

**SISTEM PEMANTAUAN DAN JUAL-BELI LISTRIK PADA MICRO
SMART GRID BERBASIS LAYANAN WEB**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI ELEKTRONIKA

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD ILHAM AKBAR

NIM. 125060300111049

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2016



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PENGESAHAN

SISTEM PEMANTAUAN DAN JUAL-BELI LISTRIK PADA *MICRO SMART GRID* BERBASIS LAYANAN WEB

SKRIPSI

KONSENTRASI ELEKTRONIKA

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD ILHAM AKBAR
NIM. 125060300111049

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 11 November 2016

Dosen Pembimbing I,

Adharul Muttaqin, ST., M.T.
NIP. 19760121 200501 1 001

Dosen Pembimbing II,

Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng.
NIK. 201201 841130 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

M. Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



JUDUL SKRIPSI :

SISTEM PEMANTAUAN DAN JUAL-BELI LISTRIK PADA *MICRO SMART GRID*
BERBASIS LAYANAN WEB

Nama Mahasiswa : Muhammad Ilham Akbar

NIM : 125060300111049

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Elektronika

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Adharul Muttaqin, S.T., M.T.

Anggota : Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Ir. Nurussa'adah, M.T.

Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.

Dosen Penguji 3 : Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M. Eng.Sc

Tanggal Ujian : 28 Oktober 2016

SK Penguji : 1340/UN10.6/SK/2016





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Teriring Ucapan Terima Kasih Kepada:

Ayahanda dan Ibunda tercinta





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penulusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 11 November 2016

Mahasiswa,

Materai 6000

Muhammad Ilham Akbar

NIM. 125060300111049





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



RINGKASAN

Muhammad Ilham Akbar, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2016, *Sistem Pemantauan dan Jual-Beli Listrik pada Micro Smart Grid Berbasis Layanan Web*, Dosen Pembimbing : Adharul Muttaqin dan Eka Maulana.

Indonesia memiliki potensi energi baru dan terbarukan yang melimpah, namun pemanfaatannya masih relatif kecil. Selain itu, kebutuhan listrik di rumah tangga sangat tinggi dan tidak efisien. Sebagian besar masyarakat cenderung hanya membeli listrik. Pembangunan sistem *micro smart grid* merupakan upaya peningkatan efisiensi penggunaan energi listrik. Pada sistem ini, masyarakat dapat membeli listrik dan juga menjualnya atau dalam istilah asingnya adalah *power transaction*. Alat ini dilengkapi dengan sistem pemantauan melalui layanan web, sehingga informasi arus, tegangan, daya dan energi dapat dipantau dari jarak jauh. Alat ini menggunakan *Wi-Fi* sebagai penghubung ke internet. Jaringan listrik pada sistem ini menggunakan jaringan DC bertegangan rendah. Arah arus listrik dikontrol menggunakan perbedaan tegangan antara *bus* dan *node*. Pengukuran daya memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 0,7276% terhadap pembacaan dengan menggunakan *wattmeter* dan pengukuran energi memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 2,3532% terhadap pembacaan dengan menggunakan *wattmeter*. Pengujian harga jual memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 2,3588% terhadap harga hasil perhitungan dan pengujian harga beli memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 2,0996% terhadap harga hasil perhitungan.

Kata kunci: *DC Smart grid, Power Transaction, Jual-Beli Listrik, Pemantauan, Layanan Web*





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



SUMMARY

Muhammad Ilham Akbar, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Brawijaya University, August 2016, *Web Services Based Monitoring and Power Transaction System for Micro Smart Grid*, Academic Supervisor: Adharul Muttaqin dan Eka Maulana.

Indonesia has large potential in renewable energy, but the utilization was still relatively small. In addition, electric consumptions in household were high and inefficient. Most of people only buy electricity. Development of micro smart grid system is the effort to increase efficiency in electric consumption. In this system, people able to buy electricity and also sell it. This device consist of monitoring system through web services, thus able to monitor information of current, voltage, power, and energy remotely. This device using Wi-Fi to connect with ethernet. This system using low voltage DC electric grid. Current direction controlled by difference of voltage between bus and node. Power measurement results have shown that average error equal to 0,7276% of the measurement using wattmeter and energy measurement results have shown that average error equal to 2,3532% of the measurement using wattmeter. Sell price test results have shown that average error equal to 2,3588% of the calculation, and buy price test results have shown that average error equal to 2,0996% of the calculation.

Keyword: DC Smart grid, Power Transaction, Buy-Sell Electricity, Monitoring, Web Services





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya dan perkenan-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Karya ini tidak mungkin selesai tanpa restu dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya yang tidak terhingga kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Dede Haryono dan Ibu Harni Suharningsih atas pengorbanan, motivasi dan doa restunya sehingga penulis dapat menuntut ilmu sampai jenjang sarjana. Serta, kedua adik penulis Miftah Fauzi Akbar dan Azka Khairunnisa atas segala doa, semangat, dukungan, dan motivasi dalam menganyomi penulis hingga saat ini.
2. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universtias Brawijaya.
3. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universtias Brawijaya.
4. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T., selaku ketua Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universtias Brawijaya.
5. Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang selalu memberi semangat dan motivasi untuk cepat menyelesaikan skripsi.
6. Bapak Adharul Muttaqin, S.T., M.T. dan Bapak Eka Maulana, S.T., M.T., M.Eng. sebagai pembimbing pertama dan sebagai pembimbing kedua, ditengah kesibukan beliau berdua selalu memberikan waktu untuk diskusi dengan tulus, sabar memberikan masukan yang sungguh berharga.
7. Laboran laboratorium sistem digital Bapak Ahmad Dulhadi, S.T. atas semua fasilitas dan bantuan yang diberikan dalam penggeraan skripsi ini.
8. Para Dosen Pengajar Program Studi Teknik Elektro Universitas Brawijaya, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bekal ilmu pada penulis dalam menyelesaikan studi.
9. Teman-teman seperjuangan dalam penggeraan skripsi Iman, Cahyo, Tata, atas segala dukungan dan bantuan dalam penggeraan skripsi.
10. Kakak-kakak, teman-teman dan adik-adik asisten laboratorium sistem digital, Mas Naufal, Mas Erik, Mas Abdul, Mas Hendra, Mas Tegar, Mas Guntur, Mas Swaraka, Mas Rizal, Mbak Stefani, Mbak April, Rasyid, Adit, Ciyo, Firman, Hanif, Juli,

Ricky, Laila, Fara, Wuri, Esti, Nadia, Mahfud dkk atas segala dukungan dalam pengerjaan skripsi.

11. Teman-teman Workshop Divisi Mikrokontroler, Mas Erwan, Mas Yatma, Mbak Rita, Mas Bayu, Mas Roqib, Mas Nurdin, Wildan, Iman, Graha, Bima, Tito, Fatah, Azril, Arsyil, Nardo, Satria, Gadafi, Hasan, Rizqu, Arby, Kurniawan, Fajri dkk terimakasih atas pengalaman, semangat, dan kerjasama yang telah terjalin didalam organisasi.
12. Teman-teman konsentrasi Elektronika 2012 dan Elektro angkatan 2012 “VOLTAGE” atas segala dukungan dalam pembuatan skripsi.
13. Sahabat dan teman-teman UNPAR, Gigih, Topan, Edinar, Seto, Valdy, Ariskun, Firman, Indro, Akbar, Satrio, Farhan, Tata, Aldi, Bobby, Thoriq, Ali, Bagus, Risal, terimakasih untuk segala diskusi, keceriaan, semangat, motivasi, dan dukungan dalam pengerjaan skripsi.
14. Teman-teman Majesty dan kontrakan Alif, Adimas, Wira, Gandu, Aim, Jefrizal, Onil, Oni, Septi, Ilma, Desak dkk terimakasih atas segala pengalaman, semangat, dan dukungannya.
15. Teman-teman MIPI dan Beetech, Pak Eka, Bu Diah, Mas Budi, Mas Pendi, Mas Fahad, Mbak Ani, Mbak Ari, Mbak Rosa, Mbak Juwi, Verdy, Doni, Hasan, Mbak Dwi, Mas Yunus dkk atas ilmu dan pengalaman dalam berproses di Universitas Brawijaya.
16. Amper 2009, Magnet 2010, Inverter 2011, Spektrum 2013, Dioda 2014, BEM Teknik atas segala kerjasama dan pengalaman selama berproses di elektro.

Sekiranya Allah SWT membala kebaikan semua pihak yang turut membantu skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin, Terima kasih.

Malang, November 2016

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Sistematika Penulisan..	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Masalah Ketenagalistrikan di Indonesia	5
2.2. <i>Micro Smart Grid</i>	5
2.3. Layanan Web.....	6
2.4. Sensor Arus ACS712-20A	7
2.5. Sensor Tegangan	9
2.6. Modul Wi-Fi ESP8266	10
2.7. Arduino Mega 2560	12
BAB III METODE PENELITIAN DAN PERANCANGAN	13
3.1. Penentuan Spesifikasi Alat.....	14
3.2. Studi Literatur	14
3.3. Perencanaan dan Pembuatan Alat	15
3.4. Pengujian Alat	20
3.5. Penyusunan Kesimpulan	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23

4.1.	Pengujian Data Daya dan Energi	23
4.2.	Pengujian Rangkaian Wi-Fi	31
4.3.	Pengujian Kontrol Relay.....	33
4.4.	Pengujian Rangkaian LCD	35
4.5.	Pengujian Sistem Jual-Beli	37
4.6.	Pengujian Keseluruhan	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1.	Kesimpulan	43
5.2.	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN		47



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penggunaan Energi Listrik Tahun 2014	5
Tabel 2.2 Terminal keluaran sensor ACS712-20A	8
Tabel 2.3 Karakteristik sensor ACS712-20A	9
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Data Daya.....	25
Tabel 4.2 Hasil Rerata Pengujian Data Daya	27
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Data Energi per 10 menit	28
Tabel 4.4 Hasil Rerata Pengujian Data Energi per 10 menit.....	30
Tabel 4.5 Hasil pengujian rangkaian sensor arus dengan mikrokontroler.	34
Tabel 4.6 Tabel hasil pengujian harga jual.....	38
Tabel 4.7 Tabel hasil pengujian harga beli.....	39





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Smart Grid.....	6
Gambar 2.2 Tampilan Layanan Web Thingspeak	7
Gambar 2.3 Bentuk IC sensor ACS712-20A	8
Gambar 2.4 Diagram pin keluaran sensor ACS712-20A	8
Gambar 2.5 Rangkaian pembagi tegangan sebagai sensor tegangan	9
Gambar 2.6 Arah arus pada rangkaian pembagi tegangan	10
Gambar 2.7 Modul Wi-Fi ESP8266	11
Gambar 2.8 Pemetaan Pin ESP8266.....	11
Gambar 2.9 Pemetaan pin Atmega 2560.....	12
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	13
Gambar 3.2 Diagram blok keseluruhan sistem.....	15
Gambar 3.3 Pengaturan arah arus listrik	16
Gambar 3.4 Diagram blok dalam sebuah <i>node</i>	16
Gambar 3.5 Diagram alir keseluruhan sistem	17
Gambar 3.6 Diagram alir keseluruhan sistem	18
Gambar 3.7 Diagram alir pada layanan web	18
Gambar 3.8 Diagram alir keseluruhan sistem	19
Gambar 4.1 Diagram blok pengujian daya dan energi	24
Gambar 4.2 Grafik hubungan daya terukur dengan daya beban	28
Gambar 4.3 Grafik hubungan energi terukur dan energi beban	31
Gambar 4.6 Diagram blok pengujian modul Wi-Fi.....	32
Gambar 4.7 Hasil pengujian modul Wi-Fi.	32
Gambar 4.8 Diagram blok pengujian kontrol relay.....	33
Gambar 4.9 Grafik hasil pengujian rangkaian sensor arus dengan mikrokontroler.	34
Gambar 4.10 Tampilan aplikasi pada <i>smartphone</i>	35
Gambar 4.11 Diagram blok pengujian rangkaian LCD.....	36
Gambar 4.12 Hasil pengujian rangkaian LCD	36
Gambar 4.13 Diagram blok pengujian rangkaian LCD.....	37
Gambar 4.15 Grafik harga jual.	38
Gambar 4.16 Grafik harga beli	39
Gambar 4.17 Informasi arus dan tegangan pada layanan web ‘thingspeak.com’	40
Gambar 4.18 Informasi daya, energi dan harga jual pada layanan web ‘thingspeak.com’	41



Gambar 4.18 Informasi daya, energi dan harga beli pada layanan web ‘thingspeak.com’ 41



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Foto Alat	48
Lampiran 2. Skematik Rangkaian	48
Lampiran 3. Listing Program.....	50
Lampiran 4. Datasheet.....	59





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi energi baru dan terbarukan yang melimpah, meliputi *Geothermal*, hidro, mikro-hidro, biomasa, energi surya, energi angin, uranium, gas metana batubara, dan *shale gas*. Namun, dari beberapa potensi tersebut hanya 11% (22,4 TWh) yang sudah dimanfaatkan pada tahun 2012 (BPPT, 2014:80). Rasio elektrifikasi atau perbandingan antara jumlah rumah tangga yang sudah menikmati tenaga listrik dengan jumlah rumah tangga secara keseluruhan di Indonesia pada tahun 2014 mencapai 84,35%. Artinya masih ada sekitar 15,65% atau 39 juta penduduk di Indonesia yang belum dapat menikmati tenaga listrik. Selain itu, penggunaan energi listrik di Indonesia meningkat setiap tahunnya, yaitu 8,1% per tahun pada kurun waktu 2010-2014 (Kementerian ESDM, 2015:35&40). Pola hidup masyarakat yang terus berkembang mengikuti tren teknologi juga turut mempengaruhi peningkatan kebutuhan listrik. Hal ini menjadi masalah ketenagalistrikan yang tidak dapat dihindari.

Penjualan energi listrik terbesar pada tahun 2014 ada pada sektor rumah tangga yaitu sebesar 41% dari total keseluruhan penjualan listrik (PLN, 2014:80). Dapat diketahui bahwa konsumsi listrik terbesar berasal dari peralatan listrik yang ada di rumah tangga. Hal ini dapat teratasi dengan membuat sistem yang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan listrik serta membangun sebuah sistem pembangkit skala mikro. Salah satu solusinya adalah dengan membangun *smart grid* pada perumahan rakyat. *Smart grid* dapat didefinisikan sebagai infrastruktur jaringan listrik modern untuk meningkatkan efisiensi dan kehandalan dengan kontrol otomatis, konversi daya tinggi, komunikasi modern, *metering* dan manajemen energi modern (Vehbi, 2011:529). Kecenderungan masyarakat yang hanya membeli listrik melatarbelakangi penulis untuk membuat sebuah sistem yang tidak hanya menyediakan pembelian listrik namun juga memungkinkan masyarakat dapat menjual listrik dengan *smart grid*. Penggunaan teknologi layanan web atau *web services* pada sistem *smart grid*, dapat memantau penggunaan listrik meliputi arus, tegangan, daya dan energi dari jarak jauh. Sistem ini diharapkan mampu menjadi solusi dari masalah ketenagalistrikan di Indonesia.



1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana metode pengiriman informasi daya, energi, arus, dan tegangan menggunakan layanan web ?
2. Bagaimana metode pengolahan informasi daya, energi, arus, dan tegangan pada *Micro Smart Grid* ?
3. Bagaimana sistem dan penentuan harga jual-beli listrik pada *micro smart grid* ?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan alat akan diberikan batasan sebagai berikut:

1. Sistem yang dirancang terdiri dari tiga *node*.
2. Jaringan listrik yang digunakan adalah jaringan listrik DC.
3. Proteksi Baterai dan Jaringan tidak diperhitungkan.
4. Proses pengolahan informasi pada layanan web tidak dijelaskan secara rinci.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat sistem elektronik yang mampu mengolah informasi daya, energi, arus, dan tegangan pada *micro smart grid* berbasis layanan web yang dilengkapi sistem jual-beli listrik

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan sistem.

BAB III Metodologi Penelitian dan Perancangan

Berisi tentang metode penelitian, perencanaan, serta perancangan sistem serta pengujian.



BAB IV Hasil dan Pembahasan

Memuat hasil pengujian terhadap sistem yang telah direalisasikan.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Memuat kesimpulan dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut dari sistem yang telah dirancang.





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Masalah Ketenagalistrikan di Indonesia

Permasalahan ketegalistrikan Indonesia adalah dari penggunaan listrik yang setiap tahunnya meningkat. Penggunaan listrik terbesar pada tahun 2014 yakni pada sektor rumah tangga (PLN, 2014:80). Penggunaan energi listrik tahun 2014 ditunjukkan dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Penggunaan Energi Listrik Tahun 2014

No	Kelompok Tarif	Energi Jual (TWh)	Porsi (%)
1	Rumah Tangga	90,3	41,21%
2	Komersil	40,4	18,44%
3	Publik	14,0	6,39%
4	Industri	74,4	33,96%
	Jumlah	219,1	100%

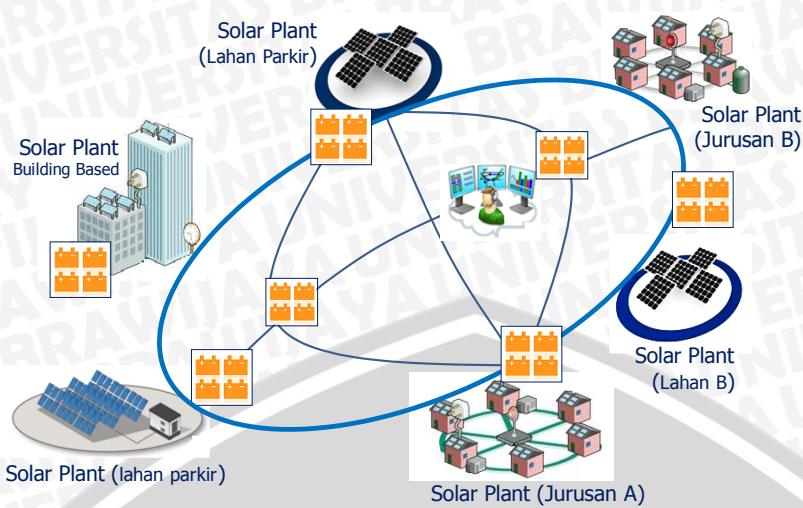
Sumber : PLN, 2014:80

Masalah lain dari ketegalistrikan di Indonesia adalah biaya pokok produksi listrik yang lebih tinggi dari pada harga jual listrik, ketidakpastian pasokan sumber energi primer seperti pasokan gas alam dan BBM. Kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari banyak pulau juga menyulitkan transmisi dan distribusi listrik (BPPT, 2014:24).

2.2. *Micro Smart Grid*

Micro grid adalah versi yang lebih kecil dari jaringan listrik dan di desain untuk menyediakan listrik bagi beban lokal (Naik, 2011:1). Sedangkan *smart grid* merupakan solusi untuk mendapatkan manfaat teknologi modern dalam transformasi jaringan yang sudah ada menjadi lebih cerdas untuk memfasilitasi kesiagaan terhadap masalah listrik, kontrol otomatis, peningkatan efisiensi, peningkatan keamanan, integrasi sumber tenagaterbarukan, integrasi penyimpan energi, komunikasi dua arah antara konsumen dan penyedia, peningkatan efisiensi pasar terkait jual-beli listrik, dan pelayanan berkualitas (Khosrow Moslehi, 2010:1). Secara umum sistem *smart grid* dapat dilihat dalam Gambar Definisi 2.1.





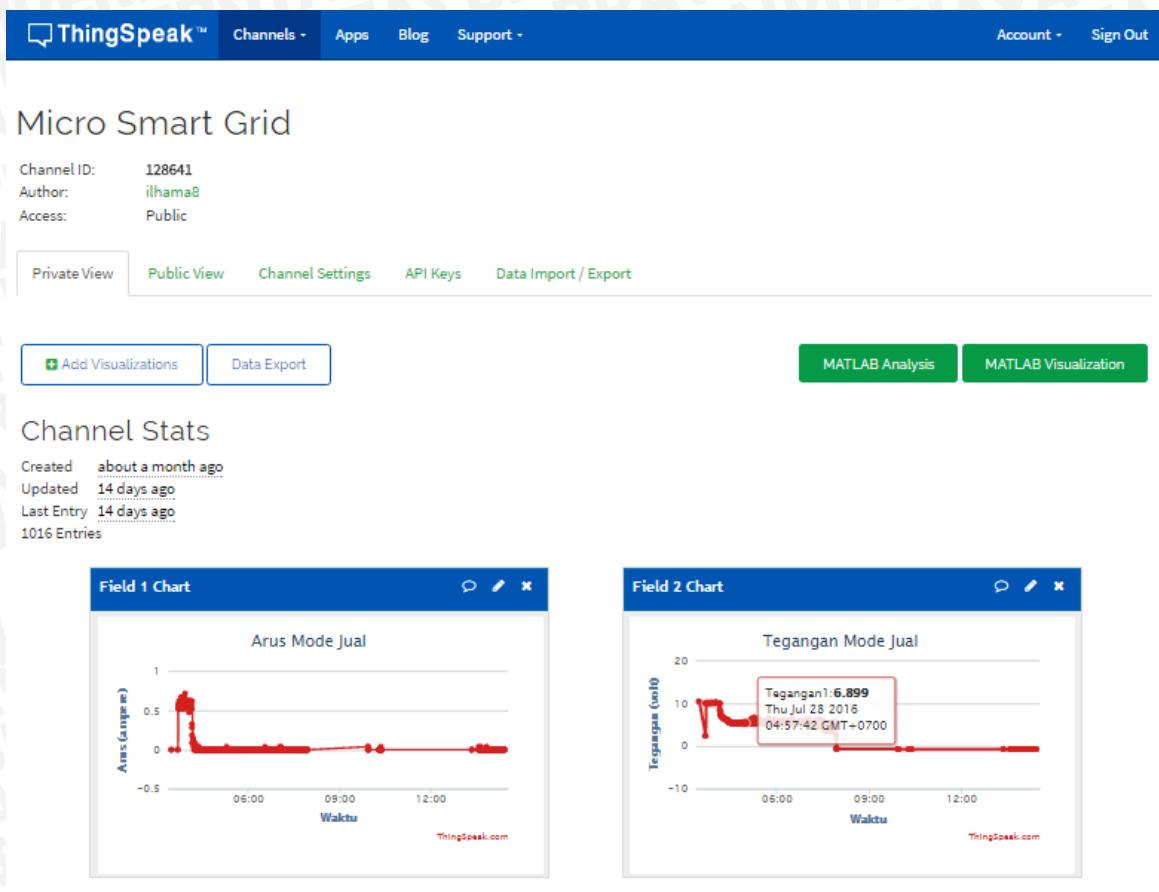
Gambar 2.1 Sistem Smart Grid

Sumber : Dokumen Pribadi

Sistem *smart grid* terdiri dari beberapa bagian yaitu, pembangkitan, distribusi, penyimpanan, kontrol dan monitoring. Dalam Gambar 2.1. pembangkitan ditunjukkan dengan *solar plant* yang terpasang pada setiap gedung atau daerah tertentu. Kemudian terhubung dengan kontroler dan penyimpanan (baterai) pada masing-masing tempat tersebut. Setiap pembangkitan tersebut saling terhubung melalui sistem distribusi *grid* dan dapat dikontrol serta dipantau melalui komputer.

2.3. Layanan Web

Layanan web (*Web Service*) adalah Suatu aplikasi yang programmable, dapat diakses sebagai komponen melalui dan menggunakan protokol standard web. Karakteristik layanan web diantaranya pesan dengan standar XML dan tidak terikat pada satu sistem operasi atau bahasa pemrograman. (Yogiswara, 2014:1). Pada penelitian ini, layanan web yang digunakan adalah layanan web berbasis *open source* atau tidak berbayar yaitu ‘*Thingspeak.com*’. *Thingspeak* memiliki fitur seperti pengumpulan dan penyimpanan data secara *real-time*, analisis dan visualisasi MATLAB, penjadwalan, komunikasi devais, open API, dan data geolokasi. Layanan web ini dapat bekerja dengan berbagai hardware dan aplikasi seperti *Arduino*, *Particle Photon and Core*, *Raspberry Pi*, *Electric Imp*, aplikasi mobile dan web, *Twitter*, *Twilio*, dan *MATLAB*. Adapun tampilan dari layanan web ‘*thingspeak.com*’ ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Tampilan Layanan Web Thingspeak

Sumber : Thingspeak.com

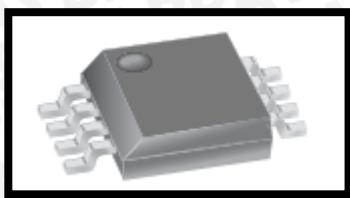
Pada layanan web Thingspeak, pengguna dapat langsung melihat grafik dari data yang dikirim oleh devais. Tampilan dari website yang sederhana memudahkan pengguna untuk melihat dari komputer maupun *smartphone*. Data yang dikirim ke layanan web tersimpan dengan baik pada server minimal setiap 15 detik.

