

OPTIMALISASI PEMBELAJARAN ELEKTRONIKA DAYA DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI KOMPUTER

OPTIMIZATION OF POWER ELECTRONICS LEARNING USING COMPUTER SIMULATION

Hanny H. Tumbelaka

Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Elektro
Universitas Kristen Petra
tumbuh@petra.ac.id

Abstrak

Elektronika daya penting dipelajari oleh mahasiswa Program Studi Teknik Elektro. Namun, seringkali tidak mudah bagi mahasiswa untuk memahami kerja rangkaian elektronika daya dan membayangkan bentuk gelombang tegangan dan arus. Dosen juga seringkali kesulitan menyampaikan materi pembelajaran karena keterbatasan bahan visualisasi. Karena itu, metode alternatif yang tepat untuk pembelajaran mata kuliah Elektronika Daya adalah dengan simulasi komputer. Program simulasi yang digunakan adalah PSIM yang dikhususkan untuk simulasi rangkaian elektronika daya dan penggerak motor. Dengan simulasi komputer (PSIM), proses pembelajaran konverter menjadi lebih mudah. Hal ini terlihat dari hasil kuesioner yang menyatakan bahwa penggunaan PSIM membantu mahasiswa di Program Studi Teknik Elektro, UK Petra, Surabaya, untuk memahami konsep mata kuliah Elektronika Daya. Dari tingkat kelulusan yang tinggi, tampak bahwa penggunaan simulasi komputer mampu mengoptimalkan pembelajaran mata kuliah ini.

Kata kunci: Pembelajaran Elektronika Daya, Simulasi Komputer

Abstract

A power electronic course is important for electrical engineering department students. However, it is not easy for them to understand power electronic circuits and to imagine the voltage and current waveforms. The lecturer often has difficulties to deliver the course due to the limitation of the materials visualization. Therefore, a suitable alternative method for learning power electronic course is using computer simulation. PSIM is used as a simulation program since it is specific for power electronic circuits and electric drives. PSIM makes the learning process of converters relatively simple. It is verified from questioner results that the usage of PSIM assists the students in Electrical Engineering Department, Petra Christian University, Surabaya, to comprehend the concepts of power electronics. Student grades also show that the usage of computer simulation is able to optimize the learning process of the power electronic course.

Keywords: Power Electronics Learning, Computer Simulation

Tanggal Terima Naskah : 05 April 2018

Tanggal Persetujuan Naskah : 09 April 2018

1. PENDAHULUAN

Elektronika daya penting dipelajari oleh mahasiswa Program Studi Teknik Elektro karena ilmu ini dibutuhkan dalam berbagai bidang kehidupan. Pada kurikulum Program Studi Teknik Elektro S1, mata kuliah Elektronika Daya merupakan mata kuliah wajib dengan jumlah SKS yang bervariasi. Selain itu, cukup banyak mahasiswa yang mengambil tugas akhir/skripsi dengan topik elektronika daya.

Seringkali materi mata kuliah Elektronika Daya tidak mudah dipahami oleh mahasiswa. Untuk memahami kerja rangkaian elektronika daya, mahasiswa perlu mengerti kerja komponen dalam rangkaian tersebut. Tidak mudah bagi mahasiswa membayangkan kerja saklar elektronika daya (seperti thyristor, transistor) serta bentuk gelombang tegangan simpul dan arus cabang pada setiap komponen, baik pada keadaan *transient* maupun *steady state*. Tingkat kesulitan bertambah bila parameter dan komponen rangkaian berubah. Demikian juga yang dialami oleh dosen, seringkali dosen kesulitan menyampaikan materi pembelajaran karena keterbatasan bahan visualisasi.

Untuk mengatasi hal ini, kegiatan praktikum di laboratorium sangat diperlukan dalam menunjang proses belajar mengajar mata kuliah ini. Namun, untuk membangun Laboratorium Elektronika Daya dibutuhkan dana yang besar dan tutor yang kompeten dalam pengoperasian peralatan. Selain itu, risiko kecelakaan kerja di laboratorium dapat menjadi kendala yang serius. Oleh karena itu, metode pembelajaran alternatif untuk mata kuliah Elektronika Daya adalah dengan memanfaatkan komputer dan aplikasinya. Penggunaan komputer dapat menolong dan meningkatkan kualitas proses belajar mengajar mata kuliah Elektronika Daya [1],[2],[3]. Untuk memahami Elektronika Daya harus didukung dengan ilmu lain, termasuk simulasi komputer [4]. Hal ini juga ditunjang dengan kemajuan teknologi komputer yang sangat pesat.

