DESAIN DAN IMPLEMENTASI *AC TO DC CONVERTER* SEBAGAI CATU DAYA *LIGHT EMITTING DIODE* (LED)

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

SAMSUL ARIF

NIM. 0510630092 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2012

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah diucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, ridho, nikmat dan karunia-Nya sehingga skripsi dengan judul "*Desain dan Implementasi AC To DC Converter sebagai Catu Daya Light Emitting Diode (LED)*" dapat diselesaikan. Tidak lupa shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan untuk Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, kerabat dan para pengikutnya sampai akhir jaman.

Penulisan karya tulis skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara khusus penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Ayahanda Djazuli serta Ibunda Muslikha, yang dengan penuh kesabaran dan kasih sayang telah mengasuh, membesarkan, mendidik, serta memberikan pelajaran hidup yang tak ternilai harganya.

Selain itu, tak lupa diucapkan terima kasih atas segala bantuan, bimbingan, dan dorongan yang diterima dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan diucapkan terima kasih kepada:

1. Sholeh Hadi Pramono, Dr., Ir., MS sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
2. Bapak Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. sebagai Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
3. Bapak Mochammad Rif'an, ST.,MT. sebagai Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya,
4. Bapak Hadi Suyono,ST., MT.,Ph.D. sebagai Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang sekarang telah diganti oleh Bapak Ir. Wijono,MT.,Ph.D.
5. Bapak Waru Djuriatno, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing I atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran serta motivasi yang diberikan,
6. Bapak Mochammad Dhofir, Drs., Ir., MT. sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, saran, kritik, dan masukan yang diberikan,

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

7. Bapak Sugiri, Ir. sebagai Dosen Pembimbing akademik atas segala bimbingan yang telah diberikan selama menempuh studi,
8. Sahabat serta rekan skripsi seperjuangan, Nanda, Rotbi, Rianto dan Iqbal yang selalu memberi suasana pengerjaan skripsi yang kompetitif sehingga penulis tetap semangat untuk segera menyelesaikanya,
9. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, atas dukungannya dan bantuannya

Disadari bahwa isi dari skripsi ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan materi dan pengetahuan yang dimiliki. Oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan. Semoga skripsi ini bermanfaat untuk kita semua, rekan-rekan mahasiswa khususnya dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, Agustus 2012

Penulis

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **ii**
DAFTAR ISI ..... **iv**
DAFTAR TABEL ..... **vi**
DAFTAR GAMBAR ..... **vii**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **viii**
ABSTRAK ..... **ix**
BAB I **1**
PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan 2
1.5 Manfaat 2
1.6 Sistematika Penulisan 3
BAB II **4**
TINJAUAN PUSTAKA **4**
2.1 Transition mode power factor corrector (TM PFC) dengan boost converter. 4
2.1.1 Frekuensi TM PFC 5
2.4 MOSFET Daya 16
BAB III **21**
METODOLOGI PENELITIAN **21**
BAB IV **23**
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN **23**
BAB V **39**
PENGUJIAN DAN ANALISIS **39**
5.1 Pengujian *Transition Mode Power Factor Correction* (TMPFC) 39
5.2 Pengujian *Modified Buck Converter*Sumber : 40

Tegangan dan arus keluaran modified buck converter tidak optimal dikarenakan tegangan referensi pada pada pin 4 pada L6562 terlalu kecil, sehingga arus maksimum LED terlalu kecil. Untuk meningkatkan arus keluaran dilakukan dengan memperkecil nilai resistor sensor arus..... 41

BAB VI 42

KESIMPULAN DAN SARAN 42

6.1 Kesimpulan..... 42

6.2 Saran..... 42

DAFTAR PUSTAKA 43

LAMPIRAN 44

DAFTAR TABEL

Tabel 5.2 Hasil Pengujian pada *Modified Buck Converter* 43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk Gelombang Arus Induktor pada PFC 5
Gambar 2.2 Rangkaian Dasar PFC dengan *Boost Converter* 6
Gambar 2.3 Bentuk Gelombang Tegangan Masukan PFC 7
Gambar 2.4 Rangkaian TMPFC dengan kapasitor masukan 11
Gambar 2.5 Rangkaian Dasar *Modified Buck Converter* 12
Gambar 2.6 Rangkaian ekuivalen *Modified Buck Converter* 13
Gambar 2.7 Induktor dan Rangkaian Ekuivalennya 17
Gambar 2.8 Simbol Mosfet 20
Gambar 2.9 Karakteristik Mosfet. 21
Gambar 2.10 Internal Dioda pada Mosfet 22
Gambar 2.11 Implementasi *Fast Recovery Diode pada Mosfet* 22
Gambar 2.12 Kapasitansi pada Mosfet 23
Gambar 2.13 Waktu Naik dan Waktu Turun pada Mosfet 24
Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan dan Pembuatan Alat 27
Gambar 3.2 Diagram Alir Perancangan dan Pembuatan TMPFC 28
Gambar 3.3 Diagram Alir Perancangan dan Pembuatan *Modified Buck Converter* 29
Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem 30
Gambar 4.2 Skema Rangkaian *Modified Buck Converter* 32
Gambar 4.3 Konstruksi Induktor pada *Modified Buck Converter* 33
Gambar 4.4 Skema Rangkaian PFC Pre-regulator 36
Gambar 4.5 Konstruksi Induktor 38
Gambar 5.1 Diagrag Blok Pengujian TMPFC 41
Gambar 5.2 Bentuk Gelombang Tegangan Keluaran TMPFC 42
Gambar 5.3 Bentuk Gelombang Arus Masukan TMPFC 42
Gambar 5.4 Diagram Blok Pengujian *Modified Buck Converter* 43

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Skema rangkaian *transition mode power factor corrector*. 47
Lampiran 2 Skema rangkaian *modfied buck converter* 48
Lampiran 3 Tegangan keluaran TMPFC pada kondisi tanpa beban..... 49
Lampiran 4 Tegangan keluaran *modfied buck converter*..... 49
Lampiran 5 Datasheet L6562..... 50

ABSTRAK

Samsul Arif, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2012, **Desan dan Implementasi AC to DC Converter sebagai Catu Daya Light Emitting Diode (LED)**, Dosen Pembimbing : Waru Djuriatno, ST., MT. dan Mochammad Dhofir, Drs., Ir., MT.

Light emitting diode (LED) merupakan salah satu alternatif lampu hemat energi, seiring dengan telah diciptakannya LED yang memiliki fluks cahaya yang tinggi. Selain itu LED juga memiliki efikasi yang tinggi, bahkan ada yang lebih dari 100 lumen per watt.

Untuk memaksimalkan kinerja LED dibutuhkan suatu rangkaian driver yang dapat membrikan arus sesuai dengan arus kerjanya. Karena sumber energi listrik yang banyak tersedia adalah sumber listrik AC, maka pada skripsi ini akan dibuat suatu rangkaian AC to DC Converter untuk menyuplai LED. Rangkaian ini terdiri dari bridge rectifier untuk mengubah tegangan AC sinusoidal menjadi tegangan DC berdenyut (setengah sinusoida), boost converter untuk memperbaiki faktor daya dan modified buck converter untuk membatasi arus agar sesuai dengan arus kerja LED.

Pada skripsi ini telah dibuat rangkaian transition mode power factor corrector dengan tegangan keluaran sebesar 409 V dan modified buck converter dengan arus keluaran sebesar 40 mA dan tegangan keluaran 134,1 V untuk LED sebanyak 50 buah.

Kata kunci : *LED, AC to DC converter, PFC, bost converter, buck converter*

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lampu adalah teknologi yang diciptakan bertujuan untuk memudahkan aktivitas manusia. Lampu mengubah energy listrik menjadi energi panas dan cahaya. Seperti halnya teknoogi lain lampu juga mengalami perkembangan. Perkembangan lampu bertujuan untuk meningkatkan efisiensi lampu berdasarkan fungsinya sebagai penerangan. Dalam hal ini perkembangan teknologi lampu bertujuan untuk mengurangi energi panas yang dihasilkan dan meningkatkan dan meningkatkan energy cahaya, karena energy panas yang dihasilkan akan mengurangi ketahanan dan umur lampu. Beberapa jenis lampu diantaranya lampu pijar, lampu halogen, lampu neon, lampu sodium, lampu mercuri dan teknologi terbaru yang digunakan adalah *light emitting diode* (LED).

Light emitting diode (LED) sebelumnya hanya digunakan sebagai lampu indicator bukan sebagai penerangan. Namun seiring dengan perkembangan ilmu material kini telah diciptakan LED yang dapat menghasilkan cahaya putih yang terang sehingga dapat digunakan sebagai lampu penerangan. LED adalah sejenis diode semikonduktor yang dapat memancarkan cahaya dan hampir tidak mengeluarkan energy panas. Sehingga dalam perkembangannya LED diketahui memiliki ketahanan dan umur lebih lama daripada jenis lampu lainnya. Selain itu, dalam penggunaan energy listrik, LED juga lebih hemat. Akan tetapi lampu LED sebagai penerangan jarang didapati di pasaran dan harganya juga masih mahal dibandingkan jenis lampu lainnya.

LED merupakan beban DC, sehingga membutuhkan penyearah (AC to DC converter) apabila akan diterapkan pada sumber AC. Untuk memaksimal kinerja LED diperlukan suatu rangkaian penyearah dengan tegangan keluaran DC yang konstan. Pada penyearah dengan filter kapasitor yang besar, dapat menghasilkan tegangan DC keluaran yang konstan. Namun hal ini menyebabkan arus masukan tidak sinusoidal dengan komponen harmonik yang menyebabkan faktor daya rendah. Hal inilah yang menjadi permasalahan dalam skripsi ini, yaitu bagaimana merancang dan membuat *AC to DC converter* yang dapat menghasilkan arus yang konstan untuk menyuplai beban berupa LED.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah bagaimana merancang dan membuat AC to DC converter yang dapat menghasilkan arus dc yang konstan untuk menyuplai beban berupa LED.

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam skripsi ini lebih terarah dan sesuai dengan tujuannya, maka perlu diberikan ruang lingkup pembahasan. Adapun ruang lingkup pembahasan skripsi ini adalah sebagai berikut :

a. Rangkaian penyearah yang digunakan adalah rangkaian penyearah gelombang penuh.
b. Boost converter digunakan sebagai filter aktif untuk mendapatkan tegangan DC yang teregulasi dan juga sebagai power factor corerector (PFC).
c. Metode pengontrolan switching yang digunakan pada boost converter adalah peak current-mode control dengan fixed on-time.
d. Sebagai regulator arus digunakan modified buck converter dengan metode fixed off-time.
e. Piranti yang digunakan sebagai switching controller pada boost converter adalah IC L6562.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah terwujudnya AC to DC converter yang dapat menghasilkan arus dc konstan untuk menyuplai beban berupa LED.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penyusunan skripsi ini adalah AC to DC converter ini dapat digunakan untuk menyuplai lampu LED yang hemat energi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan skripsi ini disusun dengan urutan sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori dasar yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.

BAB III : Metode Penelitian

Membahas tentang metode yang digunakan dalam menunjang perancangan dan pembuatan alat serta penyusunan makalah skripsi ini.

BAB IV : Perancangan dan Pembuatan Alat

Memuat spesifikasi, perancangan blok diagram, prinsip kerja, serta perealisasian alat.

BAB V : Pengujian dan Analisis Perencanaan

Membahas tentang proses pengujian serta analisis data yang diperoleh dari sistem.

BAB VI : Penutup

Membahas kesimpulan dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut dari system yang telah dibuat.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

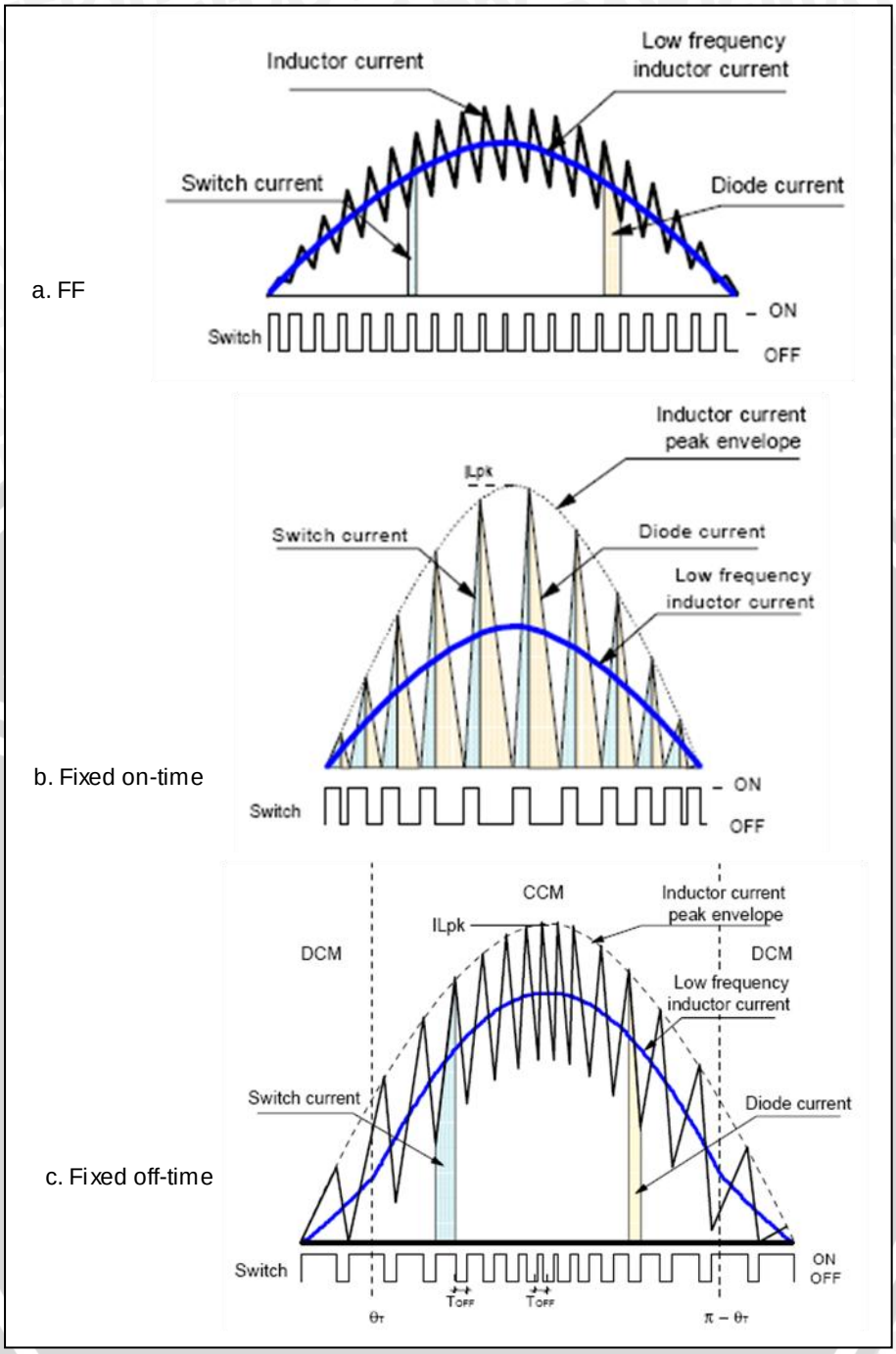
2.1 Transition mode power factor corrector (TM PFC) dengan boost converter

Pada dasarnya beberapa topologi rangkaian switching dapat digunakan sebagai PFC pre-regulator, namun topologi boost lebih sering digunakan karena memiliki beberapa keuntungan diantaranya :

1. Rangkaian PFC pre-regulator dengan boost converter hanya memerlukan sedikit rangkaian eksternal, sehingga lebih sederhana.
2. Boost induktor yang diletakkan diantara penyearah dengan dengan saklar daya mengurangi ripel arus, sehingga akan meminimalisasi gangguan pada sumber.
3. Saklar daya terhubung langsung pada ground, sehingga tidak memerlukan rangkaian driver khusus.

