendak melakukan *publish* atau *subscribe*. Penelitian ini dilakukan menggunakan broker mosquitto yang menerapkan *plugin* auth-plug sebagai mekanisme autentikasi dan otorisasi, ACL pada penelitian ini didesain pada database MySQL yang akan diakses oleh auth-server. Broker dan auth-server akan saling berkomunikasi untuk memeriksa identitas dan hak akses klien MQTT, *username* dan *password* klien akan di-*encode* menggunakan token JWT (JSON Web Token) yang digunakan sebagai identitas klien dan ACL dirancang menggunakan peran yang dimiliki oleh setiap klien. Berdasarkan hasil pengujian, ACL yang dirancang pada protokol MQTT berhasil mengamankan sistem berbasis protokol MQTT dengan perangkat nodeMCU dengan melakukan mekanisme autentikasi dengan token JWT dan mekanisme otorisasi berdasarkan peran klien, serta berhasil menangani sebanyak 141 pesan per detik, dengan rata-rata waktu untuk *publish* satu pesan dalam waktu 0,7092 detik.

Kata kunci: MQTT, *Access Control List*, *Authorization*, NodeMCU, ESP8266, JWT, *Authentication*

ABSTRACT

The Message Queuing Telemetry Transport Protocol (MQTT) is an Internet of Things protocol based of a topic-based publish-subscribe mechanism that is suitable to be implemented in environments with limitations and constrained devices, due to their light-weight characteristic. As in other many protocols, MQTT has a security problem in terms of data privacy, to ensure the identity of the client which access systems with MQTT protocol required an authentication and authorization mechanisms. In the MQTT protocol, authorization mechanism can be achieved by applying an Access Control List (ACL) to the broker that will govern the rights of the client to access certain topic on a system related to a particular activity, such as publish or subscribe. This research will be carried out to find out about how to implement authorization mechanisms using the so called ACLs on the MQTT protocols based system that use a constrained devices ie nodeMCU and how the ACLs effects MQTT protocol in case to set client permissions who wants to do publish or subscribe. The research will be conducted using a mosquitto broker that implements the auth-plugin plugin as an authentication and authorization mechanism, the ACLs will be designed on the MySQL database and to be accessed by an auth-server. Brokers and auth-servers will communicate with each other to check the identity and permissions of the MQTT client, the client's username and password will be encoded using JSON Web Token (JWT) used as the client's identity, and the ACLs will be designed using a role that each client has. Based on the test results, ACLs designed on MQTT protocols managed to secure MQTT protocol-based systems with nodeMCU devices by performing authentication mechanisms with JWT tokens and authorization mechanisms based on client roles successfully, also successfully handle message with total of 141 each seconds with average time needed to publish each message in the course of 0,7092 seconds.

Keywords: MQTT, Access Control List, Authorization, NodeMCU, ESP8266, JWT, Authentication

DAFTAR ISI

PENGESAHAN	ii
IDENTITAS TIM PENGUJI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Pembahasan	4
BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 <i>Internet of Things</i> (IoT)	7
2.3 Mekanisme Autentikasi & Otorisasi	8
2.3.1 <i>Access Control List</i> (ACL)	9
2.4 <i>Message Queuing Telemetry Transport</i> (MQTT)	10
2.5 Mosquitto Broker.....	13
2.5.1 Mosquitto Auth-plug.....	13
2.6 JSON Web Token (JWT).....	14
2.7 NodeMCU (ESP8266)	15
BAB 3 METODOLOGI	16
3.1 Metodologi Penelitian	16

3.2 Studi Literatur	17
3.3 Rekayasa Kebutuhan.....	17
3.3.1 Kebutuhan Perangkat Keras.....	18
3.3.2 Kebutuhan Perangkat Lunak	18
3.4 Perancangan	18
3.5 Implementasi	19
3.6 Pengujian dan Analisis	19
3.7 Kesimpulan dan Saran	20
BAB 4 REKAYASA KEBUTUHAN DAN PERANCANGAN	21
4.1 Rekayasa Kebutuhan Sistem.....	21
4.1.1 Deskripsi Umum Sistem	21
4.1.2 Kebutuhan Fungsional.....	22
4.1.3 Kebutuhan Non-Fungsional	23
4.2 Perancangan Sistem.....	24
4.2.1 Perancangan <i>Publisher</i>	24
4.2.2 Perancangan <i>Subscriber</i>	26
4.2.3 Perancangan Broker MQTT	28
4.2.4 Perancangan Klien MQTT	30
4.2.5 Perancangan Auth-Server	32
4.2.6 Perancangan Skema Database	33
4.2.7 Perancangan Topik & <i>Access Control List</i>	34
4.2.8 Perancangan Perangkat NodeMCU	36
4.3 Perancangan Pengujian	40
4.3.1 Pengujian Fungsional Sistem.....	40
4.3.2 Pengujian Keamanan Sistem.....	42
4.3.3 Pengujian Performa Sistem.....	45
BAB 5 IMPLEMENTASI	47
5.1 MQTT Broker.....	47
5.1.1 Implementasi Mosquitto Broker.....	47
5.1.2 Implementasi OpenSSL pada Mosquitto.....	48
5.1.3 Implementasi Mosquitto Auth-Plug.....	48
5.2 Auth-Server	49

