

Alur Kerja Desain dan Simulasi Rangkaian TRIAC Menggunakan Perangkat Lunak Berbiaya Rendah

Sunu Pradana

Politeknik Negeri Samarinda, Indonesia

Email: pradana.sunu@gmail.com

Kata Kunci:

TRIAC, Simulasi Rangkaian, Perangkat Lunak Berbiaya Rendah.

Abstrak: Di bidang rekayasa, perangkat lunak sangat diperlukan untuk melakukan desain dan simulasi. Salah satu kendala yang dihadapi adalah mahalnya biaya lisensi untuk perangkat lunak yang memiliki versi fitur penuh. Sementara perangkat lunak yang sudah terbiasa dipergunakan pada saat proses pendidikan akan berpengaruh pada pilihan saat sudah bekerja. Untuk itu dalam penelitian ini dikaji sejumlah pilihan perangkat lunak yang dapat dipergunakan untuk memecahkan masalah proses desain dan simulasi untuk rangkaian Triac. Hasilnya diperoleh alur kerja yang mampu menyelesaikan masalah tersebut secara efektif dan berbiaya rendah. Alur ini dapat dipergunakan mulai tahap pendidikan tinggi sehingga dapat langsung dipergunakan juga pada saat sudah bekerja secara profesional.

*This is an open access article under the CC BY License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).*



Copyright holders:
Sunu Pradana (2025)

PENDAHULUAN

Dalam satu dekade terakhir, perkembangan dan peningkatan pemanfaatan teknologi komputasi dalam bidang teknik/kerekayasaan (engineering) sangat pesat. Telah menjadi lazim bagi para perekayasa untuk menggunakan berbagai perangkat lunak (software) untuk sebagai sarana bantu untuk melakukan perhitungan, desain, dan simulasi. Sehingga untuk berbagai tingkat okupasi dalam bidang teknik seperti insinyur (engineer), technologist, dan technician kemampuan dalam penggunaan perangkat lunak sangatlah penting.

Dalam ilmu rekayasa, seorang perekayasa adalah seseorang yang memanfaatkan ilmu pengetahuan untuk melakukan pemecahan masalah (problem solver) (Messler Jr, 2013). Dengan demikian peran perekayasa di Indonesia menjadi sangat penting untuk meningkatkan kinerja ekonomi negara dan menyelesaikan masalah sosial secara umum. Ketergantungan banyak kegiatan kerekayasaan terhadap keberadaan perangkat lunak yang memadai untuk menyelesaikan berbagai permasalahan dapat terkendala dikarenakan faktor ketersediaan dan biaya.

Baik software yang diakses secara offline maupun online sudah menjadi kebutuhan utama bagi para perekayasa. Namun, perangkat lunak seperti MathWorks MATLAB, MathWorks Simulink, ETAP, SolidWorks, ANSYS, CATIA, EPLAN, MathCAD, Altium Designer, AutoCAD, Autodesk Inventor, LabView, OrCAD, Livewire, CircuitWizard, Multisim, CircuitLab, TINA memiliki harga lisensi yang tidak murah. Sedangkan umumnya para pengguna perangkat lunak menggunakan apa yang sudah terbiasa dipergunakan saat masih menjadi mahasiswa.

Dengan demikian menjadi penting bagi Perguruan Tinggi Vokasi (PTV) untuk sedari awal memperkenalkan dan membiasakan mahasiswa untuk mempergunakan perangkat lunak yang legal dengan harga yang relatif murah/terjangkau atau bahkan gratis. Terlebih lagi saat pemerintah sedang gencar melakukan upaya penghematan anggaran, termasuk biaya lisensi perangkat lunak. Upaya migrasi dari perangkat lunak yang mahal ke perangkat lunak yang lebih murah/gratis menjadi urgensi yang penting untuk segera diimplementasikan di sektor pendidikan.

Sebagai contoh kasus, penggunaan perangkat lunak untuk melakukan desain dan simulasi rangkaian elektronika dapat berharga sangat mahal. Dikarenakan keberadaan software tersebut sangat dibutuhkan, maka sering kali pengguna terpaksa mempergunakan perangkat lunak yang telah di-crack. Software semacam ini mendatangkan sejumlah risiko seperti serangan virus komputer, malware dan sejumlah risiko keamanan lainnya.

Dalam penelitian ini, dikaji sejumlah alternatif pilihan perangkat lunak beserta tahapan pengerjaan untuk kasus sistem dimmer berbasis Triac. Diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan kontribusi berupa alur kerja (workflow) yang bisa diikuti dan karenanya memudahkan mahasiswa serta calon perekayasa/peneliti baik dalam proses belajar maupun dalam kegiatan profesional untuk melakukan problem solving. Alur kerja yang dihasilkan diupayakan hanya mempergunakan perangkat lunak yang berbiaya rendah namun memadai. Dapat diharapkan pembiasaan sejak dini di perguruan tinggi akan membangun kebiasaan dan keterampilan yang baik dan memungkinkan penyelesaian masalah tanpa mendatangkan risiko permasalahan baru (dalam hal perangkat lunak).

Upaya untuk melakukan penghematan anggaran dan biaya dalam proses pembelajaran telah menjadi perhatian sejak lama. Baik untuk perangkat sarana keras maupun untuk perangkat lunak, terutama di perguruan tinggi (Cyr et al., 1997; Guacho & Rivadeneira, 2014). Telaah mengenai penggunaan berbagai perangkat lunak telah pernah dilakukan dan dilaporkan oleh beberapa peneliti sebelumnya (Cyr et al., 1997). Dalam Baltzis & K. D. Koukias, (2009) dipaparkan mengenai perlunya penggunaan perangkat lunak untuk melakukan simulasi rangkaian analog (Baltzis & Koukias, 2009). Penggunaan software diperlukan sebagai sarana penting untuk membantu mahasiswa untuk lebih fokus kepada konsep, hubungannya dengan teori, dan aspek desain dari percobaan (eksperimen) yang akan dilakukan. Di penelitian tersebut dipergunakan 5spice yang merupakan simulator yang sekarang sudah tidak dapat diakses. Hal ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan upaya pembaruan terus menerus terhadap workflow dalam bidang engineering dan pendidikan rekayasa (pendidikan teknik).

Tahun 2024, Ogbe telah melaporkan bahwa penggunaan simulasi berbasis SPICE terbukti mampu untuk membantu meningkatkan keterampilan siswa dalam melakukan desain rangkaian

(Ogbe, 2024). Salah satu perangkat lunak berbasis SPICE yaitu PSPICE telah dilaporkan memiliki hasil simulasi yang memiliki kesesuaian tinggi bila dibandingkan dengan hasil perhitungan berdasarkan teori (Muchlas & Budiastuti, 2020). Perangkat lunak berbayar lainnya yang dipergunakan untuk melakukan simulasi adalah Proteus yang diproduksi oleh perusahaan Labcenter (Labcenter, 2024). Perangkat lunak ini telah juga dicobakan untuk keperluan pendidikan sebagaimana yang dilaporkan dalam (Imamhady & Handoyono, 2024). Perangkat lunak ini cukup banyak dipergunakan di sejumlah perguruan tinggi di Indonesia sebagaimana dapat terpantau dari sejumlah artikel ilmiah dan video tutorial di YouTube. Sementara perangkat lunak simulator yang gratis seperti LTspice telah dilaporkan dipergunakan bukan hanya untuk kegiatan belajar di kelas melainkan juga sebagai sarana desain untuk menyelesaikan masalah rekayasa seperti yang dilaporkan dalam (Tenzin et al., 2017).

Adanya wabah pandemi Covid-19 juga telah memicu perhatian yang lebih mengenai keberlangsungan proses belajar dalam bidang rekayasa di saat adanya pembatasan terhadap akses fisik ke perangkat keras (Muhammed & Kamaruddin, 2023). Pengalaman saat pandemi tersebut ternyata juga dapat diterapkan saat akses fisik menjadi terbatas karena sebab lain, sebagai contoh adalah dikarenakan adanya perang atau operasi militer (Trunova et al., 2023). Keterbatasan ini kemudian juga meningkatkan kesadaran tentang kebutuhan terhadap perangkat lunak untuk desain dan simulasi yang dapat diakses secara online (luring) untuk sejumlah besar mahasiswa (Svatos et al., 2022). Dalam sebuah laporan penelitian, Najeeb dan Memon (Najeeb & Memon, 2022), memaparkan bahwa ada sejumlah perangkat lunak yang bisa dipergunakan oleh mahasiswa untuk dapat melakukan simulasi secara online. Dalam penelitian tersebut Tinkercad (Tinkercad, 2024) diungkapkan dapat memberikan hasil capaian belajar yang sepadan dengan yang bisa diperoleh dengan perangkat lunak yang memerlukan sumber daya yang lebih besar seperti MATLAB/Simulink. Diungkapkan pula alternatif lain untuk simulasi online yaitu online Multisim (Multisim Live) (Multisim, 2024b), yang merupakan produk yang berbeda dari software Multisim yang dioperasikan secara lokal di komputer dengan sistem operasi Microsoft Windows (Multisim, 2024a). Perangkat lunak National Instruments Multisim pada dasarnya merupakan produk berbasis SPICE yang dibuat sedemikian rupa sehingga bisa lebih mudah dipergunakan (Norbutaev & Norbutaeva, 2023).

Perangkat lunak lain yang dapat dipergunakan adalah CircuitLab (Circuitlab, 2024) yang sedari awal sepenuhnya dikembangkan untuk dipergunakan secara online. Zhu dan Howell melaporkan bahwa untuk mata kuliah Elektronika Digital seluruh aktivitas fisik di laboratorium sepenuhnya dapat dilakukan secara online dengan menggunakan CircuitLab (Zhu & Howell, 2023).

