



POLITEKNIK NEGERI BALI

*matrix*X

JURNAL MANAJEMEN TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA



Editors

Editor-in-chief :

Dr. Anak Agung Ngurah Gde Sapteka (Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali).

Editorial Boards :

Erfan Rohadi, PhD (Teknik Informatika, Politeknik Negeri Malang).

I Gusti Ngurah Agung Dwijaya Saputra, PhD (Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali).

Dr. I Ketut Swardika, ST, Msi (Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali).

I Nyoman Suamir, ST, MSc, PhD (Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali).

Ir. I Wayan Wiraga, MT (Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bali).

I Nyoman Kusuma Wardana, ST, MSc (Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali).

Ni Wayan Wisswani, ST, MT (Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali).

Language Editors :

Gusti Nyoman Ayu Sukerti, SS, MHum (Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali).

Ni Nyoman Yuliantini, SPd, MPd (Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali).

Reviewers

Dr. Isdawimah (Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta).

Dr. Henry B. H. Sitorus (Teknik Elektro, Universitas Lampung).

Dr. Aleksander Purba (Teknik Sipil, Universitas Lampung).

Dr. Eni Dwi Wardihani (Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Semarang).

Dr. Nasrul Ilminnafik (Teknik Mesin, Universitas Jember).

Dr. Muhammad Syahid (Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin).

Dr. Yudi Limpraptomo (Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang).

Dr. Eng. Handri Santoso (Teknik Informatika, Universitas Bandar Lampung).

Dr. Eng. Cahya Rahmad (Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Malang).

Dr. Moechammad Sarosa (Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang).

Dr. Mohammad Noor Hidayat (Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang).

Dr. I Nyoman Sutarja (Teknik Sipil, Universitas Udayana).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadapan Tuhan Yang Maha Esa atas terbitnya Jurnal Matrix Volume 9 Nomor 1 di Bulan Maret Tahun 2019. Pada edisi ini Jurnal Matrix terbit dengan beberapa penyempurnaan pada format penulisan menggunakan standar IEEE dengan harapan dapat memudahkan penulisan dan sitasi Jurnal Matrix. Selain penyempurnaan pada format penulisan juga dilakukan pada penyempurnaan di bidang manajemen dengan menyertakan Bapak Erfan Rohadi, PhD dan Bapak I Gusti Ngurah Agung Dwijaya Saputra, PhD sebagai editor. Hal ini dilakukan untuk menyiapkan suksesi manajemen Jurnal Matrix pada edisi berikutnya.

Adapun artikel ilmiah yang dipublikasikan pada edisi ini ditulis oleh peneliti dari Politeknik Negeri Bali, Politeknik Negeri Madiun, Politeknik Negeri Samarinda, Politeknik Negeri Bengkalis dan Universitas Negeri Malang. Di bidang manajemen teknologi ditampilkan artikel ilmiah mengenai studi eksperimental kinerja temperatur dan energi integrasi Bio-PCM pada chest freezer, artikel ilmiah mengenai teknik sensor cahaya untuk menentukan laju erosi tebing sungai, serta artikel ilmiah mengenai modul praktek PLTS on-grid berbasis micro inverter. Di bidang manajemen informatika ditampilkan artikel ilmiah mengenai sistem informasi terintegrasi evaluasi kegiatan mengajar dosen sebagai implementasi sistem penjaminan mutu internal, artikel ilmiah mengenai location based service untuk pencarian lokasi usaha lokal menggunakan ionic framework serta artikel ilmiah mengenai penerapan algoritma FP-Growth dalam penentuan pola pembelian konsumen pada kain tenun Medali Mas.

Akhir kata, kami menyampaikan terima kasih kepada para reviewer dari Politeknik Negeri Jakarta, Universitas Hasanuddin, Universitas Lampung, Politeknik Negeri Semarang, Universitas Jember, Institut Teknologi Nasional Malang, Politeknik Negeri Malang dan Universitas Bandar Lampung atas usaha dan kerja keras dalam melakukan kajian dan penyempurnaan terhadap artikel-artikel pada edisi ini. Besar harapan kami agar karya dari para penulis pada edisi ini dapat dijadikan referensi bagi peneliti di bidang manajemen teknologi dan informasi.

Politeknik Negeri Bali, 31 Maret 2019

Editor-in-chief Jurnal Matrix

Dr. Anak Agung Ngurah Gde Saptaka

ISSN: 2580-5630



9 772580 563008

DOAJ
DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

Google
Scholar



sinta
Science and Technology Index

Crossref

Daftar Isi

Ardian Prima Atmaja, Aminudin Azis Sistem Informasi Terintegrasi Evaluasi Kegiatan Mengajar Dosen Sebagai Implementasi Sistem Penjaminan Mutu Internal	1-6
I Nyoman Suamir, I Made Rasta Studi Eksperimental Kinerja Temperatur dan Energi Integrasi Bio-PCM Pada Chest Freezer	7-12
Tommy Ekamitra Sutarto Teknik Sensor Cahaya Untuk Menentukan Laju Erosi Tebing Sungai	13-18
Ida Bagus Ketut Sugirianta, I Gusti Ngurah Agung Dwijaya Saputra, I Gusti Agung Made Sunaya Modul Praktek PLTS On-Grid Berbasis Micro Inverter	19-26
Kasmawi, Mansur, Diah Angraina Fitri Location Based Service Untuk Pencarian Lokasi Usaha Lokal Menggunakan Ionic Framework	27-31
Icca Astrina, Muhammad Zainal Arifin, Utomo Pujianto Penerapan Algoritma FP-Growth Dalam Penentuan Pola Pembelian Konsumen Pada Kain Tenun Medali Mas	32-40

Sistem Informasi Terintegrasi Evaluasi Kegiatan Mengajar Dosen Sebagai Implementasi Sistem Penjaminan Mutu Internal

Ardian Prima Atmaja^{1✉}, Aminudin Azis²

¹Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun

²Jurusan Administrasi Bisnis, Politeknik Negeri Madiun

✉atmaja@pnm.ac.id

Abstrak: Tujuan dari Sistem Penjaminan Mutu Pendidikan Tinggi untuk menjamin pemenuhan Standar Pendidikan Tinggi secara sistemik dan berkelanjutan sehingga tumbuh dan berkembang budaya mutu. Politeknik Negeri Madiun belum memiliki sistem informasi penjaminan mutu internal, wajib menerapkan Sistem Penjaminan Mutu Internal (SPMI). Untuk itu diperlukan sebuah sistem berbasis teknologi informasi yang dapat mengelola hasil dari pengendalian mutu di PNM yang dapat diakses oleh mahasiswa secara privat dan *online* yang memungkinkan mahasiswa untuk melakukan evaluasi terhadap proses belajar mengajar para dosen, serta laman khusus untuk pihak Pusat Pengembangan Pembelajaran dan Penjaminan Mutu Pendidikan (P4MP) PNM untuk mengelola dan merumuskan hasilnya sebagai bahan pendukung keputusan, sebagai bagian dari siklus kegiatan SPMI setiap akhir semester. Sistem informasi dibangun menggunakan sebuah framework PHP Laravel dengan metode pengembangan perangkat lunak *Rapid Application Development (RAD)* sehingga menggunakan pendekatan konstruksi berbasis komponen untuk proses pengembangan yang lebih cepat serta lebih fleksibel dalam perubahan desain sistem di tengah proses. Hasilnya, sistem dibangun secara terintegrasi dan digunakan untuk pengelolaan SPMI di PNM yang terdiri dari dua laman, yakni <http://student.pnm.ac.id> sebagai laman kuesioner evaluasi bagi mahasiswa dan <http://imonev.pnm.ac.id> sebagai laman pengelolaan hasil evaluasi oleh mahasiswa yang diakses oleh P4MP PNM.

Kata kunci: *evaluasi kegiatan mengajar dosen, SPMI, sistem informasi evaluasi dosen, Laravel, RAD.*

Abstract: *The aim of Quality Assurance System of Higher Education is to ensure the fulfillment of Standards of Higher Education systemically and continuously for growing and developing the quality culture. Politeknik Negeri Madiun is obliged to apply Internal Quality Assurance System (SPMI). To realize the objectives of SPMI Dikti, it is needed an information technology based system that can manage the result of quality control from PNM which can be accessed via online by students privately and allows the students to evaluate the teaching and learning process of the lecturers. A special access for PNM's Center for Education Quality Assurance and Development (P4MP) to manage and define the results as decision support materials, as part of the SPMI activity cycle at the end of each semester. The information system is built using a PHP framework Laravel with Rapid Application Development software (RAD) software development method so that it uses a component-based construction approach for faster development process as well as more flexible changes in system design in the middle of the process. As a result, the system was built in an integrated manner and being used for the the activity of SPMI in PNM which consisted of two pages; <http://student.pnm.ac.id> as the evaluation questionnaire page for students and <http://imonev.pnm.ac.id> as management evaluation results page accessed by PNM P4MP.*

Keywords: *evaluation of teaching activities of lecturers, SPMI, lecturer evaluation information system, Laravel, RAD.*

I. PENDAHULUAN

Pada tanggal 28 September 2016 telah diundangkan Permenristekdikti No. 62 Tahun 2016 Tentang Sistem Penjaminan Mutu Pendidikan Tinggi. Di dalam Pasal 2, disebutkan bahwa tujuan dari Sistem Penjaminan Mutu (SPM) Dikti adalah menjamin pemenuhan Standar Pendidikan Tinggi secara sistemik dan berkelanjutan, sehingga tumbuh dan berkembang budaya mutu [1]. Sedangkan fungsi dari SPM Dikti adalah mengendalikan penyelenggaraan pendidikan tinggi oleh perguruan tinggi untuk mewujudkan pendidikan tinggi yang bermutu [2]. Menurut Pasal 53 dan Pasal 52 ayat (4) UU Dikti, SPM Dikti terdiri atas (a) Sistem Penjaminan Mutu Internal (SPMI) yang dilaksanakan oleh perguruan tinggi; (b)

Sistem Penjaminan Mutu Eksternal (SPME) yang dilakukan melalui akreditasi oleh BAN-PT atau Lembaga Akreditasi Mandiri (LAM); dan (c) Pangkalan Data Pendidikan Tinggi (PD DIKTI) sebagai dasar pelaksanaan SPMI dan SPME yang dikelola oleh setiap perguruan tinggi dan Kemenristekdikti.

Politeknik Negeri Madiun (PNM) sebagai bagian dari perguruan tinggi di bawah Kemenristekdikti dirasa wajib untuk menerapkan SPMI yang berjalan secara otonom untuk mengendalikan dan meningkatkan penyelenggaraan pendidikan tinggi secara sistemik, berencana dan berkelanjutan. Adapun mekanisme SPMI yang diimplementasikan oleh setiap perguruan tinggi memiliki siklus kegiatan yang disingkat sebagai PPEPP yang terdiri dari Penetapan, Pelaksanaan, Evaluasi, Pengendalian dan

Peningkatan. Untuk mewujudkan tujuan dari SPMI Dikti tersebut, maka diperlukan sebuah sistem berbasis teknologi informasi yang dapat mengelola hasil dari pengendalian mutu dari perguruan tinggi PNM sebagai hasil dari implementasi SPMI secara lebih efektif dan cepat.

Berdasarkan pada latar belakang yang telah disampaikan sebelumnya, permasalahan yang menjadi fokus penelitian ini adalah bagaimana mengembangkan sebuah sistem informasi manajemen evaluasi kegiatan mengajar dosen dengan studi kasus Politeknik Negeri Madiun dalam perkuliahan dan praktikum. Perkuliahan dan praktikum digunakan sebagai kegiatan pembandingan antara luaran kegiatan pemenuhan standar dengan standar yang terdiri atas SN Dikti dan Standar Dikti yang telah ditetapkan oleh PNM yang bersifat *paperless* dan berbasis web sehingga dapat diakses oleh penilai dalam hal ini mahasiswa kapanpun dan dimanapun menggunakan perangkat yang terhubung dengan internet. Data dosen dan mahasiswa yang digunakan untuk implementasi merupakan data riil dan terintegrasi yang bersumber dari Sub. Bagian Akademik dan Sub Bagian Umum (Kepegawaian) Tahun Akademik 2017/2018. Evaluasi menggunakan metode kuisioner *online* dengan cara mahasiswa mengisi penilaian terhadap dosen pengajar masing-masing kuliah pada sebuah semester tahun akademik.

II. METODE PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Melakukan studi terhadap sumber-sumber pustaka yang mendukung penelitian yakni berupa buku pedoman Sistem Penjaminan Mutu Pendidikan Tinggi tahun yang diterbitkan oleh Kementerian Ristekdikti tahun 2017, buku-buku teks penunjang pemrograman web dan hasil penelitian yang telah dikembangkan oleh para peneliti lainnya. Menurut buku Pedoman Sistem Penjaminan Mutu Pendidikan Tinggi yang diterbitkan Kemenristekdikti pada tahun 2017, Sistem Penjaminan Mutu Internal (SPMI) merupakan bagian dari struktur Sistem Penjaminan Mutu (SPM) Dikti selain Sistem Penjaminan Mutu Eksternal (SPME) dan Pangkalan Data (PD) Dikti. SPMI merupakan kegiatan sistemik penjaminan mutu pendidikan tinggi oleh setiap perguruan tinggi secara otonom untuk mengendalikan dan meningkatkan penyelenggaraan pendidikan tinggi secara berencana dan berkelanjutan sehingga tercapai tujuan dari SPM Dikti yakni menjamin pemenuhan standar dikti secara sistemik dan berkelanjutan sehingga tumbuh dan berkembang budaya mutu di setiap perguruan tinggi di Indonesia. Hal tersebut sebagaimana telah diatur dalam Permenristekdikti No. 62 Tahun 2016 Tentang Sistem Penjaminan Mutu Pendidikan Tinggi. Di dalam Pasal 2, disebutkan bahwa tujuan dari Sistem Penjaminan Mutu (SPM) Dikti adalah menjamin pemenuhan Standar Pendidikan Tinggi secara sistemik dan berkelanjutan, sehingga tumbuh dan berkembang budaya mutu. Sedangkan fungsi dari SPM Dikti adalah mengendalikan penyelenggaraan pendidikan tinggi oleh perguruan tinggi untuk mewujudkan pendidikan tinggi yang bermutu [2].

Adapun mekanisme dari SPMI diawali oleh perguruan tinggi dengan mengimplementasikan SPMI melalui siklus kegiatan yang disingkat PPEPP, antara lain Penetapan (P), Pelaksanaan (P), Evaluasi (E), Pengendalian (P), Peningkatan (P). Dalam hal Evaluasi (E) pelaksanaan standar Dikti, hal tersebut merupakan kegiatan pembandingan antara luaran kegiatan pemenuhan standar dengan standar yang terdiri atas SN Dikti dan Standar Dikti yang telah ditetapkan oleh perguruan tinggi. Sehingga menurut buku Pedoman Sistem Penjaminan Mutu Pendidikan Tinggi yang diterbitkan Kemenristekdikti pada tahun 2017, setiap perguruan tinggi dapat mengembangkan sendiri SPMI sesuai dengan latar belakang sejarah, nilai dasar yang menjiwai pendirian perguruan tinggi itu, jumlah program studi dan sumber daya manusia, sarana dan prasarana tanpa campur tangan pihak lain. Prinsip dari SPMI dapat dirangkum sebagai antara lain: (a) Otonom, (b) Terstandar, (c) Akurasi, (d) Berencana dan berkelanjutan, dan (e) Terdokumentasi.

Hal tersebut dijalankan untuk mencapai dua tujuan dari SPMI antara lain : (a) Pencapaian visi dan pelaksanaan misi perguruan tinggi tersebut, dan (b) Pemenuhan kebutuhan pemangku kepentingan (stakeholder) perguruan tinggi tersebut. Sistem dapat dikembangkan menjadi Sistem Informasi Manajemen (SIM). Sistem Informasi Manajemen bertujuan menghasilkan informasi yang berguna untuk sebuah organisasi. Dengan demikian, informasi yang dihasilkan harus berkualitas dan akan menentukan efektivitas pengambilan keputusan.

Sistem evaluasi untuk kinerja dosen pernah dikembangkan oleh Syahril di STIKES Baiturrahim Jambi. Pengembangan sistem dilakukan dengan pendekatan berorientasi objek yang menghasilkan *prototype* Sistem Informasi Evaluasi Kinerja Dosen. Dalam sistem tersebut, peneliti mengubah kuesioner yang sebelumnya bersifat *print paper* menjadi *online*. Namun untuk laman pengelolaan menjadi satu dengan laman yang digunakan oleh mahasiswa untuk mengisi kuesioner dan pengelolaan akademik lainnya [3].

Kertiasih dalam penelitiannya mengembangkan sistem berbasis internet dalam bentuk *prototype* untuk sistem evaluasi kualitas pembelajaran berbasis web [4]. Metode yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada *software life cycle* dengan paradigma *Waterfall* yang meliputi 6 tahapan, yaitu: 1) tahap perencanaan, 2) tahapan analisis, 3) tahap perancangan, 4) tahap pengembangan, 5) tahap pengujian, dan 6) tahap penerapan. Namun, kelemahan menggunakan metode *Waterfall* adalah bersifat kaku sehingga sulit melakukan perubahan di tengah proses. Jika terdapat kekurangan proses atau prosedur dari tahap sebelumnya, maka tahapan pengembangan harus dilakukan mulai dari awal lagi. Hal ini dapat memakan waktu yang lebih lama. Kelemahan lain dari penggunaan metode *Waterfall* adalah membutuhkan daftar kebutuhan yang lengkap sejak awal. Tetapi pada banyak kondisi, *user* sering melakukan permintaan di tahap pertengahan pengembangan sistem. Dan di sisi lain, *user* tidak dapat mencoba sistem sebelum sistem benar-benar selesai. [5].

Penelitian Harisantoso mengevaluasi kinerja fakultas di STKIP PGRI Situbondo berdasarkan persepsi

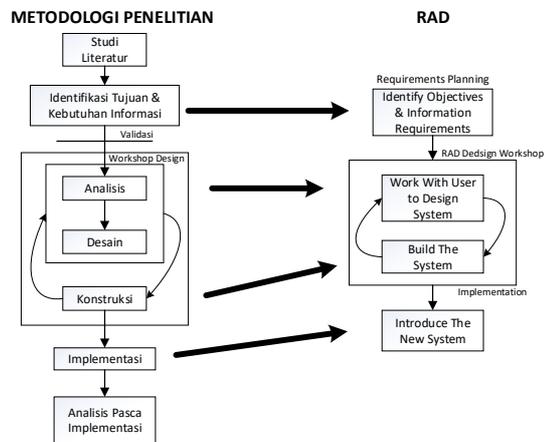
mahasiswa. Metode penelitian ini adalah sensus karena objek penelitian mencakup semua mahasiswa di perguruan tinggi tersebut. Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah teknik *simple random sampling*, yaitu setiap responden mempunyai probabilitas yang sama untuk dipilih. Berdasarkan hasil pengolahan *sampling* yang dilakukan, diperoleh sampel hanya sebesar 88 responden dari populasi [6]. Sedangkan Nuraeni dalam penelitiannya mengembangkan sebuah sistem informasi penjaminan mutu SDM yang dapat berfungsi untuk memudahkan bagi perguruan tinggi dalam menjalankan penjaminan mutu, sehingga proses penjaminan mutu bisa dijalankan melalui tahap-tahap yang terangkai dan didukung oleh pangkalan data (basis data), sistem informasi manajemen, dan sistem pendukung keputusan yang terintegrasi. Sistem yang dibangun berdasarkan empat tahap, yaitu model proses sistem rekrutmen SDM, model proses monitoring dan evaluasi kinerja SDM, model proses pemberian *reward* dan *punishment*, model proses pembinaan dan pengembangan. Berdasarkan model-model proses yang dibangun maka diperlukan beberapa modul aplikasi sesuai dengan karakteristik masing-masing model proses tersebut [7].

Perangkat lunak sistem evaluasi kegiatan mengajar dosen ini dibangun dengan metode pengembangan *Rapid Application Development* (RAD). RAD merupakan sebuah model proses pengembangan perangkat lunak yang menekankan pada siklus pengembangan yang sangat pendek [5]. Pada penelitian Noertjahyana disebutkan bahwa (RAD) merupakan proses pengembangan *software incremental*, yang menekankan pada siklus pengembangan yang sangat pendek. Untuk pengembangan suatu sistem informasi yang normal membutuhkan waktu minimal 180 hari, akan tetapi dengan menggunakan metode RAD suatu sistem dapat diselesaikan hanya dalam waktu 30-90 hari [8].

Model RAD merupakan sebuah adaptasi dari model sekuensial linier dimana pengembangan cepat dapat dicapai dengan menggunakan pendekatan konstruksi berbasis komponen. RAD menekankan pengembangan komponen program yang bisa dipakai kembali (reusabilitas). Pendekatan RAD meliputi fase-fase; *Business Modelling, Data Modelling, Process Modelling, Application Generation, Testing and Turnover* [5]. Pada penelitian Saputra dan Siahaan, digunakan metode penelitian yang mengadopsi metode RAD. Apabila digambarkan, maka alurnya seperti pada Gambar 1 [9].

Pada Gambar 1 terlihat metode yang digunakan memiliki 7 aktivitas utama, yakni Identifikasi Tujuan dan Kebutuhan Informasi, Validasi, Analisis, Desain, Konstruksi, Implementasi, dan Analisis Pasca Implementasi. Aktivitas-aktivitas utama tersebut merupakan *software process*.

Penelitian RAD lainnya yakni penelitian Hartono yang berupa studi kasus dengan data yang diperoleh berupa data kualitatif dan kuantitatif. Metode pengumpulan data pada penelitian tersebut berupa wawancara dan observasi. Dalam pengembangan sistem, digunakan metode *Rapid Application Development* (RAD) karena lebih cepat dan murah. Adapun tahapan metode RAD yang dilakukan



Gambar 1. Persamaan metode penelitian dengan metode RAD.

meliputi investigasi awal, analisis masalah, analisis kebutuhan sistem, analisis *cost benefit*, pembuatan database dan perancangan *prototype* [10].

Sedangkan dalam pemrograman sistem berbasis web, peneliti menggunakan *framework* PHP Laravel. Pemilihan Laravel ditentukan berdasarkan penelitian Benmoussa, dkk. yang melakukan pemodelan pragmatis dan lengkap dengan cara membandingkan dan mengevaluasi beberapa *framework* PHP. Ada empat *framework* yang dipilih, yakni Laravel, Symfony, Zend, dan Codeigniter. Pemodelan didasarkan pada kriteria-kriteria perbandingan antara lain; daya tahan intrinsik, solusi industri, kemampuan beradaptasi secara teknis, strategi, arsitektur teknis, dan kecepatan. Hasil menunjukkan bahwa nilai-nilai kriteria yang dihasilkan memungkinkan pengembang untuk dengan mudah dan benar memilih *framework* PHP yang paling memenuhi kebutuhan mereka. Sedangkan Laravel dapat digunakan untuk pengembangan aplikasi berskala besar dengan waktu yang relatif cepat bahkan dengan sumber daya yang kurang berpengalaman [11].

Yu dalam makalahnya menyatakan bahwa Laravel membuat proses pengembangan terstandarisasi, dan memproses beberapa hubungan logika non bisnis secara otomatis. Makalah tersebut juga mendesain dan mengimplementasikan model Laravel sederhana, yang terdapat pemrosesan otomatis di dalamnya. Eksperimen dan simulasi membuktikan bahwa pengembangan *web* berbasis *framework* Laravel memiliki skalabilitas yang kuat, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dari proses pengembangan [12]. Penelitian sebelumnya juga pernah dilakukan oleh Mediana yakni membangun aplikasi *Helpdesk* berbasis web menggunakan *framework* Laravel yang juga dengan menggunakan metode RAD. Hasilnya, aplikasi *Helpdesk* yang dibangun membantu kinerja pegawai dalam manajemen data dan pengaduan masalah dengan cepat [13].

B. Wawancara

Wawancara dilakukan untuk menggali informasi yang dimiliki oleh *stakeholder*, dalam hal ini Pusat Pengembangan Pembelajaran dan Penjaminan Mutu

Pendidikan (P4MP) dan beberapa unit terkait di PNM. Informasi yang diperoleh akan menambah pengetahuan yang didapat melalui metode pengumpulan data sebelumnya, khususnya bagaimana penerapannya di lingkungan PNM. Wawancara juga akan menyimpulkan bagaimana rencana skenario implementasi sistem yang akan dikembangkan pada penelitian ini, yakni akan di-*install* di server PNM dan dapat diakses menggunakan akun tertentu menggunakan perangkat komputer maupun *smartphone*.

C. Analisis

Tahap ini menganalisis permasalahan awal yang ditemukan pada domain permasalahan yaitu pada operasional mekanisme dari SPMI di PNM, yakni dengan mengimplementasikan kegiatan evaluasi yang menjadi bagian dari siklus kegiatan SPMI yang disingkat PPEPP yang terdiri dari Penetapan (P), Pelaksanaan (P), Evaluasi (E), Pengendalian (P), dan Peningkatan (P). Kegiatan tersebut dikelola oleh P4MP PNM. Tahapan ini akan memahami aturan bisnis dari kegiatan evaluasi tersebut di PNM, dan menentukan arah pengembangannya dengan memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi. Tahap analisis juga menentukan batasan masalah dan metode rekayasa perangkat lunak yang dipilih untuk mengembangkan sistem yang telah ada tanpa menggantikan fungsi dari sistem yang sudah ada dan digunakan.

D. Perancangan dan Implementasi

Setelah melalui tahap analisis, maka dilakukan tahap perancangan. Tahap ini terdiri dari tiga hal, antara lain:

1) Perancangan database evaluasi kegiatan mengajar dosen PNM.