2.4. Sensor Arus ACS712-20A

ACS712-20A merupakan sensor arus yang dirilis oleh Allegro Microsystems,LLC. Mampu mendeteksi arus AC maupun DC.Sensor ini sering digunakan dalam pengontrolan motor, deteksi dan menejemen beban, mode switch pada catu daya, dan proteksi arus berlebih. (Alegro MicroSystems, 2013:1)

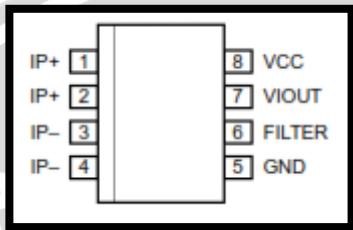
ACS712-20A bekerja dengan prinsip *Hall effect*, ketika arus mengalir melewati jalur konduksi yang berada di dalam sensor akan menghasilkan sebuah medan magnetik. Medan magnet tersebut dirubah oleh IC *Hall* menjadi tegangan yang proporsional. Bentuk fisik dan diagram pin keluaran pin dari sensor arus ACS712-20A ditunjukkan pada Gambar 2.3, Gambar 2.4, dan Tabel 2.2.





Gambar 2.3 Bentuk IC sensor ACS712-20A

Sumber : Allegro microsystem, 2013:1



Gambar 2.4 Diagram pin keluaran sensor ACS712-20A

Sumber :Allegro microsystem, 2013:3

Tabel 2.2 Terminal keluaran sensor ACS712-20A

No	Nama	Deskripsi
1 dan 2	IP+	Terminal masukan untuk sampling arus ; <i>fused internally</i>
3 dan 4	IP-	Terminal masukan untuk sampling arus ; <i>fused internally</i>
5	GND	Terminal sinyal ground
6	FILTER	Terminal untuk kapasitor eksternal yang berfungsi untuk menyaring sinyal.
7	VOUT	Sinyal keluaran analog
8	VCC	Terminal catu daya untuk sensor

Sumber :Allegro microsystem, 2013:3

Keluaran sensor ACS712 memiliki slope positif ($>V_{IOUT(Q)}$) ketika terjadi peningkatan arus yang melewati jalur konduksi utama (dari pin 1 dan 2, ke pin 3 dan 4), yang mana jalur tersebut merupakan jalur yang digunakan untuk sampling arus. Spesifikasi sensor arus ACS712-20A ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

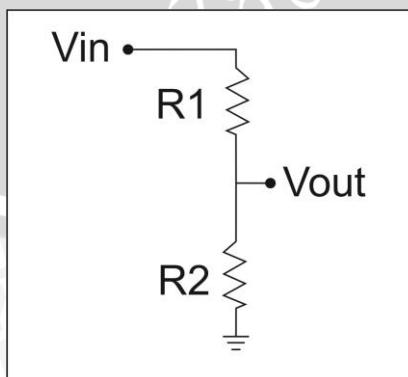
Tabel 2.3 Karakteristik sensor ACS712-20A

Karakteristik	Simbol	Nilai	Satuan
Tegangan suplai	V _{CC}	4.5 – 5.5	V
Suhu Operasi	T _A	-40 – 85	°C
Sensitivitas	V/A	96 – 104	mV/A
Rentang pengukuran optimal	I _p	-20 – 20	A
Arus Suplai	I _{CC}	10 – 13	mA
Tanggapan Waktu	t _R	3.5	μs
Lebar Frekuensi	F	80	kHz
Non Linieritas	E _{LIN}	1.5	%

Sumber :Allegro microsystem, 2013

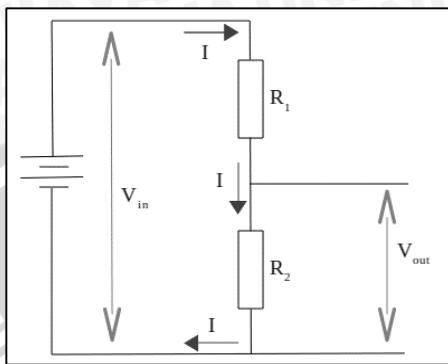
2.5. Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah suatu sensor yang mampu mendeteksi tegangan yang terdapat pada suatu rangkaian elektrik. Sensor tegangan ini dibuat dengan menggunakan konsep pembagi tegangan dimana dapat mengubah yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah. Dengan hanya menggunakan dua resistor yang di pasang secara seri dan dengan sebuah *input* tegangan maka dapat membuat tegangan *output* yang dipotong dari hasil pembagian tegangan dua buah resistor pada tegangan input. Rangkaian pembagi tegangan yang digunakan sebagai sensor tegangan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Rangkaian pembagi tegangan sebagai sensor tegangan

Rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) disebut juga sebagai rangkaian pembagi potensial (*potential divider*). Masukan ke sebuah rangkaian pembagi tegangan adalah tegangan V_{in} . Tegangan V_{in} tersebut menggerakkan arus I untuk mengalir melewati kedua resistor. Karena kedua resistor terhubung secara seri, maka arus yang sama mengalir melewati tiap-tiap resistor seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Arah arus pada rangkaian pembagi tegangan

Tahanan efektif dari kedua resistor seri ini adalah $R_1 + R_2$. Jatuh tegangan pada gabungan kedua resistor ini adalah V_{in} , menurut Hukum Ohm arus yang mengalir adalah :

$$I = \frac{V_{in}}{R} \quad (2-1)$$

$$I = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \quad (2-2)$$

Sehingga tegangan pada R_2 menjadi :

$$V_{out} = I \times R_2$$

Mensubstitusikan I dengan persamaan (2-1), menghasilkan :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in} \quad (2-3)$$

Persamaan ini adalah persamaan untuk menghitung tegangan output yang dihasilkan oleh sebuah rangkaian pembagi tegangan. Dengan memilih dua buah resistor dengan nilai tahanan yang sesuai, kita dapat memperoleh nilai tegangan output manapun didalam kisaran 0 V hingga V_{in} .

2.6. Modul Wi-Fi ESP8266

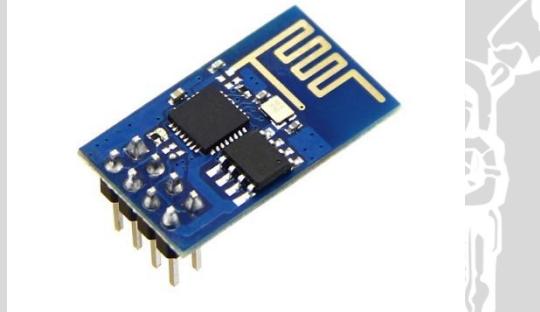
Modul ESP8266 adalah chip *Wi-Fi* berharga terjangkau dengan fungsi lengkap sebagai *Wi-Fi adapter* maupun *internet access* yang dapat dihubungkan ke mikrokontroler melalui *UART* atau *CPU AHB bridge interface* (Espressif Systems, 2013). Spesifikasi ESP 8266 meliputi:

- 802.11 b/g/n protocol



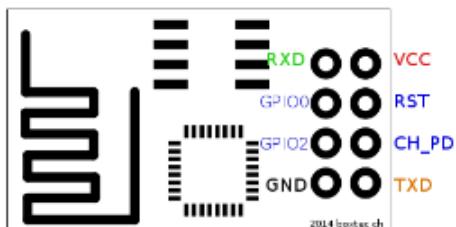
- Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP
- Integrated TCP/IP protocol stack
- Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network
- Integrated PLL, regulators, and power management units
- +19.5dBm output power in 802.11b mode
- Integrated temperature sensor
- Supports antenna diversity
- Power down leakage current of < 10uA
- Integrated low power 32-bit CPU could be used as application processor
- SDIO 2.0, SPI, UART
- STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO
- A-MPDU & A-MSDU aggregation & 0.4 μ s guard interval
- Wake up and transmit packets in < 2ms
- Standby power consumption of < 1.0mW (DTIM3)

Adapun tampilan hardware dari modul Wi-Fi ESP8266 dan pemetaan pin ditunjukkan dalam Gambar 2.7 dan Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Modul Wi-Fi ESP8266

Sumber : Seedstudio.com



Gambar 2.8 Pemetaan Pin ESP8266

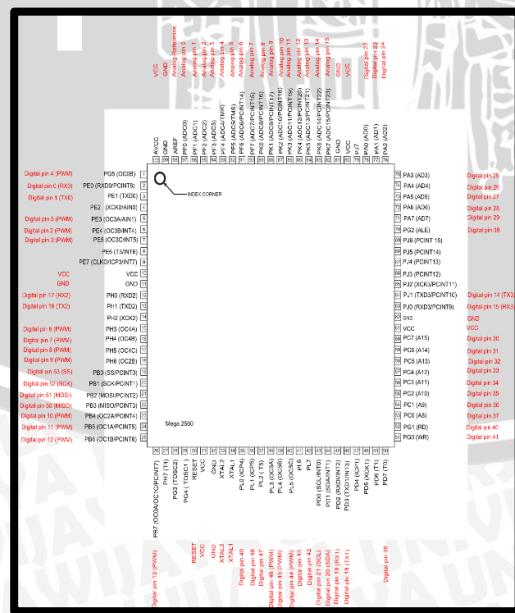
Sumber : Github.com

2.7. Arduino Mega 2560

Arduino mega 2560 adalah modul mikrokontroler buatan *Arduino* dan *IC* pengolah datanya merupakan keluarga dari Atmel AVR dan *software* dari *arduino* memiliki bahasa pemrograman sendiri berbeda dengan produk Atmel yang lain. *Arduino mega2560* memiliki 256 KB flash memory untuk menyimpan kode (8 KB digunakan untuk bootloader), 8 KB SRAM dan 4 KB EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM). Spesifikasi dari *Arduino mega 2560* meliputi :

- IC Mikrokontroler : ATMEGA 2560
- Tegangan Operasi : 5 V
- Tegangan Masukan : 7 – 12 V
- Pin Digital I/O : 54 (15 pin digunakan sebagai keluaran PWM)
- Pin Input Analog : 16
- Arus DC per pin I/O : 40 mA
- Arus DC untuk pin 3.3V : 50 mA
- Flash Memory : 256 KB (8 KB digunakan untuk *bootloader*)
- SRAM : 8KB
- Clock Speed : 16 MHz

Gambar 2.9 menunjukkan konfigurasi pin ATMEGA 2560 pada arduino. Dalam gambar terlihat bahwa setiap pin dilengkapi dengan fungsi alternatif, dimana dalam satu pin selain berfungsi sebagai I/O juga berfungsi sebagai ADC/PWM/RX/TX dan sebagainya.



Gambar 2.9 Pemetaan pin Atmega 2560

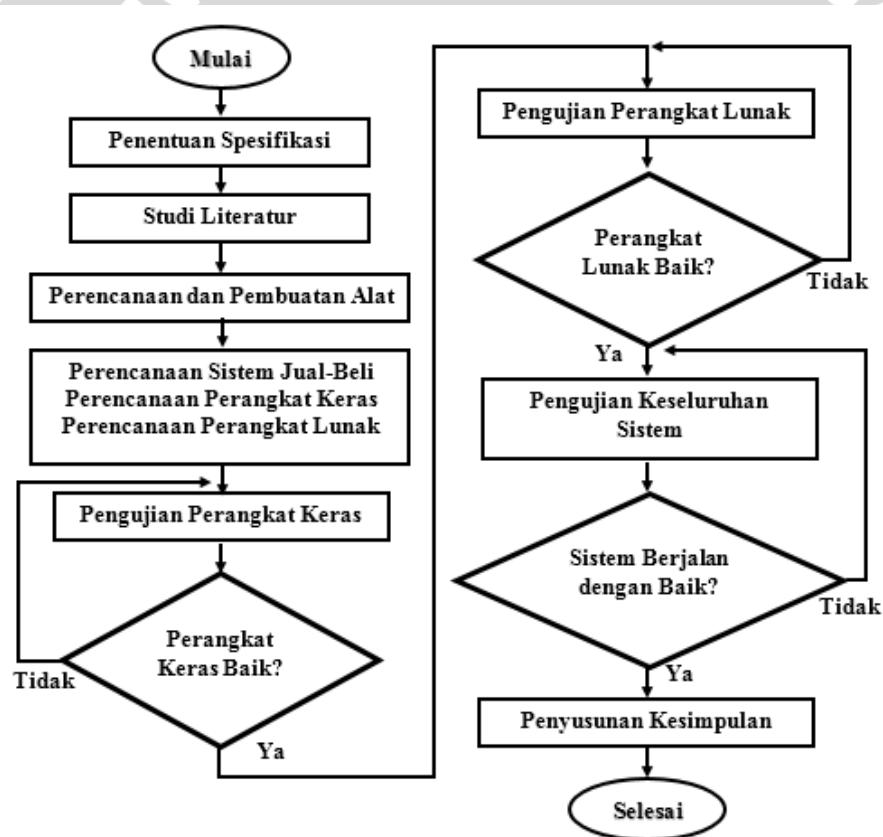
Sumber : Arduino.

BAB III

METODE PENELITIAN DAN PERANCANGAN

Penyusunan proposal ini didasarkan dalam masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasian alat agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu dalam rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasikan alat yang dirancang adalah penentuan spesifikasi alat, studi literatur, perancangan dan pembuatan alat, pengujian alat, dan pengambilan kesimpulan.

Adapun kerangka penelitian pada skripsi ini terdapat pada *flowchart* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 .



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Pendekatan penelitian dilakukan secara kuantitatif melalui eksperimen. Adapun variabel pada penelitian ini meliputi:

- Variabel bebas, adalah variabel yang mempengaruhi sistem. variabel ini nilainya selalu berubah dan tentu saja ini akan mempengaruhi sistem, meliputi: cahaya matahari dan variasi beban
- Variabel tak bebas, merupakan variabel yang diamati akibat adanya pengaruh dari variabel bebas, meliputi: daya, energi, arus, dan tegangan
- Variabel kontrol, adalah variabel yang berguna sebagai penetralisir antara variabel bebas dan variabel tak bebas. Dapat dikatakan bahwa variabel kontrol merupakan variabel yang menghubungkan kedua variabel sebelumnya, meliputi: jaringan internet dan bus utama
- Variabel *intervening*, adalah variabel yang tidak secara langsung diamati namun berpengaruh terhadap variabel bebas dan tak bebas, meliputi: kualitas baterai

3.1. Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara keseluruhan perlu ditentukan terlebih dahulu sebagai acuan untuk mendapatkan sistem yang sesuai dengan keinginan dan dapat bekerja dengan efektif serta efisien. Alat yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Alat mampu mendeteksi perubahan arus dan tegangan.
2. Menggunakan sensor arus ACS712-20A.
3. Sensor tegangan menggunakan konsep pembagi tegangan.
4. Menggunakan mikrokontroler ATmega2560 sebagai pengolah data.
5. Alat mampu membaca tegangan dan arus serta mampu mengkorversi menjadi daya, energi, harga.
6. Setiap grid terdapat tiga buah node instalasi.
7. Sumber tegangan DC menggunakan baterai dari sistem .
8. Sistem dapat mengirim informasi melalui internet menggunakan *Wi-Fi* ke layanan web.

3.2. Studi Literatur

Dalam penyusunan karya tulis ini, pengumpulan data dilakukan dengan melakukan studi literatur (*library research*) dan penelusuran informasi digital dengan sasaran tinjauan antara lain :

1. Pustaka-pustaka referensi.
2. Pustaka penunjang.
3. Informasi internet.



Studi literatur yang dilakukan bertujuan untuk mengkaji hal-hal yang berhubungan dengan teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan perealisasian alat. Adapun teori-teori yang dikaji adalah sebagai berikut:

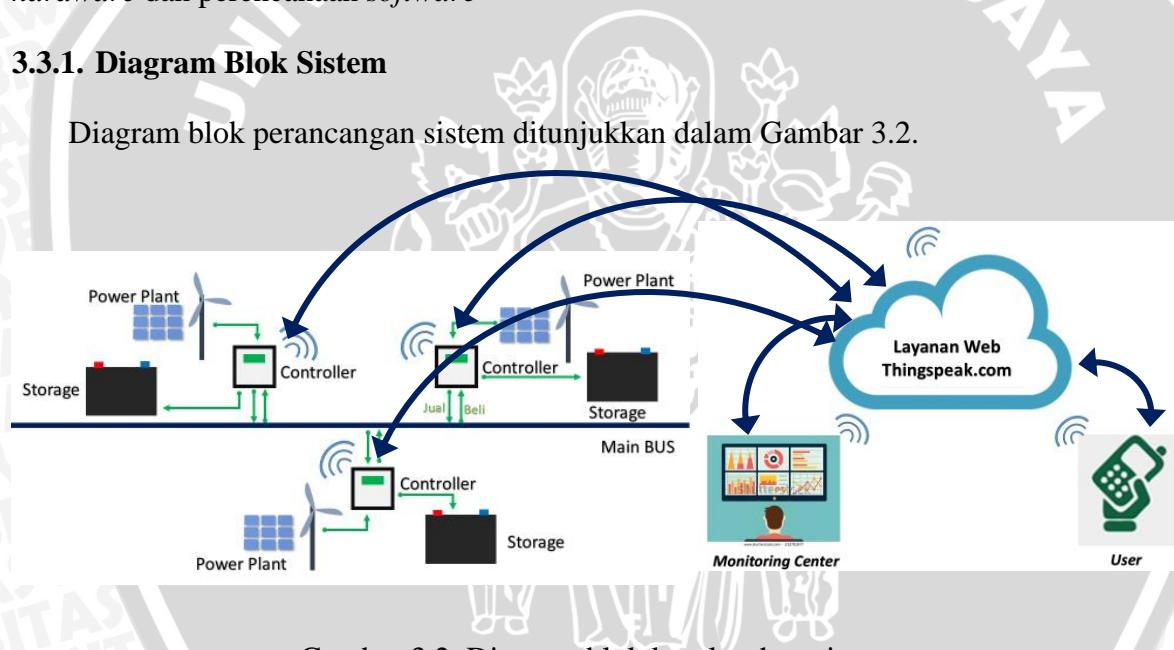
1. Permasalahan ketenagalistrikan di Indonesia.
2. Teori umum *micro smart grid*.
3. Teori umum layanan web.
4. Teori mengenai sensor.
5. Teori modul *Wi-Fi*.
6. Teori dasar Mikrokontroler *Arduino Mega 2560*.

3.3. Perencanaan dan Pembuatan Alat

Dalam perancangan dan pembuatan alat pada penelitian ini membahas perencanaan *hardware* dan perencanaan *software*

3.3.1. Diagram Blok Sistem

Diagram blok perancangan sistem ditunjukkan dalam Gambar 3.2.



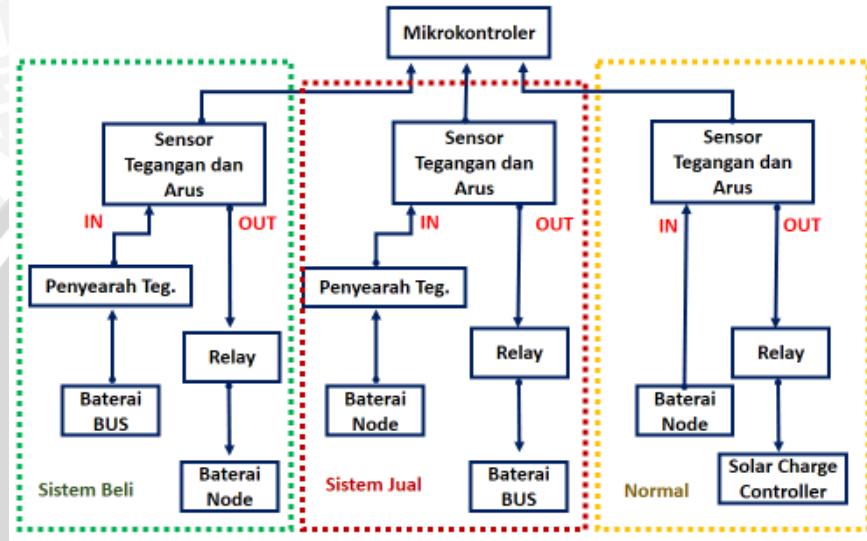
Gambar 3.2 Diagram blok keseluruhan sistem

Pada Gambar 3.2 terdapat 3 *node* yang saling mengirimkan data ke layanan web melalui internet. Data diolah melalui software pada *cloud server* sebagai *monitoring center*, dalam hal ini menggunakan jasa layanan web *opensource* ‘thingspeak.com’.



3.3.2. Perencanaan Sistem Jual-Beli Listrik

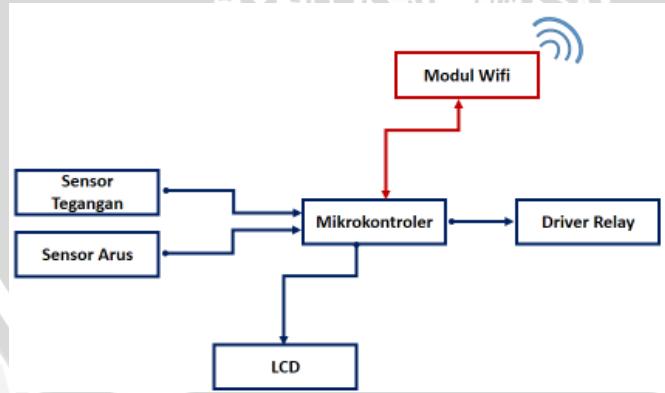
Pada setiap node terdapat pengaturan arah arus listrik yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3. Pada Sistem Beli, arah arus listrik berasal dari baterai *bus* menuju baterai *node*. Sehingga tegangan pada baterai *bus* harus lebih besar daripada tegangan pada baterai *node*. Pada Sistem Jual, tegangan pada baterai *node* harus lebih besar dari pada tegangan pada baterai *bus*. Sehingga arah arus listrik berasal dari baterai *node* menuju baterai *bus*. Pada keadaan normal, baterai menyuplai beban melalui *solar charge controller/battery controller*.



Gambar 3.3 Pengaturan arah arus listrik

3.3.3. Perencanaan Perangkat Keras (*Hardware*)

Diagram blok dari sebuah *node* ditunjukkan dalam Gambar 3.4.



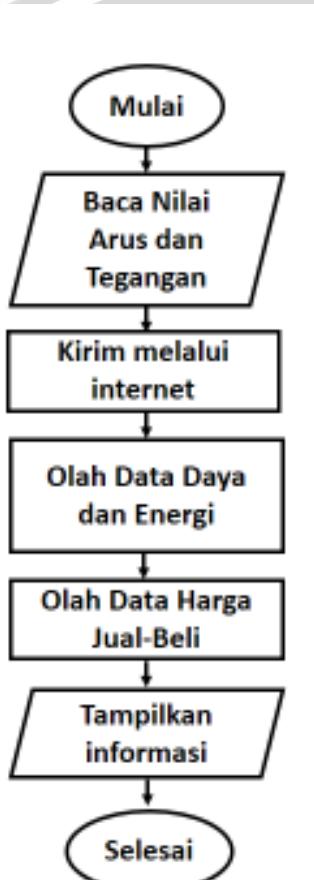
Gambar 3.4 Diagram blok dalam sebuah *node*

Unit pengukuran menggunakan sensor tegangan dan sensor arus. Setelah itu, data ditransmisikan melalui internet dengan menggunakan *Wi-Fi*. Data yang dikirim dari node kemudian diolah *monitoring center* melalui layanan web sehingga dapat terpantau nilai arus, tegangan, daya, dan energi. Kemudian, dari hasil tersebut dikonversikan menjadi harga jual

atau harga beli. Penentuan sistem jual maupun beli dapat diatur oleh pelanggan maupun *monitoring center* melalui *smartphone*.