Metode pengontrolan power factor corrector (PFC) pre-regulator pada boost converter antara lain adalah fixed frequency (FF) PWM, fixed on-time-variable frequency (FOnT), dan fixed off-time-variable frequency (FOffT). Metode pertama bekerja pada average current-mode control, relatif rumit dan membutuhkan IC kontrol yang canggih dan mahal seperti (L4981A/B). Metode kedua dan ketiga menggunakan peak current-mode control, dapat diimplementasikan dengan IC control sederhana seperti L6561, yang hanya membutuhkan sedikit rangkaian eksternal, sehingga biayanya lebih murah.

Metode pertama bekerja pada continuous conduction mode (CCM), metode kedua bekerja pada transition mode (TM) yaitu antara continuous dan discontinuous mode, sedangkan metode ketiga beroperasi pada continuous dan discontinuous conduction mode. Gambar 2.1 merupakan bentuk gelombang arus induktor pada ketiga metode di atas. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa arus puncak pada transition mode lebih besar dari pada continuous conduction mode, sehingga metode TM biasanya hanya diguanakan untuk daya rendah (tipikalnya dibawah 150 W), metode fixed off-time untuk daya menengah (150-300 W) dan metode fixed frequency untuk daya tinggi (>300 W).



Gambar 2.1 Bentuk gelombang arus induktor pada PFC
Sumber : AN1792, www.st.com

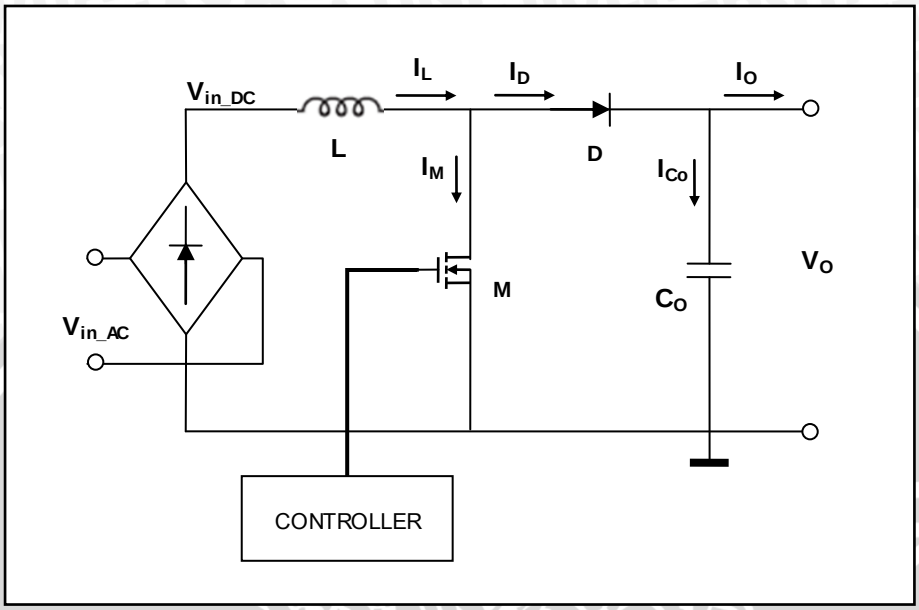
2.1.1 Frekuensi TM PFC

Rangkaian dasar *boost converter* sebagai *power factor corrector* ditunjukkan pada gambar 2.2. Pada *boost converter* persamaan tegangan masukan dan keluaran adalah :

$$V_{out} = \frac{V_{in_DC}}{1 - D} \qquad 2.1$$

Dengan asumsi tegangan masukan *boost converter* adalah setengah sinusoida seperti ditunjukkan pada gambar 2.3, maka persamaannya menjadi :

$$V_{out} = \frac{V_M |\sin\theta|}{1 - D} \qquad 2.2$$



Gambar 2.2 Rangkaian dasar PFC pre-regulator dengan boost converter
Sumber : R. W. Erickson, 1997 : Fundamental of Power Electronics Instructor's Slides

Bentuk gelombang arus induktor pada TM PFC dengan boost converter ditunjukkan pada gambar 2.1b. Pada kondisi on pada induktor berlaku persamaan berikut :

$$V_L = L\frac{\Delta I_L}{\Delta_T}$$

$$\sqrt{2} \cdot V_{in_rms} \cdot \sin\theta = L\frac{I_{L_pk} \cdot \sin\theta}{T_{on}}$$

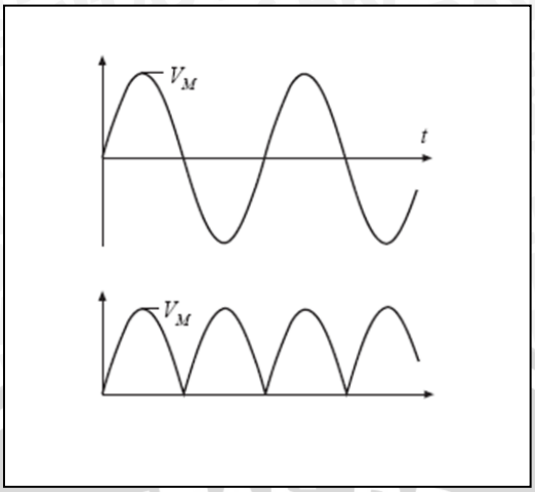
$$T_{on} = \frac{L \cdot I_{L_pk} \cdot \sin\theta}{\sqrt{2} \cdot V_{in_rms} \cdot \sin\theta} = \frac{L \cdot I_{L_pk}}{\sqrt{2} \cdot V_{in_rms}} \qquad 2.3$$

Pada kondisi off pada induktor berlaku persamaan berikut :

$$V_L = L\frac{\Delta I_L}{\Delta_T}$$

$$V_o - \sqrt{2} \cdot V_{in_rms} \cdot \sin\theta = L\frac{I_{L_pk} \cdot \sin\theta}{T_{off}}$$

$$T_{off} = \frac{L \cdot I_{L_pk} \cdot \sin\theta}{V_o - \sqrt{2} \cdot V_{in_rms} \cdot \sin\theta} \qquad 2.4$$



Gambar 2.3 Bentuk gelombang tegangan masukan PFC pre-regulator
Sumber : R. W. Erickson, Fundamental of Power Electronics Instructor's Slides

Persamaan frekuensi pensaklaran adalah :

$$f_{sw(\theta)} = \frac{1}{T_{on} + T_{off}} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_{in_rms}(V_o - \sqrt{2} \cdot V_{in_rms} \cdot \sin\theta)}{L \cdot I_{L_pk} \cdot V_o} \qquad 2.5$$

Dimana arus puncak induktor dua kali dari arus puncak masukan (saluran).

$$I_{L_pk} = 2 \cdot I_{in_pk} = 2 \cdot \sqrt{2}\,\frac{P_{in}}{V_{in_rms}} \qquad 2.6$$

Dengan subtitusi persamaan 2.5 dan 2.6 maka diperoleh persamaan :

$$f_{sw(\theta)} = \frac{V_{in_rms}^2(V_o - \sqrt{2} \cdot V_{in_rms} \cdot \sin\theta)}{2 \cdot L \cdot P_{in} \cdot V_o} \qquad 2.7$$

Frekuensi rata-rata untuk setengah siklus sinusoida adalah :

$$f_{sw(avg)} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} f_{sw(\theta)} = \frac{V_{in_rms}^2(\pi \cdot V_o - \sqrt{2} \cdot V_{in_rms})}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot P_{in} \cdot V_o} \qquad 2.8$$

2.1.2 Boost induktor

Induktor berfungsi untuk membatasi arus ripel, dari persamaan 2.7, didapatkan persamaan untuk nilai induktor (L) :

$$L = \frac{V_{in_rms}^2(V_o - \sqrt{2} \cdot V_{in_rms} \cdot \sin\theta)}{2 \cdot f_{sw(\theta)} \cdot P_{in} \cdot V_o} \qquad 2.9$$

Persamaan arus induktor rms pada kondisi on untuk satu periode pensaklaran adalah :

$$I_{L_rms_on(\theta)} = \sqrt{\frac{1}{T_{(\theta)}}\int_0^{D_{(\theta)} \cdot T_{(\theta)}} \left[\frac{I_{L_pk} \cdot \sin\theta}{D_{(\theta)} \cdot T_{(\theta)}}\, t\right]^2 dt}$$

$$I_{L_{rms_on(\theta)}} = \sqrt{\frac{1}{3T_{(\theta)}}\left[\frac{I_{L_pk}\cdot\sin\theta}{D_{(\theta)}\cdot T_{(\theta)}}\right]^2\left[D_{(\theta)}\cdot T_{(\theta)}\right]^3}$$

$$I_{L_rms_on(\theta)} = \sqrt{\frac{1}{3}\left[I_{L_pk}\cdot\sin\theta\right]^2\cdot D_{(\theta)}}$$

$$I_{L_rms_on(\theta)} = \sqrt{\frac{I_{L_{pk}}^2}{3}\sin^2\theta\left(1-\frac{\sqrt{2}\cdot V_{in_rms}\cdot\sin\theta}{V_o}\right)}$$

$$I_{L_rms_on(\theta)} = \sqrt{\frac{I_{L_{pk}}^2}{3}\left(\sin^2\theta-\frac{\sqrt{2}\cdot V_{in_rms}\cdot\sin^3\theta}{V_o}\right)}$$

Persamaan arus induktor rms pada kondisi on untuk setengah siklus sinusoida adalah :

$$I_{L_rms_on} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} I_{L_rms_on(\theta)}^2\,d\theta}$$

$$I_{L_rms_on} = \sqrt{\frac{I_{L_{pk}}^2}{3\pi}\int_0^{\pi}\left(\sin^2\theta-\frac{\sqrt{2}\cdot V_{in_rms}\cdot\sin^3\theta}{V_o}\right)d\theta}$$

$$I_{L_rms_on} = \sqrt{\frac{I_{L_{pk}}^2}{3\pi}\left(\frac{\pi}{2}-\frac{4\sqrt{2}V_{in_rms}}{3V_o}\right)}$$

$$I_{L_rms_on} = I_{L_pk}\sqrt{\frac{1}{6}-\frac{4\sqrt{2}V_{in_rms}}{9\pi V_o}} \qquad 2.7$$

Persamaan arus induktor rms pada kondisi off untuk satu periode pensaklaran adalah :

$$I_{L_rms_off(\theta)} = \sqrt{\frac{1}{T_{(\theta)}}\int_0^{D'(\theta)\cdot T(\theta)}\left[\frac{I_{L_pk}\cdot\sin\theta}{D'_{(\theta)}\cdot T_{(\theta)}}t\right]^2 dt}$$

$$I_{L_{rms_off(\theta)}} = \sqrt{\frac{1}{3T_{(\theta)}}\left[\frac{I_{L_pk}\cdot\sin\theta}{D'_{(\theta)}\cdot T_{(\theta)}}\right]^2\left[D'_{(\theta)}\cdot T_{(\theta)}\right]^3}$$

$$I_{L_rms_off(\theta)} = \sqrt{\frac{1}{3}\left[I_{L_pk}\cdot\sin\theta\right]^2\cdot D'_{(\theta)}}$$

$$I_{L_rms_off(\theta)} = \sqrt{\frac{I_{L_{pk}}^2}{3}\sin^2\theta\left(\frac{\sqrt{2}\cdot V_{in_rms}\cdot\sin\theta}{V_o}\right)}$$

$$I_{L_rms_off(\theta)} = \sqrt{\frac{I_{L_{pk}}^2}{3}\frac{\sqrt{2}\cdot V_{in_rms}\cdot\sin^3\theta}{V_o}}$$

Persamaan arus induktor rms pada kondisi off untuk setengah siklus sinusoida adalah :

$$I_{L_rms_off} = \sqrt{\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} I^2_{L_rms_off(\theta)}\, d\theta}$$

$$I_{L_rms_off} = \sqrt{\frac{I^2_{Lpk}}{3\pi}\int_0^{\pi} \frac{\sqrt{2}\cdot V_{in_rms}\cdot \sin^3\theta}{V_o}\, d\theta}$$

$$I_{L_rms_off} = \sqrt{\frac{I^2_{Lpk}}{3\pi}\left(\frac{4\sqrt{2}V_{in_rms}}{3V_o}\right)}$$

$$I_{L_rms_off} = I_{L_pk}\sqrt{\frac{4\sqrt{2}V_{in_rms}}{9\pi V_o}} \qquad 2.8$$

Maka total arus induktor rms induktor adalah :

$$I_{L_rms} = \sqrt{I^2_{L_rms_on} + I^2_{L_rms_off}} = \frac{I_{L_pk}}{\sqrt{6}} \qquad 2.9$$

Dan persamaan arus puncak induktor adalah :

$$I_{L_pk} = 2I_{in_pk} = 2\sqrt{2}\frac{P_{in}}{V_{in_rms}\cdot PF} \qquad 2.10$$

2.1.3 Kapasitor keluaran

Kapasitor keluaran berfungsi untuk mengurangi tegangan ripel keluaran, nilai dari kapasitor keluaran dapat ditentukan dari persamaan berikut ini :

$$V_{o_ripel} = Z_C \cdot I_{Co_rms}$$

Yang dominan berpengaruh pada tegangan ripel keluaran adalah komponen C dari kapasitor, maka dengan mengabaikan ESR dan ESL persamaan tegangan ripel keluaran menjadi :

$$V_{o_ripel} = \frac{I_{Co_rms}}{2\pi\cdot f_{ripel}\cdot C_o}$$

Untuk mendapatkan perbaikan faktor daya, maka frekuensi tegangan ripel keluaran dibuat sama dengan 2 kali frekuensi saluran.