Pemanfaatan simulasi komputer bertujuan agar proses belajar mengajar menjadi efektif dan efisien. Kompetensi mahasiswa dapat meningkat dan mempunyai nilai tambah untuk memasuki dunia industri karena simulasi komputer juga digunakan di dunia industri untuk pra-desain atau menghasilkan *virtual prototype*. Selain itu, mahasiswa juga termotivasi untuk melakukan pengayaan secara aktif dan mandiri dengan menggunakan komputer pribadinya.

Untuk mempermudah mempelajari dan memahami sistem/rangkaian Elektronika Daya, saat ini banyak tersedia *software* sebagai simulator, seperti Matlab, PSIM, Pspice, Multisim untuk simulasi rangkaian listrik/elektronika [5],[6],[7]. Pemilihan simulator harus cocok untuk kebutuhan mata kuliah Elektronika Daya. Selain itu, penggunaan simulator tersebut harus disesuaikan dengan jenjang pendidikan [8], yaitu diploma atau sarjana atau pascasarjana sehingga tepat sasaran. Dalam *paper* ini dilakukan evaluasi terhadap penggunaan simulasi komputer (PSIM) untuk mata kuliah Elektronika Daya dalam kegiatan tatap muka di kelas, mengerjakan tugas/ujian dan belajar mandiri, di Program Studi Teknik Elektro, UK Petra, Surabaya. Observasi dilakukan pada semester genap tahun akademik 2016-2017.

2. PEMBELAJARAN DENGAN SIMULASI KOMPUTER

Simulasi komputer dapat digunakan untuk menggantikan praktikum di laboratorium dalam mengamati semua arus dan tegangan, baik kondisi *transient* maupun *steady state*. Dengan simulasi, kerja komponen dan rangkaian dapat diamati dan dianalisis dengan tepat, bahkan dapat lebih rinci dibandingkan dengan melakukan praktikum di laboratorium. Simulator juga dapat membantu persiapan pengenalan kerja rangkaian sebelum hadir di kelas atau sebelum melakukan praktikum.

Dengan penggunaan simulasi komputer, proses belajar mengajar dilaksanakan di ruang kelas dengan fasilitas komputer (PC atau laptop). Metode pembelajaran beralih dari penjelasan di papan tulis menjadi kegiatan simulasi dan diskusi hasil simulasi. Dosen lebih

berfungsi sebagai fasilitator. Mahasiswa didorong untuk berinovasi melakukan variasi terhadap rangkaian elektronika daya agar semakin memahami kerja rangkaian elektronika daya dan pengembangannya.

2.1 Program Simulator Rangkaian Elektronika Daya

Program Studi Teknik Elektro, UK Petra menggunakan PSIM untuk simulasi rangkaian elektronika daya, karena PSIM memang dikhususkan untuk simulasi rangkaian elektronika daya dan penggerak motor [9]. PSIM juga cocok untuk keperluan pembelajaran elektronika daya karena *user friendly*. Pada PSIM, komponen elektronika daya dinyatakan dalam model komponen sehingga mudah disusun menjadi rangkaian dan mudah dianalisis. Parameter model dapat diubah sesuai dengan kebutuhan. Untuk jenjang S1, parameter model yang digunakan didasarkan pada model ideal, karena fokus penggunaan PSIM adalah pada pemahaman kerja rangkaian.

Pada penelitian ini digunakan PSIM versi demo. PSIM versi demo mudah didapat dan gratis sehingga dapat dimiliki oleh setiap mahasiswa. Dengan demikian tujuan pemanfaatan simulasi komputer dalam pembelajaran elektronika daya dapat tercapai.

Namun, PSIM versi demo memiliki keterbatasan fitur [9] dibanding dengan versi profesional yang berbayar, yaitu:

- a. Jumlah komponen rangkaian dalam satu kali simulasi dibatasi 34 buah. Setiap komponen juga mempunyai batasan tertentu.
- b. Jumlah *data point* tidak lebih dari 6000. Hal ini akan membatasi tampilan bentuk gelombang hasil simulasi.
- c. Sub-rangkaian dan beberapa fungsi khusus tidak bisa dioperasikan.
- d. *C Script Block*, *Embedded Software Block*, *Power Modeling Block*, *General DLL Block*, dan beberapa elemen yang khusus tidak berfungsi.