Entitas-entitas data (tabel) yang telah ada pada data *warehouse* PNM dianalisis dan disesuaikan dengan cara menambah beberapa *field* tabel untuk sistem evaluasi yang akan dibangun. *Data warehouse* yang digunakan di PNM berbasis Microsoft SQL Server dan MySQL. Database ini akan digunakan sebagai penyimpanan dan penghubung data-data pada sistem yang dibangun. Tabel yang direlasi oleh sistem yang dikembangkan merupakan tabel-tabel yang berisi data-data yang terkait, misalnya dosen, mahasiswa, matakuliah, dan kelas. Sehingga pada akhirnya tercipta sebuah diagram relasi *data warehouse* yang terintegrasi.

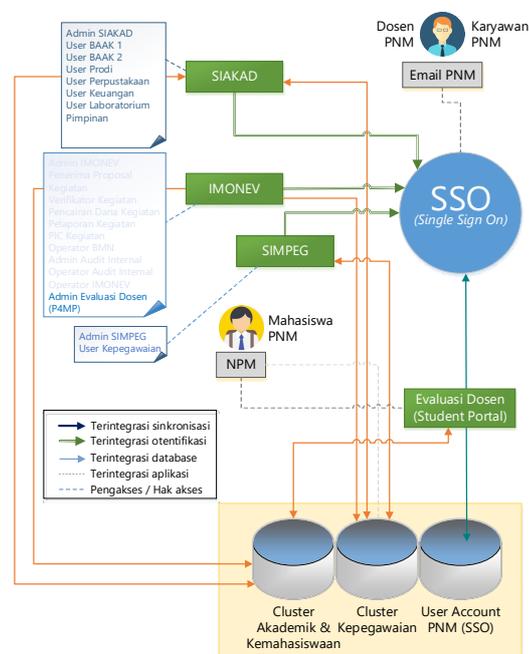
2) Desain antarmuka aplikasi dan pemrograman.

Pada tahap ini, dilakukan pendesainan tampilan antarmuka halaman-halaman *web* menggunakan *framework* PHP Laravel dengan berbasis bahasa pemrograman web HTML5, JQuery dan CSS3. Sedangkan untuk pemrograman dinamis digunakan bahasa pemrograman PHP5. Tahap pemrograman dilakukan berdasarkan pada tahap analisis dan penyesuaian dan perancangan database yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil dari pemrograman akan dikoneksikan dengan database untuk melakukan pengolahan data. Terdapat dua jenis laman, yakni laman untuk pengisian oleh mahasiswa yang berupa portal mahasiswa dan laman untuk mengelola

dan menerima hasil dari isian mahasiswa yang hanya bisa diakses oleh petugas yang memiliki hak akses.

3) Perancangan jaringan.

Setelah dilakukan desain terhadap perangkat lunak, maka dilakukan perancangan perangkat keras yang terdiri dari perangkat jaringan yang menghubungkan perangkat klien dengan komputer server yang sudah ter-*install* sistem operasi Linux CentOS. Pada komputer server dilakukan instalasi sistem evaluasi kegiatan mengajar dosen agar dapat diakses oleh perangkat klien secara *online* melalui sebuah website portal mahasiswa yakni <http://student.pnm.ac.id>. Klien dalam hal ini adalah seluruh mahasiswa PNM. Gambar 2 menunjukkan infrastruktur terintegrasi dari *database*, sistem informasi dan jaringan dari sistem informasi evaluasi kegiatan mengajar dosen yang telah dibangun dan merupakan bagian dari integrasi sistem-sistem yang telah ada sebelumnya, antara lain; IMONEV yang digunakan sebagai *monitoring* dan evaluasi hasil penilaian evaluasi dosen oleh mahasiswa, SIAKAD yang merupakan sumber data perkuliahan, dan SIMPEG yang merupakan sumber data dosen di PNM. Database yang digunakan adalah pada *cluster* akademik dan kemahasiswaan serta *cluster* kepegawaian. Selain itu, database *Single Sign On* (SSO) yang digunakan merupakan data akun tunggal yang wajib dimiliki oleh seluruh dosen dan tenaga kependidikan di PNM yang digunakan untuk mengakses aplikasi-aplikasi yang ada di PNM.



Gambar 2. Infrastruktur sistem informasi evaluasi kegiatan mengajar dosen terintegrasi.

Pada tahap implementasi, aplikasi portal mahasiswa yang sudah terintegrasi dengan sistem evaluasi kegiatan mengajar dosen tersebut dijalankan sesuai dengan analisis dan perancangan yang telah didefinisikan sebelumnya. Proses implementasi dimulai dari menambahkan data aspek-aspek evaluasi oleh petugas yang memiliki hak akses. Data-data yang telah disimpan di sistem tersebut menghasilkan sebuah kuesioner *online* untuk diisi oleh mahasiswa melalui portal yang telah dibangun sebelumnya. Setelah tahap implementasi selesai, maka dilanjutkan dengan tahap pengujian yang menentukan kehandalan sistem yang dibangun ini.

E. Pengujian

Tahap pengujian dilakukan dalam dua tahap:

1) Pengujian Black Box

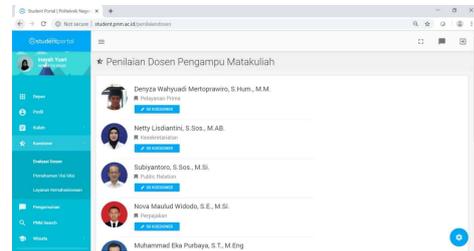
Metode ini merupakan pengujian yang berfokus pada persyaratan fungsional perangkat lunak. Pengujian ini cenderung memperhatikan struktur kontrol dan berfokus pada domain informasi yakni data akademik yang berasal dari SIAKAD PNM tahun akademik 2016-2017, data SIMPEG dan aspek-aspek evaluasi yang diinputkan oleh petugas yang memiliki hak akses. Pengujian *Black Box* dapat dilakukan oleh orang atau tim lain yang telah ditunjuk yang berasal dari P4MP.

2) Pengujian White Box

Metode pengujian ini menggunakan struktur kontrol esain prosedural untuk memperoleh *test case*. Metode ini didasarkan pada pengamatan yang teliti terhadap detail prosedural sebuah aplikasi tanpa memperhatikan kode-kode yang digunakan untuk membangun perangkat lunak tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

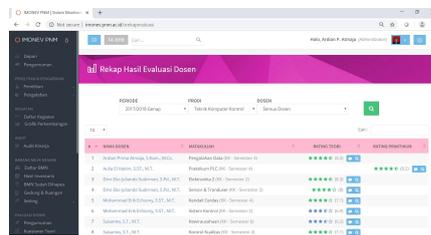
Gambar 3 merupakan antarmuka daftar dosen pada semester tertentu yang wajib mendapatkan penilaian secara *online* oleh mahasiswa melalui *Student Portal*. Terdapat dua potongan gambar yang menunjukkan media pengakses yakni komputer dan *smartphone*. Sehingga, mahasiswa dapat mengisi kuesioner baik melalui komputer maupun *smartphone* tanpa mengurangi konten dari sistem informasi yang diakses. Sedangkan Gambar 4 menunjukkan kuesioner online yang harus diisi oleh mahasiswa. Setelah mahasiswa mengisi kuesioner *online*, maka hasil dari penilaian mahasiswa dapat diakses melalui aplikasi IMONEV. Gambar 5 menunjukkan antar muka hasil evaluasi kegiatan mengajar dosen yang telah diisi oleh mahasiswa. Setelah dilakukan perekapan dari hasil evaluasi kegiatan mengajar dosen, maka rekap hasil tersebut dapat dicetak ke dalam format PDF untuk dijadikan laporan ke setiap prodi bahkan kepada dosen yang bersangkutan. Gambar 6 menunjukkan hasil dari cetak laporan hasil evaluasi per program studi. Dengan demikian, berdasarkan hasil tersebut dapat dilakukan perbandingan dosen di PNM dalam bidang pengajaran.



Gambar 3. Antarmuka daftar dosen yang akan dinilai pada student portal (<http://student.pnm.ac.id>).



Gambar 4. Antarmuka kuesioner *online* pada student portal.



Gambar 5. Antarmuka rekap hasil pengisian kuesioner pada aplikasi IMONEV (<http://imonev.pnm.ac.id>).



Gambar 6. Cetak PDF laporan hasil evaluasi tiap program studi.

IV. KESIMPULAN

Sistem informasi manajemen evaluasi kegiatan mengajar dosen PNM dalam perkuliahan dan praktikum telah berhasil dikembangkan serta digunakan dengan baik. Sistem ini bermanfaat bagi mahasiswa untuk digunakan

dalam proses penilaian dengan cepat dan *paperless* sehingga siklus SPMI yang dalam hal ini terkait kegiatan evaluasi dapat berjalan secara sistemik, berencana dan berkelanjutan. Sistem ini berbasis web *online* dengan tampilan yang menyesuaikan layar (*responsive*) sehingga dapat diakses oleh mahasiswa menggunakan perangkat yang terhubung dengan internet.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kemenristekdikti atas hibah penelitian yang telah diterima oleh peneliti sehingga peneliti dapat melakukan penelitian ini hingga terbitnya makalah ilmiah ini. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak di Politeknik Negeri Madiun atas segala dukungan dan kerjasamanya untuk dapat membantu peneliti dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, *Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi No. 62 Tahun 2016 tentang sistem penjaminan mutu pendidikan tinggi*. Jakarta: Kementerian Ristekdikti. 2016.
- [2] Tim Penyusun. *Pedoman sistem penjaminan mutu pendidikan tinggi*. Jakarta: Ditjen Belmawa dan DPM Kementerian Ristekdikti. 2017.
- [3] S. Syahril, "Analisis dan perancangan sistem informasi evaluasi kinerja dosen berbasis web pada STIKES Baiturrahim Jambi," *Jurnal Ilmiah Media Sisfo*, vol. 10, no.2, pp. 497-509, 2016.
- [4] N. K. Kertiasih, *et al.*, "Pengembangan sistem evaluasi untuk dosen sebagai upaya peningkatan kualitas pembelajaran," *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, vol. 12. no. 1, 2015.
- [5] R. S. Pressman, *Software engineering: A practitioner's approach*. The McGraw-Hill Companies, Inc., 2005.
- [6] J. Harisantoso, "Pengukuran kinerja dosen melalui EKD (Evaluasi Kinerja Dosen) STKIP PGRI Situbondo berdasarkan persepsi mahasiswa," *Jurnal Ekonomi dan Kewirausahaan*, vol. 7, no. 15, 2011.
- [7] Y. Nuraeni, "Perancangan sistem informasi penjaminan mutu perguruan tinggi bidang sumber daya manusia," *Jurnal Sistem Informasi*, vol. 6, no. 1, pp. 32-43, 2012.
- [8] A. Noertjahyana, "Studi analisis rapid application development sebagai salah satu alternatif metode pengembangan perangkat lunak," *Jurnal Informatika*, vol. 3, no. 2, pp. 74-79, 2004.
- [9] P.Y. Saputra and D. O. Siahaan, "Analisis dan desain sistem iInformasi Akademik Politeknik Negeri Malang menggunakan metode rapid application development (RAD)," in *Proc. Seminar Nasional Manajemen Teknologi XX MMT-ITS, Surabaya*, 2014.
- [10] J. K. Hartono, "Perancangan sistem informasi akuntansi berbasis komputer pada toko listrik HTS Jaya dengan menggunakan metode rapid application development (RAD)," in *Repository Unika Soegijapranata*, 2016.
- [11] K. Benmoussa, *et al.*, "A new model for the selection of web development frameworks: Application to PHP frameworks," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 9, no. 1, pp. 695-703, 2019.
- [12] H. R. Yu, "Design and implementation of web based on Laravel framework," in *Proc. 2014 International Conference on Computer Science and Electronic Technology (ICCSET 2014)*, pp. 301-304, 2014.
- [13] D. Mediana, "Rancang bangun aplikasi helpdesk (A-Desk) berbasis web menggunakan framework Laravel (studi kasus di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya)," *Jurnal Manajemen Informasi*, vol. 8, no. 2, 2018.

Studi Eksperimental Kinerja Temperatur dan Energi Integrasi Bio-PCM Pada Chest Freezer

I Nyoman Suamir✉, I Made Rasta

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali
✉ nyomansuamir@pnb.ac.id

Abstrak: *Chest freezer* pada operasionalnya memerlukan beban transien yang fluktuatif dari waktu ke waktu sesuai dengan kondisi lingkungan. Untuk mampu memenuhi kebutuhan beban pendinginan maksimum, *chest freezer* umumnya dirancang dengan kapasitas lebih besar dari beban pendinginan yang dibutuhkan. Akibatnya sistem *chest freezer* kurang efisien dan kurang handal akibat sering mati-hidup selama operasi. Oleh karena itu perlu dikembangkan sistem *chest freezer* yang dapat mengurangi siklus mati-hidupnya kompresor dan menghemat penggunaan energi fosil. Penelitian ini mengkaji teknologi refrigerasi *chest freezer* dengan siklus kompresor yang kecil dan memiliki potensi untuk diintegrasikan dengan sumber energi terbarukan. Pendekatan teknologi yang diterapkan adalah teknologi *chest freezer* berbasis *vegetable oil phase change materials* (bio-PCM). Hasil investigasi menunjukkan bahwa penggunaan bio-PCM dapat menurunkan siklus kompresor dan mampu menjaga temperatur produk di bawah -15°C . Konsumsi energi teknologi *freezer* yang diusulkan relatif sama dengan *freezer* tanpa bio-PCM. Tetapi bio-PCM dapat membuat *chest freezer* sangat potensial diintegrasikan dengan sumber energi surya.

Kata kunci: *Chest freezer, bio-PCM, kinerja temperatur, kinerja energi.*

Abstract: *Chest freezers in their operations experience transient loads that fluctuate from time to time with environmental conditions. To satisfy the maximum cooling demand, chest freezers are normally oversized. This can cause inefficient operation and less reliable due to frequent on-off cycling. Therefore, a reliable and efficient energy chest freezer is essential to be developed. This study examined technology with lower on-off cycles and potential to be integrated with renewable energy sources. The technology approach was a chest freezer technology incorporated vegetable oil phase change materials (bio-PCM). The results showed that integration of bio-PCM could significantly reduce on-off cycle of the compressor and maintain the product temperature below -15°C . Energy consumption of the investigated freezer with bio-PCM consumed nearly the same energy compared to chest freezer without bio-PCM. However, the use of bio-PCM in the chest freezer makes it be highly potential to be integrated with solar energy sources.*

Keywords: *Chest freezer, bio-PCM, temperature performances, energy performances.*

I. PENDAHULUAN

Sistem refrigerasi yang salah satunya adalah *chest freezer* memegang peranan yang penting dalam rantai makanan (*food chain*), baik menjaga keamanan dan kualitas banyak makanan dan memungkinkan makanan dipasok dari produsen ke konsumen. Refrigerasi juga memiliki peran penting dalam mengurangi kerugian pasca panen. Kurang dari 10% bahan pangan yang mudah rusak didinginkan dengan sistem refrigerasi dan diperkirakan kerugian pasca panen saat ini mencapai 30% dari total produksi. Coulomb [1] dan IIR [2] melaporkan bahwa total produksi pangan global adalah 5.500 juta ton, setidaknya 33% membutuhkan pendinginan namun hanya 7% yang diawetkan melalui sistem refrigerasi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar jumlah sistem pendinginan yang tersedia pada suatu negara maka kerugian pasca panen negara tersebut lebih rendah.

Tetapi perkembangan rantai dingin (*cold chain*) sebagai bagian dari rantai pangan (*food chain*) di Indonesia masih sangat rendah. Pada tahun 2016, negara ini memiliki kapasitas *cold storage* di dalam rantai dinginnya sebesar 12,3 juta m^3 atau kurang dari $0,05 \text{ m}^3$ per kapita. Sebagai perbandingan kapasitas *cold storage* per kapita beberapa negara seperti UK $0,39 \text{ m}^3$, USA $0,36 \text{ m}^3$, Jepang $0,26 \text{ m}^3$, India $0,10 \text{ m}^3$, Brasil $0,08 \text{ m}^3$, dan Cina $0,06 \text{ m}^3$. Dengan

demikian Indonesia membutuhkan investasi yang masih sangat besar untuk sistem rantai dingin [3,4].

Sehubungan dengan isu lingkungan, peningkatan konsumsi produk pangan berdampak pada emisi gas rumah kaca (GRK) atau pemanasan global akibat konsumsi energi. Di Indonesia, pemerintah berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 26% (dengan kekuatan sendiri) dan 41% (dengan dukungan internasional) pada tahun 2020. Emisi gas rumah kaca dari sektor komersial diperkirakan sekitar 0,7% (3,8 juta ton CO_2) dari emisi total sebesar 540 juta ton CO_2 [5]. Teknologi refrigerasi bertanggung jawab 15% dari seluruh listrik yang dikonsumsi di dunia [1] dan sekitar 72% dampak pemanasan global dari sistem refrigerasi adalah karena konsumsi energi [6]. Mengurangi konsumsi energi sistem refrigerasi menjadi prioritas utama dalam pengurangan emisi gas rumah kaca dari rantai pangan (*food chain*). Salah satu cara untuk mengurangi konsumsi energi dan dampak lingkungan *chest freezer* pada rantai pangan adalah melalui penggunaan teknologi refrigerasi yang efisien dan teknologi energi berkelanjutan.

Aplikasi TES (*thermal energy storage*) disesuaikan berdasarkan jenis bahan PCM (*phase change material*) yang digunakan. PCM yang paling umum digunakan mencakup organik, inorganik dan campuran dari kedua

jenis bahan organik-inorganik [7]. Adapun PCM yang baik adalah bahan yang memiliki kapasitas termal tinggi dan rentang temperatur perubahan fasenya konstan [8]. PCM yang terbuat dari bahan organik saat ini menjadi pilihan yang menarik untuk berbagai aplikasi karena keunggulan-keunggulan sifat-sifat termalnya seperti misalnya paraffin dan lemak jenuh seperti yang dilaporkan oleh Su *et al.* [9] dan Giro-Paloma *et al.* [10]. Parafin merupakan PCM organik yang paling populer karena memiliki super cooling yang rendah dan rentang temperatur perubahan fase yang lebar. Struktur kimia Parafin juga stabil pada saat terjadi proses perubahan fase [11]. Tetapi parafin juga memiliki kelemahan antara lain konduktivitas termal dan panas laten yang rendah, mudah terbakar dan perubahan volume yang besar pada saat terjadi perubahan fase [12].

PCM untuk aplikasi *freezer* bisa dari bahan parafin, larutan garam, atau material yang berbahan dasar air [13]. Untuk PCM dari larutan garam, titik beku dan titik leburnya dapat diturunkan dengan meningkatkan konsentrasi larutannya. Tetapi makin rendah titik leburnya maka makin korosif dan kalor latennya semakin rendah dibandingkan dengan air [14]. Sampai saat ini sudah mulai banyak diteliti penggunaan bahan minyak sayur sebagai *nucleating agents* yang dilarutkan ke dalam air dan mampu menurunkan titik beku di bawah 0°C. Minyak sayur mengandung berbagai jenis asan lemak jenuh dan ester dari minyak tersebut memiliki potensi yang baik sebagai bahan PCM organik [15]. Bahan organik dari ester minyak jagung dan berbahan dasar air juga berpotensi menjadi PCM organik untuk temperatur di bawah 0°C [16,17]. Campuran ester tersebut dilaporkan mampu menurunkan titik lebur dan titik beku air, sehingga sangat cocok diterapkan pada aplikasi refrigerasi temperatur medium dan rendah. Disamping itu ester minyak jagung dan kedelai mampu menghilangkan super cooling dari air serta memiliki kalor laten yang masih tinggi, sehingga sangat cocok diterapkan sebagai bahan PCM organik untuk temperatur rendah seperti *chest freezer*.

Dilaporkan bahwa PCM murah berbasis larutan garam ($\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$) dapat diterapkan pada *freezer* sebagai TES, tetapi PCM jenis ini sangat korosif dan masih ada *super-cooling* [18]. Penelitian eksperimental juga telah dilakukan oleh Azzouz *et al.* [19] pada refrigerator domestik yang diintegrasikan dengan PCM dan ditempatkan pada bagian belakang dari evaporator. Pemasangan PCM ini dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi energi dan memberikan kapasitas pendinginan dalam beberapa jam tanpa suplai listrik.

Cheralathan *et al.* [20] melakukan penelitian experimental kinerja sistem refrigerasi industri yang diintegrasikan dengan kapsul PCM yang ditempatkan pada tangki penyimpanan dimana evaporator dari sistem refrigerasi juga dipasang. Ditemukan bahwa kinerja termal dari sistem dapat ditingkatkan dengan melakukan pengisian PCM pada temperatur kondensasi yang rendah dan juga pada temperatur evaporator yang optimal. Setiap 1 K penurunan temperatur evaporator dapat menyebabkan 3-4% peningkatan konsumsi energi dan setiap 1 K

penurunan temperatur kondensasi menyebabkan turunnya konsumsi energi sampai sekitar 3%.

Investigasi aplikasi PCM pada *freezer* komersial sudah dilakukan oleh Oró *et al.* [21] dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja termal dari *freezer* pada saat pintu dibuka dan pada saat listriknya padam. PCM yang digunakan adalah PCM berbasis larutan garam sehingga PCM ditempatkan pada sebuah panel dari bahan *stainless steel* yang ditempatkan di dalam *freezer*. Penggunaan PCM dapat mempertahankan temperatur produk pada tingkat aman lebih lama dibandingkan *freezer* tanpa PCM. Akhir-akhir ini, penelitian aplikasi PCM berbasis larutan garam pada *chest freezer* juga sudah dilakukan dengan menempatkan PCM pada dinding evaporator [22]. PCM dikemas dalam dua model, yaitu pertama dengan model kantong PCM yang ditempelkan pada sebuah pelat aluminium kemudian pelat dan PCM bersama-sama ditempelkan pada dinding *freezer*, kedua dengan model penempatan pada *honey comb* aluminium. Dilaporkan bahwa penempatan PCM dengan model kantong aluminium dapat mengurangi ruang untuk produk, konsumsi energi meningkat tapi siklus *on/off* kompresor jauh berkurang. Sedangkan untuk model *honey comb* dapat menghemat energi sebesar 2%, siklus *on/off* kompresor juga berkurang. Kinerja *chest freezer* dengan PCM sangat sensitive terhadap setting dari thermostat.

Penelitian-penelitian pada aplikasi *freezer* komersial yang ada saat ini, umumnya menggunakan PCM yang berbasis garam yang sangat korosif. Artikel ini melaporkan hasil investigasi dari integrasi bio-PCM berbasis air dan ester minyak jagung yang tidak korosif dan pengaruhnya terhadap kinerja termal dan energi dari *chest freezer*.

II. METODE PENELITIAN

A. Chest Freezer

Chest freezer yang digunakan pada penelitian ini adalah *chest freezer* yang sudah ada di pasaran lokal dengan kapasitas 100 Liter dan menggunakan refrigeran ramah lingkungan yaitu refrigeran hidrokarbon R-600a. Konsumsi daya dari *chest freezer* setara dengan 1/10 PK (sekitar 60-75 W). Adapun *chest freezer* yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 1.

Chest freezer tipe ini memiliki kompresor hermetik tipe piston sehingga mampu bekerja dengan *temperature lift* yang relative tinggi sesuai dengan kebutuhan *freezer* pada umumnya. Kondensornya menggunakan konsep perpindahan panas *natural flow* dengan memasang pipa kondensor pada bagian luar dinding *freezer* tepat di sisi dalam pelat luar *freezer*. Kondensor di samping membuang panas juga berfungsi mencegah adanya kondensasi pada dinding luar *freezer*. Evaporatornya juga menggunakan konsep perpindahan panas konveksi natural dengan menempatkan pipa evaporator menempel dengan pelat bagian dalam dari dinding *freezer*. Antara pipa evaporator dan pipa kondensor diinjeksi dengan *polyurethane foam* dengan ketebalan sekitar 70 mm. *Polyurethane foam* ini berfungsi sebagai isolator yang meminimal-kan beban transmisi dari dinding *freezer* akibat perbedaan temperatur kondensor dan evaporator.

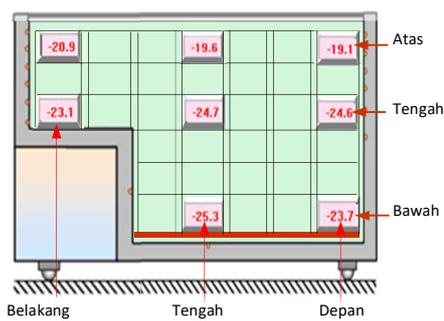


Gambar 1. Chest freezer yang disiapkan untuk penelitian.

B. Pembebanan Chest Freezer

Untuk penempatan beban dari produk di dalam chest freezer dan sensor alat ukur pada penelitian eksperimental ini mengacu kepada standar [23]. Posisi penempatan produk dan pengukurannya dapat dilihat pada Gambar 2. Pengukuran temperatur produk pada berbagai posisi bertujuan untuk mendapatkan kinerja temperatur dari sistem chest freezer.

Pandangan samping



Gambar 2. Penempatan produk dan sistem pengukuran di dalam chest freezer.



Gambar 3. Paket PCM yang siap diintegrasikan ke dalam chest freezer.



Gambar 4. Sistem instrumentasi dan data logging.



Chest freezer tanpa bio-PCM



PCM di sisi dalam evaporator

Gambar 5. Chest freezer tanpa dan dengan paket bio-PCM.

C. Paket Bio-PCM

Pengembangan paket bio-PCM diawali dengan membuat rancangan kotak PCM dengan mempertimbangkan bahwa bio-PCM tidak bocor pada saat diintegrasikan dengan chest freezer karena bio-PCM berwujud cair pada temperatur di atas titik bekunya. Bio-PCM yang digunakan adalah campuran ester minyak jagung (*Corn-oil ester*) dan air.