Dalam penelitiannya di tahun 2023, Golubev dkk telah melakukan telaah mengenai penggunaan Tinkercad sebagai sarana bantu belajar untuk melakukan desain dan simulasi pengembangan embedded system sederhana (Golubev et al., 2023). Dalam penelitian itu simulasi penggunaan modul perangkat terbatas pada sistem Arduino Uno. Penggunaan Tinkercad yang diakses secara online juga dapat dikombinasikan dengan perangkat lunak offline seperti Proteus (Muhammed & Kamaruddin, 2023).

METODE

Riset/penelitian pada dasarnya adalah suatu kegiatan yang merupakan upaya untuk pencarian pengetahuan atau menyelesaikan suatu masalah secara hati-hati dan sistematis (Deb et al., 2019; Stojmenovic, 2010). Penelitian dalam bidang rekayasa (engineering research) memiliki ciri khas yang mengacu pada kekhususan bidang kerekayasaan. Para perekayasa (engineer) secara kreatif menerapkan hasil capaian sains (baik yang lama maupun yang baru) umumnya untuk lebih lanjut menghasilkan jasa dan produk yang diperlukan atau diharapkan oleh anggota masyarakat. Jika para ilmuwan fokus berusaha untuk memahami alam semesta, maka kegiatan para perekayasa bertujuan untuk menghasilkan penyelesaian masalah sekalipun dengan keterbatasan sumber daya seperti ekonomi dan sosial (Shaw, 2001).

Masalah (problem) dalam hal ini adalah pertanyaan atau situasi yang memberikan ketidakpastian, membingungkan, atau ketidakpastian (Messler Jr, 2013). Masalah dalam kerekayasaan juga dapat berarti adanya ketidaksesuaian antara kenyataan dengan konsep ideal atau teori. Masalah dapat bersifat lokal karena beberapa faktor tertentu, contohnya ada permasalahan yang terjadi di negara-negara berkembang yang minim sumber daya dan akses. Masalah yang khas serupa itu bisa jadi tidak umum ditemui di negara-negara maju. Dengan demikian penggunaan cara penyelesaian yang berbeda dapat menjadi kontribusi yang unik sebagai solusi untuk masalah tersebut.

Metode untuk penyelesaian masalah dalam penelitian kerekayasaan (engineering research) tetap mengacu pada metode ilmiah (scientific method). Dalam engineering research terdapat dua spektrum penelitian, yang pertama adalah riset dasar (basic research) yaitu riset yang lebih bertujuan untuk menemukan dan membentuk/menyusun konsep pengetahuan yang terorganisir secara sistematis. Hal ini masih dimungkinkan dan bahkan diperlukan terutama jika untuk menyelesaikan suatu masalah tidak ada metode baku yang dapat dipergunakan. Yang kedua adalah riset terapan (applied research), yang bercirikan upaya untuk menghasilkan solusi yang praktis/realistis dan dapat diterapkan dengan lebih segera untuk mengatasi masalah (Crone, 2020). Bahkan upaya untuk mendapatkan hasil realistik yang tetap aman (fail-safe) inilah yang menurut Thiel menjadi ciri dari engineering research, sekalipun riset sains dan riset kerekayasaan tidak benar-benar sepenuhnya terpisah (Thiel, 2014).

Suatu riset dapat merupakan suatu inovasi yang mendasar yang mengubah cara pikir manusia terhadap dunia, hal ini dapat disebut sebagai pergeseran paradigma (paradigm shift). Namun suatu riset (terutama engineering research) dapat juga menghasilkan suatu inovasi dalam hal peningkatan efisiensi, penerapan metode dari bidang yang lain, maupun suatu bentuk penyederhanaan (Thiel, 2014). Riset dalam bidang rekayasa juga dapat dipandang sebagai proses untuk mengembangkan cara pandang dan peningkatan pengetahuan dan keterampilan, yang bermula dari adanya suatu masalah (Deb et al., 2019).

Dalam sejumlah laporan hasil penelitian dilaporkan beberapa alternatif pilihan perangkat lunak yang bisa dipergunakan untuk menyelesaikan persoalan dan simulasi. Dalam penelitian aplikatif ini, dilakukan eksperimen/percobaan untuk menguji apakah perangkat

lunak tersebut bisa dipakai untuk menyelesaikan masalah desain dan simulasi rangkaian Triac. Kemudian bagaimana menyusun suatu alur kerja yang sederhana bagi para mahasiswa dan perekayasa untuk melakukan hal yang serupa. Sehingga akan menghemat waktu dan biaya bagi para calon pengguna. Hasil uji coba disajikan secara kualitatif dalam makalah ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perkembangannya dahulu para perekayasa senior tidak menyambut baik penggunaan perangkat lunak untuk melakukan simulasi. Hal ini antara lain dikarenakan perangkat lunak seperti simulator berbasis SPICE (Allaboutcircuits, 2024) memiliki keterbatasan, antara lain model komponen yang tidak dapat benar-benar sama dengan model fisik komponen. Keterbatasan yang berasal dari penyederhanaan model komponen menjadi model yang lebih ideal dapat memberikan hasil simulasi yang berbeda dari hasil percobaan dengan menggunakan perangkat keras (komponen dan rangkaian) secara langsung. Di kemudian hari terdapat perubahan kecenderungan, yaitu semakin banyak yang mempergunakan simulasi perangkat lunak sebagai tahapan awal sebagai bagian dari suatu alur kerja desain dan implementasi rangkaian dan sistem elektronik. Perkembangan ini antara lain karena kemampuan simulasi dari perangkat lunak yang semakin baik dalam hal akurasi model dan kecepatan proses. Menggunakan perangkat lunak telah berkembang menjadi suatu standar umum bagi para profesional, sudah menjadi suatu kebutuhan.

Di Indonesia umum dipergunakan perangkat lunak yang disebut sebagai *software* bajakan yang dapat dipakai setelah dilakukan *crack*. Hal ini bukan hanya berpotensi mendatangkan masalah hukum bagi institusi tempat mahasiswa, perekayasa, atau peneliti bekerja, tetapi berpotensi mendatangkan masalah keamanan. Keberadaan perangkat lunak yang telah di-*crack* membuka celah antara lain untuk infeksi virus, *malware*, ataupun *phishing*.

Penggunaan perangkat lunak bajakan umumnya disebabkan karena harga/biaya lisensi yang mahal. Sedangkan para perekayasa/peneliti tidak terbiasa mempergunakan perangkat lunak alternatif yang berbiaya lebih rendah dan bahkan gratis. Pembiasaan untuk mempergunakan *software* alternatif perlu dibiasakan sejak tahap pendidikan tinggi saat menjadi mahasiswa. Untuk itu diperlukan penyesuaian kurikulum yang memadai. Karena itu perlu dikaji perangkat lunak apa saja yang memadai untuk dipergunakan mulai dari tahapan mahasiswa di perguruan tinggi sampai saat menjadi pekerja profesional perekayasa/peneliti.

Beberapa perusahaan produsen perangkat lunak simulator memberikan upaya solusi untuk permasalahan biaya lisensi selain dengan pemberian uji coba terbatas waktu (*trial license*). Terdapat perangkat lunak yang memberikan lisensi akademik (*academic license/student version*), yang berupa potongan harga lisensi maupun pemberian lisensi gratis kepada institusi pendidikan dan mahasiswa yang memiliki akun email kampus. Ada pula produsen yang mengadakan kerjasama dengan perusahaan lain sebagai sponsor untuk bisa memberikan *software* secara gratis. Misalnya seperti yang pernah dilakukan oleh Texas Instruments (Ti.com, 2024b, 2024a) dan Mouser (Mouser, 2024). Sekalipun penawaran-penawaran tersebut bisa membantu pengguna sampai tahap tertentu namun masih terdapat sejumlah masalah mendasar.

Perangkat lunak yang diberikan dengan lisensi akademis maupun dengan menggunakan sponsor perusahaan lain umumnya berkemampuan terbatas. Misalnya pembatasan dalam jenis dan jumlah komponen, ukuran rangkaian atau PCB. *Software* semacam ini lazim disebut sebagai *crippled software*. Sekalipun *software* semacam ini bisa dipakai untuk menyelesaikan beberapa masalah di tingkat siswa/mahasiswa dan penghobi, keterbatasan ini dapat menyulitkan di tahap berikutnya bagi para profesional. Pembatasan dalam bentuk lain adalah dengan membatasi waktu penggunaan. Sesuai dengan penamaannya lisensi akademik dan lisensi pelajar hanya bisa dipergunakan selamat seseorang masih berstatus mahasiswa. Selain itu perangkat lunak tersebut tidak boleh dipergunakan untuk keperluan komersial atau profesional.