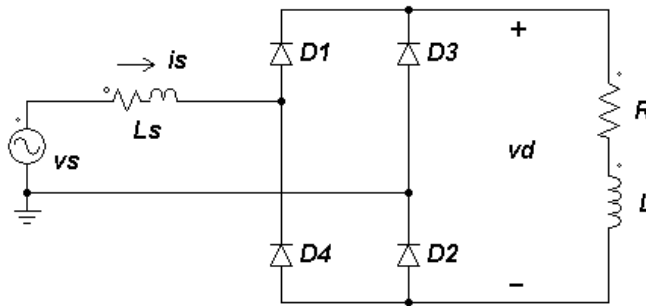
Walaupun terdapat keterbatasan fitur pada versi demo ini tidak menjadi penghalang dalam mempelajari konsep sistem dan rangkaian elektronika daya. Dengan metoda yang tepat, versi demo ini sangat menolong mahasiswa dalam memahami mata kuliah Elektronika Daya. Dengan makin sering menggunakan PSIM versi demo ini, mahasiswa dapat menemukan cara mengoptimalkan fitur versi demo yang ada.

2.2 Contoh Materi Kuliah

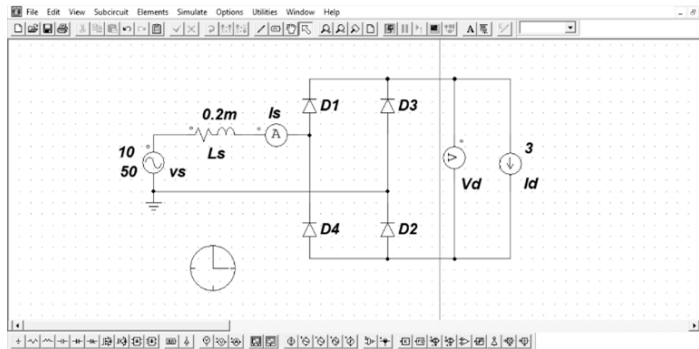
Materi kuliah elektronika daya berfokus pada kerja konverter. Beberapa macam konverter, diantaranya AC-DC, DC-DC, DC-AC, dan AC-AC. Komponen utama konverter adalah saklar elektronika daya (*power electronic switches*), yaitu dioda, thyristor, dan transistor, serta komponen pasif, yaitu resistor, induktor, dan kapasitor. Saklar elektronika daya bekerja pada posisi *on* dan *off* (*switching*).

Salah satu contoh materi kuliah konverter AC-DC adalah pengaruh impedansi jaringan (*grid*) terhadap kinerja Rangkaian *Uncontrolled Rectifier* [4],[10]. Impedansi jaringan, dalam hal ini induktansi L_S , berasal dari generator, transformer, kabel, dan lainnya. Induktansi L_S berpengaruh pada kinerja *rectifier* pada waktu proses komutasi.

Gambar 1 menunjukkan rangkaian *rectifier* dengan induktansi L_S . V_S (amplitudo sumber tegangan sinusoidal v_S) = 10 V, f = 50 Hz, L_S = 0,2 mH. Beban R = 2 Ω dan L = 100 mH. Rangkaian yang dibuat dengan simulasi PSIM dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Rectifier dengan induktansi sumber L_s



Gambar 2. PSIM: Rectifier dengan induktansi sumber L_s

Untuk beban RL, jika nilai induktansi cukup besar ($L/R \gg \pi/\omega$), maka arus beban akan mengalir terus (*continuous conduction*). Semakin besar nilai induktansi, ripple arus beban akan semakin kecil. Arus beban akan cenderung konstan. Jadi, beban RL dapat diganti dengan sumber arus DC sebesar 3A ($I_d = 3A$).

Pengaruh induktansi jaringan diamati pada arus yang melewati semua dioda dan pada tegangan v_d seperti terlihat pada gambar 3 dan 4. Dioda akan bekerja (*on*) bila $v_{AK} > 0$, dan akan mati (*off*) bila arus dioda = 0 dan kondisi $v_{AK} < 0$. Pada waktu proses komutasi (pengalihan arus), arus yang mengalir pada pasangan $D_3 - D_4$ akan bertambah (atau berkurang) perlahan dan pada pasangan $D_1 - D_2$ akan berkurang (atau bertambah) perlahan dalam waktu yang bersamaan. Hal ini karena pengaruh sifat induktor terhadap perubahan arus. Jumlah arus $D_3 - D_4$ dan $D_1 - D_2$ sama dengan arus beban (I_d).