Paket bio-PCM juga memiliki pengantar panas yang baik dan cukup kokoh untuk dapat diintegrasikan pada chest freezer. Untuk itu kotak bio-PCM dirancang dari bahan pelat aluminium dengan ketebalan minimum 0.5 mm. Paket bio-PCM dibuat dalam bentuk yang relatif kecil disesuaikan dengan ukuran dari ruang chest freezer (Gambar 3). Untuk chest freezer 100 Liter diperlukan lima buah paket bio-PCM dengan total volume sekitar 9 Liter.

D. Kondisi Pengujian dan Sistem Instrumentasi

Pengujian dilakukan di dalam sebuah ruangan yang terbuka, sehingga kondisi di sekitar pengujian relatif sama dengan kondisi lingkungan. Temperatur lingkungan dimonitor dan dicatat dengan data logging system.

Chest freezer dilengkapi dengan sistem instrumentasi yang lengkap untuk mengukur temperatur dari freezer pada berbagai posisi. Ada 24 termokopel dipasang pada bagian inti (di tengah-tengah produk) khusus untuk mengukur variasi temperatur produk. Sebagian termokopel juga dipasang pada bagian atas dari produk yang paling atas. Juga ada termokopel yang dipasang pada dinding evaporator dan sebagian lagi digunakan untuk mengukur sistem refrigerasi dari chest freezer. Daya yang dikonsumsi oleh chest freezer juga diukur dengan menggunakan power analyser. Sistem instrumentasi dan data logging system disajikan pada Gambar 4 dan posisi penempatan sensor pengukuran temperatur produk di dalam chest freezer dapat dilihat pada Gambar 2.

Termokopel yang digunakan pada pengujian ini adalah termokopel tipe T dengan deviasi maksimum sebesar ± 0.5 °C. Sistem pengukuran yang lain adalah memonitor dan mencatat konsumsi daya dengan menggunakan power analyser Lutron DW6092 dengan ketidakpastian sebesar $\pm 0.05\%$.

E. Prosedur Pengujian

Pada pengujian ini penempatan produk dan titik-titik pengukuran mengacu kepada standar [24]. Pengujian mencakup chest freezer tanpa PCM dan chest freezer dengan Bio-PCM yang integrasinya dengan menggunakan

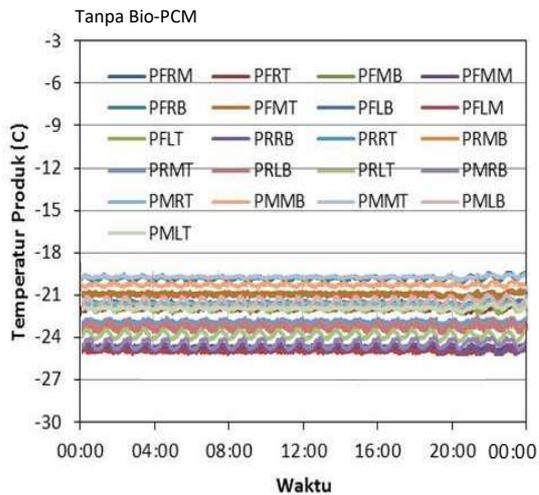
paket Bio-PCM dan ditempelkan ke dinding evaporator. Gambar 5 menyajikan *chest freezer* tanpa dan dengan Bio-PCM. Volume PCM yang terpasang 9 Liter dan terjadi pengurangan volume *chest freezer* sekitar 10%.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

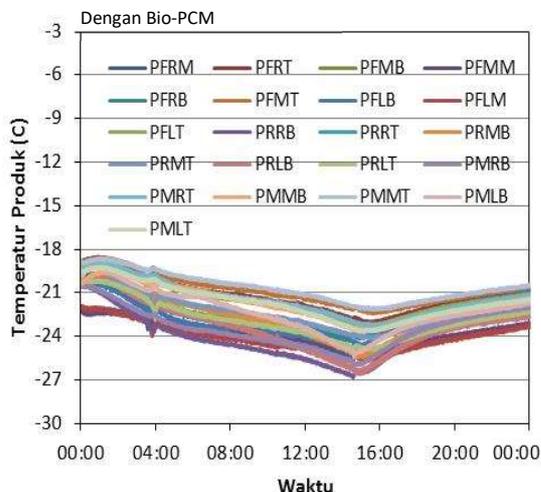
A. Temperatur Produk dan PCM

Parameter kinerja dari sistem *chest freezer* terdiri atas temperatur produk, temperatur PCM dan konsumsi energi. Variasi temperatur produk pada berbagai posisi di dalam *chest freezer* tanpa PCM dapat dilihat pada Gambar 6, sedangkan untuk *chest freezer* dengan Bio-PCM disajikan pada Gambar 7.

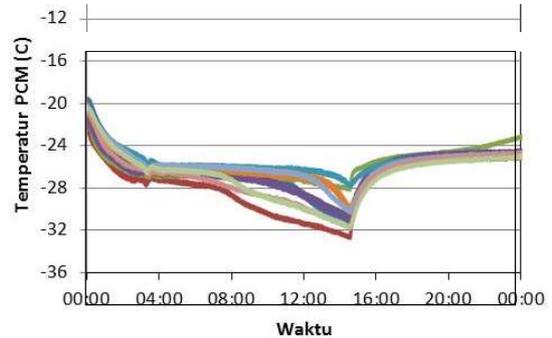
Dari Gambar 6 dapat diketahui bahwa *chest freezer* tanpa PCM temperatur produk relatif sangat stabil dengan fluktuasi yang kecil sebagai akibat dari respon dari kerja kompresor dengan jumlah siklus *on/off* sebanyak 23 kali per hari (dalam 24 jam). Variasi temperatur dari produk berada pada rentang antara -19°C an -25°C .



Gambar 6. Variasi temperatur produk di dalam *chest freezer* tanpa PCM.



Gambar 7. Variasi temperatur produk di dalam *chest freezer* dengan Bio-PCM.



Gambar 8. Variasi temperatur PCM di dalam *chest freezer*.

PFRM, PFRT, PFMB dan seterusnya menunjukkan posisi produk yang diukur temperaturnya. Posisi ditunjukkan dengan kombinasi posisi: Huruf I yaitu P = produk; Huruf II menunjukkan posisi: depan (F = front), tengah (M = middle), belakang (R = rear); Huruf III sebagai indikasi posisi: kanan (R = right), tengah (M = middle), kiri (L = left); Huruf IV berarti posisi vertikal, atas (T = top), tengah (M = middle), bawah (B = bottom)

Sedangkan untuk *chest freezer* dengan Bio-PCM jumlah siklus *on/off* dari kompresor menurun dengan drastis menjadi 1 siklus dalam 27 jam 20 menit atau kurang dari 1 siklus per hari. Temperatur produknya dengan variasi yang relatif lebih lebar dibandingkan dengan produk di dalam *chest freezer* tanpa PCM yaitu antara $-18,5^{\circ}\text{C}$ dan -27°C , seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7. Variasi temperatur produk pada rentang ini masih termasuk katagori kabinet L1 menurut standar [24].

Menurunnya jumlah siklus *on/off* yang sangat drastis pada *chest freezer* dengan Bio-PCM dan tetap mampu menjaga temperatur produk berada pada rentang klasifikasi dari *freezer*. Menurunnya jumlah siklus *on/off* merupakan keunggulan dari *chest freezer* dengan Bio-PCM karena sangat potensial untuk diterapkan pada daerah dimana suplai listrik sering ada gangguan atau daerah yang belum memiliki suplai listrik. Kalau ada gangguan suplai listrik, beban termal dari *chest freezer* akan diserap oleh bio-PCM sehingga temperatur produk dapat dipertahankan. Untuk aplikasi di daerah yang belum ada suplai listriknya, *chest freezer* dengan bio-PCM dapat diintegrasikan dengan sumber daya tenaga surya. Dengan menghidupkan *chest freezer* hanya sekitar setengah hari khususnya pada siang hari dan setengah hari berikutnya (pada malam hari) *chest freezer* masih dapat berfungsi dengan baik melalui pemanfaatan dingin yang disimpan di dalam bio-PCM dimana beban termal *chest freezer* diserap oleh bio-PCM dan temperatur produk tetap dapat dijaga pada rentang kebutuhan standar BS EN ISO 23953-2 [24].

Berdasarkan Gambar 6 dapat diketahui bahwa variasi temperatur produk per titik posisi pengukuran di dalam *chest freezer* tanpa bio-PCM berada di bawah 1°C . Sedangkan untuk *chest freezer* dengan bio-PCM variasi temperatur produk per titik posisi pengukuran mencapai 5°C (Gambar 7). Variasi temperatur produk ini, walaupun masih di dalam rentang yang diperbolehkan oleh standar, merupakan kelemahan dari kinerja termal *chest freezer* dengan bio-PCM dibandingkan dengan yang tanpa bio-PCM.

Pada Gambar 8 ditunjukkan variasi temperatur bio-PCM yang dipasang pada dinding evaporator *chest freezer*. Dari gambar dapat diketahui bahwa bio-PCM mengalami perubahan fase pada temperatur $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hal ini menunjukkan bahwa *setting* termostat dari *chest freezer* sudah optimum dan PCM dapat menjaga temperatur produk dalam waktu yang relatif lama walaupun kompresor tidak beroperasi.

B. Konsumsi Energi

Konsumsi energi dari *chest freezer* ditentukan berdasarkan standar [23]. Variasi pemakaian daya dari *chest freezer* tanpa PCM dan dengan Bio-PCM dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 9 dan 10.

Dari Gambar 9 dan 10 dapat diperoleh perbandingan jumlah siklus *on/off* dari kompresor *chest freezer*. Untuk *chest freezer* tanpa PCM diperoleh 27 siklus *on/off* dalam rentang waktu 27,4 jam dengan daya rata-rata 61 W dan waktu operasi kompresor (*running time*) 13,41 jam. Sehingga diperoleh konsumsi energi dari *chest freezer* tanpa PCM sekitar 0,818 kWh dalam 27,4 jam (Tabel 1).

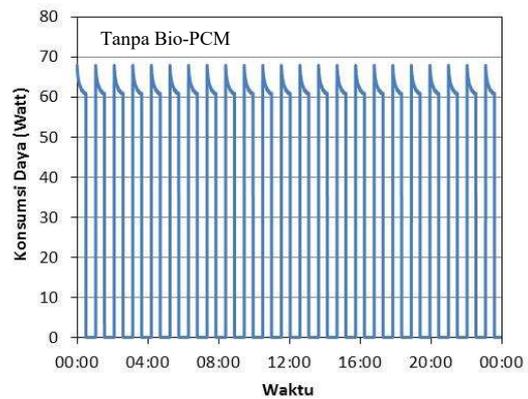
Pengaruh pemasangan bio-PCM pada *chest freezer* dapat diamati dengan jelas dari penurunan jumlah siklus *on/off* yang hanya 1 siklus dalam 27,4 jam. Konsumsi daya rata-rata relatif lebih kecil dibandingkan dengan *chest freezer* tanpa PCM yaitu sebesar 59,53 W. Hal ini disebabkan karena banyaknya jumlah siklus operasi pada *chest freezer* tanpa PCM, dimana pada awal-awal siklus konsumsi daya relatif lebih besar dibandingkan dengan bagian akhir dari siklus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10. Tetapi waktu operasi dari kompresor pada *chest freezer* dengan bio-PCM lebih lama sehingga total konsumsi energinya menjadi sedikit lebih besar yaitu sebesar 0,64% (Tabel 1). Peningkatan konsumsi energi ini masih di bawah 1% jadi masih dapat diasumsikan relatif sama.

Table 1. Perbandingan konsumsi energi dari *chest freezer* tanpa dan dengan Bio-PCM.

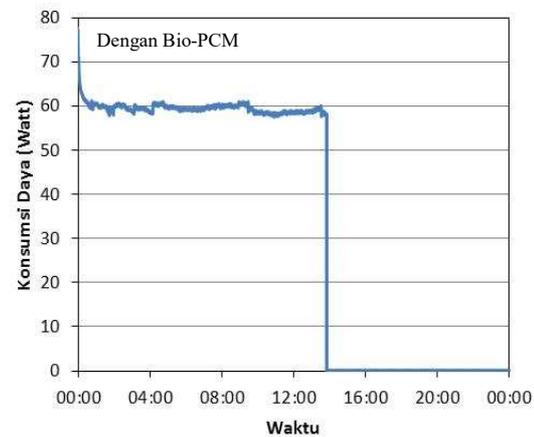
Parameter energi	Tanpa Bio-PCM	Dengan Bio-PCM
Rata-rata konsumsi	61,01	59,53
Waktu operasi (h)	13,41	13,83
Konsumsi energi	0,818	0,823
Perbandingan konsumsi energi (%)	-	+0,64%

Catatan: perbandingan konsumsi energi rentang waktu 1 siklus (27,4 jam) dari *chest freezer* dengan bio-PCM.

Dari hasil studi ini juga diperoleh bahwa optimasi penempatan paket bio-PCM di dalam *chest freezer* masih perlu dilakukan sehingga diperoleh sistem integrasi yang lebih efisien energi dan juga tidak mengurangi kapasitas produk yang didinginkan.



Gambar 9. Variasi konsumsi daya *chest freezer* tanpa PCM.



Gambar 10. Variasi konsumsi daya *chest freezer* dengan bio-PCM.

IV. KESIMPULAN

Studi eksperimental integrasi bio-PCM di dalam sebuah *chest freezer* sudah dilakukan. Hasil studi menunjukkan bahwa integrasi bio-PCM di dalam *chest freezer* dengan menempelkan paket bio-PCM pada dinding evaporator dapat mengurangi kapasitas produk yang didinginkan. Bio-PCM di dalam *chest freezer* mampu menurunkan jumlah siklus *on/off* dari kompresor secara signifikan dengan temperatur produk sebagai parameter kinerja termal berada pada rentang antara $-18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ yang masih termasuk katagori kabinet L1 menurut standar. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja termal dari *chest freezer* dengan bio-PCM sangat baik.

Konsumsi energi dari *chest freezer* dengan bio-PCM dapat dikatakan sama dengan *chest freezer* tanpa bio-PCM, tetapi optimasi pada penempatan bio-PCM di dalam *chest freezer* dapat memberikan potensi penghematan energi. *Chest freezer* dengan bio-PCM sangat potensial untuk diaplikasikan pada daerah yang suplai listriknya terbatas atau sering ada gangguan serta sangat potensial untuk diintegrasikan dengan sumber-sumber energi terbarukan yang ketersediaannya tidak kontinyu seperti sumber energi listrik tenaga surya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bali yang telah mendanai penelitian ini melalui dana PNPB tahun 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Coulomb, "Refrigeration and cold chain serving the global food industry and creating a better future: two key IIR challenges for improved health and environment," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 29, pp. 413-417, 2018.
- [2] IIR, *The role of refrigeration in worldwide nutrition - 5th Informatory note on refrigeration and food*. Paris, France: International Institute of Refrigeration (IIR), 2009.
- [3] J. Miller, *Top markets report cold chain, international trade administration*, 2016. [Online]. Available: http://trade.gov/topmarkets/pdf/Cold_Chain_Executive_Summary.pdf
- [4] IARW. *Global cold storage capacity report: Capacity and growth of refrigerated warehousing by country*. International Association of Refrigerated Warehouses, 2016.
- [5] A. Sugiyono, B. Anindhita and M.S. Adiarso, *Indonesia energy outlook 2014*. Center for Energy Resources Development Technology Agency, 2014, p. 117.
- [6] D. Cowan, I. Chaer and G. Maidment, "Reducing refrigerant emissions and leakage – An overview and feedback from two EU projects," in *Proc. Sustainable Refrigeration and Heat Pump Conference*, p. 16, 2010.
- [7] D. Yang, *et al.*, "Paraffin / palygorskite composite phase change materials for thermal energy storage," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 44, pp. 228-34, 2016.
- [8] H. S. Xue, "Experimental investigation of a domestic solar water heater with solar collector coupled phase-change energy storage," *Renewable Energy*, vol. 86, pp. 257-61, 2016
- [9] W. Su, J. Darkwa and G. Kokogiannakis, "Review of solid-liquid phase change materials and their encapsulation technologies," *Renewable Sustainable Energy Rev.*, vol. 48, 373-391, 2015.
- [10] J. Giro-Paloma, M. Martínez, L.F. Cabeza and A.I. Fernández, "Types, methods, techniques, and applications for micro-encapsulated phase change materials (MPCM): a review," *Renewable Sustainable Energy Rev.*, vol. 53, pp. 1059-75, 2016.
- [11] F. Agyenim, N. Hewitt, P. Eames and M. Smyth, "A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS)," *Renewable Sustainable Energy Rev.*, vol. 14, pp. 615-28, 2010.
- [12] J. Luo, *et al.*, "Emulsifying ability and cross-linking of silk fibroin microcapsules containing phase change materials," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 147, pp. 144-9, 2016.
- [13] D. Zhou, C. Y. Zhao and Y. Tian, "Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications," *Appl. Energy*, vol. 92, pp. 593- 605, 2012.
- [14] E. Oró, A. de Gracia, A. Castell, M. M. Farid and L. F. Cabeza, "Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications," *Appl. Energy*, vol. 99, pp. 513-33, 2010.
- [15] L. C. Liston, *et al.*, "Binary mixtures of fatty acid methyl esters as phase change materials for low temperature applications," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 96, pp. 501-7, 2016.
- [16] I.M. Rasta, I. N. G. Wardana, N. Hamidi and M.N. Sasongko, "The role of soya ester in water based PCM for low temperature cool energy storage," *Journal of Thermodynamics*, pp. 1-9, 2016.
- [17] I.M. Rasta and I. N. Suamir, "The role of vegetable oil in water-based phase change material for medium temperature refrigeration," *Journal of Energy Storage*, vol. 15, pp. 368-378, 2018.
- [18] D. Onyejekwe, "Cold storage using eutectic mixture of NaCl/H₂O: an application to photovoltaic compressor vapour freezers," *Solar Wind Technology*, vol. 6, pp. 11–8, 1989.
- [19] K. Azzouz, D. Leducq and D. Gobin, "Enhancing the performance of household refrigerators with latent heat storage: an experimental investigation," *Int. J. Refrig.*, vol. 32, pp. 1634–1644, 2009.
- [20] M. Cheralathan, R. Velraj and S. Renganarayanan, "Performance analysis on industrial refrigeration system integrated with encapsulated PCM-base cool thermal energy storage system," *Int. J. Energy Res*, Vol. 31, pp. 398–413, 2007.
- [21] E. Oro, L. Miro, M.M. Farid and L.F. Cabeza, "Improving thermal performance of freezers using phase change materials," *International Journal of Refrigeration*, Vol. 35, pp. 984-991, 2012.
- [22] A. Raeisi, I. N. Suamir and S.A. Tassou, "Energy storage in freezer cabinets using phase change materials," in *Proc. the 2nd IIR International Cold Chain Conference*, Paris, pp. 187-194, 2013.
- [23] BS EN ISO 23953-1. *Refrigerated display cabinets-Part 1: Vocabulary*, BSI, 2012, p. 34.
- [24] BS EN ISO 23953-2. *Refrigerated display cabinets-Part 2: classification, requirements and test conditions*, BSI, 2012, p. 96.

Teknik Sensor Cahaya Untuk Menentukan Laju Erosi Tebing Sungai

Tommy Ekamitra Sutarto✉

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda

✉tommysutarto@polnes.ac.id

Abstrak: Erosi tebing sungai terjadi dalam dua model utama, yakni erosi gerusan dan longsor tebing. Erosi gerusan ditandai dengan tergerusnya butiran atau bongkahan tanah dari permukaan tebing akibat daya geser air sungai. Meskipun erosi gerusan memiliki peran yang penting sebagai pemicu longsor tebing, pengetahuan tentang erosi gerusan masih tertinggal di belakang dan belum ada metode terpercaya untuk mengukur kedalaman atau panjang erosi gerusan. Hal ini disebabkan karena erosi gerusan berlangsung di bawah muka air dan magnitudo erosi sangat kecil dalam skala millimeter hingga centimeter saja. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan teknik pengukuran erosi gerusan dengan menanam sensor cahaya (*Photo Electronic Erosion Pin*) ke dalam tebing sungai. Panjang erosi gerusan berbanding lurus dengan panjang sensor yang tersingkap dan terkena cahaya matahari. Empat buah sensor ditanam dalam suatu tebing sungai, masing-masing di puncak, tengah atas, tengah bawah, dan dasar tebing. Keempat sensor berhasil merekam secara kontinu erosi gerusan yang terjadi bersamaan dengan 6 kejadian banjir. Total panjang erosi yang terukur adalah 18,7 cm, 18,5 cm, 22,6 cm, and 6,7 cm berturut-turut di puncak, tengah atas, tengah bawah, dan dasar tebing sungai.

Kata kunci: erosi butiran, erosi bongkahan, sensor PEEP, photo-resistant, photo-voltaic, exposure length.

Abstract: Bank erosion manifests in two main modes, namely fluvial erosion and mass failure. Fluvial erosion is a quasi-continuous entrainment of individual soil grains or grain flocs or chunks from the bank face due to the hydrodynamic shear flow action. Despite its importance as a trigger to mass failure, so far, fluvial erosion is very difficult to measure and there is no reliably technique to do so as it occurs under water with retreat lengths in millimeter or centimeter scale. The overarching goal of this study was to develop a methodology for quantifying in-situ mass (chunk) fluvial erosion using a novel approach that could adequately capture retreat length and timing information in response to changes in water stage. Four Photo Electronic Erosion Pin (PEEP) sensors, which their operational principle is based on sunlight exposure and intensity, were employed on a stream bank face to provide localized quasi-continuous recordings of mass fluvial erosion. Total bank retreats associated with 6 flood events were 18.7, 18.5, 22.6, and 6.7 cm at the crest, upper midbank, lower midbank, and toe of the bank, respectively.

Keywords: grain fluvial erosion, mass fluvial erosion, PEEP sensor, photo-resistant, photo-voltaic, exposure length.

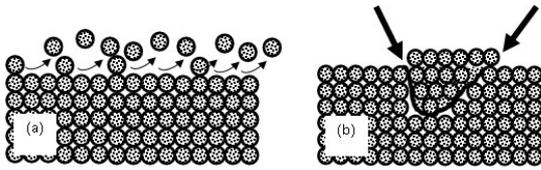
I. PENDAHULUAN

Erosi tebing sungai tidak jarang mengancam infrastruktur di sekitarnya, seperti abutment dan pilar jembatan, turap, pondasi jalur pipa PDAM, jalan raya dan bahkan kehilangan rumah dan lahan pertanian. Selain itu, erosi tebing sungai tidak jarang memberikan kontribusi sedimen dalam jumlah yang signifikan ke dalam sungai dan waduk, mengakibatkan turunnya kualitas air baku, mengganggu kualitas hidup ekosistem air dan mempercepat pendangkalan waduk [1], [2]. Sedimen yang dihasilkan dari gerusan tebing sungai dapat mengubah topografi dasar sungai dan mengurangi kadar oksigen terlarut di dalam air sehingga mengancam keragaman spesies dalam sungai.

Erosi tebing sungai disebabkan oleh interaksi antara tiga jenis proses erosi [3], yakni longsor tebing (*mass failure*), gerusan butiran (*grain fluvial erosion*), dan gerusan bongkahan (*mass fluvial erosion*). Longsor tebing adalah jenis erosi yang paling mudah diamati karenanya pengetahuan dan metode perhitungannya sudah lebih matang dibanding kedua jenis erosi yang lain. Sebaliknya, erosi butiran dan erosi bongkahan tidak mudah diamati. Kedua jenis erosi ini terjadi di bawah muka air (umumnya

di tumit tebing sungai) secara *quasi-continuous* dalam bentuk tergerusnya butiran tanah (dalam ukuran millimeter, Gambar 1a) atau bongkahan tanah (dalam ukuran centimeter, Gambar 1b) dari permukaan tebing sungai akibat tegangan gesek hidrodinamis, τ_w , aliran sungai [3], [4]. Erosi butiran berubah menjadi erosi bongkahan sejalan dengan meningkatnya gaya gesek hidrodinamis aliran [5], [6]. Erosi butiran dan erosi bongkahan umumnya terjadi di tumit tebing sungai mengakibatkan terbentuknya lubang di sekitar tumit tebing dan kemudian memicu longsor tebing.

Di samping sebagai pemicu longsor, erosi gerusan ternyata memberi kontribusi sedimen yang signifikan dalam sungai [3], [7] karena sifatnya yang *quasi-continuous* selama tegangan gesek hidrodinamik, τ_w , (di permukaan tanah tebing sungai) lebih besar dari kuat gesek kritis (*critical shear strength*) tanah, τ_c . Angka τ_c mewakili kekuatan tanah menahan gaya geser air [4], [8] dan angka ini menentukan waktu (*timing*) terjadinya erosi gerusan. Nilai ini sangat dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara variabel fisik, biologis, dan kimiawi tanah [6].



Gambar 1. (a) Gerusan Butiran (*grain fluvial erosion*). (b) Gerusan Bongkahan (*mass fluvial erosion*).

Namun erosi gerusan (baik gerusan butiran maupun bongkahan) belum begitu dipahami dan metode pengukurannya belum berkembang [9], [10] sehingga penelitian di bidang ini masih perlu terus dilakukan. Metode konvensional yang ada, seperti survei luas penampang sungai, *terrestrial photogrammetry* dan pengukuran panjang erosi dengan *erosion pin* (yang sifatnya manual dan *discrete in time*), tidak dapat merekam sifat *quasi-continuous* erosi butiran dan erosi bongkahan. Metode tersebut di atas juga tidak dapat menentukan *timing*, durasi dan besarnya kontribusi sedimen dari masing-masing jenis erosi dalam suatu siklus hidrograf sungai [11], [12]. Sangat jelas, bahwa erosi gerusan dapat diukur dengan akurat bila menggunakan suatu teknik yang memiliki keunggulan yakni mampu mendeteksi seluruh episode (*full episodicity*) perubahan bentuk tebing akibat gerusan, termasuk waktu mulainya erosi (*event timing*) serta mampu merekam secara otomatis (*automated observations*) waktu dan panjang gerusan (*retreat length*) yang diakibatkan oleh setiap kejadian erosi (*specific erosion events*). Informasi ini berguna untuk mengetahui hubungan antara panjang gerusan dan gaya gesek hidrodinamik yang menyebabkannya [13].