3.3.4. Perencanaan Perangkat Lunak (*Software*)

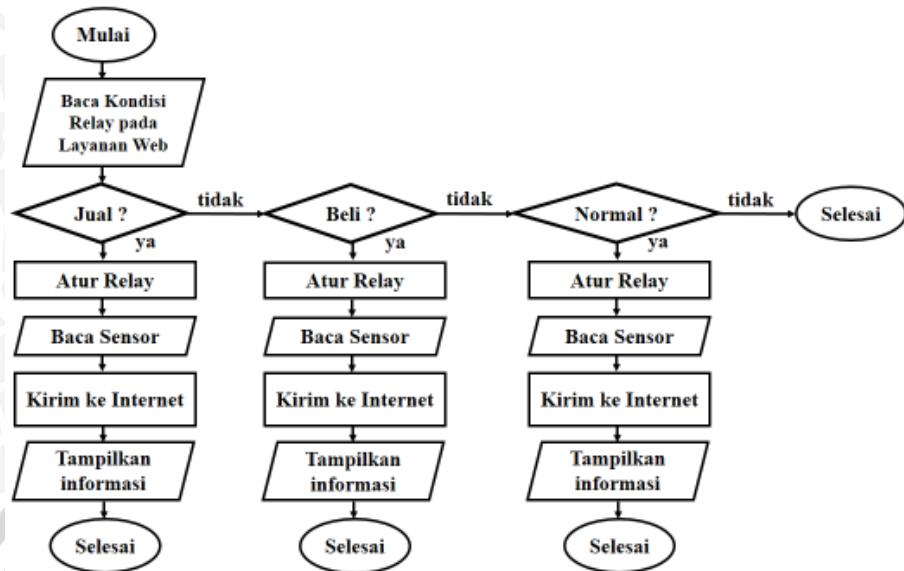
Algoritma program merupakan perencanaan program yang akan ditulis ke dalam mikrokontroler. Program yang dibuat meliputi beberapa sub program yang ditunjukkan dalam Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram alir keseluruhan sistem

3.3.4.1. Perencanaan Perangkat Lunak pada Node

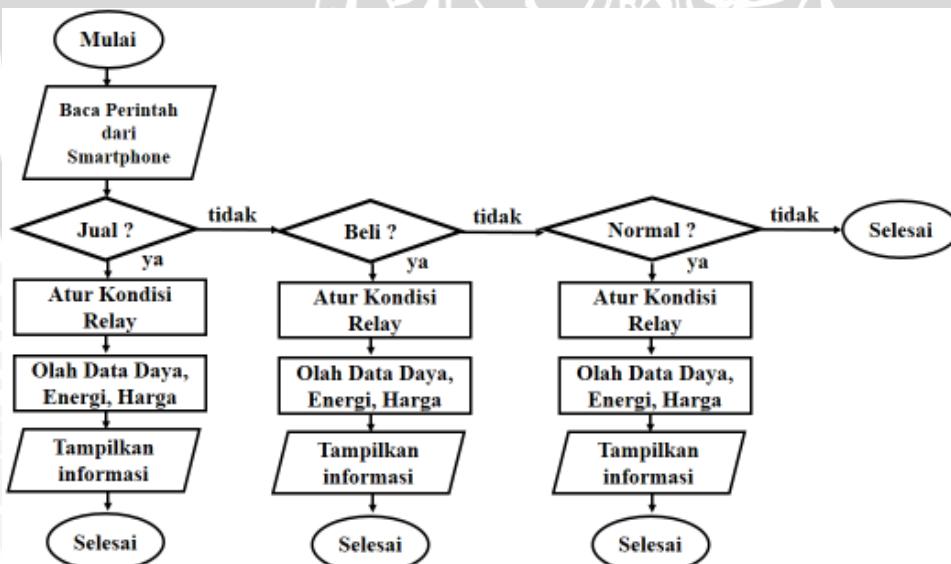
Diagram alir perangkat lunak pada *node* ditunjukkan dalam Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram alir keseluruhan sistem

3.3.4.2. Perencanaan Perangkat Lunak pada Layanan Web

Diagram alir perangkat lunak pada layanan web ditunjukkan dalam Gambar 3.7.

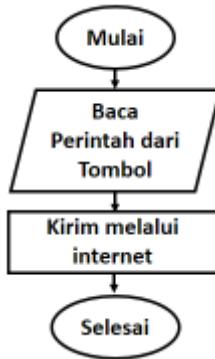


Gambar 3.7 Diagram alir pada layanan web



3.3.4.3. Perencanaan Perangkat Lunak pada *Smartphone*

Diagram alir perangkat lunak pada layanan web ditunjukkan dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Diagram alir keseluruhan sistem

3.3.5. Pembuatan Alat

Dalam pembuatan untuk merealisasikan alat maka disini akan membahas diagram blok, perencanaan perangkat keras, dan perencanaan perangkat lunak

3.3.5.1. Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras meliputi perancangan rangkaian sensor arus, sensor tegangan, dan *LCD* dan akan digabungkan dalam satu kesatuan berbentuk shield agar kompetible dengan modul *Arduino mega 2560*.

- **Rangkaian sensor arus**

Rangkaian sensor arus dirancang untuk mengukur arus yang mengalir pada beban pada masing – masing node. Setiap grid akan terdapat tiga sensor arus yang mendeteksi setiap *node* yang ada pada sistem (jual, beli, dan normal).

- **Rangkaian sensor tegangan**

Rangkaian sensor tegangan dirancang untuk mengukur tegangan setiap node yang ada pada sistem. Tegangan yang diukur berupa tegangan DC.

- **Rangkaian Wi-Fi**

Rangkaian *Wi-Fi* dirancang untuk dapat mengirimkan informasi melalui internet dalam hal ini node bertindak sebagai *client*.

- **Rangkaian LCD**

Rangkaian LCD dibuat agar LCD yang digunakan dapat menampilkan karakter yang diinginkan. Tampilan pada LCD merupakan arus dan tegangan yang terdapat pada node

3.3.5.2. Pembuatan Perangkat Lunak (*Software*)

Pembuatan perangkat lunak digunakan untuk mengatur kinerja alat. Desain dan parameter yang telah dirancang kemudian diterapkan pada modul mikrokontroler *Arduino mega* 2560 dengan menggunakan bahasa C dan program compiler. Perangkat lunak pada *smartphone* menggunakan pemrograman berbasis blok pada *app inventor*. Pada layanan web, proses pengolahan data menggunakan MATLAB

3.4. Pengujian Alat

Pengujian sistem diperlukan untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok pada perancangan *hardware* serta pengujian keseluruhan untuk mengetahui *software* dapat bekerja dengan baik atau tidak.

3.4.1. Pengujian Perangkat Keras (*Hardware*)

Pada bagian ini pengujian dilakukan pada masing-masing blok. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah masing- masing blok dapat bekerja sesuai dengan fungsinya seperti yang telah direncanakan. Pengujian tersebut meliputi :

3.4.1.1. Pengujian Data Daya dan Energi

Tujuan pengujian data daya dan energi adalah untuk mengetahui tingkat akurasi pengukuran data daya dan energi pada mikrokontroler. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat ukur *wattmeter*. Data olahan pada mikrokontroler dibandingkan dengan data *wattmeter*.

3.4.1.2. Pengujian Rangkaian Wi-Fi

Rangkaian *Wi-Fi* dirancang agar mampu mengirim informasi arus dan tegangan melalui internet secara tepat.

3.4.1.3. Pengujian Kontrol Relay

Tujuan pengujian kontrol relay adalah untuk mengetahui kesesuaian kondisi relay ketika diberi perintah melalui *smartphone*. Pengujian dilakukan dengan melihat kondisi relay ketika diberi perintah melalui aplikasi android yang terhubung dengan layanan web. Kondisi relay disesuaikan dengan perintah yang dikirim melalui *smartphone*.



3.4.1.4. Pengujian Rangkaian LCD

Rangkaian LCD dirancang agar mampu menampilkan informasi arus, tegangan, daya, dan energi secara benar.

3.4.2. Pengujian Perangkat Lunak (*Software*)

Pengujian perangkat lunak meliputi pengujian sistem jual-beli. Tujuan pengujian sistem jual-beli adalah untuk mengetahui kesesuaian harga dan arah arus listrik pada saat mode jual dan beli. Pengujian dilakukan dengan menghitung harga pada saat jual dan beli, dan kesesuaian arah arus listrik pada saat jual dan beli menggunakan *amperemeter*.

3.4.3. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem ini dengan menyambungkan semua hardware yang dibuat berdasarkan blok diagram dan memasukkan program berupa *software* yang bekerja untuk mengendalikan hardware yang telah dibuat. Sistem bekerja dengan baik jika dapat berjalan sesuai *flowchart* yang telah direncanakan.

3.5. Penyusunan Kesimpulan

Kesimpulan didapat berdasarkan hasil realisasi sistem jual dan beli dengan menggunakan layanan web yang telah dibuat.





UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah seluruh sistem bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok dalam perancangan *hardware* serta pengujian keseluruhan untuk mengetahui *software* dapat bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian data daya dan energi
2. Pengujian rangkaian *Wi-Fi*
3. Pengujian kontrol relay
4. Pengujian rangkaian *LCD*
5. Pengujian sistem jual-beli
6. Pengujian keseluruhan sistem

4.1. Pengujian Data Daya dan Energi

4.1.1. Tujuan

Tujuan pengujian data daya dan energi adalah untuk mengetahui tingkat akurasi pengukuran data daya dan energi pada mikrokontroler.

4.1.2. Alat yang Digunakan

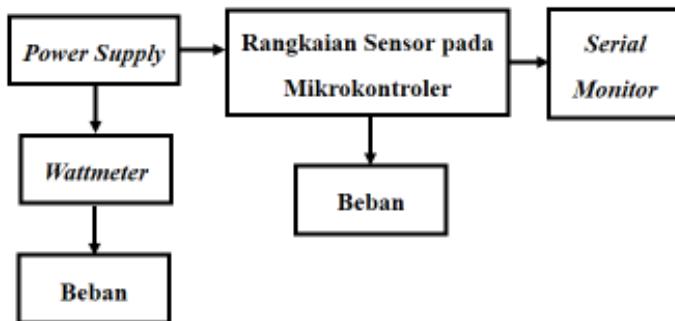
Alat yang digunakan dalam pengujian data daya dan energi meliputi:

1. Wattmeter digital G.T. Power Rc
2. Rangkaian sensor arus dan tegangan dengan mikrokontroler
3. Timer
4. Serial monitor
5. Beban lampu LED 5 dan 7 watt dua pasang
6. Power Supply

4.1.3. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengukur daya dan energi yang digunakan dengan beban bervariasi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat ukur *wattmeter*. Data olahan pada mikrokontroler dibandingkan dengan data *wattmeter*. Pengukuran arus dan

tegangan mengacu pada penelitian sebelumnya [5][6]. Diagram blok pengujian data daya dan energi ditunjukkan dalam Gambar 4.1



Gambar 4.1 Diagram blok pengujian daya dan energi

Prosedur pengujian rangkaian sensor tegangan dengan mikrokontroler adalah sebagai berikut :

1. Rangkai rangkaian pengujian daya dan energi sesuai dengan yang ditunjukkan dalam Gambar 4.1
2. Tegangan *power supply* dibuat konstan sebesar 12 volt.
3. Untuk pengukuran daya, beban dibuat bervariasi antara 5-24 watt. Sedangkan untuk pengukuran energi, beban dibuat bervariasi dan lama waktu ditentukan selama 10 menit setiap pengukuran.
4. Pengukuran daya dan energi dapat dilihat pada *wattmeter* dan *serial monitor*.

Rumus untuk pengujian perhitungan daya dan energi adalah sebagai berikut :

$$\bullet \quad P : V_t \times I_t \quad (4 - 1)$$

$$\bullet \quad E : \int_{t_0}^{t_n} V_t \cdot I_t \, dt \quad (4 - 2)$$

Keterangan :

P : Daya (Watt)

E : Energi (Wh)

Tegangan dan arus yang dideteksi oleh sensor merupakan tegangan dan arus sesaat.

Begitu pula dengan daya dan energi hasil konversi dari pembacaan sensor arus dan tegangan. Energi merupakan penjumlahan hasil konversi pembacaan sensor arus dan tegangan yang dilakukan setiap pergantian waktu pada sistem. Perhitungan daya dan energi dalam sistem ini dilakukan secara realtime sehingga semua sistem bekerja secara bersamaan dalam waktu yang sama.

Karena pengiriman dilakukan setiap 16 detik, sekali maka perhitungan energi pada *node* adalah sebagai berikut:

$$\bullet \quad E = \frac{16}{3600} \cdot \int_{t_0}^{t_n} V_t \cdot I_t \, dt \quad (4 - 3)$$

Pada layanan web, perhitungan energi dilakukan setiap 5 menit, maka perhitungan energi pada layanan web adalah sebagai berikut:

$$\bullet \quad E = \frac{5}{60} \cdot \int_{t_0}^{t_n} V_t \cdot I_t \, dt \quad (4 - 4)$$

4.1.4. Hasil Pengujian dan Analisis

Rangkaian sensor pada mikrokontroler digunakan untuk mengukur daya dan energi pada node. Beban dibatasi pada *range* 5-24 watt. Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali pengambilan data kemudian dirata – rata hingga didapatkan hasil pengujian data daya seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1, Tabel 4.2 dan Gambar 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Data Daya

Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca Wattmeter	Daya dibaca Mikrokontroller
5	1	4,1	4,1
	2	4,2	4,1
	3	4,3	4,3
	4	4,2	4,0
	5	4,3	4,3
	6	4,3	4,2
	7	4,2	4,3
	8	4,2	4,2
	9	4,3	4,3
	10	4,2	4,3
rerata		4,230	4,214

Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca Wattmeter	Daya dibaca Mikrokontroller
7	1	4,6	5,2
	2	4,7	5,0
	3	4,6	4,6
	4	4,7	4,6
	5	4,5	5,2
	6	4,7	4,6
	7	4,7	4,6
	8	4,7	4,0
	9	4,6	4,5
	10	4,7	4,5
rerata		4,650	4,680

Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca Wattmeter	Daya dibaca
			Mikrokontroller
10	1	8,1	8,2
	2	8,2	7,6
	3	8,1	8,7
	4	8,2	8,2
	5	8,1	8,3
	6	8,1	8,8
	7	8,0	7,6
	8	8,1	7,7
	9	8,1	7,6
	10	8,2	8,8
rerata		8,120	8,152

Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca Wattmeter	Daya dibaca
			Mikrokontroller
12	1	8,7	8,7
	2	8,6	8,6
	3	8,7	9,3
	4	8,6	8,8
	5	8,8	9,9
	6	8,8	8,0
	7	8,8	9,2
	8	8,8	8,7
	9	8,9	9,3
	10	8,6	8,7
rerata		8,730	8,925

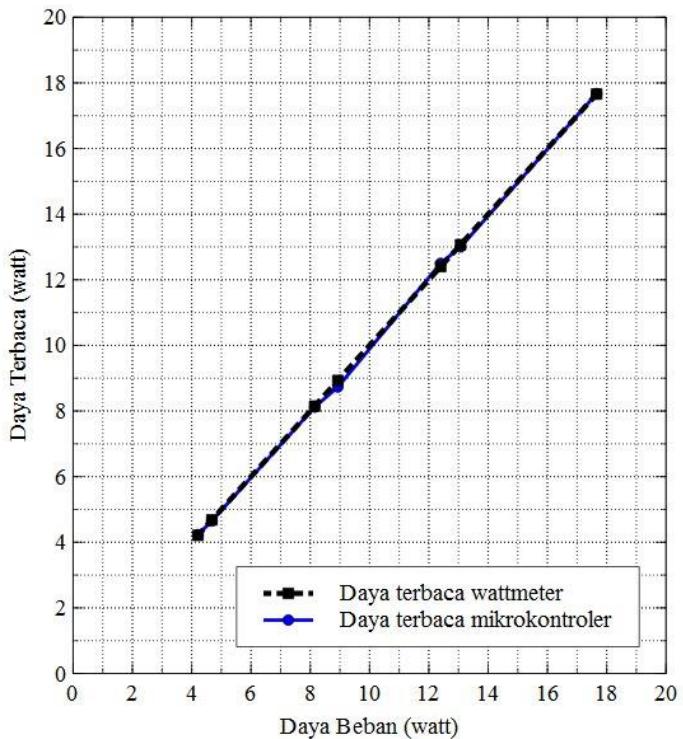
Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca Wattmeter	Daya dibaca
			Mikrokontroller
17	1	12,0	11,6
	2	12,2	11,7
	3	12,4	12,2
	4	12,5	12,9
	5	12,6	12,8
	6	12,6	11,7
	7	12,7	13,3
	8	12,7	12,1
	9	12,6	12,3
	10	12,7	13,3
rerata		12,500	12,398

Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca Wattmeter	Daya dibaca Mikrokontroller
19	1	12,6	13,2
	2	13,1	12,8
	3	13,0	13,2
	4	12,9	12,8
	5	13,2	13,2
	6	13,1	12,6
	7	13,0	13,3
	8	13,0	12,8
	9	13,0	12,8
	10	13,1	13,9
rerata		13,000	13,074

Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca Wattmeter	Daya dibaca Mikrokontroller
24	1	17,8	17,7
	2	17,7	17,8
	3	17,8	18,8
	4	17,8	16,5
	5	17,7	16,1
	6	17,7	16,2
	7	17,6	17,9
	8	17,5	18,4
	9	17,5	19,4
	10	17,6	17,8
rerata		17,670	17,660

Tabel 4.2 Hasil Rerata Pengujian Data Daya

Rerata daya pada wattmeter (watt)	Rerata daya terhitung pada mikrokontroler (watt)	Selisih	Error (%)
4,23	4,21	0,02	0,3783
4,65	4,68	0,03	0,6452
8,12	8,15	0,03	0,3941
8,73	8,93	0,20	2,2337
12,50	12,40	0,10	0,8160
13,00	13,07	0,07	0,5692
17,67	17,66	0,01	0,0566
Error Rata-Rata (%)			0,7276



Gambar 4.2 Grafik hubungan daya terukur dengan daya beban

Pengujian pengukuran daya memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 0,7276% terhadap pembacaan dengan menggunakan *wattmeter* dan selisih terbesar adalah 0,20 watt. Perbedaan nilai daya yang terukur dengan daya yang tertera pada beban lampu dipengaruhi oleh kualitas dari lampu.

Adapun hasil pengukuran energi ditunjukkan dalam Tabel 4.3, Tabel 4.4, dan Gambar 4.3

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Data Energi per 10 menit

Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca	Daya dibaca
		Wattmeter	Mikrokontroller
5	1	0,670	0,650
	2	0,680	0,680
	3	0,670	0,650
rerata		0,673	0,660

Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca Wattmeter	Daya dibaca Mikrokontroller
7	1	0,700	0,755
	2	0,710	0,700
	3	0,680	0,710
rerata		0,697	0,722

Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca Wattmeter	Daya dibaca Mikrokontroller
10	1	1,300	1,230
	2	1,290	1,240
	3	1,310	1,300
rerata		1,300	1,257

Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca Wattmeter	Daya dibaca Mikrokontroller
12	1	1,500	1,450
	2	1,500	1,460
	3	1,490	1,490
rerata		1,497	1,467

Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca Wattmeter	Daya dibaca Mikrokontroller
17	1	2,100	2,090
	2	2,090	2,140
	3	2,200	2,270
rerata		2,130	2,167

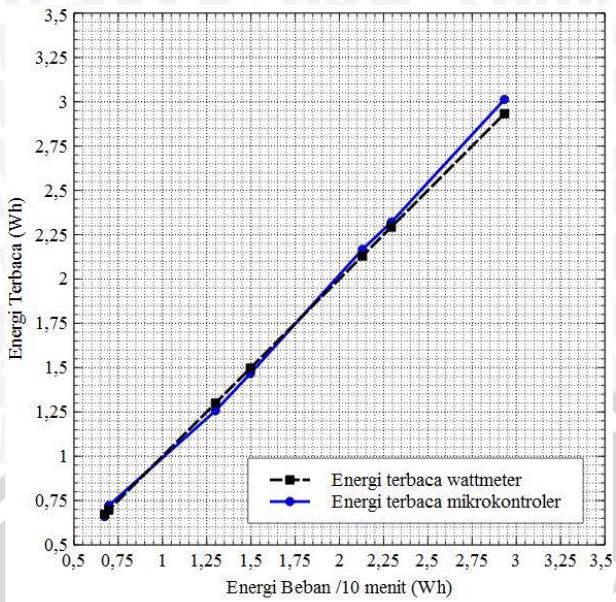


Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca	Daya dibaca Mikrokontroller
Wattmeter			
19	1	2,300	2,320
	2	2,310	2,350
	3	2,270	2,290
rerata		2,293	2,320

Beban Lampu (watt)	Percobaan ke-	Daya dibaca	Daya dibaca Mikrokontroller
Wattmeter			
24	1	2,900	3,120
	2	2,900	2,890
	3	3,000	3,030
rerata		2,933	3,013

Tabel 4.4 Hasil Rerata Pengujian Data Energi per 10 menit

Rerata daya pada wattmeter (watt)	Rerata daya terhitung pada mikrokontroler (watt)	Selisih	Error (%)
0,673	0,660	0,013	0,0193
0,697	0,722	0,025	0,0359
1,300	1,257	0,043	0,0331
1,497	1,467	0,03	0,0200
2,130	2,167	0,037	0,0174
2,293	2,320	0,027	0,0118
2,933	3,013	0,08	0,0273
Error Rata-Rata (%)			2,3532



Gambar 4.3 Grafik hubungan energi terukur dan energi beban

Pengujian pengukuran energi memberikan hasil dengan rata-rata error sebesar 2,3532% terhadap pembacaan dengan menggunakan wattmeter dan selisih terbesar adalah 0,08 Wh

4.2. Pengujian Rangkaian Wi-Fi

4.2.1. Tujuan

Tujuan pengujian rangkaian *Wi-Fi* adalah untuk mengetahui apakah modul dapat mengirimkan dan menerima informasi dari internet yang terhubung *access point*.

4.2.2. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian Wi-Fi meliputi :

1. Modul *Wi-Fi* ESP8266.
2. Mikrokontroler Arduino Mega 2560.
3. Serial Monitor.
4. *Access Point*



4.2.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan perintah *AT Command* ke modul *Wi-Fi* yang bertindak sebagai client. Kemudian dilihat responnya melalui serial monitor. Diagram blok pengujian *Wi-Fi* ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Diagram blok pengujian modul *Wi-Fi*.

Prosedur pengujian sensor arus adalah sebagai berikut :

1. Rangkai rangkaian pengujian *Wi-Fi* arus sesuai Gambar 4.6
2. Program mikrokontroler menguji modul *Wi-Fi* dengan mengirimkan *AT Command* seperti pada Lampiran 1.
3. Pastikan access point bekerja dengan baik dan terhubung ke internet
4. Lihat respon dari modul *Wi-Fi* menggunakan *serial monitor* pada arduino

4.2.4. Hasil Pengujian

Pengujian rangkaian *Wi-Fi* memberikan hasil yang baik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7. dimana modul *Wi-Fi* dapat terhubung ke access point dan mampu menerima data dari internet.

```

COM3 (Arduino/Genuino Mega or Mega 2560)

ESP8266 Demo on Mega2560
Resetting module
Module is ready
AT+CWJAP="ilham","qwe12345"
OK, Connected to WiFi.
AT+CIPSTART="TCP","220.181.111.85",80
connect timeout
AT+CIPSTART="TCP","220.181.111.85",80
>

Recv 18 bytes

=====
AT+CIPSTART="TCP","220.181.111.85",80
connect timeout
AT+CIPSTART="TCP","220.181.111.85",80
connect timeout
AT+CIPSTART="TCP","220.181.111.85",80
>

Recv 18 bytes

SEND OK

=====

 Autoscroll
Both NL & CR 115200 baud
  
```

Gambar 4.7 Hasil pengujian modul *Wi-Fi*.



4.3. Pengujian Kontrol Relay

4.3.1. Tujuan

Tujuan pengujian kontrol relay adalah untuk mengetahui kesesuaian kondisi relay ketika diberi perintah melalui *smartphone*. Pengujian dilakukan dengan melihat kondisi relay ketika diberi perintah melalui aplikasi android yang terhubung dengan layanan web. Kondisi relay disesuaikan dengan perintah yang dikirim melalui *smartphone*.

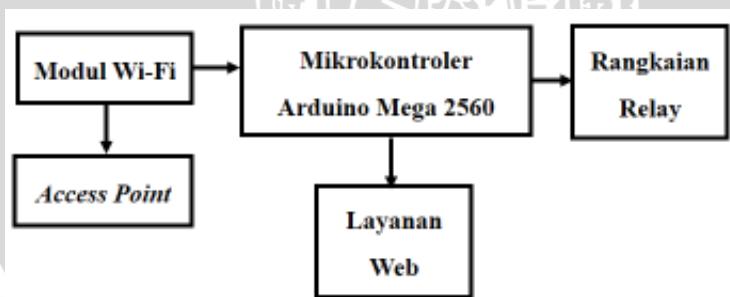
4.3.2. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian rangkaian kontrol relay adalah :

1. Mikrokontroler Arduino Mega 2560
2. Rangkaian relay
3. *Access point*
4. Modul Wi-Fi
5. Aplikasi pada *smartphone* seperti pada Lampiran 2.