Jadi, pada saat terjadi komutasi dari $D_3 - D_4$ dan $D_1 - D_2$ atau sebaliknya, dua pasang dioda tersebut bekerja (*on*) bersama-sama. Akibatnya tegangan $v_d = 0$ dan tegangan pada induktansi jaringan L_s sama dengan tegangan sumber v_s . Arus sumber i_s sama dengan gabungan arus dari dua pasang dioda, yaitu akan naik/turun perlahan. Amplitudo arus sumber sama dengan arus beban (3A).

Gambar 3 menunjukkan bentuk gelombang arus yang mengalir pada dua pasang dioda dan arus sumber i_s . Gambar 4 menunjukkan tegangan v_d dan tegangan pada induktansi jaringan L_s (v_L). Mahasiswa dapat mengamati proses komutasi pada daerah *zero crossing* tegangan sumber dan pengaruh impedansi jaringan terhadap kinerja rangkaian *rectifier*. PSIM juga dilengkapi dengan menu pengukuran dan analisis hasil simulasi sehingga lamanya proses komutasi (pengalihan arus) dapat diukur dan dibandingkan dengan persamaan (1). Demikian juga nilai tegangan rata-rata v_d dapat diukur dan dibandingkan dengan persamaan (2). Tabel 1 menunjukkan hasil perbandingannya.

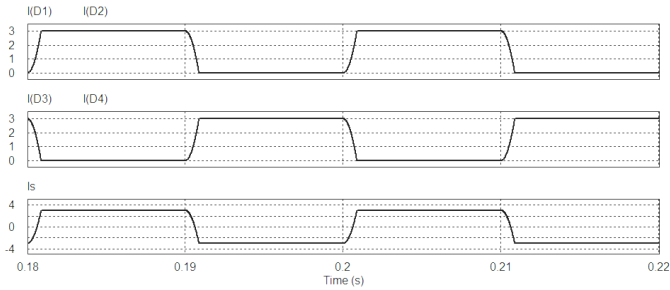
Proses komutasi berlangsung selama (dalam derajat) [4],[10]:

$$u^0 = \cos^{-1} \left(\frac{2 \omega L_s I_d}{V_s} \right) \dots\dots\dots(1)$$

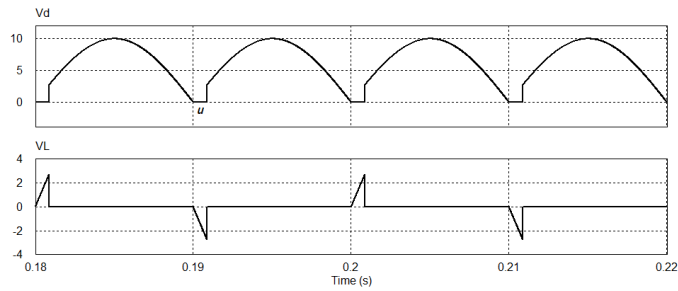
Harga rata-rata v_d turun menjadi [4],[10]:

$$V_{d-withL_s} = V_{d-withoutL_s} \left(1 - \frac{\omega L_s I_d}{V_s} \right) \dots \dots \dots (2)$$

dimana $v_{d-withoutL_s}$ adalah tegangan v_d bila $L_s = 0$, yaitu 6,3661V.



Gambar 3 Arus dioda $i(D)$ dan arus sumber i_s



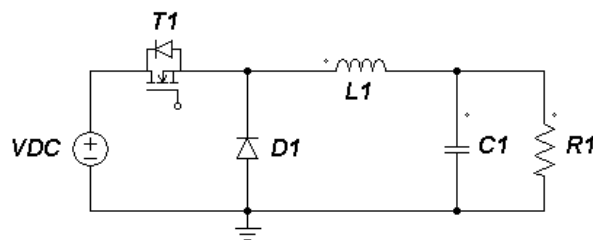
Gambar 4. Tegangan v_d dan tegangan pada L_s (v_L)