Tujuan dari studi ini adalah mengembangkan suatu metodologi untuk menghitung erosi gerusan khususnya gerusan bongkahan langsung di lapangan (*in-situ*) dengan menggunakan alat sensor cahaya *Photo Electronic Erosion Pin* (PEEP) (lihat Gambar 2). Alat yang sering digunakan untuk penelitian morfodinamika pantai kali ini diterapkan di tebing sungai untuk memberikan informasi yang sifatnya *automated*, *localized*, *quasi-continuous* tentang *timing*, durasi, dan panjang erosi bongkahan yang dipengaruhi oleh perubahan tinggi muka air dan debit di dalam sungai.

II. METODE PENELITIAN

Terdapat dua tipe sensor PEEP, yakni *photo-resistant* dan *photo-voltaic*. Sensor *photo-resistant* terdiri dari rangkaian seri *photo-diode* atau *photo-resistant cells* (Gambar 2) yang dibungkus dalam *acrylic tube* yang transparan dan kedap air [13].



Gambar 2. *Photo Electronic Erosion Pin* (PEEP).

Sedangkan sensor *photo-voltaic* terdiri dari barisan *photo-voltaic cell* yang mampu menghasilkan tegangan listrik jika terkena cahaya. Tidak seperti sensor *photo-resistant* yang memerlukan sumber energi (seperti panel surya), sensor *photo-voltaic* dapat membangkitkan listrik sendiri dengan mengubah radiasi surya menjadi arus listrik. Meskipun demikian, kedua tipe sensor ini bekerja dengan prinsip yang sama, yakni membangkitkan output tegangan (*voltage output*) berbanding lurus dengan panjang sensor yang terpapar cahaya matahari [13]. Pada awalnya, sensor ditanam ke dalam tanah tebing sungai. Sejalan dengan tergerusnya tebing, semakin banyak dioda atau *photo-cells* yang tersingkap cahaya matahari dan semakin besar pula output tegangan yang dihasilkan oleh sensor. Informasi ini kemudian disandingkan dengan informasi tegangan gesek hidrodinamik yang menyebabkan gerusan pada saat itu. Dengan demikian, akan diketahui hubungan antara besarnya erosi dan tegangan gesek hidrodinamik yang menyebabkan erosi di dinding sungai, dan juga akan diperoleh informasi tegangan gesek kritis τ_c yang menentukan waktu mulainya erosi.

Dalam studi ini, *photo-resistant PEEPs* (Gambar 2) digunakan di Clear Creek, Iowa, Amerika Serikat yang tebing sungainya dominan tanah loess kohesif. Sensor PEEP ditanamkan ke dalam tebing sungai di bagian puncak (*crest*), tengah atas (*upper-midbank*), tengah bawah (*lower midbank*) dan tumit (*toe*) untuk mengukur secara simultan dan kontinu episode erosi bongkahan yang mungkin terjadi di puncak hingga tumit tebing. Sifat tanah tebing, termasuk kepadatannya, berbeda dari puncak ke arah tumit. Dengan memasang sensor di lokasi yang berbeda akan diperoleh informasi tambahan yang juga bersifat penting, yakni pengaruh heterogenitas tanah tebing terhadap kekuatannya menahan erosi bongkahan. Pentingnya mengikutsertakan aspek heterogenitas tanah dalam pemodelan evolusi tebing sungai telah ditunjukkan dalam studi terdahulu [10], [14].

Data *time series* output tegangan dari sensor yang terekam dalam *data logger* diolah melalui suatu *data processing routine* (terdiri dari *filtering*, *correcting*, dan *smoothing*) [5], [15] yang dikembangkan untuk menyingkirkan *data noise* akibat pengaruh perubahan orientasi cahaya matahari dan turunnya intensitas cahaya akibat turbiditas air sungai, serta faktor lainnya [13]. Data output tegangan yang sudah dibersihkan kemudian dikonversi menjadi data panjang singkapan sensor (*exposure length*), L , yang tidak lain adalah panjang erosi tebing sungai. Dengan teknik statistik *moving-averaged*, serial data L dibuat lebih halus sehingga akhirnya dapat memperlihatkan dengan jelas *timing*, magnitudo dan frekuensi kejadian erosi.

A. Komponen PEEP

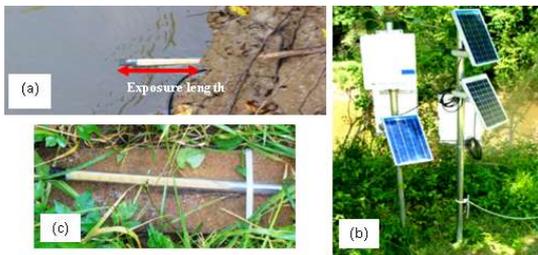
Setiap instalasi pengukuran erosi terdiri dari satu atau beberapa sensor PEEP, data logger, panel surya, dan satu sensor acuan (*reference PEEP*). Studi ini menggunakan *photo-resistant PEEPs* (Gambar 2). Sensor ini terdiri dari satu barisan 13 dioda *photo-resistant* berjarak 1,65 cm

antara satu dengan lainnya di atas *motherboard* di dalam *acrylic tube* yang transparan dan tahan air. Panjang efektif sensor adalah 21,45 cm sama dengan panjang total barisan dioda yang terletak di bagian depan *acrylic tube*.

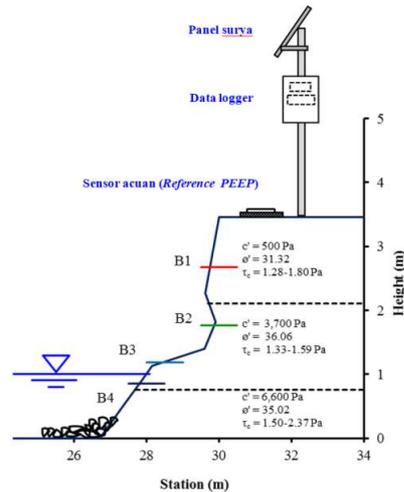
Saat tebing sungai tergerus erosi, sensor PEEP dan barisan dioda di dalamnya perlahan-lahan tersingkap dan terkena cahaya matahari (Gambar 3a). Semakin panjang singkapan sensor, semakin bertambah jumlah dioda yang terpapar cahaya dan semakin besar output tegangan sensor, V_{CS} , yang dikirim melalui kabel ke *data logger*. Dalam studi ini, data logger serta panel surya ditaruh pada tiang yang ditancapkan di atas tebing di belakang sensor (Gambar 3b).

Sensor dioperasikan antara tanggal 4 Juni dan 1 Desember 2009. Tiga panel surya digunakan untuk menjamin tersedianya suplai arus listrik (Gambar 3b) untuk keempat sensor yang sedang dioperasikan. Pada malam hari tidak ada *output* tegangan dari sensor karena kerja dioda tergantung pada cahaya. Satu unit sensor acuan diletakkan di atas blok beton yang ditaruh di bantaran sungai di atas tebing yang sedang dimonitor (Gambar 3c). Sensor ini akan memberi informasi *output* tegangan acuan yang tidak terganggu, V_{RP} , yang mewakili *output* maksimum jika sensor tersingkap seluruhnya (*fully exposed*) [16]. Data V_{RP} diperlukan untuk dua hal. Pertama, untuk mendeteksi kapan sensor tersingkap seluruhnya ($V_{CS} \approx V_{RP}$) sehingga perlu di *reset*. Informasi waktu reset (*reset time*) sensor sangat penting saat mengolah data. Kedua, nilai V_{RP} digunakan sebagai nilai acuan untuk mengoreksi *output* tegangan V_{CS} sensor tebing yang terganggu oleh fluktuasi intensitas cahaya matahari misalnya karena cuaca dan pergerakan awan. Melalui suatu proses kalibrasi, akan ditemukan persamaan yang menghubungkan rasio $\frac{V_{CS}}{V_{RP}}$ dan panjang singkapan sensor, L . Persamaan kalibrasi ini kemudian digunakan untuk mengkonversi data *output* tegangan, V_{CS} , menjadi data panjang singkapan sensor, L .

Pada akhirnya, semua data output dari sensor acuan dan keempat sensor yang ditanam dalam tebing disimpan dalam suatu data logger. Dalam studi ini, data logger di-*set* untuk mencatat data per 15 detik dan menyimpan nilai rerata per 15 menit mengikuti metode yang dipakai dalam studi terdahulu tentang erosi tebing sungai [16], [17], [18].



Gambar 3. (a). Panjang singkapan (*exposure length*) PEEP setelah kejadian banjir. (b) Data logger dan panel surya diikat di tiang yang ditancapkan di atas tebing di belakang sensor. (c) Sensor acuan (*reference PEEP*).



Gambar 4. Instalasi sensor di tebing sungai.

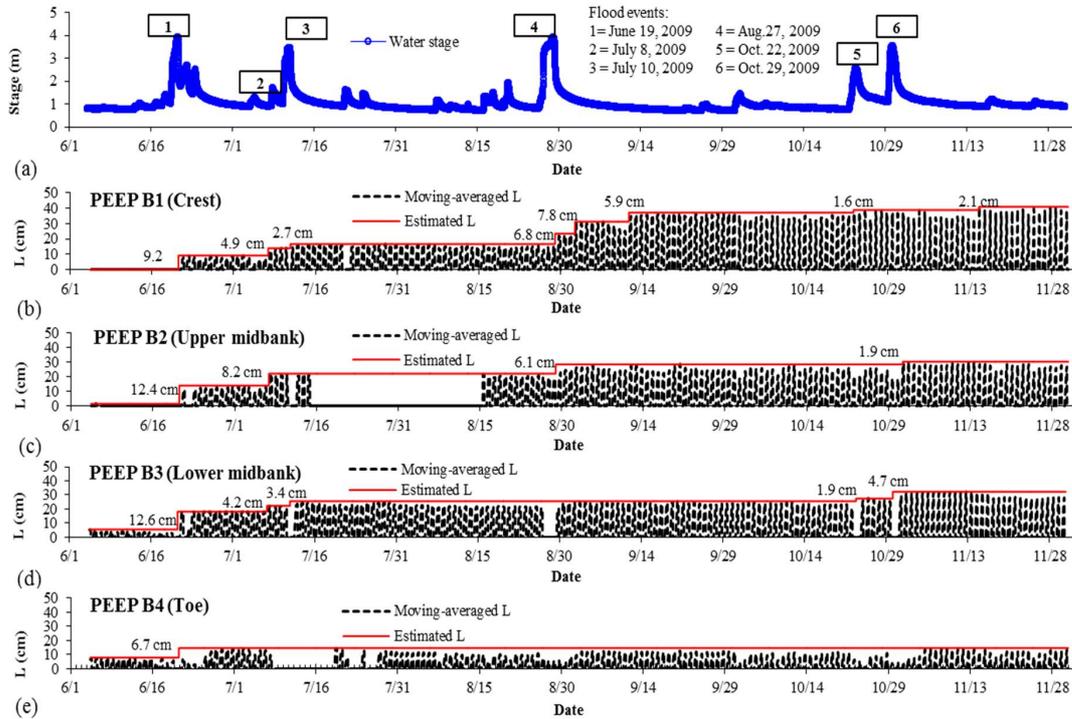
B. Pemasangan PEEP

Sensor pada awalnya dimasukkan hingga terbenam ke dalam tebing sungai secara horizontal melalui lubang (70 cm x 1.6 cm) yang terlebih dahulu disediakan dengan mengebor tanah tebing sungai. Empat buah sensor dibanamkan ke dalam tebing sungai, yakni sensor B1, B2, B3, dan B4 berturut-turut di bagian puncak, tengah atas, tengah bawah, dan tumit tebing (Gambar 4). Satu buah sensor yang berfungsi sebagai sensor acuan diletakkan di bantaran sungai dekat dari sensor. Sensor tersebut dioperasikan antara tanggal 4 Juni hingga 1 Desember 2009.

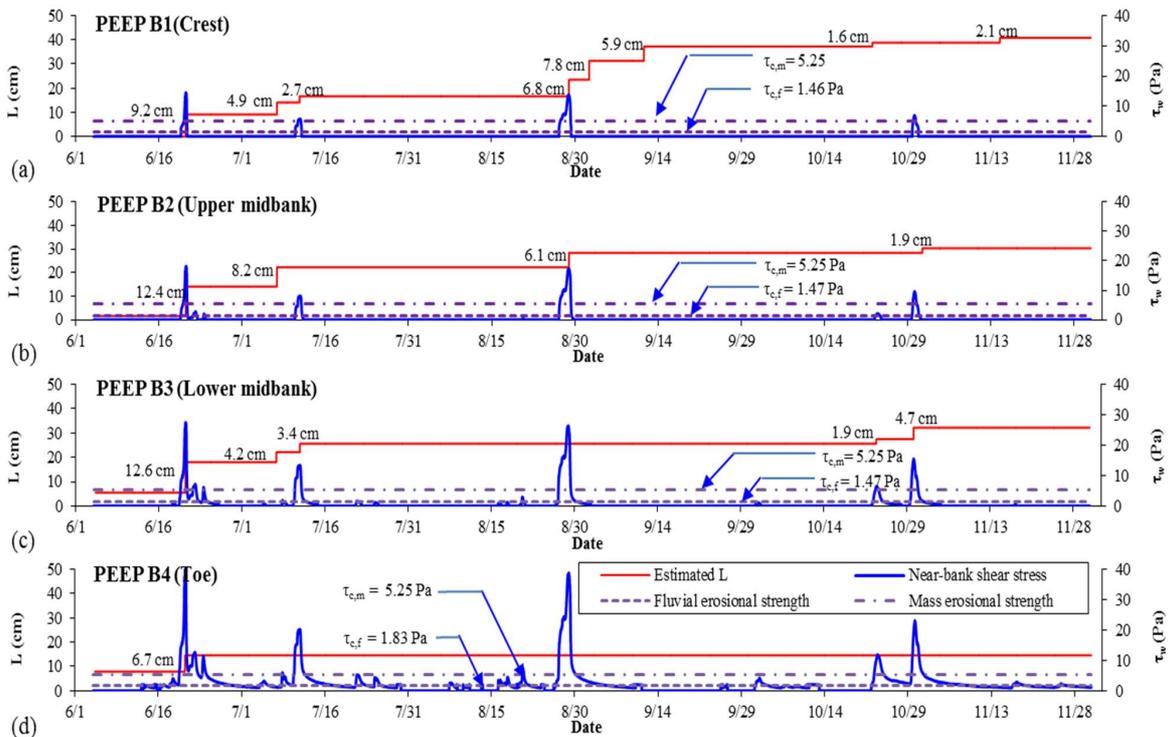
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 5 menampilkan plot serial data elevasi muka air (*water stage*, Gambar 5a) dan hubungannya dengan panjang singkapan L sensor B1 (Gambar 5b), B2 (Gambar 5c), B3 (Gambar 5d), dan B4 (Gambar 5e). *Moving averaged L* adalah panjang singkapan sensor yang telah diolah dengan teknik statistik *moving averaged*. Sedangkan *Estimated L* adalah perkiraan panjang singkapan sensor setelah menghilangkan pengaruh siklus harian perubahan intensitas cahaya akibat perubahan orientasi cahaya matahari dari pagi hingga sore.

Kegiatan monitoring ini berhasil merekam setidaknya enam kejadian banjir selama pengoperasian sensor (Gambar 5a). Demikian pula, terekam frekuensi dan panjang erosi antara tanggal 4 Juni dan 1 Desember 2009 (garis merah pada Gambar 5b, 5c, 5d, dan 5e). Erosi terjadi sebanyak 8, 4, 5, dan 1 kali berturut-turut di bagian puncak, tengah atas, tengah bawah, dan tumit tebing selama masa pemantauan. Plot serial data yang menampilkan bentuk seperti tangga pada Gambar 5b menunjukkan bahwa erosi, dalam hal ini erosi bongkahan, lebih sering terjadi di bagian puncak tebing. Jika diperhatikan dari puncak menuju ke tumit tebing, frekuensi erosi cenderung menurun. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tanah tebing sungai semakin besar jika ditinjau ke arah bawah tebing.



Gambar 5. (a) Serial data elevasi muka air (*water stage*) dalam sungai. (b) Panjang singkapan *L* (*exposure length*) sensor PEEP B1. (c) PEEP B2. (d) PEEP B3. (e) PEEP B4



Gambar 6. Data panjang singkapan sensor dan data tegangan gesek hidrodinamik di permukaan tanah tebing di sekitar sensor: (a) PEEP B1. (b) PEEP B2. (c) PEEP B3. (d) PEEP B4.

Kecenderungan ini mendukung fakta bahwa tanah yang menyusun bagian puncak tebing kepadatannya lebih rendah dan mengandung deposit pasir [19], karena itu lebih mudah tergerus erosi dibanding bagian tengah dan tumit tebing.

Serial data L diplot bersama tegangan gesek hidrolik, τ_w , yang dihitung dengan bantuan *software* CONCEPT untuk masing-masing lokasi dimana sensor dipasang (Gambar 6a, 6b, 6c, dan 6d). Plot ini tidak hanya memberikan informasi penting tentang frekuensi dan panjang erosi yang terjadi di masing-masing lokasi, namun yang lebih penting lagi besarnya tegangan gesek hidrodinamis, τ_w , yang korespon dengan masing-masing kejadian erosi (*erosion event*).

Berdasarkan Gambar 6, erosi bongkahan cenderung meningkat pasca-puncak banjir atau pada bagian menurun dari kurva hidrograf banjir. Dengan demikian, diyakini dalam studi ini, magnitudo erosi adalah dampak kumulatif besarnya gaya gesek hidrodinamis, τ_w , dan terganggunya stabilitas tanah akibat menurunnya muka air dengan cepat (*rapid drawdown*) pasca puncak banjir. Hasil pengamatan yang sama dilaporkan oleh [20] di sungai di Inggris dan [7] di Sungai Sieve, Italia.

Plot L dan gaya gesek hidrodinamis (*shear stress*), τ_w , (Gambar 6) memperlihatkan dengan jelas adanya proses erosi yang tidak disebabkan oleh gaya gesek hidrodinamis aliran sungai atau disebut juga erosi non-hidrolis. Sebagai contoh, pada Gambar 6a, kejadian erosi yang ke-2, 5, 6, 7, dan 8, yang terekam oleh sensor PEEP B1, terjadi pada kondisi normal dimana τ_w tidak meningkat bahkan posisi muka air tidak mencapai lokasi PEEP BEE1 pada saat erosi tersebut terekam.

Selain itu, dalam beberapa kejadian, sensor tidak mendeteksi erosi meskipun gaya gesek hidrodinamik, τ_w , cukup besar untuk menyebabkan erosi bongkahan. Salah satu contoh, selama banjir tanggal 24 Juli 2009, sensor B3 dan B4 tidak mendeteksi erosi meskipun gesek hidrodinamik, τ_w , lebih dari 25 Pa (Gambar 6c dan 6d). Mayoritas fenomena ini (8 dari 12) terjadi di bagian tengah bawah dan tumit tebing. Hal ini kemungkinan disebabkan karena sensor B3 dan B4 terlindungi oleh ranting kayu, rumput atau material tanah yang longsor dari bagian atas tebing. Keruhnya air sungai di bagian bawah dapat juga menjadi penyebab kesalahan pembacaan sensor.

Tabel 1 menampilkan rekapitulasi panjang erosi bongkahan dan erosi non-hidrolis. Berdasarkan Tabel 1, erosi gerusan bongkahan lebih besar dari erosi non-hidrolis (misalnya longsor tebing) terutama di bagian bawah tebing yang tidak mudah terlihat.

Tabel 1. Rekapitulasi panjang erosi (cm) tebing sungai.

Lokasi di tebing sungai	Gerusan bongkahan	Erosi non-hidrolis	Total
Top	18,7	22,3	41,0
Tengah atas	18,5	10,1	28,6
Tengah bawah	22,6	4,2	26,8
Tumit	6,7	0,0	6,7

Hasil studi ini menantang pendapat umum yang menyatakan bahwa erosi gerusan, baik gerusan butir maupun gerusan bongkahan kontribusinya kecil terhadap pergerakan mundur tebing sungai dan total sedimen yang mengalir dalam sungai.

IV. KESIMPULAN

Studi ini berhasil mengembangkan suatu metode untuk menghitung erosi gerusan khususnya gerusan bongkahan langsung di lapangan (*in-situ*) dengan menggunakan alat sensor cahaya *Photo Electronic Erosion Pin* (PEEP). Alat yang lebih sering dipakai untuk penelitian morfodinamika pantai kini diterapkan di tebing sungai untuk memberikan informasi yang sifatnya *automated, localized, quasi-continuous* tentang *timing, durasi, dan panjang erosi bongkahan yang dipengaruhi oleh perubahan tinggi muka air dan debit di dalam sungai.*

Dalam studi ini, teknik sensor cahaya yang diterapkan di Clear Creek, Iowa, Amerika Serikat dari tanggal 4 Juni hingga 1 Desember 2009 berhasil mendeteksi frekuensi dan panjang erosi bongkahan dan erosi non-hidrolis (misalnya longsor) yang terjadi di tebing sungai. Panjang erosi bongkahan tersebut adalah 18,7 cm, 18,5 cm, 22,6 cm, dan 6,7 cm berturut-turut di bagian puncak, tengah atas, tengah bawah, dan tumit tebing sungai. Sedangkan panjang erosi non-hidrolis adalah 22,3 cm, 10,1 cm, 4,2 cm, dan 0 cm berturut-turut di bagian puncak, tengah atas, tengah bawah, dan tumit tebing sungai.

Erosi gerusan dalam hal ini erosi bongkahan cenderung lebih sering terjadi di bagian puncak tebing yang kepadatan tanahnya umumnya lebih rendah dibanding bagian bawah tebing. Dengan demikian, sangat perlu memperhitungkan heterogenitas tanah tebing sungai pada saat melakukan analisis stabilitas tebing sungai.

Di samping itu, hasil studi ini menunjukkan panjang erosi bongkahan lebih besar dari erosi non-hidrolis (misalnya longsor tebing) terutama di bagian bawah tebing yang lebih sering terpapar gaya gesek aliran sungai. Hal ini menantang pendapat umum yang menyatakan bahwa erosi gerusan, baik erosi butir maupun erosi bongkahan kontribusinya tidak kecil terhadap pergerakan mundur tebing sungai (*bank retreat*) dan total sedimen yang mengalir dalam sungai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada kelompok riset yang dipimpin oleh Prof. A.N. Papanicolaou di IIHR-Hydroscience and Engineering University of Iowa yang menyediakan fasilitas PEEPs dan akses pada beberapa literatur. Penulis berkesempatan bergabung dengan kelompok riset tersebut melalui Fulbright Indonesia Presidential Scholarship Program.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. D. Willett, *et al.*, "Streambank erosion in two watersheds of the central claypan region of Missouri, United States," *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 67, no. 4, pp. 249-263, 2012.
- [2] G.A. Fox, *et al.*, "Reservoir sedimentation and upstream sediment sources: Perspectives and future

- research needs on streambank and gully erosion,” *Environmental Management*, vol. 57, no. 5, pp. 945-955, 2016.
- [3] M. Rinaldi and S.E. Darby, “Modeling river-bank-erosion processes and mass failure mechanisms: Progress towards fully coupled simulations,” in *Gravel-bed rivers VI: From process understanding to river restoration*, H. Habersack, H. Piegay and M. Rinaldi, Ed. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier, 2008, pp. 213-239.
- [4] A. I. Akinola, *et al.*, “Influence of sample holding time on the fluvial erosion of remolded cohesive soils,” *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 144, no. 8, 2018.
- [5] A.N. Papanicolaou, *et al.*, “Understanding mass fluvial erosion along a bank profile: Using PEEP technology for quantifying retreat lengths and identifying the event timing,” *Earth Surface Processes and Landform*, vol. 42, no. 11, pp. 1717-1732, 2017.
- [6] R.C. Grabowski, I. G. Droppo and G. Wharton, “Erodibility of cohesive sediment: The importance of sediment properties,” *Earth Science Reviews*, vol. 105, no. 3, pp. 101-120, 2011.
- [7] S.E. Darby, M. Rinaldi and S. Dapporto, “Coupled simulations of fluvial erosion and mass wasting for cohesive river banks,” *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol. 112, 2007.
- [8] T.E. Sutarto, “A combined flume-imaging technique for measuring fluvial erosion of cohesive streambank soil,” *Procedia Engineering*, vol. 125, pp. 368-375, 2015.
- [9] A.N. Papanicolaou, *et al.*, “Bank Stability Analysis for Fluvial Erosion and Mass Failure,” in *Proc. of World Environmental and Water Resources Congress, Portland, Oregon, USA, 1-5 June 2014*, pp. 1497-1508, 2014.
- [10] T.E. Sutarto, *et al.*, “A stability analysis of semi-cohesive streambanks with concepts: Coupling field and laboratory investigations to quantify the onset of fluvial erosion and mass failure,” *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 140, no. 9, 2014.
- [11] J.P. Resop and W. C. Hession, “Terrestrial laser scanning for monitoring streambank retreat: comparison with traditional surveying techniques,” *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 136, no. 10, pp. 794-798, 2010.
- [12] S. Bird, D. Hogan, and J. Schwab, “Photogrammetric monitoring of small streams under a riparian forest canopy,” *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 35, pp. 952-970, 2010.
- [13] D.J. Sherman, C. Houser, A.C.W. Baas, “Electronic measurement techniques for field experiments in process geomorphology,” in *Treatise on Geomorphology*, J. Shroder, *et al.*, Ed. San Diego, CA, USA: Academic Press, 2013, vol. 14, pp. 195-221.
- [14] A. Khanal, *et al.*, “Comparison of linear and nonlinear models for cohesive sediment detachment: rill erosion, hole erosion test, and streambank erosion studies,” *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 142, no. 9, 2016.
- [15] T. E. Sutarto, “Bank erosion processes in streams in the U.S. Midwest. *PhD. Thesis*, Univ. of Iowa. Iowa City, USA, 2014.
- [16] J.P. McDermott and D. J. Sherman, “Using photo-electronic erosion pins for measuring bed elevation changes in the swash zone,” *Journal of Coastal Research*, vol. 25, no. 3, pp. 788-792, 2009.
- [17] D. M. Lawler, “Advances in the continuous monitoring of erosion and deposition dynamics: Developments and applications of the new PEEP-3T system,” *Geomorphology*, vol. 93, pp. 17-39, 2008.
- [18] D.P. Horn and S.P.H. Lane, “Measurement of high-frequency bed level changes in the swash zone using Photo-Electronic Erosion Pins (PEEPs),” in *Proc. of the 30th International Conference on Coastal Engineering, San Diego, California, 2006*, pp. 2591-2603.
- [19] C. G. Wilson, A.N. Papanicolaou and K.D. Denn, “Quantifying and partitioning fine sediment loads in an intensively agricultural headwater system,” *Journal of Soils and Sediments*, 12(6), 966-981, 2012
- [20] S.B. Mitchell, *et al.*, “Dynamics of erosion and deposition events on an intertidal mudbank at Burringham, River Trent, UK.,” *Hydrological Processes*, vol. 13, no. 7, pp. 1155-1166, 1999.