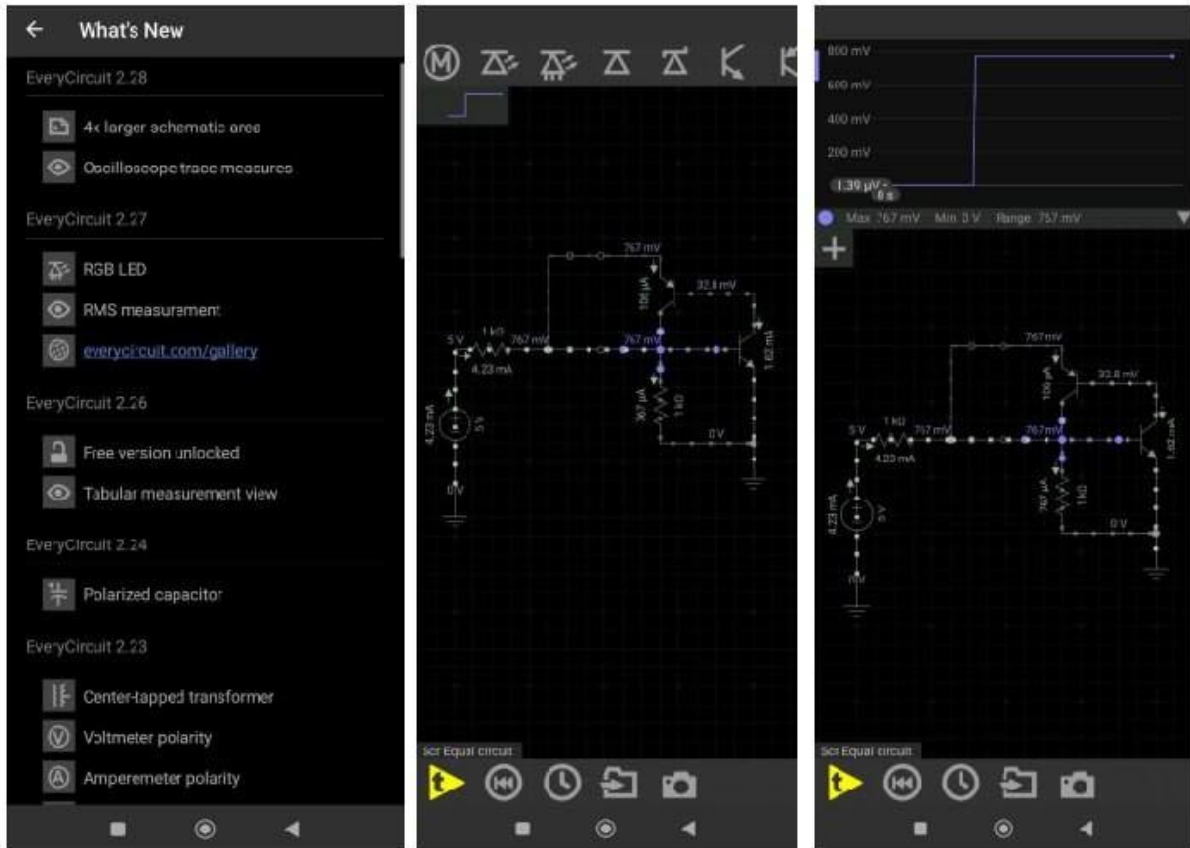
Terdapat kesalahpahaman umum mengenai *software* yang memiliki pembatasan lisensi karena tidak lisensinya tidak dibeli secara utuh. Sekalipun diperoleh secara gratis sekalipun ada sumber daya yang tetap dipergunakan untuk mempelajarinya, yaitu waktu. Waktu yang dihabiskan untuk mempelajarinya adalah investasi dengan sumber daya yang sangat berharga karena tidak bisa diperoleh kembali. Karena itu penggunaan sumber daya waktu di perguruan tinggi untuk mempelajari suatu perangkat lunak harus melalui pertimbangan yang baik. *Software* gratis tetapi dengan lisensi penggunaan yang amat membatasi mendatangkan potensi pendapatan bagi perusahaan pembuatnya. Mahasiswa yang terlanjur terbiasa dengan suatu *software* akan cenderung mempergunakannya juga saat menjadi pekerja komersial. Maka pada tahap tersebut akan ada keperluan untuk membeli lisensi sekalipun berbiaya tinggi. Kemungkinan lain yang dilakukan untuk dapat tetap menggunakan *software* yang sama adalah dengan melakukan pembajakan, yang berpotensi mendatangkan risiko tinggi.

Jika di sebelumnya perangkat lunak simulator SPICE dan variasinya dipergunakan di sistem operasi UNIX dan Microsoft Windows, di masa selanjutnya terdapat yang bisa dipergunakan di lingkungan sistem operasi GNU/Linux. Baik secara langsung maupun dengan bantuan perangkat lunak penunjang kompatibilitas seperti WINE. GNU/Linux dapat diperoleh dan dipergunakan secara bebas dan gratis. Ini akan membantu mengurangi biaya lisensi secara signifikan. Karena itu di penelitian ini juga dikaji penggunaan perangkat lunak di lingkungan sistem operasi GNU/Linux sekalipun di Indonesia belum umum dipergunakan seperti Microsoft Windows.

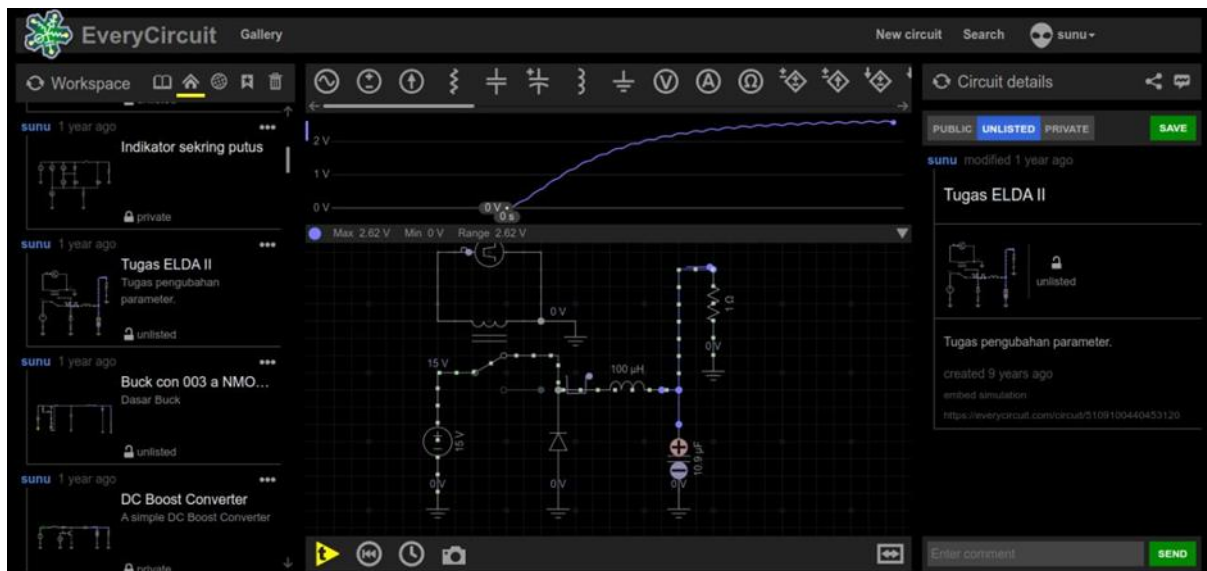
Seiring kemajuan teknologi modern, perangkat lunak simulator yang tadinya hanya dapat dioperasikan di komputer *workstation* atau di komputer personal sekarang dapat dipergunakan secara di ponsel Android. Perkembangan ini sangat membantu pengguna terutama saat dalam tahap belajar atau untuk mengingat kembali dasar operasi komponen Triac. Kemudahan yang diberikan oleh ponsel membuat aktivitas simulasi rangkaian bisa dilakukan di banyak tempat dan berbagai kesempatan. Tidak lagi terbatas oleh keberadaan laptop atau komputer personal desktop. Sebagai contoh adalah aplikasi EveryCircuit, iCircuit, atau Proto, yang kesemuanya bisa diperoleh di Google Play. Di penelitian ini ketiga aplikasi tersebut dicoba untuk dipergunakan sebagai perangkat lunak untuk membantu simulasi rangkaian Triac.

Di antara ketiga aplikasi tersebut, EveryCircuit adalah yang paling awal. Aplikasi ini dapat dioperasikan di ponsel pintar maupun melalui *web browser* di laptop atau desktop. Untuk tampilan di layar ponsel Android dapat dilihat di Gambar 1 sedangkan untuk tampilan

EveryCircuit yang diakses melalui *web browser* Chrome di laptop dengan sistem operasi GNU/Linux dapat dilihat di Gambar 2. Tetapi untuk keperluan penelitian ini, aplikasi EveryCircuit tidak dapat dipergunakan dengan lebih baik karena tidak memiliki model komponen Triac. Karena itu aplikasi ini tidak dimasukkan di dalam alur kerja hasil penelitian ini, sekalipun memiliki keunggulan akses dan simulasi untuk sistem rangkaian analog dan rangkaian digital.