Table 1. Perbandingan hasil perhitungan dan simulasi PSIM

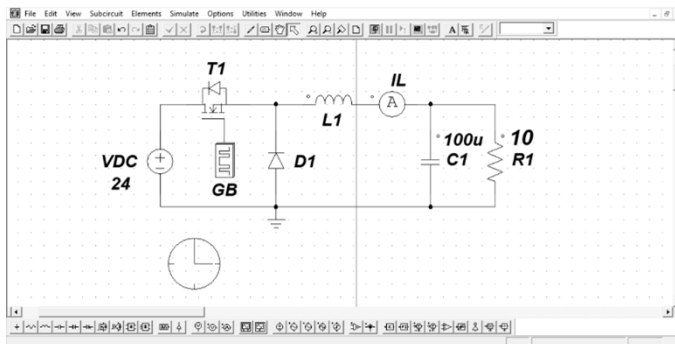
	Persamaan (1) & (2)	Pengukuran PSIM
u (derajat)	15,77°	16,15°
$v_{d-withL_s}$	6,2461V	6,2465V

2.3 Contoh Tugas atau Ujian

Mahasiswa dapat diberi tugas atau ujian dengan menggunakan simulasi komputer PSIM. Salah satu contoh tugas atau ujian dari materi konverter DC-DC adalah merancang nilai L_1 dari rangkaian *Buck Converter* agar rangkaian tersebut beroperasi pada kondisi *continuous conduction*. Untuk itu, mahasiswa harus menghitung nilai minimum dari L_1 ($= L_{(min)}$). Kemudian hasil perhitungannya harus diperiksa dengan melakukan simulasi komputer. Rangkaian *Buck Converter* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian *Buck Converter*



Gambar 6. PSIM: Rangkaian *Buck Converter*

Perbatasan antara kondisi *continuous* dan *discontinuous conduction* adalah bila arus yang mengalir pada induktor L_1 sama dengan nol ($I_L = 0$) terjadi tepat pada akhir t_{off} atau pada akhir perioda *switching* (T_{sw}). Jadi, pada akhir t_{off} , arus induktor I_L hanya menyentuh sumbu t [4],[10],[11]. Pada kondisi ini, L_1 disebut $L_{(min)}$ dan harga rata-rata arus induktor I_L sama dengan:

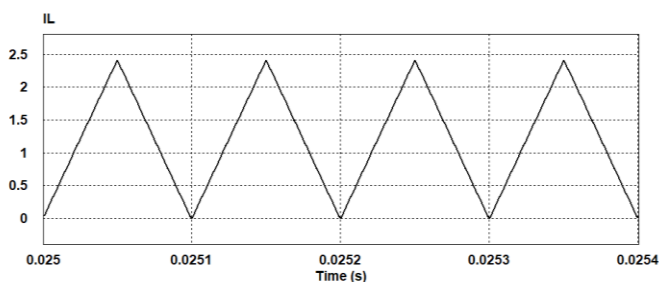
$$I_{L (rata-rata)} = (t_{on} / 2 L_{(min)}) (V_{CD} - V_o) \dots\dots\dots (3)$$

dimana $t_{on} = \text{duty ratio (D)}$ dikali perioda *switching* (T_{sw}). Dengan demikian, bila $L_1 > L_{(min)}$ maka *Buck Converter* bekerja dalam kondisi *continuous conduction*.

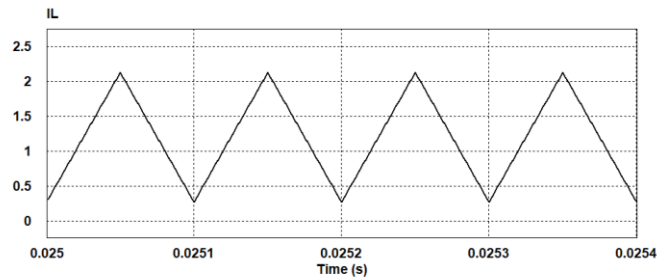
Pada gambar 5, $V_{DC} = 24 \text{ V}$, $C = 100 \mu\text{F}$, Beban $R = 10 \Omega$, $D = 50 \%$, $f_{sw} = 10 \text{ kHz}$. Dengan $D = 50 \%$, maka dihitung $V_o = 12 \text{ V}$, dan $I_{L(rata-rata)} = 1,2\text{A}$. Dengan menggunakan persamaan (3), maka dihitung $L_{(min)} = 250 \mu\text{H}$. Kondisi *continuous conduction* terjadi bila $L_1 > 250\mu\text{H}$.

