

# **BLENDDED LEARNING BERBASIS KONSTRUKTIVISME UNTUK PEMBELAJARAN TEKNIK**

**Oleh: Luh Putu Ary Sri Tjahyanti<sup>1</sup>**

## **Abstrak**

Implementasi pembelajaran praktek di perguruan tinggi sering mengalami kendala ketersediaan ruang dan waktu serta pendekatan yang digunakan. Melalui penelitian ini ingin dihasilkan pembelajaran blended berbasis paham konstruktivisme yang dapat dilaksanakan secara fleksibel, efisien dan memotivasi pesertanya. Untuk melihat kesesuaian model yang dikembangkan dengan prinsip-prinsip belajar konstruktivisme dan dampak pembelajarannya, dilakukan survei persepsi dan pengukuran hasil belajar terhadap 25 orang subjek penelitian. Persepsi digali menggunakan angket sedangkan hasil belajar diukur menggunakan tes formatif. Penyajian informasi persepsi dilakukan dengan teknik persentase dan deskriptif naratif, sedang analisis dampak pembelajaran dilakukan dengan evaluasi menggunakan kriteria penilaian acuan patokan (PAP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran praktek di perguruan tinggi dapat dilaksanakan dengan mudah, efisien, fleksibel menggunakan pendekatan blended learning berbasis paham konstruktivisme dan menghasilkan pencapaian belajar yang cukup baik.

**Kata Kunci : Blended Learning, Konstruktivisme, Pembelajaran Teknik**

## **PENDAHULUAN**

Pembelajaran praktik atau praktikum di lembaga pendidikan tinggi khususnya perguruan tinggi swasta, sering menghadapi masalah-masalah yang terkait dengan kecilnya rasio antara alat yang digunakan terhadap mahasiswa yang mengikutinya. Selain itu, masalah keterbatasan ruang dan alokasi waktu bagi dosen juga sering menjadi faktor penghambat penyelenggaraan kegiatan praktik. Dari sisi mahasiswa, pelaksanaan praktik kurang membangkitkan motivasi dan bahkan dalam beberapa kasus, menjadikan pesertanyamerasa takut menggunakan alat karena khawatir akan rusak. Memperhatikan situasi seperti ini, perlu dilakukan langkah-langkah mencari pendekatan untuk menghasilkan pembelajaran praktek yang fleksibel dari sisi ruang dan waktu, efisien dari sisi pembiayaan dan sekaligus dapat membangkitkan motivasi mahasiswa sebagai pesertanya.

---

<sup>1</sup>Luh Putu Ary Sri Tjahyanti adalah Staf Edukatif di Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Unipas

Salah satu alternatif yang dapat dipilih adalah dengan menyelenggarakan kegiatan pembelajaran praktik menggunakan pendekatan online. Namun, pembelajaran online memiliki kelemahan yang sangat fundamental yakni kurangnya interaksi secara langsung antara pengajar dengan siswanya, terlebih lagi jika pembelajarannya menggunakan online jenis *asynchronously*, sehingga menimbulkan banyak kesalahpahaman pada diri siswa. Untuk mengurangi kelemahan-kelemahan yang terjadi, pembelajaran dapat menggunakan *blended learning*, yakni gabungan antara pembelajaran online yang mengutamakan penggunaan jenis *synchronously* dan tatap muka.

Pembelajaran *blended* diartikan sebagai kombinasi pembelajaran tatap muka dengan pembelajaran didukung komputer (Osguthorpe & Graham, 2003: 227-233). Sejalan dengan pandangan di atas, Mason & Rennie (2006: 17) mendefinisikan pembelajaran *blended* sebagai gabungan antara pembelajaran tatap muka dengan pembelajaran jarak jauh dan *elearning*. Melalui definisi ini telah ditunjukkan bahwa pembelajaran *blended* telah menunjuk pada pembelajaran online sebagai bagiannya, karena pembelajaran jarak jauh dan *e-learning* merupakan implementasi dari pembelajaran online. Sementara itu, Huang, Wei & Huang (2012: 338-349) menyebut pembelajaran *blended* dengan istilah pembelajaran hibrida (*hybrid learning*) dan pembelajaran campuran (*mixed-mode learning*). Definisi yang lebih lengkap tentang pembelajaran *blended* diberikan oleh Hoic-Bozic, Mornar & Boticki (2009: 19-30) yakni sebagai pembelajaran berbasis pada kombinasi yang sangat variatif dari kuliah tatap muka di dalam kelas, pembelajaran melalui internet dan pembelajaran yang didukung oleh berbagai teknologi yang ditujukan untuk menciptakan lingkungan belajar yang lebih efisien.