4.3.3. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan perintah yang terdapat pada aplikasi *smartphone* dengan jeda waktu tertentu, kemudian disesuaikan dengan informasi yang diterima pada layanan web. Diagram blok pengujian kontrol relay ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Diagram blok pengujian kontrol relay.

Prosedur pengujian kontrol relay adalah sebagai berikut :

1. Rangkai rangkaian pengujian kontrol relay Gambar 4.8
2. Pastikan *access point* dan aplikasi terhubung ke internet
3. Tekan tombol pada aplikasi untuk menguji apakah relay dapat bekerja
4. Lihat perubahan kondisi relay pada layanan web
5. Bandingkan kondisi pada layanan web dengan posisi relay yang aktif

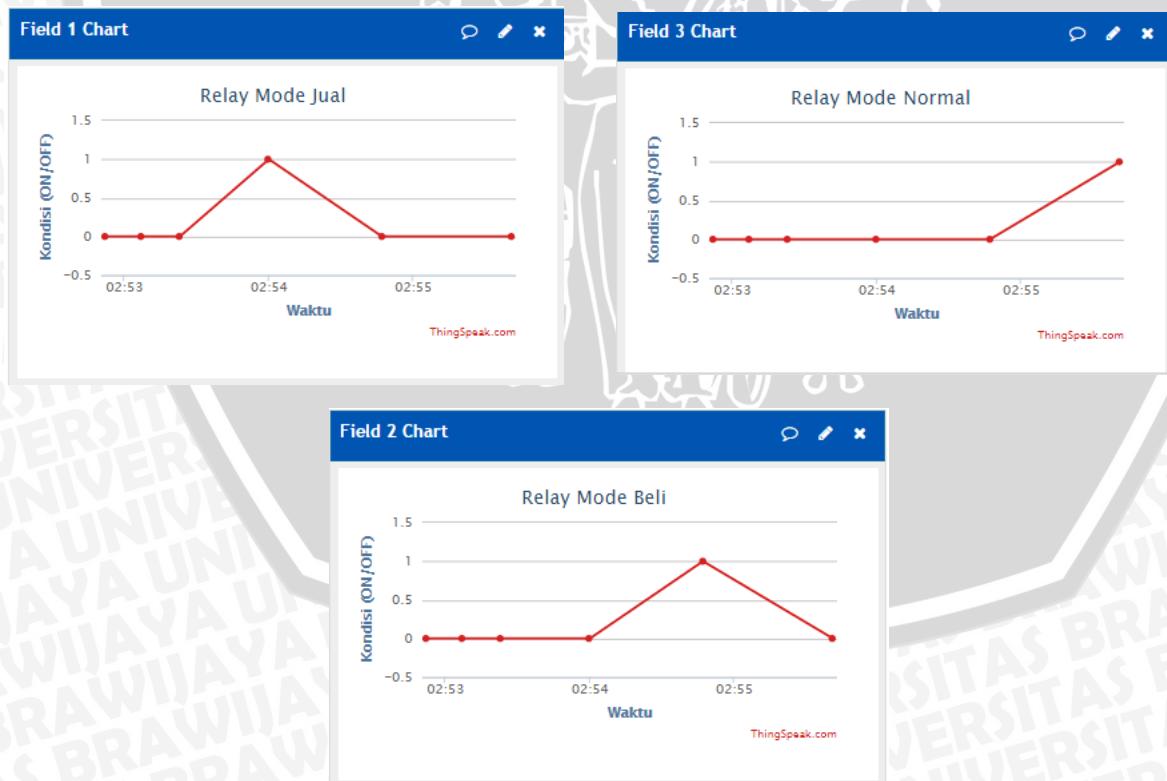
4.3.4. Hasil Pengujian

Pengujian kontrol relay memberikan hasil yang baik seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5 dimana relay dapat diatur sesuai dengan perintah yang dikirimkan aplikasi pada *smartphone*.

Tabel 4.5 Hasil pengujian rangkaian sensor arus dengan mikrokontroler.

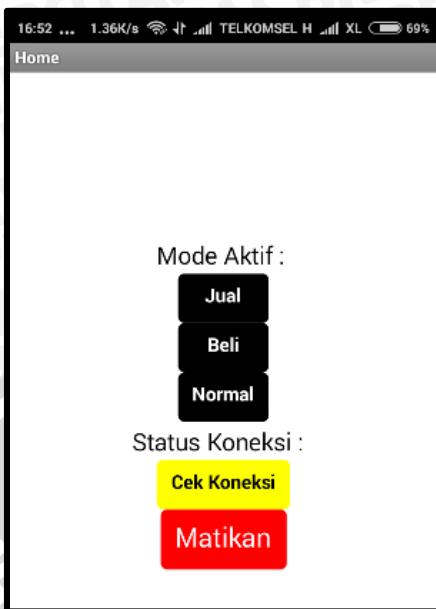
Tes	Perintah	Relay	Status
1	Mati	A	Tidak Aktif
		B	Tidak Aktif
		C	Tidak Aktif
2	Jual	A	Aktif
		B	Tidak Aktif
		C	Tidak Aktif
3	Beli	A	Tidak Aktif
		B	Aktif
		C	Tidak Aktif
4	Normal	A	Tidak Aktif
		B	Tidak Aktif
		C	Aktif

Adapun grafik keadaan relay pada layanan web ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik hasil pengujian rangkaian sensor arus dengan mikrokontroler.

Adapun tampilan dari aplikasi pada *smartphone* ditunjukkan dalam Gambar 4.10



Gambar 4.10 Tampilan aplikasi pada *smartphone*

Perintah yang dikirimkan secara berurutan yaitu Mati, Jual, Beli, dan Normal. Ketika perintah mati, relay pada posisi 0 atau mati semua. Pada perintah Jual, relay A pada posisi 1 atau hidup, B dan C mati. Sedangkan untuk perintah Beli relay B pada posisi 1 atau hidup, A dan C mati. Selanjutnya untuk perintah Normal, relay C pada posisi hidup, A dan B mati. Perubahan kondisi relay dibatasi oleh waktu pengiriman minimal yang dapat diterima oleh penyedia layanan web ‘thingspeak.com’ yaitu 16 detik.

4.4. Pengujian Rangkaian LCD

4.4.1. Tujuan

Pengujian rangkaian *LCD* adalah untuk mengetahui apakah rangkaian *LCD* dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perintah yang diberikan melalui mikrokontroler. Hal ini perlu dilakukan karena *LCD* berfungsi untuk menunjukkan nilai arus dan tegangan yang terbaca pada masing – masing node.

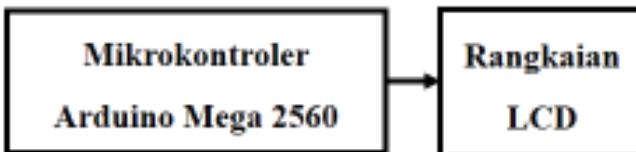
4.4.2. Alat yang Digunakan

Adapun alat yang digunakan untuk melakukan pengujian rangkaian *LCD* adalah sebagai berikut :

1. Mikrokontroler
2. Rangkaian *LCD*

4.4.3. Prosedur Percobaan

Pengujian diakukan dengan cara memberikan perintah melalui mikrokontroler untuk ditampilkan pada layar *LCD*. Diagram blok pengujian rangkaian *LCD* ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Diagram blok pengujian rangkaian *LCD*..

Adapun prosedur pengujian rangkaian *LCD* adalah sebagai berikut:

1. Rangkai rangkaian pengujian rangkaian *LCD* sesuai diagram blok pada Gambar 4.11.
2. Berikan perintah pada mikrokontroler.
3. Amati apakah tampilan pada *LCD* sesuai dengan perintah dari mikrokontroler.

Berikut ini cuplikan perintah yang diberikan oleh rangkaian mikrokontroler.

```

void loop()
{
LCD.setCursor(0,0); //penempatan tulisan
LCD.print ("Pengujian"); //tulisan yang ditampilkan
LCD.setCursor(0, 1);
LCD.print("LCD");
}
  
```

4.4.4. Hasil Pengujian

Pengujian rangkaian *LCD* memberikan hasil yang cukup baik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12 yang memperlihatkan bahwa *LCD* dapat menampilkan data sesuai dengan perintah yang diberikan oleh mikrokontroler.



Gambar 4.12 Hasil pengujian rangkaian *LCD*

4.5. Pengujian Sistem Jual-Beli

4.5.1. Tujuan

Tujuan pengujian sistem jual-beli adalah untuk mengetahui kesesuaian harga dan arah arus listrik pada saat mode jual dan beli.

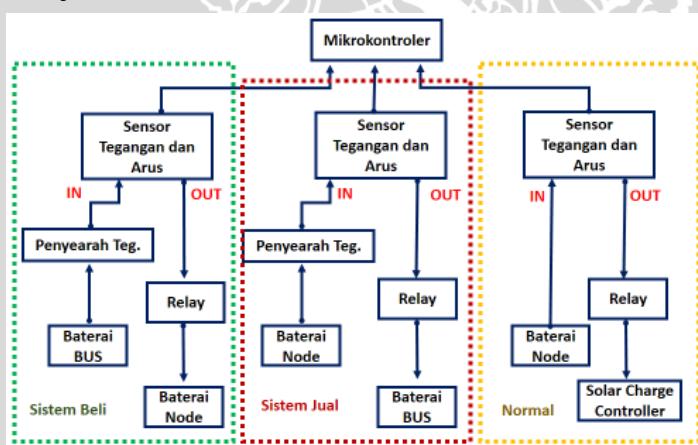
4.5.2. Alat yang Digunakan

Adapun alat yang digunakan untuk melakukan pengujian sistem jual-beli adalah sebagai berikut :

1. Sistem perangkat keras yang sudah diuji
2. Aplikasi *smartphone*
3. Akses layanan web

4.5.3. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menghitung harga pada saat jual dan beli, dan kesesuaian arah arus listrik pada saat jual dan beli menggunakan *amperemeter*. Diagram blok pengujian sistem jual-beli ditunjukkan dalam Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Diagram blok pengujian rangkaian LCD.

Adapun prosedur pengujian sistem jual-beli adalah sebagai berikut:

1. Rangkai pengujian sistem jual-beli sesuai Gambar 4.13.
2. Berikan perintah pada aplikasi
3. Amati data yang telah diproses pada layanan web.

Pada sistem ini, sumber energi yang digunakan berasal dari *solar cell*, sehingga penentuan harga berdasarkan perhitungan tarif FIT (*Feed-In Tariff*) dari *solar cell*. Dikarenakan di Indonesia belum ada FIT untuk *solar cell*, maka penulis mengambil harga FIT dari referensi [4]. Pada referensi diperoleh kisaran harga FIT yaitu Rp. 1987 / kWh –

Rp. 4503 / kWh. Untuk memudahkan perhitungan, penulis mengambil nilai tengah dari kisaran tersebut yaitu Rp. 3245 / kWh.

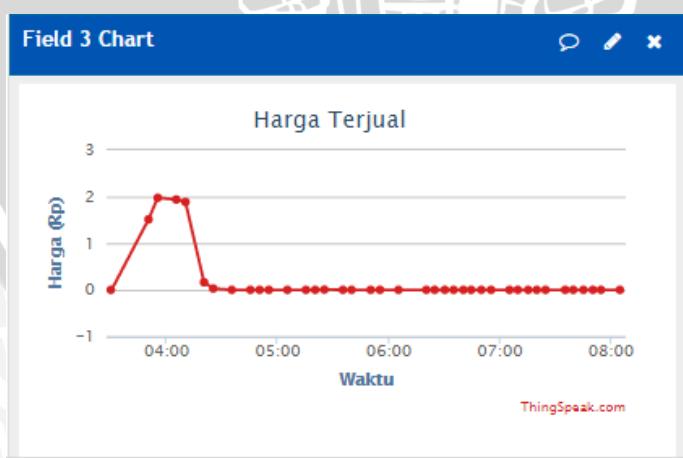
4.5.4. Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian sistem jual-beli memberikan hasil yang cukup baik. Sistem mampu menghitung harga sesuai dengan energi yang terukur dan arah arus sesuai dengan yang diinginkan.

Adapun hasil pengujian perhitungan harga jual ditunjukkan dalam Tabel 4.6 dan Gambar 4.15.

Tabel 4.6 Tabel hasil pengujian harga jual

Energi terjual dalam layanan web	Harga terhitung dalam layanan web (Rupiah) (Wh)	Harga hasil perhitungan (Rupiah)	Error (%)
0,4661	1,5124	1,4884	1,5869
0,6092	1,9769	1,9649	0,6070
0,5974	1,9385	1,8935	2,3214
0,5814	1,8869	1,8559	1,6429
0,0500	0,1622	0,1602	1,2330
0,0086	0,0281	0,03	6,7616
Error Rata-Rata (%)			2,3588



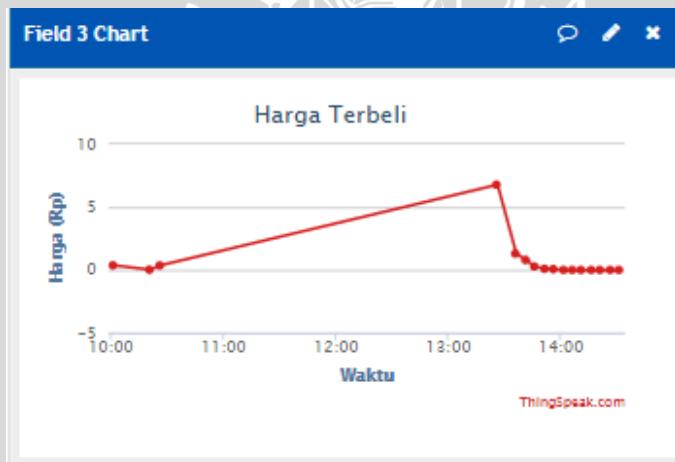
Gambar 4.15 Grafik harga jual.

Pada gambar terlihat harga listrik terjual sesuai dengan energi yang dihabiskan. Pengujian harga jual memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 2,3588% terhadap harga hasil perhitungan dan selisih terbesar adalah 0,045 Rupiah.

Adapun hasil pengujian perhitungan harga beli ditunjukkan dalam Tabel 4.7 dan Gambar 4.16.

Tabel 4.7 Tabel hasil pengujian harga beli

Energi terjual dalam layanan web (Wh)	Harga terhitung dalam layanan web (Rupiah)	Harga hasil perhitungan (Rupiah)	Error (%)
0,1128	0,3660	0,357	2,459
0,0051	0,0165	0,017	3,0303
0,1092	0,3543	0,3469	2,1163
2,0904	6,7833	6,7443	0,5749
0,4000	1,2979	1,331	2,5423
0,2449	0,7948	0,7798	1,8749
Error Rata-Rata (%)			2,0996



Gambar 4.16 Grafik harga beli

Pada gambar terlihat harga listrik terbeli sesuai dengan energi yang dihabiskan. Pengujian harga beli memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 2,0996% terhadap harga hasil perhitungan dan selisih terbesar adalah 0,039 Rupiah.

4.6. Pengujian Keseluruhan

4.6.1. Tujuan

Tujuan pengujian keseluruhan adalah untuk mengetahui apakah sistem yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan perancangan. Parameter dalam pengujian keseluruhan adalah

sistem mampu memantau informasi arus, tegangan, daya, energi, dan harga jual maupun beli dari layanan web ‘thingspeak.com’.

4.6.2. Prosedur Percobaan

Pengujian dilakukan dengan menjalankan perangkat keras dan perangkat lunak yang sudah diuji kemudian dilakukan pemantauan di layanan web ‘thingspeak.com’. Informasi yang dikirim ke layanan web harus tersimpan di *server* dan mampu ditunjukkan pada laman layanan web ‘thingspeak.com’.

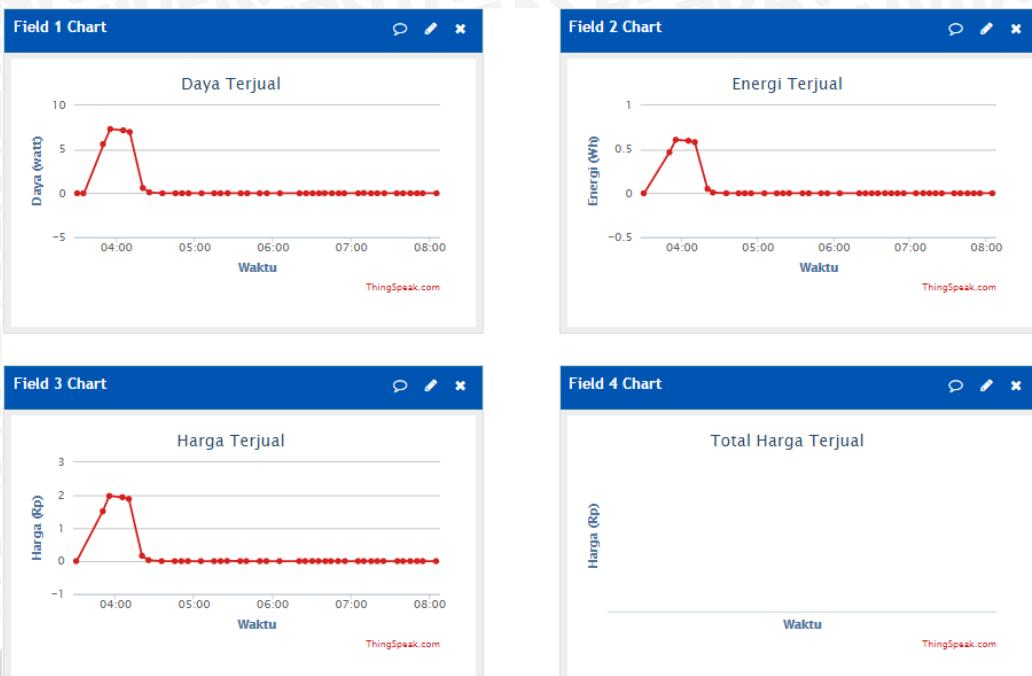
4.6.3. Hasil Pengujian

Pengujian keseluruhan memberikan hasil yang baik. Sistem mampu menampilkan informasi yang telah dikirim ke layanan web ‘thingspeak.com’ meliputi informasi arus, tegangan, daya, energi dan harga jual dan beli. Adapun informasi arus dan tegangan ditunjukkan dalam Gambar 4.17.



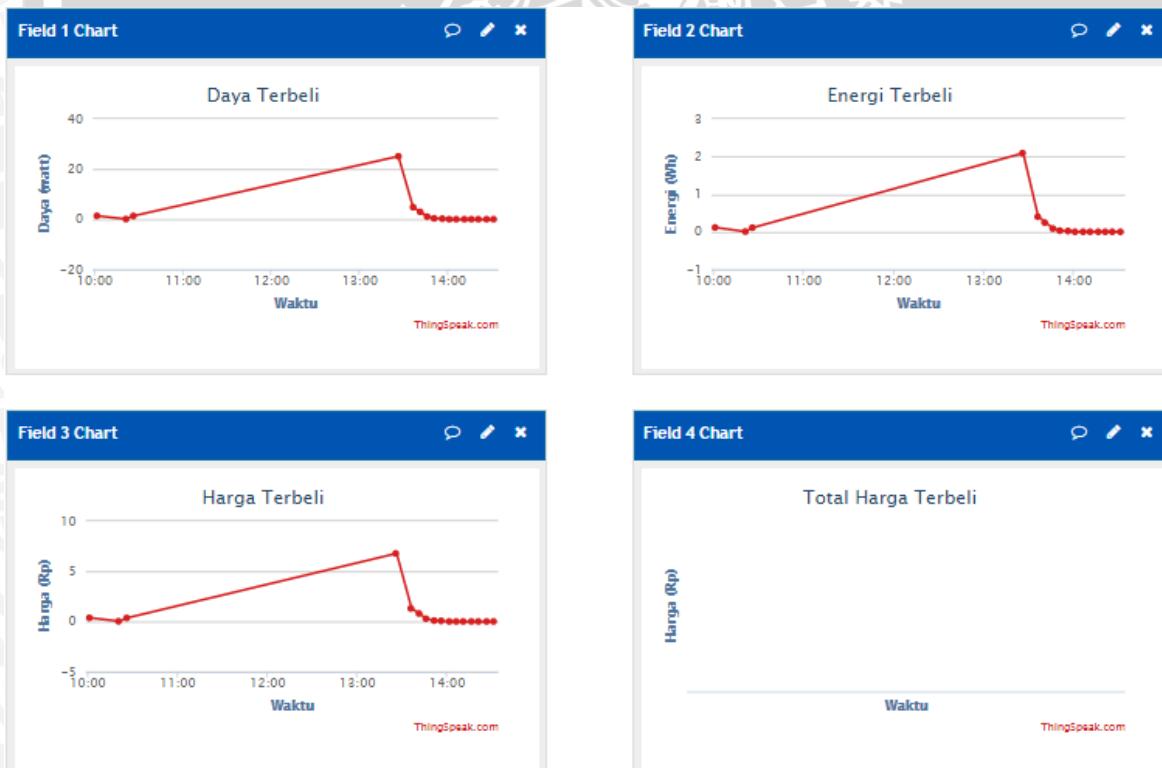
Gambar 4.17 Informasi arus dan tegangan pada layanan web ‘thingspeak.com’.

Adapun informasi daya, energi dan harga jual ditunjukkan dalam Gambar 4.18



Gambar 4.18 Informasi daya, energi dan harga jual pada layanan web ‘thingspeak.com’

Adapun informasi daya, energi dan harga beli ditunjukkan dalam Gambar 4.19.



Gambar 4.18 Informasi daya, energi dan harga beli pada layanan web ‘thingspeak.com’



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis dari penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan sistem jual-beli listrik pada *micro smart grid* terdiri dari 3 *node*. Data dari pembacaan sensor kemudian ditransmisikan ke internet melalui modul *Wi-Fi*. Setelah itu dikirim ke *cloud* layanan web ‘thingspeak.com’ untuk diolah dan ditampilkan pada grafik secara *real time*.
2. Pengolahan data arus dan tegangan dilakukan pada node, kemudian dikirim ke layanan web ‘thingspeak.com’ untuk diolah menjadi data daya dan energi. Pengujian pengukuran daya memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 0,7276% terhadap pembacaan dengan menggunakan *wattmeter* dan selisih terbesar adalah 0,20 watt. Pengujian pengukuran energi memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 2,3532% terhadap pembacaan dengan menggunakan *wattmeter* dan selisih terbesar adalah 0,08 Wh. Pengujian kontrol relay menunjukkan bahwa relay dapat dikontrol dari layanan web secara tepat dengan waktu perubahan minimal 16 detik.
3. Sistem jual-beli listrik dilakukan dengan mengatur arah arus listrik dengan menggunakan perbedaan tegangan. Harga listrik ditentukan dengan menggunakan FIT (Feed-In Tariff) dari *solar cell* yaitu sebesar Rp 3245/kWh diambil dari rata-rata nilai terendah dan tertinggi. Pengujian harga jual memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 2,3588% terhadap harga hasil perhitungan dan selisih terbesar adalah 0,045 Rupiah. Pengujian harga beli memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 2,0996% terhadap harga hasil perhitungan dan selisih terbesar adalah 0,039 Rupiah. *Error* disebabkan karena perbedaan sampling pembacaan sensor yaitu 1 detik pada wattmeter dan 16 detik pada mikrokontroler.

5.2. Saran

Beberapa saran yang diberikan untuk perbaikan skripsi ini antara lain:

1. Untuk akurasi yang lebih baik, *sampling* dari pembacaan sensor sebaiknya setiap 1 detik atau lebih kecil.
2. Penyimpanan pada SD Card yang terintegrasi dengan RTC dibutuhkan untuk menutupi cacat pengiriman data ketika tidak ada internet.



3. Rangkaian konverter dan proteksi pada baterai dibutuhkan agar baterai terhindar dari kerusakan akibat kegagalan sistem.
4. Diperlukan sistem penempatan baterai bus sehingga dapat mengurangi resiko jatuh tegangan dalam distribusi listrik.
5. Sistem *cloud* lebih baik jika menggunakan server dalam negeri untuk alasan privasi data, serta sistem keamanan jaringan diperlukan untuk sistem yang lebih baik.
6. Sistem peramalan harga terjual maupun terbeli diperlukan guna memberikan peringatan dini bagi pelanggan.
7. Sistem paket atau saldo energi diperlukan untuk pelayanan yang lebih baik.
8. Guna meningkatkan pelayanan antar pengguna dan penyedia sebaiknya harga jual dan beli dibedakan dan dapat diatur.
9. Lebih baik jika sensor yang digunakan adalah jenis *non-contact* agar pemasangan alat menjadi lebih praktis.