Untuk membuktikan hasil perhitungan $L_{(min)}$, mahasiswa membuat rangkaian simulasinya dengan PSIM seperti terlihat pada gambar 6. Nilai induktansi L_1 sama dengan nilai $L_{(min)}$, yaitu $250 \mu\text{H}$. Untuk rangkaian kendali transistor, digunakan *Gating Block* (GB) dari daftar menu di PSIM. Penggunaan *Gating Block* ini memudahkan dalam pembuatan rangkaian simulasi. Karena fokus pengamatan adalah rangkaian daya (utama) dan bukan pada rangkaian kendali, maka cukup menggunakan *Gating Block* yang fungsinya sama dengan rangkaian kendali.

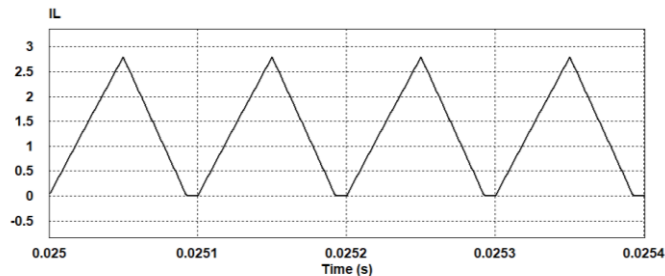
Hasil simulasi tampak pada gambar 7 dimana terlihat bahwa bentuk gelombang arus induktor sesuai dengan yang diharapkan yaitu arus I_L sama dengan nol pada akhir perioda T_{sw} . Jadi, hasil simulasi menyatakan bahwa perhitungan nilai $L_{(min)}$ sudah tepat.



Gambar 7. $L_1 = L_{(min)}$, arus induktor I_L pada kondisi batas antara *continuous* dan *discontinuous conduction*



Gambar 8. $L_1 > L_{(min)}$, arus induktor I_L pada kondisi *continuous conduction*



Gambar 9. $L_1 < L_{(min)}$, arus induktor I_L pada kondisi *discontinuous conduction*

Dalam hal ini, mahasiswa dapat menilai tugasnya sendiri sebelum diserahkan. Bila bentuk gelombang arus induktor tidak sesuai dengan gambar 7, maka perhitungan dan simulasinya harus dievaluasi ulang. Untuk konfirmasi hasil perhitungan, nilai induktor L_1 dapat diubah lebih besar atau lebih kecil dari $L_{(min)}$. Bila $L_1 (= 325 \mu\text{H}) > L_{(min)}$, maka rangkaian bekerja pada kondisi *continuous conduction*. Gambar 8 menyatakan rangkaian bekerja pada *continuous conduction*. Bila $L_1 (= 200\mu\text{H}) < L_{(min)}$, maka rangkaian bekerja pada kondisi *discontinuous conduction*. Gambar 9 menyatakan rangkaian bekerja pada *discontinuous conduction*.

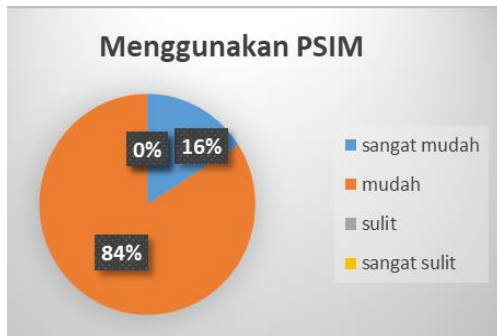
3. EVALUASI HASIL PEMBELAJARAN

Pada akhir semester, mahasiswa peserta mata kuliah Elektronika Daya diberikan kuesioner dengan enam pertanyaan tentang penggunaan simulasi komputer (PSIM) untuk mengetahui apakah bantuan simulasi komputer (PSIM) mampu mengoptimalkan pembelajaran elektronika daya. Jumlah peserta didik adalah 27 orang. Jumlah jawaban kuesioner yang kembali sebanyak 25. Lembar jawaban kuesioner tidak diberi nama.

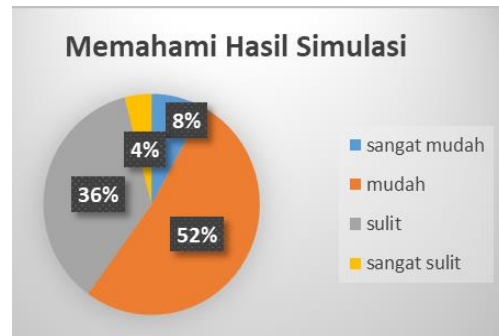
Untuk pertanyaan tentang kemudahan menggunakan PSIM (gambar 10), semua mahasiswa menyatakan mudah menggunakan PSIM, bahkan 16% mahasiswa menyatakan sangat mudah. Jawaban ini menggembirakan karena bila program simulator yang digunakan sulit dan tidak *user friendly*, mahasiswa akan enggan menggunakannya, bahkan tidak mau mencoba. Hal ini akan berakibat rencana penggunaan simulasi komputer dalam pembelajaran mata kuliah ini gagal.