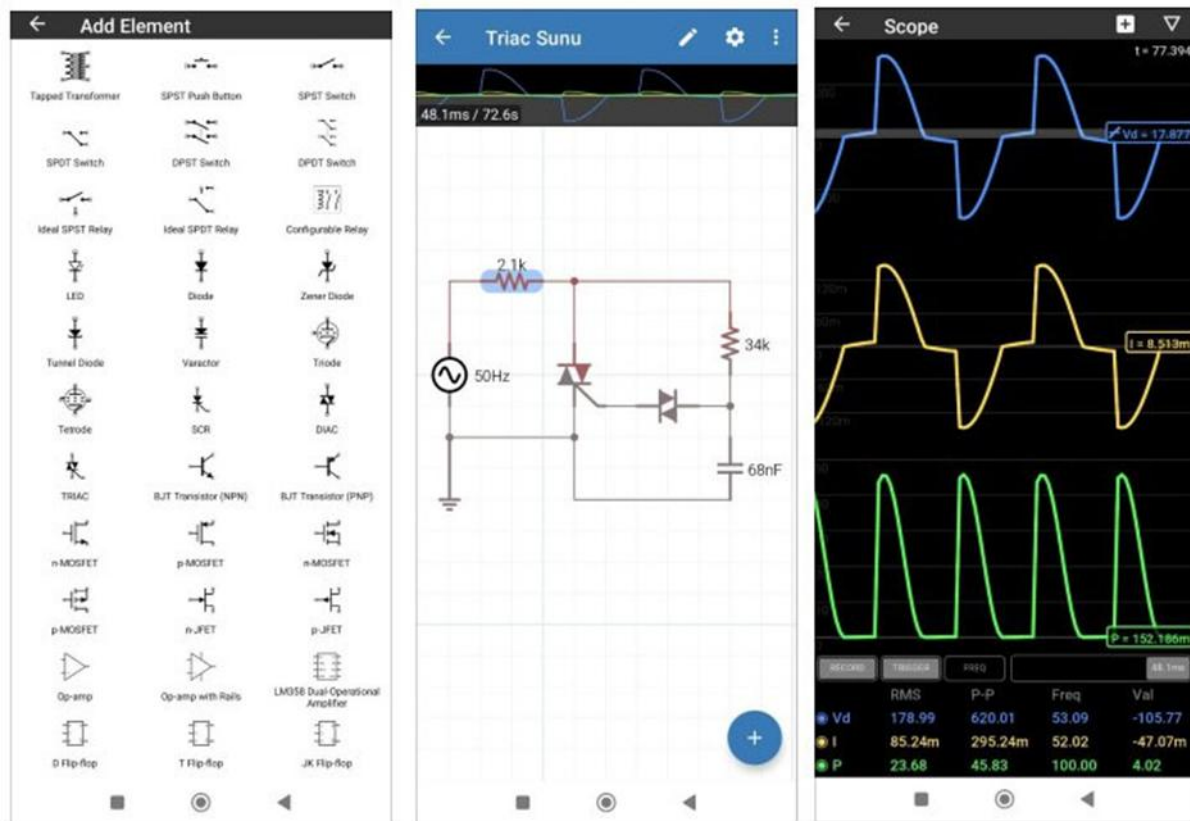


Gambar 1. Tampilan EveryCircuit di ponsel Android.



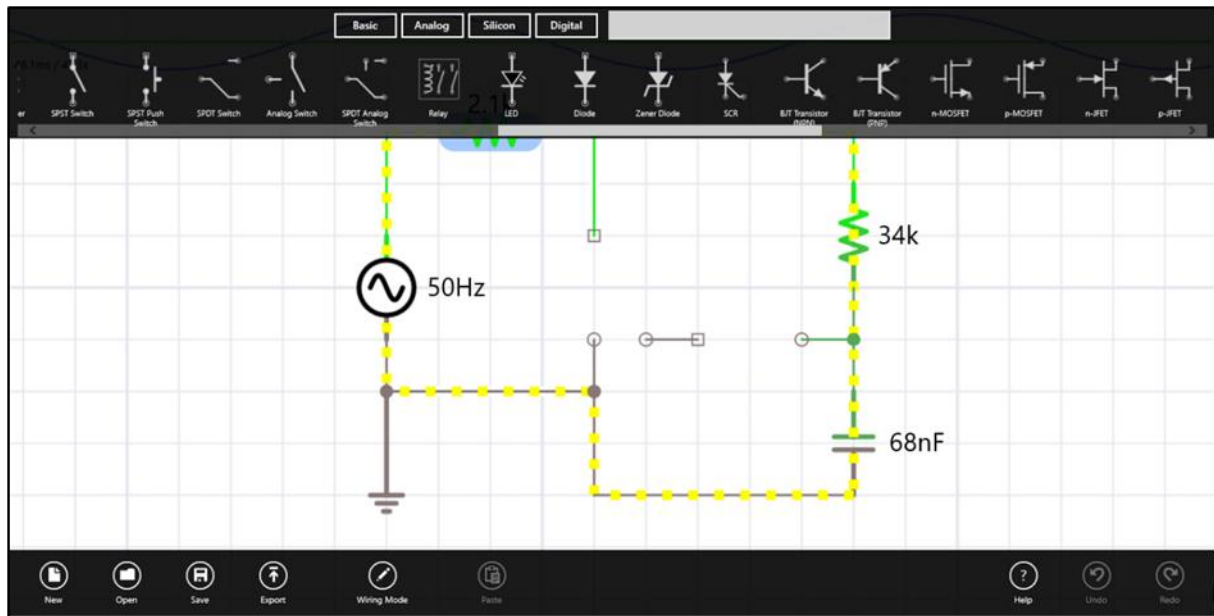
Gambar 2. Antarmuka EveryCircuit di web browser laptop

Aplikasi kedua di ponsel yang dicoba untuk simulasi rangkaian Triac adalah iCircuit. Berbeda dengan EveryCircuit, aplikasi ini telah memiliki model komponen Triac yang bisa disimulasikan di dalam rangkaian. Simulasi yang dipergunakan adalah pemicuan analog menggunakan rangkaian RC. Pembuatan rangkaian simulasi serupa ini penting terutama jika hendak mewujudkan rangkaian Triac dengan pemicuan analog. Pemicuan Phase Angle Control (PAC) (Librathern, 2024) atau yang juga disebut sebagai Phase-fire control (PFC) (Wikipedia, 2024) dapat dilakukan secara digital maupun secara analog seperti yang disimulasikan di iCircuit di Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan simulasi iCircuit di ponsel Android

Selain menggunakan aplikasi di ponsel Android, iCircuit juga menyediakan versi software yang dapat beroperasi di sistem Microsoft Windows. Saat percobaan penelitian ini dilakukan harga perangkat lunak tersebut adalah enam puluh enam ribu rupiah. Yang disayangkan untuk versi Windows, tidak terdapat komponen Triac, sebagaimana dapat dilihat di Gambar 4.