$$V_{o_ripel} = \frac{I_{Co_rms}}{2\pi\cdot 2\cdot f_{in_AC}\cdot C_o}$$

$$C_o = \frac{I_{Co_rms}}{2\pi\cdot 2\cdot f_{in_AC}\cdot V_{o_ripel}} \qquad 2.11$$

Tipikalnya tegangan ripel keluaran adalah kurang dari 10 % dari tegangan rata-rata keluaran. Arus kapasitor rms dapat dihitung dari persamaan berikut ini :

$$I_{Co_rms} = \sqrt{I_{D_rms}^2 - I_O^2} \qquad 2.12$$

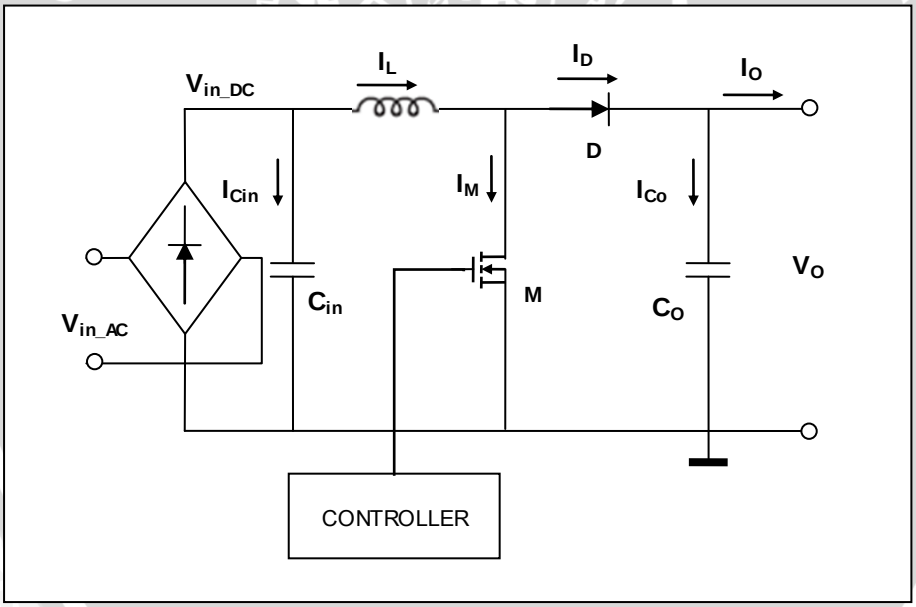
2.1.4 Kapasitor masukan

Untuk mengurangi gangguan akibat arus ripel inductor yang terjadi akibat proses pensaklaran, maka diantara penyearah dan boost converter dipasang kapasitor frekuensi tinggi. Nilai kapasitor dapat ditentukan dari persamaan berikut ini :

$$C_{in} = \frac{I_{Cin_rms}}{2\pi \cdot 2 \cdot f_{sw} \cdot V_{ripel_sw}} \qquad 2.13$$

Arus kapasitor rms dapat dihitung dari persamaan berikut ini :

$$I_{Cin_rms} = \sqrt{I_{L_rms}^2 + I_{in_rms}^2} \qquad 2.14$$



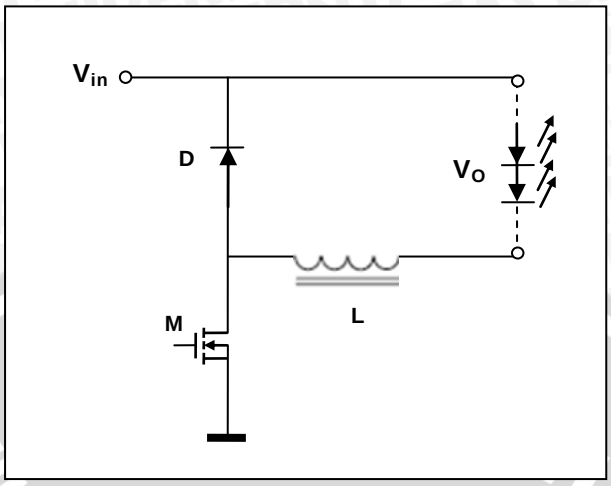
Gambar 2.4 Rangkaian PFC boost converter dengan kapasitor masukan

Sumber : R. W. Erickson, Fundamental of Power Electronics Instructor's Slides

2.2 *Modified buck converter*

Modified buck converter merupakan modifikasi dari topologi buck converter standar, rangkaiannya ditunnjukkan pada gambar 2.5. Berbeda dengan rangkaian buck converter standar, saklar daya pada modified buck converter

langsung terhubung dengan ground, sehingga rangkaian drivernya lebih sederhana.



Gambar 2.4 Rangkaian dasar modified buck converter
Sumber : AN29828, ww.st.com

2.2.1 Persamaan dasar pada *modified buck converter*

Pada saat konduksi rangkaian ekuivalennya ditunjukkan pada gambar 2.5, persamaan tegangan pada inductor adalah :

$$V_L = V_{in} - V_o = L\frac{dI_{L_on}}{dt}$$

Dengan asumsi arus induktor naik secara linier seperti ditunjukkan pada gambar 2.5, maka perubahan arus induktor selama kondisi on adalah :

$$V_{in} - V_o = L\frac{\Delta I_{L_on}}{t_{on}}$$

$$\Delta I_{L_on} = \frac{(V_{in} - V_o)t_{on}}{L} \qquad 2.15$$

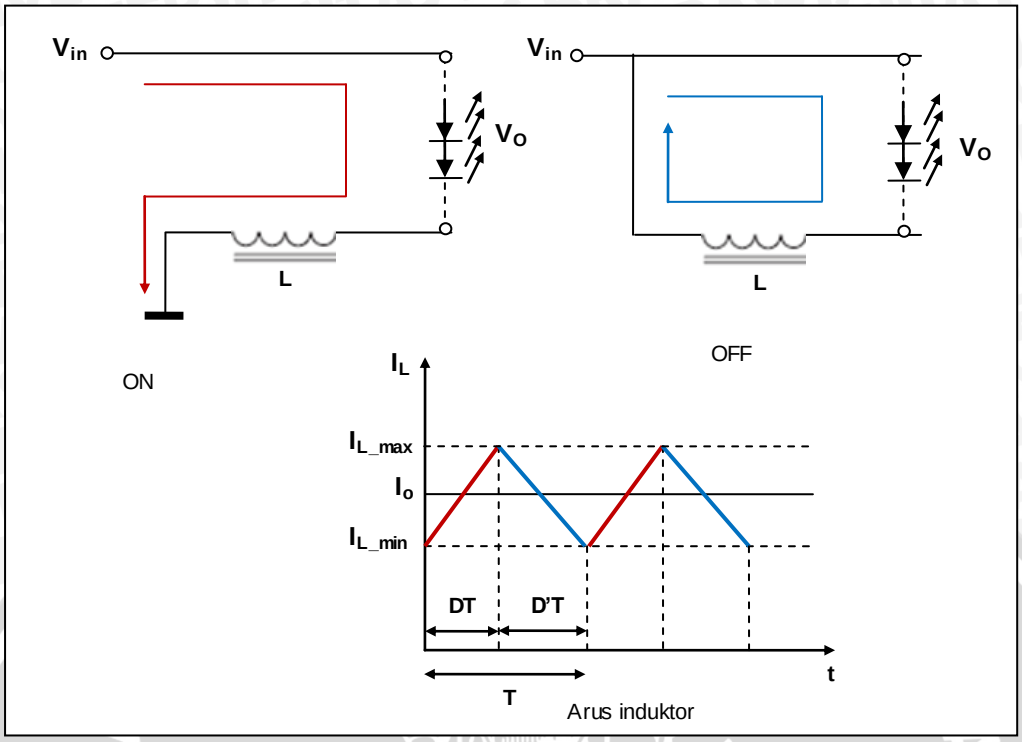
Pada saat tidak konduksi persamaan tegangan pada induktor adalah :

$$V_L = -V_o = L\frac{dI_{L_off}}{dt}$$

Dengan asumsi arus induktor turun secara linier seperti ditunjukkan pada gambar 2.5, maka perubahan arus inductor selama kondisi on adalah :

$$-V_o = L\frac{\Delta I_{L_off}}{t_{off}}$$

$$\Delta I_{L_off} = \frac{-V_o t_{off}}{L} \qquad 2.16$$



Gambar 2.5 Rangkaian ekuivalen dan bentuk gelombang arus induktor
Sumber : AN29828, ww.st.com

Pada operasi continuous conduction mode (CCM), perubahan arus induktor selama on dan off adalah sama, maka diperoleh persamaan :

$$\Delta I_{L_on} = \Delta I_{L_off}$$

$$\frac{(V_{in} - V_o)t_{on}}{L} = \frac{V_o \cdot t_{off}}{L}$$

$$V_o = \frac{V_{in} \cdot t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{V_{in} \cdot t_{on}}{T} = D \cdot V_{in} \qquad 2.17$$

Persamaan tegangan keluaran pada modified buck coverter sama dengan persamaan pada standart buck converter.

2.2.2 Metode fixed off-time

Pada metode fixed off-time waktu off dibuat tetap, sedangkan frekuensinya bervariasi untuk menjaga agar tegangan keluaran konstan. Waktu off t_{off} dapat ditentukan dari persamaan duty cycle.

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{t_{on}}{T} = \frac{T - t_{off}}{T} = 1 - f_{sw} \cdot t_{off}$$

$$t_{off} = \frac{\left[1 - \frac{V_o}{V_{in}}\right]}{f_{sw}} \qquad 2.18$$

2.2.3 Buck inductor

Induktor berfungsi untuk membatasi arus ripel, dari persamaan 2.16 didapatkan persamaan inductor (L).

$$L = \frac{V_o t_{off}}{\Delta I_L} \qquad 2.19$$

Pada kondisi on arus induktor rms adalah :

$$I_{L_rms_on} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{DT}\left[\frac{\Delta I_L}{DT}t + I_{L_min}\right]^2 dt}$$

$$I_{L_rms_on} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{DT}\left[\frac{\Delta I_L}{DT}t\right]^2 + 2\frac{\Delta I_L I_{L_min}}{DT}t + I_{L_min}^2\, dt}$$

$$I_{L_rms_on} = \sqrt{\frac{\Delta I_L^2}{3}D + \Delta I_L I_{L_min} D + I_{L_min}^2 D}$$

$$I_{L_rms_on} = \sqrt{\left[\frac{\Delta I_L^2}{3} + \Delta I_L I_{L_min} + I_{L_min}^2\right]D} \qquad 2.20$$

Pada kondisi off arus induktor rms adalah :

$$I_{L_rms_off} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{D'T}\left[\frac{\Delta I_L}{D'T}t + I_{L_min}\right]^2 dt}$$

$$I_{L_rms_off} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{D'T}\left[\frac{\Delta I_L}{D'T}t\right]^2 + 2\frac{\Delta I_L I_{L_min}}{D'T}t + I_{L_min}^2\, dt}$$

$$I_{L_rms_off} = \sqrt{\frac{\Delta I_L^2}{3}D' + \Delta I_L I_{L_{min}} D' + I_{L_{min}}^2 D'}$$

$$I_{L_rms_off} = \sqrt{\left[\frac{\Delta I_L^2}{3} + \Delta I_L I_{L_min} + I_{L_min}^2\right]D'} \qquad 2.21$$

Total arus induktor rms selama satu periode pensaklaran adalah :

$$I_{L_rms} = \sqrt{I_{L_rms_on}^2 + I_{L_rms_off}^2}$$

$$I_{L_rms} = \sqrt{\frac{\Delta I_L^2}{3} + \Delta I_L I_{L_min} + I_{L_min}^2} \qquad 2.22$$

2.2.4 Kapasitor keluaran

Untuk mengurangi ripel arus keluaran dapat ditambahkan kapasito yang diparalel dengan beban, nilai dari kapasitor keluaran dapat ditentukan dari persamaan berikut ini :

$$V_{o_ripel} = Z_C \cdot I_{Co_rms}$$

Yang dominan berpengaruh pada tegangan ripel keluaran adalah komponen C dari kapasitor, maka dengan mengabaikan ESR dan ESL persamaan tegangan ripel keluaran menjadi :

$$V_{o_ripel} = \frac{I_{Co_rms}}{2\pi \cdot f_{sw} \cdot C_o}$$

$$C_o = \frac{I_{Co_rms}}{2\pi \cdot 2 \cdot f_{sw} \cdot V_{o_ripel}} \qquad 2.23$$

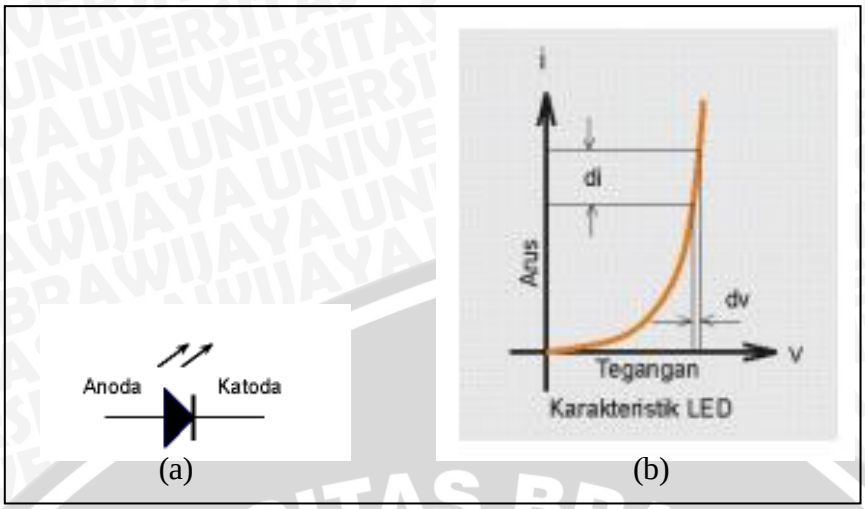
Tipikalnya tegangan ripel keluaran adalah kurang dari 10 % dari tegangan rata-rata keluaran. Arus kapasitor rms dapat dihitung dari persamaan berikut ini :

$$I_{Co_rms} = \sqrt{I_{L_rms}^2 - I_O^2} \qquad 2.24$$

2.3 *Light Emitting Diode* (LED)

Light emitting diode (LED) merupakan jenis diode semikonduktor yang dapat mengeluarkan energy cahaya ketika diberi tegangan. Ketika sebuah diode sedang mengalirkan elektron, terjadi pelepasan energy yang umumnya berbentuk emisi panas dan cahaya. Material semikonduktor pada diode sendiri menyerap cukup banyak energy cahaya, sehingga tidak seluruhnya dilepaskan. LED merupakan diode yang dirancang untuk melepaskan sejumlah banyak foton, sehingga dapat mengeluarkan cahaya.