5.2.1 Implementasi MySQL dan PhpMyAdmin	50
5.2.2 Implementasi Auth-Server dengan Bottle Framework	50
5.3 Perangkat NodeMCU	54
5.3.1 Implementasi NodeMCU + LED	54
5.3.2 Implementasi NodeMCU + DHT11	58
5.4 <i>Setup</i> Sistem.....	61
BAB 6 PENGUJIAN DAN ANALISIS.....	63
6.1 Pengujian Fungsional Sistem	63
6.2 Pengujian Keamanan Sistem.....	64
6.2.1 Pengujian Mekanisme Autentikasi Sistem	64
6.2.2 Pengujian Mekanisme Otorisasi Sistem Melalui Publish	75
6.2.3 Pengujian Mekanisme Otorisasi Sistem Melalui Subscribe	86
6.3 Pengujian Performa Sistem	98
BAB 7 PENUTUP	101
7.1 Kesimpulan.....	101
7.2 Saran	102
DAFTAR PUSTAKA.....	103
LAMPIRAN 1 : <i>Source Code</i>	105
LAMPIRAN 2 : Gambar Hasil Pengujian.....	117

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kajian Pustaka	6
Tabel 2.2 Auth-Plug Backend Support	14
Tabel 4.1 Kebutuhan Fungsional.....	23
Tabel 4.2 Kebutuhan Non-Fungsional.....	23
Tabel 4.3 Desain Role & Permissions	36
Tabel 4.4 Skenario Pengujian Fungsional Sistem	40
Tabel 4.5 Skenario Pengujian Mekanisme Autentikasi Sistem	43
Tabel 4.6 Skenario Pengujian Mekanisme Otorisasi (Publish).....	44
Tabel 4.7 Skenario Pengujian Mekanisme Otorisasi (Subscribe).....	45
Tabel 5.1 Konfigurasi File “mosquitto.conf”	49
Tabel 5.2 Source Code Mekanisme Autentikasi pada Auth-Server	51
Tabel 5.3 Source Code Mekanisme Otorisasi pada Auth-Server	52
Tabel 5.4 Source Code Mekanisme Cek Superuser pada Auth-Server	53
Tabel 5.5 Source Code Inisialisasi Klien MQTT pada NodeMCU+LED.....	55
Tabel 5.6 Source Code Koneksi & Subscribe pada NodeMCU+LED	56
Tabel 5.7 Source Code Publish pada NodeMCU+LED	57
Tabel 5.8 Source Code Penanganan Pesan Masuk pada NodeMCU+LED.....	57
Tabel 5.9 Source Code Inisialisasi Klien MQTT pada NodeMCU+DHT11.....	59
Tabel 5.10 Source Code Koneksi pada NodeMCU+DHT11	60
Tabel 5.11 Source Code Publish pada NodeMCU+DHT11	60
Tabel 6.1 Hasil Pengujian Fungsional Sistem	63
Tabel 6.2 Paramater Pengujian Performa Sistem	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Konsep IoT	8
Gambar 2.2 Mekanisme Keamanan Informasi	9
Gambar 2.3 Contoh Access Control List (ACL)	9
Gambar 2.4 Struktur Access Control List (ACL)	10
Gambar 2.5 MQTT OSI Layer	10
Gambar 2.6 Arsitektur Protokol Komunikasi MQTT	11
Gambar 2.7 Alur Komunikasi Publish/Subscribe MQTT	12
Gambar 2.8 Keamanan pada MQTT	12
Gambar 2.9 Struktur JWT pada kondisi Encoded & Decoded	14
Gambar 2.10 NodeMCU v2 (ESP8266)	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	16
Gambar 4.1 Gambaran Arsitektur Umum Sistem	21
Gambar 4.2 Alur Kerja Sistem Penanganan Publisher	25
Gambar 4.3 Format Pesan Saat Publish	26
Gambar 4.4 Alur Kerja Sistem Penanganan Subscriber	27
Gambar 4.5 Format Pesan Saat Subscribe	28
Gambar 4.6 Flowchart Broker Mosquitto	29
Gambar 4.7 Flowchart Klien MQTT sebagai Publisher	31
Gambar 4.8 Flowchart Klien MQTT sebagai Subscriber	31
Gambar 4.9 Flowchart Auth-Server	32
Gambar 4.10 Skema Database	33
Gambar 4.11 MQTT Topic Tree	34
Gambar 4.12 Skema nodeMCU + LED	37
Gambar 4.13 Skema nodeMCU + DHT11	37
Gambar 4.14 Flowchart nodeMCU + LED	38
Gambar 4.15 Flowchart nodeMCU + DHT11	39
Gambar 5.1 Perintah Install Requirement Untuk Mosquitto	47
Gambar 5.2 Perintah Install Mosquitto	47
Gambar 5.3 Perintah Pembuatan Key & Sertifikat TLS/SSL	48
Gambar 5.4 Perintah Install Requirement Mosquitto Auth-Plug	48
Gambar 5.5 Perintah Install Mosquitto Auth-Plug	49