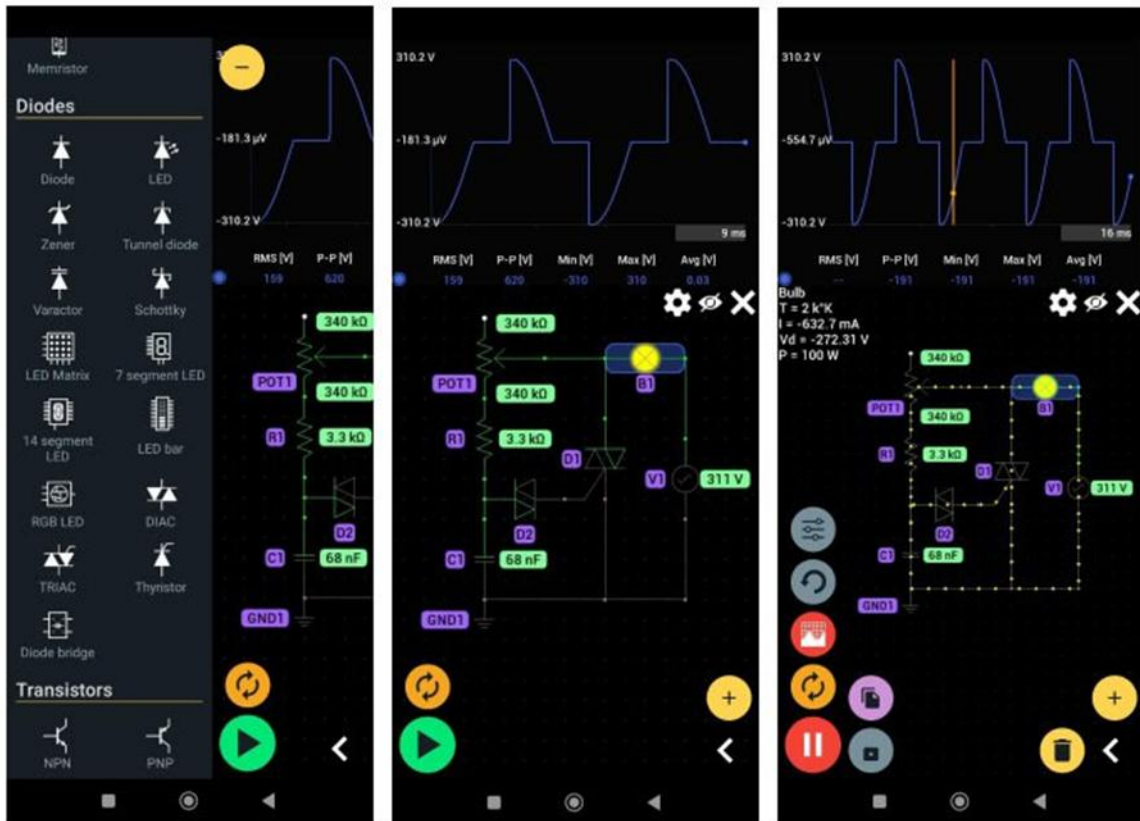


Gambar 4. Antarmuka iCircuit di sistem operasi Microsoft Windows

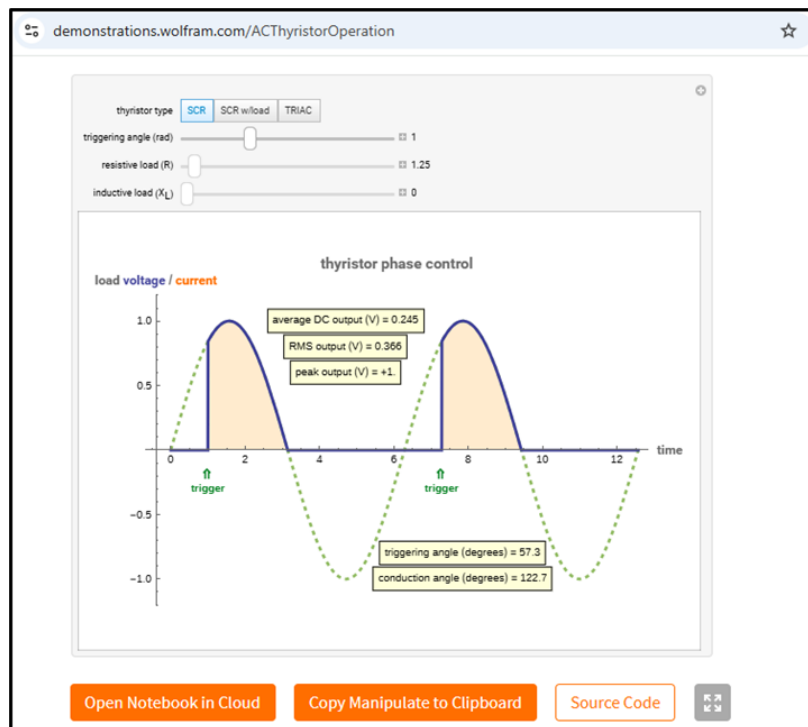
Kekurangan aplikasi iCircuit (di Android maupun di Windows) ini antara lain adalah antarmuka pengguna yang kurang intuitif, sehingga kurang nyaman untuk dipergunakan. Berikutnya, penampilan pengukuran di aplikasi ini cepat berubah sehingga mengganggu upaya pembacaan yang tepat.

Alternatif ketiga untuk simulasi di ponsel Android untuk rangkaian Triac adalah dengan mempergunakan aplikasi PROTO. Di aplikasi ini sudah terdapat rangkaian dimmer yang berbasis komponen Triac sebagaimana dapat dilihat di Gambar 5. Bila dibandingkan dengan aplikasi iCircuit, maka antarmuka PROTO lebih lengkap dan lebih mudah untuk diamati. Sehingga PROTO yang lebih dipilih untuk dipergunakan dalam alur kerja yang direkomendasikan dalam penelitian ini. Meskipun demikian, PROTO juga memiliki kekurangan dalam hal penampilan hasil pengukuran seperti tegangan listrik dan arus listrik. Pembacaan yang ditampilkan berusaha memberi nilai real time yang berakibat pada perubahan nilai yang cepat, termasuk untuk nilai RMS (root mean square). Upaya untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan mengatur ulang nilai time step dan nilai simulation speed hingga diperoleh tampilan yang sesuai.

Implementasi pengaturan penyulutan Triac menggunakan metode PAC atau PFC baik secara analog maupun digital perlu mengacu dan sesuai dengan teori yang baku. Sekalipun akan selalu terdapat sejumlah perbedaan hasil dikarenakan adanya ketidakidealan komponen dan sambungan elektronik. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan matematis atau simulasi yang menggunakan persamaan matematis yang mempergunakan sakelar ideal sebagai bentuk dasar dari komponen Triac. Salah satu caranya terlihat di Gambar 6 yaitu menggunakan Wolfram Player.



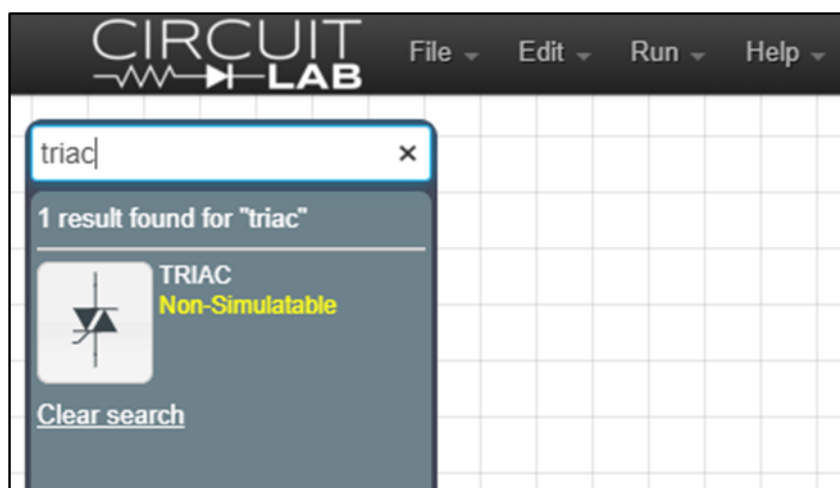
Gambar 5. Aplikasi PROTO untuk ponsel Android



Gambar 6. Simulasi Triac menggunakan online Wolfram Player

Software Wolfram Player memungkinkan untuk melakukan simulasi aplikasi yang bisa dibuat sendiri ataupun oleh orang lain baik secara online di web browser maupun secara offline di komputer (pengguna perlu melakukan instalasi lokal untuk Wolfram Player). Gambar 6 menunjukkan aplikasi yang dibuat oleh Hartman (Hartman, 2008), yang dapat dipergunakan untuk dengan mudah melakukan simulasi perhitungan besar tegangan sebagai akibat dari pengaturan sudut pemicuan (firing angle). Kemampuan aplikasi ini untuk secara mudah memungkinkan pengguna menghasilkan simulasi nilai tegangan menjadi penting karena perhitungan tidak memasukkan unsur ketidakidealan, murni hanya berdasarkan persamaan matematis ideal. Dalam proses pendidikan, ini juga penting untuk benar-benar menanamkan pemahaman dan contoh praktik mengenai kausalitas. Dalam hal ini adalah nilai sudut picu terhadap nilai tegangan beban ideal, setidaknya dalam proporsi dan berupa angka normalisasi. Karena itu sekalipun untuk dapat dengan baik mempergunakannya diperlukan PC (personal computer) seperti laptop (baik online maupun offline), namun simulasi dengan Wolfram Player ini masuk ke dalam alur kerja yang diusulkan.

Untuk simulasi yang menggunakan PC dengan akses online salah satu yang bisa dipakai adalah CircuitLab. Setelah dicoba, salah satu keunggulan perangkat lunak ini adalah pengoperasiannya yang mudah dan ringan untuk memori laptop. CircuitLab tidak membebani web browser sehingga penggunaannya cepat baik dalam tahap pembuatan rangkaian maupun dalam tahap simulasi. Tetapi walaupun CircuitLab banyak dipakai untuk simulasi secara online, dalam penelitian ini software tersebut tidak dapat dipakai karena tidak ada model komponen Triac yang bisa disimulasikan sebagaimana terbukti di Gambar 7.

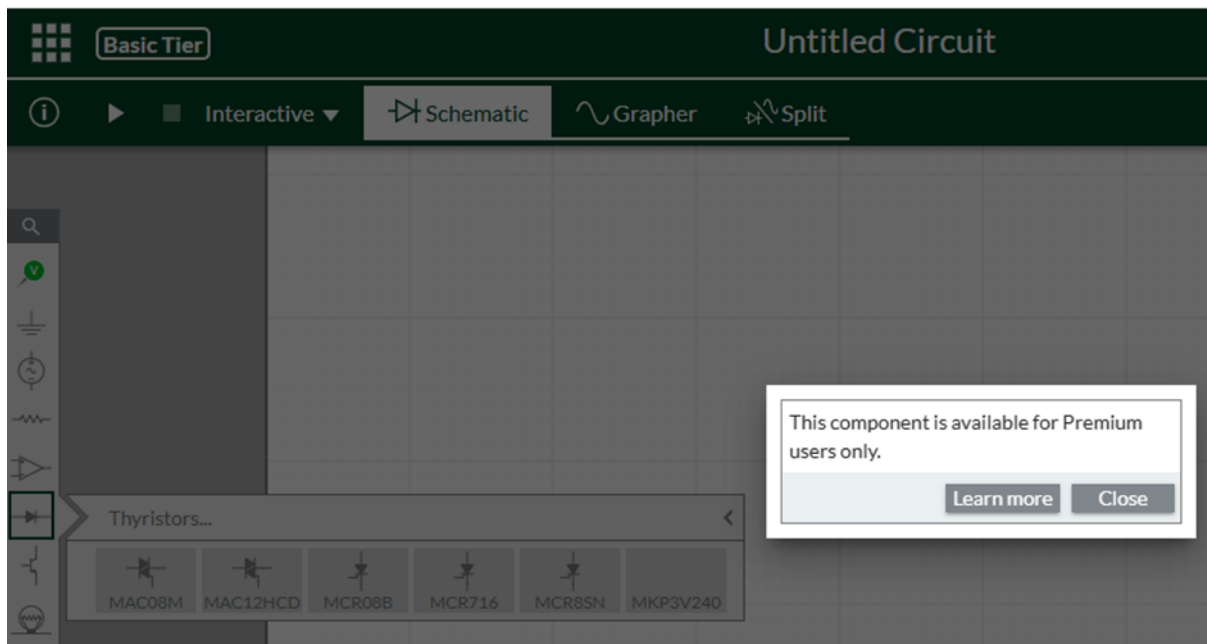


Gambar 7. Komponen Triac di CircuitLab

Multisim yang merupakan perangkat lunak dari National Instruments merupakan simulator rangkaian yang sangat dikenal dan banyak dipergunakan di bidang elektronika. Saat ini terdapat dua tipe aplikasi, yaitu untuk offline dan online dengan menggunakan web browser. Tetapi lisensi penuh untuk simulator Multisim (untuk Microsoft Windows) dapat bernilai di atas