Bila suatu diode diberi prategangan maju, electron-elektron bebas akan bergabung kembali dengan lubang-lubang disekitar persambungan. Ketika meluruh dari tingkat energy lebih tinggi ke tingkat energy lebih rendah, electron-elektron bebas tersebut akan mengeluarkan energinya dalam bentuk radiasi. Dalam diode penyearah, hampir seluruh energy ini dilepaskan dalam bentuk panas. Dalam LED, sebagian dari selisih energy ini dilepaskan sebagai radiasi cahaya.



Gambar 2.13 : (a) symbol LED, (b) karakteristik LED

Gambar 2.13 (b) adalah gambar karakteristik LED, LED memiliki rentang tegangan maju yang kecil sehingga apabila diberi tegangan yang melebihi tegangan maju nominalnya, maka LED akan rusak.

Umumnya LED dibungkus dengan bohlam plastic yang dirancang sehingga cahaya yang dikeluarkan terfokus pada suatu arah tertentu. Setiap material hanya dapat mengemisikan foton dalam rentang frekuensi yang sempit. LED yang menghasilkan warna berbeda terbuat dari material semikonduktor yang berbeda pula, serta membutuhkan tingkat energy yang berbeda untuk mrnghasilkan cahaya. AlGaAs – merah dan inframerah, AlGaP – hijau, GaP – merah, kuning dan hijau.

Lampu pijar lebih murah tapi juga kurang efisien disbanding LED. Lampu TL lebih efisien daripada lampu pijar, tapi buth tempat besar, mudah pecah dan membutuhkan starter atau rangkaian ballast yang terkadang terdengar suara dengungnya. LED mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan lampu pijar konvensional. LED tidak memiliki filament yang terbakar, sehingga usia pakai LED jauh lebih lama daripada lampu pijar, LED juga tidak memerlukan gas untuk menghasilkan cahaya. Selain itu bentuk LED yang sederhana, kecil dan kompak memudahkan penempatannya. Dalam hal efisiensi, LED juga memiliki keunggulan. LED hanya sedikit menghasilkan panas, sehingga porsi terbesar dari energi listrik yang ada digunakan untuk menghasilkan cahaya dan membuatnya jauh lebih efisien.

Dalam terminology teknik pencahayaan, LED dapat dikatakan memiliki tingkat efisiensi atau efikasi yang tinggi, karena perbandingan banyaknya energy cahaya yang dikeluarkan LED dengan besarnya daya listrik yang dikonsumsinya cukup tinggi jika dibanndingkan dengan lampu pijar konvensional. LED dengan cahaya monokromatiknya memiliki keunggulan kekuatan yang lebih besar dari cahaya putih ketika warna yang spesifik diperlukan. Tidak seperti cahaya putih tradisional, LED tidak membutuhkan lapisan atau diffuser yang banyak mengabsorpsi cahaya yang dikeluarkan. Cahaya LED mempunyai sifat warna tertentu, dan tersedia pada range warna yang lebar. Salah satunya yang baru-baru ini warnanya diperkenalkan adalah emerald green (bluish green, panjang gelombangnya kira-kira 500 nm) yang cocok dengan persyaratan sebagai sinyal lalu lintas dan cahaya navigasi. Cahaya LED kuning adalah pilihan bagus karena mata mata manusia sensitif pada cahaya kuning (kira-kira yang dipancarkan 500 lm/watt).

2.4 MOSFET Daya

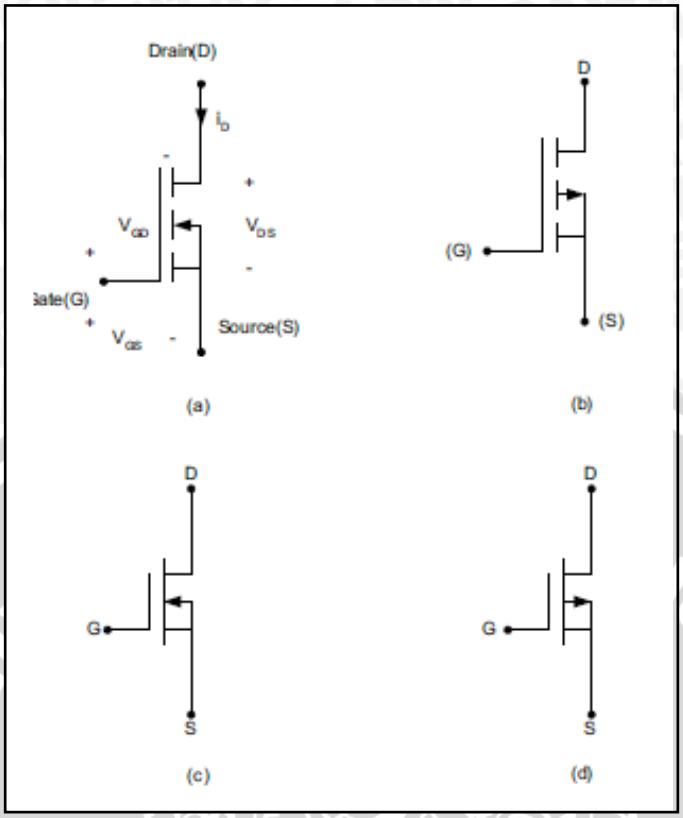
Tidak seperti BJT (*Bipolar Junction Transistor*), mosfet termasuk dalam keluarga *unipolar devices*, karena dalam konduksinya hanya menggunakan pembawa mayor. Simbol untuk tipe *p*- dan *n-channel enhancement* dan *depletion* ditunjukkan pada Gambar 2.14. Gambar 2.15 menunjukkan karakteristik *i-v* untuk tipe *n-channel enhacement* MOSFET. MOSFET adalah peralatan pensaklaran yang tercepat, dengan frekuensi pensaklaran mencapai satuan MHz dan dengan rating tegangan mencapai 600V serta rating arus mencapai 40A.

Saat MOSFET berada pada daerah *triode*, kanal MOSFET berlaku seperti sebuah resistansi konstan $R_{DS(on)}$ yang linier proporsional terhadap perubahan v_{DS} dan i_D seperti yang diberikan pada persamaan berikut

$$R_{DS(on)} = \frac{\partial v_{DS}}{\partial i_D} | v_{GS=konstan} \tag{2.25}$$

Rugi daya konduksi total untuk MOSFET dengan arus I_D dan resistansi-*on* $R_{DS(on)}$ dirumuskan sebagai berikut

$$P_{on,diss} = I_D^2 R_{DS(on)} \tag{2.26}$$

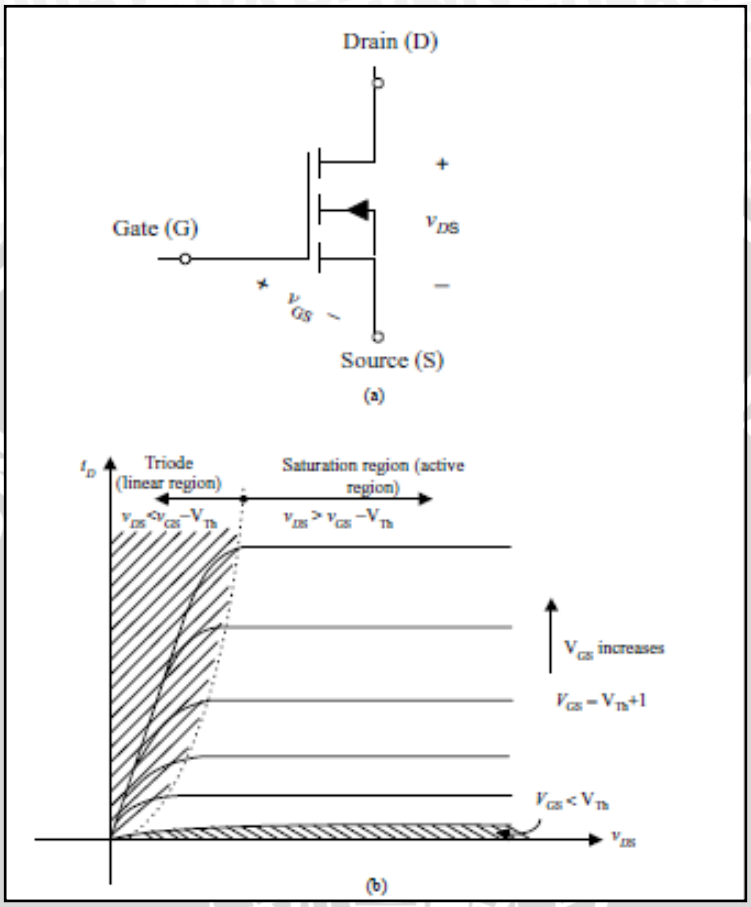


Gambar 2.14 Simbol MOSFET
a) EMOSFET tipe N; b) EMOSFET tipe P;
c) DMOSFET tipe N; d) DMOSFET tipe P
Sumber : Rashid (2001 : 81)

Nilai dari $R_{DS(on)}$ dapat bervariasi antara 10 miliohm untuk MOSFET tegangan rendah dan beberapa ohm untuk MOFFET tegangan tinggi. Resistansi *on-state* adalah parameter *datasheet* yang penting, karena menentukan jatuh tegangan pada komponen dan rugi dayanya.

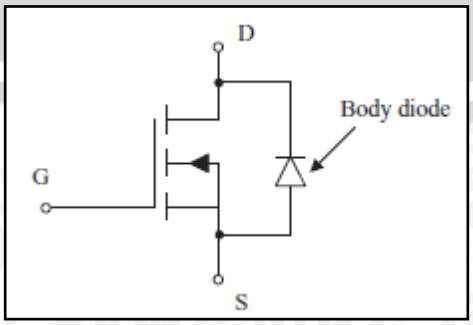
Tidak seperti komponen *bipolar* yang dikontrol arus yang membutuhkan arus basis untuk membuat arus di kolektor dapat mengalir, komponen *power* MOSFET adalah komponen *unipolar* yang dikontrol tegangan dan hanya membutuhkan arus *gate* yang kecil. Sehingga, hanya membutuhkan daya kontrol yang lebih kecil dari BJT. Namun, karena MOSFET bukan *latching current* seperti BJT, maka tegangan *gate* harus dijaga. Selain itu, karena hanya pembawa mayor saja yang berkontribusi pada aliran arus, MOSFET melampaui komponen lain dalam kecepatan pensaklaran, yang dapat mencapai beberapa megahertz. Jika dibandingkan lagi antara MOSFET dengan BJT, BJT memiliki kemampuan melewatkan daya yang lebih besar dan kecepatan pensaklaran yang lebih rendah,

sementara MOSFET memiliki kemampuan melewatkan daya yang lebih kecil dan kecepatan pensaklaran yang relatif lebih tinggi. MOSFET memiliki resistansi *on-state* yang lebih besar dari BJT. Perbadaan lainya adalah BJT lebih sensitif pada temperatur komponen daripada MOSFET.



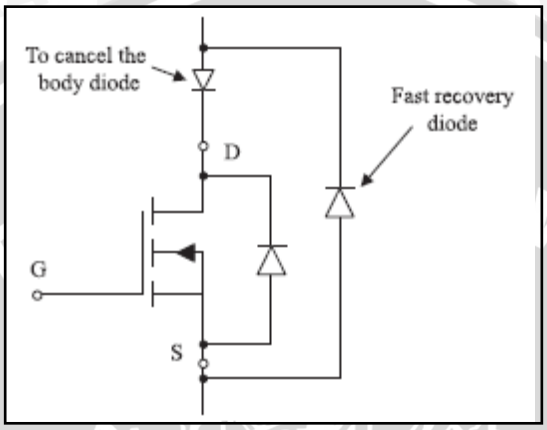
Gambar 2.15 Karakteristik *i-v* untuk Tipe *n-channel enhacement* MOSFET
a) EMOSFET tipe N; b) Karakteristiki – *v*
Sumber : Rashid (2001 : 81)

Power MOSFET modern memiliki dioda internal yang biasa disebut dengan *body diode*, terhubung antara *source* dengan *drain* seperti yang terlihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.16 Internal Dioda pada MOSFET
Sumber : Rashid (2001:82)

Dioda ini menyediakan jalur terbalik untuk arus *drain*, mengijinkan untuk implementasi arus bi-direksional. Meskipun *body diode* memiliki rating arus dan kecepatan pensaklaran yang cukup, pada beberapa aplikasi elektronika daya membutuhkan *ultra-fast diode* maka dipasang *fast recovery diode* eksternal secara anti paralel setelah memutus *body diode* dengan memasang *slow recovery diode* seperti pada Gambar 2.16.