Graham (2006: 8) menemukan sekurang-kurangnya tiga hal yang menjadi alasan kuat penggunaan pembelajaran *blended* yakni mampu (1) meningkatkan aspek pedagogis, (2) meningkatkan fleksibilitas dan akses siswa terhadap proses pembelajaran maupun sumber-sumber belajar, serta (3) meningkatkan efisiensi pembiayaan.

Peningkatan aspek pedagogis dari pemanfaatan pembelajaran *blended* dapat dilihat dari kenyataan bahwa hampir sebagian besar pembelajaran tatap muka di perguruan tinggi diselenggarakan dengan strategi transmisi pengetahuan satu arah yang menyebabkan pembelajaran berpusat hanya pada dosen dan mahasiswa menjadi kurang

aktif. Pada sisi lain terjadi hal sebaliknya, pembelajaran online mengarahkan mahasiswa belajar berbagai materi yang sangat padat secara mandiri sehingga kesulitan-kesulitan belajar yang dihadapi tidak segera dapat memperoleh penyelesaiannya. Pembelajaran blended mendekati dua keadaan yang ekstrim tersebut dalam sebuah pembelajaran yang menggabungkan kegiatan tatap muka dengan online. Melalui pembelajaran blended dapat ditingkatkan strategi pembelajaran aktif, strategi pembelajaran peer-to-peer, strategi pembelajaran berpusat pada mahasiswa sehingga mampu mengurangi kelemahan-kelemahan yang ada pada pembelajaran tatap muka dan online yang diselenggarakan secara tersendiri.

Melalui pembelajaran blended juga dapat ditingkatkan aksesibilitas mahasiswa terhadap proses pembelajaran. Penyediaan akses yang luas bagi mahasiswa terhadap proses pembelajaran merupakan salah satu kunci keberhasilan dalam penyelenggaraan pembelajaran online. Pembelajaran blended menjadikan mahasiswa dapat memperoleh situasi-situasi yang beragam di luar kondisi lingkungan online yang dapat memberi peluang untuk berinteraksi secara sosial dengan dosen maupun sesama mahasiswa.

Selain itu, melalui pembelajaran blended juga dapat diperoleh fleksibilitas yang tinggi terutama dari sisi waktu pembelajaran yang digunakan. Kegiatan tatap muka yang terus menerus menyebabkan penggunaan waktu kurang fleksibel. Penggabungan pembelajaran online khususnya jenis asinkron ke dalam pembelajaran tatap muka, menjadikan mahasiswa dapat memanfaatkan waktu selain untuk mengikuti pembelajaran juga untuk menggali pengetahuan-pengetahuan di luar materi yang sedang dipelajarinya.

Hasil penelitian terdahulu telah membuktikan bahwa pembelajaran blended memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode konvensional. Mahasiswa yang lulus dengan menggunakan pembelajaran blended mencapai 88%, sedangkan pada pembelajaran konvensional hanya mencapai 63% (Mendez & Gonzales, 2011: 626). Penelitian lain bahkan menunjukkan bahwa implementasi e-learning dan blended learning dapat mengurangi tingkat dropout selama tiga tahun berturut-turut karena melalui pendekatan ini mahasiswa menjadi termotivasi dalam mengikuti pembelajaran (Alonso, Manrique, Martinez & Vines, 2011: 477). Pembelajaran blended juga dapat meningkatkan efektivitas penggunaan dana karena melibatkan pembelajaran online di dalamnya. Suatu kenyataan bahwa pembelajaran tatap muka secara penuh akan

memerlukan dana yang besar apabila diselenggarakan untuk melayani jumlah peserta yang besar. Pembelajaran ini akan memerlukan tersedianya fasilitas dan sumber-sumber belajar yang bersifat fisik seperti ruangan perkuliahan, ruangan praktek, buku-buku pelajaran, dan sumber-sumber belajar bersifat fisik yang lain dengan biaya pengadaan yang besar. Penggunaan pembelajaran blended dapat mengurangi alokasi dana penyelenggaraan karena pembelajaran ini mampu menjangkau peserta dan bahkan area yang luas secara online menggunakan sumber-sumber belajar berbentuk softcopy dan virtual yang pengadaannya lebih murah.