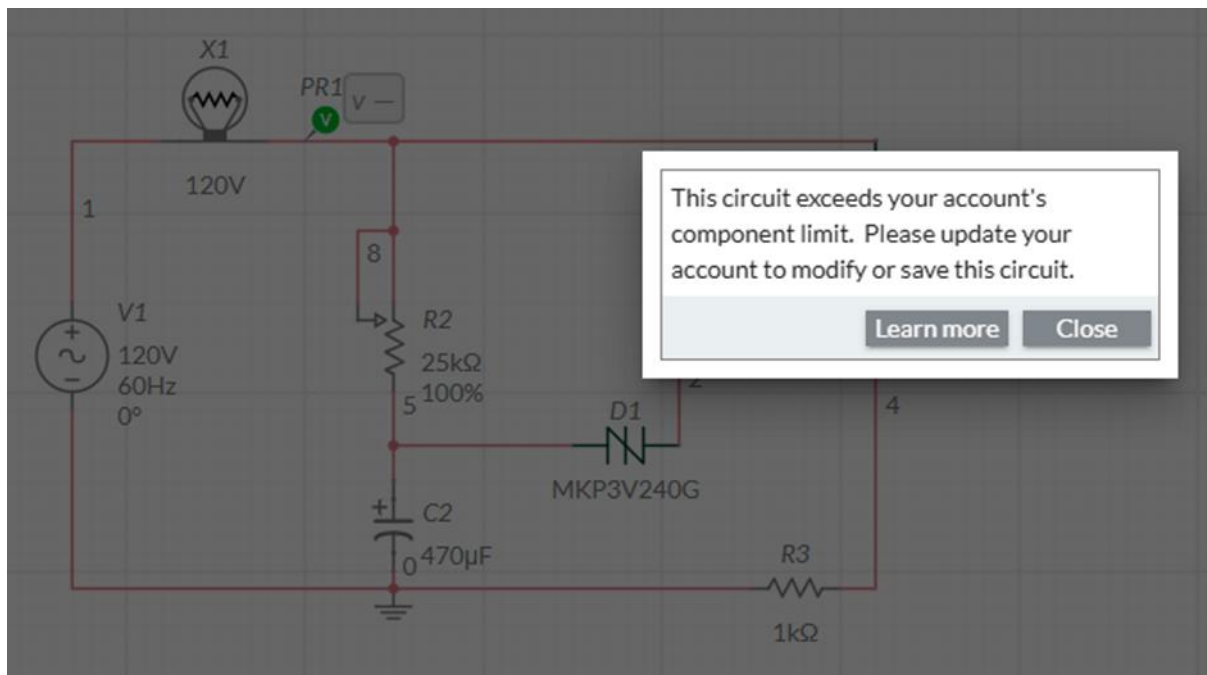
\$ 1500 per tahun, sedangkan lisensi untuk Multisim Live senilai \$ 40 per tahun.

Bila dibandingkan dengan CircuitLab, akses Multisim Live tampaknya membutuhkan sumber daya komputasi yang lebih besar. Yang dapat berdampak pada kecepatan akses dan proses dalam pengoperasiannya. Selain itu jumlah komponen untuk versi bebas pakai sangat dibatasi, bahkan pengguna bersi basic tier tidak dapat menggunakan model komponen Triac untuk simulasi sebagaimana terlihat di Gambar 8.



Gambar 8. Pembatasan akses ke komponen Triac

Bagi pengguna yang benar-benar perlu untuk melakukan simulasi rangkaian Triac di Multisim Live, ada cara untuk bisa mempergunakan komponen Triac meskipun pada dasarnya tidak disediakan untuk pengguna akses gratis. Cara yang ditemukan adalah dengan membuka contoh rangkaian yang telah dibuat oleh orang lain. Lalu pengguna dapat memodifikasi rangkaian tersebut sesuai keperluan, bahkan dengan mengganti komponen atau bentuk rangkaian. Tetapi cara ini pun memiliki potensi masalah, karena beberapa rangkaian tidak dapat disimulasikan karena melebihi batasan yang diberikan (Jessicarngl, 2024). Meskipun rangkaian tersebut tergolong sebagai rangkaian dasar sebagaimana terlihat di Gambar 9. Karena itu, berdasarkan hasil percobaan ini semua versi Multisim tidak dimasukkan dalam alur kerja yang diusulkan.



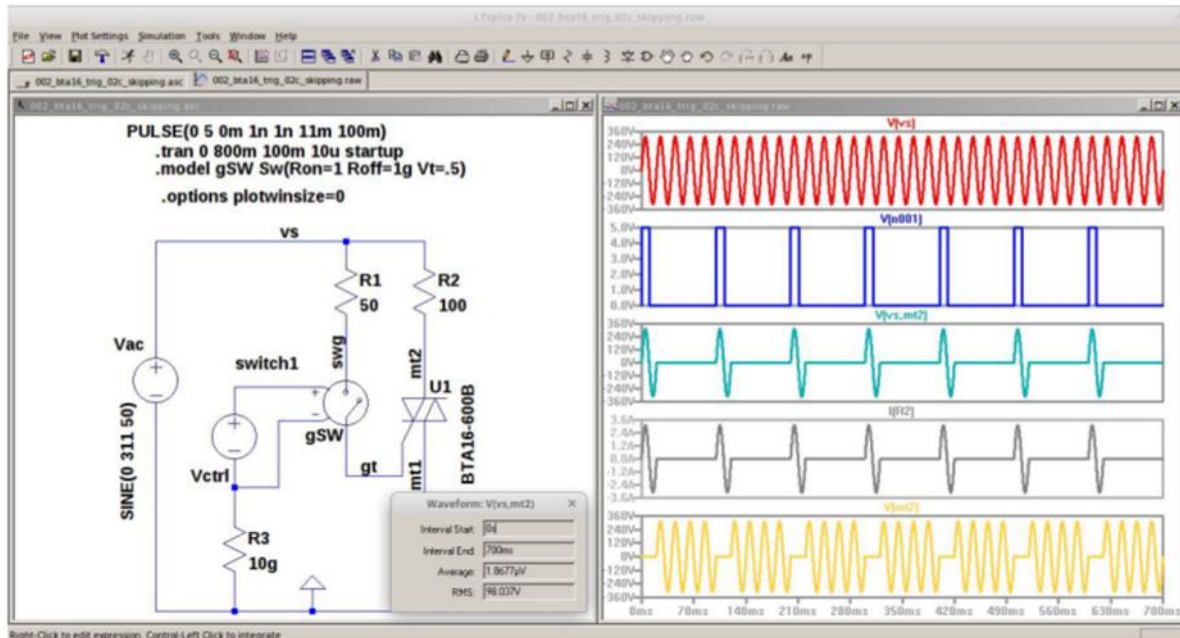
Gambar 9. Pembatasan jumlah komponen di Multisim Live versi basic tier

Untuk simulasi rangkaian Triac dengan menggunakan PC, alternatif lainnya adalah LTspice. Simulator komponen dan rangkaian ini dapat bekerja di lingkungan sistem operasi Microsoft Windows maupun GNU/Linux yang sepenuhnya bebas pakai dan tanpa biaya lisensi. LTspice adalah perangkat lunak yang sepenuhnya gratis yang merupakan versi turunan dari SPICE (Pradana et al., 2013). Ketersediaan LTspice pun sudah teruji, saat masih awal dikembangkan oleh perusahaan Linear Technology sampai sekarang saat perusahaan itu telah diakuisisi oleh Analog Devices. Dengan begitu investasi waktu dan sumber daya lainnya untuk mempelajari penggunaan LTspice merupakan investasi yang baik dan aman. Perangkat lunak ini juga merupakan simulator yang secara de facto adalah standar untuk bidang elektronika daya (power electronics).

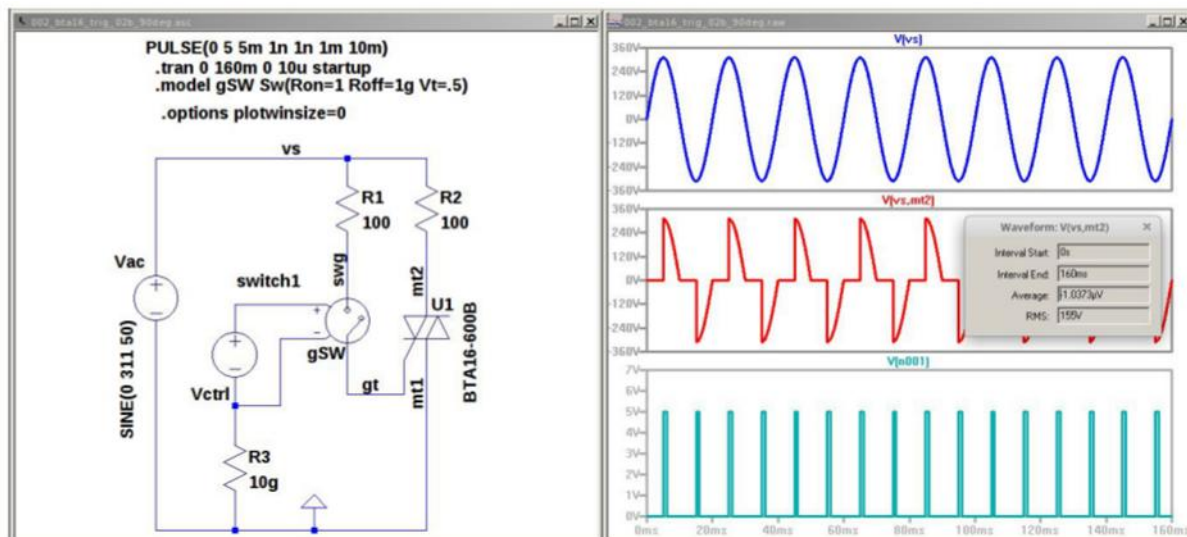
Simulasi rangkaian Triac dengan menggunakan LTspice dapat berupa rangkaian pemecutan analog seperti yang telah dicoba disimulasikan dengan iCircuit maupun PROTO, tetapi dapat juga berupa simulasi pemecutan dengan mode digital. Untuk penyederhanaan terutama di awal proses, rangkaian pemecutan digital dapat dimodelkan dengan menggunakan voltage-controlled switch yang dapat diatur untuk memodelkan sakelar yang mendekati sakelar ideal, seperti di Gambar 10. Cara ini memudahkan pengguna untuk menyimulasikan optotriac seperti MOC3021 secara fungsional tanpa melibatkan kerumitan tambahan akibat kompleksitas model komponen.