DAFTAR PUSTAKA

- Allegro MicroSystems. 2013. *ACS712 : Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor ICwith 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*. Worcherster.
- Ashadi. 2012. Perumusan Tarif Pembelian Listrik pada Regulasi Feed-In Tariff untuk Teknologi Photovoltaic Serta Analisa Penerapannya di Indonesia. *Tesis*. Tidak dipublikasikan. Jakarta : Universitas Indonesia
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2014. *Outlook Energi Indonesia 2014: Pengembangan Energi untuk Mendukung Program Substitusi BBM*. Jakarta : PTPSE.
- Campbell, Matthew. 2010. *Levelized Cost of Energy for Utility-Scale Photovoltaics. Solar Cell and Their Application, Second Edition*. Bab 11, hal 251. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc
- Güngör, Vehbi C. dkk. 2012. *Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards*. *IEEE TRANSACTION ON INDUSTRIAL INFORMATIC*, VOL 7, NO 4. USA : IEEE
- Kementerian ESDM. 2015. *Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2015-2034*. Jakarta : Kementerian ESDM.
- Kementerian ESDM. 2014. *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2014 tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara*. Jakarta : Kementerian ESDM
- Moslehi, Khosrow dkk. 2010. *A Reliability Perspective of the Smart Grid*. *IEEE TRANSACTION ON SMART GRID*. USA : IEEE
- PLN. 2014. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) tahun 2015-2024*. Jakarta : PLN
- Tribuono, Cahyo. 2016. Rancang Bangun Smart Metering Jaringan DC pada Micro Grid. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya

Saputra, Bayu S.N.T. 2015. Rancang Bangun Monitoring and Switching System untuk mengetahui Arus dan Tegangan pada Microgrid. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan.
Malang : Universitas Brawijaya



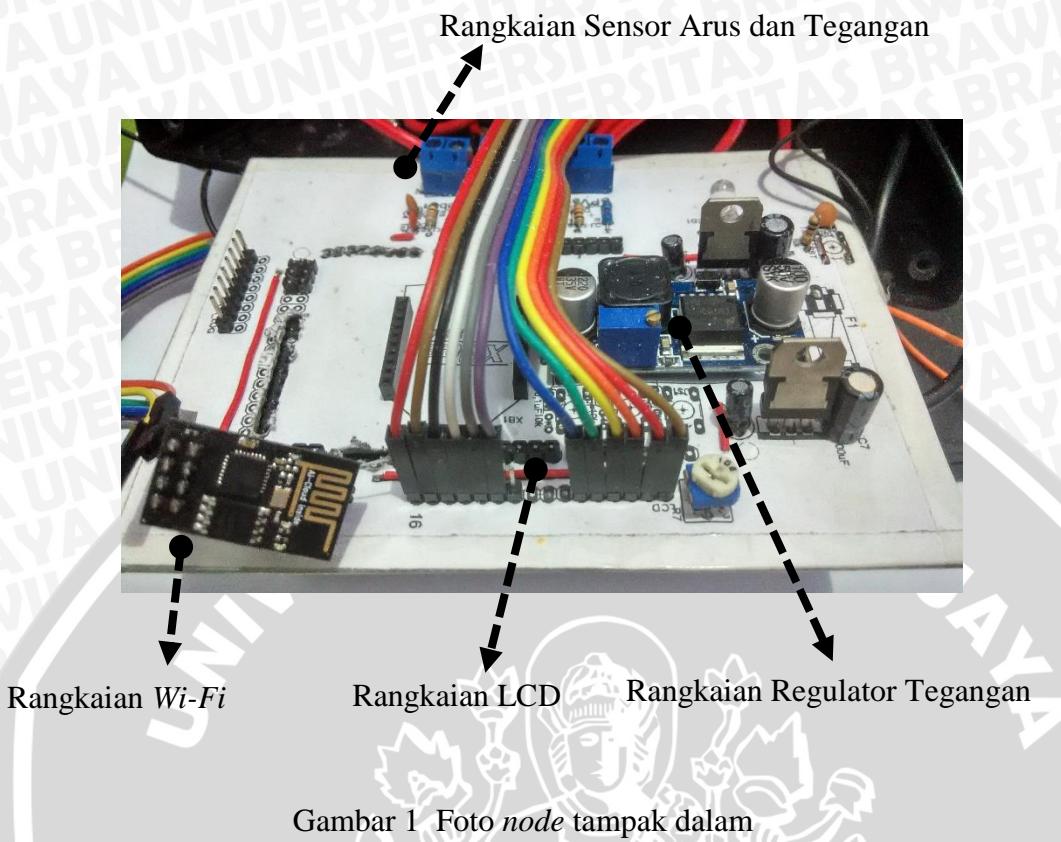
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

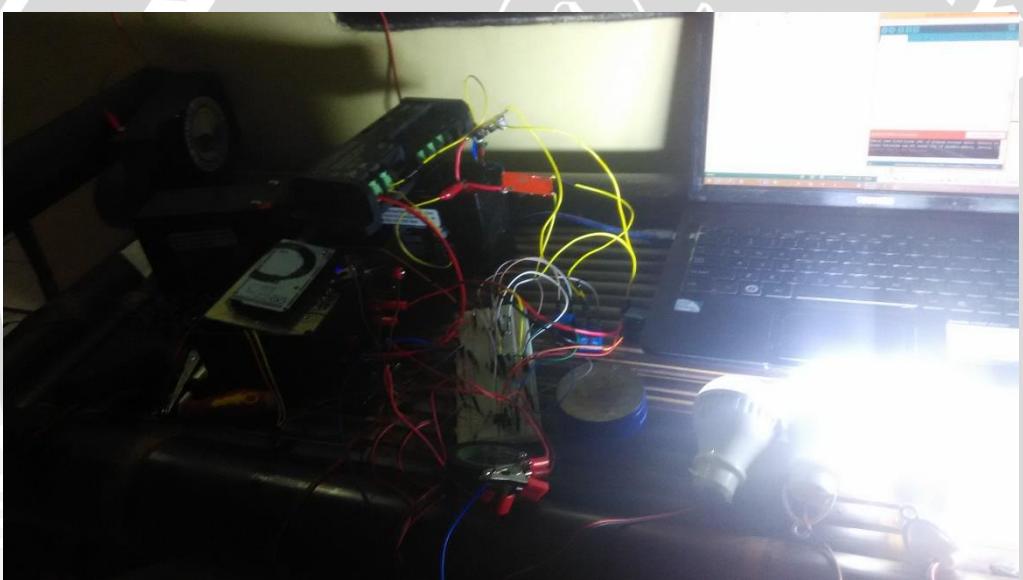
LAMPIRAN



Lampiran 1. Foto AlatGambar 2 Foto *node* tampak luar



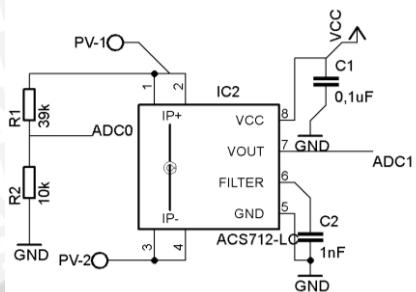
Gambar 3 Foto pengujian dengan *wattmeter*



Gambar 4 Foto pengujian dengan beban lampu

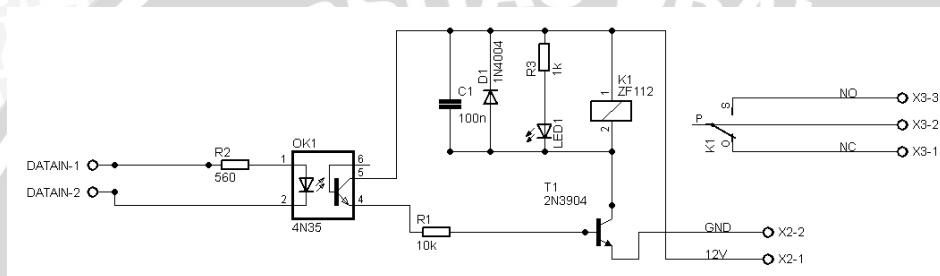
Lampiran 2. Skematik Rangkaian

A. Skematik Rangkaian Sensor Tegangan dan Sensor Arus



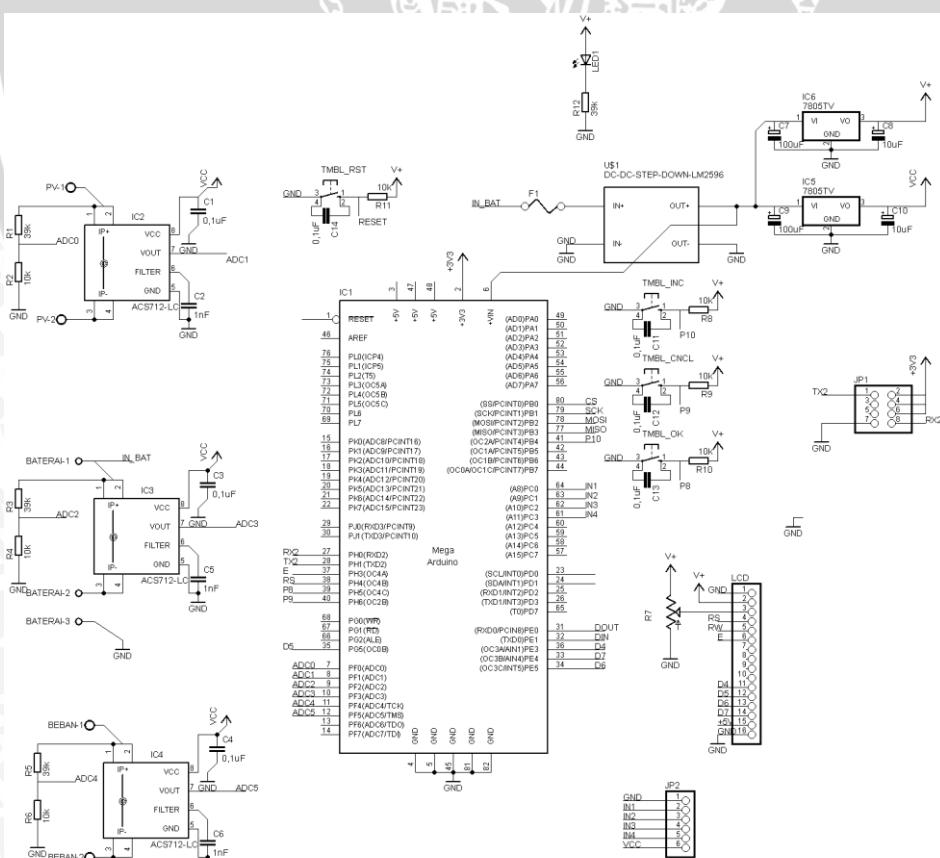
Gambar 5 Skematik rangkaian sensor tegangan dan arus

B. Skematik Rangkaian Relay



Gambar 6 Skematik rangkaian relay

C. Skematik Keseluruhan Sistem



Gambar 7 Skematik keseluruhan sistem

Lampiran 3. Listing Program

A. Listing Program Pengujian Wi-Fi

```
#define SSID "ilham"
#define PASS "qwe12345"
#define DST_IP "220.181.111.85" //baidu.com

void setup()
{
    // membuka port serial 2 untuk ESP8266
    Serial2.begin(115200); //9600, 57600, 115200
    Serial2.setTimeout(1000);

    //membuka port serial 0 untuk USB
    Serial.begin(115200);

    while(!Serial);
    while(!Serial2);

    Serial.println("ESP8266 Demo on Mega2560");

    while(Serial2.available()>0)
    Serial2.read();
    delay(1000);
    //cek kesiapan modul ESP8266
    Serial2.println("AT");

    Serial.println("Resetting module");
    Serial2.flush();
    //delay(1000);

    //if(Serial2.find("ready"))
    if(Serial2.find("OK")||Serial2.find("ok"))
    {
        //dbgSerial.println("Module is ready");
        Serial.println("Module is ready");
    }
    else
    {
        //dbgSerial.println("Module have no response.");
        Serial.println("Module have no response.");
    }
}

while(1);
}

delay(1000);
//connect to the wifi
boolean connected=false;
for(int i=0;i<5;i++)
{
    if(connectWiFi())
    {
        connected = true;
        break;
    }
}
if (!connected){while(1);}
delay(5000);
//print the ip addr
/*
Serial2.println("AT+CIFSR");
Serial.println("ip address:");
while (Serial2.available())
Serial.write(Serial2.read());

*/
//set the single connection mode
Serial2.println("AT+CIPMUX=0");
}

void loop()
{
    String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\",\"";
    cmd += DST_IP;
    cmd += "\",80";
    Serial2.println(cmd);
    //dbgSerial.println(cmd);
    Serial.println(cmd);
    if(Serial2.find("Error")) return;
    cmd = "GET / HTTP/1.0\r\n\r\n";
    Serial2.print("AT+CIPSEND=");
    Serial2.println(cmd.length());
}
```

```

if(Serial2.find(">"))
{
    //dbgSerial.print(">");
    Serial.print(">");
}
else
{
    Serial2.println("AT+CIPCLOSE");
    //dbgSerial.println("connect timeout");
    Serial.println("connect timeout");
    delay(1000);
    return;
}
Serial2.print(cmd);
delay(2000);
//Serial.find("+IPD");
while (Serial2.available())
{
    char c = Serial2.read();
    //dbgSerial.write(c);
    Serial.write(c);
    //if(c=='r') dbgSerial.print("\n");
    if(c=='r') Serial.print("\n");
}
//dbgSerial.println("====");
Serial.println("====");
delay(1000);

boolean connectWiFi()
{
    Serial2.println("AT+CWMODE=1");
    String cmd="AT+CWJAP=\"";
    cmd+=SSID;
    cmd+="\"";
    cmd+=PASS;
    cmd+="";
    //dbgSerial.println(cmd);
    Serial2.println(cmd);
    Serial.println(cmd);
    delay(2000);
    if(Serial2.find("OK"))
    {
        //dbgSerial.println("OK, Connected to WiFi.");
        Serial.println("OK, Connected to WiFi.");
        return true;
    }
    else
    {
        //dbgSerial.println("Can not connect to the
        WiFi.");
        Serial.println("Can not connect to the WiFi.");
        return false;
    }
}

```

B. Listing Program pada Node

=====bagian awal program=====

```
#include <stdlib.h>
```

```
#define SSID "ilham"
#define PASS "qwe12345"
#define IP_TARGET "184.106.153.149"
//api.thingspeak.com
#define APIKEY "9VO1Y8G48O5UA7IG"
#define CHANNELS "128641"
=====
=====inisialisasi variable=====
int
SensorTeganganJual,SensorTeganganBeli,SensorTe
```

```
ganganNormal,sensorarusJual,
sensorarusBeli,sensorarusNormal ;
```

```
float
dayaJual,dayaBeli,dayaNormal,energiJual,energiBel
i,energiNormal,kapasitasJual,kapasitasBeli,kapasitas
Normal ;
```

```
float EJual,EBeli,ENormal,CJual,CBeli,CNormal ;
```

```
=====setup=====
```

```
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial2.begin(115200);
```



```

Serial.begin(115200);
Serial2.println("AT+RST");
}

=====
=====main program=====
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  //pembacaan sensor dan
  perhitungan=====
  SensorTeganganJual = analogRead(A0);
  //sensor tegangan PV
  float VoutJual = 5*(SensorTeganganJual/1023.0) ;
  float TeganganJual = (4.8817*VoutJual)+0.1225 ;

  SensorTeganganBeli = analogRead(A2);
  //sensor tegangan Beli
  float VoutBeli = 5*(SensorTeganganBeli/1023.0) ;
  float TeganganBeli = (4.8817*VoutBeli)+0.1225 ;

  SensorTeganganNormal = analogRead(A4);
  //sensor tegangan Normal
  float VoutNormal =
  5*(SensorTeganganNormal/1023.0) ;
  float TeganganNormal =
  (4.8817*VoutNormal)+0.1225 ;

  sensorarusJual = analogRead (A1);
  // sensor arus PV
  float ArusJual = (0.00489*sensorarusJual - 2.49)
  / 0.1;

  sensorarusBeli = analogRead (A3);
  // sensor arus Beli
  float ArusBeli = (0.00489*sensorarusBeli - 2.479) /
  0.1;

  sensorarusNormal = analogRead (A5);
  // sensor arus PV

float ArusNormal = (0.00489*sensorarusNormal -
1.921) / 0.1;
=====

if (TeganganJual<0)
{TeganganJual = 0;}
if (ArusJual<0)
{ArusJual = 0;}
if (TeganganBeli<0)
{TeganganBeli = 0;}
if (ArusBeli<0)
{ArusBeli = 0;}
if (TeganganNormal<0)
{TeganganNormal = 0;}
if (ArusNormal<0)
{ArusNormal = 0;}

=====

dayaJual = TeganganJual*ArusJual;
energiJual = (dayaJual)*16/3600 ;
EJual += energiJual ;
kapasitasJual = ArusJual*16/3600 ;
CJual += kapasitasJual ;

dayaBeli = TeganganBeli*ArusBeli;
energiBeli = (dayaBeli)*16/3600 ;
EBeli += energiBeli ;
kapasitasBeli = ArusBeli*16/3600 ;
CBeli += kapasitasBeli ;

dayaNormal = TeganganNormal*ArusNormal;
energiNormal = (dayaNormal)*16/3600 ;
ENormal += energiNormal ;
kapasitasNormal = ArusNormal*16/3600 ;
CNormal += kapasitasNormal ;

=====

char
buf1[16],buf2[16],buf3[16],buf4[16],buf5[16],buf6[
16],buf7[16],buf8[16],buf9[16],buf10[16],buf11[16]
,buf12[16];

```



```
String strArus1 = dtostrf(ArusJual, 5, 3, buf1);
String strArus2 = dtostrf(ArusBeli, 5, 3, buf2);
String strArus3 = dtostrf(ArusNormal, 5, 3, buf3);
String strTegangan1 = dtostrf(TeganganJual, 5, 3,
buf4);

String strTegangan2 = dtostrf(TeganganBeli, 5, 3,
buf5);

String strTegangan3 = dtostrf(TeganganNormal, 5,
3, buf6);

String strDaya1 = dtostrf(dayaJual, 5, 3, buf7);
String strDaya2 = dtostrf(dayaBeli, 5, 3, buf8);
String strDaya3 = dtostrf(dayaNormal, 5, 3, buf9);

String strEnergi1 = dtostrf(EJual, 5, 3, buf10);
String strEnergi2 = dtostrf(EBeli, 5, 3, buf11);
String strEnergi3 = dtostrf(ENormal, 5, 3, buf12);

Serial.println(strArus1);
Serial.println(strArus2);
Serial.println(strArus3);
Serial.println(strTegangan1);
Serial.println(strTegangan2);
Serial.println(strTegangan3);
Serial.println(strDaya1);
Serial.println(strDaya2);
Serial.println(strDaya3);
Serial.println(strEnergi1);
Serial.println(strEnergi2);
Serial.println(strEnergi3);

String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\",\"";
cmd+= IP_TARGET;
cmd+= "\",80";
Serial2.println(cmd);

if(Serial2.find("Error"))
{
    Serial2.println("AT+CIPCLOSE");
    Serial.println("AT+CIPCLOSE");
}

delay(16000); //delay untuk pengiriman ke server
}

Serial.println("AT+CIPSTART error");
return;
}
```

C. Listing Program pada Layanan Web

1. Perhitungan daya dan energi setiap 5 menit

```
% Channel ID sumber, ===Micro Smart Grid=====
readChannelID = 128641;
% Temperature Field ID
FieldIDArusJual = 1;
FieldIDTeganganJual = 2;
FieldIDArusBeli = 3;
FieldIDTeganganBeli = 4;
FieldIDArusNormal = 5;
FieldIDTeganganNormal = 6;

% Channel Read API Key sumber, ===Micro Smart Grid=====
readAPIKey = 'PFFKGQQ7SQIEKPHA';

% channel ID target, ===Data Olahan=====
writeChannelID = [136094];

% Write API Key target, ===Data Olahan=====
writeAPIKey = '04BDGS234L93HCV9';

% Baca data arus 5 menit terbaru dari sumber, ===Micro Smart Grid=====
ArusJual = thingSpeakRead(readChannelID, 'Fields', FieldIDArusJual, 'NumMinutes', 5, 'ReadKey', readAPIKey);
ArusBeli = thingSpeakRead(readChannelID, 'Fields', FieldIDArusBeli, 'NumMinutes', 5, 'ReadKey', readAPIKey);
ArusNormal = thingSpeakRead(readChannelID, 'Fields', FieldIDArusNormal, 'NumMinutes', 5, 'ReadKey', readAPIKey);

rerataArusJual = mean(ArusJual);
rerataArusBeli = mean(ArusBeli);
rerataArusNormal = mean(ArusNormal);

display(rerataArusJual, 'Rerata Arus Jual (ampere)');
display(rerataArusBeli, 'Rerata Arus Beli (ampere)');
display(rerataArusNormal, 'Rerata Arus Normal (ampere)');

% Baca data tegangan 5 menit terbaru dari sumber, ===Micro Smart Grid=====
TeganganJual = thingSpeakRead(readChannelID, 'Fields', FieldIDTeganganJual, 'NumMinutes', 5, 'ReadKey', readAPIKey);
TeganganBeli = thingSpeakRead(readChannelID, 'Fields', FieldIDTeganganBeli, 'NumMinutes', 5, 'ReadKey', readAPIKey);
TeganganNormal = thingSpeakRead(readChannelID, 'Fields', FieldIDTeganganNormal, 'NumMinutes', 5, 'ReadKey', readAPIKey);

rerataTeganganJual = mean(TeganganJual);
rerataTeganganBeli = mean(TeganganBeli);
rerataTeganganNormal = mean(TeganganNormal);

display(rerataTeganganJual, 'Rerata Tegangan Jual (ampere)');
display(rerataTeganganBeli, 'Rerata Tegangan Beli (ampere)');
display(rerataTeganganNormal, 'Rerata Tegangan Normal (ampere)');

% Perhitungan Daya setiap 5 menit
```



```

DayaJual = rerataArusJual*rerataTeganganJual;
DayaBeli = display(EnergiJual, 'Energi Jual dalam Watt
rerataArusBeli*rerataTeganganBeli; jam');

DayaNormal = display(EnergiBeli, 'Energi Beli dalam Watt
rerataArusNormal*rerataTeganganNormal; jam');

display(EnergiNormal, 'Energi Normal dalam
Watt jam');

display(DayaJual, 'Daya Jual dalam Watt');
display(DayaBeli, 'Daya Beli dalam Watt');
display(DayaNormal, 'Daya Normal dalam
Watt');

% Perhitungan Energi setiap 5 menit
EnergiJual = DayaJual*5/60;
EnergiBeli = DayaBeli*5/60;
EnergiNormal = DayaNormal*5/60;

```

2. Pengolahan Data Mode Jual

```

% Channel ID sumber, =====Data Olahan=====
readChannelID = 136094;

% Field ID data daya dan energi,
FieldIDDayaJual = 1;
FieldIDEnergiJual = 4;

% Channel Read API Key sumber, =====Micro
Smart Grid=====

readAPIKey = 'H37CZX9NC2JVGSMU';

% channel ID target, =====Data Jual=====
writeChannelID = [137352];

% Write API Key target, =====Data Jual=====
writeAPIKey = 'OPGUOQHNAHHSAFDU';

```

```

% Baca data daya dan energi 5 menit terbaru
dari sumber, =====Micro Smart Grid=====

DayaJual = thingSpeakRead(readChannelID,
'Fields', FieldIDDayaJual,'NumMinutes', 5,
'ReadKey', readAPIKey);

```

3. Pengolahan Data Mode Beli

```
% Channel ID sumber, =====Data Olahan=====
```

```

= display(EnergiJual, 'Energi Jual dalam Watt
jam');

= display(EnergiBeli, 'Energi Beli dalam Watt
jam');

= display(EnergiNormal, 'Energi Normal dalam
Watt jam');

% tulis data di channel baru
thingSpeakWrite(writeChannelID, 'Fields',
[1,2,3,4,5,6],
'Values',{DayaJual,DayaBeli,DayaNormal,EnergiJu
al,EnergiBeli,EnergiNormal}, 'Writekey',
writeAPIKey);