Mempertimbangkan kemampuan pembelajaran blended dalam ketiga hal tersebut, dipandang perlu mengembangkan pendekatan ini untuk diterapkan pada pembelajaran praktek di lingkungan pendidikan tinggi, agar penyelenggaraan pembelajaran praktik dapat fleksibel dan efisien.

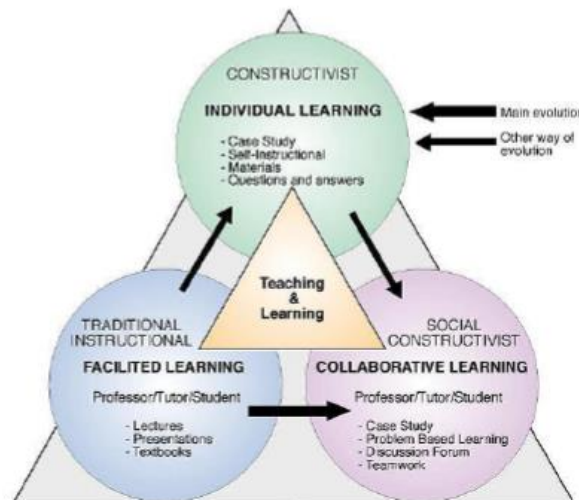
Oleh karena pembelajaran ini merupakan kegiatan eksperimen yang memerlukan alat dan bahan praktik, maka diperlukan suatu media yang dapat menggantikan peran laboratorium real (hands-on laboratory) yang dapat diakses secara online. Salah satu alternatif yang dapat dipilih adalah dengan menggunakan simulator. Dalam konteks ragam laboratorium, simulator dapat diklasifikasikan sebagai laboratorium virtual dengan tingkat realitas tinggi yang mampu menciptakan lingkungan praktik layaknya laboratorium real.

Ma & Nickerson (2006: 3), Krivickas & Krivickas (2006: 191), dan Lustigova & Lustig (2009: 77) menyebutkan bahwa laboratorium di lingkungan pendidikan teknik saat ini dapat diklasifikasikan ke dalam tiga jenis yakni: (1) hands-on yang merupakan laboratorium konvensional dan tertua dengan peralatan real, (2) simulator atau virtual laboratory, dan (3) distributed learning atau remote laboratory. Dua jenis laboratorium yang terakhir infrastruktur dan implementasinya lebih banyak didukung oleh aplikasi teknologi informasi dan komunikasi yang bersifat elektronik, sehingga keduanya sering disebut dengan electronic laboratory atau disingkat dengan e-lab.

Babich & Mavrommatis (2004: 1044) menyatakan bahwa pengertian simulator merujuk pada perangkat lunak simulasi dari peralatan-peralatan fisis seperti instrumen pengukuran atau sistem real lainnya. Definisi lain tentang simulator diberikan Budhu (2002: 2) yang menyatakan bahwa simulator adalah salah satu bentuk dari objek multimedia interaktif. Sedangkan objek multimedia interaktif didefinisikan sebagai

objek-objek kompleks dalam bentuk digital yang tersusun dari format heterogen, terdiri atas teks, hypertext, suara, gambar, animasi, video dan grafik yang mengandung tujuan pembelajaran eksplisit maupun implisit. Selanjutnya Budhu menyebutkan bahwa simulator dapat mencakup program untuk simulasi dua dimensi dan tiga dimensi.

Dengan memerhatikan berbagai tinjauan tentang teori belajar konstruktivisme seperti telah dikemukakan melalui uraian uraian tersebut di atas, dapat diambil pengertian bahwa teori konstruktivisme sangat tepat digunakan sebagai landasan filosofis pengembangan dan penyelenggaraan kegiatan pembelajaran praktek online. Semangat konstruktivisme akan senantiasa melekat pada kegiatan pembelajaran praktek online ini manakala disainnya merupakan turunan dari prinsip-prinsip konstruktivisme seperti perlunya kegiatan praktik berorientasi pada aktivitas open-ended, inkuri dan penemuan, perlunya pendekatan kontekstual dengan menyediakan berbagai simulasi dunia real, dan perlunya kegiatan belajar secara kolaboratif. Ketersediaan teknologi online yang mampu mendukung sepenuhnya implementasi prinsip-prinsip konstruktivisme, menjadikan teori belajar ini semakin tepat sebagai landasan filosofi pembelajaran praktik secara online.