Gambar 2.17 Implementasi *Fast Recovery Diode*
Sumber : Rashid (2001:82)

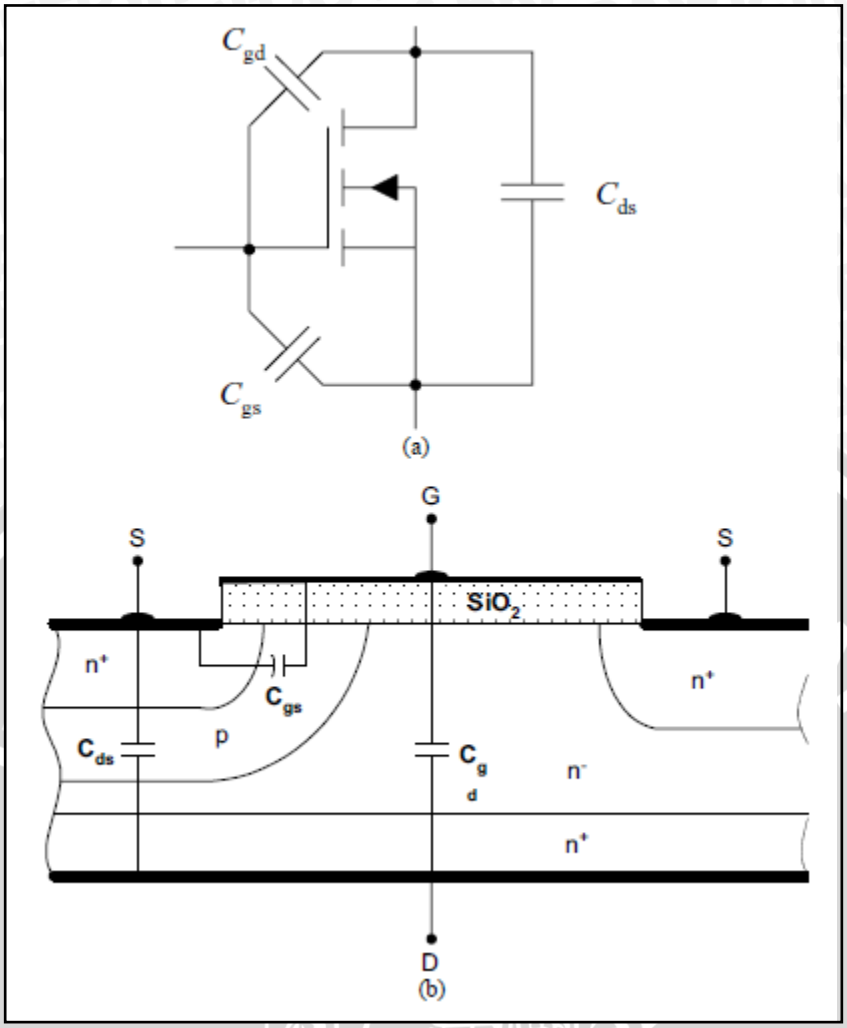
Parameter penting lainya yang mempengaruhi tingkah laku pensaklaran MOSFET adalah kapasitansi antara tiga terminal komponen, *gate-source* C_{gs}, *gate-drain* C_{gd} dan *drain-source* C_{ds} yang ditunjukkan pada Gambar 2.17. Nilai dari kapasitansi ini tidak linier dan merupakan fungsi dari struktor komponen, geometri dan tegangan bias. Selama konduksi, kapasitansi C_{gd} dan C_{gs} pasti terisi (*charged*) melalui *gate*, maka dari itu desain dari rangkaian kontrol *gate* harus dipertimbangkan terhadap variasi dari kapasitansi ini. Variasi terbesar terjadi pada kapasitansi *gate-drain* selama tegangan *gate-drain* berubah. Kapasitansi MOSFET ini diberikan dalam parameter *datasheet* sebagai C_{iss}, C_{oss}, dan C_{rss} :

$$C_{gd} = C_{rss}$$

$$C_{gs} = C_{iss} - C_{rss}$$

$$C_{ds} = C_{oss} - C_{rss}$$

Dimana C_{rss} adalah kapasitansi transfer *small signal reverse*, C_{iss} adalah kpasitansi *small signal input* dengan terminal *drain* dan *source* dihubung singkat, dan C_{oss} adalah kapasitansi *small signal output* dengan terminal *gate* dan *source* dihubung singkat.



Gambar 2.18 Kapasitansi pada MOSFET
a) Representasi ekivalen MOSFET; b) Representasi fisik
Sumber : Rashid (2001 : 83)

Dalam elektronika daya, tujuan dari penggunaan komponen *power-switching* yang beroperasi pada frekuensi yang tinggi adalah untuk mengurangi ukuran dari filter induktor dan kapasitor keluaran.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Penyusunan skripsi ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasian alat agar bekerja sesuai dengan yang direncanakan pada tujuan dan rumusan masalah. Langkah–langkah yang dilakukan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur
2. Perancangan dan pembuatan alat
3. Pengujian alat
4. Pengambilan kesimpulan dan saran

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari buku-buku literatur, paper, situs-situs internet dan sumber-sumber lain yang menunjang dalam penyusunan skripsi ini. Bahan teori yang diperlukan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. *Transition mode power factor corrector* (TM PFC)
2. *Modified buck converter*
3. *Light emitting diode* (LED)
4. Mosfet daya

3.2 Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan pembuatan alat berhubungan dengan perancangan rangkaian dan komponen-komponen elektronika yang digunakan serta *lay out* (tata letak) rangkaian serta perakitan alat sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan. Secara garis besar langkah-langkah yang dilakukan dalam perancangan dan pembuatan alat adalah sebagai berikut :

1. Penentuan desain dan spesifikasi alat.
2. Penghitungan rating dan parameter komponen yang dibutuhkan sesuai dengan desain dan spesifikasi alat yang telah ditentukan.
3. Perakitan komponen sesuai dengan skema rangkaian.

3.3 Pengujian Alat.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah alat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Sebelum dilakukan pengujian terhadap sistem secara keseluruhan, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap masing-masing blok untuk mengetahui apakah masing-masing blok sudah bekerja dengan baik. Secara garis besar pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian pada *modified buck converter*.
2. Pengujian pada PFC *pre-regulator*.

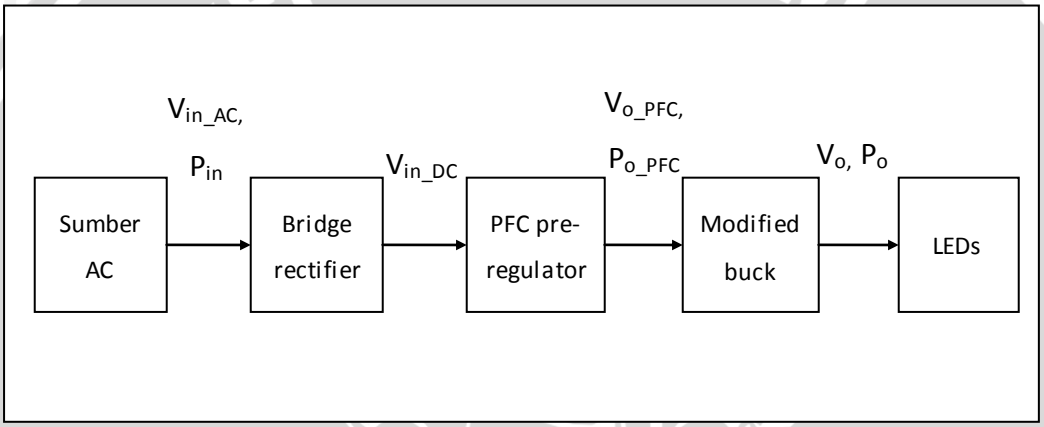
3.4 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan semua pengujian terhadap sistem yang dibuat, maka tahap berikutnya adalah pengambilan kesimpulan dari sistem yang dibuat. Dan tahap akhir adalah saran dari penulis yang dimaksudkan untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan yang terjadi serta menyempurnakan skripsi untuk pengembangan di masa mendatang.

BAB IV
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

4.1 Desain dan spesifikasi

Tidak ada aturan yang pasti dalam merancang rangkaian DC power supply. Desain dapat bebeda-beda sesuai dengan jenis rangkaian yang digunakan. Perancang memiliki kebebasan dalam menentukan rating atau kapasitas DC power supply. Pemilihan komponen maupun devais semikonduktor yang digunakan biasanya didasarkan pada harga, availabilitas dan batas margin yang disesuaikan dengan kebutuhan. Blok diagram sistem secara kesuluruhan ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Blok diagram sistem

Sumber : Perancangan

Secara umum spesifikasi dari dc power supply yang akan dirancang adalah sebagai berikut :

1. Tegangan sumber berasal dari jala-jala PLN dengan tegangan RMS sebesar 220 V dan frekuensi 50 Hz. Dengan asumsi penurunan dan kenaikan tegangan jala-jala sebesar 25 % dan 20 %, maka range tegangan dc power supply ditetapkan sebesar 160 -265 V (RMS), dan frekuensi minimum 47 Hz.
2. Beban adalah beberapa LED yang dirangkai seri, tipe LED yang digunakan LOPL-E001W dengan arus dc maksimal 350 mA.
3. Sebagai perbaikan faktor daya digunakan *transition mode power factor corrector* (TM PFC) dengan *boost converter*.

4. Untuk menjaga agar arus LEDs konstan, digunakan *modified buck converter*.

4.2 Rating dan parameter komponen

4.2.1 LEDs

Digunakan LED adalah LOPL-E001W, sebanyak 50 buah, dengan spesifikasi sebagai berikut :

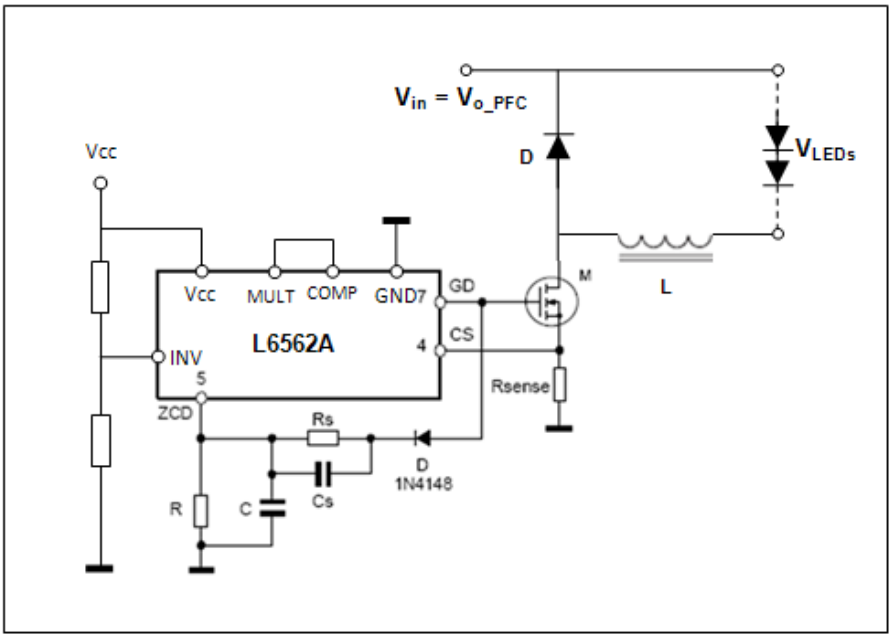
- Arus maju LED (I_f) : 200 mA
- Tegangan maju LED (V_f) : 3,4 V
- Flux cahaya yang dihasilkan (Φ) : 20-90 lm

Sehingga total tegangan LEDs (V_{LEDs}) adalah 170 V.

4.2.2 *Modified buck converter*

Modified buck converter berfungsi untuk menjaga agar arus yang mengalir pada LEDs tetap konstan sehingga LEDs bekerja secara optimal. Skema rangkaiannya ditunjukkan pada gambar 4.2. IC L6562A digunakan sebagai pengontrol pensaklaran, metode pensaklaran dilakukan dengan waktu off tetap atau fixed off-time (FOT) dan beroperasi pada konduksi kontinyu atau continuous conduction mode (CCM). Data spesifikasi awal dari modified buck converter adalah :

- Tegangan masukan (V_{O_PFC}) : 400 V
- Tegangan keluaran (V_{LEDs}) : 170 V
- Arus keluaran rata-rata ($I_{LEDs(AVG)}$) : 200 mA
- Ripel arus keluaran peak-peak (ΔI_{LEDs}) : $\leq$ 300 mA
- Frekuensi pensaklaran (f) : 125 kHz



Gambar 4.2 Skema rangkaian modified buck converter

Sumber : AN2928, www.st.com

4.2.2.1 Rangkaian fixed off-time (FOT)

Waktu off (t_{off}) dari modified buck converter dapat dihitung dari persamaan 2.18.

$$t_{OFF} = \frac{1 - \frac{V_{LEDs}}{V_{in}}}{f} = \frac{1 - \frac{170}{400}}{125 \cdot 10^3} = 4\,\mu s$$

Waktu off (t_{off}) ditentukan oleh lamanya pembuangan muatan pada kapasitor C. Dengan menetapkan kapasitor C sebesar 1,5 nF, maka resistor R dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$R = \frac{t_{off}}{2{,}1 \cdot C} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{2{,}1 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-9}} = 1{,}26\ k\Omega \approx 1{,}2\ k\Omega$$

Resistor R_S berfungsi untuk membatasi arus pengisian pada kapasitor C pada waktu on, dan nilainya dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$\left[\frac{V_{GD_max} - V_{ZCD_clamp} - V_F}{I_{ZCD_max} + \frac{V_{ZCD_clamp}}{R}}\right] < R_S < R\left[\frac{V_{GD_min} - V_{ZCD_clamp} - V_F}{V_{ZCD_clamp}}\right]$$

$$\left[\frac{15-5{,}7-0{,}7}{0{,}01+\frac{5{,}7}{1200}}\right] < R_S < 1200\left[\frac{9{,}8-5{,}7-0{,}7}{5{,}7}\right]$$

$$583 < R_S < 715$$

Resistor R_S dipilih sebesar 680 Ω.

Jika waktu on (t_{on}) sangat singkat, dan kapasitor tidak bisa diisi dengan cepat melalui resistor R_5, sehingga menyebabkan V_{ZCD} tidak bisa mencapai tegangan clampnya. Untuk itu pada R_5 diparalel dengan kapasitor C_3. Nilai maksimum dari kapasitor C_3 dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$C_S < C\left[\frac{V_{ZCD_clamp}}{V_{GD_max}-V_{ZCD_clamp}-V_F}\right]$$

$$C_S < 1{,}5\cdot 10^{-9}\left[\frac{5{,}7}{15-5{,}7-0{,}7}\right]$$

$$C_S < 994\ pF$$

4.2.2.2 Induktor (L)

Inductor berfungsi untuk membatasi arus ripel LEDs, nilai inductor dapat ditentukan dari persamaan 2.19.

$$L = \frac{V_{LEDs}\cdot t_{OFF}}{\Delta I_{LEDs}} = \frac{170\cdot 4\cdot 10^{-6}}{300\cdot 10^{-3}} = 2{,}6\ \text{mH}$$

Langkah pertama yang dilakukan dalam merancang sebuah inductor adalah menentukan ukuran core atau inti inductor, area product minimum dari inti yang dibutuhkan dapat ditentukan dari persamaan berikut ini :

$$AP_{min} = \left[\frac{L\cdot I_p\cdot I_{rms}}{B_{max}\cdot J_{max}\cdot K_u\cdot 10^{-4}}\right]^{4/3}$$