Modul Praktek PLTS On-Grid Berbasis Micro Inverter

Ida Bagus Ketut Sugirianta[✉], I Gusti Ngurah Agung Dwijaya Saputra,
I Gusti Agung Made Sunaya

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali

[✉]ibksugirianta@pnb.ac.id

Abstrak: Pada umumnya, masyarakat diperkenalkan dengan model pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *off-grid* yang diaplikasikan untuk daerah yang tidak ada jaringan PLN dengan cara menyimpan energi pada siang hari dan menggunakannya di waktu malam. PLTS yang ditawarkan ke masyarakat menggunakan *central inverter* untuk beberapa modul fotovoltaic, yang menghasilkan tegangan DC yang tinggi dan berbahaya, serta ukuran yang besar dan harga yang mahal. Dalam penelitian ini, model PLTS *on-grid* dibangun untuk modul praktek yang langsung terhubung ke PLN serta tidak memerlukan baterai penyimpanan maupun *charger* sehingga mengurangi biaya investasi dan cocok diaplikasikan di masyarakat. Micro inverter berukuran kecil dapat dipasang langsung di bawah modul surya dan menghasilkan tegangan AC yang langsung dapat dimanfaatkan untuk dipakai sendiri maupun dijual ke PLN. Modul yang dibangun adalah sebuah PLTS *on-grid* 300 wp dengan menggunakan *micro inverter* 300 watt dan dilengkapi dengan beban listrik berupa bola lampu dan stop kontak. Untuk pengambilan data, model ini dihubungkan dengan jaringan PLN melalui pelanggan listrik rumah tangga dengan daya 1300 VA. Hasil pengukuran PLTS ini mampu membangkitkan daya tertinggi sebesar 142,37 watt dan berhasil mendistribusikan daya tertinggi ke jaringan PLN sebesar 115,41 watt. Model PLTS ini siap digunakan sebagai modul praktek dan juga media promosi ke masyarakat tentang model PLTS *on-grid* yang mempunyai nilai ekonomi untuk membantu pemerintah dalam pencapaian target nasional di bidang *renewable energy*.

Kata kunci: *Central inverter, micro inverter, PLTS on-grid, photovoltaic, renewable energy.*

Abstract: Generally, an *off-grid* solar power model was applied widely to areas with no electrical network exist for storing energy during the day and using it at night. This model uses a *central inverter* for several photovoltaic modules, which produces high and dangerous DC voltages, and also has large sizes and high prices. In this study, *on-grid* solar system model based on *micro inverter* is built that can use for purposes of teaching material that directly connected to the electrical grid with no batteries or chargers, thereby reducing investment costs and suitable to be applied in the community. Small sized *micro inverters* can be installed directly under the solar module and also generate AC voltage that can be directly used for own use or sold to PLN. The module that is built is an *on-grid* solar photovoltaic 300 wp model using a 300 watt *micro inverter* and equipped with an electric load in the form of a light bulb and socket outlet. For data retrieval, this model is connected to the PLN network through household electricity customers with 1300 VA power. The result of measurement this solar power model can generate the maximum electric power is 142.37 watt and can distribute electric power to PLN around 115.41 watt. This PLTS model is ready to be use for purposes of teaching material and also for promotion to community about model of *on-grid* PLTS that having economy value so can support government in achieving the national target in the renewable energy field.

Keywords: *Central inverter, micro inverter, PLTS on-grid, photovoltaic, renewable energy.*

I. PENDAHULUAN

Saat ini *fossil* merupakan sumber energi utama untuk membangkitkan energi listrik, sementara persediaan fosil semakin terbatas jumlahnya. Sumber energi baru dan terbarukan merupakan alternatif sumber energi listrik yang ketersediaannya sangat melimpah. Dalam target bauran energi nasional, pemerintah telah menetapkan untuk meningkatkan pemanfaatan energi baru dan terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025. Peningkatan pemanfaatan energi terbarukan inilah yang menjadi urgensi dari penelitian ini. Energi surya adalah salah satu sumber energi terbarukan yang ketersediaannya sangat melimpah di Indonesia. *Solar photovoltaic (PV) system* atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga surya dan saat ini banyak dikembangkan. Hal ini dikarenakan energi ini lebih bersih, tanpa memerlukan bahan bakar, dan keberlanjutan serta dapat diandalkan [1].

Sumber energi ini memanfaatkan sinar matahari dengan mengubah sinar tersebut menjadi energi listrik melalui *solar cells*. Saat ini pembangunan PLTS bukan hanya dalam skala besar tetapi banyak juga dibangun dalam skala kecil yaitu dibangun di rumah tinggal masyarakat baik di perkotaan maupun di pedesaan. Pemasangan PLTS *on-grid* pada rumah tinggal masyarakat khususnya masyarakat yang tinggal di perkotaan adalah salah satu cara yang mempunyai pengaruh sangat besar dalam membantu pencapaian target bauran energi nasional. Pemakaian listrik masyarakat perkotaan sebagian besar hanya pada malam hari karena di siang hari mereka sibuk bekerja di luar rumah, maka pemanfaatan energi surya yang sangat melimpah di siang hari sehingga penggunaan sistem PLTS *on-grid* di skala rumah tinggal merupakan keniscayaan.

Pada aplikasi pemasangan PLTS, diperlukan ketersediaan sumber daya manusia (SDM) yang mempunyai pengetahuan di bidang PLTS. Untuk

menunjang ketersediaan SDM ini, maka diperlukan adanya modul pembelajaran di bidang PLTS yang bisa digunakan sebagai sarana praktikum untuk meningkatkan pengetahuan mahasiswa. Selain itu, model PLTS *on-grid* ini juga bisa digunakan sebagai alat promosi kepada masyarakat dalam hal pemanfaatan energi surya yang dapat diandalkan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan membangun model PLTS *on-grid* untuk modul praktek dan juga bisa digunakan sebagai alat promosi kepada masyarakat tentang PLTS *on-grid* dalam skala rumah tinggal yang mempunyai nilai ekonomi. Sesuai dengan bagan alir pada Gambar 1, maka tahap penelitian adalah sebagai berikut: pertama, model PLTS *on-grid* akan dirancang tanpa menggunakan baterai.



Gambar 1. Bagan alir penelitian.

Selanjutnya, dipilih beberapa jenis *micro inverter* yang ada di pasaran yang nantinya akan menghasilkan biaya yang rendah dan keluaran yang optimum. Setelah didapatkan model yang terbaik, selanjutnya adalah membangun PLTS *on-grid* menggunakan *micro inverter*. Model PLTS yang telah dibangun diuji dan diukur keluarannya untuk pengambilan data. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan 3 buah *power meter* dengan mengukur arus, tegangan dan juga $\cos \phi$. Pengukuran dilakukan pada 3 titik (di posisi PLN, PLTS dan beban). Hasil pengukuran ini selanjutnya digunakan untuk menghitung dan menganalisis energi yang dibangkitkan. Tahap terakhir adalah menarik kesimpulan.

A. Model PLTS

Pada proses perancangan model PLTS, terdapat 3 kategori PLTS yang digunakan, yaitu PLTS On-Grid dengan baterai, PLTS On-Grid tanpa baterai, dan PLTS Off-Grid.

1) PLTS Off-Grid (Stand-alone off-grid systems)

ini berdiri sendiri dan tidak terhubung dengan jaringan PLN. Sistem ini memerlukan baterai untuk menyimpan energi yang nantinya akan digunakan pada PLTS yang tidak menghasilkan energi seperti pada malam hari.

2) PLTS On-Grid Tanpa Baterai (Batteryless grid-tie systems)

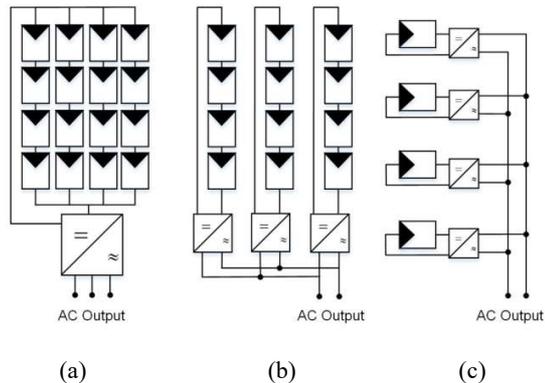
Sistem ini tidak menggunakan baterai dan merupakan sistem yang paling sederhana. Pada sistem ini, hanya diperlukan modul PV (*photovoltaic*) sebagai pembangkit energi dan *inverter* yang mengubah tegangan DC menjadi AC yang terhubung ke jaringan PLN.

3) PLTS On-Grid Dengan Baterai (Battery-based grid-tie systems)

Sistem ini mirip dengan *stand-alone systems* yang memiliki baterai, namun sistem ini juga terhubung ke jaringan/utility grid. Kelebihan energi yang dihasilkan dapat dijual ke PLN.

B. Micro Inverter

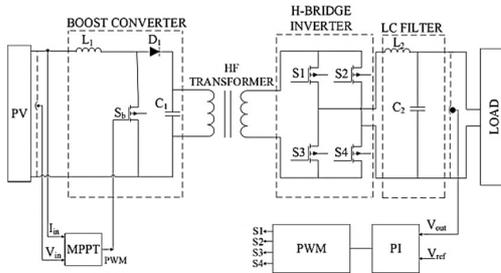
Secara umum, suatu sistem PLTS akan memiliki satu atau lebih panel surya (*PV panels*), *inverter* dan perangkat elektronik tambahan. Untuk saat ini, panel surya telah memasuki generasi ketiga yang mana bahan *solar cell* dibuat dengan teknologi *thin-film* yang salah satunya menggunakan *monocrystalline cell* yang memiliki efisiensi yang tinggi, namun lebih mahal dari bahan lainnya [2]. *Inverter* yang digunakan dapat dibagi menjadi 3, yaitu *string inverter*, *central inverter* dan *micro inverter* [3] – [9] yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kategori inverter untuk PLTS (a) *central inverter*, (b) *string inverter*, (c) *micro inverter* [3].

Central inverter seperti pada Gambar 2.a, banyak digunakan secara luas. *Inverter* jenis ini dilengkapi dengan *Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm*. MPPT ini bekerja untuk mengekstrak maksimum daya yang mungkin dihasilkan oleh *photovoltaic* dan

meneruskannya ke beban melalui *boost converter* yang berfungsi menaikkan tegangan sesuai yang dibutuhkan [10].



Gambar 3. Struktur sebuah *micro inverter* [3].

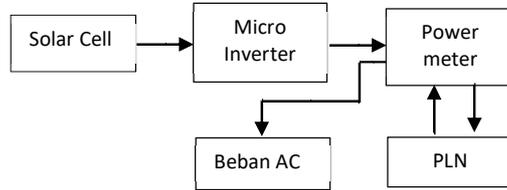
Satu *central inverter* akan melayani seluruh panel surya yang ada, sedangkan *string inverter* melayani sekelompok modul surya. Pada kedua jenis inverter ini, jika salah satu modul terkena bayangan, maka dampaknya akan ke seluruh sistem atau ke satu kelompok panel tersebut. Untuk *micro inverter*, masing-masing modul akan dilengkapi *inverter* yang jika salah satu modul terkena bayangan, maka hanya modul tersebut yang terpengaruh. Rangkaian dasar dari *micro inverter* dapat dilihat seperti pada Gambar 3.

Sebuah *micro inverter* diletakkan langsung di bawah modul surya, dan tegangan keluarannya sudah berupa tegangan AC. Hal ini tentu akan mengurangi rugi-rugi akibat penyaluran tegangan DC dari modul ke *inverter*. Semakin panjang, maka akan banyak rugi-rugi daya yang terjadi pada tegangan rendah.

Micro inverter pada Gambar 3 memiliki 2 tahapan (*stages*), pada tahap pertama terdapat *boost converter* yang diisolasi karena adanya *transformator*. *Boost converter* konvensional dibangun menggunakan kumparan L_1 , saklar S_b , dioda D_1 , dan kapasitor C_1 . MOSFET digunakan sebagai *switching* yang dikontrol secara *closed loop* menggunakan MPPT controller. Untuk tahap kedua merupakan *H-bridge inverter* [11]. Pada tahap ini antara *converter* dan *inverter* diisolasi menggunakan trafo frekuensi tinggi (*HF transformer*). Pada *H-bridge inverter* terdapat 4 buah MOSFETs yang dikontrol menggunakan *pulse width modulation* (PWM) dengan *proportional-integral* (PI) controller. Sebuah LC filter ditempatkan di bagian keluaran inverter untuk mengurangi harmonisa yang timbul dan membangkitkan gelombang sinus murni.

Pemilihan penggunaan *micro inverter* dibandingkan dengan *string inverter* dan *central inverter* berdasarkan beberapa pertimbangan [12] yaitu berdasarkan keandalan sistem meningkat dari 5 tahun menjadi 20 tahun dengan berkurangnya suhu *converter* dan tidak diperlukannya kipas. Penggantian sistem *switching* yang sebelumnya menggunakan *hard-switching* pada *string inverter* menjadi *soft switching* pada *micro inverter* dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi disipasi panas. *Micro inverter* cenderung memerlukan suplai daya kecil (beberapa ratus watt saja) yang menghasilkan suhu internal alat yang rendah dan juga meningkatkan keandalan. Konverter yang terhubung ke *grid* akan menghilangkan kebutuhan baterai

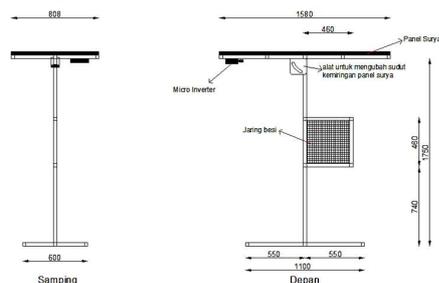
yang harganya mahal, juga memerlukan perawatan dan umur operasi yang singkat [13].



Gambar 4. Blok diagram PLTS on-grid berbasis *micro inverter*.

Central inverter dan *string inverter* yang menangani banyak modul yang terhubung seri menghasilkan tegangan DC yang tinggi yang tentu saja perlu penanganan yang lebih ekstra. Blok diagram rangkaian PLTS *on-grid* berbasis *micro inverter* dapat dilihat pada Gambar 4.

Sesuai dengan blok diagram pada Gambar 4, model PLTS *on-grid* yang dibangun terdiri dari *solar cell*, *micro inverter*, meter ukur, beban AC dan PLN. *Solar cell* sebagai pengubah energi surya menjadi energi listrik DC dalam sistem ini menggunakan panel surya 300 Wp yang langsung menyalurkan energi listrik ke *micro inverter* (*micro inverter* model : WVC300-230 VAC) yang dipasang langsung di bawah panel surya. *Micro inverter* ini mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC, *output inverter* ini selanjutnya dihubungkan dengan *power meter* untuk mengukur arus, tegangan dan juga $\cos \phi$ dari panel surya. Arus yang dibangkitkan oleh panel surya ini dapat digunakan untuk melayani beban dan juga bisa disalurkan ke jaringan PLN. PLN dalam hal ini dapat berperana sebagai pemasok daya listrik dan juga sebagai penerima aliran listrik. Sesuai dengan blok diagram Gambar 4, maka pada sistem ini beban akan disuplai melalui 2 sumber, yaitu dari sumber *solar cell* dan dari PLN. Jika beban yang dilayani cukup hanya disuplai dari *solar cell*, maka beban akan sepenuhnya hanya disuplai oleh *solar cell*. Jika produksi daya listrik dari *solar cell* kurang dari kebutuhan beban, maka suplai daya akan dipasok melalui dua sumber yaitu *solar cell* dan PLN. Jika suplai *solar cell* melebihi daya yang dibutuhkan oleh beban, maka daya ini dapat disalurkan ke PLN atau dalam istilah lainnya dapat dijual ke PLN. Gambar rancangan model PLTS *on-grid* dibuat dengan *autocad*, model dirancang agar dapat dipindahkan dengan kedudukan yang bisa menopang panel PLTS sehingga bisa dengan mudah ditempatkan pada lokasi yang diinginkan. Gambar rancang bangun model ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rancang bangun PLTS *on-grid* berbasis *micro inverter*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

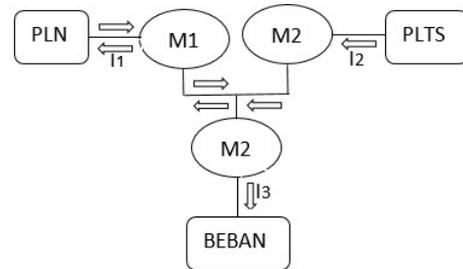
Rancang bangun model PLTS ini menggunakan jenis *inverter* yang berbeda dari yang umumnya digunakan, yaitu menggunakan *micro inverter* (*Micro Inverter* model: WVC300-230 VAC) dengan penempatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar 6 dan 7 menunjukkan hasil perakitan yang telah dilakukan dengan menempatkan alat ukur pada panel yang ada agar hasil pengukuran seperti arus, tegangan, daya, faktor daya, dapat terbaca dengan mudah. Selain itu, juga ditambahkan 3 buah bola lampu sebagai beban yang dipilih dengan daya yang berbeda agar dapat diketahui perbedaan yang terjadi terhadap variabel yang diukur. Terdapat 4 (empat) buah stop kontak yang nantinya dapat digunakan untuk penambahan beban listrik yang berbeda seperti untuk *charge hp*.



Gambar 6. Model PLTS dengan *micro inverter*.



Gambar 7. Panel pada model PLTS dengan *micro inverter*.

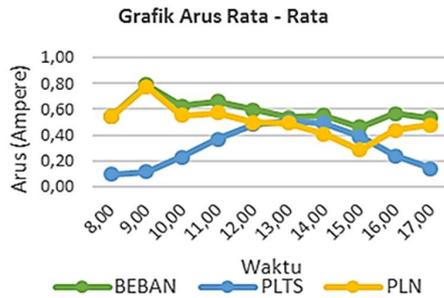


Gambar 8. Blok diagram pengukuran model PLTS.

Blok diagram pengukuran model PLTS yang ditampilkan dalam Gambar 8 menunjukkan bahwa pengukuran dilakukan dengan menggunakan 3 buah *power meter* (M1, M2 dan M3). *Power meter* M1 akan mengukur tegangan, $\cos \phi$, dan arus yang mengalir pada jaringan PLN, *power meter* M2 akan mengukur tegangan, $\cos \phi$ dan arus yang mengalir dari PLTS, sedangkan *power meter* M3 merupakan *power meter* yang mengukur tegangan, $\cos \phi$ dan arus yang mengalir menuju ke beban. Beban yang digunakan berupa bola lampu dengan daya yang bervariasi mulai dari 90watt sampai dengan 150 watt. Pengetesan fungsi kerja dan pengukuran sistem PLTS *on grid* ini dilakukan di sebuah rumah tinggal yang berlangganan listrik PLN dengan daya 1300VA berlokasi di daerah Mambal, kota Badung Bali. Pengukuran dilakukan mulai dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 18.00 WITA. Pada setiap pengukuran per hari, dilakukan pengambilan data sebanyak 10 kali yaitu pada pukul 08.00, 09.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00, 15.00, 16.00 dan 17.00. Hasil pengukuran harian dihitung rata-ratanya dan rata-rata hasil pengukuran yang dilaksanakan selama 10 hari dapat dilihat dalam Tabel 1 dan Gambar 9.

Tabel 1. Rata-rata pengukuran arus.

Waktu	Beban		Suplai PLTS		Suplai PLN		Teg. (V)
	Arus (A)	Cos ϕ	Arus (A)	Cos ϕ	Arus (A)	Cos ϕ	
8.00	0,54	0,80	0,10	0,20	0,54	0,74	223,6
9.00	0,79	0,86	0,12	0,28	0,78	0,81	222,8
10.00	0,63	0,85	0,23	0,64	0,55	0,63	225,6
11.00	0,66	0,85	0,37	0,88	0,57	0,28	225,0
12.00	0,60	0,80	0,49	0,94	0,50	0,08	227,4
13.00	0,54	0,86	0,51	0,94	0,50	-0,15	226,7
14.00	0,55	0,82	0,49	0,94	0,41	0,04	223,9
15.00	0,47	0,87	0,39	0,88	0,29	0,04	225,2
16.00	0,57	0,81	0,24	0,77	0,44	0,51	224,9
17.00	0,53	0,83	0,14	0,48	0,48	0,75	227,6



Gambar 9. Grafik arus rata-rata.

Hasil pengukuran PLTS *on grid* berbasis *micro inverter* menunjukkan bahwa arus yang dihasilkan pada *output micro inverter* tergantung kepada tingkat pancaran radiasi sinar matahari yang menuju ke modul surya. Semakin besar radiasi sinar matahari yang mengenai modul surya, maka semakin besar energi yang dibangkitkan oleh panel surya. Sistem kelistrikan DC yang dibangkitkan oleh panel surya selanjutnya dikonversikan ke sistem AC oleh *micro inverter*. Keluaran dari *micro inverter* dihubungkan ke beban dan juga bisa langsung dihubungkan ke jaringan listrik PLN tanpa harus mengkalibrasi tegangan dan sudut fasenya, karena *micro inverter* ini sudah dapat bekerja secara otomatis untuk mengkalibrasi keluarannya. Tabel 1 menunjukkan rata-rata hasil pengukuran arus listrik, $\cos \phi$ dan tegangan. Parameter ini diukur pada tiga titik yang berbeda, yaitu di posisi beban, di posisi PLTS dan posisi PLN. Hal yang menjadi fokus dalam pembahasan ini adalah arus yang dihasilkan oleh PLTS, arus terbesar yang dibangkitkan PLTS terjadi pada pengukuran hari kedua yaitu sebesar 0,64 Ampere dengan $\cos \phi$ 0,98, hasil terendah adalah pada pukul 09.00 sebesar 0,09 Ampere dengan $\cos \phi$ 0,28. Gambar 9 menampilkan nilai rata-rata hasil pengukuran arus PLTS pada setiap pukul selama 10 hari, nilai arus mulai meningkat tajam pada pukul 09.00 dengan nilai rata-rata pengukuran tertinggi adalah pada pukul 13.00 dengan nilai 0,51 Ampere dan $\cos \phi$ 0,94. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa model PLTS yang dibangun telah berhasil mengalirkan arus listrik ke beban., Dalam hal ini, yang perlu diperhatikan dari tabel tersebut adalah nilai $\cos \phi$ yang minus., Nilai minus ini bukan merupakan hasil pengukuran dari *power meter*. Pada kondisi ini, *power meter* tidak mampu menunjukkan hasil pengukurannya danyang ditunjukkan hanya nilai 0 (nol) sehingga dengan kondisi seperti ini maka diperlukan kajian lanjutan. Sementara itu, semua angka minus pada Tabel 1 diperoleh melalui perhitungan dengan menggunakan Persamaan (1) berikut:

$$P_3(\text{beban}) = P_1(\text{PLN}) + P_2(\text{PLTS}) \quad (1)$$

$$V.I_3.\cos\phi_3 = V.I_1.\cos\phi_1 + V.I_2.\cos\phi_2$$

$$\cos\phi_1 = (I_3.\cos\phi_3 - I_2.\cos\phi_2) / I_1$$

Nilai minus menunjukkan bahwa ada aliran arus yang arahnya terbalik yaitu aliran arus dari PLTS ke jaringan PLN, jadi pada kondisi ini model PLTS yang dibuat telah berhasil menyalurkan daya listrik ke PLN.

Dari hasil pengukuran arus, baik yang masuk ke beban, arus yang disuplai oleh PLTS dan juga arus yang mengalir dari dan ke jaringan PLN, maka dapat dihitung besarnya daya yang masuk ke beban, daya yang dibangkitkan PLTS dan daya yang disuplai atau daya yang mengalir ke jaringan PLN dengan menggunakan Persamaan (2) berikut:

$$P = V.I \cos \phi \quad (2)$$

Dengan menggunakan Persamaan (2), maka diperoleh hasil perhitungan daya listrik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 – 11 di bawah.