Gambar 1. Ilustrasi model pembelajaran elearning terpadu (blended learning) menggunakan paham utama konstruktivisme (Hasibuan, 2006: 4)

Berdasarkan uraian di atas, dapat dikemukakan bahwa konstruktivisme merupakan teori belajar yang prinsip-prinsipnya sesuai dan dapat diterapkan pada pembelajaran praktik online.

Jadi, tujuan yang ingin dicapai dari studi ini adalah ingin memperoleh disain instruksional pembelajaran praktek di perguruan tinggi khususnya untuk materi rangkaian logika dengan pendekatan pembelajaran blended berbasis paham

konstruktivisme dan model-model kontemporer. Selain itu, melalui studi ini juga akan digali persepsi subjek penelitian terhadap model yang dikembangkan dan pengaruh model terhadap hasil belajar mahasiswa.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan merancang terlebih dahulu perangkatperangkat pembelajaran dan disain instruksional yang diperlukan. Tabel 1 menunjukkan deskripsi perangkat-perangkat yang dibutuhkan dalam pembelajaran online terpadu/blended untuk praktek yang terdiri atas perangkat keras, perangkat lunak dan perangkat pembelajaran.

Selanjutnya, dilakukan proses settingup terhadap perangkat-perangkat pendukung yang dibutuhkan. Dalam penelitian ini disediakan portal laboratorium berbasis content management system menggunakan aplikasi Moodle. Portal ini digunakan untuk mengatur seluruh kegiatan manajemen pembelajaran praktik seperti pengumuman pendaftaran, pembagian kelompok praktek, tes online, administrasi nilai maupun konsultasi tugas.

Tabel 1. Perangkat Pendukung Pembelajaran Praktik Online Terpadu/Blended

Jenis Perangkat	Nama Perangkat dan Spesifikasi
Perangkat Keras	Komputer desktop/laptop: tersambung ke internet, memiliki kemampuan untuk browsing, webcam dan headset
Perangkat Lunak	Sistem Operasi: Windows XP, Windows 7, atau Windows Vista
	Browser: Mozilla Firefox 12.0
	Java Runtime Environment (JRE): Versi 1.3 atau lebih tinggi
	Simulator Breadboard: Versi 1.11
	Program shared-desktop: TeamViewer 7
	PDF Reader: Adobe Reader X (10.1.3)
Perangkat Pembelajaran	Silabus dan Satuan Acara Perkuliahan/Praktik Teknik Digital: Web page, PDF
	Panduan Simulator Breadboard: Webpage, PDF
	Panduan Pembelajaran PraktikOnline: Hardcopy
	Panduan Praktik Teknik Digital: Web page, PDF
	Buku Ajar Teknik Digital: PDF

Disain interaksi yang diharapkan antara dosen pengampu, instruktur/asisten dengan mahasiswa peserta dideskripsikan pada tabel 2.

Tabel 2. Deskripsi interaksi dosen/instruktur dengan mahasiswa

Sesi	Jenis Kegiatan	Deskripsi Interaksi
Ke-1	Tatap Muka	Pemberian materi penggunaan simulator breadboard
Ke-2	Tatap muka	Pemberian materi pembelajaran praktik online dan instalasi persyaratan operasi
Ke-3	Tatap muka	Praktik dengan Hands-on untuk materi awal sebagai prasyarat materi berikutnya
Ke-4	<i>online</i>	Praktik dan evaluasi (pretest, post-test serta tugas laporan) secara <i>online</i>

Untuk menggali persepsi subjek terhadap pembelajaran ini dilakukan survei terhadap 25 orang mahasiswa peserta praktikum Rangkaian Logika dan 10 orang instruktur pada program studi Teknik Informatika Politeknik Ganesha. Analisis data dilakukan dengan presentase dan deskriptif naratif. Sedangkan dampak pembelajaran diukur menggunakan tes pencapaian belajar dan dianalisis menggunakan kriteria Penilaian Acuan Patokan (PAP). Untuk nilai mahasiswa yang tingkat pencapaian rataratanya di atas 60 dianggap telah mencapai ketuntasan belajar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan subjek memberikan persepsi yang positif terhadap aspek interaktivitas dengan derajat persepsi rerata sebesar 75%. Hal ini mengandung makna bahwa subjek merasakan model pembelajaran yang dikembangkan telah menyediakan kelengkapan-kelengkapan yang mampu menumbuhkan kerjasama atau kolaborasi dalam kelompok, dan mampu menciptakan interaksi yang tinggi antar mahasiswa dan perangkat yang tersedia. Dalam menggunakan simulator, mahasiswa merasakan telah bekerja layaknya di lingkungan laboratorium hands-on. Situasi seperti ini menunjukkan bahwa model pembelajaran telah sesuai dengan salah satu prinsip belajar konstruktivisme yakni dekat dengan dunia nyata dan belajar dengan melibatkan negosiasi sosial.