Percobaan pertama adalah melakukan pemecutan Triac menggunakan metode Pulse Skipping Modulation (PSM). Di LTspice simulasi diatur sehingga sinkronisasi pewaktuan dilakukan secara internal, sehingga tidak diperlukan rangkaian sinkronisasi tambahan. Kemudahan ini membuat rangkaian dapat dibuat dengan lebih ringkas, sebagaimana tampak di Gambar 10. Sedangkan di Gambar 11, pemecutan dilakukan dengan menggunakan metode Phase

Angle Control (PAC) atau PFC. Jelas terlihat bahwa simulasi untuk kedua metode ini bisa dilakukan dengan baik di LTspice. Oleh karena itu penggunaan perangkat lunak LTspice menjadi bagian utama dari alur kerja.



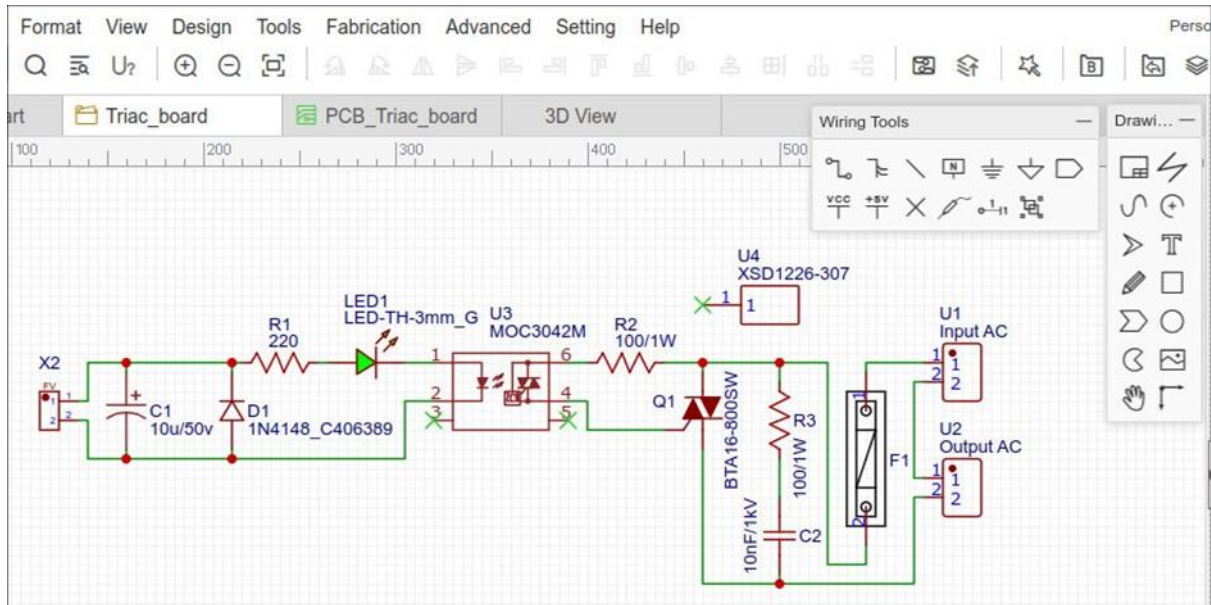
Gambar 10. Simulasi pulse skipping modulation di LTspice



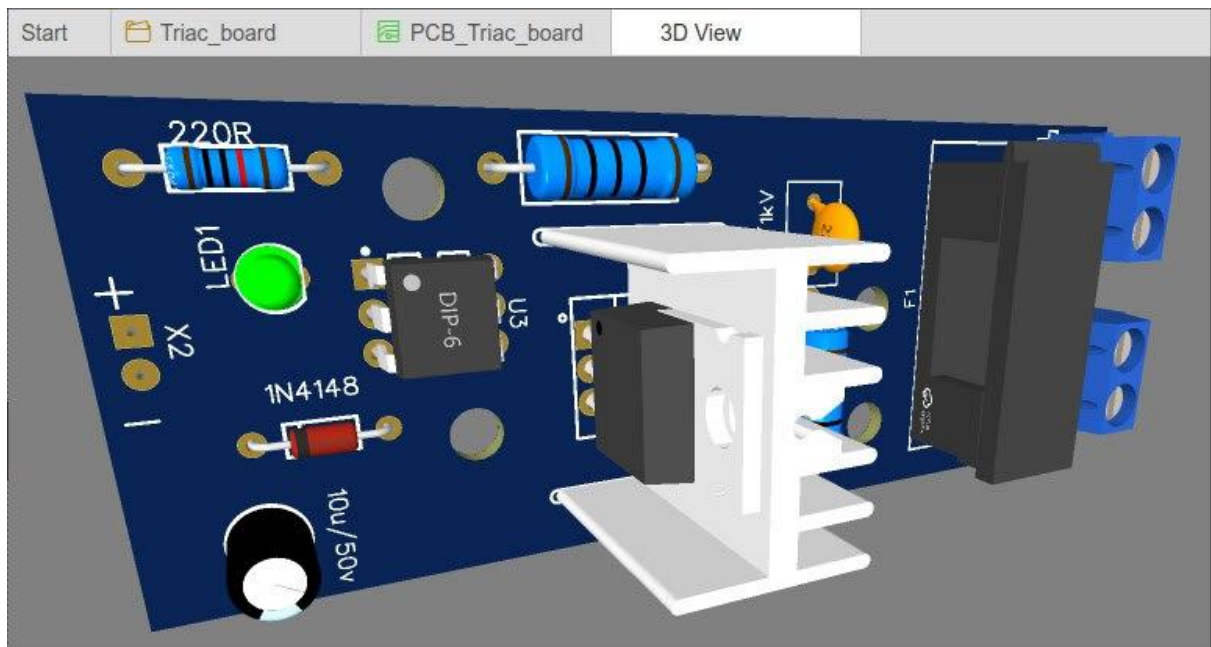
Gambar 11. Simulasi phase angle control di LTspice

Langkah berikutnya dalam rancang bangun suatu sistem elektronika umumnya adalah desain PCB. Untuk itu ada beberapa perangkat lunak yang umum dipergunakan, seperti

Autodesk Eagle, atau EasyEDA. Sekalipun Eagle dapat dipergunakan dengan bebas biaya, terdapat pembatasan dimensi PCB. Karena itu pilihan yang lebih baik adalah dengan mempergunakan EasyEDA, yang merupakan solusi yang gratis bebas pakai dan memadai.



Gambar 12. Skema rangkaian Triac di EasyEDA

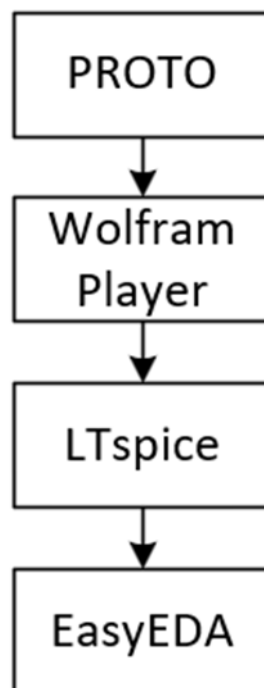


Gambar 13. Tampilan 3D PCB beserta komponen di EasyEDA

Di Gambar 12, adalah skema rangkaian (schematic) untuk rangkaian Triac dengan

pemicuan digital. Yang juga merupakan keunggulan EasyEDA adalah komponen untuk skema dan PCB sudah tersedia dengan jumlah cukup dan dengan variasi yang banyak. Sehingga proses pembuatan skema dan desain PCB menjadi lebih mudah dan lebih cepat. Untuk keperluan penelitian ini, penulis tidak perlu membuat sendiri desain model komponen sebagaimana yang cukup sering terjadi untuk software Eagle.

Sekalipun merupakan perangkat lunak online dan gratis, EasyEDA juga telah memberikan kepada pengguna pilihan untuk dapat menampilkan hasil rancangan dalam bentuk 3D sebagaimana di Gambar 13. Ini memudahkan dalam hal upaya untuk visualisasi produk yang nanti akan diwujudkan.