```

```

EnergiJual = thingSpeakRead(readChannelID,
'Fields', FieldIDEnergiJual,'NumMinutes', 5,
'ReadKey', readAPIKey);

```

```

rerataDayaJual = mean(DayaJual);
rerataEnergiJual = mean(EnergiJual);
HargaTerjual = EnergiJual*3.245;

```

```

display(rerataDayaJual, 'Rerata Daya Jual
(watt)');

```

```

display(rerataEnergiJual, 'Rerata Energi Jual
(Wh)');

```

```

display(HargaTerjual, 'Harga Terjual (Rp)');

```

```

% tulis data di channel baru
thingSpeakWrite(writeChannelID, 'Fields', [1,2,3],
'Values',{rerataDayaJual,rerataEnergiJual,HargaTerj
ual}, 'Writekey', writeAPIKey);

```

```
readChannelID = 136094;
```



```

repository.ub.ac.id

% Field ID data daya dan energi,
FieldIDDayaBeli = 2;
FieldIDEnergiBeli = 5;

% Channel Read API Key sumber, =====Data
Olahan=====

readAPIKey = 'H37CZX9NC2JVGSMU';

% channel ID target, =====Data Beli=====
writeChannelID = [137356];

% Write API Key target, =====Data Beli=====
writeAPIKey = 'DTIQ8KYLVGM8XL2T';

% Baca data daya dan energi 5 menit terbaru
dari sumber, =====Micro Smart Grid=====
DayaBeli = thingSpeakRead(readChannelID,
'Fields', FieldIDDayaBeli,'NumMinutes', 5,
'ReadKey', readAPIKey);

4. Pengolahan Data Mode Normal

% Channel ID sumber, =====Data Olahan=====
readChannelID = 136094;

% Field ID data daya dan energi,
FieldIDDayaNormal = 3;
FieldIDEnergiNormal = 6;

% Channel Read API Key sumber, =====Data
Olahan=====

readAPIKey = 'H37CZX9NC2JVGSMU';

% channel ID target, =====Data Normal=====
writeChannelID = [138004];

% Write API Key target, =====Data
Normal=====

writeAPIKey = '575RKPZAF2DWZBZM';

```

```

EnergiBeli = thingSpeakRead(readChannelID,
'Fields', FieldIDEnergiBeli,'NumMinutes', 5,
'ReadKey', readAPIKey);

```

```

rerataDayaBeli = mean(DayaBeli);
rerataEnergiBeli = mean(EnergiBeli);
HargaTerbeli = EnergiBeli*3.245;

```

```

display(rerataDayaBeli, 'Rerata Daya Beli
(watt)');
display(rerataEnergiBeli, 'Rerata Energi Beli
(Wh)');
display(HargaTerbeli, 'Harga Terbeli (Rp)');

```

```

% tulis data di channel baru
thingSpeakWrite(writeChannelID, 'Fields', [1,2,3],
'Values',{rerataDayaBeli,rerataEnergiBeli,HargaTer
beli}, 'Writekey', writeAPIKey);

```

```

% Baca data daya dan energi 5 menit terbaru
dari sumber, =====Micro Smart Grid=====

```

```

DayaNormal = thingSpeakRead(readChannelID,
'Fields', FieldIDDayaNormal,'NumMinutes', 5,
'ReadKey', readAPIKey);

```

```

EnergiNormal = thingSpeakRead(readChannelID,
'Fields', FieldIDEnergiNormal,'NumMinutes', 5,
'ReadKey', readAPIKey);

```

```

rerataDayaNormal = mean(DayaNormal);
rerataEnergiNormal = mean(EnergiNormal);

```

```

display(rerataDayaNormal, 'Rerata Daya
Normal (watt)');

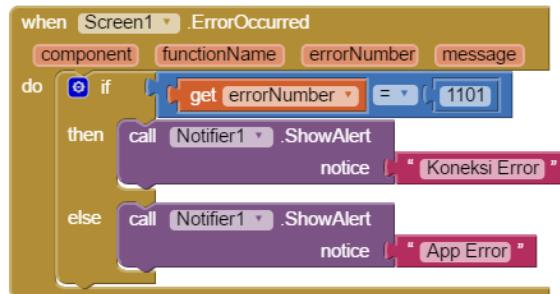
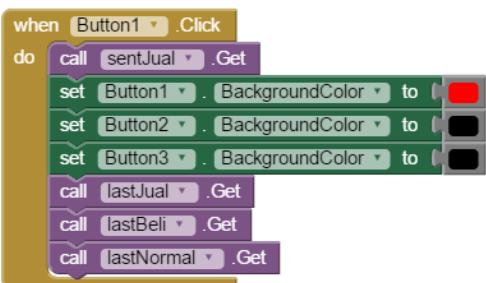
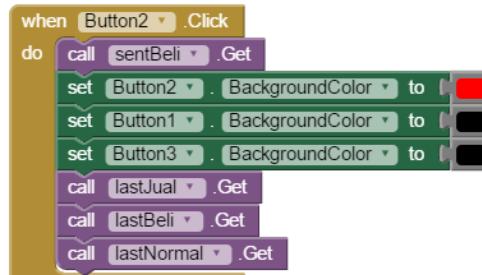
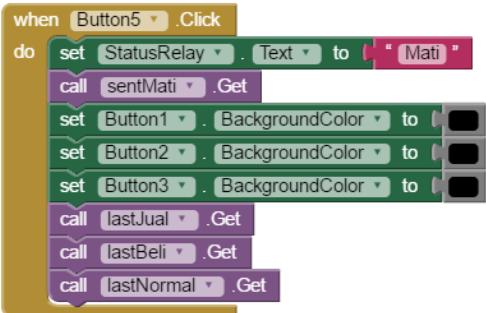
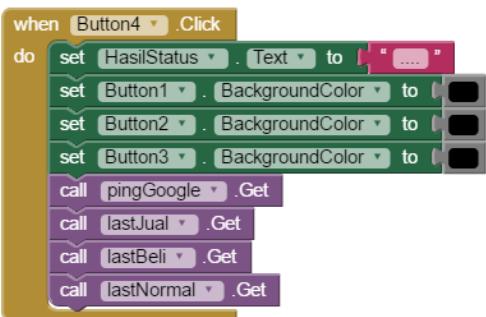
```

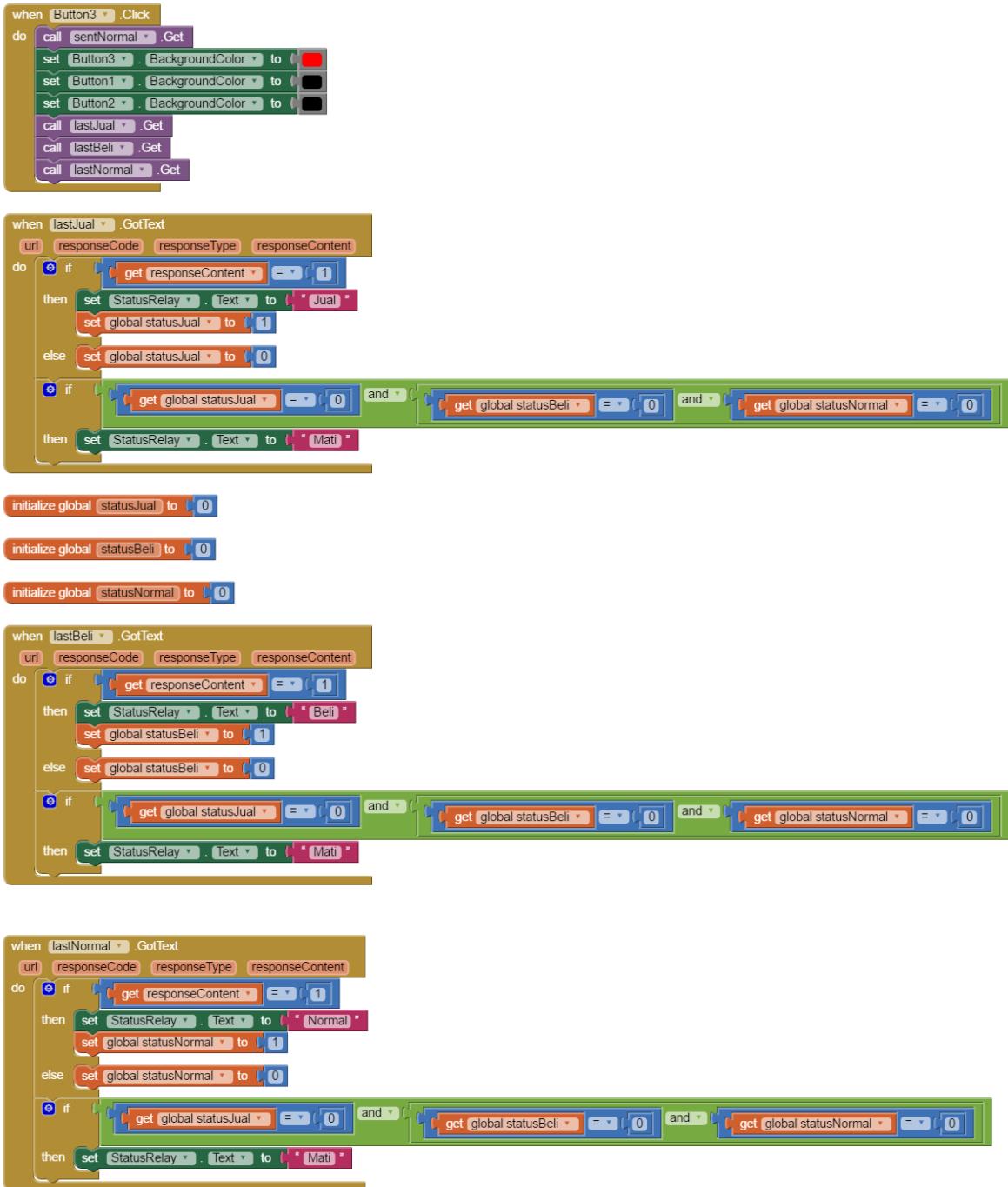
```
display(rerataEnergiNormal, 'Rerata Energi  
Normal (Wh)');
```

% tulis data di channel baru

D. Pemrograman Blok pada Aplikasi Smartphone

```
thingSpeakWrite(writeChannelID, 'Fields', [1,2],  
'Values',{rerataDayaNormal,rerataEnergiNormal},  
'Writekey', writeAPIKey);
```





Lampiran 4. Datasheet

1. Sensor Arus



ACST12

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kV RMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

ACST12

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kV RMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Features and Benefits

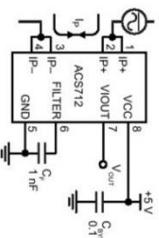
- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5 V, single-supply operation
- 65 to 85 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

The Allegro™ ACST112 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include in-store control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.



Approximate Scale 1:1

Typical Application



Application 1: The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bidirectional AC or DC primary sampled current, I_P , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

Description (continued)
The device, at up to 5 \times overcurrent conditions, The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACST112 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

- *Contact Allegro for additional packing options.
- | Part Number | Packing | T_A
($^\circ\text{C}$) | Optimized Range, I_P
(A) | Sensitivity, S
(mV/A) |
|-------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| ACST12ELCTR-05B-T | Tube and reel, 3000 pieces/reel | -40 to 85 | ± 5 | 185 |
| ACST12ELCTR-20A-T | Tube and reel, 3000 pieces/reel | -40 to 85 | ± 20 | 100 |
| ACST12ELCTR-30A-T | Tube and reel, 3000 pieces/reel | -40 to 85 | ± 30 | 65 |

Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)

The output of the device has a positive slope ($-V_{IOUT}/I_Q$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pin 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V_{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V_{RC}		-0.1	V
Output Voltage	V_{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V_{ROUT}		-0.1	V
Output Current Source	$I_{OUT(SOURCE)}$		3	mA
Output Current Sink	$I_{OUT(SINK)}$		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I_P	1 pulse, 100 ms	100	A
Normal Operating Ambient Temperature	T_A	Range E	-40 to 85	$^\circ\text{C}$
Maximum Junction Temperature	$T_{J(MAX)}$		165	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{STG}		-65 to 170	$^\circ\text{C}$

The ACST112 is provided in a small, surface-mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for the Pb-dimples high-temperature Pb-based solder balls currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

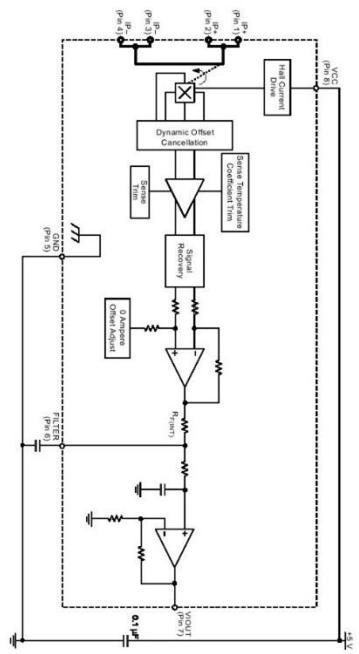
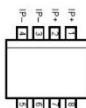
Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1-2003 EN 60950-1-2001



Allegro MicroSystems, LLC
1 Works Drive, Suite 100
Worcester, MA 01655 U.S.A.
1.888.855.5000 | www.allegromicro.com

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Functional Block Diagram**Pin-out Diagram****Terminal List Table**

Name	Description
IP+	Terminals for current being sampled, fused internally
IP-	Terminals for current being sampled, fused internally
GND	Signal ground terminal
FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
VOUT	Analog output signal
VCC	Device power supply terminal



Allegro MicroSystems LLC,
115 Somerville Place, U.S.A.
Worcester, Massachusetts 01655-0026
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

3

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_F = 1 \text{ nF}$ and $V_{CC} = 5 \text{ V}$, unless otherwise specified

ELECTRICAL CHARACTERISTICS	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Supply Voltage	V_{CC}	$V_{CC} = 5.0 \text{ V}$, output open	4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0 \text{ V}$, output open	-	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V_{OUT} to GND	-	-	-	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V_{OUT} to GND	4.7	-	-	kΩ
Primary Conductor Resistance	REF _{PRIMARY}	$R_A = 25^\circ\text{C}$	-	1.2	-	mΩ
Rise Time	t_r	$I_p = I_p(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_F = \text{open}$	-	3.5	-	μs
Frequency Bandwidth	f	-3 dB , $T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_p = 10 \text{ A}$, peak-to-peak	-	80	-	kHz
Nonlinearity	E_{LN}	Over full range of I_p	-	1.5	-	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_p	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IO(0)}$	Bi-directional, $I_p = 0 \text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\frac{V_{CC} \times 0.5}{0.5}$	-	V
Power-On Time	I_{PO}	Output reaches 95% of steady-state level, $T_A = 25^\circ\text{C}$, 20 s present	-	35	-	μs
Magnetic Coupling ²	R_{COUP}	On testing	-	1.7	-	kΩ
Internal Filter Resistance ³	R_{FILT}	-	12	-	-	GA

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient, T_A , and internal operating temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.
² $I_{IO} = 0.1 \text{ mA}$.
³ R_{FILT} forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

Operating Thermal Test/Environmental Temperature, T_A (E range)	Min.	Typ.	Max.	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{JA,L}$	-40	-	85 °C
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{JA,A}$	5	*C/W	Units

Junction-to-Ambient Thermal Resistance is measured on the Allegro ASEK 712 evaluation board, mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power connection to the board.

Additional thermal information is available on the Allegro website.
The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 0.025 copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro MicroSystems LLC,
115 Somerville Place, U.S.A.
Worcester, Massachusetts 01655-0026
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

4



ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

X05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1 \text{nF}$ and $V_{CC} = 5 \text{V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1 \text{nF}$ and $V_{CC} = 5 \text{V}$	-5	-	5	A
Sensitivity	S_{Sens}	Over full range of I_p , $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{NOISE(pp)}$	$C_F = 47 \text{nF}$, $C_{out} = 25 \text{pF}$, $185 \text{mV}/\text{A}$ programmed Sensitivity	-	24	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{out(0)}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.26	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔS_{Sens}	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.08	-	mV/°C
Total Output Error ²	E_{tot}	$I_p = 25 \text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	0.054	-	mV/°A°C
Sensitivity Slope	ΔS_{Sens}	$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.003	-	mV/°A°C
Total Output Error ²	E_{tot}	$I_p = 25 \text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	1.15	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$ is not exceeded
²Percentage of I_p with $I_p = 30 \text{ A}$. Output filtered

X20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹

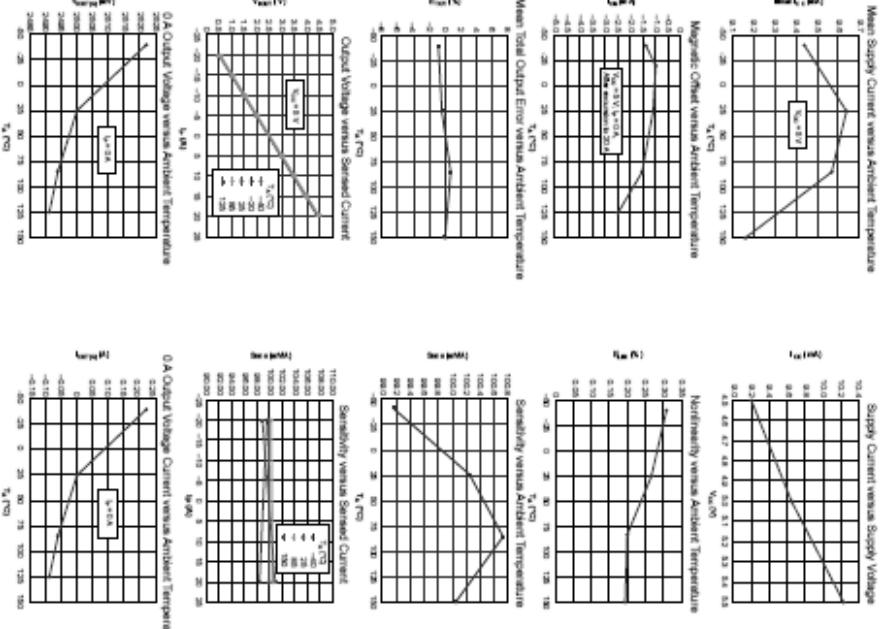
$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1 \text{nF}$ and $V_{CC} = 5 \text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_p	-20	-	20	A	
Sensitivity	S_{Sens}	Over full range of I_p , $T_A = 25^\circ\text{C}$	95	100	104	mV/A
Noise	$V_{NOISE(pp)}$	$C_F = 47 \text{nF}$, $C_{out} = 25 \text{ pF}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{out(0)}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔS_{Sens}	$T_A = -25^\circ\text{C}$ to 25°C	-	-0.017	-	mV/°A°C
Total Output Error ²	E_{tot}	$I_p = 20 \text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	1.04	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_p , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$ is not exceeded
²Percentage of I_p with $I_p = 20 \text{ A}$. Output filtered

Characteristic Performance

$I_p = 20 \text{ A}$, unless otherwise specified



¹ $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1 \text{nF}$ and $V_{CC} = 5 \text{ V}$, unless otherwise specified

² $I_p = 20 \text{ A}$, unless otherwise specified



Allegro MicroSystems LLC
An Analog Microsensors Company
Worldwide Headquarters • 1508 E. 53rd Street • 01615-0236 U.S.A.
1-800-862-2000 • www.allegromicro.com



Allegro MicroSystems LLC
Analog Microsensors Division
Worldwide Headquarters • 1508 E. 53rd Street • 01615-0236 U.S.A.
1-800-862-2000 • www.allegromicro.com

2. Modul Wi-Fi ESP8266



ESP8266EX Datasheet

Version 4.3

Espressif Systems IOT Team

<http://bbs.espressif.com/>

Copyright © 2015





Espressif Systems

ESP8266 Datasheet

Disclaimer and Copyright Notice

Information in this document, including URL references, is subject to change without notice. THIS DOCUMENT IS PROVIDED "AS IS" WITH NO WARRANTIES WHATSOEVER, INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY, NON-INFRINGEMENT, FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE, OR ANY WARRANTY OTHERWISE ARISING OUT OF ANY PROPOSAL, SPECIFICATION OR SAMPLE. All liability, including liability for infringement of any proprietary rights, relating to use of information in this document is disclaimed. No licenses express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights are granted herein.

The Wi-Fi Alliance Member Logo is a trademark of the WiFi Alliance.

All trade names, trademarks and registered trademarks mentioned in this document are property of their respective owners, and are hereby acknowledged.

Copyright © 2015 Espressif Systems. All rights reserved.





Table of Contents

1.	General Overview	6
1.1.	Introduction	6
1.2.	Features	7
1.3.	Parameters	7
1.4.	Ultra Low Power Technology	9
1.5.	Major Applications.....	9
2.	Hardware Overview.....	11
2.1.	Pin Definitions	11
2.2.	Electrical Characteristics.....	13
2.3.	Power Consumption	13
2.4.	Receiver Sensitivity.....	14
2.5.	MCU.....	15
2.6.	Memory Organization	15
2.6.1.	Internal SRAM and ROM.....	15
2.6.2.	External SPI Flash.....	15
2.7.	AHB and AHB Blocks.....	16
3.	Pins and Definitions	17
3.1.	GPIO	17
3.1.1.	General Purpose Input/Output Interface (GPIO)	17





3.2.	Secure Digital Input/Output Interface (SDIO)	18
3.3.	Serial Peripheral Interface (SPI/HSPI).....	18
3.3.1.	General SPI (Master/Slave).....	18
3.3.2.	SDIO / SPI (Slave).....	19
3.3.3.	HSPI (Master/Slave)	19
3.4.	Inter-integrated Circuit Interface (I2C).....	19
3.5.	I2S	20
3.6.	Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART).....	20
3.7.	Pulse-Width Modulation (PWM)	21
3.8.	IR Remote Control	22
3.9.	ADC (Analog-to-digital Converter)	22
3.10.	LED Light and Button	24
4.	Firmware & Software Development Kit	26
4.1.	Features.....	26
5.	Power Management	27
6.	Clock Management	28
6.1.	High Frequency Clock.....	28
6.2.	External Reference Requirements	29
7.	Radio.....	29
7.1.	Channel Frequencies	30
7.2.	2.4 GHz Receiver	30
7.3.	2.4 GHz Transmitter	30

**Espressif Systems****ESP8266 Datasheet**

7.4. Clock Generator.....	30
8. Appendix: QFN32 Package Size	31





1. General Overview

1.1. Introduction

Espressif Systems' Smart Connectivity Platform (ESCP) is a set of high performance, high integration wireless SoCs, designed for space and power constrained mobile platform designers. It provides unsurpassed ability to embed WiFi capabilities within other systems, or to function as a standalone application, with the lowest cost, and minimal space requirement.

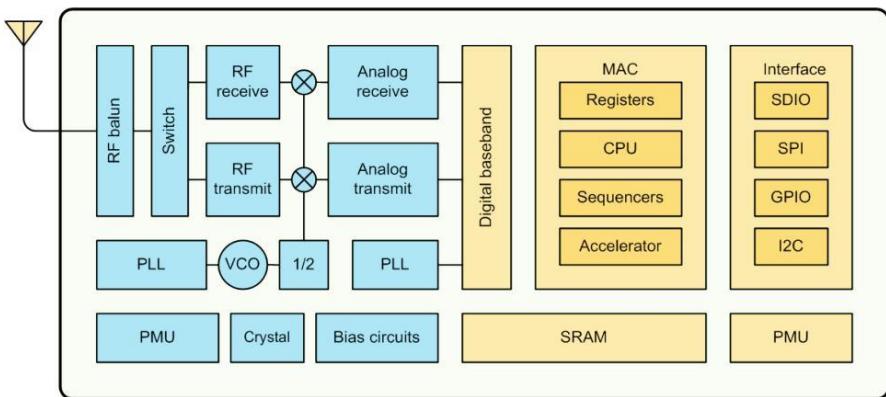


Figure 1 ESP8266EX Block Diagram

ESP8266EX offers a complete and self-contained WiFi networking solution; it can be used to host the application or to offload WiFi networking functions from another application processor.

When ESP8266EX hosts the application, it boots up directly from an external flash. It has integrated cache to improve the performance of the system in such applications.

Alternately, serving as a WiFi adapter, wireless internet access can be added to any micro controller-based design with simple connectivity (SPI/SDIO or I2C/UART interface).

ESP8266EX is among the most integrated WiFi chip in the industry; it integrates the antenna switches, RF balun, power amplifier, low noise receive amplifier, filters, power management modules, it requires minimal external circuitry, and the entire solution, including front-end module, is designed to occupy minimal PCB area.