Temuan lain dari penelitian ini menunjukkan subjek memandang bahwa pembelajaran blended yang dilaksanakan telah memberikan tingkat fleksibilitas yang tinggi dari aspek waktu dan tempat praktik. Subjek penelitian merasakan bahwa dengan menggunakan model ini, kegiatan praktik dapat dilaksanakan pada sembarang tempat dan sembarang waktu, sehingga subjek dapat mengatur dirinya sendiri yang merupakan salah satu cermin dari pembelajaran berbasis paham konstruktivisme. Subjek juga merasakan praktik online ini lebih menyenangkan dibandingkan praktik menggunakan laboratorium real dan dapat meningkatkan motivasi belajarnya serta terpenuhi kebutuhan belajarnya. Pada aspek ini, subjek memberikan persepsi pada tingkat baik dengan persentase sebesar 74,7%.

Penelitian ini juga menghasilkan informasi subjek memberikan persepsi yang baik terhadap kemudahan memahami materi atau melaksanakan praktek dengan persentase rerata sebesar 71,4%. Berdasarkan hasil ini, dapat dikemukakan bahwa subjek memandang model yang dikembangkan mengandung materi-materi/kegiatan praktik dengan bahasa yang komunikatif sehingga mudah dipelajari dan mudah dilaksanakan. Subjek juga merasakan memperoleh pengetahuan baru setelah pelaksanaan praktik. Namun, dalam penelitian ini ditemukan mahasiswa masih merasa kesulitan dengan tingkat persepsi sebesar 56% dalam melaksanakan kegiatan praktik online. Kesulitan yang timbul sebagian besar disebabkan kendala-kendala yang berhubungan dengan penyediaan infrastruktur internet, seperti keterbatasan bandwidth yang tersedia sehingga menjadikan lambatnya akses terhadap data yang diperlukan dalam penyelenggaraan praktik online ini.

Dengan tingkat persepsi sebesar 76,9% terhadap aspek keluasan dan kedalaman materi, telah menunjukkan bahwa subjek merasakan materi-materi yang terkandung dalam model yang dikembangkan dirasa tidak terlalu sulit, namun juga tidak terlalu mudah dan dalam jangkauan kemampuan subjek. Dalam hal ini subjek telah memberikan persepsi yang positif terhadap aspek keluasan dan kedalaman materi.

Aspek ketepatan penyajian juga dipersepsikan baik oleh subjek dengan tingkat persepsi rerata sebesar 77,5%. Dalam hal ini, subjek merasa bahwa materi-materi yang disediakan telah disajikan secara bertahap dari mudah ke arah yang sulit, dari sederhana ke arah yang lebih rumit, atau dari bersifat konkrit ke abstrak sesuai kemampuan awal mahasiswa. Hal ini telah menunjukkan adanya kesesuaian pembelajaran yang



dikembangkan dengan salah satu prinsip konstruktivisme yakni pemahaman materi sesuai pengetahuan awal siswa. Subjek juga merasakan penyajian materinya telah dilakukan secara sistematis sehingga mudah dipahami, menarik minat dan perhatian serta mencerminkan hubungan yang erat antar topik praktik.

Sedangkan persepsi subjek terhadap aspek ketepatan evaluasi mencapai tingkat baik dengan persentase sebesar 79,1%. Tingkat persepsi ini menunjukkan bahwa model yang diterapkan telah memenuhi kondisi: (1) menyediakan soal-soal yang sesuai dengan tujuan pembelajaran pada masing-masing praktik, (2) soal-soal yang disajikan dapat memperkuat penguasaan materi, (3) materi soal-soal sesuai dengan konsep-konsep materi yang diberikan pada kegiatan praktik, (4) soal-soal yang diberikan dapat mendorong mahasiswa berfikir kritis, logis, sistematis dan analitis, dan (5) tingkat kesulitan soal-soal diberikan secara gradual dari mudah ke tingkat yang lebih sulit. Dengan diselenggarakannya tes secara online yang dipersepsikan baik oleh subjek ini telah menunjukkan bahwa pembelajaran telah sesuai dengan salah satu prinsip paham konstruktivisme yakni adanya tes formatif pada setiap penyelenggaraan pembelajaran.