Gambar 14. Alur kerja (workflow) desain dan simulasi rangkaian Triac

Dari percobaan yang dilakukan di penelitian ini, dihasilkan sebuah alur kerja (Gambar 14) yang efektif untuk mewujudkan suatu rangkaian Triac. Perangkat lunak yang dipergunakan adalah perangkat lunak berbiaya rendah dan bahkan ada yang gratis. Aplikasi di ponsel merupakan aplikasi untuk Android yang berbiaya rendah dan sangat banyak dimiliki oleh masyarakat di Indonesia. Perangkat lunak PC yang dipergunakan bukan hanya dapat dipergunakan di lingkungan sistem operasi Microsoft Windows yang berbayar, tetapi juga bisa dipergunakan di sistem operasi GNU/Linux yang gratis. Wolfram Player dan EasyEDA juga dapat dioperasikan dengan menggunakan akses online tanpa biaya lisensi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai alur kerja desain dan simulasi rangkaian TRIAC menggunakan perangkat lunak berbiaya rendah, dapat disimpulkan bahwa penggunaan perangkat lunak yang lebih terjangkau atau bahkan gratis dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi keterbatasan akses terhadap software simulasi berbayar yang mahal. Studi ini menunjukkan bahwa banyak alternatif perangkat lunak berbasis SPICE, seperti LTspice, Tinkercad, Multisim Live, dan CircuitLab, dapat memberikan hasil simulasi yang cukup akurat dan layak digunakan dalam proses pembelajaran dan penelitian di bidang rekayasa elektronik.

Selain itu, hasil penelitian ini mengungkap bahwa pembiasaan penggunaan perangkat lunak berlisensi legal sejak tahap pendidikan tinggi sangat penting, karena dapat membentuk kebiasaan positif dalam praktik profesional ke depan. Dengan adanya kurikulum yang mendukung penggunaan perangkat lunak alternatif, mahasiswa dapat lebih siap menghadapi dunia kerja tanpa harus bergantung pada software bajakan yang berisiko secara hukum maupun keamanan sistem.

Dalam praktiknya, alur kerja yang dirancang dalam penelitian ini memberikan pendekatan sistematis untuk mempermudah desain dan simulasi rangkaian TRIAC. Pendekatan ini dapat digunakan mulai dari tahap perancangan awal, pemodelan komponen, hingga simulasi akhir untuk memastikan performa rangkaian sebelum implementasi fisik. Keakuratan model yang digunakan dalam perangkat lunak berbiaya rendah memang memiliki beberapa keterbatasan dibandingkan dengan perangkat lunak premium, tetapi tetap cukup untuk kebutuhan akademik dan teknis pada level menengah.

Lebih lanjut, penelitian ini juga menemukan bahwa perkembangan teknologi digital telah memberikan kemudahan bagi pengguna untuk mengakses perangkat lunak simulasi melalui berbagai platform, termasuk komputer desktop, laptop, hingga perangkat mobile berbasis Android. Kemajuan ini semakin membuka peluang bagi perekayasa dan mahasiswa untuk melakukan simulasi kapan saja dan di mana saja, tanpa harus bergantung pada perangkat keras yang mahal.

Untuk meningkatkan efektivitas penggunaan perangkat lunak berbiaya rendah dalam desain dan simulasi rangkaian TRIAC, perguruan tinggi perlu mengintegrasikan perangkat lunak alternatif ke dalam kurikulum teknik elektro dan elektronika, serta menyelenggarakan pelatihan dan workshop bagi mahasiswa dan dosen. Selain itu, pengembangan sumber pembelajaran dalam bahasa Indonesia sangat diperlukan agar perangkat lunak ini lebih mudah dipahami. Pemerintah dan institusi pendidikan juga harus mendukung penggunaan perangkat lunak legal melalui lisensi akademik atau skema kerja sama dengan penyedia software agar akses lebih terjangkau. Eksplorasi terhadap perangkat lunak open-source seperti Qucs, KiCad, dan ngspice juga dapat menjadi solusi alternatif yang fleksibel. Di sisi lain, kesadaran akan bahaya penggunaan perangkat lunak bajakan harus terus ditingkatkan melalui edukasi mengenai risiko hukum dan keamanan. Dengan menerapkan langkah-langkah ini, penggunaan perangkat lunak simulasi berbiaya rendah diharapkan dapat lebih optimal dan berkelanjutan, mendukung inovasi, serta meningkatkan efisiensi dalam bidang rekayasa elektronik.

DAFTAR PUSTAKA

- Allaboutcircuits. (2024). *History of SPICE*.
<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/reference/chpt-7/history-of-spice/>
- Baltzis, K. B., & Koukias, K. D. (2009). Using laboratory experiments and circuit simulation IT tools in an undergraduate course in analog electronics. *Journal of Science Education and Technology*, 18, 546–555.
- Circuitlab. (2024). *CircuitLab*. <https://www.circuitlab.com/>
- Crone, W. C. (2020). Introduction to engineering research. In *Introduction to Engineering Research* (pp. 1–5). Springer.
- Cyr, M., Miragila, V., Nocera, T., & Rogers, C. (1997). A Low-Cost, Innovative Methodology for Teaching Engineering Through Experimentation. *Journal of Engineering Education*, 86(2), 167–171.
- Deb, D., Dey, R., & Balas, V. E. (2019). Engineering research methodology. *A Practical Insight for Researchers*, 153.
- Golubev, L. P., Tkach, M. M., & Makatora, D. A. (2023). Using tinkercad to support online the laboratory work on the design of microprocessor systems at technical university. *Information Technologies and Learning Tools*, 93(1), 80.
- Guacho, M. D., & Rivadeneira, F. M. (2014). Implementation of computer laboratories in schools at low-cost with environmental perspective. *2014 First International Conference on EDemocracy & EGovernment (ICEDEG)*, 39–47.
- Hartman, H. H. (2008). *AC Thyristor Operation / Wolfram Demonstrations Project*.
<https://demonstrations.wolfram.com/ACThyristorOperation>
- Imamhady, H. W., & Handoyono, N. A. (2024). Learning Media Simulators Lighting System with Proteus Software in Vocational Schools. *Journal of Education Technology*, 8(3), 494–502.
- Jessicarngl. (2024). *TRIAC DIAC - Multisim Live*.
<https://www.multisim.com/content/cfwtXqK6dz5f4bR4jr5VYH/triac-diac/>
- Labcenter. (2024). *Commercial PCB Design Software Pricing - Proteus*.
<https://www.labcenter.com/pricing/comm/>
- Librathern. (2024). *Phase Angle Control vs Zero Crossover – Librathern Instruments*.
<https://librathern.com/phase-angle-control-vs-zero-crossover-control/>
- Messler Jr, R. W. (2013). *Engineering problem-solving 101: Time-tested and timeless techniques*. McGraw-Hill Education.
- Mouser. (2024). *Mouser's MultiSIM BLUE*.
<https://www.mouser.com/publicrelationsmousermultisimbluesupportsite2014final>
- Muchlas, M., & Budiastuti, P. (2020). Development of Learning Devices of Basic Electronic Virtual Laboratory Based on PSPICE Software. *Journal of Vocational Education Studies*, 3(1), 1–18.
- Muhamed, S. A., & Kamaruddin, N. M. (2023). The Development of a Hybrid Training Module for Laboratory Practice of Engineering Courses During the Pandemic. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 12(3).
- Multisim. (2024a). *National Instruments Multisim*. <https://www.ni.com/en-us/shop/product/multisim.html>
- Multisim. (2024b). *Online Circuit Simulator - Multisim Live*. <https://www.multisim.com/pricing/>
- Najeeb, A., & Memon, J. A. (2022). Project-based learning for control education during COVID-19 pandemic. *Ifac-Papersonline*, 55(17), 55–60.
- Norbutaev, M. A., & Norbutaeva, S. I. (2023). Possibilities of Using the Electronics Workbench Multisim Software in Studying Electrical and Chemical Engineering. *Journal of Ethics and Diversity in International Communication*.
- Ogbe, B. I. (2024). Application of Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis to Enhance Circuit Design Skills of Electrical Engineering Students in Edo State, Nigeria. *International Journal of Functional Research in Science and Engineering (IJFRSE)*, 3(1).

- Pradana, S., Susanto, A., & Widyawan. (2013). Pemanfaatan LTspice dan DesignSpark PCB untuk Simulasi Rangkaian dan Perancangan PCB. *Proceeding Seminar Ilmu Pengetahuan Teknik 2013 "Teknologi Untuk Mendukung Pembangunan Nasional "*, 127–132.
- Shaw, M. C. (2001). *Engineering problem solving: A classical perspective*. Elsevier.
- Stojmenovic, I. (2010). Editor's note: how to write research articles in computing and engineering disciplines. *IEEE Transactions on Parallel & Distributed Systems*, 21(02), 145–147.
- Svatos, J., Holub, J., Fischer, J., & Sobotka, J. (2022). Online teaching of practical classes under the Covid-19 restrictions. *Measurement: Sensors*, 22, 100378.
- Tenzin, N., Norbu, S., & Dorji, G. (2017). Design, modeling and simulation of low cost robust electric fence energizer in LT SPICE. *2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, 52–55.
- Thiel, D. V. (2014). *Research methods for engineers*. Cambridge University Press.
- Ti.com. (2024a). *PSPICE-FOR-TI Simulation tool*. <https://www.ti.com/tool/PSPICE-FOR-TI/>
- Ti.com. (2024b). *TINA-TI Simulation tool*. <https://www.ti.com/tool/TINA-TI>
- Tinkercad. (2024). *Tinkercad*. <https://www.tinkercad.com/>
- Trunova, I., Arhun, S., Hnatov, A., Apse-Apsitis, P., Kunicina, N., & Myhal, V. (2023). Sustainable approach development for education of electrical engineers in Long-Term online education conditions. *Sustainability*, 15(18), 13289.
- Wikipedia. (2024). *Phase-fired controller*. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Phase-fired_controller
- Zhu, Y., & Howell, S. (2023). Independent and creative learning in a Digital Electronics course using a web-based circuit simulator. *Computer Applications in Engineering Education*, 31(3), 634–641.