Tabel 2. Perhitungan daya hari ke-1.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	57,88	5,38	52,42
9.00	118,81	19,34	99,63
10.00	199,60	55,94	144,55
11.00	19,67	94,94	-75,28
12.00	89,41	109,61	-20,20
13.00	48,85	115,62	-66,78
14.00	146,52	90,37	56,36
15.00	92,86	61,25	31,70
16.00	381,44	34,71	347,81
17.00	74,69	13,13	61,56

Tabel 3. Perhitungan daya hari ke-2.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	111,91	8,63	101,74
9.00	185,54	7,58	178,36
10.00	17,03	14,98	2,27
11.00	139,83	80,63	58,84
12.00	26,97	142,37	-115,41
13.00	101,36	137,93	-36,57
14.00	217,38	126,80	91,53
15.00	111,89	78,45	31,33
16.00	22,16	48,49	-26,33
17.00	71,48	26,88	42,95

Tabel 4. Perhitungan daya hari ke-3.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	116,12	4,95	113,21
9.00	43,33	6,91	36,93
10.00	48,24	27,72	20,25
11.00	168,36	31,57	136,53
12.00	75,75	60,97	7,79
13.00	33,00	128,46	-95,46
14.00	99,72	105,04	-5,33
15.00	101,97	89,88	14,71
16.00	9,85	48,70	-38,85
17.00	81,26	24,28	57,64

Tabel 5. Perhitungan daya hari ke-4.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	243,90	2,78	240,34
9.00	145,01	3,00	143,19
10.00	183,78	34,98	147,82
11.00	111,15	68,36	42,44
12.00	138,14	105,94	32,38
13.00	53,28	110,25	-56,97
14.00	127,23	88,87	38,61
15.00	60,48	63,08	-2,60
16.00	160,52	13,84	146,18
17.00	197,96	6,98	192,24

Tabel 6. Perhitungan daya hari ke-5.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	108,25	3,00	105,25
9.00	145,01	3,00	143,19
10.00	154,98	25,52	129,76
11.00	154,85	82,74	72,80
12.00	96,88	49,08	47,67
13.00	414,69	113,10	302,94
14.00	2,81	113,64	-110,83
15.00	44,25	86,45	-42,19
16.00	69,80	35,97	33,87
17.00	112,36	18,13	94,30

Tabel 7. Perhitungan daya hari ke-6.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	48,70	3,35	45,58
9.00	112,10	4,05	110,30
10.00	115,81	14,78	102,10
11.00	228,34	48,62	179,92
12.00	342,40	94,53	248,99
13.00	76,41	83,99	68,33
14.00	105,70	85,34	97,05
15.00	147,75	53,94	93,82
16.00	82,92	49,99	32,88
17.00	74,24	18,22	56,20

Tabel 8. Perhitungan daya hari ke-7.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	11,34	4,50	6,89
9.00	121,77	7,43	114,08
10.00	69,60	36,80	32,80
11.00	160,38	55,08	104,90
12.00	122,12	105,37	16,80
13.00	238,58	96,08	142,64
14.00	70,71	91,89	-21,18
15.00	41,14	60,24	-19,10
16.00	146,41	41,13	105,84
17.00	70,58	19,58	51,11

Tabel 9. Perhitungan daya hari ke-8.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	11,34	4,50	6,89
9.00	82,85	13,83	68,93
10.00	227,81	64,27	162,92
11.00	4,10	98,50	-94,39
12.00	1,69	105,27	-103,58
13.00	1,70	116,86	-115,16
14.00	1,67	110,74	-109,07
15.00	73,18	112,99	-39,80
16.00	92,88	74,81	18,09
17.00	201,46	26,27	174,51

Tabel 10. Perhitungan daya hari ke-9.

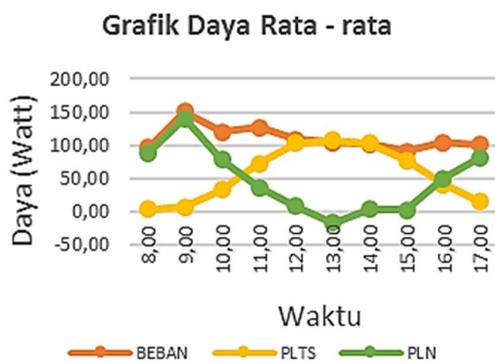
Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	187,35	4,03	185,29
9.00	151,52	5,39	145,30
10.00	153,54	61,09	92,95
11.00	201,69	82,24	119,97
12.00	17,09	127,15	-110,06
13.00	127,79	138,53	-10,74
14.00	175,83	113,62	60,64
15.00	174,98	97,20	75,69
16.00	73,51	48,06	26,93
17.00	100,68	8,21	93,02

Tabel 11. Perhitungan daya hari ke-10.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	141,28	2,63	139,61
9.00	413,22	4,62	410,14
10.00	62,90	11,83	52,35
11.00	48,42	94,68	-46,26
12.00	239,26	140,15	100,38
13.00	35,26	47,73	-12,48
14.00	81,68	108,16	-26,47
15.00	39,12	69,22	-30,10
16.00	58,80	30,11	28,69
17.00	35,96	3,27	33,37

Tabel 12. Perhitungan daya hari ke-11.

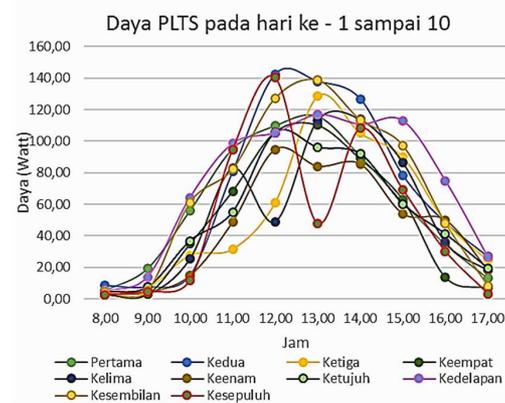
Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	103,81	4,37	99,72
9.00	151,91	7,51	145,00
10.00	123,33	34,79	88,78
11.00	123,68	73,74	49,94
12.00	114,97	104,04	10,48
13.00	113,09	108,85	11,98
14.00	102,93	103,45	7,13
15.00	88,76	77,27	11,35
16.00	109,83	42,58	67,51
17.00	102,07	16,49	85,69



Gambar 10. Grafik rata-rata pengukuran daya.

Tabel 2 - 11 menunjukkan 3 (tiga) hasil perhitungan besarnya daya listrik dari hasil pengukuran arus pada model PLTS yang dibangun. Pertama, daya listrik yang masuk ke beban. Kedua, daya yang dibangkitkan oleh PLTS dan yang ketiga adalah daya yang disalurkan oleh PLN atau daya yang masuk ke jaringan PLN. Dapat dilihat bahwa daya yang masuk ke beban merupakan penjumlahan dari daya yang dibangkitkan oleh PLTS dengan daya yang mengalir di jaringan PLN. Daya yang mengalir di jaringan PLN dalam hal ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu, yang pertama mengalir dari PLN ke beban dan yang kedua adalah ada aliran dari PLTS menuju ke jaringan PLN. Hal ini terjadi karena daya listrik yang dibangkitkan oleh PLTS lebih besar dari daya listrik yang diperlukan oleh beban sehingga kelebihan daya listrik inilah yang disalurkan ke PLN. Aliran daya dari PLTS ke PLN ini ditandai dengan nilai minus di dalam tabel. Hampir pada setiap hari pengukuran, terdapat adanya aliran daya dari PLTS ke PLN, rata-rata antara pukul 11.00-15.00. Aliran daya ke PLN terbesar terjadi pada hari kedua pada pukul 12.00 sebesar 115,41 watt, pada saat itu PLTS membangkitkan daya listrik sebesar 142,37 watt sedangkan beban yang dilayani hanya sebesar 26,7 watt. Tabel 12 menunjukkan rata-rata hasil perhitungan daya listrik selama sepuluh hari yang diambil pada setiap jam. Tabel ini menunjukkan bahwa rata-rata pembangkitan energi listrik tertinggi dari PLTS terjadi pada jam 13.00 dengan nilai rata-rata sebesar

108,85 watt, dan nilai rata-rata pembangkitan energi terkecilnya adalah sebesar 4,37Watt yang terjadi pada jam 08.00. Grafik rata-rata perhitungan daya listrik yang ditunjukkan pada Gambar 10 memperlihatkan bahwa mulai di atas pukul 10.00 sampai mendekati pukul 16.00, pembangkitan daya listrik PLTS lebih besar dari suplai daya listrik yang disalurkan oleh PLN. Pada posisi pukul 13.00 suplai daya dari PLN berada pada posisi minus. Hal ini menunjukkan bahwa ada aliran daya listrik dari PLTS ke PLN. Sistem yang mengalirkan daya listrik dari PLTS yang dibangun masyarakat ke PLN merupakan tawaran sistem baru dari pemerintah kepada masyarakat sehingga masyarakat yang memiliki PLTS dapat menjual kelebihan daya listrik yang dibangkitkannya kepada PLN, sesuai regulasi *feed in tariff* yang telah ditetapkan oleh Kementerian ESDM RI.



Gambar 11. Grafik pembangkitan daya PLTS selama 10 hari.

Gambar 11 adalah grafik pembangkitan daya listrik selama 10 hari dari model PLTS yang dibangun. Grafik ini menunjukkan bahwa model PLTS yang dibangun telah dapat membangkitkan energi listrik. Pembangkitan energi meningkat tajam mulai pukul 09.00 dan puncaknya terjadi di antara pukul 12.00 sampai pukul 14.00. Grafik memperlihatkan bahwa pembangkitan energi tertinggi adalah di atas 140 watt yang terjadi pada hari kedua pada pukul 12.00. Model PLTS *on grid* berbasis *micro inverter* ini telah berhasil membangkitkan daya listrik, menyalurkan daya ke beban dan juga menyalurkan daya ke PLN, tanpa memerlukan baterai dan *charge controller* yang harganya mahal. Hal inilah yang menjadi nilai ekonomi dari sistem PLTS *on-grid* sehingga layak untuk dipromosikan kepada masyarakat.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran, perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa model PLTS *on grid* berbasis *micro inverter* ini telah berfungsi dengan baik, mampu membangkitkan daya listrik, mampu menyalurkan listrik ke beban dan juga mampu menyalurkan daya listrik ke jaringan PLN, sehingga model ini siap untuk dipakai sebagai modul praktek dan juga sebagai alat promosi PLTS *on-grid* kepada masyarakat.

Pada instalasi listrik yang dilengkapi dengan PLTS *on-grid*, maka PLTS akan bekerja sebagai pemasok utama beban listrik sehingga seluruh daya listrik yang dibangkitkan PLTS akan disalurkan ke beban yang terpasang dan kekurangannya baru akan disuplai oleh PLN. Apabila daya listrik yang dibangkitkan PLTS lebih besar dari daya yang dibutuhkan, maka kelebihan daya PLTS akan disalurkan (dijual) ke PLN.

Dari 10 hari pengukuran yang dilakukan, maka daya terbesar yang mampu dibangkitkan oleh PLTS ini adalah sebesar 142,37 watt pada pukul 12.00 dan pada saat yang bersamaan, PLTS ini mampu menyalurkan daya listrik terbesar ke PLN sebesar 115,41 watt. Sistem PLTS *on-grid* ini tidak menggunakan baterai sehingga tidak memerlukan biaya pembelian dan perawatan baterai dan *charge controller*, sehingga biaya investasi untuk membangun sistem ini bisa dikurangi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. P. Mahela and A. G. Shaik, "Comprehensive overview of grid interfaced solar photovoltaic systems," *Ren. Sus. En. Rev*, vol. 68, pp. 316-332, 2017.
- [2] A. M. Bagher, M. M. A. Vahid and M. Mohsen, "Types of solar cells and application," *American Journal of Optics and Photonics*, pp. 94-113, 2015.
- [3] E. Kabalci, A. Boyar and Y. Kabalci, "Design and analysis of a micro inverter for PV plants," in *Proc. of 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Targoviste*, 2017, pp. 1-6.
- [4] J. Sedo and S. Kascak, "Control of single-phase grid connected inverter system," in *Proc of 2016 ELEKTRO, Strbske Pleso*, 2016, pp. 207-212.
- [5] Z. Yao and L. Xiao, "Control of single-phase grid-connected inverters with nonlinear loads," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 4, pp. 1384-1389, April 2013.
- [6] W. Li and X. He, "Review of non-isolated high step-up dc/dc converters in photovoltaic grid-connected applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 4, pp. 1239-1250, 2011.
- [7] J. Kan, Y. Wu and Z. Yao, "A flexible topology converter for photovoltaic micro-inverter," in *Proc. of 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Sydney, NSW*, 2017, pp. 1-5.
- [8] I. Bourguiba, A. Houari, H. Belloumi and F. Kourda, "Control of single-phase grid connected photovoltaic inverter," in *Proc. of 4th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT), Hammamet*, 2016, pp. 1-6.
- [9] X. Cao and W. Zhang, "Grid-connected solar micro-inverter reference design," in *Proc. of 2011 International Conference on New Technology of Agricultural, Zibo*, 2011, pp. 239-243.
- [10] S. Qin, C. B. Barth and R. C. N. Pilawa-Podgurski, "Enhancing microinverter energy capture with submodule differential power processing," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 5, pp. 3575-3585, May 2016.
- [11] J. L. Diaz-Bernabe and A. Morales-Acevedo, "Simulation of a double-stage micro-inverter for grid-connected photovoltaic modules," in *Proc. of 2016 Electrical Engineering Com. (CCE), Mexico*, 2016.
- [12] M. Patel, H. Surati and J. Patel, "Modelling and simulation of photovoltaic module for micro inverter application," in *Proc. of 2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI), Tirunelveli, India*, 2017, pp. 82-85.
- [13] J.A. Patel and P. D. Solanki, "Comparative analysis of string inverter and micro inverter for solar based power system," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2014.

Location Based Service Untuk Pencarian Lokasi Usaha Lokal Menggunakan Ionic Framework

Kasmawi✉, Mansur, Diah Angraina Fitri

Jurusan Teknik Informatika, Politeknik Negeri Bengkalis

✉kasmawi@polbeng.ac.id

Abstrak: *Location-Based Service (LBS)* merupakan layanan informasi yang dapat diakses menggunakan perangkat *mobile*, dilengkapi dengan kemampuan untuk mengetahui keberadaan lokasi usaha kecil menengah dan kebutuhan lainnya melalui teknologi *Global Positioning System (GPS)*. Bagi pelaku bisnis, Indonesia merupakan target dunia untuk mendapatkan konsumen melalui internet. Hal ini berpengaruh pada pelaku usaha lokal atau usaha mikro kecil dan menengah yang merupakan sumber utama dalam meningkatkan ekonomi masyarakat secara nasional. Pencarian informasi lokasi usaha dan produk di Kota Bengkalis masih dilakukan secara konvensional seperti melalui toko, supermarket atau kerabat. Beberapa pelaku usaha juga sudah menggunakan media *online* seperti *facebook*, *whatsapp*, dan media sosial lainnya. Namun, cara tersebut belum memberikan dampak yang optimal pada peningkatan pendapatan usaha. Untuk itu, perlu dirancang aplikasi untuk pencarian lokasi usaha dengan menggunakan teknologi *Location-Based Service (LBS)* berbasis *mobile* untuk pelaku usaha menggunakan *Ionic Framework*. Penelitian ini menghasilkan aplikasi *mobile (cross-platform)* yang dapat membantu pengguna dalam proses pencarian lokasi usaha dalam bentuk informasi peta, mengetahui jarak tempuh, melihat iklan produk dan dapat melakukan transaksi. Selain itu, teknologi LBS mampu memberikan solusi bagi pelaku usaha untuk memperkenalkan usaha dan produk kepada pengguna.

Kata kunci: *Location based service, pencarian lokasi usaha, UKM, ionic framework.*

Abstract: *Location-based services (LBS) is an information service that can be accessed by using mobile devices. It is equipped with the ability to find out the location of Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) and others through Global Positioning System (GPS) technology. Indonesia is the world's main target to get consumers through the internet. This will impact on SMEs as the main source for improving the economy of the national society. In Bengkalis City, the location of SMEs and products are still searched conventional method through the store, supermarket or face to face. There are some businessmen and businesswomen who already used online media such as Facebook, whatsapp, and others to promote their product. However, it has not given them an optimum impact to increase their income. More over, visitors had some difficulties in searching the location of SMEs. The goal of this research is to create an application for searching the location of SMEs through the LBS technology based on mobile and IONIC Framework. The application can provide some information for the visitors such as the maps, the distance, the estimation of traveling time and the advertisement of SMEs.*

Keywords: *Location based service, searching location, SMEs, ionic framework.*

I. PENDAHULUAN

Location-Based Service (LBS) merupakan layanan informasi yang dapat diakses menggunakan perangkat *mobile devices*, dilengkapi dengan kemampuan untuk mengetahui keberadaan lokasi pengguna dan memberikan informasi mengenai layanan yang tersedia berdasarkan lokasi. *Location-Based Service* juga mampu menghasilkan aplikasi untuk informasi lokasi dengan teknologi *Global Positioning System (GPS)* seperti objek wisata, restoran, toko, hotel, dan situs budaya [1]. Teknologi LBS dan *GoogleMaps API V2* dapat membantu mempermudah wisatawan dalam menentukan tujuan wisata berdasarkan lokasi pengguna [2], mencari lokasi terdekat objek wisata yang diinginkan menggunakan perangkat *mobile* ([3]. Teknologi LBS dan GPS mampu diterapkan pada pencarian lokasi terdekat Halte BRT TransMusu yang tersebar dipenjurur kota Palembang [4], dan lokasi SPBU terdekat di kota Kotamabagu pada operasi sistem android [5]. Selain itu, LBS dan GPS mampu menentukan posisi

para komunitas serta keluarga yang berkunjung pada lokasi tertentu menggunakan perangkat *mobile* [6].

Untuk menghasilkan aplikasi *mobile* berbasis *cross-platform*, diperlukan beberapa *framework* salah satunya adalah *IONIC framework*. Beberapa penelitian tentang *IONIC* yaitu Hansen and Ghinea (2018) "*Investigating Device Feature Exposure in Cross Platform Development*" menyatakan bahwa *IONIC framework* merupakan *hybrid* teknologi yang mampu mengembangkan aplikasi *cross-platform mobile* dengan baik dibandingkan dengan aplikasi *native*. *IONIC Framework* dapat menyelesaikan pembuatan aplikasi berita berbasis android, iOS dan *Windows Phone* dengan baik sesuai dengan kebutuhan pembaca dengan kolaborasi *JavaScript Framework* Angular, Cordova, dan Node.js [8]. Menurut Rofiq dan Putri (2017) *IONIC Framework* mampu memberikan solusi bagi aplikasi pemesanan rumah sakit di kota Malang dengan tingkat kepuasan kepada konsumen sebesar 80,13%. Selain itu, *IONIC Framework* mampu memberikan solusi bagi penggunaan *smartphone* yang

berbeda *operating system* seperti android, iOS dan *Windows Phone* [10].

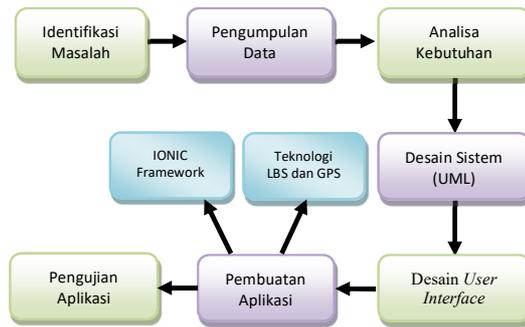
Internet merupakan salah satu media yang digunakan untuk mengakses informasi dengan mudah dan cepat. Teknologi internet digunakan untuk memelihara data dan mengelola pemesanan yang masuk. Seiring dengan perkembangan teknologi peralatan, infrastruktur, dan teknologi *mobile* sangat diminati oleh masyarakat [11]. Namun, dengan perkembangan tersebut para pelaku UKM belum banyak memanfaatkan teknologi informasi dalam mengurangi beban biaya penjualan untuk meningkatkan daya jual produk [12]. Berdasarkan Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII, 2017), Indonesia merupakan target dunia bagi pelaku bisnis luar untuk mendapatkan konsumen, ini dapat dilihat dari pengguna internet hampir 143,26 juta jiwa (54,68%) dari total penduduk Indonesia, yang tersebar di beberapa wilayah seperti Sulawesi (6,73%), Kalimantan (7,97%), Maluku-Papua (2,49%), Bali (5,63%), Sumatera (10,09%) dan Jawa (58,08%). Kemudian, usia pengguna internet secara dominan berada pada rentang umur 19-34 tahun, dengan jenis kelamin perempuan 48,57% dan laki-laki berjumlah 51,43%, sementara untuk setiap kabupaten pengguna internet lebih banyak pada *smartphone* atau *tablet* dengan jumlah persentase 59,31%.

Keterlibatan UKM dalam pemanfaatan teknologi informasi berdampak pada pertumbuhan ekonomi digital. Namun terdapat berapa tantangan, peluang dan ancaman bagi UKM terkait perubahan sistem promosi produk. Beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat pemahaman pelaku UKM terhadap Teknologi Informasi (TI) seperti minimnya sumber daya manusia yang terampil, modal usaha, dan upaya promosi produk berbasis internet [14]. Banyak jumlah pelaku usaha di kota Bengkulu yang belum diketahui oleh masyarakat bahkan masyarakat terutama bagi pendatang baru yang berasal dari dalam negeri maupun luar negeri seperti Singapura dan Malaysia tidak mengetahui produk yang dimiliki oleh pelaku usaha lokal. Hal ini dikarenakan belum ada fasilitas yang dapat membantu masyarakat untuk melihat daftar pelaku usaha serta mencari lokasi usaha tersebut [15]. Pencarian informasi lokasi usaha dan produk di kota Bengkulu dilakukan dengan cara konvensional yaitu melalui toko, supermarket atau kerabat. Beberapa pelaku usaha sudah menggunakan media *online* seperti *facebook*, *whatsapp*, dan media sosial lainnya. Namun, cara tersebut belum memberikan dampak yang optimal pada peningkatan pendapatan usaha lokal.

Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dirancang aplikasi untuk pencarian lokasi usaha dengan menggunakan teknologi *Location-Based Service* (LBS) berbasis *mobile* (*cross-platform*) untuk pelaku usaha menggunakan *Ionic Framework* untuk menghasilkan informasi seperti pencarian lokasi usaha dalam bentuk informasi peta, mengetahui jarak tempuh, melihat iklan produk dan dapat melakukan transaksi. Dengan demikian, produk pelaku usaha dapat dikenal oleh masyarakat secara luas serta dapat membantu pelanggan baru dan masyarakat kabupaten Bengkulu dalam melakukan pencarian produk yang diinginkan.

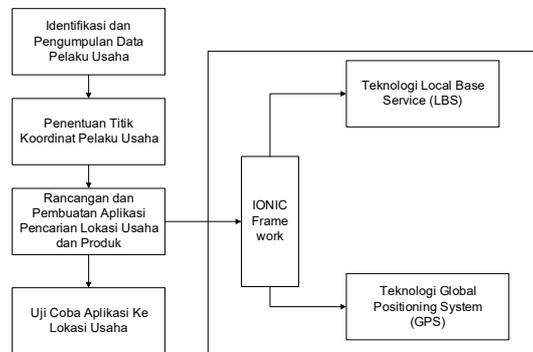
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode prototipe melalui beberapa tahap yang dimulai dengan mengidentifikasi masalah, pengumpulan data, analisa kebutuhan sistem, desain sistem menggunakan UML, desain *user interface* dan melakukan pengujian. Metode pengumpulan data menggunakan metode observasi, wawancara dan studi pustaka. Metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi penelitian.

Tahapan pembuatan aplikasi pencarian lokasi usaha lokal menggunakan *IONIC framework* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan pembuatan aplikasi pencarian lokasi usaha lokal menggunakan *ionic framework*.

Tahapan dalam pembuatan aplikasi melalui pendekatan metode prototipe dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu, pertama mendengarkan kebutuhan pengguna. Tahap ini meliputi mendengarkan keluhan pelaku usaha dan masyarakat terhadap bagaimana cara mereka mengetahui dimana lokasi pelaku usaha yang ada di Kota Bengkulu. Data didapatkan dari observasi langsung ke lokasi pelaku usaha. Data yang diperoleh berupa biodata pelaku usaha, produk, lokasi usaha, produk baru atau unggulan, *template* produk, dan jaringan internet atau paket internet.

Tahap kedua membangun dan memperbaiki sistem. Tahap ini meliputi proses melakukan perancangan dan pembuatan aplikasi terkait pencarian lokasi pelaku usaha. Adapun tahapan untuk pembangunan aplikasi tersebut

yaitu mengetahui sistem yang akan dibangun, mendesain *user interface* sistem, dan melakukan pengkodean.

A. Sistem Pencarian Lokasi Usaha (Existing System)

Sistem pencarian informasi lokasi usaha dan produk di kota Bengkalis masih dilakukan secara konvensional seperti melalui pamflet, brosur, warung, toko, pasar, swalayan, supermarket atau kerabat baik perorangan maupun kelompok. Beberapa pelaku usaha sudah menggunakan media *online* seperti *facebook*, *whatsapp*, dan media sosial lainnya. Namun, cara tersebut belum memberikan dampak yang optimal pada peningkatan pendapatan usaha. Hal tersebut dapat dilihat dari jumlah pengetahuan masyarakat terhadap lokasi pelaku usaha yang terbatas, pembeli tidak dapat langsung membeli ke UKM, harga menjadi lebih tinggi dan jangkauan akses promosi sangat terbatas. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



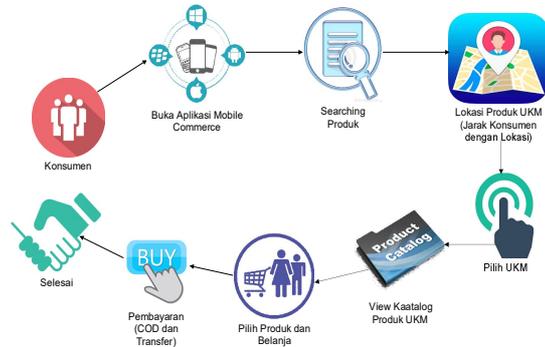
Gambar 3. Sistem pencarian lokasi usaha yang *existing*.