ESP8266EX also integrates an enhanced version of Tensilica's L106 Diamond series 32-bit processor, with on-chip SRAM, besides the WiFi functionalities. ESP8266EX is often integrated with external sensors and other application specific devices through its GPIOs; sample codes for such applications are provided in the software development kit (SDK).





Espressif Systems' Smart Connectivity Platform (ESCP) demonstrates sophisticated system-level features include fast sleep/wake context switching for energy-efficient VoIP, adaptive radio biasing for low-power operation, advance signal processing, and spur cancellation and radio co-existence features for common cellular, Bluetooth, DDR, LVDS, LCD interference mitigation.

1.2. Features

- 802.11 b/g/n
- Integrated low power 32-bit MCU
- Integrated 10-bit ADC
- Integrated TCP/IP protocol stack
- Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network
- Integrated PLL, regulators, and power management units
- Supports antenna diversity
- WiFi 2.4 GHz, support WPA/WPA2
- Support STA/AP/STA+AP operation modes
- Support Smart Link Function for both Android and iOS devices
- SDIO 2.0, (H) SPI, UART, I2C, I2S, IR Remote Control, PWM, GPIO
- STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO
- A-MPDU & A-MSDU aggregation & 0.4s guard interval
- Deep sleep power <10uA, Power down leakage current < 5uA
- Wake up and transmit packets in < 2ms
- Standby power consumption of < 1.0mW (DTIM3)
- +20 dBm output power in 802.11b mode
- Operating temperature range -40C ~ 125C
- FCC, CE, TELEC, WiFi Alliance, and SRRC certified

1.3. Parameters

Table 1 Parameters





Espressif Systems

ESP8266 Datasheet

Categories	Items	Values
WiFi Parameters	Certificates	FCC/CE/TELEC/SRRC
	WiFi Protocols	802.11 b/g/n
	Frequency Range	2.4G-2.5G (2400M-2483.5M)
	Tx Power	802.11 b: +20 dBm
		802.11 g: +17 dBm
		802.11 n: +14 dBm
	Rx Sensitivity	802.11 b: -91 dbm (11 Mbps)
		802.11 g: -75 dbm (54 Mbps)
		802.11 n: -72 dbm (MCS7)
	Types of Antenna	PCB Trace, External, IPEX Connector, Ceramic Chip
Hardware Parameters	Peripheral Bus	UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/IR Remote Control
		GPIO/PWM
	Operating Voltage	3.0~3.6V
	Operating Current	Average value: 80mA
	Operating Temperature Range	-40°~125°
	Ambient Temperature Range	Normal temperature
	Package Size	5x5mm
	External Interface	N/A
Software Parameters	WiFi mode	station/softAP/SoftAP+station
	Security	WPA/WPA2
	Encryption	WEP/TKIP/AES
	Firmware Upgrade	UART Download / OTA (via network)
	Software Development	Supports Cloud Server Development / SDK for custom firmware development
	Network Protocols	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP





Espressif Systems

ESP8266 Datasheet

	User Configuration	AT Instruction Set, Cloud Server, Android/ iOS App
--	--------------------	---

1.4. Ultra Low Power Technology

ESP8266EX has been designed for mobile, wearable electronics and Internet of Things applications with the aim of achieving the lowest power consumption with a combination of several proprietary techniques. The power saving architecture operates mainly in 3 modes: active mode, sleep mode and deep sleep mode.

By using advance power management techniques and logic to power-down functions not required and to control switching between sleep and active modes, ESP8266EX consumes about than 60uA in deep sleep mode (with RTC clock still running) and less than 1.0mA (DTIM=3) or less than 0.5mA (DTIM=10) to stay connected to the access point.

When in sleep mode, only the calibrated real-time clock and watchdog remains active. The real-time clock can be programmed to wake up the ESP8266EX at any required interval.

The ESP8266EX can be programmed to wake up when a specified condition is detected. This minimal wake-up time feature of the ESP8266EX can be utilized by mobile device SOCs, allowing them to remain in the low-power standby mode until WiFi is needed.

In order to satisfy the power demand of mobile and wearable electronics, ESP8266EX can be programmed to reduce the output power of the PA to fit various application profiles, by trading off range for power consumption.

1.5. Major Applications

Major fields of ESP8266EX applications to Internet-of-Things include:

- Home Appliances
- Home Automation
- Smart Plug and lights
- Mesh Network
- Industrial Wireless Control
- Baby Monitors
- IP Cameras
- Sensor Networks
- Wearable Electronics





Espressif Systems

ESP8266 Datasheet

- WiFi Location-aware Devices
- Security ID Tags
- WiFi Position System Beacons



2. Hardware Overview

2.1. Pin Definitions

The pin assignments for 32-pin QFN package is illustrated in Fig.2.

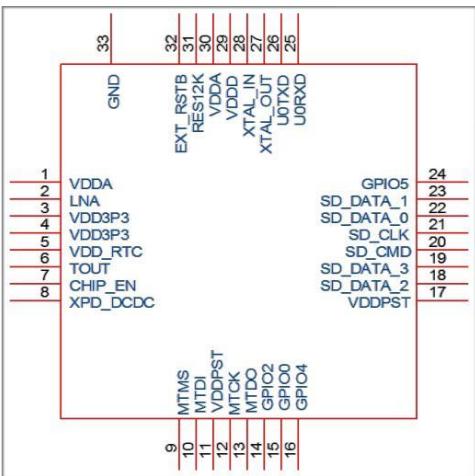


Figure 2 Pin Assignments

Table 2 below presents an overview on the general pin attributes and the functions of each pin.

Table 2 Pin Definitions

Pin	Name	Type	Function
1	VDDA	P	Analog Power 3.0 ~3.6V
2	LNA	I/O	RF Antenna Interface. Chip Output Impedance=50Ω No matching required but we recommend that the n-type matching network is retained.
3	VDD3P3	P	Amplifier Power 3.0~3.6V
4	VDD3P3	P	Amplifier Power 3.0~3.6V
5	VDD_RTC	P	NC (1.1V)





6	TOUT	I	ADC Pin (note: an internal pin of the chip) can be used to check the power voltage of VDD3P3 (Pin 3 and Pin4) or the input voltage of TOUT (Pin 6). These two functions cannot be used simultaneously.
7	CHIP_EN	I	Chip Enable. High: On, chip works properly; Low: Off, small current
8	XPD_DCDC	I/O	Deep-Sleep Wakeup; GPIO16
9	MTMS	I/O	GPIO14; HSPI_CLK
10	MTDI	I/O	GPIO12; HSPI_MISO
11	VDDPST	P	Digital/I/O Power Supply (1.8V~3.3V)
12	MTCK	I/O	GPIO13; HSPI_MOSI; UART0_CTS
13	MTDO	I/O	GPIO15; HSPI_CS; UART0_RTS
14	GPIO2	I/O	UART Tx during flash programming; GPIO2
15	GPIO0	I/O	GPIO0; SPI_CS2
16	GPIO4	I/O	GPIO4
17	VDDPST	P	Digital/I/O Power Supply (1.8V~3.3V)
18	SDIO_DATA_2	I/O	Connect to SD_D2 (Series R: 200Ω); SPIHD; HSPIHD; GPIO9
19	SDIO_DATA_3	I/O	Connect to SD_D3 (Series R: 200Ω); SPIWP; HSPIWP; GPIO10
20	SDIO_CMD	I/O	Connect to SD_CMD (Series R: 200Ω); SPI_CS0; GPIO11
21	SDIO_CLK	I/O	Connect to SD_CLK (Series R: 200Ω); SPI_CLK; GPIO6
22	SDIO_DATA_0	I/O	Connect to SD_D0 (Series R: 200Ω); SPI_MSIO; GPIO7
23	SDIO_DATA_1	I/O	Connect to SD_D1 (Series R: 200Ω); SPI_MOSI; GPIO8
24	GPIO5	I/O	GPIO5
25	U0RXD	I/O	UART Rx during flash programming; GPIO3
26	U0TXD	I/O	UART Tx during flash programming; GPIO1; SPI_CS1
27	XTAL_OUT	I/O	Connect to crystal oscillator output, can be used to provide BT clock input
28	XTAL_IN	I/O	Connect to crystal oscillator input
29	VDDD	P	Analog Power 3.0V~3.6V
30	VDDA	P	Analog Power 3.0V~3.6V
31	RES12K	I	Serial connection with a 12 kΩ resistor and connect to the ground
32	EXT_RSTB	I	External reset signal (Low voltage level: Active)





Note: GPIO2, GPIO0, MTD0 can be configurable as 3-bit SDIO mode.

2.2. Electrical Characteristics

Table 3 ESP8266EX Electrical Characteristics

Parameters	Conditions	Min	Typical	Max	Unit
Storage Temperature Range		-40	Normal	125	°C
Maximum Soldering Temperature	IPC/JEDEC J-STD-020			260	°C
Working Voltage Value		3.0	3.3	3.6	V
I/O	V _{IL} /V _{IH}	-0.3/0.75V _{IO}		0.25V _{IO} /3.6	V
	V _{OL} /V _{OH}	N/0.8V _{IO}		0.1V _{IO} /N	
	I _{MAX}			12	mA
Electrostatic Discharge (HBM)	TAMB=25°C			2	kV
Electrostatic Discharge (CDM)	TAMB=25°C			0.5	kV

2.3. Power Consumption

The following current consumption is based on 3.3V supply, and 25°C ambient, using internal regulators. Measurements are done at antenna port without SAW filter. All the transmitter's measurements are based on 90% duty cycle, continuous transmit mode.

Table 4 Description on Power Consumption

Parameters	Min	Typical	Max	Unit
Tx802.11b, CCK 11Mbps, P OUT=+17dBm		170		mA
Tx 802.11g, OFDM 54Mbps, P OUT =+15dBm		140		mA
Tx 802.11n, MCS7, P OUT =+13dBm		120		mA
Rx 802.11b, 1024 bytes packet length, -80dBm		50		mA
Rx 802.11g, 1024 bytes packet length, -70dBm		56		mA
Rx 802.11n, 1024 bytes packet length, -65dBm		56		mA
Modem-Sleep①		15		mA
Light-Sleep②		0.9		mA
Deep-Sleep③		10		uA
Power Off		0.5		uA





①: Modem-Sleep requires the CPU to be working, as in PWM or I2S applications. According to 802.11 standards (like U-APSD), it saves power to shut down the WiFi Modem circuit while maintaining a WiFi connection with no data transmission. E.g. in DTIM3, to maintain a sleep 300ms-wake 3ms cycle to receive AP's Beacon packages, the current is about 15mA

②: During Light-Sleep, the CPU may be suspended in applications like WiFi switch. Without data transmission, the WiFi Modem circuit can be turned off and CPU suspended to save power according to the 802.11 standard (U-APSD). E.g. in DTIM3, to maintain a sleep 300ms-wake 3ms cycle to receive AP's Beacon packages, the current is about 0.9mA.

③: Deep-Sleep does not require WiFi connection to be maintained. For application with long time lags between data transmission, e.g. a temperature sensor that checks the temperature every 100s, sleep 300s and waking up to connect to the AP (taking about 0.3~1s), the overall average current is less than 1mA.

2.4. Receiver Sensitivity

The following are measured under room temperature conditions with 3.3V and 1.1V power supplies.

Table 5 Receiver Sensitivity

Parameters	Min	Typical	Max	Unit
Input frequency	2412		2484	MHz
Input impedance		50		Ω
Input reflection			-10	dB
Output power of PA for 72.2Mbps	15.5	16.5	17.5	dBm
Output power of PA for 11b mode	19.5	20.5	21.5	dBm
Sensitivity				
DSSS, 1Mbps		-98		dBm
CCK, 11Mbps		-91		dBm
6Mbps (1/2 BPSK)		-93		dBm
54Mbps (3/4 64-QAM)		-75		dBm
HT20, MCS7 (65Mbps, 72.2Mbps)		-72		dBm
Adjacent Channel Rejection				
OFDM, 6Mbps		37		dB
OFDM, 54Mbps		21		dB
HT20, MCS0		37		dB
HT20, MCS7		20		dB



2.5. MCU

ESP8266EX is embedded with Tensilica L106 32-bit micro controller (MCU), which features extra low power consumption and 16-bit RSIC. The CPU clock speed is 80MHz. It can also reach a maximum value of 160MHz. Real Time Operation System (RTOS) is enabled. Currently, only 20% of MIPS has been occupied by the WiFi stack, the rest can all be used for user application programming and development. The following interfaces can be used to connect to the MCU embedded in ESP8266EX:

- Programmable RAM/ROM interfaces (iBus), which can be connected with memory controller, and can also be used to visit external flash;
- Data RAM interface (dBus), which can be connected with memory controller;
- AHB interface, can be used to visit the register.

2.6. Memory Organization

2.6.1. Internal SRAM and ROM

ESP8266EX WiFi SoC is embedded with memory controller, including SRAM and ROM. MCU can visit the memory units through iBus, dBus, and AHB interfaces. All memory units can be visited upon request, while a memory arbiter will decide the running sequence according to the time when these requests are received by the processor.

According to our current version of SDK provided, SRAM space that is available to users is assigned as below:

- **RAM size < 36kB**, that is to say, when ESP8266EX is working under the station mode and is connected to the router, programmable space accessible to user in heap and data section is around 36kB.)
- There is no programmable ROM in the SoC, therefore, user program must be stored in an external SPI flash.

2.6.2. External SPI Flash

An external SPI flash is used together with ESP8266EX to store user programs. Theoretically speaking, up to 16 Mbyte memory capacity can be supported.

Suggested SPI Flash memory capacity:

- OTA is disabled: the minimum flash memory that can be supported is 512 kByte;
- OTA is enabled: the minimum flash memory that can be supported is 1 Mbyte.

Several SPI modes can be supported, including Standard SPI, Dual SPI, DIO SPI, QIO SPI, and Quad SPI.





Therefore, please choose the correct SPI mode when you are downloading into the flash, otherwise firmwares/programs that you downloaded may not work in the right way.

2.7. AHB and APB Blocks

The AHB blocks performs the function of an arbiter, controls the AHB interfaces from the MAC, SDIO (host) and CPU. Depending on the address, the AHB data requests can go into one of the two slaves: APB block, or flash controller (usually for standalone applications).

Data requests to the memory controller are usually high speed requests, and requests to the APB block are usually register access.

The APB block acts as a decoder. It is meant only for access to programmable registers within ESP8266's main blocks. Depending on the address, the APB request can go to the radio, SI/SPI, SDIO (host), GPIO, UART, real-time clock (RTC), MAC or digital baseband.





3. Pins and Definitions

The chipset encapsulates variable analog and data transmission I/Os, descriptions and definitions of which are explained below in detail.

3.1. GPIO

3.1.1. General Purpose Input/Output Interface (GPIO)

There are up to 17 GPIO pins. They can be assigned to various functions by the firmware. Each GPIO can be configured with internal pull-up (except XPD_DCDC, which is configured with internal pull-down), input available for sampling by a software register, input triggering an edge or level CPU interrupt, input triggering a level wakeup interrupt, open-drain or push-pull output driver, or output source from a software register, or a sigma-delta PWM DAC.

These pins are multiplexed with other functions such as I2C, I2S, UART, PWM, IR Remote Control, etc. Data I/O soldering pad is bidirectional and tri-state that include data input and output controlling buffer. Besides, I/O can be set as a specific state and remains like this. For example, if you intend to lower the power consumption of the chip, all data input and output enable signals can be set as remaining low power state. You can transport some specific state into the I/O. When the I/O is not powered by external circuits, the I/O will remain to be the state that it was used the last time. Some positive feedback is generated by the state-remaining function of the pins, therefore, if the external driving power must be stronger than the positive feedback. Even so, the driving power that is needed is within 5uA.

Table 6 Pin Definitions of GPIOs

Variables	Symbol	Min	Max	Unit
Input Low Voltage	V_{IL}	-0.3	$0.25 \times V_{IO}$	V
Input High Voltage	V_{IH}	$0.75 \times V_{IO}$	3.3	V
Input Leakage Current	I_{IL}		50	nA
Output Low Voltage	V_{OL}		$0.1 \times V_{IO}$	V
Output High Voltage	V_{OH}	$0.8 \times V_{IO}$		V
Input Pin Resistance Value	C_{pad}		2	pF
VDDIO	V_{IO}	1.8	3.3	V
Maximum Driving Power	I_{MAX}		12	mA
Temerature	T_{amb}	-40	125	°C

All digital IO pins are protected from over-voltage with a snap-back circuit connected between the pad and ground. The snap back voltage is typically about 6V, and the holding voltage is 5.8V. This





Espressif Systems

ESP8266 Datasheet

provides protection from over-voltages and ESD. The output devices are also protected from reversed voltages with diodes.

3.2. Secure Digital Input/Output Interface (SDIO)

One Slave SDIO has been defined by ESP8266EX, the definitions of which are described in Table 7 below. 4bit 25MHz SDIO v1.1 and 4bit 50MHz SDIO v2.0 are supported.

Table 7 Pin Definitions of SDIOs

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
SDIO_CLK	21	IO6	SDIO_CLK
SDIO_DATA0	22	IO7	SDIO_DATA0
SDIO_DATA1	23	IO8	SDIO_DATA1
SDIO_DATA_2	18	IO9	SDIO_DATA_2
SDIO_DATA_3	19	IO10	SDIO_DATA_3
SDIO_CMD	20	IO11	SDIO_CMD

3.3. Serial Peripheral Interface (SPI/HSPI)

Currently, one general Slave/Master SPI, one Slave SDID/SPI, and one general Slave/Master HSPI have been defined by ESP8266EX. Functions of all these pins can be implemented via hardware. The pin definitions are described below:

3.3.1. General SPI (Master/Slave)

Table 8 Pin Definitions of General SPIs

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
SDIO_CLK	21	IO6	SPICLK
SDIO_DATA0	22	IO7	SPIQ/MISO
SDIO_DATA1	23	IO8	SPID/MOSI
SDIO_DATA_2	18	IO9	SPIHD
SDIO_DATA_3	19	IO10	SPIWP
SDIO_CMD	20	IO11	SPICS0
U0TXD	26	IO1	SPICS1
GPIO0	15	IO0	SPICS2





3.3.2. SDIO / SPI (Slave)

Table 9 Pin Definitions of SDIO / SPI (Slave)

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
SDIO_CLK	21	IO6	SPI_SLAVE_CLK
SDIO_DATA0	22	IO7	SPI_SLAVE_MISO
SDIO_DATA1	23	IO8	SPI_SLAVE_INT
SDIO_DATA_2	18	IO9	NC
SDIO_DATA_3	19	IO10	SPI_SLAVE_CS
SDIO_CMD	20	IO11	SPI_SLAVE_MOSI

3.3.3. HSPI (Master/Slave)

Table 10 Pin Definitions of HSPI (Master/Slave)

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTMS	9	IO14	HSPICLK
MTDI	10	IO12	HSPIQ/MISO
MTCK	12	IO13	HSPID/MOSI
MTDO	13	IO15	HPSICS

Note:

- SPI mode can be implemented via software programming. The clock frequency can reach up to a maximum value of 80MHz.
- Function of Slave SDIO/SPI interface can be implemented via hardware, and linked list DMA (Direct Memory Access) is supported, software overheads are smaller. However, there is no linked list DMA on general SPI and HSPI, and the software overheads are larger, therefore, the data transmitting speed will be restrained by software processing speed.

3.4. Inter-integrated Circuit Interface (I2C)

One I2C, which is mainly used to connect with micro controller and other peripheral equipment such as sensors, is defined by ESP8266EX. The present pin definition of I2C is as defined below:





Table 11 Pin Definitions of I2C

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTMS	9	IO14	I2C_SCL
GPIO2	14	IO2	I2C_SDA

Both I2C-Master and I2C-Slave are supported. I2C interface functionality can be realized via software programming, the clock frequency can be up to around 100KHz at most. It should be noted that I2C clock frequency should be higher than the slowest clock frequency of the slave device.

3.5. I2S

Currently one I2S data input interface and one I2S data output interface are defined. I2S interface is mainly used in applications such as data collection, processing, and transmission of audio data, as well as the input and output of serial data. For example, LED lights (WS2812 series) are supported. The pin definition of I2S is as defined below:

Table 12 Pin Definitions of I2S

I2S Data Input:			
Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTDI	10	IO12	I2SI_DATA
MTCK	12	IO13	I2SI_BCK
MTMS	9	IO14	I2SI_WS
I2S Data Output:			
Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTDO	13	IO15	I2SO_BCK
U0RXD	25	IO3	I2SO_DATA
GPIO2	14	IO2	I2SO_WS

I2S functionality can be realized via software programming, the GPIOs that will be used are multiplexed, and linked list DMA is supported.

3.6. Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART)

Two UART interfaces, UART0 and UART1, have been defined by ESP8266EX, the definitions are as below:





Table 13 Pin Definitions of UART Interfaces

Pin Type	Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
UART0	U0RXD	25	IO3	U0RXD
	U0TXD	26	IO1	U0TXD
	MTDO	13	IO15	U0RTS
	MTCK	12	IO13	U0CTS
UART1	GPIO2	14	IO2	U1TXD
	SD_D1	23	IO8	U1RXD

Data transfers to/from UART interfaces can be implemented via hardware. The data transmission speed via UART interfaces can reach 115200*40 (4.5Mbps).

UART0 can be for communication. It supports fluid control. Since UART1 features only data transmit signal (Tx), it is usually used for printing log.

Notes: By default, UART0 will output some printed information when the device is powered on and is booting up. The baud rate of the printed information is closely related to the frequency of the external crystal oscillator. If the frequency of the crystal oscillator is 40MHz, then the baud rate for printing is 115200; if the frequency of the crystal oscillator is 26MHz, then the baud rate for printing is 74880. If the printed information exerts any influence on the functionality of your device, you'd better block the printing during the power-on period by changing ([U0TXD](#), [U0RXD](#)) to ([MTDO](#), [MTCK](#)).

3.7. Pulse-Width Modulation (PWM)

Four PWM output interfaces have been defined by ESP8266EX. They can be extended by users themselves. The present pin definitions of the PWM interfaces are defined as below:

Table 14 Pin Definitions of PWM Interfaces

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTDI	10	IO12	PWM0
MTDO	13	IO15	PWM1
MTMS	9	IO14	PWM2
GPIO4	16	IO4	PWM3

The functionality of PWM interfaces can be implemented via software programming. For example, in the LED smart light demo, the function of PWM is realized by interruption of the timer, the minimum resolution can reach as much as 44 ns. PWM frequency range is adjustable from 1000 us to 10000 us,





i.e., between 100Hz and 1KHz. When the PWM frequency is at 1 KHz, the duty ratio will reach 1/22727, and over 14 bit resolution will be achieved at 1KHz refresh rate.

3.8. IR Remote Control

Currently, only one Infrared remote control interface is defined, the pin definition is as below:

Table 14 Pin Definition of IR Remote Control

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTMS	9	IO12	IR Tx
GPIO5	24	IO5	IR Rx

The functionality of Infrared remote control interface can be implemented via software programming. NEC coding, modulation, and demodulation are used by this interface. The frequency of modulated carrier signal is 38KHz, while the duty ratio of the square wave is 1/3. The length of data transmission, which is around 1m, is determined by two factors: one is the maximum value of rated current, the other is internal current-limiting resistance value in the infrared receiver. The larger the resistance value, the lower the current, so is the power, and vice versa. The transmission angle is between 15° and 30°, and is mainly determined by the radiation direction of the infrared receiver.

Notes: Among the eight interfaces mentioned above, most of them can be multiplexed. Pin definitions that can be defined is not limited to the eight ones herein mentioned, customers can self customise the functions of the pins according to their specific application scenarios. Functions of these pins can be implemented via software programming and hardware.

3.9. ADC (Analog-to-digital Converter)

ESP8266EX is embedded with a 10-bit precision SARADC. Currently, TOUT (Pin6) is defined as ADC interface, the definition of which is described below:

Pin Name	Pin Num	Function Name
TOUT	6	ADC Interface

Table 16 Pin Definition of ADC

The following two applications can be implemented using ADC (Pin6). However, these two applications cannot be implemented concurrently.

- Test the power supply voltage of VDD3P3 (Pin 3 and Pin 4).

The function used to test the power supply voltage on PA_VDD pin is: `uint16 system_get_vdd33(void)`

- Test the input voltage of TOUT (Pin 6):





The function used to test the input voltage of TOUT is: `uint16 system_adc_read(void)`

`RF-init` parameter in the following passage refers to `esp_init_data_default.bin`

Application One: Test the power supply voltage of VDD3P3 (Pin 3 and Pin 4).