Selain mudah penggunaannya, 60% mahasiswa mudah membaca dan memahami hasil simulasi berupa gelombang tegangan dan arus. Hanya 36% mahasiswa yang menyatakan sulit memahami dan 4% yang sangat sulit memahami (gambar 11). Jumlah mahasiswa yang menyatakan sulit memahami cukup penting untuk diperhatikan. Kesulitan memahami hasil simulasi disebabkan banyak faktor. Dari informasi selama proses interaksi di kelas, salah satu faktor yang penting adalah sebagian mahasiswa kurang mampu mengkaitkannya dengan mata kuliah dasar, seperti Rangkaian Listrik, Dasar Elektronika. Dalam proses belajar mengajar ini, dosen membantu mengingatkan kembali konsep mata kuliah dasar tersebut dan aplikasinya pada mata kuliah Elektronika Daya. Selain itu, dosen

juga membantu mahasiswa untuk melihat keterkaitan gelombang tegangan dan arus dengan proses *switching* dari komponen elektronika daya. Interaksi antar mahasiswa peserta mata kuliah Elektronika Daya juga sangat penting. Kerjasama dan diskusi dalam pembelajaran mendorong mahasiswa untuk saling menolong dalam memahami hasil simulasi.



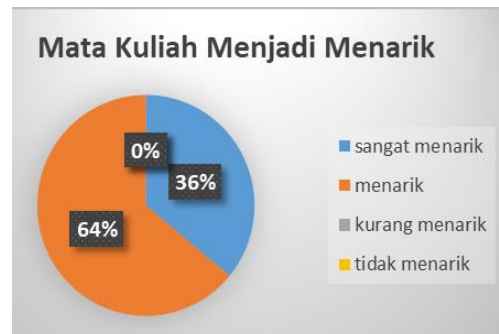
Gambar 10. Hasil kuesioner: Kemudahan menggunakan PSIM



Gambar 11. Hasil kuesioner: Memahami hasil simulasi



Gambar 12. Hasil kuesioner: Membantu memahami konsep



Gambar 13. Hasil kuesioner: Mata kuliah menjadi menarik

Dengan usaha-usaha tersebut, sebagian besar mahasiswa (88%) mampu memahami konsep rangkaian elektronika daya dengan bantuan PSIM (gambar 12). Sebagian besar dari 40% mahasiswa yang menyatakan sulit memahami hasil simulasi (gambar 11) tetap merasakan bantuan simulasi komputer ini untuk mengerti isi mata kuliah Elektronika Daya. Dengan demikian, dapat diperkirakan bahwa tanpa simulasi komputer, mahasiswa akan semakin kesulitan memahami mata kuliah Elektronika Daya.

Walaupun semua mahasiswa setuju bahwa simulasi komputer membuat mata kuliah ini menjadi menarik (gambar 13), tetapi 56% mahasiswa menyatakan masih perlu adanya tambahan praktikum di laboratorium (gambar 14). Mahasiswa masih butuh melihat dan melakukan eksperimen dengan komponen dan rangkaian elektronika daya yang sesungguhnya. Selain itu, mahasiswa ingin membuktikan seberapa tepat model yang digunakan dan berapa besar perbedaan dengan hasil simulasi.

Untuk ketertarikan belajar mandiri, 80% mahasiswa tertarik untuk belajar elektronika daya secara mandiri dengan menggunakan PSIM (gambar 15). Hal ini didukung dengan kemudahan penggunaan simulasi komputer PSIM, seperti pernyataan pada gambar 10. Selain itu, penggunaan PSIM membantu memahami konsep, seperti pernyataan pada gambar 12. Kemampuan belajar mandiri akan membantu mahasiswa mengerjakan tugas akhir/skripsi.