Pengaruh pembelajaran blended berbasis paham konstruktivisme terhadap hasil belajar mahasiswa ditunjukkan oleh data hasil tes dari sesi ke-1 sampai dengan sesi ke-8 berturut-turut: 71,25; 60,83; 77,5; 72,08; 55,83; 47,5; 70,41; dan 62,5. Dari data tersebut dapat dinyatakan bahwa dari 8 sesi praktik blended, hanya 2 sesi yang memberikan hasil belajar kurang baik yakni pada sesi ke-5 dan ke-6. Untuk sesi-sesi praktik yang lain, pembelajaran blended berbasis konstruktivisme memberikan pengaruh positif terhadap hasil belajar. Hasil yang kurang baik pada sesi ke-5 dan ke-6 lebih besar disebabkan sifat materi dari kedua sesi tersebut relatif lebih sulit dibandingkan materi pada sesi-sesi yang lain. Hal ini wajar, karena pada sesi ke-5 dan ke-6 mahasiswa memperoleh materi baru yang merupakan pengantar ke materi logika sekuensial, sedangkan pada sesi-sesi sebelumnya mahasiswa memperoleh pembelajaran praktik dengan materi logika kombinasi yang proses pemahamannya relatif lebih mudah.

Dengan demikian dapat dikemukakan bahwa pencapaian belajar yang masih rendah pada sesi ke-5 dan ke-6 ini bukan disebabkan oleh pemberlakuan model, namun lebih dikarenakan sifat materinya yang memiliki tingkat kesulitan lebih tinggi dari materi lainnya. Hasil belajar rata-rata untuk semua sesi praktik menggunakan

blended learning dengan paham konstruktivisme ini menunjukkan nilai sebesar 64,74, merupakan hasil yang dapat dianggap cukup baik.

## **SIMPULAN**

Melalui penelitian ini telah dapat ditunjukkan bahwa pembelajaran praktik di perguruan tinggi dapat dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan blended learning berbasis paham konstruktivisme. Pendekatan yang digunakan telah dapat memberikan hasil belajar yang cukup baik. Selain itu, penelitian ini juga telah menunjukkan bahwa pembelajaran praktik menggunakan pendekatan blended learning berbasis konstruktivisme dapat dilaksanakan dengan mudah, efisien dan fleksibel.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Alessi, S. M., & Trollip, S. R. (2001). *Multimedia for learning: Methods and development*. Boston: Allyn and Bacon.
- Alonso, F., Manrique, D., Martinez, L., & Vines, J. M. (2011). How blended learning reduces underachievement in higher education: An experience in teaching computer sciences. *IEEE Transactions on Education*, 54(3), 471–478.
- Babich, A., & Mavrommatis, K. (2004). Virtual laboratory concept for engineering education. In *International Conference on Engineering Education and Research “Progress Through Partnership.”* Ostrava, Czech Republic.: Technical University of Ostrava.
- Bolliger, D. U. (2006). Creating constructivist learning environment. In *Educational Media and Technology Yearbook* (pp. 119–126). Westport: Libraries Unlimited.
- Budhu, M. (2002). Virtual laboratories for engineering education. In *International Conference on Engineering Education*. Manchester, UK.
- Graham, C. R. (2006). *The handbook of blended learning: Global perspectives, local designs*. San Francisco: John Wiley & Sons, Inc.
- Hasibuan, Z. A. (2006). Integrasi aspek pedagogi dan teknologi dalam elearning: studi kasus pengembangan elearning di fakultas ilmu komputer universitas indonesia. Dalam *Konvensyen Teknologi Pendidikan ke-19*. Lengkawi, Kedah, Malaysia.
- Hoic-Bozic, N., Mornar, V., & Boticki, I. (2009). A blended learning approach to course design and implementation. *IEEE Transactions on Education*, 52(1), 19–30.
- Mendez, J. A., & Gonzales, E. J. (2011). Implementing motivational features in reactive blended learning: Application to an introductory control engineering course. *IEEE Transactions on Education*, 54(4), 619–627.
- Ma, J., & Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys*, 38(3), 1–24.