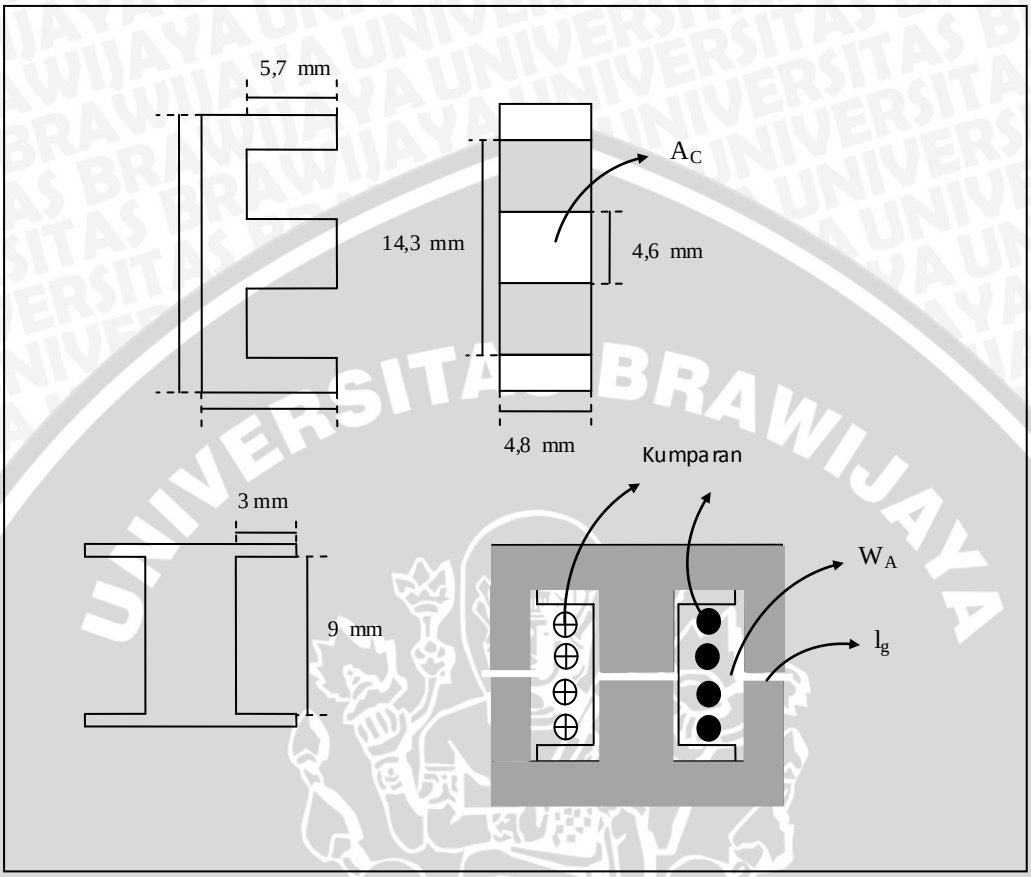
$$AP_{min} = \left[\frac{4{,}8\cdot 10^{-3}\cdot 0{,}42\cdot 0{,}35}{0{,}3\cdot 420\cdot 0{,}5\cdot 10^{-4}}\right]^{4/3} = 0{,}054\ \text{cm}^4$$

Digunakan inti ferit EE19 dengan cross-sectional area A_c = 22,08 mm^2, window area W_A = 29,45 mm^2, berat 4,8 g, dan A_L = 1300. Jumlah lilitan dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$n = \sqrt{\frac{L\cdot 10^9}{A_L}} = \sqrt{\frac{2{,}6\cdot 10^{-3}\cdot 10^9}{1300}} = 45\ \text{lilitan} \approx 65\ \text{lilitan}$$

$$A_w = \frac{W_A \cdot K_u}{n} = \frac{29{,}45 \cdot 0{,}5}{65} = 0{,}226\ mm^2$$

Diameter kawat maksimal 0,536 mm.



Gambar 4.3 Konstruksi iduktor

Sumber : Perancangan

Sense resistor R_{sense} dapat dihitung tegangan threshold pin CS pada L6562A yang besarnya 1,7 V, maka nilai R_{sense} adalah :

$$R_{sense} = \frac{V_{CS}}{I_{LEDs(max)}} = \frac{1{,}7}{350 \cdot 10^{-3}} = 4{,}85\ \Omega$$

4.2.2.3 Mosfet daya (M)

Mosfet daya dipilih berdasarkan tegangan stress maksimum, arus puncak maksimum, total rugi-rugi daya dan temperatur maksimumnya. Tegangan stress maksimum pada mosfet daya (drain-source voltage) untuk modified buck converter adalah sama dengan tegangan masukan. Tegangan masukan maksimum adalah 400 V, maka tegangan drain-source mosfet daya harus lebih besar dari 400

V. Arus rms yang mengalir pada mosfet daya sama dengan arus inductor rms selama kondisi on.

$$I_{M_{rms}}^2 = I_{L_rms_on}^2 = \left[\frac{\Delta I_L^2}{3} + \Delta I_L I_{L_min} + I_{L_min}^2\right] D$$

$$I_{M_{rms}}^2 = 0{,}3\left(\frac{0{,}14^2}{3} + 0{,}14 \cdot 0{,}28 + 0{,}28^2\right) = 0{,}037\ A^2$$

$$I_{M_{rms}} = 0{,}193\ A$$

Berdasarkan rating tegangan dan arus diatas maka digunakan mosfet FQPF5N50C. Rugi-rugi konduksi pada mosfet FQPF5N50C pada suhu 70˚ C adalah :

$$P_{M(con)} = I_{M_{rms}}^2 \cdot R_{DSon}(70°C)$$

$$P_{M(con)} = 0{,}037 \cdot 1{,}25 = 0{,}046\ W$$

Rugi-rugi pensaklaran pada mosfet adalah :

$$P_{M(sw)} = \frac{V_{in} \cdot I_{LEDs(max)} \cdot t_f \cdot f}{2}$$

$$P_{M(sw)} = \frac{400 \cdot 0{,}42 \cdot 19 \cdot 10^{-9} \cdot 125 \cdot 10^3}{2} = 0{,}2\ W$$

Pada saat turn-on disipasi daya juga diakibatkan proses discharge pada kapasitansi parasitik mosfet, yang besarnya dapat dihitung dari persamaan berikut:

$$P_{cap} = \frac{1}{2} C_d \cdot (V_{mos})^2 \cdot f_{sw}$$

$$P_{cap} = \frac{1}{2} C_d \cdot (V_{in} - V_o)^2 \cdot f_{sw(avg)}$$

$$P_{cap} = \frac{1}{2} 50 \cdot 10^{-12} \cdot 280^2 \cdot 76 \cdot 10^3 = 0{,}245\ W$$

Temperature junction pada mosfet adalah :

$$T_J = P_M \cdot (R_{thjc} + R_{thja}) + T_A$$

$$T_J = 0{,}491 \cdot (1{,}25 + 62{,}5) + 40 = 71{,}3\ °C$$

Temperature junction pada mosfet lebih tinggi dari temperature junction maksimum sehingga membutuhkan heatsink.

4.2.2.4 Dioda daya (D)

Stress tegangan maksimum pada diode adalah sama dengan tegangan masukan modified buck converter yaitu 400 V, maka tegangan balik maksimum

(V_{RRM}) diode harus lebih besar dari 400 ditambah dengan margin keamanannya. Arus maksimum dari diode sama dengan arus maksimum LEDs yaitu 0,42 A, sedangkan arus rata-ratanya adalah :

$$I_{D(AVR)} = (1 - D)I_{LEDs(AVR)}$$

$$I_{D(AVR)} = (1 - 0{,}3) \cdot 0{,}35 = 0{,}245\ A$$

Maka digunakan diode STPSC806, dengan mengabaikan rugi-rugi pensaklaran maka rugi-rugi pada diode adalah :

$$P_D = I_{D(AVR)} \cdot V_f = 0{,}245 \cdot 1{,}4 = 0{,}343\ W$$

Temperature junction pada diode adalah :

$$T_J = P_D \cdot (R_{thjc} + R_{thja}) + T_A$$

$$T_J = 0{,}343 \cdot (2{,}4 + 57{,}6) + 40 = 60\ ℃$$

Temperature junction pada diode masih lebih rendah dari temperature junction maksimum sehingga tidak membutuhkan heatsink.

4.2.2.4 Daya masukan

Daya masukan dari modified buck converter sama dengan daya keluaran (P_{LEDs}) ditambah dengan total rugi-rugi daya.

$$P_{in_buck} = P_{LEDs} + P_L + P_M + P_D$$

$$P_{in_buck} = 42 + 0{,}445 + 0{,}343 + 0{,}5$$

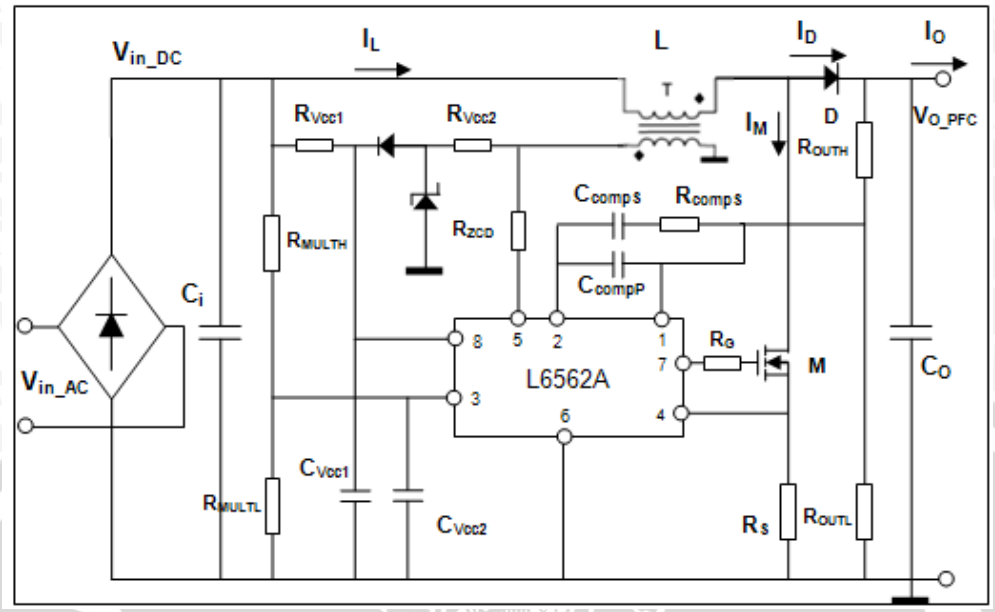
$$P_{in_buck} = 43{,}3\ W$$

4.2.3 PFC Pre-regulator

Power factor corrector yang digunakan adalah transition mode (TM) PFC pre-regulator dengan boost converter. Skema rangkaiannya ditunjukkan pada gambar 4.3. Data spesifikasi awal dari PFC pre-regulator adalah :

- Daya keluaran (P_{o_PFC}) : 50 W
- Range tegangan masukan (V_{in_rms}) : 175 – 265 V
- Faktor daya yang diharapkan (PF) : 0,99
- Tegangan keluaran rata-rata (V_{O_PFC}) : 400 V
- Frekuensi pensaklaran minimum ($f_{sw(min)}$) : 50 kHz
- Tegangan ripel keluaran (peak to peak) ΔV_o : 20 V

- Tegangan keluaran berlebih maksimum (ΔV_{OVP}) : 40 V



Gambar 4.4 Skema rangkaian PFC pre-regulator
Sumber : AN966, www.st.com

4.2.4.1 Input capasitor

Input capasitor diletakkan antara bridge rectifier dengan rangkaian boost regulator. Kapasitor ini berfungsi untuk mengurangi gangguan pada sumber dan bridge rectifier akibat rangkaian switching. Input capasitor dipilih sekecil mungkin agar arus masukan tetap kontinyu. Persamaan tegangan ripel pada kapasitor adalah :

$$V_{rip(Ci)} = I_{rip(Ci)} \cdot Z_{Ci}$$

Dengan asumsi ESR dari kapasitor sangat kecil, sehingga yang dominan menyebabkan ripel pada kapasitor adalah C_O, maka :

$$V_{rip(Ci)} = I_{rip} \cdot 2\pi \cdot f_{rip} \cdot C_i$$

$$C_i = \frac{I_{rip}}{2\pi \cdot f_{rip} \cdot V_{rip(Ci)}}$$

Dengan asumsi tegangan ripel kapasitor 5 % dari tegangan masukan (tipikalnya 1-10%), dan frekuensi ripel sama dengan frekuensi pensaklaran maka didapatkan nilai C_i sama dengan 0,047 µF.

4.2.4.2 Output capasitor

Kapasitor keluaran berfungsi untuk membatasi ripel tegangan keluaran, sesuai dengan yang diinginkan. Nilai kapasitor keluaran dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$C_o = \frac{I_{rip(Co)}}{2\pi \cdot f_{rip} \cdot V_{rip(Co)}}$$

Arus ripel pada kapasitor keluaran adalah :

$$I_{Co(rms)} = \sqrt{I_{D(rms)}^2 - I_O^2}$$

Dengan asumsi frekuensi ripel sama dengan dua kali frekuensi saluran, tegangan ripel sama dengan setengah tegangan ripel peak to peak, maka nilai kapasitor keluaran yang dibutuhkan adalah :

$$C_O = \frac{I_{Co}}{2\pi \cdot 2f_L \cdot \Delta V_o/2} = 47\ \mu F$$

Walaupun pada umumnya ESR tidak berpengaruh pada tegangan ripel keluaran, namun harus dimasukkan dalam perhitungan rugi-rugi daya. Disipasi daya pada kapasitor keluaran adalah :

$$P_{Co} = I_{Co(rms)}^2 \cdot ESR = 0{,}2^2 \cdot 1{,}65 = 0{,}07\ W$$

4.2.4.3 Boost inductor

Boost induktor ditentukan dari arus ripel peak to peak maksimumnya, yaitu terjadi pada saat tegangan puncak sinusoida pada tegangan masukan minimumnya. Dari persamaan 2.6 didapatkan nilai boost induktor adalah :

$$L = \frac{V_{in_rms}^2(V_o - \sqrt{2} \cdot V_{in_rms})}{2 \cdot f_{sw(min)} \cdot P_{in} \cdot V_o}$$

$$L = \frac{220^2(400 - \sqrt{2} \cdot 220)}{2 \cdot 50 \cdot 50 \cdot 400} = 2{,}1\ mH$$

Arus puncak induktor dapat ditentukan dari persamaan berikut ini :

$$I_{Lpk} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{P_{in}}{V_{in_{rms}}}$$

$$I_{Lpk} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{50}{220} = 0{,}64\ A$$

Arus rms inductor pada waktu on ($I_{L_RMS(ON)}$) adalah :

$$I_{L_RMS(ON)} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{in_rms} \cdot \sqrt{\frac{1}{6} - \frac{4}{9\pi} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot V_{in_rms}}{V_{O_PFC}}}$$

$$I_{L_RMS(ON)} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 0{,}23 \cdot \sqrt{\frac{1}{6} - \frac{4}{9\pi} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{400}} = 0{,}15\ A$$

Arus rms inductor pada waktu on ($I_{L_RMS(ON)}$) adalah :

$$I_{L_RMS(OFF)} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot I_{in_rms} \cdot \sqrt{\frac{4}{9\pi} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot V_{in_rms}}{V_{O_PFC}}}$$

$$I_{L_RMS(OFF)} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 0{,}23 \cdot \sqrt{\frac{4}{9\pi} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{400}} = 0{,}21\ A$$