Hardware Design: TOUT must be dangled.

RF-init Parameter: The 107th byte of `esp_init_data_default.bin` (0 - 127 byte), "vdd33_const", must set to be 0xFF, i.e., the value of "vdd33_const" is 255.

RF Calibration Process: Optimize the RF circuit conditions based on the testing results of VDD3P3 (Pin 3 and Pin 4).

User Programming: Use `system_get_vdd33` instead of `system_adc_read`.

Application Two: Test the input voltage of TOUT (Pin 6).

Hardware Design: The input voltage range is 0 to 1.0 V when TOUT is connected to external circuit.

RF-init Parameter: The value of the 107th byte of `esp_init_data_default.bin` (0 - 127 byte), "vdd33_const", must be set to be the real power supply voltage of Pin 3 and Pin 4.

The working power voltage range of ESP8266EX is between 1.8V and 3.6V, while the unit of "vdd33_const" is 0.1V, therefore, the effective value range of "vdd33_const" is 18 to 36.

RF Calibration Process: Optimize the RF circuit conditions based on the value of "vdd33_const". The permissible error is $\pm 0.2V$.

User Programming: Use `system_adc_read` instead of `system_get_vdd33`.

Note One:

In `RF_init` parameter `esp_init_data_default.bin` (0 - 127 byte), the 107th byte is defined as "vdd33_const". Definitions of "vdd33_const" is described below:

(1) If `vdd33_const = 0xff`, the power voltage of Pin 3 and Pin 4 will be tested by the internal self-calibration process of ESP8266EX chipset itself. RF circuit conditions should be optimized according to the testing results.





(2) If $18 \leq vdd33_const < 36$, ESP8266EX RF Calibration and optimization process is implemented via ($vdd33_const/10$).

(3) If $vdd33_const < 18$ or $36 \leq vdd33_const < 255$, ESP8266EX RF Calibration and optimization process is implemented via the default value 3.0V.

Note Two:

Function `system_get_vdd33` is used to test the power supply voltage of VDD3P3 (Pin 3 and Pin 4). Details on this function are described below:

(1) Pin Tout must be dangled. The 107th byte of `esp_init_data_default.bin` (0 - 127 byte), "vdd33_const", must set to be 0xFF.

(2) If the 107th byte of `esp_init_data_default.bin` (0 - 127 byte), "vdd33_const", is equal to 0xFF, the returned value of function `system_get_vdd33` will be an effective value, otherwise 0xFFFF will be returned.

(3) The unit of the returned value is: 1/1024 V.

Note Three:

Function `system_adc_read` is defined to test the input voltage of Pin TOUT (Pin 6). Details on this function are described below:

(1) The value of the 107th byte of `esp_init_data_default.bin` (0 - 127 byte), "vdd33_const", must be set to be the real power supply voltage of Pin 3 and Pin 4.

(2) If the 107th byte of `esp_init_data_default.bin` (0 - 127 byte), "vdd33_const", is NOT equal to 0xFF, the returned value of `system_adc_read` will be an effective value of the input voltage of Pin TOUT, otherwise 0xFFFF will be returned.

(3) The unit of the returned value is: 1/1024 V.

3.10. LED Light and Button

ESP8266EX features up to 17 GPIOs, all of which can be assigned to realise various functions of LED lights and buttons. Definitions of some GPIOs that are assigned with certain functions in our demo application design are shown below:

Table 17 Pin Definitions of LED and Button

Pin Name	Pin Num	IO	Function Name
MTCK	12	IO13	Button (Reset)
GPIO0	15	IO0	WiFi Light
MTDI	10	IO12	Link Light





Espressif Systems

ESP8266 Datasheet

Altogether three interfaces have been defined, one is for the button, and the other two is for LED light. Generally, **MTCK** is used to control the reset button, **GPIO0** is used as an signal to indicate the WiFi working state, **MTDI** is used as a signal light to indicate communication between the device and the server.

Note: Among the nine interfaces mentioned above, most of them can be multiplexed. Pin definitions that can be defined is not limited to the eight ones herein mentioned, customers can self customise the functions of the pins according to their specific application scenarios. Functions of these pins can be implemented via software programming and hardware.





4. Firmware & Software Development Kit

The application and firmware is executed in on-chip ROM and SRAM, which loads the instructions during wake-up, through the SDIO interface, from the external flash.

The firmware implements TCP/IP, the full 802.11 b/g/n/e/i WLAN MAC protocol and WiFi Direct specification. It supports not only basic service set (BSS) operations under the distributed control function (DCF) but also P2P group operation compliant with the latest WiFi P2P protocol. Low level protocol functions are handled automatically by ESP8266:

- RTS/CTS
- acknowledgement
- fragmentation and defragmentation
- aggregation
- frame encapsulation (802.11h/RFC 1042)
- automatic beacon monitoring / scanning, and
- P2P WiFi direct

Passive or active scanning, as well as P2P discovery procedure is performed autonomously once initiated by the appropriate command. Power management is handled with minimum host interaction to minimize active duty period.

4.1. Features

The SDK includes the following library functions:

- 802.11 b/g/n/d/e/i/k/r support;
- WiFi Direct (P2P) support;
- P2P Discovery, P2P Group Owner mode, P2P Power Management
- Infrastructure BSS Station mode / P2P mode / softAP mode support;
- Hardware accelerators for CCMP (CBC-MAC, counter mode), TKIP (MIC, RC4), WAPI (SMS4), WEP (RC4), CRC;
- WPA/WPA2 PSK, and WPS driver;
- Additional 802.11i security features such as pre-authentication, and TSN;
- Open Interface for various upper layer authentication schemes over EAP such as TLS, PEAP, LEAP, SIM, AKA, or customer specific;
- 802.11n support (2.4GHz);
- Supports MIMO 1x1 and 2x1, STBC, A-MPDU and A-MSDU aggregation and 0.4μs guard interval;





- WMM power save U-APSD;
- Multiple queue management to fully utilize traffic prioritization defined by 802.11e standard;
- UMA compliant and certified;
- 802.1h/RFC1042 frame encapsulation;
- Scattered DMA for optimal CPU off load on Zero Copy data transfer operations;
- Antenna diversity and selection (software managed hardware);
- Clock/power gating combined with 802.11-compliant power management dynamically adapted to current connection condition providing minimal power consumption;
- Adaptive rate fallback algorithm sets the optimum transmission rate and Tx power based on actual SNR and packet loss information;
- Automatic retransmission and response on MAC to avoid packet discarding on slow host environment;
- Seamless roaming support;
- Configurable packet traffic arbitration (PTA) with dedicated slave processor based design provides flexible and exact timing Bluetooth co-existence support for a wide range of Bluetooth Chip vendors;
- Dual and single antenna Bluetooth co-existence support with optional simultaneous receive (WiFi/Bluetooth) capability.

5. Power Management

The chip can be put into the following states:

- **OFF:** CHIP_PD pin is low. The RTC is disabled. All registers are cleared.
- **DEEP_SLEEP:** Only RTC is powered on – the rest of the chip is powered off. Recovery memory of RTC can keep basic WiFi connecting information.
- **SLEEP:** Only the RTC is operating. The crystal oscillator is disabled. Any wakeup events (MAC, host, RTC timer, external interrupts) will put the chip into the WAKEUP state.
- **WAKEUP:** In this state, the system goes from the sleep states to the PWR state. The crystal oscillator and PLLs are enabled.
- **ON:** the high speed clock is operational and sent to each block enabled by the clock control register. Lower level clock gating is implemented at the block level, including the CPU, which can be gated off using the WAITI instruction, while the system is on.



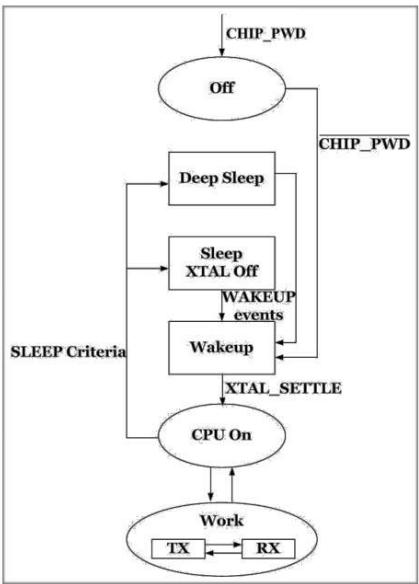


Figure 3 Illustration of Power Management

6. Clock Management

6.1. High Frequency Clock

The high frequency clock on ESP8266EX is used to drive both transmit and receive mixers. This clock is generated from the internal crystal oscillator and an external crystal. The crystal frequency can range from 26MHz to 52MHz.

While internal calibration of the crystal oscillator ensures that a wide range of crystals can be used, in general, the quality of the crystal is still a factor to consider, to have reasonable phase noise that is required for good performance. When the crystal selected is sub-optimal due to large frequency drifts or poor Q-factor, the maximum throughput and sensitivity of the WiFi system is degraded. Please refer to the application notes on how the frequency offset can be measured.

**Table 18 High Frequency Clock**

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Frequency	FXO	26	52	MHz
Loading capacitance	CL		32	pF
Motional capacitance	CM	2	5	pF
Series resistance	RS	0	65	Ω
Frequency tolerance	Δ FXO	-15	15	ppm
Frequency vs temperature (-25°C ~ 75°C)	Δ FXO,Temp	-15	15	ppm

6.2. External Reference Requirements

For an externally generated clock, the frequency can range from 26MHz to 52MHz can be used. For good performance of the radio, the following characteristics are expected of the clock:

Table 19 External Clock Reference

Parameter	Symbol	Min	Max	Unit
Clock amplitude	VXO	0.2	1	Vpp
External clock accuracy	Δ FXO,EXT	-15	15	ppm
Phase noise @1kHz offset, 40MHz clock			-120	dBc/Hz
Phase noise @10kHz offset, 40MHz clock			-130	dBc/Hz
Phase noise @100kHz offset, 40MHz clock			-138	dBc/Hz

7. Radio

The ESP8266EX radio consists of the following main blocks:

- 2.4GHz receiver
- 2.4GHz transmitter
- High speed clock generators and crystal oscillator
- Real time clock
- Bias and regulators
- Power management





7.1. Channel Frequencies

The RF transceiver supports the following channels according to the IEEE802.11b/g/n standards.

Table 20 Frequency Channel

Channel No	Frequency (MHz)	Channel No	Frequency (MHz)
1	2412	8	2447
2	2417	9	2452
3	2422	10	2457
4	2427	11	2462
5	2432	12	2467
6	2437	13	2472
7	2442	14	2484

7.2. 2.4 GHz Receiver

The 2.4GHz receiver downconverts the RF signal to quadrature baseband signals and converts them to the digital domain with 2 high resolution high speed ADCs. To adapt to varying signal channel conditions, RF filters, automatic gain control (AGC), DC offset cancelation circuits and baseband filters are integrated within ESP8266EX.

7.3. 2.4 GHz Transmitter

The 2.4GHz transmitter up-converts the quadrature baseband signals to 2.4GHz, and drives the antenna with a high powered CMOS power amplifier. The use of digital calibration further improves the linearity of the power amplifier, enabling a state of art performance of delivering +19.5dBm average power for 802.11b transmission and +16dBm for 802.11n transmission.

Additional calibrations are integrated to cancel any imperfections of the radio, such as:

- carrier leakage,
- I/Q phase matching, and
- baseband nonlinearities

This reduces the amount of time required and test equipment required for production testing.

7.4. Clock Generator

The clock generator generates quadrature 2.4 GHz clock signals for the receiver and transmitter. All components of the clock generator are integrated on-chip, including:

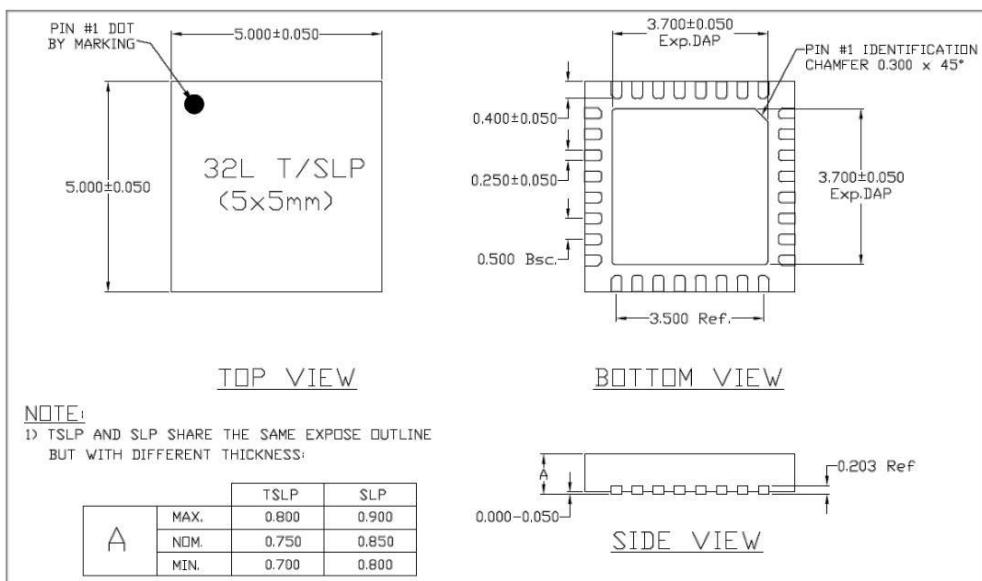




- inductor,
- varactor, and
- loop filter

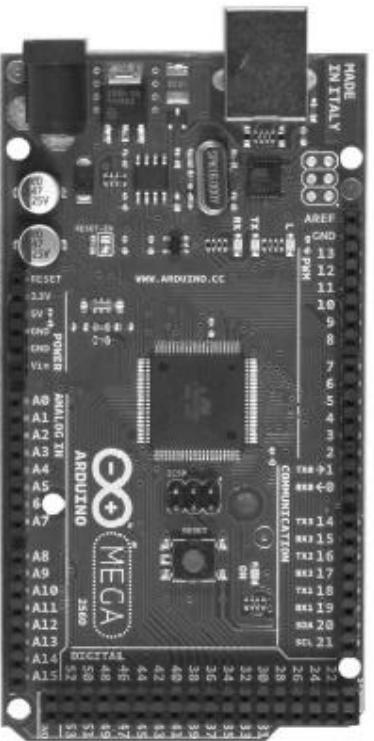
The clock generator has built-in calibration and self test circuits. Quadrature clock phases and phase noise are optimized on-chip with patented calibration algorithms to ensure the best receiver and transmitter performance.

8. Appendix: QFN32 Package Size



3. Mikrokontroler Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560



The Arduino Mega 2560 is a microcontroller board based on the ATmega2560 ([datasheet](#)). It has 54 digital input/output pins (of which 14 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega is compatible with most shields designed for the Arduino Duemilanove or Diecimila.

Schematic & Reference Design

EAGLE file: [arduino-mega2560-reference-design.zip](#)

Schematic: [arduino-mega2560-schematic.pdf](#)

Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Power

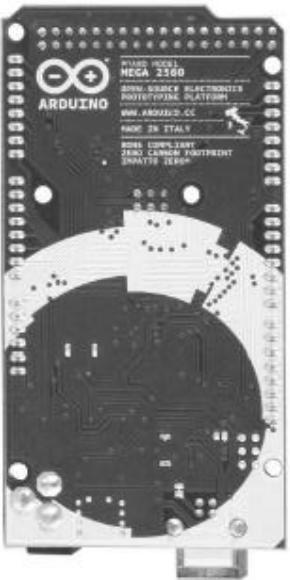
The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FT232 USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

Overview



- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
 - **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
 - **3V₃.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
 - **GND.** Ground pins.
- Memory**
- The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).
- Input and Output**
- Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20–50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:
- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
 - **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2).** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
 - **PWM: 0 to 13.** Provide 8-bit PWM output with the `analogWrite()` function.
 - **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#). The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Uno, Duemilanove and Diecimila.
 - **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.
 - **I²C: 20 (SDA) and 21 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove or Diecimila.
- The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and `analogReference()` function.



There are a couple of other pins on the board:

• **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with `analogReference()`.

• **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware USARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board handles one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial](#) library allows for serial communication on any of the Mega2560's digital pins.

The ATmega2560 also supports I₂C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I₂C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Mega can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a bootloader that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available in the [Arduino repository](#). The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Java) and then resetting the SU2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Mega2560 is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega2560 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can

have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Mega2560 is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Mega2560. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

USB Overcurrent protection

The Arduino Mega2560 has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega2560 PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega2560 is designed to be compatible with most shields designed for the Uno, Duemilanove, or Diecimila. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega2560 and Duemilanove / Diecimila. Please note that I₂C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).



4. Wattmeter GT Power RC

High precision Watt Meter and Power Analyzer

G.T.POWER Rc



1. SAFETY PRECAUTIONS

CAUTION: Shorting a rechargeable battery or Watt Meter connected to a rechargeable battery can supply huge currents, causing fire, explosions, personal injury, and damage to equipment. Ensure that all wiring and connections are rated to handle the input or output current, and are properly assembled for each application.

1.1 Input Voltage & Current Handling Limitations

The Watt Meter is designed to be safe in systems using less than 60 V and carrying currents up to 130A. **CAUTION:** Exceeding these limits will damage the Watt Meter and may cause personal injury.

2. WIRING, CONNECTIONS & APPLYING POWER

Warning: Loose connections can cause component damage! Only switch power between meter & LOAD. The Red SOURCE wire goes to positive (+)battery or other device terminals and black to Negative (-).User is responsible for attaching connectors rated to handle the voltage and current expected in user's application. Qualified individuals should make sure any high current connections. Verify there are no exposed wires or connectors that may short circuit before connecting a battery or power source to the Watt Meter. Only use female connectors on batteries. By connecting an auxiliary battery (e.g. a receiver battery)of 4.8-60V to the SOURCE 3-pin connector, the Watt Meter can measure down to 0V.

3. DISPLAY SCREEN

G.T.POWER Rc

3.1 Startup Screen

Each time power is applied across the Watt Meter

Leads (or auxiliary power connector) a startup screen with Logo is briefly displayed and peaks, minimums, Ah & Wh are reset to 0. Then the display changes to the measurement screen.

3.2 Measurement Screen

The measurement screen continuously displays Amps, Volts and Watts. All other measured values are presented sequentially, every two seconds, in the "Data-Queue" position of the display. Data values are identified by their units (Ah, Wh, Ap,Vm, Wp). All measurement screen values are updated every 0.4 seconds.

The Measurement Screen layout: Amps,Volts,watts & "Data Queue"

The "Data Queue" shows:

Ah,Wh,Ap, Vm, Wp in sequence.

100.00A	10.00V
Data Queue	1000.0W



3.2.1 (Current)Amps & Peak Amps A, Ap

Only current from SOURCE to LOAD is measured. Amps value displayed is the average current over the last screen update interval. Peak Amps value (AP) displayed is the maximum current drawn from the LOAD side ,since the meter's startup. Peaks lasting only a fraction of a second, can be captured .Supplying the auxiliary power with a voltage greater than the meter is measuring removes the meter's operation current from measurements. To reduce meter heating, measure currents over 65 Amps for reduced time and consider using connectors which can handle large current .

3.2.2 (Voltage)Volts & Minimum Volts V, Vm

The displayed Volts value is the average voltage over the last screen update interval.The displayed Minimum Volts value (Vm) is the minimum voltage (or "sag") measured on the SOURCE side, since the startup screen ended. The Volts value is measured on the SOURCE side.

3.2.3 (Energy) Watt- hours Wh

The displayed value is the total energy delivered in Watt-hours since the startup screen ended. It is measured on the LOAD side .For accurate results, be careful not to interrupt the SOURCE connection to the Watt Meter during an energy measurement.

3.2.4 (Charge) Amp-hours Ah

The displayed value is the total charge in Amp- hours (x1000=mAh) delivered since the startup screen ended. It is measured on the LOAD side. For accurate results, be careful not to interrupt the SOURCE connection to the Watt Meter during a charge measurement.

3.2.5 (Power) Watts & Peak Watts W,Wp

The displayed value is the average power delivered in watts (=Volts X Amps) over the last screen update interval. The displayed Peak Watts value (Wp) is the maximum power drawn on the LOAD side, since the startup screen ended. Watts values are measured on the LOAD side.

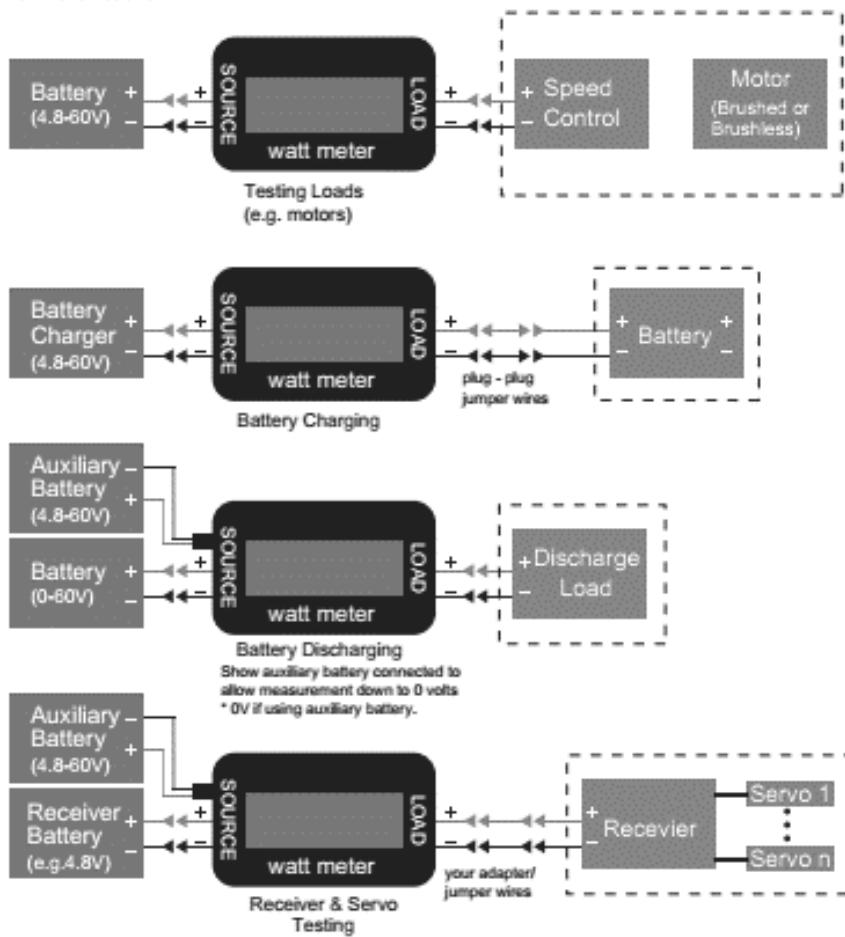
4. BUSING Watt Meter

You can think of the Watt Meter as a set of jumper wires. Connect it in the same way and you can measure what the jumper wires are connected to. Like jumper wires, the Watt Meter is essentially a direct connection between same colored SOURCE and LOAD wires, i.e. both the SOURCE and LOAD leads are electrically "hot" when a battery is connected to either side. Current flows from SOURCE to LOAD. Make sure connections are secure to prevent component damage!

Example use #1: Battery on SOURCE side, Motor Speed Controller(ESC) and motor on LOAD side. With the ESC on, the Watt Meter shows the current into the motor, voltage and power at the battery and accumulates the Ah and Wh while the motor is running. Example use #2: with a battery charger on the SOURCE side and battery pack on the LOAD side, the Watt Meter shows the charging current into the battery, the voltage and charging power at the battery and accumulates the charge (Ah) and energy (Wh) into the battery.

* Functions "G.T.POWER" Watt Meter and Power Analyzer

Measures EIGHT parameters key to electric power safety & performance. Use it to: Prevent peak currents damaging battery. Motor control, motors, wiring and connectors. Verify sufficient operating voltage under load. Set cutoff voltages, check battery capacity & health. Balance battery cells. Confirm proper battery charger operation. Detect receivers and actual operating current so as to make sure whether an UBEC is needed.



SPECIFICATIONS

- Operates from 4.8-60 V
0 V with optional auxiliary battery.
- Measures 0-130 A, resolution 0.01 A;
0-60 V, resolution 0.01 V;
0-6554 W, resolution 0.1 W;
0-65 Ah, resolution 0.001 Ah;
0-6554 Wh, resolution 0.1 Wh.
- 16*2, backlit LCD display.
- Size: 85*42*25 mm, Weight: 82 g.

Legend	
Loads	
Power Sources	
→ Socket connector	
← Plug connector	