Gambar 5.6 Perintah Install LAMP dan PhpMyAdmin.....	50
Gambar 5.7 Perintah Install Python dan Bottle Framework.....	50
Gambar 5.8 Implementasi Perangkat Keras nodeMCU + LED	55
Gambar 5.9 Implementasi Perangkat Keras nodeMCU + DHT11	58
Gambar 5.10 Menjalankan Mosquitto Broker	61
Gambar 5.11 Menjalankan Auth-Server	61
Gambar 5.12 Upload Source Code NodeMCU	62
Gambar 6.1 Screenshot Broker PMO_101.....	65
Gambar 6.2 Hasil Capture Wireshark PMO_101	65
Gambar 6.3 Screenshot Broker PMO_102.....	66
Gambar 6.4 Hasil Capture Wireshark PMO_102	67
Gambar 6.5 Screenshot Broker PMO_201.....	67
Gambar 6.6 Hasil Capture Wireshark PMO_201	68
Gambar 6.7 Screenshot Broker PMO_202.....	69
Gambar 6.8 Hasil Capture Wireshark PMO_202	69
Gambar 6.9 Screenshot Broker PMO_203.....	70
Gambar 6.10 Hasil Capture Wireshark PMO_203	71
Gambar 6.11 Screenshot Broker PMO_301.....	71
Gambar 6.12 Hasil Capture Wireshark PMO_301	72
Gambar 6.13 Screenshot Broker PMO_302.....	73
Gambar 6.14 Hasil Capture Wireshark PMO_302	73
Gambar 6.15 Screenshot Broker PMO_303.....	74
Gambar 6.16 Hasil Capture Wireshark PMO_303	75
Gambar 6.17 Screenshot Broker PMOP_101.....	76
Gambar 6.18 Hasil Capture Wireshark PMOP_101	76
Gambar 6.19 Screenshot Broker PMOP_102.....	77
Gambar 6.20 Hasil Capture Wireshark PMOP_102	77
Gambar 6.21 Screenshot Broker PMOP_201.....	78
Gambar 6.22 Hasil Capture Wireshark PMOP_201	79
Gambar 6.23 Screenshot Broker PMOP_202.....	80
Gambar 6.24 Hasil Capture Wireshark PMOP_202	80
Gambar 6.25 Screenshot Broker PMOP_203.....	81

Gambar 6.26 Hasil Capture Wireshark PMOP_203	82
Gambar 6.27 Screenshot Broker PMOP_301.....	83
Gambar 6.28 Hasil Capture Wireshark PMOP_301	83
Gambar 6.29 Screenshot Broker PMOP_302.....	84
Gambar 6.30 Hasil Capture Wireshark PMOP_302	85
Gambar 6.31 Screenshot Broker PMOP_303.....	86
Gambar 6.32 Hasil Capture Wireshark PMOP_303	86
Gambar 6.33 Screenshot Broker PMOS_101.....	87
Gambar 6.34 Hasil Capture Wireshark PMOS_101.....	88
Gambar 6.35 Screenshot Broker PMOS_102.....	88
Gambar 6.36 Hasil Capture Wireshark PMOS_102.....	89
Gambar 6.37 Screenshot Broker PMOS_201.....	90
Gambar 6.38 Hasil Capture Wireshark PMOS_201.....	90
Gambar 6.39 Screenshot Broker PMOS_202.....	91
Gambar 6.40 Hasil Capture Wireshark PMOS_202.....	91
Gambar 6.41 Screenshot Broker PMOS_203.....	92
Gambar 6.42 Hasil Capture Wireshark PMOS_203.....	93
Gambar 6.43 Screenshot Broker PMOS_301.....	94
Gambar 6.44 Hasil Capture Wireshark PMOS_301.....	94
Gambar 6.45 Screenshot Broker PMOS_302.....	95
Gambar 6.46 Hasil Capture Wireshark PMOS_302.....	96
Gambar 6.47 Screenshot Broker PMOS_303.....	97
Gambar 6.48 Hasil Capture Wireshark PMOS_303.....	97
Gambar 6.49 Grafik Hasil Pengujian PPS_001	98
Gambar 6.50 Grafik Hasil Pengujian PPS_002	99
Gambar 6.51 Grafik Hasil Pengujian PPS_003	99

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: SOURCE CODE	105
1.1 nodeMCU_LED_TLS.ino	105
1.2 nodeMCU_DHT_TLS.ino	107
1.3 Auth-Server.py	109
LAMPIRAN 2: Gambar Hasil Pengujian	117
2.1 Screenshot Hasil Pengujian Fungsional Sistem	117
2.2 Screenshot Auth-Server Pengujian Keamanan	120
2.3 Screenshot Pengujian Performa Sistem	122