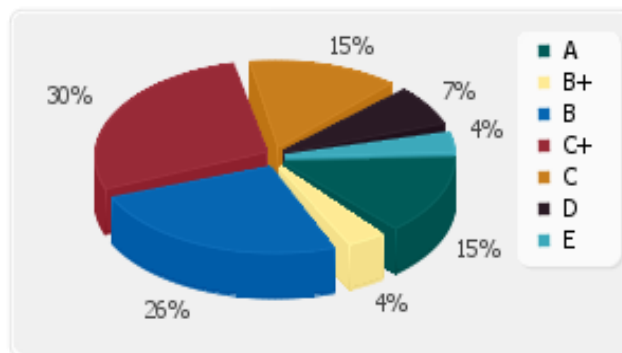


Gambar 14. Hasil kuesioner: Perlu praktikum



Gambar 15. Hasil kuesioner: Keinginan belajar mandiri

Selain hasil kuesioner, juga dilakukan pengamatan terhadap nilai akhir semester untuk mengetahui apakah penggunaan simulasi komputer mampu mengoptimalkan proses belajar mengajar mata kuliah Elektronika Daya. Dari hasil pembelajaran (nilai tugas-tugas dan ujian akhir semester), 89% mahasiswa lulus mata kuliah Elektronika Daya (gambar 16). Penggunaan PSIM ternyata cukup membantu dalam pembelajaran mata kuliah ini. Adanya nilai E disebabkan karena mahasiswa tersebut melalaikan tugas yang diberikan dan tidak hadir pada ujian akhir semester. Nilai terdistribusi secara merata, dan nilai terbanyak adalah C+ (30%), diikuti oleh B (26%).



Gambar 16. Nilai akhir mahasiswa semester genap tahun akademik 2016-2017

4. KESIMPULAN

Paper ini membahas tentang penggunaan simulasi komputer dalam pembelajaran elektronika daya, khususnya di Program Studi Teknik Elektro, UK Petra, Surabaya. Program simulasi yang digunakan adalah PSIM versi demo. Dengan simulasi komputer (PSIM), proses pembelajaran konverter menjadi relatif lebih mudah. Visualisasi bentuk gelombang tegangan dan arus dari hasil simulasi membantu mahasiswa memahami kerja rangkaian. Hal ini terlihat dari hasil kuesioner yang menyatakan 88% mahasiswa Teknik Elektro, UK Petra dapat memahami konsep mata kuliah Elektronika Daya karena bantuan PSIM. Walaupun demikian, dosen harus menyediakan waktu lebih banyak untuk membantu mahasiswa dalam memahami hasil simulasi. Selain itu, kegiatan praktikum tetap dibutuhkan agar mempunyai pengalaman dengan peralatan yang sesungguhnya. Dari tingkat kelulusan yang tinggi (89%), tampak bahwa penggunaan simulasi komputer mampu mengoptimalkan pembelajaran mata kuliah Elektronika Daya.

REFERENSI

- [1] J. Choi and H. Mok, “Simulation based power electronics education in Korea,” in *Proceedings of the Power Conversion Conference — Nagoya (PCC '07)*, pp. 491–495, Nagoya, Japan, April 2007.
- [2] P. Tsiakas, et.al., “Computer as a tool in teaching, examining and assessing electronic engineering student,” in *Proc. of EUROCON 2007*, Warsaw, September 2007
- [3] Z. Huanyin, L. Jinsheng, W. Yangjie, X. Hong, and M. Qian, “Computer simulation for undergraduate engineering education,” in *Proceedings of the 4th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE '09)*, pp. 1353–1356, Nanning, China, July 2009.
- [4] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converter, Applications, and Design*, 3rd ed., John Wiley & Sons, 2003.
- [5] V. F. Pires, and J. F. A. Silva, “Teaching nonlinear modeling, simulation, and control of electronic power converters using MATLAB/SIMULINK,” *IEEE Trans. on Education*, Vol. 45, No. 3, pp: 253 – 261, 2002
- [6] I. Chamas, and M. A. E. Nokali, “Automated PSpice simulation as an effective design tool in teaching power electronics,” *IEEE Trans. on Education*, Vol. 47, No. 3, pp: 415 – 421, 2004.
- [7] C. A. Canesin, F. A. S. Goncalves, and L. P. Sampaio, “Simulation tools for power electronics courses based on Java technologies,” *IEEE Trans. on Education*, Vol. 53, No. 4, pp. 580 – 586, 2010
- [8] M. Darwish, and C. Marouchos, “Simulation levels in teaching power electronics,” in *Proc. of 48th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2013.
- [9] PSIM® <http://www.powersimtech.com>.
- [10] Tumbelaka, H.H. 2018. *Dasar Elektronika Daya*, Surabaya: LPPM Petra Press.
- [11] M. H. Rashid, *Power Electronics: Circuits, Devices and Applications*, 3rd ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 2004