B. Desain Pencarian Lokasi Usaha (NewSystem)

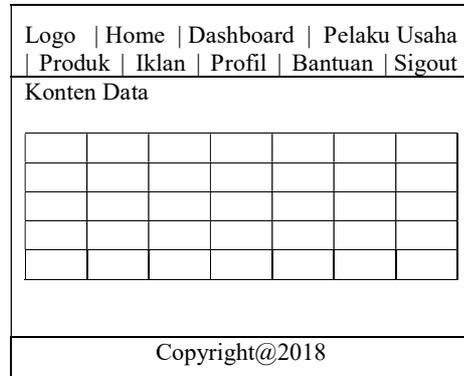
Desain sistem pencarian lokasi usaha merupakan aplikasi yang dibangun dengan menggunakan konsep *mobile cross-platform* menggunakan *ionic framework*. Aplikasi ini bertujuan untuk menampung lokasi usaha dan produk lokal kota Bengkalis secara terintegrasi, sehingga dapat membantu pelaku usaha dalam meningkatkan usahanya. Adapun bagian yang terlibat pada desain sistem tersebut adalah pelaku usaha (UKM), masyarakat dan pengelola sistem. Masing-masing bagian memiliki batasan hak akses yang berbeda-beda, yaitu bagian pengelola (admin) dapat memasukkan informasi produk, informasi UKM, sedangkan konsumen dapat melihat informasi produk dan pemilik UKM. Proses pencarian lokasi usaha dan produk dapat dilihat pada Gambar 4.

C. Desain User Interface

Perancangan *interface* aplikasi pencarian lokasi usaha terdiri dari halaman *administrator web* dan halaman pengunjung berbasis *mobile*. Halaman *administrator* terdiri dari logo, registrasi, login, serta menu yang terdiri dari beberapa produk masing-masing pelaku usaha. Perancangan *interface* aplikasi pencarian lokasi usaha dapat dilihat pada Gambar 5. Halaman pengunjung berbasis *mobile* berisi tentang informasi kategori produk, pencarian produk berdasarkan lokasi, produk unggulan, *slider space* iklan bagi produk baru dan logo *sponsorship*. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



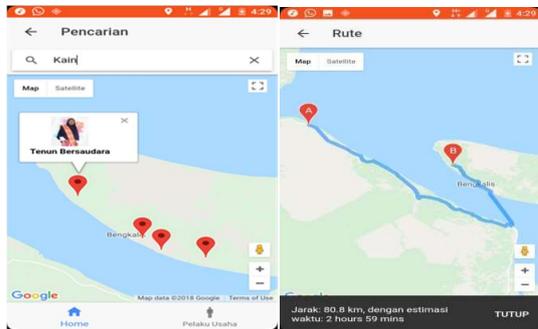
Gambar 4. Desain aplikasi pencarian lokasi usaha.



Gambar 5. Perancangan *interface* aplikasi.



Gambar 6. Halaman aplikasi pengunjung berbasis *mobile*.



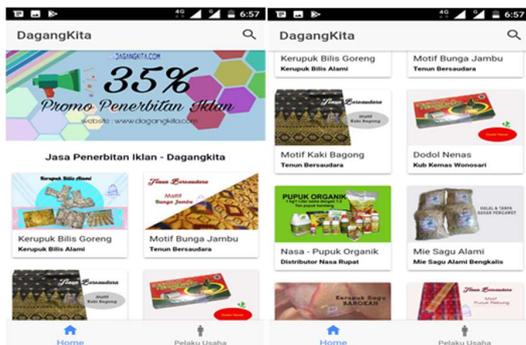
Gambar 7. Pencarian Produk dan Lokasi Pelaku Usaha

Untuk halaman pencarian produk dan lokasi pelaku usaha atau UKM dapat dilihat pada Gambar 7.

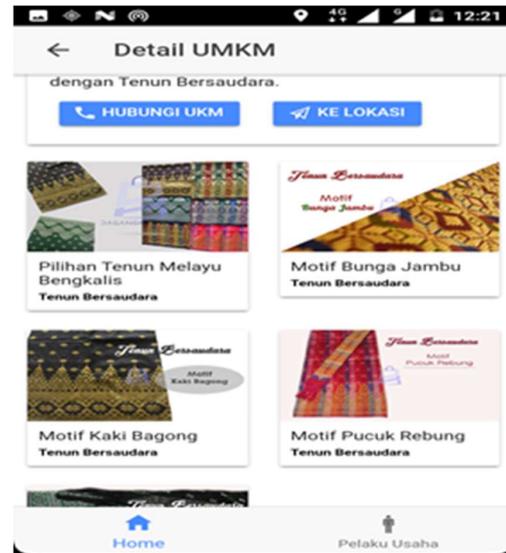
Tahapan selanjutnya adalah melakukan uji coba sistem kepada pengguna. Tahap ini meliputi proses melakukan evaluasi aplikasi yang sudah dibangun dengan cara melakukan pengujian terhadap aplikasi pada operasi sistem android, iOS dan *Windows Phone (cross-platform)*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah aplikasi pencarian lokasi usaha dan produk berbasis *mobile (cross-platform)* menggunakan *ionic framework* dan MySQL sebagai *database* terpadu. Ada tiga bagian yang terlibat pada aplikasi tersebut yaitu administrator sistem sebagai pengelola halaman utama baik berbasis web maupun berbasis *mobile*, pelaku usaha atau UKM sebagai pengelola usaha yang memiliki akses untuk melakukan input data (profil, produk) dan melihat informasi terkait transaksi yang dilakukan pada setiap pelaku usaha, sedangkan bagian masyarakat atau pengguna dapat melihat biodata pelaku usaha, produk, jarak tempuh lokasi, dan melihat produk unggulan yang ditampilkan pada halaman utama serta menyediakan link untuk melakukan sharing produk melalui media sosial seperti twitter, facebook dan google+. Selain itu, teknologi LBS mampu memberikan solusi bagi pelaku usaha untuk memperkenalkan usaha dan produk kepada pengguna. Halaman utama aplikasi pencarian lokasi berbasis *mobile (cross-platform)* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan aplikasi pencarian lokasi usaha berbasis *mobile (cross-platform)* dengan *ionic framework*.



Gambar 9. Produk UKM.

Gambar 9 menjelaskan tentang detail produk UKM yang dimiliki oleh setiap pelaku usaha.

IV. KESIMPULAN

Aplikasi pencarian lokasi usaha lokal menggunakan teknologi *Location-Based Service (LBS)* dan *Ionic Framework* merupakan sebuah aplikasi berbasis *mobile (cross-platform)* yang dapat membantu pelaku usaha dalam berkumpul untuk memperkenalkan usaha dan produk mereka kepada masyarakat. Selain itu, pelaku usaha dapat memberi kesempatan bagi pendatang baru untuk melihat usaha dan produk lokal yang ada di kota Bengkulu. Aplikasi ini dirancang menggunakan pendekatan metode prototipe dengan bahasa pemrograman Java, PHP dan MySQL sebagai *database*. Aplikasi pencarian lokasi tersebut dapat membantu pengguna dalam proses pencarian lokasi usaha dalam bentuk informasi peta, mengetahui jarak tempuh, melihat iklan produk dan dapat melakukan transaksi jual beli melalui *cash on delivery (COD)*. Selain itu, teknologi LBS mampu memberikan solusi bagi pelaku usaha untuk memperkenalkan usaha dan produk kepada pengguna secara luas. Aplikasi ini perlu pengembangan ke tahap implementasi sehingga saat ini belum dapat diukur seberapa besar manfaat teknologi yang dihasilkan bagi pelaku usaha.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Pusat Penelitian Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Bengkalis atas hibah dana yang diberikan dalam rangka penelitian melalui skema PNB 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Fauzi, "Penerapan location-based service pada layanan informasi budaya Indonesia di perangkat

- mobile,” *Faktor Exacta*, vol. 8, no. 3, pp. 250-260, Sep. 2015.
- [2] G.W. Sasmito and F. Hadiansah, “Implementasi location-based service rute objek wisata Tegal,” *Jurnal Infotel*, vol. 7, no. 2, pp. 107-102, Nov. 2015.
- [3] N. Agustina, S. Risnanto and I. Supriadi, “Pengembangan aplikasi location-based service untuk informasi dan pencarian lokasi pariwisata di kota Cimahi berbasis Android,” *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, vol. 3, no. 1, pp. 53-59, Dec. 2016.
- [4] U. Efendi and Suyanto, “Implementasi location-based service pada aplikasi mobile pencarian halte BRT transmisi Palembang,” *Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence*, vol. 2, no. 1, pp.33-39, April 2016.
- [5] A. A. Sumitro, A. A. E. Sinsuw and X. B. N. Najoan, “Implementasi location-based service untuk aplikasi mobile city directory studi kasus kota Kotamobagu,” *E-Journal Teknik Informatika*, vol. 11, no 1, 2017.
- [6] B. Yulianto and R. Layona, “An implementation of location-based service (LBS) for community tracking,” *ComTech*, vol. 8, no. 2, pp. 69-75, June 2017
- [7] A. B. Hansen and G. Ghinea, “Bridging the gap: investigating device-feature exposure in cross-platform development,” in *Proc. of the 51st Hawaii Int. Conf. on System Sciences*, Jan. 2-6, 2018, pp. 5717-5724.
- [8] H. Boedijono, J. Andjarwirawan and A. Setiawan, “Pembuatan aplikasi news Dwi Pekan Universitas Kristen Petra berbasis Android,” *Jurnal Infra*, vol. 3, no.2, pp. 196-202, 2015.
- [9] M. Rofig and S. I. Putri, “Perancangan sistem pemesanan rumah sakit di kota Malang menggunakan Ionic framework berbasis mobile phone,” *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, vol. 11, no. 2, pp. 171-178, 2017.
- [10] P.Dewanti and P.A.G. Permana, “Pengembangan aplikasi hybrid menggunakan Ionic 2 framework dan Angular 2,” in *Konferensi Nasional Sistem & Informatika*, August 10, 2017, pp. 396-400.
- [11] C. L.Henri, V. G. Utomo, “Aplikasi mobile commerce berbasis open source untuk mendukung promosi dan penjualan produk UMKM,” *Jurnal Teknologi dan Komunikasi*, vol. 7, no. 2, pp. 49-56, Sep. 2016.
- [12] A. Umar, “Peranan media sosial sebagai sarana promosi bagi usaha kecil dan menengah,” in *Peran digital megratrends dalam berbagai aspek keilmuan: Konferensi Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, August 6, 2016, Bekasi, 2016, pp. 269-276.
- [13] Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia, “Infografis Penetrasi dan Perilaku Pengguna Internet Indonesia,” *Teknopreneur Indonesia*, 2017. [Online]. Available: www.teknopreneur.com. [Accessed: Mar. 1, 2019].
- [14] Kasmawi, Mansur and D. A. Fitri, “Sistem informasi promosi produk: studi pada usaha kecil menengah kabupaten Bengkalis,” *Jurnal Teknologi Informasi & Komunikasi Digital Zone*, vol. 9, no. 1, pp. 59-70, Mei 2018.
- [15] W. Syahputri and Mansur, “Desain prototipe sistem jual beli online produk UMKM Bengkalis berbasis Android,” *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, vol. 4, no. 1, pp. 27-33, April 2018.

Penerapan Algoritma FP-Growth Dalam Penentuan Pola Pembelian Konsumen Pada Kain Tenun Medali Mas

ICCA Astrina✉, Muhammad Zainal Arifin, Utomo Pujianto

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Malang

✉icca29astrina@gmail.com

Abstrak: Di kota Kediri terdapat toko kain tenun Medali Mas yang sangat populer. Medali Mas mempunyai aktivitas transaksi penjualan tinggi sehingga menghasilkan tumpukan data besar. Tumpukan data ini diteliti menjadi sebuah informasi pola pembelian konsumen menggunakan teknik data mining association rule dan algoritma FP-Growth. Algoritma FP-Growth menggunakan konsep *tree development* dalam pencarian jenis barang yang sering dibeli (*frequent itemsets*). Data yang digunakan yaitu 26 jenis barang kain tenun dan 200 data transaksi dengan ketentuan 2 atau 3 jenis barang dalam 1 transaksi. Pada penelitian ini ditentukan nilai minimum support sebesar 20% dan nilai minimum confidence sebesar 10%. Pengujian Chi-Square juga digunakan untuk mengetahui seberapa besar korelasi hubungan antar variabel dari hasil *frequent itemsets*. Hasil akhir pola pembelian konsumen yaitu ($m \rightarrow no$) apabila membeli kain semi sutra Lusi=abu, Pakan=biru Bunga, maka kemungkinan konsumen akan membeli produk Sarung Lusi=hitam, Pakan=hijau Lurik, Katun Lusi=kuning, Pakan=tosca Bambu dengan hasil korelasi antar variabel sebesar 19,1397274913.

Kata kunci: Chi-square, FP-Growth, Medali Mas, pola pembelian konsumen, tree development.

Abstract: In Kediri City there is a very popular woven fabric shop called Medali Mas. It has high sales transaction activity resulting in a large stack of data purchases. This data stack is examined as an information pattern for consumer purchases using data mining association rule techniques and FP-Growth algorithms. The FP-Growth algorithm uses the concept of development tree in searching for frequent item sets. The data used are, 26 types of woven fabric items and 200 transaction data provided that 2 or 3 types of items in 1 transaction. In this research, the minimum support value of 20% and minimum confidence value of 10% are determined. It also used Chi-Square testing to find out how much correlation between variables from the results of frequent itemsets that have been calculated. The final result of the consumer purchasing pattern is obtained ($m \rightarrow no$) when buying Semi sutra Lusi = grey, Pakan = Blue Flowers, then the consumer might buy Sarong Lusi = black, Pakan= green Lurik and Cotton Lusi= yellow, Pakan = Tosca Bamboo with the results of the correlation between variables at 19.1397274913.

Keywords: Chi-square, FP-Growth, Medali Mas, consumer buying pattern, tree development.

I. PENDAHULUAN

Kain Tenun merupakan salah satu warisan yang dimiliki budaya Indonesia. Kain tenun ikat merupakan salah satu jenis kain yang banyak diminati oleh masyarakat Indonesia. Di kota Kediri terdapat produksi kain tenun ikat khas yang berada di desa Bandar Kidul dengan nama toko Medali Mas. Kain tenun ikat Medali Mas diproduksi dengan cara manual, yaitu dengan menggunakan tenaga manusia. Produksi kain tenun ikat oleh Medali Mas dilakukan sesuai pesanan konsumen. Namun demikian, ada juga pembuatan kain tenun ikat siap jadi untuk stok penjualan. Proses penjualan selain dilakukan di toko Medali Mas juga dilakukan melalui pameran agar dapat meningkatkan pembelian.

Medali Mas mempunyai aktivitas transaksi penjualan dan pelayanan konsumen yang setiap hari semakin tinggi sehingga menghasilkan tumpukan data pembelian yang semakin besar. Dengan data mining atau lebih tepatnya *Market Basket Analysis* (MBA), data yang banyak itu dapat diolah sehingga diperoleh informasi tersembunyi yang akan menghasilkan *knowledge* yang berguna untuk pengambilan keputusan oleh produsen. Dalam penelitian ini penulis mengelola tumpukan data pembelian menjadi sebuah informasi penting untuk

kelangsungan penjualan pada Medali Mas. Dibutuhkan sebuah teknologi untuk mempercepat pemberian perhitungan analisis apakah produk yang dijual sudah memenuhi keinginan konsumen atau belum, produk apa saja yang dibeli oleh konsumen, dan kebiasaan konsumen membeli produk yang satu dengan yang lainnya. Apabila produk yang tidak sesuai keinginan konsumen masih diproduksi dan dijual, maka akan menyebabkan kerugian pada bisnis tersebut karena tidak laku. Dengan demikian, Medali Mas hanya menyediakan produk yang biasa dibeli oleh konsumen untuk menghindari kerugian. Oleh karena itu, diharapkan adanya sistem penentuan pola pembelian konsumen yang dapat membantu Medali Mas dalam proses produksi dan jual beli.

Proses penggalian data dengan jumlah yang banyak membutuhkan algoritma yang tepat. Algoritma FP-Growth merupakan salah satu algoritma yang dapat digunakan untuk menentukan himpunan data yang sering muncul (*frequent itemset*) dalam suatu dataset [1]. Telah banyak masalah yang penyelesaiannya menggunakan algoritma FP-Growth namun dengan kasus yang berbeda, di antaranya adalah untuk mengatasi masalah pada data penjualan produk buku pada PT. Gramedia [2], MBA pada suatu supermarket [3], menentukan MBA pada usaha *retail*

[4], analisa *customer service system* [5], sistem rekomendasi buku di perpustakaan [6].

Pada penelitian ini diterapkan algoritma FP-Growth untuk penentuan pola pembelian konsumen pada kain tenun Medali Mas.

II. METODE PENELITIAN

A. Market Basket Analysis (MBA)

MBA adalah suatu metodologi untuk melakukan analisis *buying habit* konsumen dengan menemukan asosiasi antar beberapa jenis barang yang berbeda, yang diletakkan konsumen dalam *shopping basket* yang dibeli pada suatu transaksi tertentu. Tujuan dari MBA adalah untuk mengetahui produk-produk mana yang mungkin akan dibeli secara bersamaan. Analisis data transaksi dapat menghasilkan pola pembelian produk yang sering terjadi. Teknik ini telah banyak digunakan oleh toko grosir maupun *retail* [7].

MBA memanfaatkan data transaksi penjualan untuk dianalisis kemudian menemukan pola item-item yang secara bersamaan dalam suatu transaksi. Salah satu manfaat dari MBA adalah untuk merancang strategi penjualan atau pemasaran dengan memanfaatkan data penjualan yang ada di perusahaan [8], yaitu dengan mengubah tata letak toko, menempatkan jenis barang secara berdekatan yang sering dibeli secara bersamaan oleh konsumen dan memberikan diskon kepada barang yang jarang dibeli dan mahal.

B. Association Rule

Analisis asosiasi atau *association rule mining* adalah teknik *data mining* untuk menemukan aturan asosiasi antara suatu kombinasi barang. Contoh aturan asosiasi dari analisis pembelian di suatu pasar swalayan adalah dapat diketahuinya berapa besar kemungkinan seorang pelanggan membeli roti bersamaan dengan susu. Dengan pengetahuan tersebut, pemilik pasar swalayan dapat mengatur penempatan barangnya atau merancang kampanye pemasaran dengan memakai kupon diskon untuk kombinasi barang tertentu. Analisis asosiasi menjadi terkenal karena aplikasinya untuk menganalisis isi keranjang belanja di pasar swalayan. Analisis asosiasi juga sering disebut *Market Basket Analysis* [7]. Menurut [9], ada dua ukuran parameter dalam analisa asosiasi yaitu *Support* dan *Confidence*.

Support adalah pengukuran untuk menunjukkan seberapa besar tingkat dominasi suatu item dari keseluruhan transaksi.

$$\text{Support}(A) = \frac{\text{Jumlah transaksi mengandung } A}{\text{Total transaksi}} \quad (1)$$

Confidence adalah pengukuran untuk menunjukkan hubungan antar dua item berdasarkan suatu kondisi tertentu.

$$\text{Confidence} = \frac{\sum \text{transaksi mengandung } A \text{ dan } B}{\sum \text{transaksi mengandung } A} \quad (2)$$

C. Kain Tenun Medali Mas

Kota Kediri memiliki ciri khas kain tenun ikat yang dapat dibanggakan. Medali Mas merupakan salah satu dari pengerajin kain tenun ikat yang berada di Jalan KH. Agus Salim No.103 Bandar Kidul kecamatan Mojojoto kota Kediri. Banyaknya pengerajin kain tenun di daerah Bandar Kidul membuat Medali Mas bersaing sehat untuk mendapatkan hati konsumen. Medali Mas melakukan penjualan dengan cara manual, yaitu dengan dilihat dari segi jenis kain, Medali Mas memiliki 5 jenis kain tenun ikat yaitu, sutra, semi sutra, katun, sarung, dan sal. Untuk warna kain, Medali Mas menggunakan 9 warna seperti hijau, kuning, merah muda, abu, merah, biru, putih, hitam, dan oranye. Sedangkan untuk motif pada kain tenunnya terdapat 9 jenis seperti wajik, lurik, tirta, bunga, matahari, ceplik, polos, penari, dan bambu.

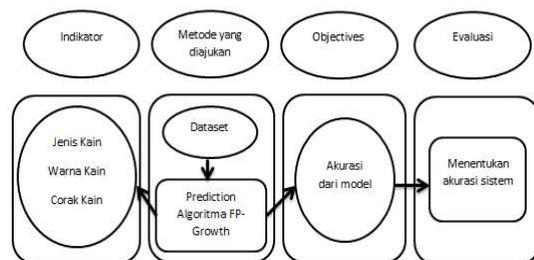
D. Algoritma FP-Growth

Frequent Pattern Growth (FP-Growth) adalah salah satu alternatif algoritma yang dapat digunakan untuk menentukan himpunan data yang paling sering muncul (*frequent itemset*) dalam sebuah kumpulan data. Karakteristik algoritma FP-Growth adalah struktur data yang digunakan adalah *tree* yang disebut dengan FP-Tree. Dengan menggunakan FP-Tree, algoritma FP-Growth dapat langsung mengekstrak *frequent itemset* dari FP-Tree. Penggalan *itemset* yang *frequent* dengan menggunakan algoritma FP-Growth akan dilakukan dengan cara membangkitkan struktur *data tree* atau disebut dengan FP-Tree [9].

Karakteristik algoritma FP-Growth adalah struktur data yang digunakan adalah *tree* yang disebut dengan FP-Tree. Dengan menggunakan FP-Tree, algoritma FP-Growth dapat langsung mengekstrak *frequent itemset* dari FP-Tree. Penggalan *frequent itemset* dengan menggunakan algoritma FP-Growth dilakukan dengan cara membangkitkan struktur data *tree* atau disebut dengan FP-Tree. Metode FP-Growth dapat dibagi menjadi 3 tahapan utama [10] yaitu tahap pembangkitan *conditional pattern base*, tahap pembangkitan *conditional FP-Tree*, dan tahap pencarian *frequent itemset*.

E. Kerangka Pemikiran

Adapun kerangka pemikiran yang diajukan adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Kerangka pemikiran.

Indikator dalam proses penentuan pola pembelian adalah jenis kain, warna kain, dan motif kain. Sebagian data tersebut akan dijadikan *data training*, sedangkan metode yang akan mengolah dalam penentuan pola pembelian adalah algoritma FP-Growth dari hasil tersebut maka akan digunakan akurasi uji Chi-Square untuk menentukan apakah frekuensi observasi dengan frekuensi harapan saling memengaruhi atau tidak.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian "Penerapan Algoritma FP-Growth dalam Penentuan Pola Pembelian Konsumen pada Kain Tenun Medali Mas" meliputi studi literatur, pengambilan data, perhitungan dengan metode FP-Growth, pengujian, dan optimasi yang diberikan. Alur penelitian dan cara kerja sistem yang akan dibangun dapat dijelaskan pada Gambar 2.



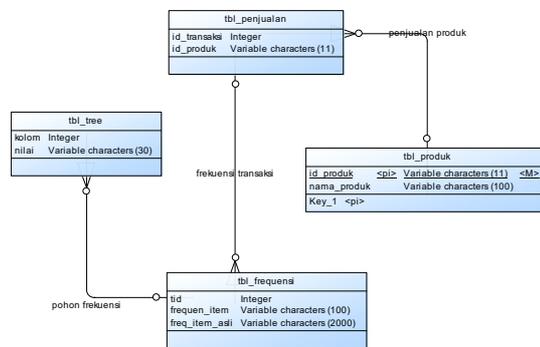
Gambar 2. Diagram alir penelitian.

B. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data primer yang diperoleh langsung dari toko kain tenun Medali Mas. Setiap data penjualan menggambarkan pola yang akan dijadikan sebagai masukan yang akan diproses oleh algoritma FP-Growth dan pengujian Chi-Square. Data yang di perlukan adalah Data Barang yang berisi 26 jenis barang dengan *id* dan keterangan jenis kain, warna kain, dan corak kain dalam setiap produk serta Data Transaksi Penjualan berisi produk yang dibeli dalam setiap transaksi. Dengan demikian, hanya membutuhkan jenis produk yang berbeda dengan 2 dan 3 jenis item tanpa melihat jumlah produk yang dibeli dalam setiap transaksi. Dibutuhkan 10 data transaksi untuk pengujian sementara dan 200 data transaksi sebagai data yang diolah sebenarnya.

C. Relasi Database

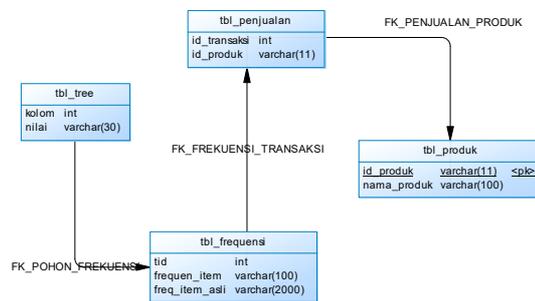
Perancangan *database* merupakan tahapan perancangan selanjutnya yang saling berkaitan. Perancangan *database* akan menjelaskan tentang data apa saja yang harus disimpan yang meliputi tabel dan relasinya. Relasi antar tabel dan jenis relasinya *tbl_produk* berelasi dengan *tbl_penjualan* berdasarkan *id_produk* dengan jenis relasi *one to many*, *tbl_penjualan* berelasi dengan *tbl_frekuensi* berdasarkan transaksi *id* dengan jenis relasi *one to many* dan *tbl_frekuensi* berelasi dengan *tbl_tree* berdasarkan transaksi *id* dengan jenis relasi *one to many*. Relasi *database* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Relasi database.