Arus rms total inductor pada waktu on dan off adalah :

$$I_{L_RMS} = \sqrt{I^2_{L_RMS(ON)} + I^2_{L_RMS(OFF)}} = 0{,}26\ A$$

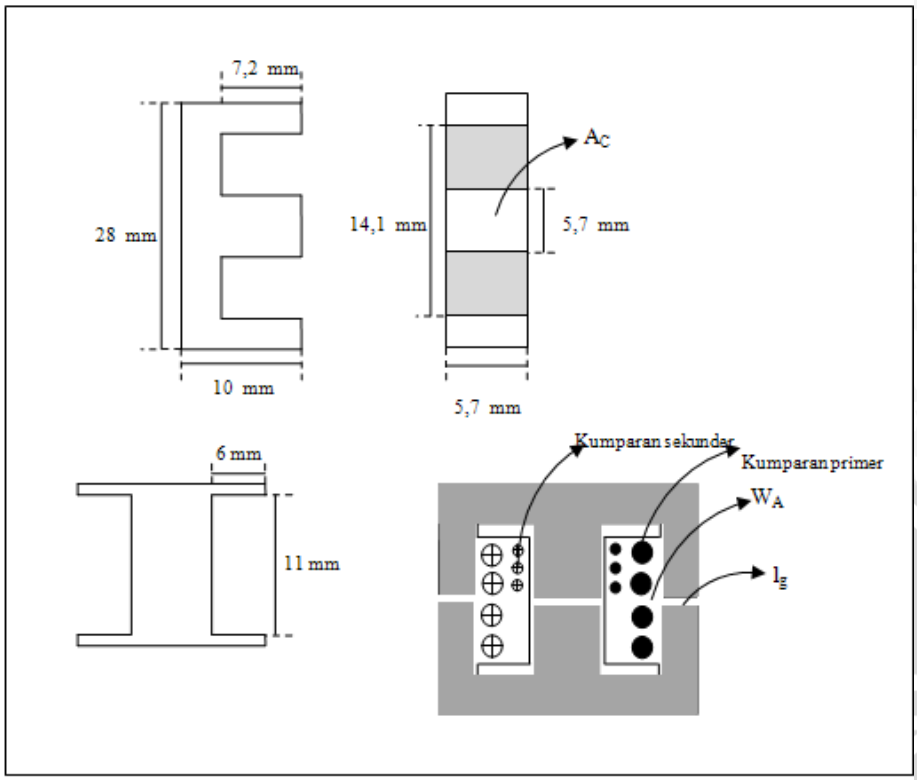
Langkah pertama yang dilakukan dalam merancang sebuah induktor adalah menentukan ukuran core atau inti induktor, inti inductor selain digunakan untuk lilitan primer juga digunakan untuk lilitan sekunder sebagai auxiliary winding dan ZCD winding. Dengan asumsi arus rms yang mengalir pada kumparan primer 337 mA, sedangkan pada kumpara sekunder 20 mA, dan K_u sama dengan 0,5, maka :

$$K_p = \frac{I_p}{I_p + I_s} K_u = \frac{0{,}337}{0{,}337 + 0{,}02} 0{,}5 = 0{,}47$$

Area product minimum dari inti yang dibutuhkan dapat ditentukan dari persamaan berikut ini :

$$AP_{min} = \left[\frac{L \cdot I_p \cdot I_{rms}}{B_{max} \cdot J_{max} \cdot K_u \cdot 10^{-4}}\right]^{4/3}$$

$$AP_{min} = \left[\frac{2{,}4 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}337}{0{,}3 \cdot 420 \cdot 0{,}47 \cdot 10^{-4}}\right]^{4/3} = 0{,}067\ cm^4$$



Gambar 4.5 Konstruksi trafo

Digunakan inti ferit EE28 dengan cross-sectional area A_c = 84 mm^2, window area W_A = 66 mm^2, berat 22 g dan A_L = 2600. Jumlah lilitan primer dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$n_p = \sqrt{\frac{L \cdot l_g}{\mu_o \cdot A_c}} = \sqrt{\frac{2{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 84 \cdot 10^{-6}}} = 89 \text{ lilitan } \approx 99 \text{ lilitan}$$

Jumlah lilitan sekunder :

$$n_s = \frac{n_p}{11} = \frac{99}{11} = 9 \text{ lilitan}$$

Luas penampang kawat primer :

$$A_{Wp} = \frac{K_p \cdot W_A}{n_p} = \frac{0{,}47 \cdot 66}{99} = 0.313 \text{ mm}^2$$

Diameter kawat maksimal 0,631 mm.

Luas penampang kawat sekunder :

$$A_{Ws} = \frac{K_s \cdot W_A}{n_s} = \frac{0{,}03 \cdot 66}{9} = 0{,}22 \text{ mm}^2$$

Diameter kawat maksimal 0,51 mm.

4.2.4.4 Pemilihan mosfet daya

Yang menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan mosfet daya adalah $R_{DS(on)}$, arus yang mengalir pada mosfet daya, dan tegangan breakdown yang ditentukan oleh tegangan keluaran ditambah dengan tegangan lebih yang diijinkan dan margin keamanan, serta waktu switching yang cepat untuk mengurangi rugi-rugi awitching.

Arus yang mengalir pada mosfet daya adalah :

$$I_{Mrms} = I_{L_RMS(ON)} = 0{,}15\ A$$

Rating tegangan mosfet adalah :

$$V_{DSmin} = V_{out} + \Delta OVP$$

$$V_{DSmin} = 400 + 40 = 440\ V$$

Maka digunakan mosfet n-channel FQPF5N50C. Disipasi daya pada mosfet terdiri dari rugi-rugi konduksi, pensaklaran dan akibat komponen kapasitif. Rugi-rugi konduksi pada beban maksimum dan tegangan masukan minimum adalah :

$$P_{cond} = R_{DSon} \cdot I_{Mrms}^2 = 1{,}5 \cdot 0{,}15^2 = 0{,}1\ W$$

Karena pada saat turn-on arus induktor bernilai nol, maka rugi-rugi pensaklaran hanya terjadi pada saat turn-off, dapat dihitung dari persamaan berikut :

$$P_{SW} = \frac{1}{2} V_O \cdot I_L \cdot t_{fall} \cdot f_{sw}$$

Karena frekuensi pensaklaran bervariasi selama setengah siklus sinusoida, maka rugi-rugi pensaklaran ditentukan dari frekuensi rata-ratanya.

$$f_{sw(avg)} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{2 \cdot L \cdot P_{in}} \cdot \frac{V_{AC}^2}{V_O} \int_0^{\pi} (V_O - \sqrt{2} V_{AC} \sin\theta)\, d\theta$$

$$f_{sw(avg)} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{2 \cdot L \cdot P_{in}} \cdot \frac{V_{AC}^2}{V_O} \left(V_O . \pi - 2\sqrt{2} V_{AC}\right)$$

$$f_{sw(avg)} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{2 \cdot 1{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 50} \cdot \frac{220^2}{400} \left(400\pi - 2\sqrt{2} \cdot 220\right) = 203\ kHz$$

$$P_{SW} = \frac{1}{2} 400 \cdot 0{,}26 \cdot 48 \cdot 10^{-9} \cdot 203 \cdot 10^3 = 0{,}51\ W$$

Pada saat turn-on disipasi daya juga diakibatkan proses discharge pada kapasitansi parasitik mosfet, yang besarnya dapat dihitung dari persamaan berikut:

$$P_{cap} = \frac{1}{2} C_d \cdot (V_{mos})^2 \cdot f_{sw}$$

$$P_{cap} = \frac{1}{2} C_d \cdot (V_O)^2 \cdot f_{sw(avg)}$$

$$P_{cap} = \frac{1}{2} 20 \cdot 10^{-12} \cdot 400^2 \cdot 203 \cdot 10^3 = 0{,}33 \text{ W}$$

$$P_{MOS} = P_{cond} + P_{SW} + P_{cap} = 0{,}1 + 0{,}51 + 0{,}33 = 0{,}94 \text{ W}$$

Temperature junction pada mosfet daya adalah :

$$T_J = P_M \cdot (R_{thjc} + R_{thja}) + T_A$$

$$T_J = 0{,}94 \cdot (3{,}31 + 62{,}5) + 40 = 101 \text{ °C}$$

4.2.4.5 Pemilihan boost diode

Sama seperti kriteria dalam pemilihan mosfet daya yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan dioda boost adalah hambatan dinamik dioda (R_D), arus yang mengalir pada dioda, tegangan breakdown dan recovery time yang cepat. Arus yang mengalir pada dioda :

$$I_{D_rms} = I_{L_RMS(OFF)} = 0{,}21 \text{ A}$$

$$I_{D_avg} = I_{O_PFC(avg)} = 0{,}11 \text{ A}$$

Rating tegangan dioda adalah :

$$V_{rrmmin} = V_{out} + \Delta OVP$$

$$V_{rrmmin} = 400 + 40 = 440 \text{ V}$$

Berdasarkan rating arus dan tegangan diatas maka digunakan dioda FFPF30U60S. Dengan mengabaikan rugi-rugi pensaklaran, maka rugi-rugi pada boost dioda adalah :

$$P_D = V_{th} \cdot I_{Davg}$$

$$P_D = 0{,}2 \cdot 0{,}11 = 0{,}042 \text{ W}$$

4.2.4.6 Rangkaian L6562

- Pin 1 (INV) : Pin ini terhubung pada masukan inverting pada error amplifier dan kerangkaian overvoltage protection (OVP). Sebuah

rangkaian pembagi resistif terhubung pada tegangan keluaran boost regulator dan pin ini, seperti ditunjukkan pada gambar 4.2. Tegangan referensi internal pada masukan non-inverting pada error amplifier adalah 2,5 V dan arus threshold pada OVP adalah 40 μA. R_{outH} dan R_{outL} dapat ditentukan dari persamaan berikut ini :

$$R_{outH} = \frac{\Delta OVP}{40\ \mu A} = \frac{40\ V}{40\ \mu A} = 1000\ k\Omega$$

$$\frac{R_{outH}}{R_{outL}} = \frac{V_{out}}{2{,}5\ V} - 1$$

$$\frac{R_{outH}}{R_{outL}} = \frac{400\ V}{2{,}5\ V} - 1 = 159$$

$$R_{outL} = \frac{R_{outH}}{159} = \frac{1000\ k\Omega}{159} = 6{,}28\ k\Omega$$

Maka untuk R_{outH} dipilih sebesar 1000 kΩ (820 kΩ dan 180 kΩ dipasang seri), dan R_{outL} dipilih sebesar 6,5 kΩ (4,7 kΩ dan 1,8 kΩ dipasang seri).

- Pin 2 (COMP) : Pin dua terhubung pada keluaran E/A dan masukan multiplier. Antara pin 1 dan 2 dipasang rangkaian kompensator, untuk mendapatkan faktor daya yang baik maka bandwidth (BW) dari kompensator di set antara 20 -30 Hz. Sebagai kompensator digunakan sebuah kapasitor, yang nilainya dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$C_{comp} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (R_{outH} // R_{outL}) \cdot BW}$$

$$C_{comp} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (10^6 // 6{,}5 \cdot 10^3) \cdot 25} = 1\ \mu F$$

- Pin 4 (CS) : Pin ini menjadi masukan dari sebuah komparator. Pin ini berfungsi membaca arus induktor pada saat mosfet daya dalam keadaan on dan resistor R_s, berfungsi untuk mengubah arus menjadi tegangan. Apabila tegangan yang dibaca oleh pin 4 (V_{CS}) sama dengan tegangan keluaran multiplier, maka mosfet akan turn-off. Nilai resistor R_S dapat ditentukan dari persamaan berikut ini :

$$R_S \leq \frac{V_{CSmax}}{IL_{PKmax}} = \frac{1{,}7\ V}{1{,}6\ A} = 1{,}06\ \Omega$$

Dipilih R_S sebesar 1,1 Ω (dua buah resistor 2,2 Ω dan 2,2 Ω dipasang paralel).

- Pin 3 (MULT) : pin 3 merupakan masukan dari multiplier. Pin ini dihubungkan pada rangkaian pembagi resistif yang terhubung pada tegangan keluaran bridge rectifier untuk mendapatkan referensi tegangan sinusoidal. Tegangan maksimum pada pin 3 adalah 3 V, apabila arus maksimum yang diijinkan mengalir pada resistor pembagi adalah 300 µA, maka dapat ditentukan nilai dari R_{MULTL} adalah :

$$R_{MULTL} = \frac{V_{MULTmax}}{300\ \mu A} = \frac{3\ V}{300\ \mu A} = 10\ k\Omega$$

$$\sqrt{2}VAC_{max} = V_{MULTmax}\left(\frac{R_{MULTH}}{R_{MULTL}} + 1\right)$$

$$R_{MULTH} = \left(\frac{\sqrt{2}VAC_{max}}{V_{MULTmax}} - 1\right) \cdot R_{MULTL}$$

$$R_{MULTH} = \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 265}{3} - 1\right) \cdot 10\ k\Omega = 1239\ k\Omega$$

Maka untuk R_{MULTL} digunakan resistor sebesar 10 kΩ dan R_{MULTH} sebesar 1240 kΩ(680 kΩ dan 560 kΩ dipasang seri).

- Pin 8 (Vcc) : Pin 8 merupakan catu daya dari IC L6562A, range tegangan Vcc adalah 10,5 V – 22 V. Pada saat startup pinVcc dicatu dari tegangan V_{rect} melalui sebuah resistor dan kapasitor C_{Vcc1}, sedangkan pada saat operasi normal Vcc dicatu dari kumparan auxiliary dari boost induktor. Resistor R_{Vcc1} dapat ditentukan dari persamaan aproksimasi berikut :

$$R_{Vcc1} = \frac{V_{inPk(max)} - V_{CC(max)}}{I_{RVCC(peak)}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 265 - 22}{1\ mA} = 360\ k\Omega$$

Digunakan dua resistor 180 kΩ yang dipasang seri.

C_{Vcc1} dapat ditentukan dari persamaan berikut ini :

$$C_{Vcc1} = \frac{I_{start-up}}{2\pi \cdot 2f_l \cdot \Delta V_{cc}} = \frac{40\ \mu A}{2\pi \cdot 2 \cdot 50.1} = 64\ nF$$

Digunakan nilai kapasitor standart sebesar 100 nF.