D. Physical Data Model (PDM)

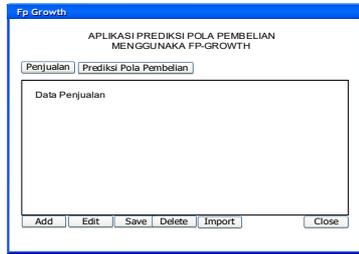
PDM adalah diagram yang akan menjelaskan tentang diagram *database* mengenai *primary key* dan *foreign key*. Pada tabel penjualan, *id_produk* merupakan *foreign key* dari *tbl_produk*, sedangkan pada *tbl_frekuensi*, *tid* merupakan *foreign key* dari *tbl_penjualan*, dan pada *tbl_tree* kolom merupakan *foreign key* dari *tbl_frekuensi*. PDM ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Physical data model.

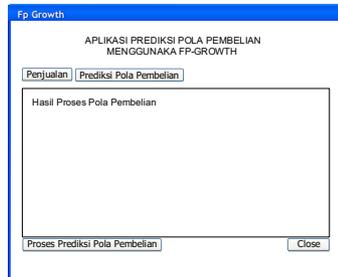
E. Antar Muka

Perancangan antar muka pengguna bertujuan untuk memudahkan pengguna menggunakan sistem yang akan dibangun. Pada Gambar 5 di bawah ini merupakan *interface* dari proses penjualan yang akan menampilkan data transaksi penjualan toko Medali Mas.



Gambar 5. Rancangan *interface* proses penjualan.

Pada Gambar 6 ditunjukkan *interface* dari proses pola pembelian yang akan menampilkan hasil prediksi pola pembelian konsumen pada toko Medali Mas dengan menggunakan algoritma FP-Growth.



Gambar 6. Rancangan *interface* proses pola pembelian.

F. Implementasi Sistem

Dalam proses implementasi algoritma FP-Growth terdapat beberapa tahap yang harus dilakukan. Tabel 1 merupakan 10 contoh data produk dan Tabel 2 merupakan 10 data transaksi yang digunakan untuk mencari *frequent itemset*.

Tabel 1. Data produk.

Kode Produk	Nama Produk
a	Katun Lusi=oren, Pakan=merah Bambu
b	Katun Lusi=hijau, Pakan=oranye Matahari
c	Semi Sutra Lusi=hitam, Pakan=merah Penari
d	Sutra Lusi=merah, Pakan=putih Polos
e	Sutra Lusi=merah, Pakan=biru Bunga
f	Sutra Lusi=putih, Pakan=merah Wajik
g	Katun Lusi=merah, Pakan=hijau Ceplok
h	Semi Sutra Lusi=merah, Pakan=hitam Matahari
i	Sal Lusi=biru, Pakan=merah Bunga
j	Sarung Lusi=merah, Pakan=merah Tirta

Tabel 2. Data Transaksi.

TID	Item
1	{a,b}
2	{a, b, c}
3	{d, e, j}
4	{b, e, f}
5	{c, d, f}
6	{a, b, g}
7	{b, d, h}
8	{b, c, e}
9	{c, g}
10	{d, c}

Data transaksi yang diambil merupakan 2 dan 3 jenis produk. Setelah data transaksi diketahui selanjutnya menghitung frekuensi kemunculan setiap item dan mencari nilai *support* pada setiap barang. Tabel 3 merupakan tabel frekuensi dan nilai *support*.

Tabel 3. Tabel frekuensi dan nilai *support*

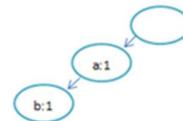
Barang	Frekuensi	Nilai Support
a	3	30%
b	6	60%
c	5	50%
d	4	40%
e	3	30%
f	2	20%
g	2	20%
h	1	10%
i	0	0%
j	1	10%

Setelah perhitungan frekuensi kemunculan setiap *item* diketahui barang yang berada di atas nilai *support count* $\xi=20\%$ atau *item* dengan frekuensi di atas 2 adalah a, b, c, d, e, f, dan g. Ketujuh barang inilah yang akan berpengaruh dan akan dimasukkan ke dalam FP-Tree, selebihnya (h, i, dan j) tidak digunakan karena tidak berpengaruh signifikan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Transaksi yang disesuaikan dengan *frequent list*.

TID	Barang
1	{a,b}
2	{a, b, c}
3	{d, e}
4	{b, e, f}
5	{c, d, f}
6	{a, b, g}
7	{b, d}
8	{b, c, e}
9	{c, g}
10	{d, c}

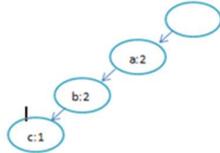
Setelah data transaksi disesuaikan dengan *minimum support*, maka langkah selanjutnya adalah membentuk *tree* yang merupakan langkah selanjutnya dalam proses algoritma FP-Growth. Gambar 7 menunjukkan pembuatan FP-Tree yang diawali dari TID 1 yaitu {a,b}.



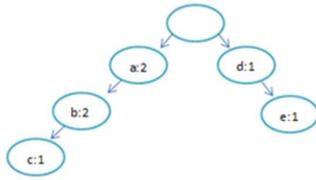
Gambar 7. Pembentukan FP-Tree setelah pembacaan TID 1.

Setelah pembacaan TID 1, selanjutnya dilakukan TID 2 yaitu {a, b, c}. Karena item a dan b ada pada lintasan sebelumnya yaitu TID 1, maka lintasan item {a, b, c} dapat menggunakan lintasan yang sama. Namun untuk lintasan yang dilintasi untuk kedua kalinya, maka akan diberi keterangan nomor seperti a:2 yang artinya *item* a sudah dilewati sebanyak 2 kali. Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan langkah TID 2 hingga TID 3 dengan

pembentukan lintasan $a \rightarrow b \rightarrow c$ yang digabung dengan TID 1.

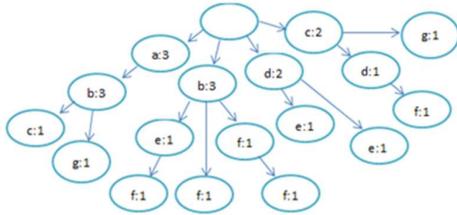


Gambar 8. Pembentukan FP-Tree setelah pembacaan TID 2.



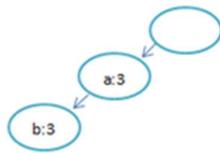
Gambar 9. Pembentukan FP-Tree setelah pembacaan TID 3.

Setelah dilakukan pembacaan TID 1, TID 2, dan TID 3 pembacaan dilakukan dengan cara yang sama sampai dengan pembacaan TID 10 seperti Gambar 10.

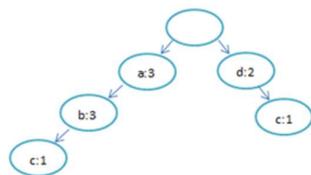


Gambar 10. Pembentukan FP-Tree setelah pembacaan TID 10.

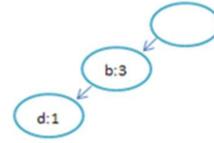
Jika pembacaan dari TID 1 sampai TID 10 sudah dilakukan, maka akan dilanjutkan dengan mencari lintasan yang berakhir dengan *support count* (b), (c), (d), (e), (f), dan (g). Contoh proses pembentukan masing-masing *node* dapat dilihat pada Gambar 11 sampai Gambar 16.



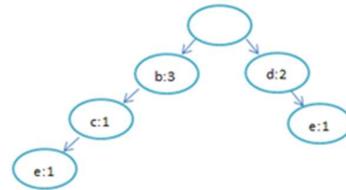
Gambar 11. Lintasan yang mengandung simpul b.



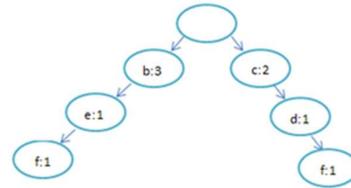
Gambar 12. Lintasan yang mengandung simpul c.



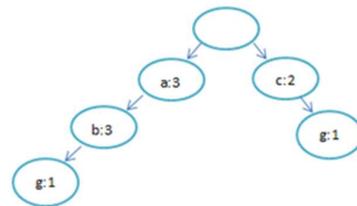
Gambar 13. Lintasan yang mengandung simpul d



Gambar 14. Lintasan yang mengandung simpul e



Gambar 15. Lintasan yang mengandung simpul f.



Gambar 16. Lintasan yang mengandung simpul g.

Setelah memeriksa *frequent itemsets* untuk beberapa akhiran (*suffix*), hasilnya dirangkum pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil *frequent itemset*.

Suffix (Akhiran)	Frequent Itemset
b	{a, b}
c	{a, b, c}, {d, c}
d	{b, d}
e	{d, e}, {b, c, e}
f	{b, e, f}, {c, d, f}
g	{a, b, g}, {c, g}

Setelah diketahui hasil dari *frequent itemsets* pada Tabel 5, maka dapat dihitung nilai *confidence* dengan ketentuan minimum 10%. Tabel 6 merupakan 10 perhitungan nilai *confidence* dari sebagian hasil *frequent items*.

Tabel 6. Hasil nilai *confidence* pada *frequent itemset*.

<i>Frequent Itemset</i>	<i>Nilai Confidence</i>
a → b	100%
d → c	25%
b → d	16,6%
d → e	25%
c → g	20%
a → bc	30%
b → ac	16,6%
c → ab	20%
b → a	50%
ab → c	30%

Perhitungan nilai *confidence* pada sebagian hasil frequent items diatas menunjukkan sudah memenuhi persyaratan minimum nilai *confidence* yaitu 10%, begitu juga dengan perhitungan yang lainnya. Jadi dapat disimpulkan apabila data sudah memenuhi nilai *minimum support* dan nilai *minimum confidence*, berarti dapat digunakan sebagai referensi dan rekomendasi pembelian pada toko kain Medali Mas. Namun apabila ingin mendapatkan hasil yang lebih akurat, proses pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan Chi-square.

Pengujian Chi-Square

Uji Chi-Square adalah pengujian hipotesis mengenai perbandingan antara frekuensi observasi/ yang benar-benar terjadi/ aktual (F_o) dengan frekuensi harapan/ ekspektasi (F_e) yang didasarkan atas hipotesis tertentu. Untuk menguji Chi-square ini digunakan hipotesa sebagai berikut: [9]

H_o : konsumen tidak setuju adanya pengaruh variabel Independen terhadap variabel dependen.

H_a : konsumen setuju adanya pengaruh variabel Independen terhadap variable dependen.

Selanjutnya merupakan hasil frequent item yang ditemulan setelah pengolahan menggunakan algoritma FP-Growth dengan 3 barang {b,e,f} dengan 6 kemungkinan:

- b → e,f, jika membeli b maka akan membeli e dan f
- e,f → b, jika membeli e dan f maka akan membeli b
- e → b,f, jika membeli e maka akan membeli b dan f
- b,f → e, jika membeli b dan f maka akan membeli e
- f → b,e jika membeli f maka akan membeli b dan e
- b,e → f, jika membeli b dan e maka akan membeli f

Tabel 7 merupakan contoh perhitungan dengan menggunakan kemungkinan jika membeli f, maka akan membeli b dan e.

Tabel 7. Data implementasi *frequent item* {b,e,f}.

Variabel 1	Variabel 2		Jumlah
	a	\bar{a}	
Bc	1	1	2
(bc) \bar{c}	2	6	8
Jumlah	3	7	10

$$X^2 = \frac{N(ad-b)^2}{(a+c)(b+d)(a+b)(c+d)}$$

$$X^2 = \frac{10(8-0)^2}{(1+1)(0+8)(1+0)(2+8)}$$

$$X^2 = \frac{10 \times 64}{(2 \times 8 \times 1 \times 10)}$$

$$X^2 = \frac{640}{160}$$

$$X^2 = 4,444444444$$

Setelah nilai diketahui, maka tabel Chi-Square pada Tabel 8 selanjutnya dapat digunakan sebagai pengambil keputusan untuk menentukan hasil yang paling signifikan. Pada pengujian kali ini menggunakan nilai signifikan 0,05 (standar signifikan) dengan *degrees of freedom* sebesar 1.

$$Df = (\text{jumlah kolom} - 1) (\text{jumlah baris} - 1)$$

$$Df = (2 - 1) (2 - 1)$$

$$Df = 1$$

Dengan demikian, diketahui nilai patokan untuk pengujian Chi-Square sebesar 3,84. Apabila nilai kurang dari 3,84, maka H_o diterima atau tidak ada hubungan antar variabel yang diuji. Sebaliknya, apabila nilai lebih besar dari 3,84, maka H_a diterima atau ada hubungan antar variabel yang diuji.

Tabel 8. Uji Chi-Square.

DF	Probability of a larger value of X^2					
	0,75	0,50	0,25	0,10	0,05	0,01
1	0,102	0,455	1,32	2,71	3,84	6,63
2	0,575	1,384	2,77	4,61	5,99	9,21
3	1,212	2,366	4,11	6,25	7,81	11,34
4	1,923	3,357	5,39	7,78	9,49	13,28
5	2,675	43,51	6,63	9,24	11,07	15,09
6	3,455	5,348	7,84	10,64	12,59	16,81
7	4,255	6,346	9,04	12,02	14,07	18,48
8	5,071	7,344	10,22	13,36	15,51	20,09
9	5,899	8,343	11,39	14,68	16,92	21,67
10	6,737	9,342	12,55	15,99	18,31	23,21
11	7,584	10,431	13,70	17,28	19,68	24,72
12	8,438	11,340	14,85	18,55	21,03	26,22
13	9,299	12,340	15,98	19,81	22,36	27,69
14	10,156	13,339	17,12	21,06	23,68	29,14
15	11,037	14,339	18,25	22,31	25,00	30,58
16	11,912	15,338	19,37	23,54	26,30	32,00
17	12,792	16,338	20,49	24,77	27,59	33,41
18	13,675	17,338	21,60	25,99	28,87	34,80
19	14,562	18,338	22,72	27,20	30,14	36,19
20	15,452	19,337	23,83	28,41	31,41	37,57

Dengan menggunakan tabel Chi-Square 2x2 maka memiliki nilai df=1 dan nilai signifikan (α) 0,05 sehingga tabel nilai kritis distribusi Chi-Square sebesar 3,841459. Dengan demikian, variabel akan diterima apabila nilai X lebih besar daripada nilai tabel.

G. Hasil

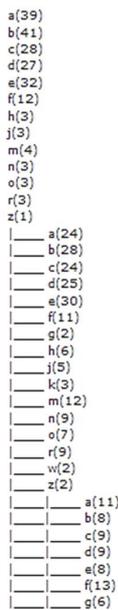
Data pada penelitian ini menggunakan 200 data transaksi yang ada pada toko kain tenun Medali Mas. Terdapat persyaratan dalam pengambilan data transaksi, yaitu dipilih hanya yang mengandung 2 atau 3 jenis *item* dalam 1 transaksi tanpa harus melihat jumlah dari *item* yang dibeli. Keputusan ini diambil dengan pertimbangan bahwa lebih dari 60 persen transaksi pembelian melibatkan

variasi *item* yang kecil, yaitu satu sampai dengan tiga item berbeda. Dengan kata lain, cukup jarang pembeli yang membeli lebih dari tiga *item* berbeda dalam satu struk pembelian. Argumen lain yang mendasari keputusan ini adalah bahwa hal tersebut akan dapat membantu menyederhanakan pembentukan pola kaidah asosiasi (*association rule*) yang akan dihasilkan oleh sistem sebagai bagian dari rekomendasi untuk pembeli. Medali Mas mempunyai 26 jenis item yang dijual dengan ketentuan warna kain, jenis kain, dan corak kain yang berbeda. Data transaksi tersebut akan diolah dengan menggunakan metode *association rule* dan algoritma FP-Growth untuk mendapatkan informasi tentang *frequent itemset* yang dihasilkan. Kemudian hasil dari *frequent itemset* akan diuji hubungan antar variabel dengan menggunakan Chi-Square.

Implementasi *user interface* terdiri dari beberapa tampilan pada menu yang ada pada aplikasi. Desain dari *user interface* yang baik pada suatu sistem dapat mempermudah user untuk menggunakan sistem tersebut. Berikut *user interface* pada sistem yang sudah dibangun. Terdapat lima menu di dalam sistem Penerapan Algoritma FP-Growth dalam Penentuan Pola Pembelian Konsumen, yaitu menu “Home”, ” Produk”, ” Penjualan”, ” Frekuensi”, ” Penentuan pola pembelian”, dan ” About”.

Gambar 17 merupakan tampilan dari halaman penentuan pola pembelian bagian pembentukan FP-Tree. Sebuah FP-Tree adalah kompak struktur data yang mewakili *set data* dalam bentuk pohon yang memiliki cabang. Setiap transaksi dibaca kemudian dipetakan ke jalur di FP-Tree. Kegiatan tersebut dilakukan terus menerus sampai semua transaksi dibaca.

HASIL PEMBENTUKAN FP-TREE



Gambar 17. User interface FP-Tree.



Gambar 18. User interface menu utama.

Untuk tampilan dari menu “Home” dapat dilihat seperti pada Gambar 18.

Pada perhitungan Chi-Square digunakan untuk menguji hubungan atau pengaruh dua buah variabel nominal dan mengukur kuatnya hubungan antara variabel yang satu dengan variabel nominal yang lainnya. Perhitungan Chi-Square ditampilkan pada Pengujian Chi-Square (Jumlah Kemunculan) pada halaman Penentuan Pola Pembelian yang ditampilkan dalam bentuk tabel. Setiap tabel mewakili perhitungan Chi-Square dalam 1 *rule* untuk mencari nilai korelasinya berupa “ X^2 ”. Untuk 2 *items*, terdapat 2 *rules* yang dimiliki sedangkan untuk 3 *items* memiliki 6 *rules*. Dengan demikian, dapat disimpulkan *frequent itemsets* mana yang memiliki korelasi paling positif. Gambar 19 merupakan tampilan salah satu perhitungan chi-square dengan 2 *item* yang mempunyai 2 *rules* yaitu:

$a \rightarrow m$, apabila membeli barang a maka membeli barang m
 $m \rightarrow a$, apabila membeli barang m maka membeli barang a

Perhitungan Chi-square pada transaksi (a, m) menghasilkan nilai $X^2 = 1,09706060691$ dengan ketentuan apabila nilai X^2 lebih kecil daripada nilai tabel Chi-Square yaitu 3,841459 maka mempunyai hubungan yang negatif atau tidak ada hubungan antara kedua item begitu pula sebaliknya, apabila nilai X^2 lebih besar dari nilai tabel Chi-Square maka hubungan antara barang adalah positif atau memiliki hubungan.

Frequen Item { a, m, } -->jika membeli a maka akan membeli m

	a	not a	JUMLAH
m	2	17	19
not m	37	143	180
	39	160	199

$X=1.09706060691$

Gambar 19. User interface Chi-Square 2 item.

Perhitungan Chi-Square dengan 3 *items* dapat dilihat dalam Gambar 20. Pada contoh merupakan perhitungan 3 *items* yaitu (m, n, o) yang mempunyai 6 *rules*, yaitu:

- $m \rightarrow no$, apabila membeli barang m maka akan membeli barang no
 $no \rightarrow m$, apabila membeli barang no maka akan membeli barang m
 $n \rightarrow mo$, apabila membeli barang n maka akan membeli barang mo
 $mo \rightarrow n$, apabila membeli barang mo maka akan membeli barang n
 $o \rightarrow mn$, apabila membeli barang o maka akan membeli barang mn
 $mn \rightarrow o$, apabila membeli barang mn maka akan membeli barang o

Perhitungan Chi-Square dengan *item* (m, n, o) dengan *rule* jika membeli m maka akan membeli no menghasilkan nilai X^2 sebesar 19,1397274913 berarti memiliki nilai positif karena lebih besar dari nilai tabel Chi-Square yaitu 3,841459 yang artinya hubungan antar *item* memiliki korelasi yang sangat tinggi.

Frequen Item { m, n, o, } --> jika membeli m maka akan membeli no

	m	not m	JUMLAH
no	2	0	2
not no	17	180	197
	19	180	199

$X=19.1397274913$

Gambar 20. User Interface Chi-Square 3 items.

Penentuan nilai Chi-Square yang paling positif atau yang memiliki hubungan antara *item* yang paling bersangkutan dapat dilihat berdasarkan nilai X^2 yang paling kecil. Tabel 9 merupakan 10 nilai X^2 yang paling positif berdasarkan 26 jenis barang dan 200 transaksi yang dilakukan.

Tabel 9. Sepuluh nilai X paling positif.

Frequent Item	Nilai X^2
{m,n,o} → jika membeli m maka akan membeli no	19,1397274913
{m, n} → jika membeli m maka akan membeli n	19,048313637
{d,o,w} → jika membeli w maka akan membeli do	16,204858541
{b, a, r} → jika membeli r maka akan membeli ba	17,1244863428
{a, k j } → jika membeli j maka akan membeli ak	14,37995338
{j, m} → jika membeli j maka akan membeli m	11,5069016788
{d,f,z} → jika membeli z maka akan membeli df	10,9538313609
{c, b} → jika membeli c maka akan membeli b	10,4215091063
{f,d,w} → jika membeli w maka akan membeli fd	9,57468159976
{ b, e } → jika membeli b maka akan membeli e	8,88330980589

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa data transaksi yang mempunyai hubungan antar *item* paling positif adalah ($m, \rightarrow no$) yang mempunyai kemungkinan yaitu “jika membeli m maka akan membeli no ” dengan nilai X^2 sebesar 19,1397274913. Gambar 21 merupakan tampilan kesimpulan dari sistem.

Berdasarkan Data Nilai X^2 Diatas dapat di simpulkan bahwa frequen item { m, n, o, } --> (jika membeli m maka akan membeli no) merupakan frequent item yang korelasinya paling positif dengan nilai $X^2 = 19.1397274913$

Apabila konsumen membeli produk Semi sutra Lusi=Abu, Pakan=biru Bunga maka kemungkinan konsumen akan membeli produk Sarung Lusi=hitam, Pakan=hijau Lurik , Katun Lusi=kuning, Pakan=tosca Bambu,

Gambar 21. User interface kesimpulan.

IV. KESIMPULAN

Hasil eksperimen menunjukkan indikasi yang sesuai dengan dugaan awal penelitian bahwa ada pola-pola kaidah asosiasi yang kuat dalam pembelian konsumen kain tenun Medali Mas. Hal ini dibuktikan dengan munculnya sejumlah kaidah asosiasi yang dihasilkan dari implementasi sistem menggunakan algoritma FP-Growth. Tidak hanya itu, hasil uji korelasi dengan *Chi-Square test* juga memperlihatkan bahwa kaidah-kaidah asosiasi dari pola pembelian konsumen pada kain tenun Medali Mas juga memiliki landasan obyektif yang kuat untuk dapat disajikan sebagai rekomendasi pembelian bagi konsumen.

Penelitian ini juga menghasilkan peluang penelitian pengembangan sistem lebih lanjut, misalnya dengan penggunaan algoritma-algoritma klasifikasi dalam ranah *data mining* untuk mengidentifikasi kelas-kelas konsumen dan item pembelian, maupun perluasan jumlah variabel yang digunakan untuk mengidentifikasi pola pembelian yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ikhwan, D. Nofriansyah and Sriani, “Penerapan data mining dengan algoritma Fp-Growth untuk mendukung strategi promosi pendidikan (studi kasus kampus STMIK Triguna Dharma),” *Jurnal Saintikom*, vol. 14, no. 3, pp 211-226, Sep. 2015.
- [2] G. Gunadi and D. I. Sensuse, “Penerapan metode data mining market basket analysis terhadap data penjualan produk buku dengan menggunakan algoritma apriori dan frequent pattern growth (FP-Growth): studi kasus percetakan PT.Gramedia,” *Jurnal Telematika Mkom*, vol. 4, no.1, pp. 118-132, Mar. 2012.
- [3] F. Fathimah, A. Setiawan and R. Rosadi, “Assosiasi Data Mining Menggunakan Algoritma FP-Growth unuk Market Basket Analysis,” *academia.edu*. [Online]. Available: https://www.academia.edu/4758451/ASOSIASI_DA_TA_MINING_MENGGUNAKAN_ALGORITMA_FP-GROWTH_UNTUK_MARKET_BASKET_ANALYSIS. [Accessed: Mar. 2, 2019].

- [4] D. P. Larasati, M. Nasrun and U. A. Ahmad, "Analisis dan implementasi algoritma fp-growth pada aplikasi smart untuk menentukan market basket analysis pada usaha retail (studi kasus: PT.X)," in *e-Proc. of Eng.*, 2015, vol. 2, no. 1, pp. 749 – 755.
- [5] H. Herasmus. "Analisa customer service system menggunakan metode data mining dengan algoritma fp-growth," *Jurnal Teknik Ibnu Sina*, vol. 2, no. 2, 2017.
- [6] R. M. Miraldi, A. Rachmat and B. Santoso, "Implementasi algoritma fp-growth untuk sistem rekomendasi buku di perpustakaan UKDW," *Jurnal Informatika*, vol. 10, no. 1, pp. 29-39, 2014.
- [7] Kusrini and E. T. Luthfi, *Algoritma Data Mining*. Yogyakarta, Indonesia: Andi, 2009.
- [8] D. Chaerunnissa, "Metode association rule dalam menganalisa pola belanja konsumen pada data transaksi penjualan menggunakan algoritma fp-growth," Bachelor thesis, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang, Indonesia, 2015.
- [9] Erwin, "Analisis market basket dengan algoritma apriori dan fp-growth," *Jurnal Generic*, vol. 4, no. 2, pp. 26 – 30, July 2009.
- [10] A. Rochmah, "Perancangan fitur rekomendasi film di website solo movie dengan menggunakan metode algoritma apriori," Bachelor thesis, Universitas Sebelas Maret Surakarta, Surakarta, Indonesia, 2010.



POLITEKNIK NEGERI BALI



Redaksi Jurnal MATRIX
Gedung P3M, Politeknik Negeri Bali,
Bukit Jimbaran, PO BOX 1064 Tuban, Badung, Bali.
Phone: + 62 361 701981, Fax: +62 361 701128
e mail: p3mpoltekbali@pnb.ac.id
<http://ojs.pnb.ac.id/index.php/matrix>