Perbandingan jumlah lilitan pada trafo dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$m \leq \frac{V_o - \sqrt{2}V_{in_rms_max}}{2,1} = \frac{400 - \sqrt{2} \cdot 265}{2,1} = 12$$

4.2.4 Bridge rectifier

Dengan asumsi efisiensi dc power supply sebesar 90 %, maka daya masukan maksimumnya adalah :

$$P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} = \frac{42}{0,9} = 46,66\ W$$

Dengan asumsi factor daya (PF) sebesar 0,99 dan tegangan masukan minimum sebesar 160 V (rms), maka arus rms masukan maksimum adalah :

$$I_{in_{rms(max)}} = \frac{P_{in}}{V_{in_{rms(min)}} \cdot PF}$$

$$I_{in_{rms(max)}} = \frac{46,66}{160 \cdot 0,99} = 0,295\ A$$

Tegangan balik puncak pada bridge rectifier adalah sama dengan tegangan puncak masukan (V_{in_peak}).

$$V_{PIV(max)} = \sqrt{2} \cdot V_{in_{rms(max)}}$$

$$V_{PIV(max)} = \sqrt{2} \cdot 265 = 375\ V$$

Maka sebagai bridge rectifier digunakan DF06M, dengan tegangan balik maksimum 600 V dan arus rata-rata maksimum 1 A. arus rata-rata yang mengalir pada setiap diode adalah :

$$I_{D_{avg(max)}} = \frac{\sqrt{2} \cdot I_{in_{rms(max)}}}{\pi}$$

$$I_{D_{avg(max)}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 0,295}{\pi} = 0,133\ A$$

Rugi-rugi daya pada bridge rectifier adalah :

$$P_{bridge(max)} = 4 \cdot I_{D_{avg(max)}} \cdot V_F$$

$$P_{bridge(max)} = 4 \cdot 0,133 \cdot 1 = 0,53\ W$$

BAB V
PENGUJIAN DAN ANALISIS

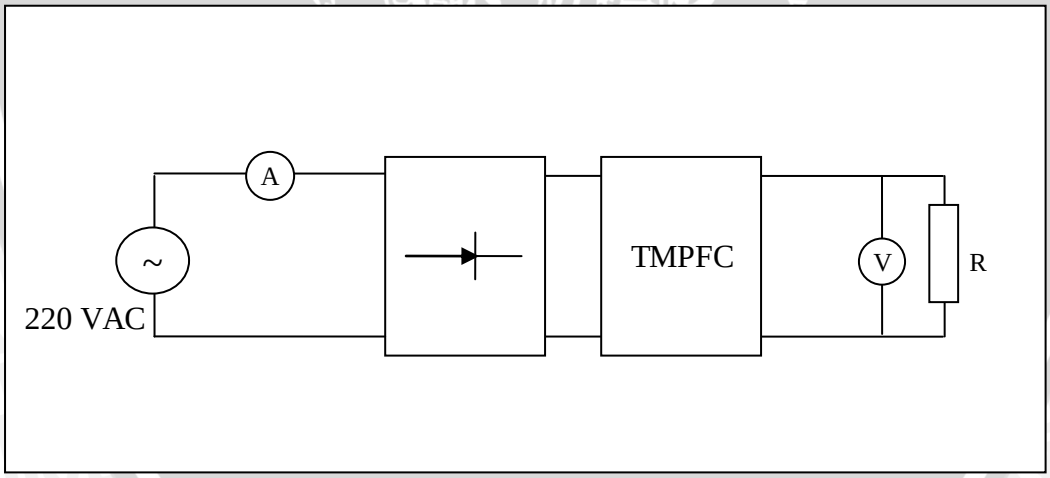
Bab ini membahas pengujian rangkaian yang telah dibuat. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian ini meliputi pengujian setiap blok rangkaian maupun secara keseluruhan. Pengujian setiap blok rangkaian ini dilakukan untuk mempermudah analisis apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perencanaan.

Pengujian dan analisis yang dilakukan meliputi :

1. Pengujian *transition mode power factor correction* (TMPFC).
2. Pengujian *modified buck converter*.

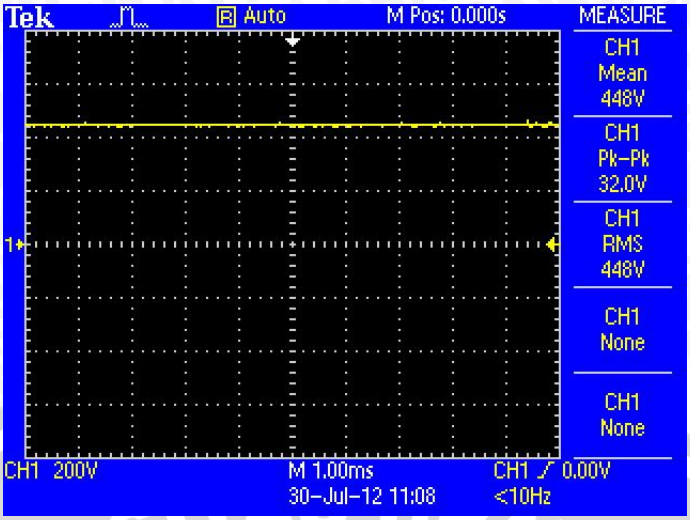
5.1 Pengujian *Transition Mode Power Factor Correction* (TMPFC)

Pengujian rangkaian TMPFC bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran. Diagram blok pengujian pada TMPFC ditunjukkan pada gambar 5.1. Beban yang digunakan adalah beban resistif, yaitu lampu pijar.

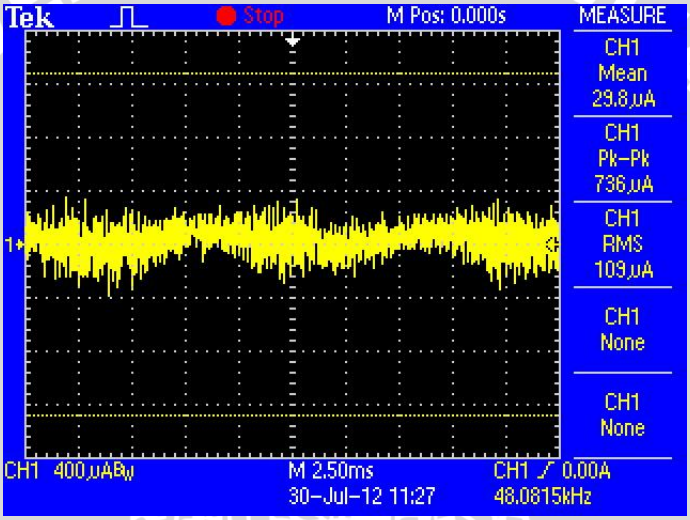


Gambar 5.1 Diagram blok pengujian TMPFC

Hasil pengujian tegangan keluaran dan arus masukan ditunjukkan pada gambar 5.2 dan 5.3. Tegangan keluaran rata-rata sebesar 409 V dengan ripel sebesar 4,6 V. Arus masukan kontinyu dan mendekati sinusoida dan mengandung ripel.



Gambar 5.2 Bentuk gelombang tegangan keluaran

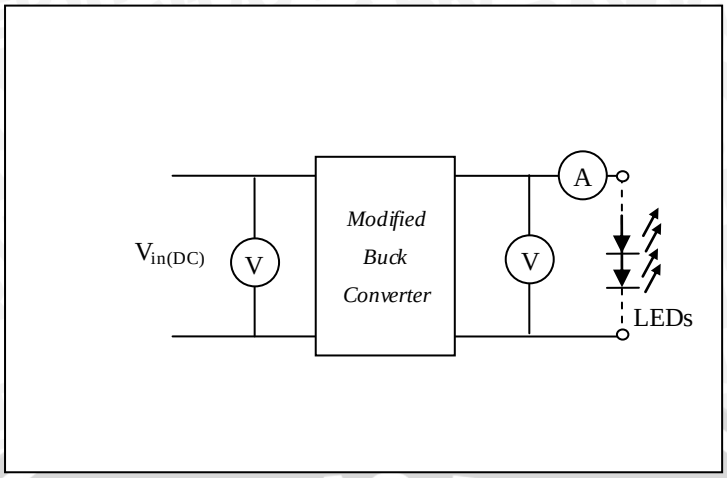


Gambar 5.3 Bentuk gelombang arus masukan

Pengukuran tegangan keluaran dengan menggunakan osiloskop melalui *isolation amplifier* berbeda dengan hasil pengukuran menggunakan voltmeter digital secara langsung. Dengan menggunakan voltmeter secara langsung didapatkan tegangan keluaran sebesar 409 V.

5.2 Pengujian *Modified Buck Converter*

Pengujian *modified buck converter* bertujuan untuk mengetahui tegangan dan arus keluaran serta efisiensi dari *modified buck converter*. Diagram blok pengujian ditunjukkan pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Diagram blok pengujian *modified buck converter*

Tabel 5.2 Hasil pengujian *buck converter*

V_{IN_buck} (VDC)	V_{O_buck} (VDC)	$I_{O_buck(DC)}$ (mA)	Jumlah LED
289	30,0	80	10
289	58,4	71	20
289	78,2	62	30
289	106,4	52	40
289	134,1	40	50

Tegangan dan arus keluaran modified buck converter tidak optimal dikarenakan tegangan referensi pada pada pin 4 pada L6562 terlalu kecil, sehingga arus maksimum LED terlalu kecil. Untuk meningkatkan arus keluaran dilakukan dengan memperkecil nilai resistor sensor arus.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada bab V, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Telah dirancang rangkaian *AC to DC converter* untuk menyuplai *light emitting diode* (LED) sebanyak 50 buah. Rangkaian ini terdiri dari *bridge rectifier, power factor corrector* dan *modified buck converter.*
2. Dengan menggunakan *transition mode power factor correction* arus masukan menjadi kontinyu dan mendekati sinusoida meskipun masih mengandung ripel.
3. Tegangan keluaran dari *AC to DC coverter* untuk beban LED sebanyak 50 buah adalah 134,1 V dan arus keluaran sebesar 40 mA.

6.2 Saran

Beberapa saran yang diberikan untuk meningkatkan sistem dan pengembangan alat *AC to DC converter* selanjutnya antara lain :

1. Menyempurnakan dalam pembuatan induktor baik induktor untuk TMPFC maupun *modified buck converter*.
2. Menggunakan mosfet dengan kualitas yang lebih baik dan untuk TMPFC digunakan mosfet dengan tegangan *breakdown* yang lebih tinggi.
3. Menggunakan resistor yang lebih kecil sebagai sensor arus, baik pada TMPFC maupun *modified buck converter.*

DAFTAR PUSTAKA

Application Note 966, *L6561, Enhanced Transition Mode Power Factor Corrector*. http://www.st.com, diakses tanggal 11 Desember 2011.

Application Note 2928, *Modified Buck Converter for LED Application*. http://www.st.com, diakses tanggal 24 Desember 2011.

Rashid, Muhamad. 1988. *Power Electronics Circuits, Devices and Applications*. USA : Prentice-Hall international, Inc.

Rashid, Muhamad. 2001. *Power Electronics Handbook, Circuits, Devices and Applications 2nd Edition*. London : Prentice-Hall international, Inc.

Shepherd, William. 2004. *Power Converter Circuits*. New York : Marcel Dekker.

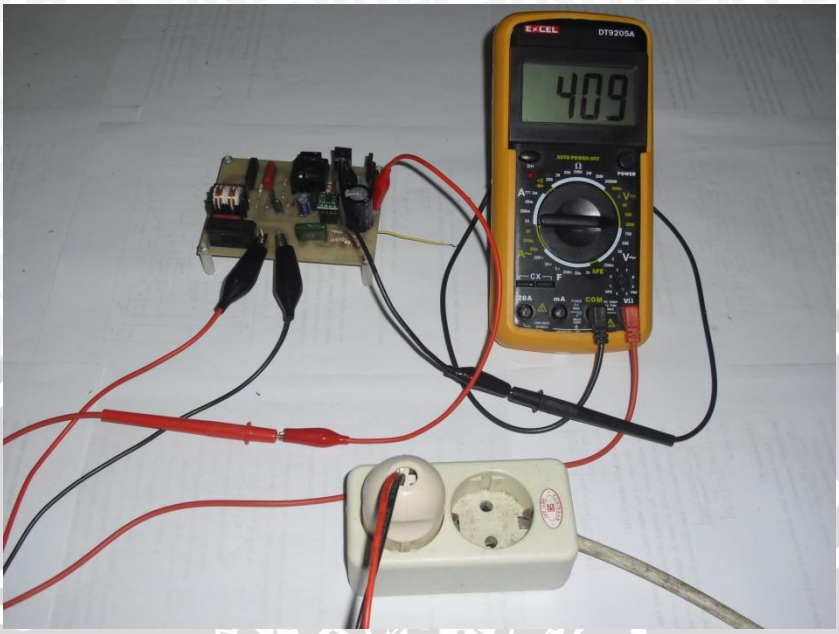
STMicroelectronics. *L6562 datasheet*. http://www.st.com, diakses tanggal 11 Desember 2011.

STMicroelectronics. *Viper12A datasheet*. http://www.st.com, diakses tanggal 11 Desember 2011.

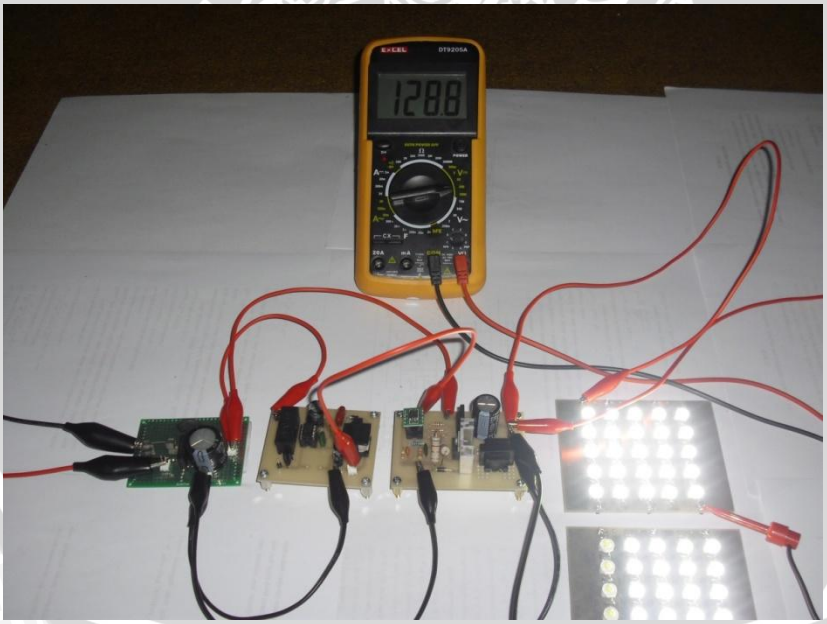
repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN

Lampiran 1 Tegangan keluaran TMPFC pada kondisi tanpa beban



Lampiran 2 Tegangan keluaran *modified buck converter*



repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA